



Licence Sciences et Techniques (LST)

Techniques d'Analyses et Contrôle de qualité (TACQ)

**PROJET DE FIN D'ETUDES**

**Etude de l'hétérogénéité de la carrière et caractérisation des  
Cuttings**

**Présenté par :**

◆ Oumaima Kadiri

**Encadré par :**

- ◆ Mr Fouad Bouhassan (LAFARGE MEKNES)
- ◆ Pr Hicham ZAITAN (FST, Fès)

**Soutenu Le 09 Juin 2016 devant le jury composé de:**

- Pr. Chakib AMEZIANE HASSANI (FST, Fès)
- Pr. Jamal Eddine HAZM (FST, Fès)
- Pr. Hicham ZAITAN (FST, Fès)

**Stage effectué à LAFARGE DE MEKNES**

**Année Universitaire 2015 / 2016**

FACULTE DES SCIENCES ET TECHNIQUES FES – SAISS

☒ B.P. 2202 – Route d'Imouzzer – FES

☒ Ligne Directe : 212 (0)5 35 61 16 86 – Standard : 212 (0)5 35 60 82 14

# Dédicaces

*Merci à Dieu, le tout puissant, qui a éclairci ma voie par le savoir, et qui m'a armé par la foi.*

*En témoignage de ma reconnaissance pour vos encouragements, j'ai le grand plaisir de dédier ce travail :*

*- Aux deux âmes les plus chères du monde :*

*A celle qui a attendu avec patience les fruits de sa bonne éducation, ma précieuse **MAMAN**, source d'amour et de tendresse.*

*A celui qui m'a indiqué la bonne voie, mon très cher **PERE**, pour son affection, son amour, son soutien moral et matériel et surtout ses consignes prodigieuses.*

*'Que dieu vous prête bonne santé et longue vie !'*

*- A Tous mes professeurs :*

*Pour leurs soutiens et leurs directives au court de toute l'année universitaire*

*- A Toute l'équipe de **LAFARGE Meknès** :*

*Mes profonds respects à vous tous pour les efforts méritoires que vous avez consentis tout au long de la période de mon stage.*

*- A Tous mes amis:*

*Qu'avec eux, j'ai partagé les moments de souffrance et de joie, en particulier ma chère amie **SOUKAINA** avec qui j'ai passé d'agréables moments, et à la quelle je dédie ce rapport en témoignage de notre amitié.*

# Remerciements

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

De prime abord, Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à Monsieur le Directeur de la société LAFARGE Ciment Usine de Meknès de m'avoir donné l'occasion de découvrir le domaine de travail afin de le confronter et d'approfondir mes connaissances.

Je veux exprimer mes sincères remerciements à mon directeur de projet M. ZAITAN professeur à la FST de Fès pour l'intérêt constant qu'il a porté à mon travail, je lui suis très reconnaissante.

Je tiens à remercier chaleureusement les membres de jury d'avoir bien voulu juger mon travail.

Je présente également l'expression de ma profonde gratitude à M. F.BOUHASSANE, mon parrain de projet.

Mes vifs remerciements et ma grande reconnaissance sont adressés à Mr. ELMANSOURI Hamide pour son aide dans l'accomplissement de mon stage dans les meilleures conditions.

## Table de matières

Dédicaces	2
Remerciements	3
Table de matières	4
Liste des figures	6
Liste des tableaux	7
Liste des abréviations	7

## Sommaire

### Introduction générale

### Première partie

#### Chapitre I : Présentation de la société d'accueil

1- Présentation du groupe Lafarge (Aperçu général)	10
2- Présentation de Lafarge usine de Meknes	10
a-Historique	10
b-situation géographique	10

#### Chapitre II : Procédé de fabrication du ciment

1-Définition du ciment	12
2 -Produits fabriqués par Lafarge Méknes	13
3 -Etapes de fabrication	13

### Deuxième partie

#### Chapitre III : Matériels et méthodes

I –Présentation	22
II –Problématique	22
III –Objectif	22
IV -Etude du terrain	22
1-Cadre géographique de la zone d'étude	22
2-études des fronts de tailles	23
3-Conclusion	24

V-Etude de la problématique	25
1-Présentation de la zone d'étude	25
2-Présentation de la technique d'échantillonnage utilisée	26
3-Echantillonnage et préparation des Cuttings	26
a- Décapage	26
b- Forassions	27
4-Analyses au laboratoire	29
a- Principe de la fluorescence X	29
b- Matériel	30
c- Mode opératoire	30
<b>Chapitre IV: Résultats et discussion</b>	
1-Résultats du module MS au niveau de chaque trou	32
2-Résultats du module A/F au niveau de chaque trou	32
3-Résultats du module LSF au niveau de chaque trou	33
4-Identification des causes	34
Diagramme Ishikawa	35
5-Analyse des causes	34
6-Etudes statistiques	36
7-Points de contrôles	39
a- Caractérisation de la tour d'échantillonnage	39
b- Description	40
8-Résultats de la TE et comparaison	41
Conclusion	42
9-Validation de la méthode d'échantillonnage	42
Etude statistique	44
<b>Conclusion générale</b>	<b>45</b>

## Liste des figures

Figure 1 : Les composés nécessaires pour la production du ciment	12
Figure 2 : Composition chimique des calcaires et des argiles	13
Figure 3 : Processus de fabrication	14
Figure 4 : Tas en consommation	15
Figure 5 : Tas en reprise	15
Figure 6 : Broyeur cru	16
Figure 7 : Etapes de cuisson du clinker	17
Figure 8 : Tour EVS	19
Figure 9 : Différents zone du four	19
Figure 10 : Ajout du gypse et broyage	20
Figure 11 : Ensachage et expédition	20
Figure 12 : Litho stratigraphie générale des fronts de la carrière	23
Figure 13 : Litho stratigraphie des fronts (Panneaux : 1, 2, 6, 5)	24
Figure 14 : Carrière	25
Figure 15 : Méthode de prélèvements utilisée	26
Figure 16 : Etapes de forassions et réalisation des trous de mines	27
Figure 17 : Récupération des matières fines	28
Figure 18 : Quartage	28
Figure 19 : Diviseur	28
Figure 20 : Schéma représentant le principe démission FX	29
Figure 21 : Pastille	30
Figure 22 : Variation du module MS en fonction des N° des trous pour les Pan et les Bis	32
Figure 23 : Variation du module A/F en fonction des N° des trous pour les Pan et les Bis	32
Figure 24 : Variation du module LSF en fonction des N° des trous pou les Pan et les Bis	33
Figure 25 : Diagramme Ishikawa	34
Figure 26 : Effet de taille des grains des particules	35

Figure 27 : Broyeur à disque	37
Figure 28 : Présentation graphique de la variation d'écart type en fonction des différentes probabilités	39
Figure 29 : Emplacement de la TE	40
Figure 30 : Mode du fonctionnement de la TE	41
Figure 31 : Présentation graphique des variations du module LSF & Cuttings	42
Figure 32 : Représentation graphique de la corrélation du module LSF	43

## Liste des tableaux

Tableau 1 : Résultats du modules LSF, moyenne et écart type	38
Tableau 2 : Résultats du module LSF et écart type pour différentes probabilités	38
Tableau 3 : Résultats du modules LSF pour différentes probabilités et la TE	41
Tableau 4 : Résultats des moyennes LSF pour plusieurs Panneaux & les résultats de la TE qui leurs correspondent	43

## Liste des abréviations

Mots	Définition
<b>C<sub>4</sub>AF</b>	Alumino ferrite tétra calcique ou Ferrite, composant principal du Clinker qui a tendance à noircir le Ciment.
<b>C<sub>2</sub>S</b>	Silicate bi calcique ou Bélite, est un composant du Clinker.
<b>C<sub>3</sub>S</b>	silicate tricalcique ou Alite, est le constituant principal du Clinker.
<b>C<sub>3</sub>A</b>	Alumino tricalcique
<b>TE</b>	Tour d'échantillonnage

## Introduction générale

Lafarge Maroc est une industrie de fabrication dont l'élément essentiel de production est le ciment, appelée aussi industrie de base car elle joue un rôle fondamental dans la mise en œuvre des équipements d'un pays : routes, ponts, logements ect. C'est une industrie lourde parce qu'elle traite une grande masse de matière première de faible valeur initiale qui va suivre un processus de fabrication à fin d'obtenir un produit de faible prix avec une grande valeur ajoutée mais dans des installations d'un cout extrêmement élevé.

Vu la grande concurrence dans le domaine cimentier au niveau national et international, Lafarge suit rigoureusement un système de contrôle de qualité dont le but d'avoir un produit qui répond aux normes de qualités. C'est dans ce contexte que mon sujet est entrepris, des analyses sont réalisées pour assurer la qualité du produit finis en répondant aux exigences du marché cimentier au niveau national et international.

Ce travail présente les résultats de caractérisation des matières premières prélevées de la carrière "**Ouledrahou**" de l'usine LAFARGE Meknès.

Le manuscrit est composé de deux parties :

- La première partie présente la société d'accueil et le processus de la fabrication du ciment.
- Dans la deuxième partie, les différentes données et résultats obtenus sont intégrés et discutés ainsi qu'une interprétation des courbes de la caractérisation du sol en fonction de sa composition et les analyses chimiques.
- Une conclusion générale sera présentée à la fin de ce manuscrit.

---

## **Première partie**

Cette partie a pour objectif :

- Présentation de la société d'accueil.**
- Présentation du processus de fabrication.**

## **Chapitre I : Présentation de la société d'accueil.**

### **1 -Présentation du groupe Lafarge :**

#### **Aperçu général :**

Créé en 1833, le Groupe Lafarge est aujourd'hui le leader mondial des matériaux de construction :

- N°1 mondial du Ciment et de la Toiture.
- N°2 des Granulats & Béton.
- N°3 du Plâtre.

### **2 -Presentation de Lafarge usine de Meknes :**

#### **a-Historique :**

- ❖ **1971** : Extension des capacités avec l'installation d'un nouveau four de 650 t/j et augmentation de la capacité broyage ciment à 650.000 t.
- ❖ **1985** : Conversion du procédé voie humide en voie sèche, tout en Augmentant la capacité de production qui atteint 1500 tonnes par jour.
- ❖ **1989** : Installation d'un broyeur à ciment BK4.
- ❖ **1990** : la capacité de production passe de 1500 à 1800 tonnes par jour, grâce à des modifications au niveau du précalcinateur et du refroidisseur.
- ❖ **1993** : Nouvelle extension avec le démarrage d'une seconde ligne de cuisson d'une capacité de 1.200 t/j clinker.
- ❖ **1997** : la CADEM est devenue LAFARGE Meknès et faisant partie du Groupe Lafarge.

#### **b-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.

#### **Service carrière**

C'est au niveau de ce service ou se déroule mon stage, il permet :

- L'exploitation des carrières et l'approvisionnement de l'usine en matière première.
- Le contrôle de concassage.
- L'optimisation des réserves.
- Le suivie de la qualité des matières premières avec le laboratoire.

## Chapitre II : Procédé de fabrication du ciment.

### 1-Definition du ciment :

Le Ciment est un liant hydraulique, une matière pulvérulente, une gangue durcissant rapidement et atteignant en peu de jours son maximum de résistance, permet une passivité extrême pour les armatures.

- **Liant** : utilisé comme colle dans la construction
- **Matière pulvérulente** : sous forme de poudre
- **Une gangue hydraulique** : formée de plusieurs minéraux.
- **Passivité** : grâce à son PH élevé entre 12,5 et 13, permet la formation d'un film protégeant constitué d'oxyde insoluble à la surface d'armature, qui va ralentir le processus ultérieur.

Figure qui représente les composés nécessaires pour la production du ciment :



**Figure 1 : les composés nécessaires pour la production du ciment**

Le composé de base du ciment est le clinker, c'est un mélange de silicates et d'aluminates de calcium résultant de la combinaison de la chaux ( $\text{CaO}$ ) avec la silice ( $\text{SiO}_2$ ), l'alumine ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), et l'oxyde de fer ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ).

Pourcentage des éléments chimiques présents dans le ciment :

- **C<sub>3</sub>S** = 50 à 70 %
- **C<sub>2</sub>S** = 10 à 20 %
- **C<sub>3</sub>A** = 0 à 12 %
- **C<sub>4</sub>AF** = 0 à 15 %

La chaux nécessaire est apportée par des roches calcaires, l'alumine, la silice et l'oxyde de fer par des argiles.

Figure qui représente la composition chimique des calcaires et des argiles :

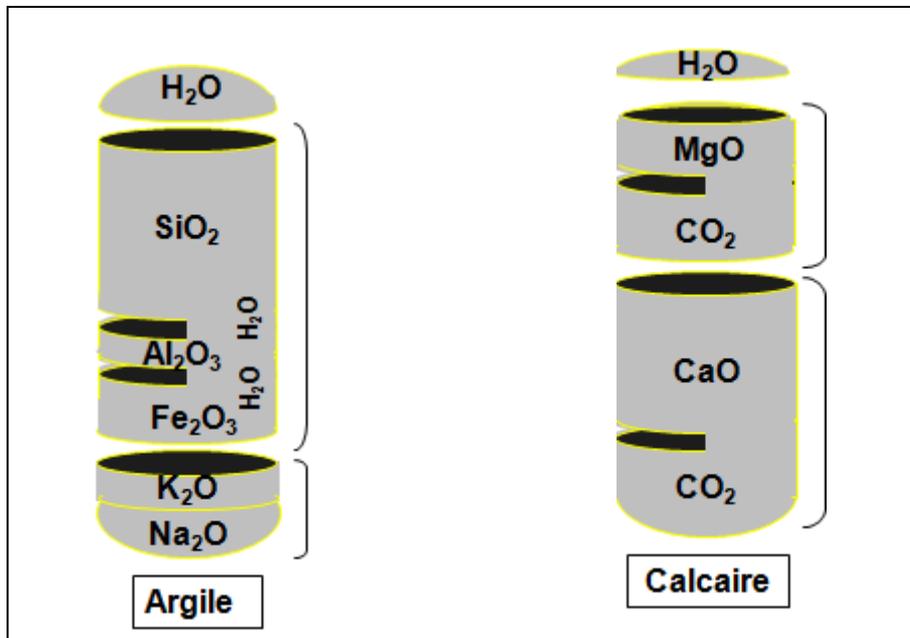


Figure 2 : composition chimique des calcaires et des argiles

- Le ciment est formé de 20% d'argile et 80% de calcaire.

## 2-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.

### 2.1- CPJ 35 :

Le CPJ 35 est un Ciment Portland avec Ajouts, il doit contenir un pourcentage minimum en clinker de 65%, parmi les principales caractéristiques garanties par la norme, la Rc28 du CPJ 35 doit être supérieure à 22.5MPa.

### 2.2- CPJ 45 :

Le CPJ 45 Il doit contenir un pourcentage minimum en Clinker de 72%, parmi les principales caractéristiques garanties par la norme, la Rc28 du CPJ 45 doit être supérieure à 32.5MPa.

### 2.3- CPJ 55 :

Le CPJ55, il doit contenir un pourcentage minimum en clinker de 83%. Sa résistance à 28 jours doit être supérieure à 48MPa.

### 3-Etape de production :

Le procédé utilisé par la cimenterie LAFARGE s'appelle « procédé à voie sèche », il passe par les étapes principales suivantes :

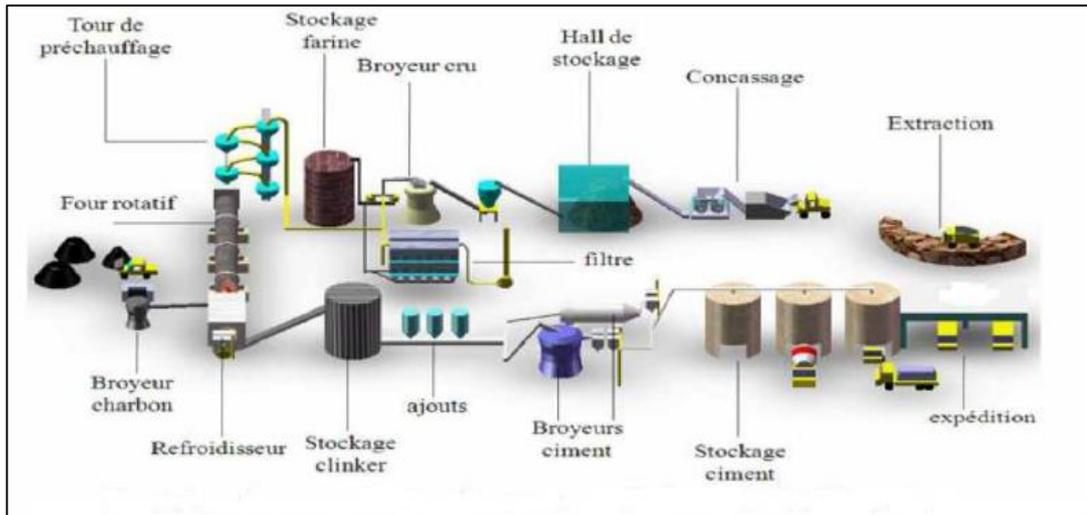


Figure 3 : Processus de fabrication

#### Extraction des matières premières :

La carrière est située à 5,6 Km de l'usine, les matières premières sont extraites sur des fronts de 8 à 15 mètres par abattage et tirs de mines. Elles sont ensuite concassées et transportées par un tapis roulant à l'usine où elles sont stockées et homogénéisées dans des halls de pré-homos.

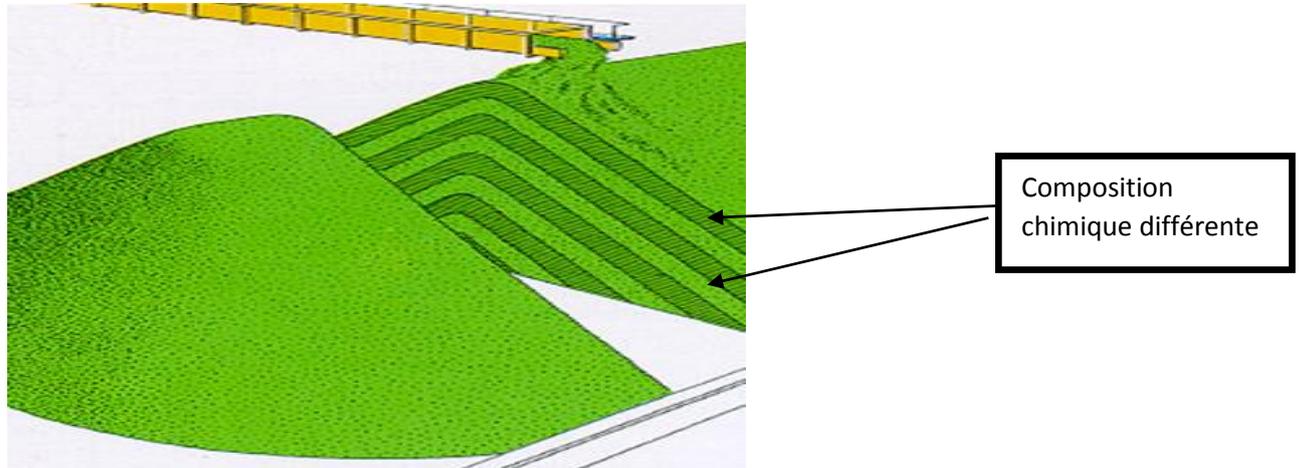
#### Concassage :

C'est une opération qui consiste à réduire la granulométrie de la matière première en fragments de faibles dimensions (25 à 40 mm). Elle assure également un certain mélange des matières premières arrivant de la carrière.

#### Pré-homogénéisation :

Visé à reconstituer une carrière artificielle d'un cru à peu près dosé et prêt à être broyé. 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.

**Un tas en constitution** : c'est un empilement des couches tel que millefeuille, il est formé en disposant les matières en couches horizontales sous forme de cordant à l'aide d'un jeteur animé d'un mouvement rotatif.



**Figure 4 : tas en constitution**

**Un tas en reprise ou en consommation** : il s'agit du même tas qui a été en constitution, mais où un mouvement de va et viens est repris de façon à racler la matière à l'aide d'une roue paille.



**Figure 5 : tas en reprise**

- **La phase de pré homogénéisation permet de former un mélange homogène appelé cru pré dosé.**

## Préparation du cru :

La préparation du cru consiste à réaliser un dosage approprié des 4 constituants de bases : chaux, silice, Alumine et Fer.

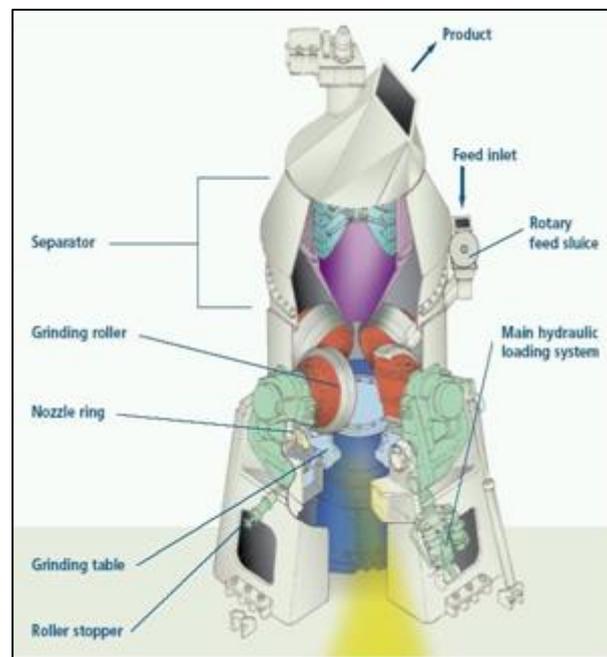
Mais pour avoir un cru dosé, il faut ajouter des produits auxiliaires :

- ❖ **Bauxite** : apport d'alumine
- ❖ **Schiste** : apport de la silice
- ❖ **Minerai de Fer** : Roche riche en Oxyde de fer

## Broyage du cru :

Le cru doit être finement broyé pour être chimiquement plus réactive au cours de la cuisson.

Les broyeurs utilisés sont des broyeurs à galets.



**Figure 6 : broyeur cru**

Le broyeur est alimenté par des gaz chauds provenant du four ( $T=360^{\circ}$ ) qui permettent le séchage du cru et le transport des produits broyés (farine) dans des conduits aérauliques, ces gaz sont aspirés jusqu'à une chambre de filtration, dont le but de séparer les gaz de la farine.

## L'homogénéisation :

Après broyage, la farine est expédiée, à l'aide de deux élévateurs, vers deux silos d'homogénéisation qui assurent à la fois le stockage et l'homogénéisation de la farine.

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

## Cuisson :

La cuisson recouvre toutes les étapes de transformation chimique de la farine crue, jusqu'à la formation du clinker.

Les différentes étapes de cuisson sont représentées dans le schéma ci-dessous :

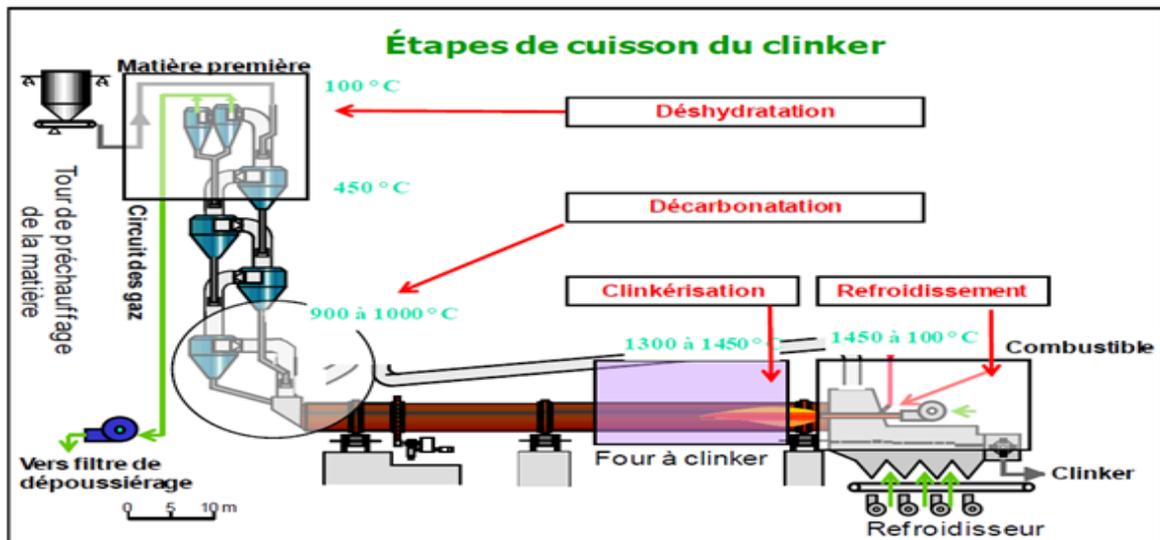


Figure 7: Etapes de cuisson du clinker

## Préchauffage dans la tour EVS :

### Généralité sur la Tour :

C'est une tour d'échange thermique à voie sèche (EVS), formée de 4 étages, chacun contient un cyclone.

### Description du cyclone :

- Il a deux entrées et une sortie.
- Son rôle : - la séparation.

-L'augmentation du temps de contact entre la matière et les gaz.

### Mode de fonctionnement de la tour :

- Le cyclone du premier étage, alimente le cyclone du deuxième avec de l'air chaud ( $T=980^{\circ}\text{C}$ ), provenant du four et ainsi de suite jusqu'au dernier étage.
- La matière entre dans la tour en passant en premier par le cyclone du quatrième étage avec une  $T=80^{\circ}\text{C}$ , et descend jusqu'au dernier avec une  $T=900^{\circ}\text{C}$ .

Au niveau des cyclones s'effectue des réactions comme le montre le schéma suivant :

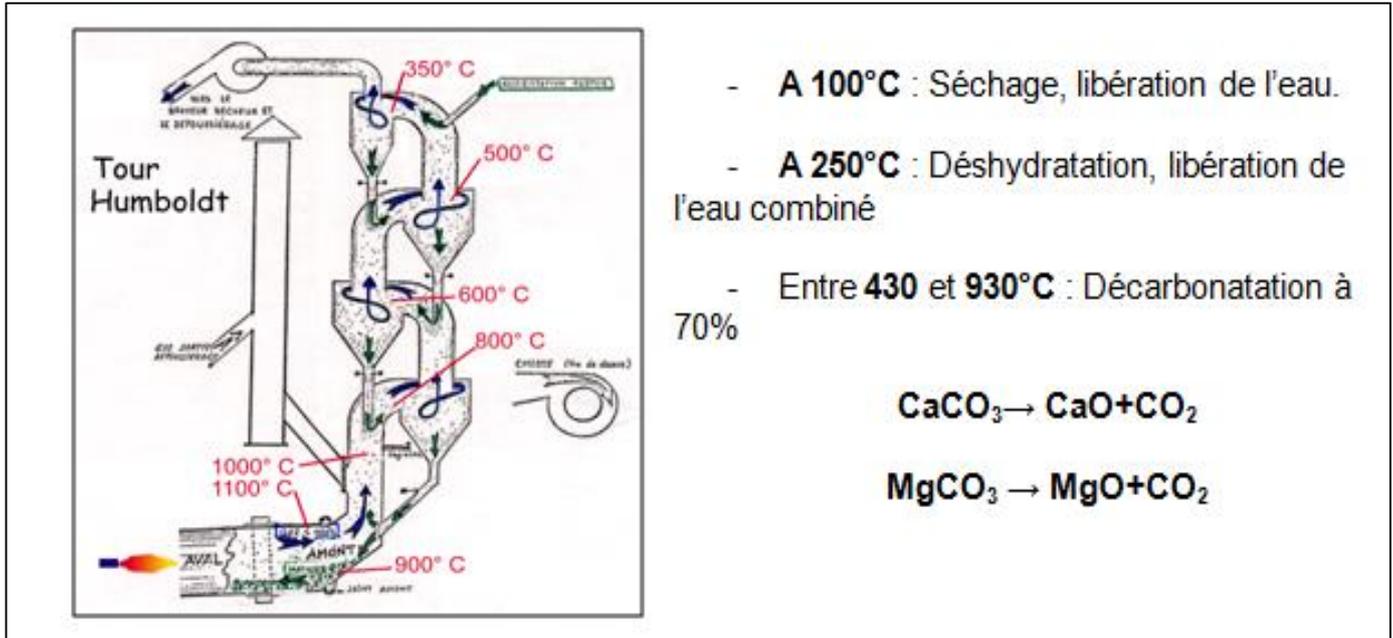


Figure 8 : Tour EVS

### Le four rotatif :

La réaction qui se produit dans le four est la clinkérisation. Elle a lieu entre 1200 et 1500°C et elle donne naissance à une phase liquide formée de C<sub>3</sub>A et C<sub>4</sub>AF, et à des phases solides formées de C<sub>2</sub>S et C<sub>3</sub>S.

### Description du four :

Il est constitué de plusieurs zones comme le montre le schéma suivant :

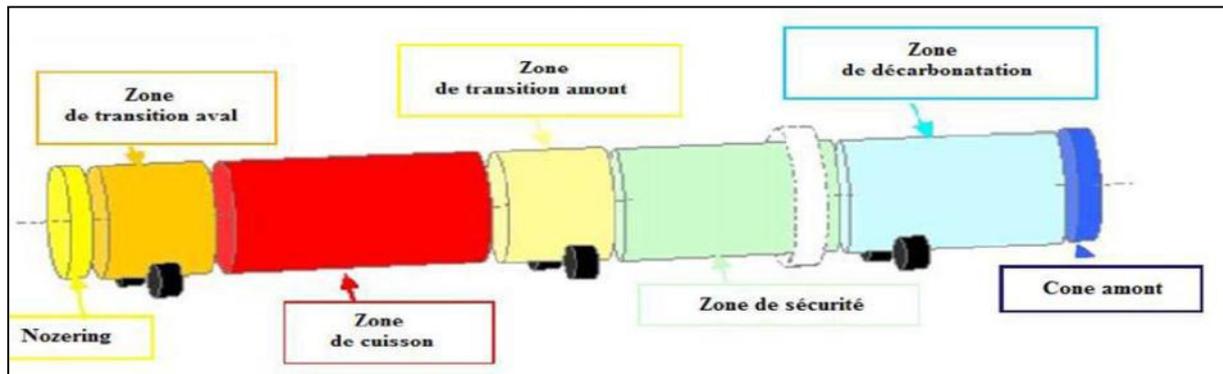


Figure 9: Différentes zones du Four

1-Zone de décarbonatation et zone de sécurité : (T= 820 et 900°C) :

- La décarbonatation à ce stade est de 30% (70% est effectuée dans la tour EVS).

2-Zone de transition amont T=1300 :

- Formation d'alumino ferrite-tetracalcique C<sub>4</sub>AF.



- Formation de l'aluminate tricalcique  $C_3A$



3-Zone de cuisson ou de clinkérisation  $T=1450^\circ C$  :

- Formation de  $C_2S$  :



- Formation de  $C_3S$  :



Rôle des différents composés nouvellement formés :

- $C_3S$  : permet d'avoir une très bonne résistance à court et long terme, et une bonne aptitude au broyage.
- $C_2S$  : permet d'avoir une résistance initiale d'ordre moins élevé qui deviendra bonne avec le temps, son excès rend le broyage difficile.
- $C_3A$  et  $C_4AF$  : Permettent la diminution de la température de fusion de façon à rendre la production industrielle du clinké possible.

### Refroidisseur :

Le clinker produit est trempé (refroidissement rapide) par un refroidisseur à grille qui fait baisser la température de  $1450^\circ C$  à  $100^\circ C$  par soufflage d'air.

Un refroidissement trop lent provoque deux transformations indésirables :

1 :  $C_3S \rightleftharpoons C_2S + CaO$  (libre).

2 :  $C_2S, C_3S$  : changent de réseau cristallin qui va modifier les propriétés hydrauliques du ciment

Le clinker sortant du refroidisseur est transporté par un élévateur vers un silo de stockage de capacité de 40 000 tonnes.

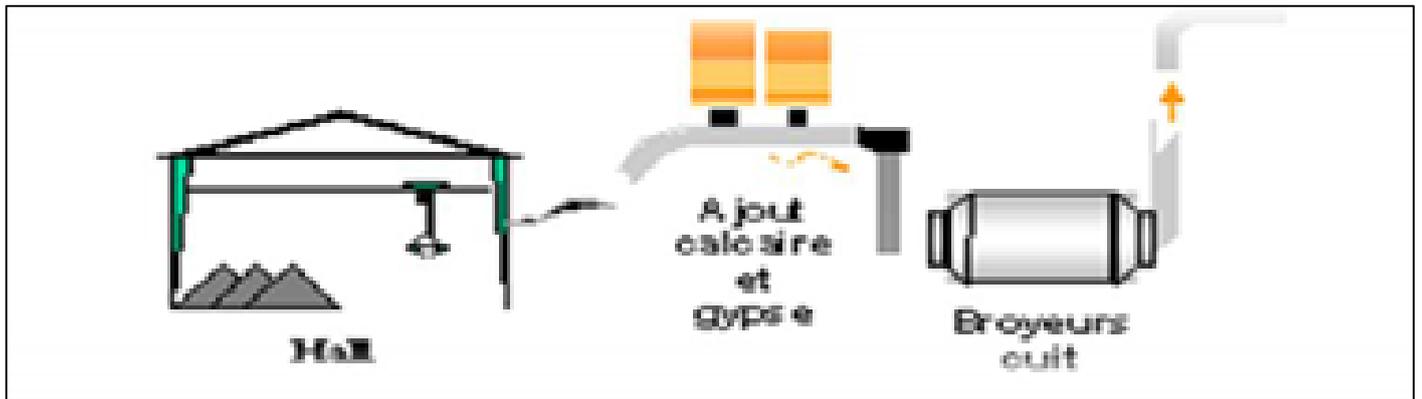
### Broyage et expédition :

Le clinker est additionné d'une faible quantité de gypse (3 à 5 %), indispensable pour réguler la prise du ciment, et le mélange est broyé très finement pour obtenir un « ciment pur ».

La broyabilité dépend de :

- La finesse du cru, de sa chimie.
- Du mode de cuisson.
- De la vitesse de refroidissement

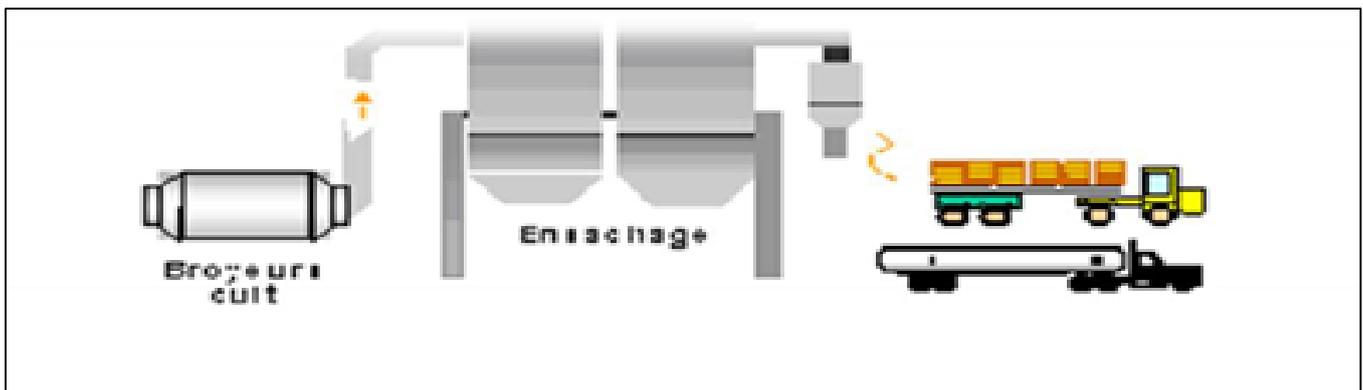
Figure qui montre les aditifs ajoutés au ciment :



**Figure 10 : Ajout du gypse et broyage**

Stockage du ciment et l'expédition :

La livraison du ciment se fait soit en sacs ou en vrac comme le montre le schéma suivant :



**Figure 11 : Ensachage et expédition**

## **Deuxième partie**

Cette partie a pour objectifs:

- **La présentation du matériel et méthode**
- **La détermination des problèmes rencontrés.**
- **Résultats et discussion.**

## **Chapitre III : Matériels et méthodes.**

### **I -Introduction**

Pour produire le Ciment qui est un produit de base élaborée, l'industrie Cimentière a dû exercer des forassions au niveau de sa carrière pour connaitre les but quel doit fixé afin d'avoir un produit de bon qualité.

Tester la fiabilité de la technique de prélèvement ou d'échantillonnage réalisée au niveau de cette carrière entre dans l'étude systématique effectuée pour un contrôle continue des matières premières avant traitement.

L'objectif que souhaitent les analystes atteindre après échantillonnage c'est avoir une moyenne représentative de la composition chimique réellement présente dans la matière vierge. Cette moyenne sera comparée avec d'autres valeurs trouvées dans des points d'échantillonnage hors de la carrière (Tour d'échantillonnage).

### **II -Problématique :**

Vu la grande superficie de la carrière, Lafarge Meknès a repartie son terrain en plusieurs gisements de 60m chacun, appelés panneaux. Au niveau de chaque panneau on prélève des échantillons, pour analyser leurs compositions chimiques et déterminer le pourcentage de chacun des éléments présents dans la matière.

En outre la moyenne qui en résulte à ce stade est différente de celle obtenue au niveau de la tour d'échantillonnage. Ce qui nous mène à porter une étude afin de savoir sur quoi il faut agir pour avoir une bonne moyenne qui représente le tas de pré- homogénéisation.

### **III -Objectif :**

Cette partie a pour objectifs :

- ❖ Confirmer l'hétérogénéité de la carrière.
- ❖ Tester la fiabilité de la technique d'échantillonnage dont la probabilité est de 1/3.
- ❖ Comparaison des résultats des Cuttings et la Tour d'échantillonnage.

### **IV -Etudes du terrain :**

#### **1-Cadre géographique de la zone d'étude :**

Lafarge de Meknès est propriétaire d'une carrière divisé en deux zones :

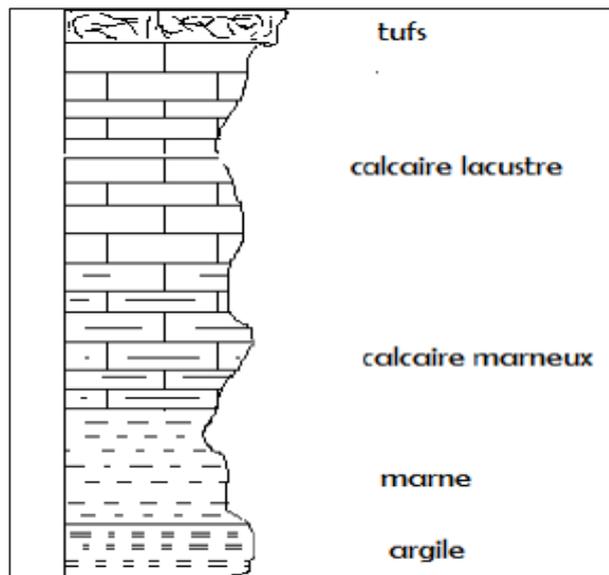
**Zone 4** : profondeur d'exploitation 18m, constitue que 20% d'approvisionnement, elle est en phase d'épuisement.

**Zone D** : profondeur d'exploitation 10m, constitue 80% du plan d'approvisionnement, à son tour elle est divisée en deux zones : Zone D Est : 8m ; Zone D Ouest : 10m

Ces zones sont situées dans le bassin lacustre de Sais d'âge tertiaire (pliocène – 3 Ma environ). Ce bassin couvre toute la région de Fès à Meknès. Il est limité au Nord par les collines marquant l'extension des rides pré rifaines et au Sud par les roches liasiques du moyen atlas. Entaillé sur les bordures par les vallées de l'oued Zifera l'Est, et de l'oued Ouislane à l'ouest et au Sud-ouest. Ces vallées ouvertes déterminent une ligne d'érosion et ils ont été animés par des courants de turbidités qui ont conduit à la formation de séquences répétitives appelées séquence de BOUMA.

## 2-Etude des fronts de tailles :

La séquence répétitive caractéristique des fronts de la carrière est la suivante :

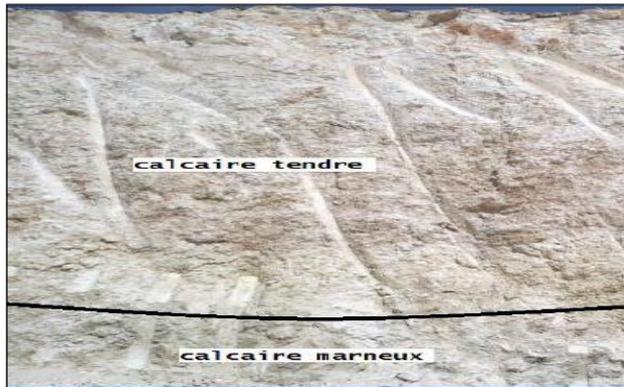


**Figure 12 : Litho stratigraphie générale des fronts de la carrière**

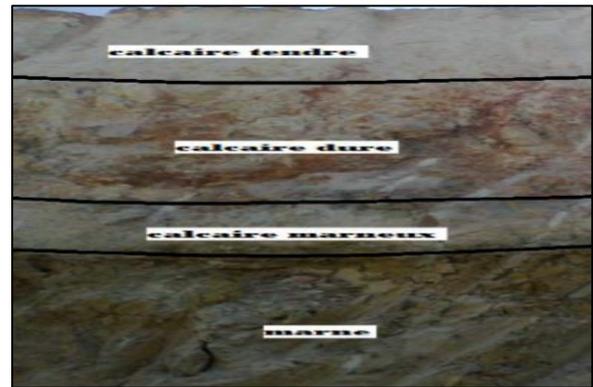
Notre étude sur le terrain avait pour l'objectif :

- 1-Réaliser une prospection visuelle minutieuse pour voir les variations litho stratigraphique toute au long du front d'étude (changement de couleur des couches et leurs épaisseurs).
- 2-Reconnaitre les différentes couches
- 3-Faire des estimations de l'épaisseur de chaque strate (c'est informations sont fournis par des géologues).

Nous avons visité plusieurs panneaux afin de voir de plus proche la lithologie des fronts, elle est bien claire dans les photos ci-dessous :



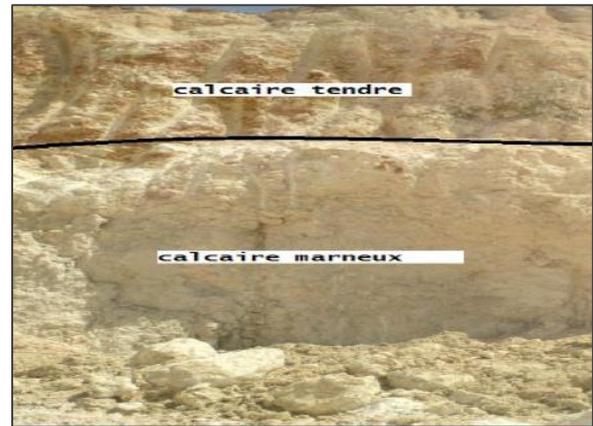
Zone D Ouest : Panneau 1



Panneau 5



Zone D Est : Panneau 6



Panneau 2

**Figure 13 : Litho stratigraphie des fronts pour les panneaux 1, 6, 5,2.**

Une première inspection visuelle nous a montrée :

- ✓ Un changement de couleur qui indique le passage d'une couche à l'autre.
- ✓ L'épaisseur des strates varie d'un panneau à l'autre ainsi que leurs dispositions.
- ✓ Absence de quelques couches dans les panneaux 1 et 2.

### **3- Conclusion :**

Tout cela nous a permis de dire que :

- Les formations dominantes sont : les calcaires (tendre et dure), les argiles, les calcaires marneux. A noter, les calcaires durs sont plus riche en  $\text{CaCO}_3$ , contrairement aux calcaires tendres, sachant que ce composé représente l'élément majeure le plus recherché dans ces carrières.

- D'après les variations litho stratigraphiques constatées au niveau des coupes des différents panneaux, nous pouvons confirmer en un premier temps l'hétérogénéité horizontale de la carrière.

## V –Etude de la problématique :

Vu l'hétérogénéité de la carrière, l'échantillonnage représente une étape critique. Les éléments présents dans la matière première sont :  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{MgCO}_3$ . Le problème qui se pose " le pourcentage de ces éléments dans le sol varie chaque 60m", donc nous sommes dans l'obligation de suivre par des analyses les variations de ces composés afin de savoir la quantité d'ajout (oxyde de Fer, Alumine et Silice) nécessaire pour compenser cette carence.

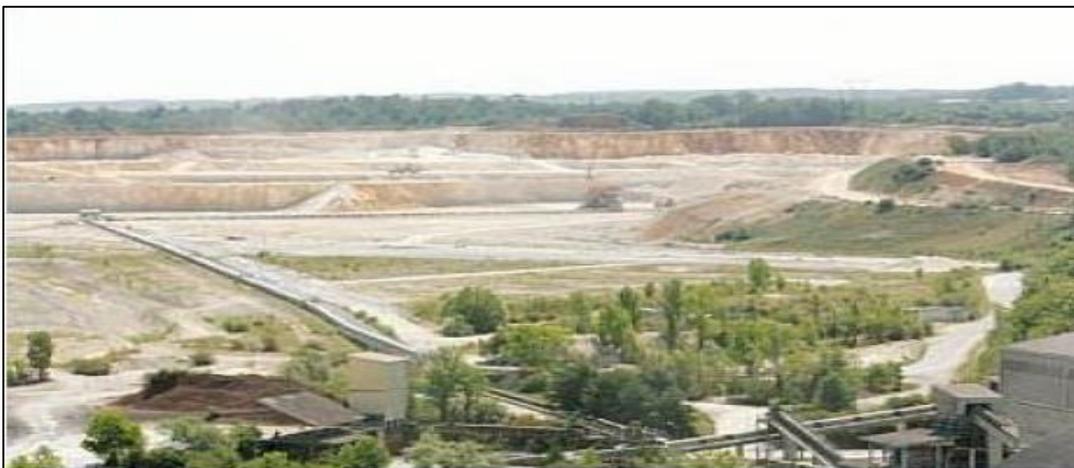
Les résultats obtenus suite à ces analyses doivent être représentative de la composition réellement présente dans le sol, pour confirmer ces moyennes LAFARGE a placée un deuxième point d'échantillonnage situé entre la carrière et les halls de pré-homogénéisation (**Tour d'échantillonnage**).

En outre un écart est toujours remarqué entre les résultats correspondants à ces deux points d'échantillonnage (TE et Carrière).

Sous le thème d'un contrôle de qualité, nous avons décidé de jouer le rôle d'audite en testant la régularité de la technique de prélèvement utilisée au niveau de la carrière.

### 1 -Présentation de la zone d'étude :

Notre étude est menée sur le **panneau 6**, situé dans la **Zone D Est**, sa longueur est de **60m**. On a fais des sondages que sur **30m**, avec une puissance d'exploitation qui est égale à **8m**.



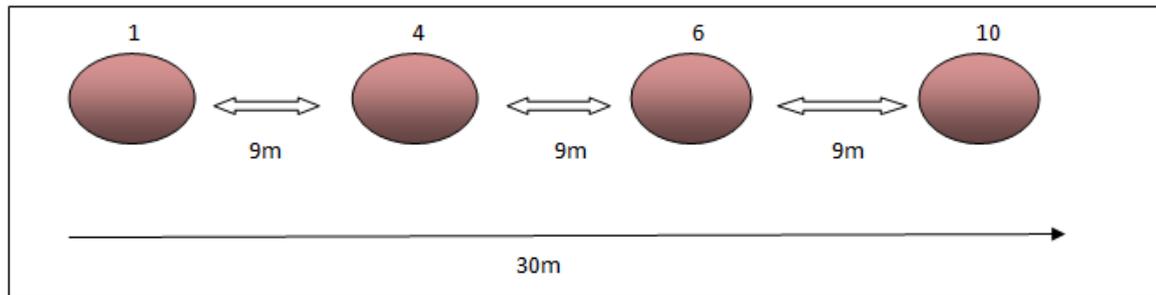
**Figure 14 : Carrière de LAFARGE Meknès**

## 2-la technique de prélèvement utilisée :

Lafarge Meknès admit comme méthode de prélèvement, la technique suivante :

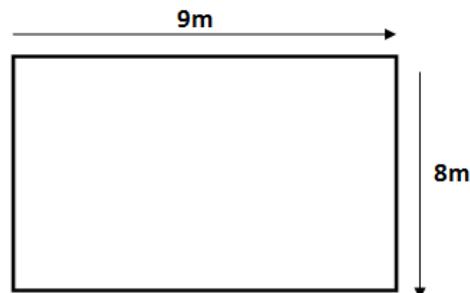
Pour un panneau de **30m**, il ne prélève des échantillons que de **4 trous de mines**, en respectant un espacement de **9m** (**espacement** : distance entre deux trous successives).

La figure suivante illustre la méthode d'échantillonnage utilisée :



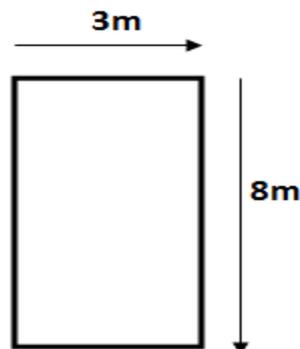
**Figure 15 : méthode de prélèvements utilisée**

La maille sur laquelle la société travaille est :



**Maille** : quadrilatère formé par la succession de deux trous de mines et leurs projections sur le front, c'est la grandeur caractéristique du plan de tire.

Pour connaître le degré de précision de cette technique nous avons décidé de se lancer dans



une étude ou nous avons proposé la prise d'échantillon des trous espacés de **3m**.

Nous avons pris le relève de mettre en application la maille suivante :

Donc pour un panneau de **30m** on aura **10 trous**. Après forassions on prendra des échantillons de tous les trous.

Nous avons donné l'appellation **panneaux** aux trous **1,2.....10**, et **Bis panneaux** pour les trous **1, 4, 7, 10**.

### 3- Echantillonnage et préparation des Cuttings :

**a-Décapage** : Le décapage est un procédé qui consiste à éliminer une couche de matière déposée sur la surface d'une autre matière.

**b-Forassions** : La forassions est la première étape de la chaîne cinématique dans la carrière de Meknès C'est une opération qui 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 suivant la maille que nous avons déjà fixée comme le montre la figure suivante.

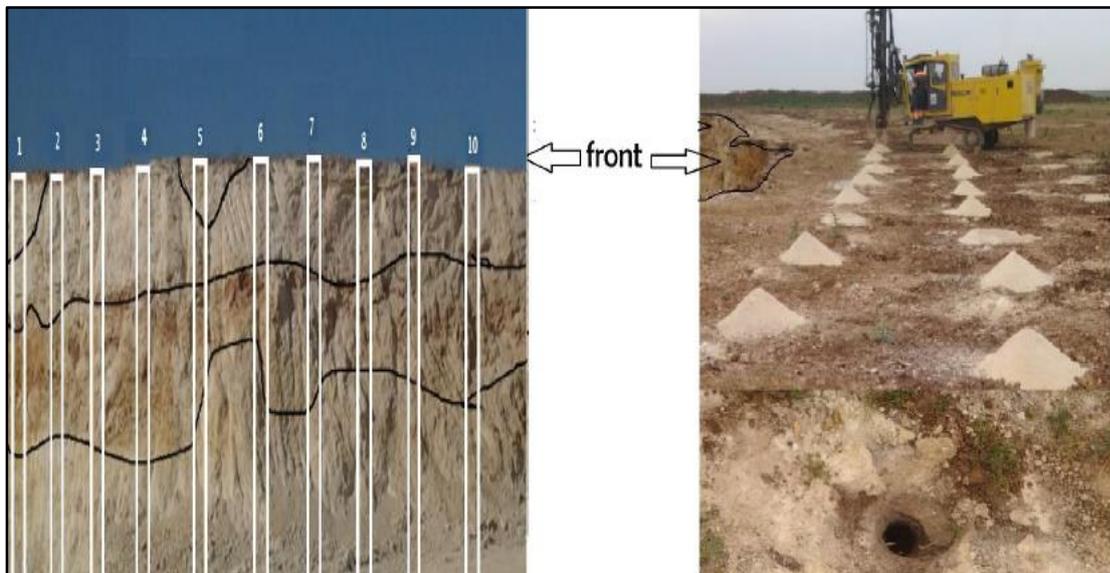


Figure 16 : Forassions et réalisation des trous de mines

Cette opération est assurée par une machine hydraulique (sondeuse), qui permettra l'aspiration de la matière fine dans un sac et la matière grossière dans un autre sac qui seront par suite mélangés selon la figure suivante.



**Figure 17 : Récupération des matières fines**

Le lieu où est mélangée la matière extraite doit être sain pour éviter toutes contaminations.

Le mélange obtenu est volumineux il doit être ramené à la dimension d'un échantillon de laboratoire, théoriquement chaque particule ou portions de la substance doit avoir une chance de faire partie de l'échantillon. Le mélange est en premier temps empilé et séparé en quatre. On retient les deux quart opposés et on jette les autres.

La matière obtenue sera par suite renversée dans un diviseur qui doit être bien nettoyé pour éviter le risque tous risques de contamination.



**Figure 18 : quartage**



**Figure 19 : Diviseur**

Après obtention de l'échantillon il est mis dans un sac en plastique accompagné par son nom, le numéro, la date, la zone, le panneau, puis il est envoyé au laboratoire pour qu'il soit préparé puis analysé.

#### 4- Analyse au laboratoire :

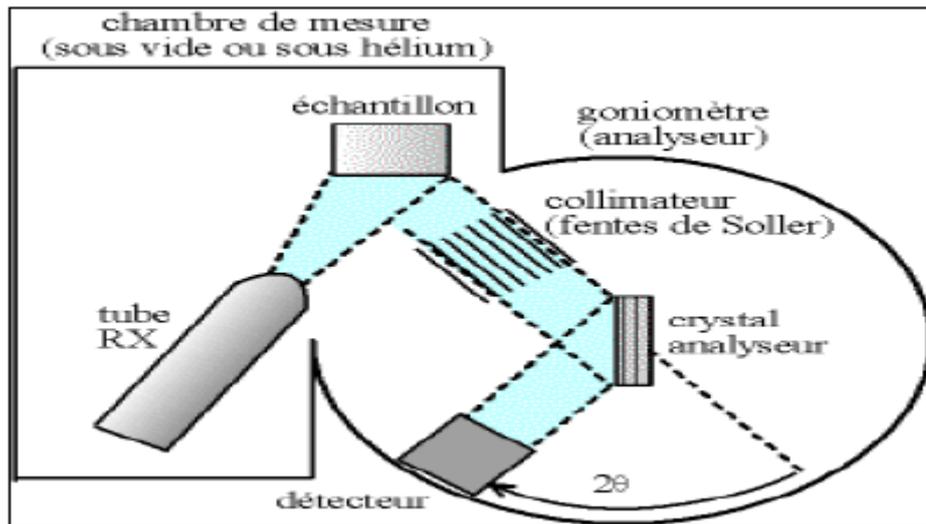
LAFARGE Ciments, Usine de Meknès est dotée d'un laboratoire possédant tous les équipements nécessaires à la réalisation des contrôles depuis la réception des matières premières jusqu'à l'expédition du produit fini.

➤ **Les échantillons seront analysés par Fluorescence X.**

L'usine dispose de deux spectromètres de fluorescence X : BRUKER S8 TIGER et OXFORD MDX 1080 .I

##### a-Principe de la Fluorescence X :

Méthode d'analyse chimique, utilisant les propriétés physique de la matière (fluorescence de rayon X). Son principe de fonctionnement est illustré dans la figure suivante :



**Figure 20 : schéma représentant le principe de la fluorescence X**

La fluorescence Rayon X est une interaction entre le rayon X primaire et les différentes couches électroniques de l'atome, les électrons sont excités et migrent vers une couche électronique supérieure. En revenant à l'état initial il y a émission d'un rayonnement spécifique à l'élément. L'intensité du rayonnement secondaire est proportionnelle à la concentration de l'élément.

Elle permet l'analyse simultanée des éléments suivants :  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{SO}_3$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  et  $\text{Na}_2\text{O}$ . 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.

## **b-Matériel :**

- Pastille
- Machine de fluorescence X (Bruker)
- Système de détection relié à la machine (ordinateur)

## **c-Mode opératoire :**

### **Préparation de pastille :**

- Après homogénéisation et quartage de l'échantillon.
- Prendre des prise d'essais des échantillons qui seront par suite calcinés dans un four.
- Peser 15g des prises d'essais.
- Broyer pendant 3min dans un broyeur à disque, après avoir ajouter deux comprimés Hezrog.
- Peser 6g de la matière broyée pour la confection de la pastille.
- Remplir doucement l'anneau et faire étaler la matière sur la totalité de la surface.
- Presser à 20 tonnes (réglage de la presse actuelle).

Figure qui représente la pastille après sa compression :



**Figure 21 : Pastille**

- Nettoyer le fond de la pastille avec le pinceau pour éviter la pollution de l'appareil FX.
- Nous avons mit la pastille dans l'appareil de fluorescence X, les résultats seront affichés sur l'ordinateur.

Le détecteur de l'appareil FX permet de mesurer les trois indices permettant de caractériser la matière première, le cru pré- dosé et le cru dosé :

### Indice de saturation en chaux (LSF) :

Ce module exprime le rapport entre la chaux présente dans le mélange et la quantité de chaux qui peut être liée dans le clinker. Le standard de chaux permet de connaître le comportement du mélange à la cuisson et de prévoir la qualité du ciment. Plus le standard de chaux est élevé, plus les résistances du ciment le seront aussi.

L'indice de saturation en chaux est donné par la formule suivante :

$$\text{LSF} = \frac{\text{C}}{2,8\text{S} + 1,65\text{A} + 0,35\text{F}}$$

Sachant que:

C = % massique en CaO; S= % massique en SiO<sub>2</sub> ; A= % massique en Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; F=% massique en Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

### Indice silicique :

L'indice silicique est donné par la formule suivante :

$$\text{MS} = \frac{\text{S}}{\text{A} + \text{F}}$$

En général : 2,4 ↔ MS<3,2 ;

- Une valeur élevée correspond à une valeur élevée de silice au détriment des agents fondants.
- Une valeur faible provoque un croûtage excessif dans la zone de clinkérisation et nuit à la bonne marche du four.

### Indice Alumino-Ferrique :

L'alumine est consommée en premier pour la formation de C<sub>4</sub>AF. C<sub>3</sub>A est formé avec le reste de A.

S'il y a plus de moles de F que de A, il ne restera pas assez de A pour former du C<sub>3</sub>A, c'est le cas si A/F=0,64.

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

Le module alumino ferrique est donné par la formule suivante :

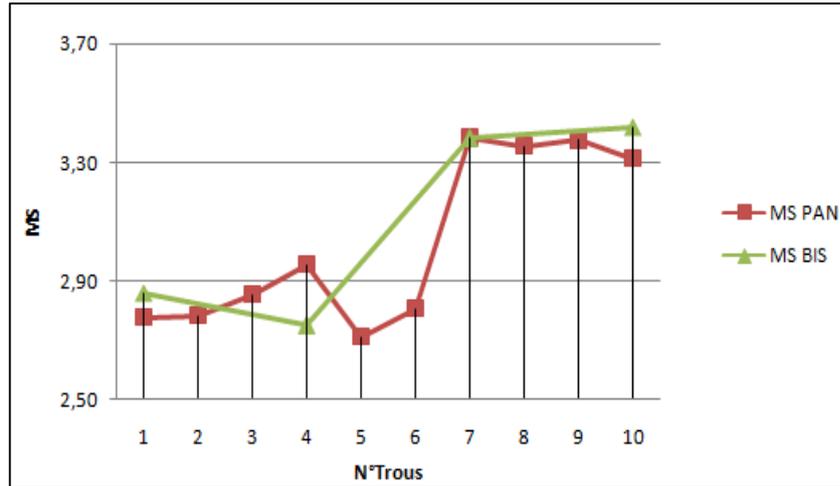
$$\text{A/F} = \% \text{Al}_2\text{O}_3 / \% \text{Fe}_2\text{O}_3$$

## Chapitre IV: Résultats et discussion

Nous allons présenter dans cette partie les résultats d'analyse (LSF, MS, A/F) pour les Panneaux et Bis panneaux sous forme des graphes.

### 1-Module MS :

La figure suivante représente la variation du module MS au niveau des trous des Pan et des BIS :



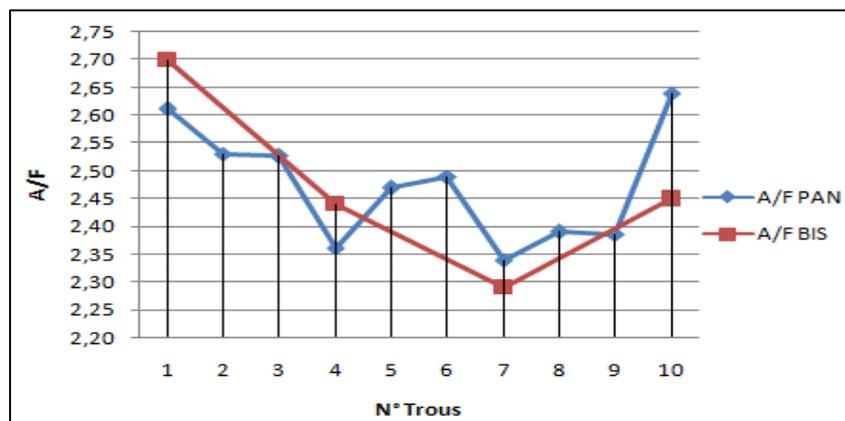
**Figure 22 : variation du module MS en fonction des N° des trous pour les Pan et les Bis.**

Nous avons remarqué :

- Variation du module au niveau des différents trous.
- La silice est présente en grande quantité par rapport aux éléments fondants dans les trous 7, 8...10

### 2-Module alumino ferrique :

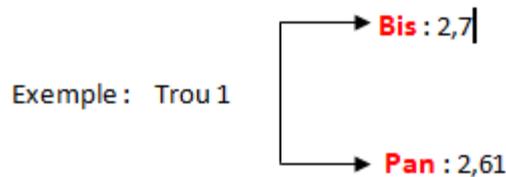
La figure suivante représente la variation du module A/F au niveau des trous des Pan et des BIS :



**Figure 23 : Variation du module A/F en fonction des N° des trous pour les Pan et les Bis.**

D'après le graphe on a remarqué :

- Diminution extrême des valeurs du module A/F remarquée au niveau de la courbe des Bis (du trou 1 au trou 7), en revanche elle est absente dans la courbe des panneaux.
- Un écart est bien détecté pour les résultats correspondant à un même trou.



### 3-Indice de saturation en chaux :

La figure suivante représente la variation du module LSF au niveau des trous des Pan et des BIS

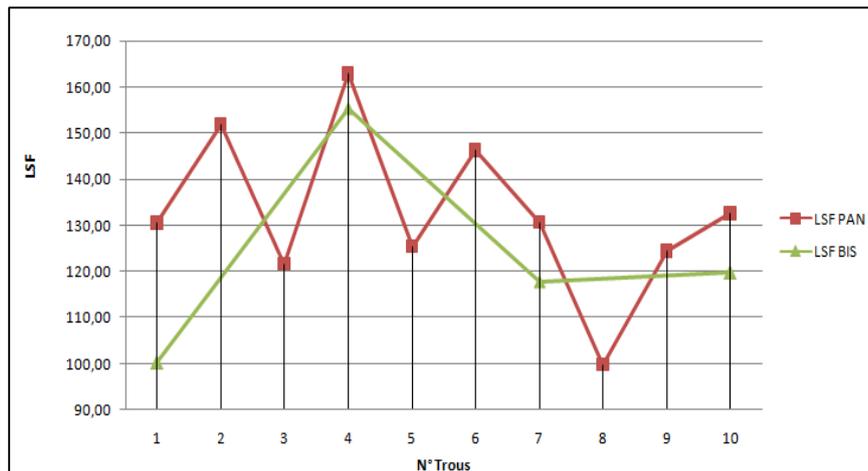
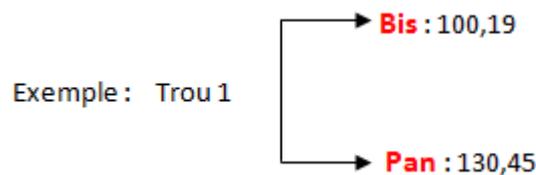


Figure 24 : variation du module LSF en fonction des N° des trous pour les Pan et les Bis.

Nous avons remarqué

- Variation du module LSF d'un trou à l'autre
- La déclinaison est très constatée dans la courbe des Bis que dans la courbe des Pan.
- Différence remarquable entre les résultats d'analyses obtenues pour un même trou.



La différence des modules au niveau des trous du panneau elle ne peut que confirmer et assurer l'hétérogénéité de la carrière.

Les différences détectées au niveau des valeurs qui correspondent à un même trou doivent impérativement être analysés afin de savoir l'origine de cette anomalie c'est pour cela on s'est lancé dans la recherche des causes qui sont en relation avec cette effet en utilisant l'outil qualité Diagramme Ishikawa qui a pour rôle :

- Analyser les défauts et remonter aux causes.
- Classer les causes en familles des 5M (Méthode, Matériels, Milieu, Main d'œuvre, Matière).

#### 4-Identification des causes :

### Diagramme Ishikawa

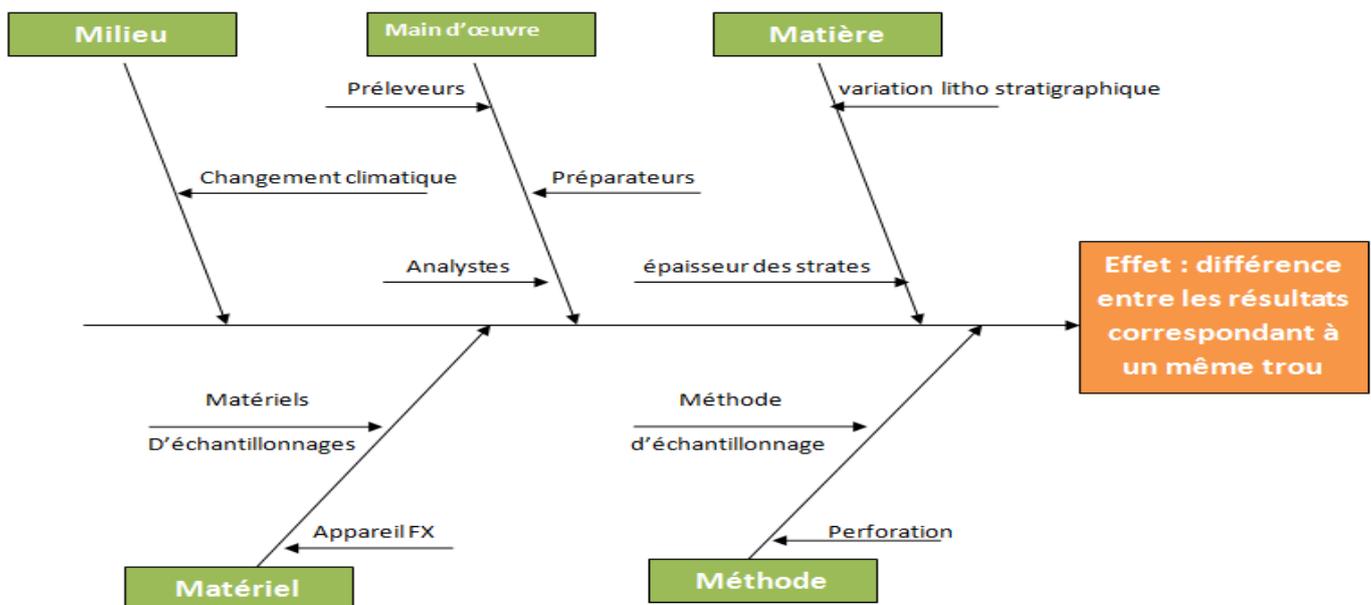


Figure 25 : Diagramme Ishikawa

#### 5-Analyse des causes :

##### Milieu :

L'extraction de la matière première est effectuée à ciel ouvert. Une pluie, un vent abondant, peuvent conduire à la contamination ou la perte d'une quantité bien considérable de l'échantillon. Dans notre cas, nous avons effectué un prélèvement dans un bon climat.

### Matière :

L'hétérogénéité de la carrière est déjà confirmée précédemment, la composition chimique du sol varie en passant d'une couche à l'autre. Cela exige un bon traitement de l'échantillon avant son analyse afin de dévier les problèmes qui peuvent être due à cette cause.

### Matériels :

L'appareil de FX est très précis, de graves erreurs ne peuvent être engendrées que par une mauvaise préparation de la pastille. Pour que tous les éléments aient la chance d'être analysés la granulométrie de ces derniers doit être très faible ainsi que la surface de contact doit être très compacte. Cela ne peut être assuré que par la bonne préparation des pastilles.

Figure qui montre l'effet de taille des particules sur les analyses :

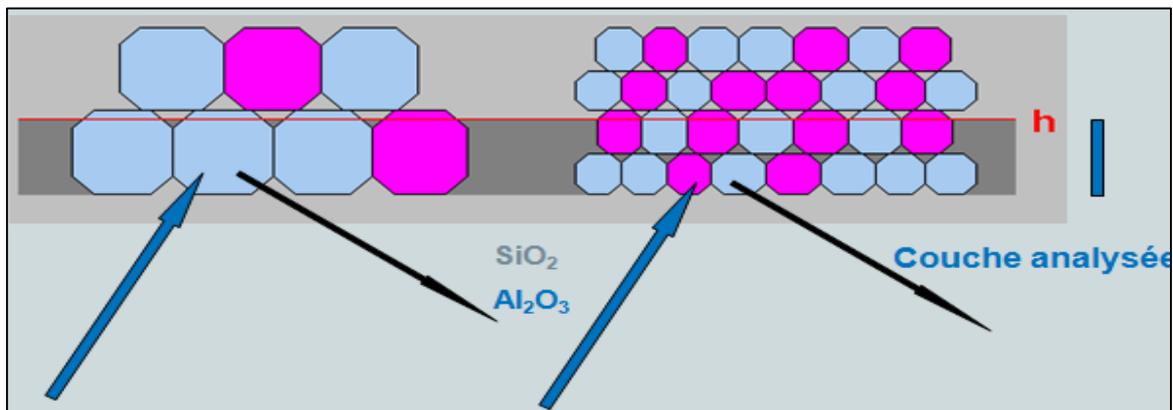


Figure 26 : Effet de taille des grains des particules

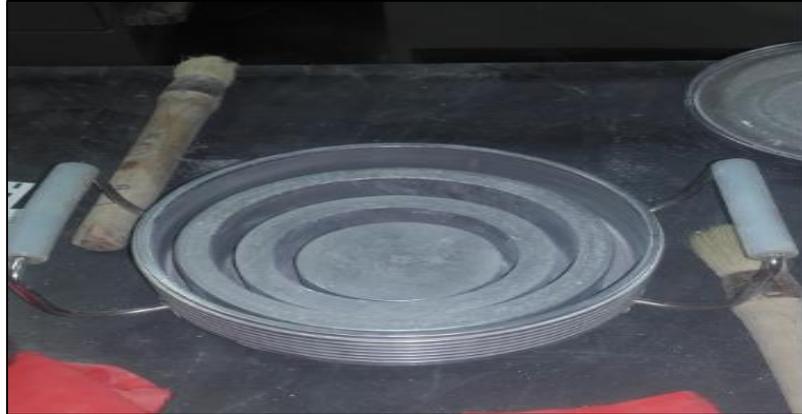
**h** : Profondeur de pénétration.

### Main d'œuvre :

**Analyste** : Si on avait recouru à un système maîtrisé où les valeurs de LSF, MS, A/F sont bien fixés, une variation brusque des résultats pourrait être attribuée à un problème entraînant soudainement à chaque fois une nouvelle erreur, ceci se produit lorsqu'on recrute un nouveau analyste qui n'a pas assez d'expérience, mais lors du traitement d'une matière vierge les modules ne suivent aucune norme cela est d'une part, d'une autre part 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 préétablie.

**Réceptionniste (technicien préparateur)** : ce sont les techniciens préparateurs des pastilles

L'échantillon après séchage, il est broyé dans un broyeur à disque. Pour soustraire tous risques de contamination, les anneaux du disque sont nettoyés avec un pinceau comme le montre la figure suivante.



**Figure 27 : broyeur à disque**

Les techniciens portent des gants pour éviter le contact direct avec la pastille après sa compression, ses références sont notés sur la face qui ne sera pas en contact direct avec les rayons X lors des analyses pour éviter tous phénomènes d'interférence.

#### **Agent préleveur :**

Vu l'hétérogénéité de la carrière, un échantillonnage statistique est nécessaire, il exige le prélèvement de portion de toutes les particules des substances à analyser. Après perforation les matières grossières sont récupérées d'une part et les matières fines d'une autre part, ils ont été mélangés en procédant telle que la technique d'homogénéisation **cône et couronne**.

La quantité de matière extraite pour un seul trou est égale à **132,25 kg**.

Les deux tas de matière ont été disposée en premier temps sous forme d'un cône qui a été percé au milieu à l'aide d'une pelle de façon à construire un gâteau sous forme de couronne, les bordures seront par suite injectées au milieu c'est la même technique utilisée pour mélanger le sable et le ciment afin de former le mortier.

Le mélange obtenu va subir un quartage puis il sera renversé dans un diviseur. En outre le quartage et le diviseur ne permettent que la réduction de la quantité de matière extraite. De la nous avons conclu que l'écart trouvé au niveau des valeurs correspondant à même trou ne peut être due que à l'homogénéisation qui a été mal effectuée.

- **Afin de réduire cette écart et augmenter le degré de précision, il faut refaire l'opération précédemment décrite à plusieurs reprise.**

## 6-Etude statistique :

Le carbonate de calcium est l'élément le plus important dans la production cimentière, il doit être en quantité importante afin qu'il puisse combiner avec tous les éléments précédemment cités pour former :  $C_4AF$ ,  $C_3A$ ,  $C_2S$ ,  $C_3S$ . Dans nos carrières il est présent en très grandes quantités dans quelques panneaux, mais il est en phase d'épuisement dans d'autres panneaux.

La quantité nécessaire de la chaux pour la cuisson ne peut être maîtrisée que par le module LSF. Lorsque le facteur de saturation en chaux est supérieur à 100 %, il y a un déséquilibre entre les constituants. Toute la chaux ne peut être saturée et reste sous la forme de chaux non combinée ou chaux libre. La chaux libre est un paramètre essentiel pour juger de la qualité et le degré de cuisson du clinker. Des clinkers bien cuits résultant d'un cru bien dosé et de bonne granulométrie présentent des teneurs inférieures à 2 %.

Afin de dévoiler la méthode d'échantillonnage la plus fiable (1/3 ou 10/10), nous avons effectué un suivi statistique qui concerne en particulier le module **LSF** vu l'importance primordiale qu'il a, en calculant **la moyenne pour les Bis et les Pan, l'écart type**.

La moyenne et l'écart type des bis et pan sont présentés dans le tableau ci-dessous :

N° des trous	LSF PAN (10/10)	LSF Bis (1/3)
1	130,45	100,19
2	151,80	
3	121,55	
4	130,45	155,37
5	125,43	
6	146,21	
7	130,59	117,77
8	99,73	
9	124,34	
10	132,55	119,67
<b>Moyenne</b>	132,54	123,25
<b>Ecart type</b>	14,47	23,13

**Tableau 1 : Résultats du modules LSF, moyenne et écart type.**

Les résultats ont montré que l'écart type des bis est inférieure à celui des Pan.

### ➤ D'après les notions statistiques

“Plus les résultats sont précis, plus les points relatifs à ces données sont serrés autour de la moyenne et plus l'écart type est petit”.

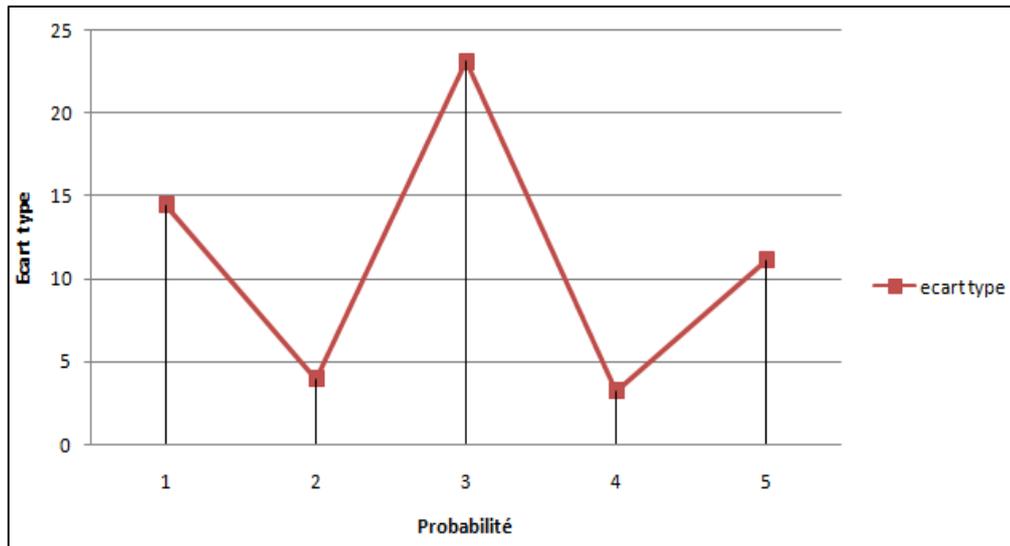
Cela nous a permis de poser la question suivante : **Cette théorie est elle valable dans le cas d'échantillonnage d'une matière hétérogène ?**

Afin de tolérer l'application de cette règle nous avons calculé l'écart type et la moyenne pour différentes probabilités **10/10, 1/2, 1/3, 1/4, 1/5**.

Probabilités	% Massique									
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	LSF	Ecart type
<b>10/10</b>	<b>11,19</b>	<b>2,66</b>	<b>1,08</b>	<b>45,90</b>	<b>0,84</b>	<b>0,07</b>	<b>0,06</b>	<b>0,04</b>	<b>132,54</b>	<b>14,47</b>
<b>1/2</b>	<b>11,47</b>	<b>2,73</b>	<b>1,10</b>	<b>45,58</b>	<b>0,85</b>	<b>0,06</b>	<b>0,06</b>	<b>0,04</b>	<b>126,47</b>	<b>3,95</b>
<b>1/3</b>	<b>11,92</b>	<b>2,70</b>	<b>1,09</b>	<b>45,35</b>	<b>0,81</b>	<b>0,06</b>	<b>0,06</b>	<b>0,04</b>	<b>123,64</b>	<b>23,13</b>
<b>1/4</b>	<b>11,40</b>	<b>2,78</b>	<b>1,11</b>	<b>45,51</b>	<b>11,40</b>	<b>0,07</b>	<b>0,06</b>	<b>0,04</b>	<b>126,70</b>	<b>3,25</b>
<b>1/5</b>	<b>10,58</b>	<b>2,72</b>	<b>1,07</b>	<b>46,27</b>	<b>0,84</b>	<b>0,07</b>	<b>0,06</b>	<b>0,04</b>	<b>138,33</b>	<b>11,14</b>

**Tableau 2 : Résultats du module LSF et écart type pour différentes probabilités**

Représentation graphique de l'écart type en fonction des probabilités :



**Figure 28 : Présentations graphique de la variation d'écart type en fonction des différentes probabilités.**

L'écart type correspondant à la probabilité de 10/10 est plus grand que celui de 1/2 même chose pour la probabilité 1/4 et 1/5.

Donc la règle générale d'écart type ne peut guère être appliquée au niveau de ce panneau il ne peut que nous assurer que l'hétérogénéité n'est pas seulement horizontale mais elle aussi verticale. Sachant que les couches peuvent représenter des inclinaisons internes non apparentes sur le front donc l'augmentation de la probabilité ne peut que céder plus de chance aux couches pauvres ou riches en calcaire de dévier la vraie moyenne recherchée et représentative de la composition réellement présente dans le sol.

## 7-Point de contrôle :

Au cours de la fabrication du ciment, nous avons 7 points d'échantillonnage : carrière, Tour d'échantillonnage, sortie broyeur cru, alimentation du four, Clinker, broyeur cuit, expédition. Dans cette partie nous allons s'intéresser à la tour d'échantillonnage sachant qu'elle représente un point de contrôle qui affirme ou dissimule les résultats d'analyses obtenu au niveau de la carrière.

### a- Caractérisation de la Tour d'Echantillonnage :

Avant de passer à la pré-homogénéisation, vient le rôle de la tour d'échantillonnage comme le montre le schéma suivant.

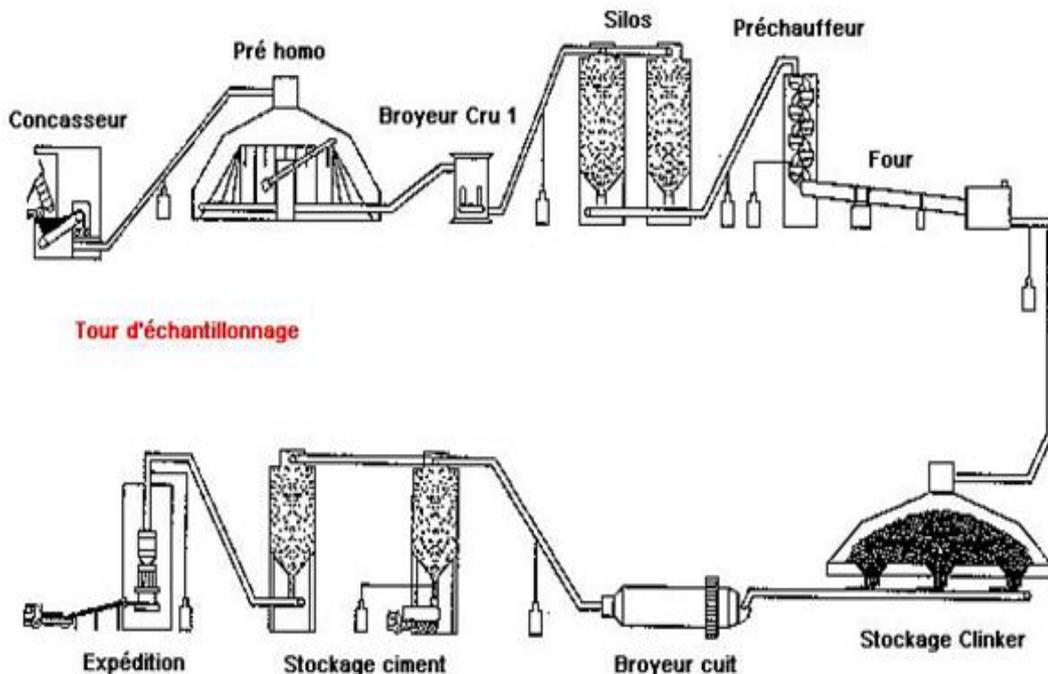


Figure 29 : Emplacement de la TE

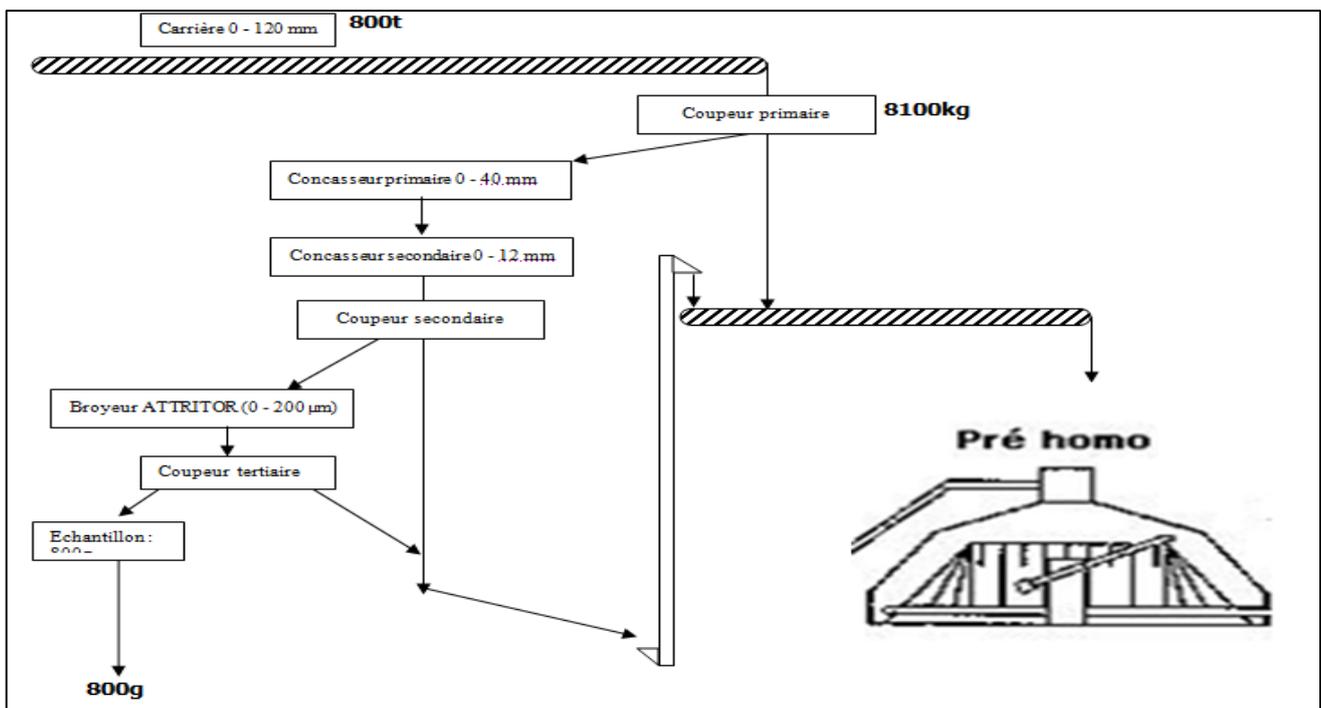
La tour d'échantillonnage sert à préparer un échantillon de la matière en provenance de la carrière, représentatif et analysable.

**b-Description :**

L'usine de Meknès dispose d'une TE à 4 étages qui prélève un échantillon d'un flux de matière issue de la carrière à un débit précis. Elle est constituée de 3 coupeurs, appelés aussi cuillères de prélèvement ou préleveurs servant à dévier une partie du flux vers le circuit de la tour. Initialement le COUPEUR(1) colmaté sur environ 1/4 surface de prélèvement, situé au-dessus du concasseur primaire prend une quantité égale à 8100Kg avec une vitesse égale à 0,3 m/s il ne coupe que 70% du flux de matière. La quantité prélevée ainsi que la granulométrie diminue pour chaque coupeur.

Au dessus du préleveur secondaire se trouve un broyeur sécheur alimenté par des gaz chauds provenant du four et qui facilite le broyage, le produit obtenu passe à l'aide d'un ventilateur dans un filtre pour séparer la matière des gaz.

Figure qui montre le mode de fonctionnement de la tour :



**Figure 30 : Mode du fonctionnement de la TE**

- Cette tour permet d'obtenir en continu un échantillon de 800 g de matière prélevée à la sortie du coupeur tertiaire pour chaque lot de 810 tonnes. Le reste continue son trajet vers la pré-homogénéisation. Une fois récupéré l'échantillon est analysé par méthode de FX.

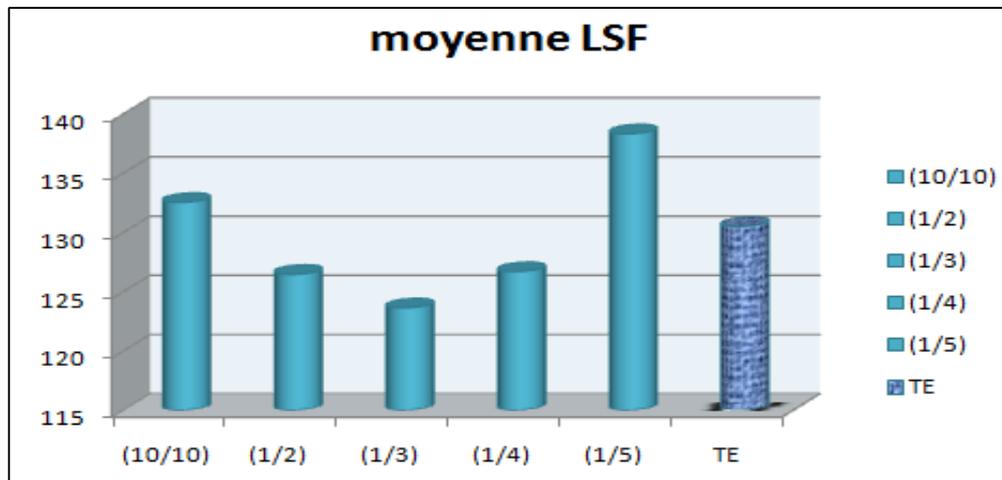
**8-Résultats de la TE et comparaison**

Les résultats du module LSF pour les différentes probabilités et la TE sont présent dans le tableau ci-dessous :

Probabilités	10/10	1/2	1/3	1/4	1/5	TE
Moyenne LSF	132,54	126,47	123,64	126,70	138,33	130,51

**Tableau 3 : Résultats du modules LSF pour différentes probabilités et la TE**

Représentation graphique du module LSF pour différentes probabilités et la TE :



**Figure 31 : Présentation graphique des variations du module LSF Cuttings & TE**

- D'après le graphe la moyenne correspondante à la probabilité **10/10** est la plus proche des résultats trouvée au niveau de la tour d'échantillonnage.
- En revanche l'écart entre les différentes valeurs et le référencier n'est que de **2 à 8** degré maximum cela ne peut guère nier l'application des différentes probabilités pour la préparation de Cuttings.

#### b-Conclusion :

Vu les erreurs d'échantillonnages déjà détectées, l'augmentation du nombre de prélèvement causera l'augmentation du pourcentage d'erreur et la diminution du degré de précision.

Après avoir tester la fiabilité de la méthode d'échantillonnage à plusieurs reprise et avec différentes probabilités on opte pour la méthode de prélèvement avec probabilité de **1/5** voyant qu'elle est proche de la moyenne de la TE et ne permet d'effectuer que deux trous de mine au lieu de **10** ou bien **5**, son application permettra la diminution du risque d'erreur et la réduction du cout d'instrumentation, le salaire du personnel et le temps ...

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

## 9-Validation de la méthode d'échantillonnage à probabilité 1/5 :

Afin de valider cette méthode nous avons travaillé sur six panneaux différents en réalisant un échantillonnage avec une probabilité qui est égale à 1/5.

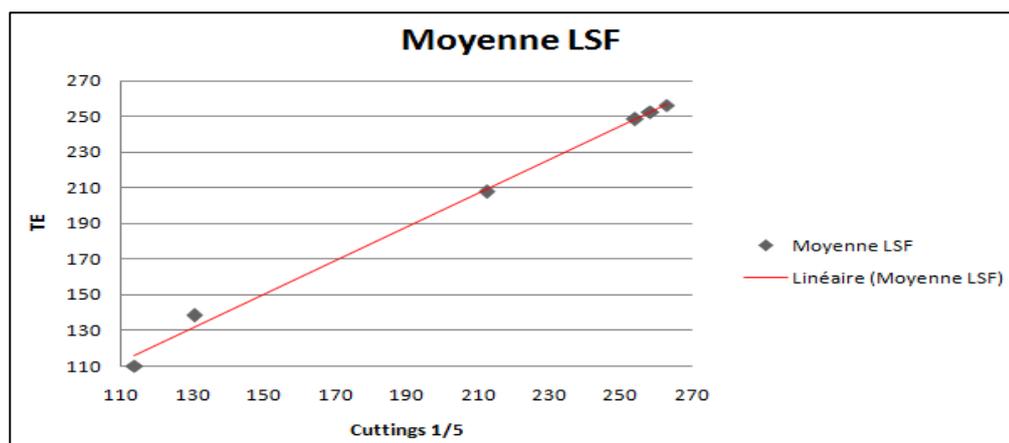
Les résultats obtenus ont été comparés avec les résultats de la tour d'échantillonnage et ils sont présents dans le tableau ci dessous :

N° PAN	Moyenne de la LSF pour les trous 1 et 6	Résultats de la TE
P6	138,33	130,51
P4	110,09	113,88
P10	252,43	258,43
P8	207,65	212,65
P5	256,33	263
P9	252,43	258,43

**Tableau 3 : Résultats des moyennes LSF pour plusieurs Panneaux & les résultats de la TE qui leurs correspondent**

### -Etude statistique :

Pour juger le degré de corrélation entre les résultats nous avons décidé de tracer une droite de régression qui illustre la moyenne en fonction des résultats de la tour d'échantillonnage.



**Figure 32 : Représentation graphique de la corrélation du module LSF**

L'équation de la droite est la suivante :  $Y=0,944X + 8,184$  son coefficient de corrélation est égale  $R^2=0,99$  sachant que ce dernier représente l'ajustement des points par rapport à la droite.

D'où on peut dire 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:

Vu l'hétérogénéité de la carrière, la composition des échantillons varie selon l'emplacement des prélèvements et la façon avec laquelle ces échantillons sont obtenus, manipulés et/ou traités.

Un grand nombre d'intervenants participent à la procédure d'échantillonnage, d'où il est très importants de documenter la manière avec laquelle l'échantillon a été traité, et les personnes qui l'ont manipulé depuis le site de prélèvement jusqu'à son arrivée au laboratoire et ce, pour remonter aux causes profondes en cas d'anomalies.

Le présent travail a été consacré à l'étude géologique de la carrière par la méthode de la Fluorescence X qui est considérée une technique fiable et efficace pour la caractérisation des Cuttings.

Grâce à cette étude, nous avons pu connaître les effets d'une méthode et les effets de la variation des trois modules (LSF, A/F, MS), ainsi que les facteurs influençant l'écart entre les échantillons des Cuttings et l'échantillon de la tour d'échantillonnage.

Dans le but d'avoir une moyenne représentative de la composition réellement présente dans le sol, nous avons proposé la réalisation des Cuttings avec une probabilité égale à 1/5. Cette méthode d'échantillonnage a été bien validée suite aux études effectuées.

## Références bibliographiques:

- Documents «Résultats d'analyse de Cuttings » LAFARGE Meknès
- Document du processus de fabrication de l'usine LAFARGE Meknès
- Dossier Technique Version Juin 2012