



Table des matières

Introduction.....	1
-------------------	---

----- Première partie ----

Présentation et histoire du groupe

I- Secteur cimentier au Maroc.....	3
II- LAFARGE Usine de Meknès.....	4
1- Situation géographique.....	5
2- Organisme et services.....	6
a- Organigramme.....	6
b- Les services.....	7

----- Deuxième partie ----

Processus de fabrication du ciment : lignes de production

I- Ciment : composition, nature et caractérisation.....	9
1- Qu'est-ce que le ciment.....	10
2- Composition et caractérisation.....	10
3- Types du ciment.....	10
II- Étapes de fabrication.....	11
1. Carrière.....	11
2. Concassage.....	11
3. Échantillonnage.....	12
4. Pré-homogénéisation.....	12
5. Broyage cru.....	13
6. Homogénéisation.....	13
7. Cuisson.....	13
8. Broyage cuit.....	17
9. Stockage et ensachage.....	17

----- Troisième partie ----

Problématique : Justification du dysfonctionnement de la tour d'échantillonnage

Problématique.....	19
I- Points d'échantillonnages.....	19
1- Points de contrôles.....	20
2- Rapports LSF, MS et A/F.....	20
3- Tour d'échantillonnage.....	21
a- Objectifs.....	21



b- Description de la TE.....	21
4- Sortie broyeur cru (BC).....	21
III- Étude d'une population.....	24
1- Calcul de la population 2013-2015.....	24
a- Résultats des analyses du tas.....	25
b- Résultats de la population.....	25
IV- Problèmes et remédiations.....	26
1- Problèmes.....	26
a- Propositions.....	26
b- vérifications et contrôles.....	26
c- Propositions.....	26
d- Vérifications et contrôles.....	26
2- Solutions à proposer.....	28
Conclusion.....	29

Listes des tableaux et des figures :

Liste des tableaux :

Tableau 1 : Ajouts de Correction.....	10
Tableau 2 : débits et fractions des ajouts.....	24
Tableau 3 : résultats des analyses de l'échantillon issu de la TE et celui à la sortie BC.....	25

Listes des figures :

Fig 1 : répartitions géographique des cimenteries au niveau national.....	3
Fig 2 : situation géographique du groupe cimentier LAFARGE.....	5
Fig 3 : organigramme.....	6
Fig 4 : chaîne de transformation du calcaire et d'argile au ciment.....	9
Fig 5 : vu de la carrière.....	11
Fig 6 : concassage.....	11
Fig 7 : tas en constructions (A) et tas en reprise (B).....	12
Fig 8 : silo d'homogénéisation.....	13
Fig 9 : entrée flux matière, entrée gaz.....	14
Fig 10: four rotatif.....	14
Fig 11: aspect du clinker.....	15
Fig 12: étapes de caisson en résumé.....	16
Fig 13 : formes de stockage.....	17
Fig 14 : points d'échantillonnage.....	20
Fig 15 : Tour d'échantillonnage.....	22
Fig 16 : échantillon final.....	22
Fig 17 : ajouts auxiliaires (minerai de fer, bauxite et schiste).....	23
Fig 18 : $LSF=f(N^{\circ}tas)$ de toute la population.....	25
Fig 19 : variation du débit d'entrée TE en fonction du temps.....	27

LEXIQUE ET ABREVIATIONS :

Mots	définitions
TE	tour d'échantillonnage.
BC	broyage cru.
PH	pré-homogénéisation.
C₃S	Alite ou silicate tricalcique (Ca_3SiO_5), constituant principale du clinker.
C₂S	Bélite ou silicate bicalcique (Ca_2SiO_4), il est un composant du clinker.
C₃A	Célite ou aluminat tricalcique ($\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6$)
C₄AF	Félite ou aluminoferrite tétracalcique ($\text{Ca}_4\text{Al}_2\text{Fe}_2\text{O}_{10}$), composant principal ayant but noircir le ciment.
A/F	Module aluminoferrique qui règle la proportion massique entre C ₃ A et C ₄ AF.
CPJ	ciment portland avec ajouts de constituants secondaires.
MS	Module silicique .



Introduction

Dernièrement le Maroc a connu une forte expansion, de l'immobilier. Ainsi, les besoins en matériaux de construction ont été amplifiés, notamment en ciment. C'est pourquoi la cimenterie au Maroc représente une partie importante du tissu industriel national.

Ce travail a été réalisé au sein de l'Entreprise LAFARGE de Meknès. Cette entreprise a intégré des enjeux économiques dans son management, en optimisant son processus de fabrication pour produire le ciment qui est un produit de base élaboré. Il s'agit d'un procédé de fabrication très consommateur d'énergie électrique, et surtout exigeant la fiabilité du produit fini et de sa qualité.

Dans cet esprit vient la notion de l'échantillonnage. Son importance est souvent sous-estimée dans les opérations industrielles. En effet, lors de la fabrication d'un produit, on cherche à ce que ce dernier réponde à un certain cahier des charges ou à des spécifications de taille, de composition chimique, de finesse, de performances diverses. En cimenterie, sortie broyeur, on échantillonne de la farine et on l'analyse chimiquement et en terme de finesse. Il est clair que, si l'échantillon n'est pas représentative, la correction qui va être calculée sera inadéquate et peut conduire à une dérive importante. Sur la base des résultats, le lot complet sera accepté ou soumis à un traitement spécial, ou rejeté dans les cas extrêmes.

Ce manuscrit sera réparti en trois parties : la première concerne une présentation de la société, la deuxième : le processus de fabrication du ciment et la troisième partie traitera le dysfonctionnement relevé de la tour de l'échantillonnage qui fait partie des points d'échantillonnage.



Première partie



Présentation et histoire du groupe

I- Secteur cimentier au MAROC :

L'industrie des matériaux de construction, dont le ciment constitue la matière de base, détient une place importante dans le secteur des industries de transformation.

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

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



Figure 1 : répartition géographique des cimenteries au niveau national

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



Les cimenteries marocaines génèrent un chiffre d'affaire annuel de 15 milliards Dhs. Elles constituent un acteur majeur dans l'économie du Royaume. La moitié du ciment marocain est consommé par 16% du territoire.

Les principaux acteurs du ciment marocain sont au nombre de cinq :

- Lafarge Maroc (groupe français Lafarge),
- Ciments du Maroc (groupe italien Italcementi),
- Holcim Maroc (groupe suisse Holcim),
- Asment Temara (groupe portugais Cimpor), et le dernier né, 100 % marocain, les Ciments de l'Atlas (CIMAT).

II- LAFARGE ; usine de Meknès :

LAFARGE est un groupe français de matériaux de construction, créé en 1833, leader mondial dans son secteur, suivi par Holcim. Il est présent dans quatre activités principales : béton et granulats, ciment, plâtre, toiture, et dans 75 pays. Son chiffre d'affaires, en 2006, s'est élevé à 16,9 milliards d'euros, dont 47 % dans le ciment, 33 % dans le béton et les granulats, 11 % dans le plâtre et 9 % dans les toitures. Le groupe emploie environ 90 000 personnes dans le monde.

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

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

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

1- Situation géographique :

Situé à 8 Km au nord- est de la ville Meknès, la société LAFARGE Ciment usine de Meknès a été créée en 1950, elle est la deuxième cimenterie, en terme de capacité, du groupe LAFARGE MAROC. Elle occupe une position majeure grâce à sa situation géographique.

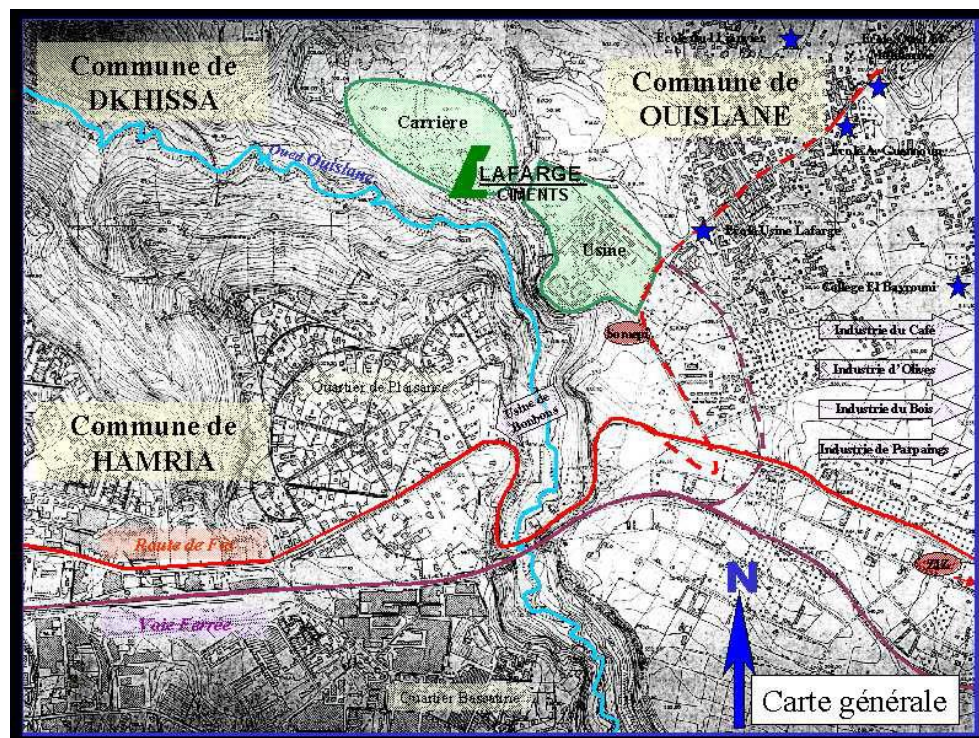


Figure 2 : situation géographique du groupe cimentier LAFARGE

2- Organisme et services :

Pour schématiser les liens fonctionnels, organisationnels et hiérarchiques, on se sert d'un organigramme simplifiant cette représentation.

a. Organigramme :

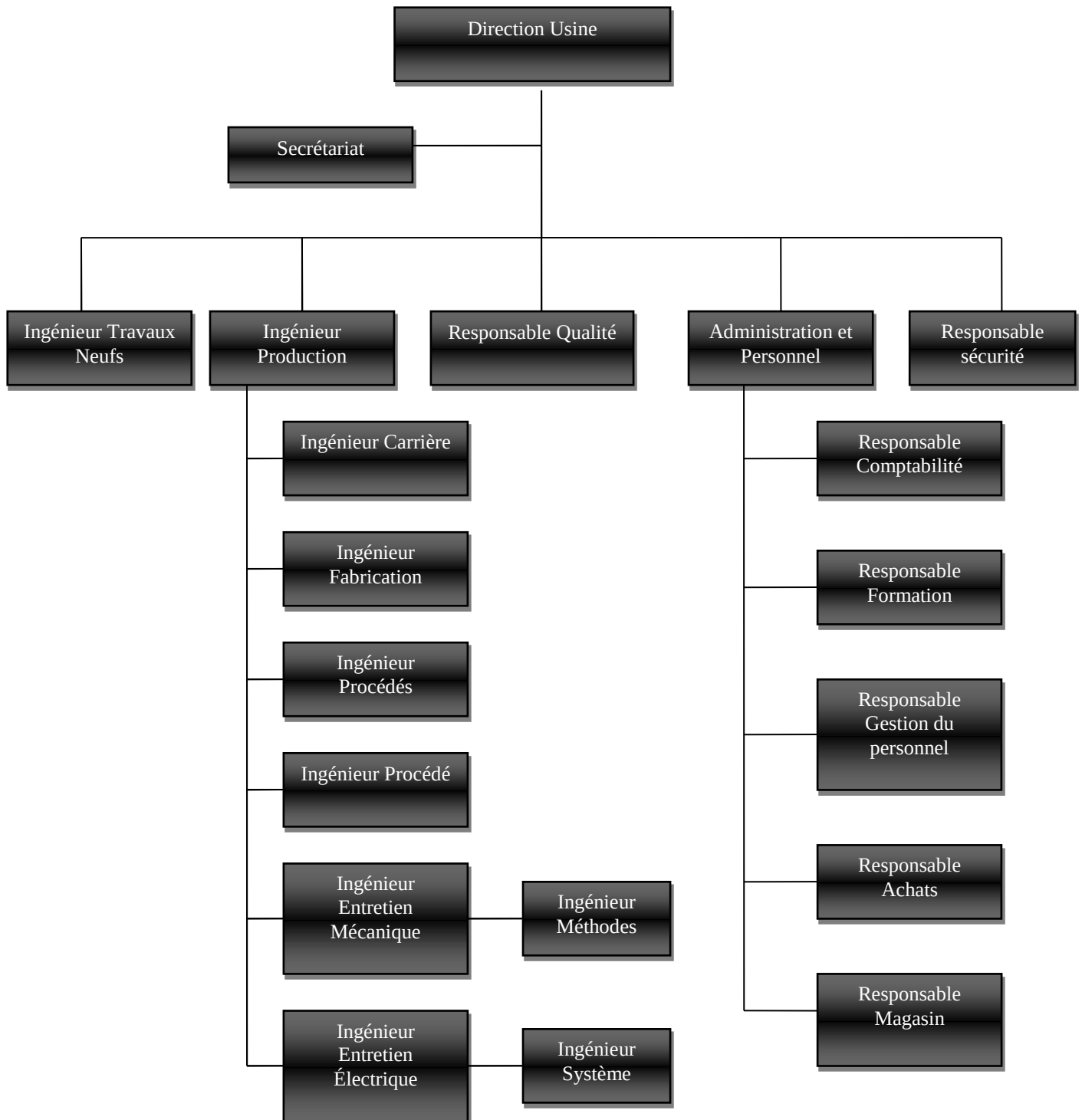


Figure 3 : Organigramme



b. Les services :

En partant de l'extraction des matières premières jusqu'à l'obtention du produit fini. Le processus de fabrication nécessite l'existence de plusieurs services s'occupant chacun d'une ou plusieurs tâches.

- ✓ Service carrière ;
- ✓ Service fabrication et procédé ;
- ✓ Service bureau méthodes ;
- ✓ Service maintenance mécanique ;
- ✓ Service maintenance électrique ;
- ✓ Service contrôle qualité ;
- ✓ Service Sécurité ;
- ✓ Service Finance - Gestion ;
- ✓ Service Ressources Humaines ;
- ✓ Service Formation ;

Deuxième partie

Processus de fabrication du ciment :



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

I -Ciment : composition, nature et caractérisation :

1- Qu'est-ce que le ciment :

Le ciment étant le constituant de base des bétons et mortiers est une poudre artificielle possédant des propriétés de liant hydraulique. A la manière d'une « colle », il permet d'agglomérer entre les grains de sable et les granulats. Le ciment a évolué au fil des décennies, pour devenir, avec LAFARGE, un produit technologique. Cette Poudre minérale utilisé dans différents domaines, principalement comme matériau de construction est fabriqué à partir de la cuisson, le mélange et le broyage de différentes matières premières.

Le mélange du calcaire, l'argile et des additifs tels que les minerais de fer et le sable est appelée « cru », ce dernier sera broyé et porté à haute température ($\sim 1450^{\circ}\text{C}$) dans un four cylindrique. Les transformations physico-chimiques provoquent la création d'un produit appelé clinker. Par la suite l'ajout de différents éléments tels que le gypse, la pouzzolane et le calcaire nous donne le ciment.



Figure 4 : chaîne de transformation du calcaire et d'argile au ciment

2- Composition et caractéristiques :

Toutes les cimenteries s'approvisionnent en cinq matières premières : Le calcaire, le schiste, le sable, le gypse, et le fer. Les principales matières premières utilisées pour la fabrication du clinker sont : le calcaire (80%) et le schiste (13 - 14%).

Afin d'obtenir un produit conforme aux normes, des matières de correction sont ajoutées pour conférer à la farine les propriétés et la granulométrie souhaitées. Parmi ces matières on cite : les minerais de fer (1,8%), le sable (4%), le gypse et le Fer.

Tableau 1 : ajouts de correction ;

Nom	Symbole chimique	Notation Cimentière	Masse molaire
Oxyde de Calcium ou chaux vive	CaO	C	56
Oxyde de Silice	SiO ₂	S	60
Oxyde d'Aluminium ou Alumine	Al ₂ O ₃	A	102
Oxyde de Fer	Fe ₂ O ₃	F	160

3- Types du ciment:

Les différents types de ciment que le groupe cimentier LAFARGE s'en occupe de produire sont :

***CPJ35** : Ciment Portland avec Ajouts, il doit contenir un pourcentage minimum en clinker de 65%, le reste étant constitué d'ajouts comme le calcaire et le gypse.

Propriétés spécifiques : excellente ouvrabilité et facilité de mise en œuvre des mortiers, bonne résistance.

***CPJ45** : Ciment Portland avec Ajouts, il doit contenir un pourcentage minimum en clinker de 72%, le reste étant constitué d'ajouts comme le calcaire et le gypse.

Propriétés spécifiques : durcissement normal, bonne résistance à court et long terme contre les fissures de surface.

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

Propriétés spécifiques : durcissement rapide, résistance élevée, excellence ouvrabilité.

II- Étapes de fabrication :

1. Carrière :

LAFARGE Ciments dispose de carrières fournissant deux matières premières : le **calcaire** est très riche en carbonate de calcium CaCO_3 et le **schiste** contient des teneurs importantes de silice Si. L'extraction de ces roches se fait dans ces carrières par abattage à l'explosif qui consiste à fragmenter le massif exploité à l'aide d'explosifs en procédant par : forage, la mise en place de l'explosif, et le sautage.



Figure 5 : vue de la carrière

2. concassage :

Pour réduire des dimensions de la matière première, et donc faciliter le stockage, on passe par une opération de concassage qui consiste à soumettre les matières premières à des efforts d'impact, d'attrition et de cisaillement.

Les matières premières, après concassage, sont transportées à l'usine par un tapis roulant ou elles sont stockées et homogénéisées.

À noter bien que l'usine LAFARGE de Meknès dispose de deux concasseurs à marteaux consommant une puissance de 1.21MW.

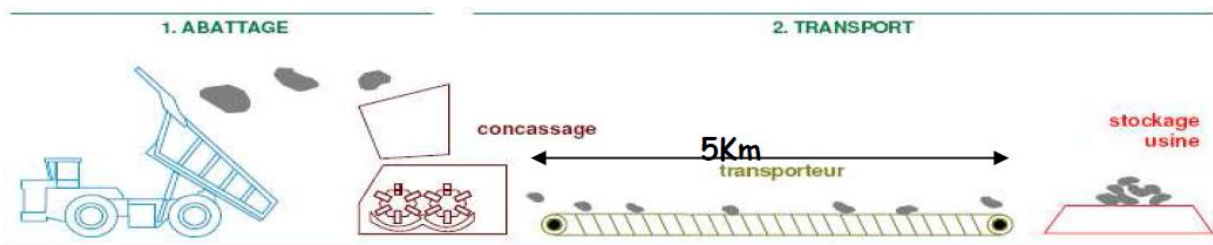


Figure 6: concassage

3. échantillonnage :

C'est une étape essentielle entre le concassage et l'opération de broyage. Elle a pour but de déterminer et de réaliser un pré-dosage des quatre composants de base du cru : chaux, silice, alumine et fer, qui assurera la composition correcte et donc la qualité du produit fini.

À partir d'analyses de routine effectuées sur des échantillons prélevés périodiquement sur le circuit de matière provenant des concasseurs, le laboratoire de l'usine précise les quantités de chaque composant et définit ainsi la constitution de pré-homogénéisation.

4. Pré-homogénéisation :

Consiste à mélanger les différents composants de matière première ainsi que les ajouts qui entrent dans la composition du ciment, et reconstituer en usine une carrière artificielle d'un cru à peu près dosé et prêt à être broyé tout en respectant les pourcentages de matière relative à chaque composant.

Le tas est constitué par des couches de matières premières à l'aide d'un manège tournant avec deux navettes.

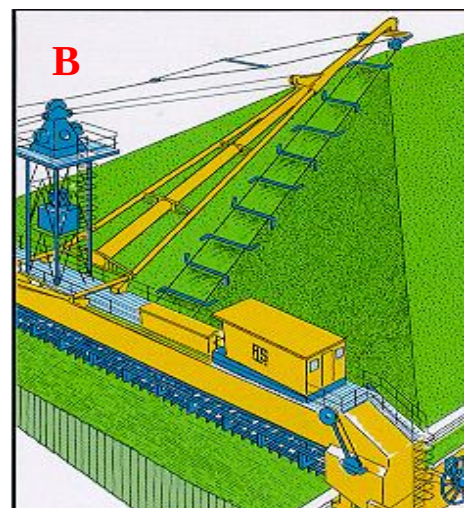
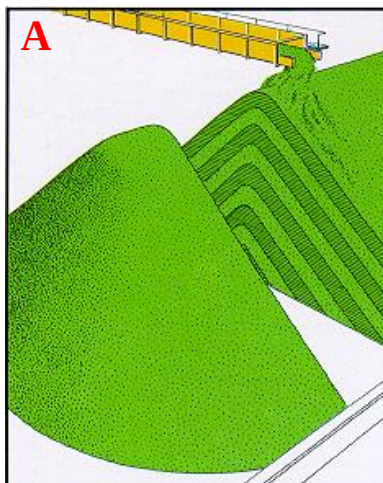


Figure 7: tas en construction (A) et tas en reprise (B)

La Pré-homogénéisation consiste à poser les matériaux en couches successives sous formes de cordons par un jeteur animé d'un mouvement rotatif. La reprise est faite par un grappeur. Le parc pré-homogénéisation est une carrière plus homogène que la carrière d'origine.

5. Broyage cru :

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

6. Homogénéisation :

Le cru provenant des broyeurs est transformé en poudre en très grande finesse appelé farine et il est ensuite acheminé par des aéroglesseurs pour être stocké dans les silos d'homogénéisation.

Cette farine doit présenter une composition chimique aussi constante que possible. Cette opération a pour objectif de réaliser un mélange final de la farine pour gommer les dernières dérives chimiques encore présentes.



Figure 8 : silo d'homogénéisation

7. Cuisson :

La cuisson du cru est l'opération fondamentale dans la préparation du ciment. Elle recouvre toutes les étapes chimiques de la farine crue jusqu'à la formation du clinker. C'est une opération fondamentale de la préparation du ciment. Elle s'effectue dans deux fours rotatifs munis d'un préchauffeur à 4 étages de cyclones et d'une pré-calcination.

Les combustibles utilisés :

- *combustible solide : coke de pétrole + les pneus déchiquetés + farines animales.
- *combustible liquide : fuel, huiles usagées.

- *Tour de préchauffage :*

Étape incontournable dans les installations de la cuisson moderne. Il s'agit d'un échangeur à chaleur à voie sèche constitué de quatre étages. Elle permet d'effectuer un échange thermique à contre-courant entre les gaz chauds 850°C sortant du four et la farine froide (50 à 60°C). Les gaz parcourent l'édifice de base en haut alors que la matière parcourt en sens inverse comme suit :



Figure 9 : entrée flux de matière, entrée gaz

● *Le four rotatif :*



Figure 10 : Four rotatif

Lié avec la tour via la boîte à fumée, il s'agit d'une grande enceinte circulaire rotative dans laquelle on injecte le combustible sous pression pour produire une flamme. Le four est constitué d'une virole en acier et protégé par un revêtement intérieur en matériaux réfractaires.

Le four rotatif est un échangeur de chaleur à contre-courant dans lequel la flamme et les gaz récupérés du refroidisseur cèdent leur chaleur à la farine qui arrive en sens inverse.

● *Étapes de la cuisson :*

Évaporation de l'eau : aussi dite déshydratation (c'est-à-dire le départ de l'eau libre et l'eau combinée) et se fait entre 250°C et 750°C. Les granules du cru humide passent dans une grille mobile qui les fait progresser jusqu'au four. Elle est divisée en deux chambres : la première pour le séchage et la deuxième pour la décarbonatation.

La décarbonatation : Le cru étant séché, il s'échauffe sans grande réaction chimique jusqu'à une température de l'ordre de 950 °C où intervient la décarbonatation de la phase calcaire :

$$\text{CaCO}_3 \rightleftharpoons \text{CaO} + \text{CO}_2$$

De cette réaction endothermique résulte la formation de CaO naissante indispensable pour la formation des différentes phases du clinker, accompagnée d'un important dégagement gazeux de CO₂.

La clinkérisation : c'est une réaction qui se produit dans le four. Elle a lieu entre 1200 et 1500°C et elle donne naissance à une phase liquide formée de C₃A et C₄AF, et à des phases solides formée de C₂S et C₃S. L'alimentation en farine est située à l'extrémité opposée au brûleur. La rotation et l'inclinaison du four de 5° font progresser la matière.



Figure 11 : aspect du clinker

Le refroidissement : est assuré par 5 ventilateurs, l'air produit est insufflé sous les grilles par des chambres. Le refroidisseur est situé en aval du four, il est à grilles horizontales et a un triple rôle :

- ~ Assurer la trempe de clinker par un refroidisseur rapide ;
- ~ Refroidir le clinker qui sort du four ;
- ~ Récupérer le maximum de la chaleur contenue dans le clinker ;

Le profil thermique du refroidissement du clinker peut être représenté comme suit:

1450°C → 1250°C → 120°C → 20°C

À noter bien, que le clinker une fois sorti du four, tombe dans le refroidisseur pour subir une trempe rapide afin de figer les C3S et de les empêcher de se transformer en C2S, chose qui influe sur la qualité et la composition du clinker

Enfin, les poussières issues du processus (cyclones et électro filtres) sont réintroduites dans le circuit de fabrication du ciment.

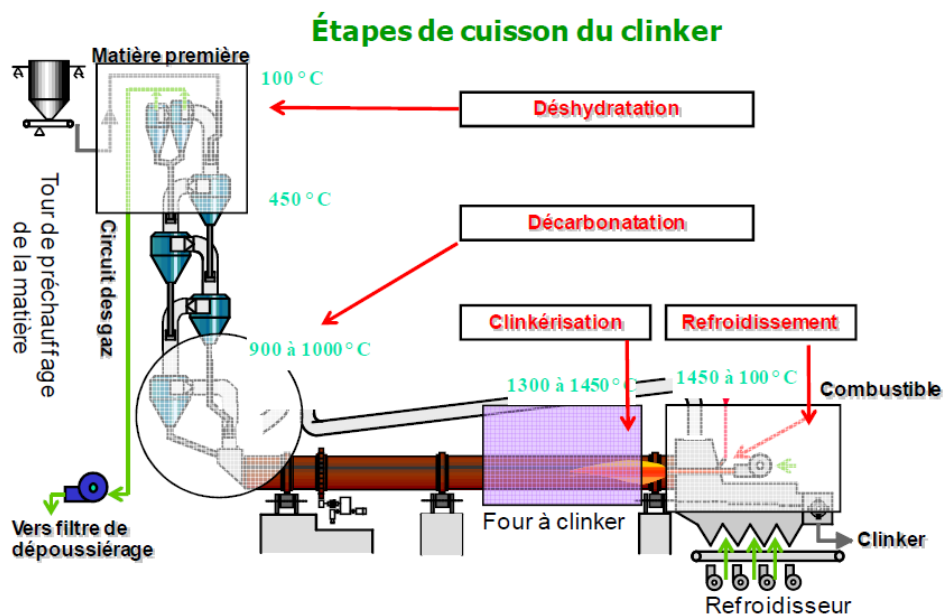
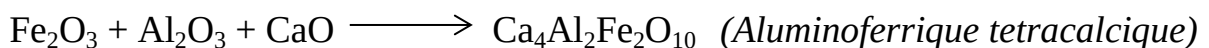


Figure 12 : étapes de cuisson en résumé

➤ Réactions intervenant dans le processus de Clinkérisation :

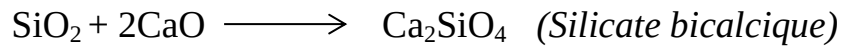
Le clinker est le résultat d'un ensemble de réactions physico-chimiques progressives :

Sous l'effet de la chaleur, on observe une séparation de l'argile en silice (SiO_2), en alumine (Al_2O_3) et en oxyde de fer (Fe_2O_3). À partir d'environ 1300°C, les réactions de clinkérisation se poursuivent :





Ces deux composés nouvellement formés constituent la phase liquide du mélange qui continue de progresser vers la partie la plus chaude du four, la silice SiO_2 et la chaux vive CaO restant se dissolvent dans cette phase et réagissent entre-elles selon la réaction suivante :



La réaction peut se poursuivre éventuellement s'il reste de l'oxyde de calcium CaO qui n'a pas encore réagit :



8. Broyage cuit :

Après refroidissement, les granules de clinker sont ensuite broyés avec addition de gypse. Cette addition a pour but de régulariser la prise du ciment, notamment de ceux qui contiennent des proportions importantes d'aluminate tricalcique. Le pourcentage du clinker permet de conférer au ciment des propriétés spécifiques correspondant aux différentes qualités du ciment (CPJ35, CPJ45, CPA55) . Le ciment fini est orienté vers les silos de stockage et de livraison.

9. stockage et ensachage :

Le ciment est expédié par des pompes à vis à l'aide des compresseurs d'air vers des silos de stockage du produit fini. LAFARGE dispose de 2 silos d'environ 5000Tonnes et 4 silos de 2000T chacun. La capacité de stockage totale est d'environ 18000 tonnes de ciment.



Figure 13 : formes de stockage



Troisième partie

Caractérisation de la tour d'échantillonnage



Problématique :

Au cours de cette partie, on s'intéressera à la tour d'échantillonnage, ses caractéristiques et son rôle primordial dans l'analyse et le contrôle qualité de l'échantillon avant qu'il passe à l'étape qui suit. Ce travail consiste à suivre les deux points d'échantillonnage, le premier à la tour d'échantillonnage et le 2^{ème} à la pré-homogénéisation ou plutôt à la sortie BC.

I-Points d'échantillonnage:

Comme il est indiqué dans la 2^{ème} partie, la fabrication du ciment nécessite un ensemble d'étapes enchainées.

Tout commence par la **carrière**, un espace très vaste d'une très grande surface d'où on extrait la matière première initialement riche en calcaire qui présente le constituant majeur : presque 80% plus d'autres composants.

Une fois extraite, la matière première contient des granulats de différentes tailles, elle se dirige vers un **concasseur** afin de réduire la taille de ces derniers jusqu'à l'obtention d'un produit prêt à être broyé. Avant de passer à la pré-homogénéisation, vient le rôle de la **tour d'échantillonnage** qui, elle aussi, présente un enchainement d'étapes successives permettant d'avoir enfin l'échantillon à analyser.

La **pré-homogénéisation** (PH), quant à elle, reconstitue au sein de l'usine une carrière artificielle plus homogène que la carrière d'origine. C'est un mode de stockage qui permet de construire un tas de matières pré-dosées et homogènes, il s'agit d'un mélange très intime de constituants : calcaire, argile et sable. Le cru est alors à peu près dosé et prêt à être broyé.

Arrivé au **broyeur**, le cru doit être dosé puis broyé. Le terme dosage signifie un ensemble d'ajouts qui se stockent dans 4 trémies différentes : mélange, schiste, bauxite et le minéral de fer. Suivant les pourcentages donnés par le laboratoire et piloté par le logiciel QMC, on mélange tout à travers des doseurs à bandes qui déversent tout sur un transporteur de masse. Le broyage commence et donc on obtient une farine prête à être cuite (formation du clinker).

1- Points de contrôle:

Au cours de la fabrication du ciment, on a 7 points d'échantillonnage : carrière, pré-homogénéisation, sortie broyeur cru, alimentation du four, Clinker, broyeur cuit, expédition. On s'intéresse par seulement deux points d'échantillonnage : TE et sortie BC.

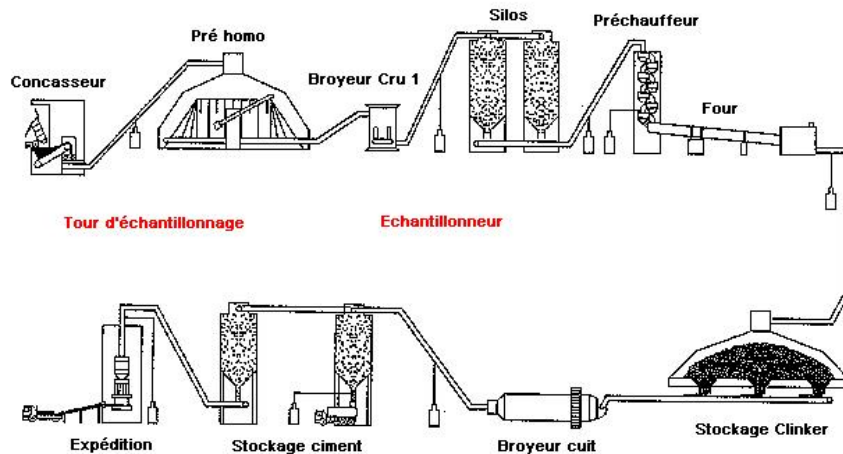


Figure 14 : point d'échantillonnage

Généralement l'analyse des échantillons issus de ces deux points d'échantillonnage n'est pas la même, on a des valeurs qui ne sont pas identiques et diminuent d'un point à l'autre.

Or, puisqu'on ne dispose pas d'un point d'échantillonnage à la pré-homogénéisation, on se sert du BC1 pour faciliter le calcul et donc avoir une composition prête à être analysée et comparée à celle de la TE.

2- Rapports LSF, MS et A/F:

Pour avoir une bonne composition chimique du cru dépendant de la composition chimique de chaque matière première et pour limiter les quantités des impuretés, on fait une optimisation de la composition chimique à l'aide de ces trois équations :

A/F : module aluminoferrique ; sa valeur caractérise la nature de la phase fondue contenant la presque totalité des deux oxydes : Fe_2O_3 et Al_2O_3 qui ont un effet de fluidifiant. Si ce rapport augmente, la viscosité de la phase fluide augmente, d'où on a une grande consommation d'énergie plus une difficulté de la cuisson. Ce module est calculé selon la formule suivante :

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

MS : module silicique ; il permet de régler la proportion de C_3S et C_2S par rapport aux C_3A et C_4AF (aluméno-ferrites). D'où on a :

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

LSF : teneur en chaux réellement présente par rapport à la chaux standard :

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

3- Tour d'échantillonnage:

a- Objectifs:

- ✎ Ajuster la composition chimique de l'échantillon en 4 composants : chaux (CaO), silice (SiO_2), alumine (Al_2O_3) et l'oxyde ferrique (Fe_2O_3).
- ✎ Maintenir le contrôle qualité de toutes les étapes du procédé et s'assurer la fiabilité de l'échantillon.
- ✎ Avoir un échantillon plus représentatif du lots complet.

b- Description de la TE :

On ne peut ni doser ni broyer le cru sans l'avoir analysé et ceci se fait dans la tour d'échantillonnage (TE).

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) situé au-dessus du concasseur primaire prend une quantité égale à 8100Kg. La quantité prélevée diminue pour chaque coupeur.

La TE contient aussi un broyeur alimenté par des gaz chauds provenant du four et qui facilitent le broyage, deux concasseurs à cylindre pour réduire la granulométrie de la matière échantillonnée et alors obtenir un cru plus fin que possible qui passe à l'aide d'un ventilateur par un filtre séparant la matière première des gaz. À la fin de cette opération on a un échantillon, sous forme de poudre, prêt à être analysé.

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 l'étape qui vient : la pré-homogénéisation.

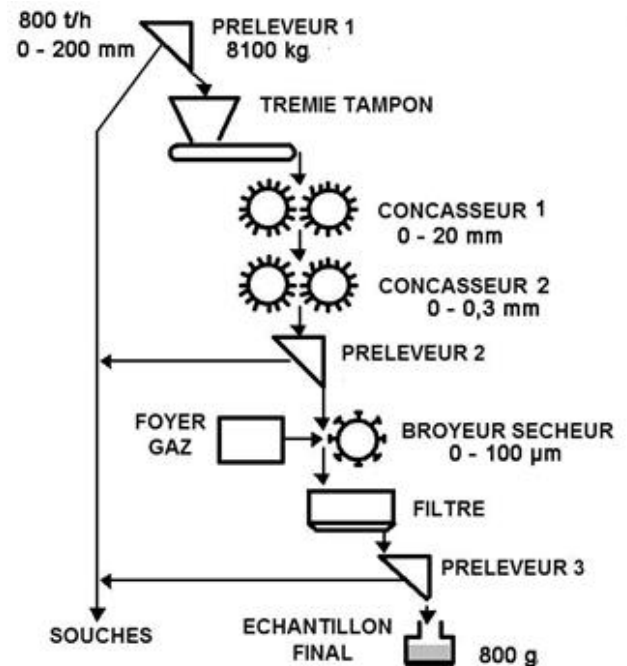


Figure 15 : tour d'échantillonnage



Emplacement
de
l'échantillon
final



Figure 16 : échantillon final

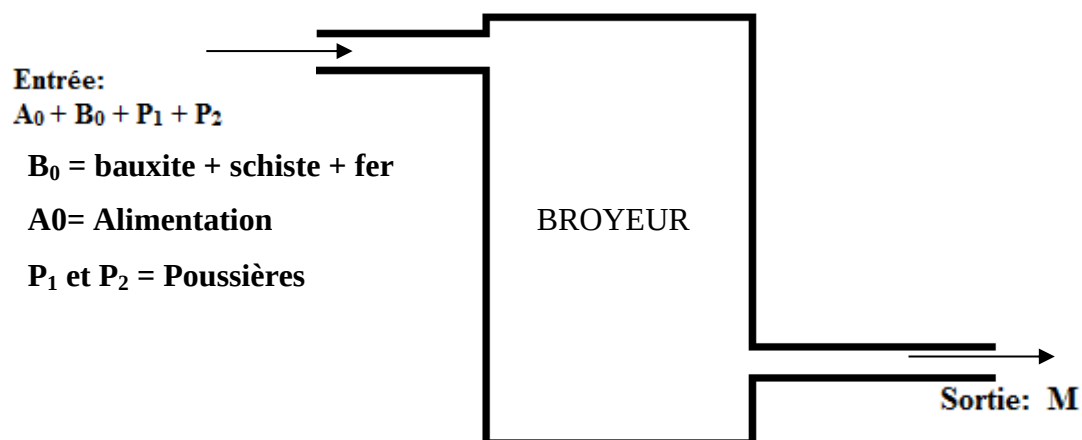
4- Sortie broyeur cru (BC) :

Le BC est alimenté par la matière première mélangée avec des ajouts auxiliaires dans le but d'avoir une poudre fine, et l'analyser avant qu'elle ne parte vers le four. Son utilisation comme un point d'échantillonnage est nécessaire pour faciliter le calcul.



Figure 17 : Ajouts auxiliaires (minerai de fer, bauxite et schiste)

Les poussières proviennent du four, c'est le mélange des gaz chauds et la matière première très fine, leur rôle est de sécher le cru pré-dosé avant qu'il ne soit broyé pour éviter tout colmatage pouvant subir au broyeur.



Bilan global :

$$\sum \text{entrée} = \sum \text{sortie}$$

C'est-à-dire ;

$$A_0 + B_0 + P_1 + P_2 = M$$

Bilan spécifique ;

$$A_0 X_{A0} + B_0 X_{B0} + P_1 X_{P1} + P_2 X_{P2} = M X_M$$

D'où ;

$$X_{A0} = \frac{M X_M - B_0 X_{B0} - P_1 X_{P1} - P_2 X_{P2}}{A_0}$$

Avec : X_{A0} : fraction d'alimentation.

X_{B0} : fraction des ajouts .

X_{P1} et X_{P2} : fraction d'alimentation en poussières.

III- Étude d'une population :

1- Calcul de la population 2013-2015:

On dispose d'une population 2013-2014-2015 (annexe :1) regroupant un ensemble de tas, on en prélève un échantillon représentatif du lot complet. Les valeurs dans ce tableau sont le résultat d'un ensemble d'analyses et d'études au sein du laboratoire:

Tableau 2 : débits et fractions des ajouts

	Débit (t/h)	%Al ₂ O ₃	%SiO ₂	%Fe ₂ O ₃	%CaO
PH (A ₀)	168,84	X _{Al2O3}	X _{SiO2}	X _{Fe2O3}	X _{CaO}
Schiste	2,86	19,76	56,57	7,22	1,28
Bauxite	0,22	50,11	10,44	15,09	3,85
M. de Fer	2,37	5,9	39,26	44	1,17
Poussières 1 (P ₁)	6,26	2,91	8,32	1,53	46,45
Poussières 2 (P ₂)	19,75	2,91	8,32	1,53	46,45
Sortie (M)	196,06	3,34	13,28	1,94	43,73

Pour pouvoir calculer les 3 modules, il faut d'abord déterminer les % des composants ; il s'agit d'une simple application numérique :

○ Pour le AL₂O₃ :

$$\%Al_2O_3 = \frac{168,84 \cdot 3,34 - (2,86 \cdot 19,76 + 0,22 \cdot 50,11 + 2,37 \cdot 5,9) - 6,26 \cdot 2,91 - 19,75 \cdot 2,91}{196,06}$$

$$\%Al_2O_3 = 2,07\%$$

○ Pour le SiO₂ :

$$\%SiO_2 = \frac{168,84 \cdot 13,28 - (56,57 \cdot 2,86 + 0,22 \cdot 10,44 + 2,37 \cdot 39,26) - 6,26 \cdot 8,32 - 19,75 \cdot 8,32}{196,06}$$

$$\%SiO_2 = 9,02\%$$

○ Pour le Fe_2O_3 :

$$\% \text{Fe}_2\text{O}_3 = \frac{168,84 \cdot 1,94 - (7,22 \cdot 2,86 + 0,22 \cdot 15,09 + 2,37 \cdot 44) - 6,26 \cdot 1,53 - 19,75 \cdot 1,53}{196,06}$$

$$\% \text{Fe}_2\text{O}_3 = 0,81\%$$

○ Pour le CaO :

$$\% \text{CaO} = \frac{168,84 \cdot 43,73 - (1,28 \cdot 2,86 + 0,22 \cdot 3,85 + 2,37 \cdot 1,17) - 6,26 \cdot 46,45 - 19,75 \cdot 46,45}{196,06}$$

$$\% \text{CaO} = 31,46\%$$

a- Résultats des analyses du tas:

Les résultats obtenus sont classés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 3: résultats des analyses de l'échantillon issu de la TE et celui à la sortie BC1

<i>TE</i>			<i>Sortie BC1</i>		
LSF	MS	A/F	LSF	MS	A/F
115,66	3,04	2,28	109,71	3,13	2,55

b- Résultats de la population :

On fait de même pour tous les tas de la population. une fois on a toutes les valeurs, on trace en fonction du N°(tas) les variations LSF et on obtient les résultats suivants :

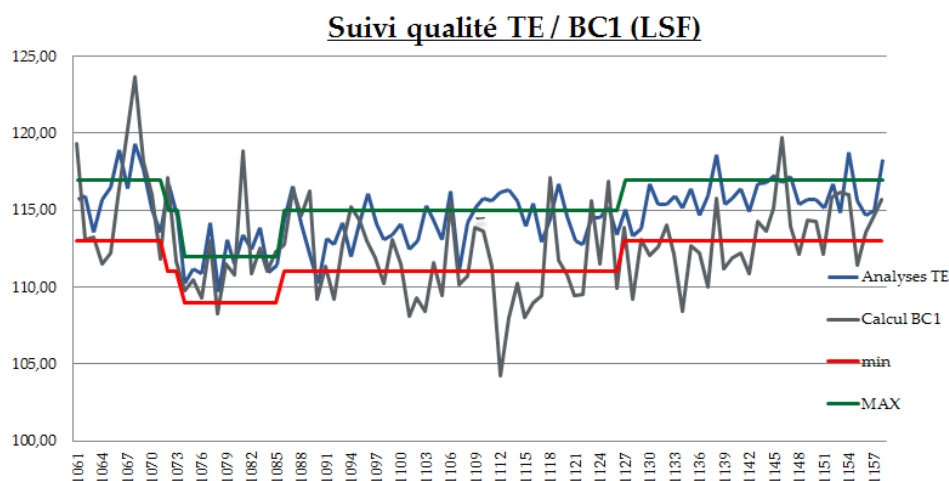


Figure 18 : LSF =f(N°TAS) de toute la population

INTERPRÉTATIONS :

Si on compare les résultats de la TE et ceux obtenus en sortie BC1, on constate une différence entre les modules calculés. Ceci est bien vu dans le graphe ci-dessus, représentant le rapport LSF en fonction du nombre des tas. Cet écart peut être justifié par des problèmes liés soit au mélange, à la TE ou à la sortie BC.

Ces résultats trouvés nécessitent une explication. Ce qui nous a mené à chercher les problèmes.

c- propositions :

- Ⓢ problème lié au débit d'alimentation de la TE ;
- Ⓢ problème lié à l'un des deux concasseurs ou aux coupeurs ;
- Ⓢ problème au niveau du broyeur (état de la farine).

d- Vérifications et contrôles:

Afin de dégager les points faibles et non conformes, on a effectué des contrôles. En voici les résultats :

● **Préleveur primaire :**

	Contrôles	Spécifications
Temps de passage	2,90 s	3 s
Vitesse	454,54 mm/s	400 mm/s
Fréquence de prélèvement	42 prlvt/h	40 prlvt/h
Vitesse tapis d'alimentation	23 mm/s	15 mm/s
Temps de pause	81,4 s	80 s

● **Préleveur secondaire :**

	Contrôles	Spécifications
Temps de passage	3,20 s	3,36 s
Vitesse	178 mm/s	150 mm/s
Fréquence de prélèvement	60 prlvt/h	60 prlvt/h
Temps de pause	56,15 s	56,64 s

● **Préleveur tertiaire :**

	Contrôle	Spécification
Vitesse de rotation	13 tr/min	13 tr/min

● **Concasseur primaire :**

	Contrôle	Spécification
Granulométrie à 40 mm	1,57%	< 5%

● **Concasseur secondaire :**

	Contrôle	Spécification
Granulométrie à 12,5 mm	17,60%	0%

Or, le débit d'alimentation de la TE doit être constant. D'où un suivi du débit d'alimentation est nécessaire :

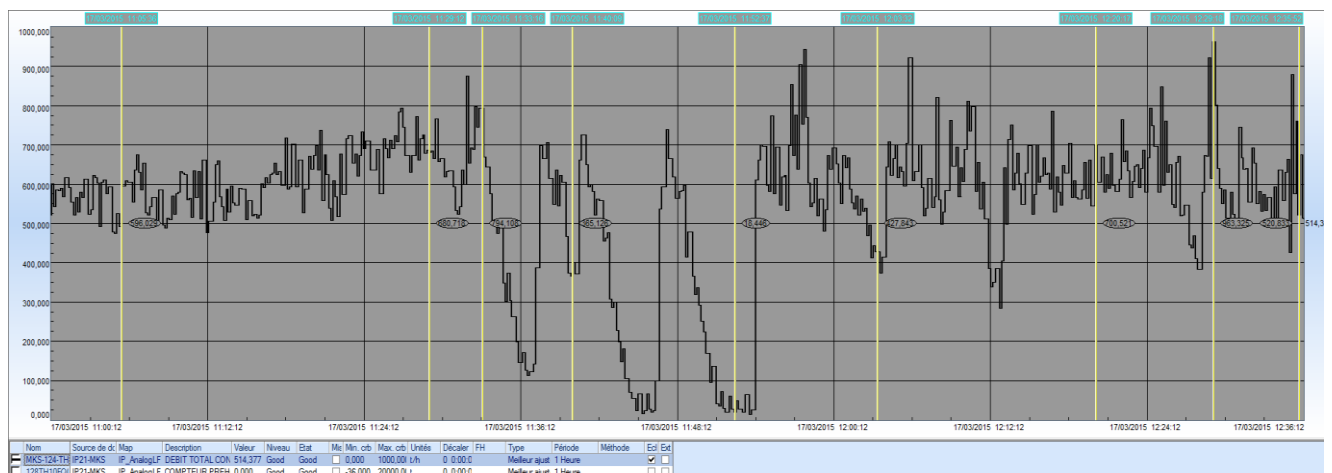


Figure 19 : Variation du débit d'entrée TE en fonction du temps

INTERPRETATIONS :

D'après les contrôles effectués, on remarque une légère différence non gênante dans certains paramètres. Par contre, certaines anomalies nécessitent une vérification.



On relève deux points principaux : un problème au niveau du concasseur puisque la granulométrie n'est pas assez réduite, et un autre au niveau du débit alimenté à la TE.

Ainsi lors des contrôles, on constate qu'un problème de colmatage peut être aussi cause de ces variations de calculs. Ce colmatage est dû à l'humidité de la matière.

2- Solutions à proposer :

Suite aux problèmes détectés, des actions sont mises en places pour corriger ce dysfonctionnement relevé, en voici quelques-unes :

- ✎ Installation des trémies tampons pour assurer un débit constant ;
- ✎ Rapprocher les deux tambours du second concasseur pour ajuster les granulations trop grossière ;
- ✎ Installer des résistances chaudes pour éviter le colmatage dû à la matière humide.

Or, en ce qui concerne le broyage, on suppose que l'état de la farine est fiable et qu'on a rien à signaler à ce propos, puisque les deux broyeurs soit celui de la TE ou du BC1, donnent le même produit fini facile à analyser, et plus représentatif sous forme de poudre.



Conclusion

La tour d'échantillonnage ne fait que nous donner un échantillon du lot de la matière provenant de la carrière (cru pré-dosé), ses multiples étages servent à nous préparer cet échantillon afin qu'il soit analysé et comparé à celui qui résulte du broyage cru.

Cet échantillon représentatif du lot complet, doit respecter un nombre de conditions qui lui permettent de passer aux étapes ultérieures. La composition chimique doit être bien définie afin d'obtenir en fin de compte les propriétés souhaitées, et donc assurer la bonne qualité des produit du groupe LAFARGE tout en pensant à améliorer ce système.

Ce projet de fin d'étude m'a permis de transformer ma formation théorique à une application dans la pratique. Ce stage au sein de la société LAFARGE ciment de Meknès au service « PROCÉDÉ », qui a duré un mois et demi, était une meilleure occasion pour mieux se familiariser avec le monde industriel, une excellente expérience très enrichissante et une bonne opportunité pour appliquer ce qu'on a acquis à la Faculté des Sciences et Techniques de Fès (FSTF).



N° Tas	Fin Reprise	Analyse TE			Calcul BC1			cibles PH1			Ecart vs TE sur LSF				
		LSF	MS	A/F	LSF	MS	A/F	LSF	MS	A/F	TE-BC	Min	Max	min	max
1061	08/01/2013	115,76	3,06	2,16	119,32	3,02	2,06	115	3,10	2,20	-3,56	-3	3	113	117
1062	15/01/2013	116,01	3,10	2,12	113,08	3,11	2,24	115	3,10	2,20	2,93	-3	3	113	117
1063	21/01/2013	113,63	3,23	2,16	113,21	3,18	2,19	115	3,10	2,20	0,42	-3	3	113	117
1064	28/01/2013	115,77	3,14	2,16	111,53	3,02	2,08	115	3,10	2,20	4,24	-3	3	113	117
1065	03/02/2013	116,55	3,11	2,23	112,24	3,13	2,26	115	3,10	2,20	4,31	-3	3	113	117
1066	10/02/2013	118,94	2,99	2,30	115,88	3,09	2,44	115	3,10	2,20	3,06	-3	3	113	117
1067	17/02/2013	116,41	3,22	2,26	119,68	3,35	2,45	115	3,10	2,20	-3,27	-3	3	113	117
1068	23/02/2013	119,41	3,08	2,33	123,63	3,16	2,44	115	3,10	2,20	-4,22	-3	3	113	117
1069	02/03/2013	117,73	3,12	2,27	118,16	3,26	2,42	115	3,10	2,20	-0,43	-3	3	113	117
1070	18/03/2013	115,10	3,14	2,23	115,99	3,30	2,32	115	3,10	2,20	-0,89	-3	3	113	117
1071	27/03/2013	113,59	3,11	2,27	111,84	3,28	2,32	115	3,10	2,20	1,75	-3	3	113	117
1072	05/04/2013	116,70	3,25	2,12	117,09	3,29	2,15	113	3,10	2,20	-0,39	-3	3	111	115
1073	12/04/2013	114,64	3,14	2,39	111,64	3,04	2,55	113	3,10	2,20	3,00	-3	3	111	115
1074	18/04/2013	110,28	3,11	2,13	109,79	3,19	2,44	111	3,10	2,20	0,49	-3	3	109	112
1075	24/04/2013	111,24	3,08	2,10	110,50	3,15	2,31	111	3,10	2,20	0,74	-3	3	109	112
1076	01/05/2013	110,90	3,08	2,17	109,32	3,25	2,41	111	3,10	2,20	1,58	-3	3	109	112
1077	06/05/2013	114,25	3,04	2,24	113,02	3,31	2,52	111	3,10	2,20	1,23	-3	3	109	112
1078	12/05/2013	109,77	2,98	2,23	108,23	3,10	2,35	111	3,10	2,20	1,54	-3	3	109	112
1079	02/06/2013	113,16	3,01	2,26	111,46	3,18	2,42	111	3,10	2,20	1,70	-3	3	109	112
1080	08/06/2013	111,52	3,10	2,21	110,76	3,28	2,41	111	3,10	2,20	0,76	-3	3	109	112
1081	14/06/2013	113,46	3,22	2,19	118,82	3,19	1,99	111	3,10	2,20	-5,36	-3	3	109	112
1082	20/06/2013	112,51	3,03	2,34	110,86	2,95	2,19	111	3,10	2,20	1,65	-3	3	109	112
1083	28/06/2013	113,90	3,05	2,14	112,50	2,96	1,97	111	3,10	2,20	1,40	-3	3	109	112
1084	14/07/2013	110,99	3,14	2,25	111,00	3,07	2,16	111	3,10	2,20	-0,01	-3	3	109	112
1085	22/07/2013	111,43	3,14	2,37	112,30	3,01	2,14	111	3,10	2,20	-0,87	-3	3	109	112
1086	30/07/2013	114,41	3,07	2,22	112,78	2,97	2,07	113	3,10	2,20	1,63	-3	3	111	115
1087	07/08/2013	116,64	3,04	2,34	116,30	3,00	2,14	113	3,10	2,20	0,34	-3	3	111	115
1088	14/08/2013	114,19	3,10	2,27	114,69	2,97	2,06	113	3,10	2,20	-0,50	-3	3	111	115
1089	22/08/2013	112,14	3,03	2,24	116,23	2,84	2,10	113	3,10	2,20	-4,09	-3	3	111	115
1090	29/08/2013	110,27	3,08	2,40	109,23	2,99	2,22	113	3,10	2,20	1,04	-3	3	111	115
1091	05/09/2013	113,18	3,31	2,38	111,31	3,25	2,26	113	3,10	2,20	1,87	-3	3	111	115
1092	21/09/2013	112,80	2,99	2,24	109,17	2,98	2,13	113	3,10	2,20	3,63	-3	3	111	115
1093	28/09/2013	114,21	3,14	2,51	112,80	3,07	2,42	113	3,10	2,20	1,41	-3	3	111	115
1094	04/10/2013	112,06	3,05	2,08	115,22	3,05	2,23	113	3,10	2,20	-3,16	-3	3	111	115
1095	11/10/2013	114,26	3,10	2,31	114,34	3,02	2,29	113	3,10	2,20	-0,08	-3	3	111	115
1096	18/10/2013	116,12	2,97	2,41	113,01	2,96	2,26	113	3,10	2,20	3,11	-3	3	111	115
1097	25/10/2013	114,19	2,93	2,40	111,89	2,87	2,21	113	3,10	2,20	2,30	-3	3	111	115
1098	31/10/2013	113,10	3,04	2,44	110,20	2,98	2,32	113	3,10	2,20	2,90	-3	3	111	115
1099	06/11/2013	113,48	3,02	2,43	113,08	2,92	2,30	113	3,10	2,20	0,40	-3	3	111	115
1100	13/11/2013	114,13	3,05	2,48	111,46	3,02	2,24	113	3,10	2,20	2,67	-3	3	111	115
1101	21/11/2013	112,50	3,18	2,38	108,11	3,27	2,37	113	3,10	2,20	4,39	-3	3	111	115
1102	28/11/2013	113,01	3,01	2,35	109,29	3,08	2,24	113	3,10	2,20	3,72	-3	3	111	115
1103	04/12/2013	115,33	3,03	2,57	108,38	3,12	2,78	113	3,10	2,20	6,95	-3	3	111	115
1104	02/01/2014	114,38	2,92	2,29	111,55	2,94	2,40	113	3,10	2,20	2,83	-3	3	111	115
1105	09/01/2014	113,11	3,00	2,27	109,47	2,97	2,74	113	3,10	2,20	3,64	-3	3	111	115
1106	15/01/2014	116,25	3,01	2,41	115,52	3,17	2,82	113	3,10	2,30	0,73	-3	3	111	115
1107	21/01/2014	111,10	3,07	2,39	110,19	3,48	3,08	113	3,10	2,30	0,91	-3	3	111	115
1108	27/01/2014	114,20	3,04	2,19	110,69	3,18	2,41	113	3,10	2,30	3,51	-3	3	111	115
1109	03/02/2014	115,25	2,96	2,07	113,84	2,85	1,98	113	3,10	2,30	1,41	-3	3	111	115
1110	11/02/2014	115,85	3,20	2,25	113,60	3,18	2,18	113	3,10	2,30	2,25	-3	3	111	115
1111	16/02/2014	115,67	2,87	2,48	111,31	2,75	2,40	113	3,10	2,30	4,36	-3	3	111	115
1112	23/02/2014	116,20	3,11	2,20	104,20	2,99	2,14	113	3,10	2,30	12,00	-3	3	111	115
1113	02/03/2014	116,38	3,02	2,34	107,99	2,92	2,38	113	3,10	2,30	8,39	-3	3	111	115
1114	17/03/2014	115,63	3,13	2,54	110,21	2,92	2,36	113	3,10	2,30	5,42	-3	3	111	115
1115	23/03/2014	113,99	3,14	2,36	108,06	2,99	2,38	113	3,10	2,30	5,93	-3	3	111	115
1116	30/03/2014	115,49	3,00	2,36	108,95	3,01	2,51	113	3,10	2,30	6,54	-3	3	111	115
1117	13/04/2014	112,97	3,00	2,22	109,46	2,81	2,09	113	3,10	2,30	3,51	-3	3	111	115
1118	19/04/2014	114,51	3,13	2,30	117,12	2,77	2,10	113	3,10	2,30	-2,61	-3	3	111	115
1119	26/04/2014	116,80	3,08	2,22	111,73	2,92	2,07	113	3,10	2,30	5,07	-3	3	111	115
1120	03/05/2014	114,64	3,20	2,21	110,80	2,99	2,22	113	3,20	2,30	3,84	-3	3	111	115
1121	10/05/2014	113,08	3,25	1,84	109,41	3,06	1,75	113	3,20	2,30	3,67	-3	3	111	115
1122	17/05/2014	112,83	3,10	2,24	109,55	2,94	2,10	113	3,20	2,30	3,28	-3	3	111	115
1123	23/05/2014	114,52	3,13	2,23	115,64	2,98	2,04	113	3,20	2,30	-1,12	-3	3	111	115
1124	29/05/2014	114,53	3,14	2,33	111,49	2,01	2,77	113	3,20	2,30	3,04	-3	3	111	115
1125	05/06/2014	115,29	3,15	2,29	116,86	2,07	2,87	113	3,20	2,30	-1,57	-3	3	111	115
1126	29/07/2014	113,41	3,22	2,36	109,95	2,15	3,09	113	3,20	2,30	3,46	-3	3	111	115
1127	05/08/2014	115,14	3,10	2,17	113,85	2,07	3,04	115	3,10	2,30	1,29	-3	3	113	117
1128	14/08/2014	113,36	3,01	2,39	109,23	2,36	3,09	115	3,10	2,30	4,13	-3	3	113	117
1129	21/08/2014	113,83	3,17	2,29	113,09	2,29	3,25	115	3,10	2,30	0,74	-3	3	113	117
1130	28/08/2014	116,80	3,19	2,44	112,02	3,20	2,35	115	3,10	2,30	4,78	-3	3	113	117
1131	03/09/2014	115,42	3,00	2,42	112,63	3,08	2,27	115	3,10	2,30	2,79	-3	3	113	117
1132	12/09/2014	115,40	3,11	2,36	114,04	3,09	2,28	115	3,10	2,30	1,36	-3	3	113	117



1133	18/09/2014	115,97	3,04	2,34	112,15	2,98	2,23	115	3,10	2,30	3,82	-3	3	113	117
1134	25/09/2014	115,21	3,23	2,13	108,44	3,20	2,07	115	3,10	2,30	6,77	-3	3	113	117
1135	01/10/2014	116,48	2,98	2,34	112,72	2,97	2,31	115	3,10	2,30	3,76	-3	3	113	117
1136	14/10/2014	114,74	3,08	2,36	112,17	3,20	2,49	115	3,10	2,30	2,57	-3	3	113	117
1137	19/10/2014	115,96	3,06	2,32	110,00	2,95	2,13	115	3,10	2,30	5,96	-3	3	113	117
1138	29/10/2014	118,64	3,00	2,37	115,79	3,02	2,53	115	3,10	2,30	2,85	-3	3	113	117
1139	03/11/2014	115,43	2,98	2,32	111,20	2,95	2,38	115	3,10	2,30	4,23	-3	3	113	117
1140	12/11/2014	115,81	2,99	2,44	111,91	3,04	2,40	115	3,10	2,30	3,90	-3	3	113	117
1141	17/11/2014	116,48	3,10	2,35	112,24	3,85	2,19	115	3,10	2,30	4,24	-3	3	113	117
1142	23/11/2014	114,95	3,02	2,40	110,83	3,43	2,21	115	3,10	2,30	4,12	-3	3	113	117
1143	05/01/2015	116,79	3,00	2,26	114,25	2,96	2,15	115	3,10	2,30	2,54	-3	3	113	117
1144	13/01/2015	116,85	2,99	2,34	113,64	2,94	2,23	115	3,10	2,30	3,21	-3	3	113	117
1145	20/01/2015	117,30	3,04	2,27	115,17	3,05	2,17	115	3,10	2,30	2,13	-3	3	113	117
1146	27/01/2015	116,84	2,97	2,38	119,73	2,95	2,31	115	3,10	2,30	-2,89	-3	3	113	117
1147	02/02/2015	117,26	2,96	2,17	113,96	2,86	2,01	115	3,10	2,30	3,30	-3	3	113	117
1148	08/02/2015	115,38	3,07	2,33	112,11	3,07	2,20	115	3,10	2,30	3,27	-3	3	113	117
1149	14/02/2015	115,76	2,95	2,16	114,32	2,86	2,03	115	3,10	2,30	1,44	-3	3	113	117
1150	20/02/2015	115,70	2,99	2,28	114,27	2,98	2,24	115	3,10	2,30	1,43	-3	3	113	117
1151	27/02/2015	115,18	3,08	2,10	112,12	3,00	2,05	115	3,10	2,30	3,06	-3	3	113	117
1152	07/03/2015	116,75	2,91	2,32	115,81	2,89	2,27	115	3,10	2,30	0,94	-3	3	113	117
1153	14/03/2015	114,84	2,98	2,14	116,14	2,90	2,06	115	3,10	2,30	-1,30	-3	3	113	117
1154	21/03/2015	118,83	2,90	2,30	115,97	2,85	2,12	115	3,10	2,30	2,86	-3	3	113	117
1155	27/03/2015	115,66	3,04	2,28	109,71	3,13	2,55	115	3,10	2,30	5,95	-3	3	113	117
1156	03/04/2015	114,68	2,93	2,08	113,56	2,95	2,14	115	3,10	2,30	1,12	-3	3	113	117
1157	09/04/2015	115,05	2,94	2,27	114,52	2,97	2,06	115	3,10	2,30	0,53	-3	3	113	117
1158	16/04/2015	118,31	2,97	2,22	115,68	2,98	2,03	115	3,10	2,30	2,63	-3	3	113	117
	Ecart-type	1,99								Ecart-type	2,76				

Références :

www.lafarge.ma

Audit pré-homogénéisation 2013-2014-2015.

Audit tour d'échantillonnage 2013-2014-2015.

Rapport annuel de la tour d'échantillonnage.

Rapports d'autres stagiaires.

Formation préparation cru (tech procédé 2006).

Formation fabrication ciment LAFARGE .

Suivi des tas à 3modules.