



Licence Sciences et Techniques (LST)

GENIE CHIMIQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES

DETERMINATION DE L'EFFICACITE DES SILOS D'HOMOGENEISATION DE LA FARINE CRUE

Présenté par :

- ◆ Mlle SAIDI wafae

Encadré par :

- ◆ Mr AIT EL FAKIR mounir (Société)
- ◆ Mr WAHBI hamid Pr FST fez

Soutenu Le 18 Juin 2010 devant le jury composé de:

- Pr H.WAHBI
- Pr J.ASSOUIK
- Pr A.LHASSANI

Stage effectué à la cimenterie LAFARGE de Meknès

Année Universitaire 2009 / 2010

DEDICACES

À ma chère mère qui a toujours été prête pour me soutenir, me présenter tant de tendresse, et tant de sacrifices, et qui a pu créer le climat idéal à la poursuite de mes études.

J'espère qu'elle sera fière de moi et qu'elle trouvera ici tout mon respect, ma gratitude et mon profond sentiment. Et que toute ma famille trouve ici l'expression de mes sentiments, de respect et de reconnaissance pour l'encouragement et le soutien qui n'ont jamais cessé de m'apporter.

Je dédie aussi ce travail à tous mes respectueux professeurs, mes amis et tous les responsables de LAFARGE.

Remerciements

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à Mr mounir AIT EL FAKIR, pour son aide précieuse et ses conseils fructueux, qu'il n'a cessé de me donner tout au long de ce stage et aussi à mon professeur et encadrant Mr WAHBI pour son dévouement, son soutien et ses conseils précieux permettant ainsi à mon projet de prendre forme.

Je remercie également Mr ASSOUIK et Mr LHASSANI qui m'ont fait l'honneur d'avoir accepté de juger mon projet de fin d'étude.

Mes vifs remerciements et ma grande reconnaissance sont adressés à tout le personnel du service procédé pour l'aide qu'il m'a apporté afin d'aboutir ce travail.

Que tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour mener à bien ce stage trouvent ici l'expression de ma parfaite considération et mes remerciements.

Sommaire

Introduction.....	1
Chapitre1 : Présentation du groupe LAFARGE	
I. PRESENTATION DE LA SOCIETE.....	2
1. Historique.....	2
2. Chiffres d'affaires.....	3
II. LAFARGE CIMENT USINE DE MEKNÈS.....	3
1. Présentation de l'usine.....	3
2. Effectif du personnel Usine de Meknès.....	5
3. Organigramme de l'usine de Meknès.....	5
III. PRESENTATION DES SERVICES.....	6
1. Le Service carrière.....	6
2. Service fabrication.....	6
3. Service commercial.....	6
4. Service de sécurité.....	6
5. Service finance-gestion.....	7
6. Service du contrôle de qualité.....	7
7. Service du bureau d'études.....	7
Chapitre2 : Procédé de fabrication du ciment	
I.COMPOSITION DU CIMENT.....	8
1. Définition du ciment.....	8
2. Différents types de ciments.....	9
II.PROCEDE DE FABRICATION DU CIMENT.....	10
1. La préparation du cru.....	10
a-Exploitation de la carrière.....	10
b- Concassage.....	11
c- Echantillonnage.....	12
d- Pré homogénéisation.....	12
e- Broyage cru.....	13
f- Homogénéisation.....	14
2. Les différentes étapes de la cuisson.....	14
a-Préchauffage.....	14
b-Pré-calcination.....	14
c-Clinkérisation.....	15

d-Refroidissement.....	15
e-Broyage ciment.....	16
f-Stockage et ensachage.....	16

Chapitre 3 : Présentation du sujet

I.INTRODUCION.....	17
II.OBJECTIFS D’HOMOGENEISATION.....	17
III.LES DIFFERENTS TYPES D’HOMO.....	17
1. L’homo mécanique.....	17
2. L’homo statistique.....	17
3. L’homo pneumatique.....	17
4. L’homo à chambre de mélange.....	18
IV .ETUDE DESCRIPTIVE.....	18
1. caractéristiques du silo.....	18
2. description du processus d’homogénéisation.....	19
3. circuit d’extraction du silo d’homogénéisation.....	21
V .EFFICACITES D’UNE HOMO.....	21
1. Définition.....	21
2. Variogrammes et efficacité.....	22
3. Etude variographique.....	23
a-Introduction.....	23
b-Les caractéristiques d’un variogramme.....	24
c-Les étapes à suivre pour construire un variogramme.....	24
d-Les avantages d’un variogramme.....	24
e-Interprétation d’un variogramme.....	25
f-Évaluation de la proportion des trois termes d’hétérogénéité.....	26
VI. ÉTUDE EXPERIMENTALE ET STATISTIQUE.....	27
1. Protocole d’essai : Calcul de l’efficacité du silo.....	27
a-Objectif.....	27
b-Méthodologie.....	27
c-Pré requis.....	27
d-Construction du variogramme.....	27
2. Conditions de déroulement de l’essai	28
3. Les résultats obtenus.....	28
a-Variogramme du %C3S entrée silo.....	28
b-Variogramme du %C3S sortie silo.....	30
c-Comparaison des deux variogramme.....	32
d-Conclusion.....	32
Conclusion générale.....	33

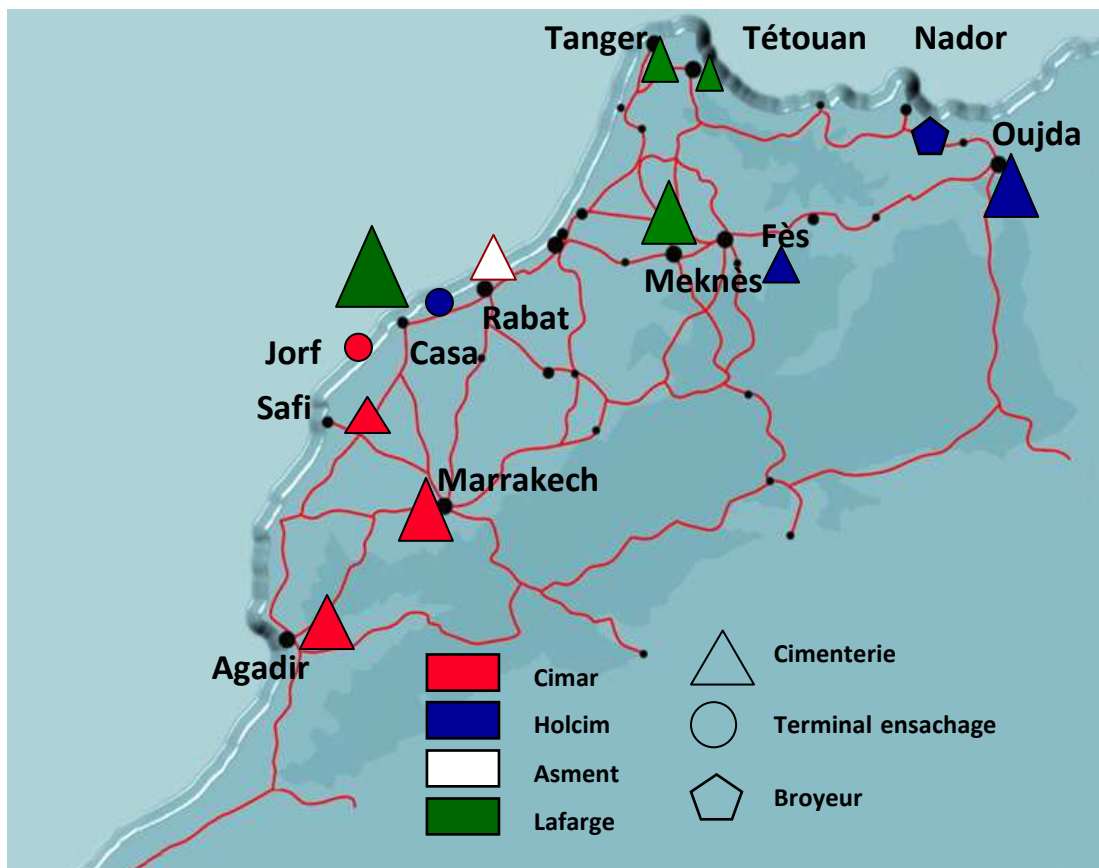
Introduction

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

L'industrie du ciment est ce qu'on appelle une industrie de base parce qu'elle se situe à la source du développement économique. De son principale dérivé, le béton, dépend tout l'équipement du pays : logements, écoles, ponts, barrages, routes...

C'est aussi une industrie lourde du fait qu'elle traite une grande masse des matières premières de faible valeur initiale pour aboutir à un produit également d'un faible prix mais dans des installations d'un coût élevé.

En vue d'assurer la régularité d'approvisionnement du marché national en ce produit de base, le ministère du commerce et de l'industrie a procédé, en 1990, à la libération du ciment.



Sites du groupe Lafarge au Maroc



Chapitre 1 :

Présentation du groupe LAFARGE

I. PRÉSENTATION DE LA SOCIÉTÉ :

1. Historique :

Créée en 1833, en Ardèche, par la famille Pavin de Lafarge afin de produire de la chaux, la société dirigée par Bertrand Colomb est aujourd'hui devenue un groupe international. C'est à partir de 1912 que le ciment commença à être utilisé au Maroc. C'est alors que fut décidée 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, notamment le démarrage de la cimenterie de Meknès en 1953 avec un nominal de production de 150 000 tonnes/an. C'est ainsi qu'à la veille de l'indépendance, le niveau de production du Maroc en ciment, approchait les 850 000 tonnes/an (cimenterie de Casablanca, Meknès, Agadir, Tanger et Tétouan). Alors que, de nos jours, le Maroc produit envi 7 000 000 de tonnes/an, assurant ainsi son autosuffisance depuis 1982. Pour augmenter le niveau de sa production CADEM a créé un deuxième four en 1969. Et c'est qu'en 1985 que CADEM a procédé à l'extension de la capacité de production de son deuxième four, en le portant de 900 tonnes de clinker par jour à 1 500 tonnes par jour.

Suite à la reprise affichée par la demande de ciment particulièrement depuis l'année 1988, le potentiel cimentier national est entrain d'être renforcé par des extensions d'unités existantes et de création d'autres nouvelles, on remarque ainsi l'extension de la capacité de production pour la CADEM à 1 300 000 tonnes/an, par l'adjonction d'une nouvelle ligne qui a démarré en avril 1993. Depuis 1997, la CADEM est devenue LAFARGE CIMENTS et faisait partie du groupe international LAFARGE. LAFARGE CIMENT Usine de Meknès a réalisé le montage d'un nouveau filtre à manches, en aval du four c'était en 1998, alors qu'en amont du four c'était fait en 2001, afin de protéger l'environnement.

2. Chiffres d'affaires :

La répartition des chiffres d'affaires par activité est représentée comme suit :

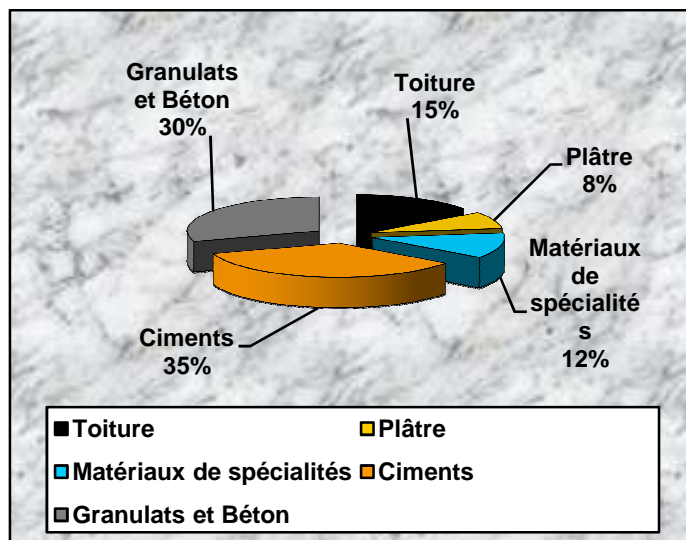


FIGURE 1: Chiffres d'AFFAIRES

II. LAFARGE CIMENT USINE DE MEKNÈS :

1. Présentation de l'usine :

Située au nord-est de la ville de Meknès, 4ème ville marocaine sur l'échelle économique grâce à la présence de plusieurs usines et entreprises qui jouent un rôle magistral dans le développement de la ville. Parmi ces usines on trouve LAFARGE-CIMENT qui avait comme nom : CADEM (ciment artificiel de Meknès). Grâce à son potentiel et à son dynamisme, LAFARGE-CIMENT Usine de Meknès, assure la bonne continuité et le leadership de tout LAFARGE MAROC.

▪ Dates et chiffres clés :

1953 : Démarrage du premier four, en voie humide, 400 t/j.

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.

1978 : Nouvelle extension du broyage ciment

1985 : Conversion du four 1 en voie sèche avec installation d'un mini précalcinateur.

1993 : Nouvelle extension avec démarrage d'une seconde ligne de cuisson d'une capacité de 1.200 t/j clinker.

1998 : Modification du précalcinateur du four 1.

2001 : Installation d'un nouveau broyeur ciment portant la capacité de l'usine à 1.750.000 t

2002 : Certification ISO 14001.

2003/2004 :*Mise à jour de la nouvelle installation du projet d'extension du stockage et d'ensachage du ciment.

Cet aménagement a été accompagné par une démarche d'automatisation et d'un système de contrôle commande.

*Mise à niveau d'une installation d'incinération de pneus déchiquetés au niveau BAF ligne 2.

2004/2005 :

*Lancement d'une nouvelle organisation Usine/Secteur.

*Certification ISO 9001

▪ Equipements :

- ✓ 2 lignes de cuisson en voie sèche avec conduite entièrement automatisée pilotée par un système expert;
- ✓ 3 broyeurs ciment d'une capacité totale annuelle de 1.750.000 tonnes.
- ✓ Laboratoire d'analyse permettant d'assurer une logique de contrôle qualité aux différentes étapes de la fabrication.
- ✓ Stockage ciment : 7 silos d'une capacité totale de 22.000 t
- ✓ Atelier d'expédition sac et vrac.
- ✓ Embranchement particulier à la voie ferrée.

Depuis sa création, plusieurs améliorations techniques et mécaniques ont été réalisées pour mieux dominer le marché marocain, à cet effet les ventes de l'usine de Meknès représentent 30 % des ventes de LAFARGE MAROC, qui sont réparties comme suit : 75 % en CPJ 35 et 25 % en CPJ 45, les deux qualités du ciment produites par l'usine. Les ventes de l'Usine de Meknès durant la période 1970-2000 sont représentées dans la Figure 2 ci-dessous :

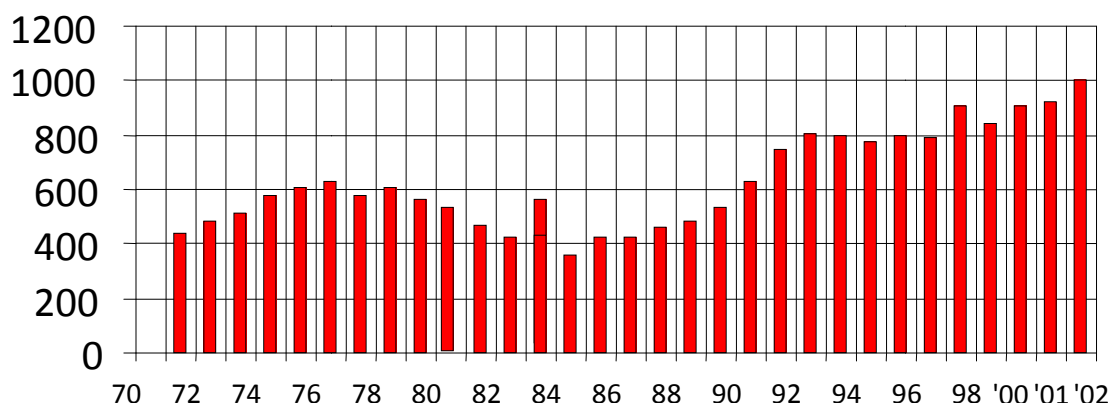


FIGURE 2: VENTE CIMENT EN MILLIER DE TONNES

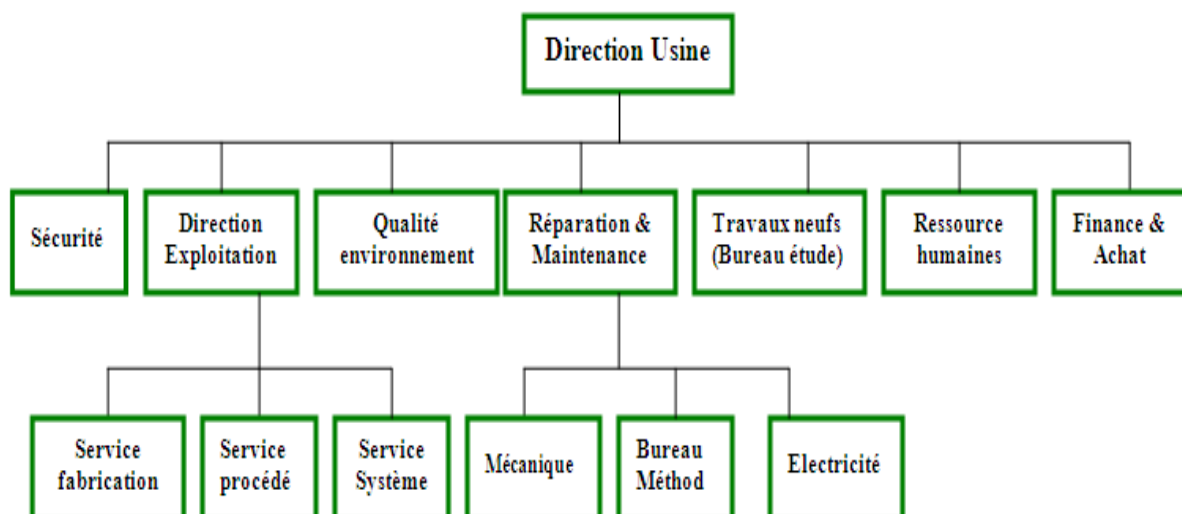
- Code usine : **MKS**.
- Capital social : 476 430 500 DH
- Capacité de production : 1 250 000 tonnes/an.
- Chiffre d'affaires en 99 : 577 363 704.00 DH
- Produits fabriqués : Ciment portland avec ajouts CPJ45 en sac et en vrac. Ciment portland avec ajouts CPJ35 en sac.

2. Effectif du personnel Usine de Meknès :

331, répartis de la façon suivante :

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

3. Organigramme de l'Usine de Meknès :



III. PRESENTATION DES SERVICES:

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

1- Le Service carrière:

Il permet l'approvisionnement en matières premières : Calcaire, argile de la carrière. Celles-ci sont extraites sur un site à 5km de l'usine et sont concassées sur un concasseur appelé l'HAZMAG. Les matières sont ensuite acheminées par transporteur de 5km appelé CURVODUC.

2- Service fabrication:

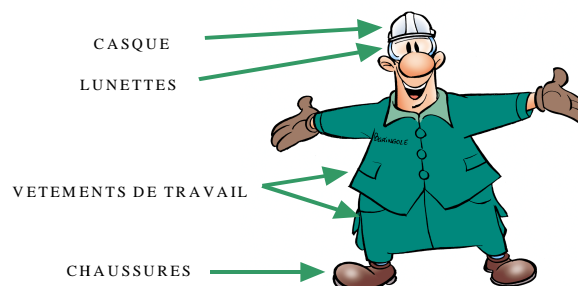
Les ateliers composant la fabrication du ciment (concassage de la matière première, pré homogénéisation, broyage cru, cuisson, broyage cuit...) fonctionnent automatiquement, leur suivi se fait à partir d'une salle de contrôle. Le service fabrication est donc composé de chefs de postes, d'opérateurs et de rondiers qui assurent la production 24h/24h.

3- Service commercial :

Ce service est le plus mouvant car il permet de fixer les objectifs de vente de ciments à une clientèle bien identifiée. Leur travail se base sur la réception des bons de commande et des effets de commerce, la saisie des commandes et des bons de livraison.

4- Service de sécurité :

Il est le moteur pour la réalisation et l'encadrement de l'effectifs de l'usine pour produire un ciment avec un objectif de zéro accident, il a pour mission l'animation de la sécurité, le soutien de la hiérarchie en matière de sécurité, l'animation d'un comité de sécurité usine, instauration des procédures de sécurité, le reporting sécurité et la gestion du réseau sécurité inter usines.



5- Service finance-gestion :

Ce service a pour mission la gestion de la comptabilité générale et analytique dans le but d'assurer une conformité à la réglementation et la législation. Pour se faire le service assure la gestion des procédures comptables, fiscales et financières, la gestion des processus budgétaires, la consolidation reporting, l'analyse des coûts ainsi que la gestion du patrimoine foncier avec le siège.

6-Service du contrôle de qualité :

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

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

7- Service du bureau d'études:

- **Procédure** : Création ou modification d'installation MKS (usine de Meknès).
- **Objet** : Conception et réalisation de nouvelles installations de maintien, progrès, qualité, environnement et sécurité.
- **Domaine d'application** : usine de Meknès.
- **Pilote du processus** : Ingénieur travaux neufs usine de Meknès
- **Éléments d'entrée** : Fiches d'investissement, cahiers de charges fonctionnels, plan développement usine
- **Éléments de sortie** : Installation mise à disposition Inscription budget investissement année suivante, annulation ou autres solutions.



Chapitre2 :

Procédé de fabrication du ciment

I. COMPOSITION DU CIMENT :

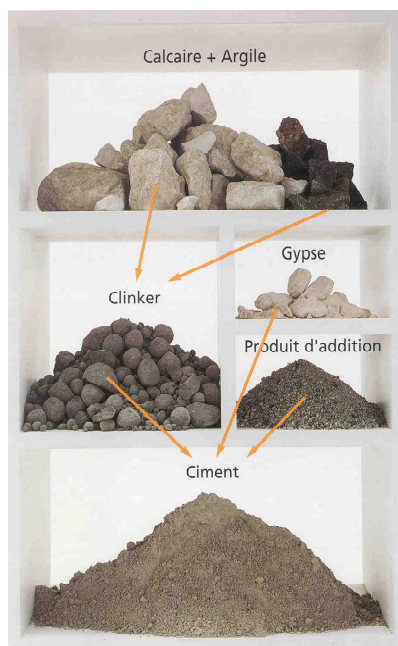
1. Définition du ciment:

Le ciment est un liant hydraulique, une matière inorganique finement moulue qui, gâchée avec de l'eau, forme une pâte qui fait prise et durcit en réaction au processus d'hydratation. Après durcissement, cette pâte conserve sa résistance et sa stabilité, même sous l'eau. Le ciment est un constituant de base du béton.

Notations cimentières pour les 4 éléments majeurs constitutifs.

Nom	Symbole chimique	Notation Cimentière	Masse molaire
Oxyde de Calcium ou Chaux vive	CaO	C	56
Oxyde de silice ou 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

Le composé de base des ciments actuels est un mélange de silicates et d'aluminates de calcium résultant de la combinaison de la chaux (CaO) avec la silice (SiO₂), l'alumine (Al₂O₃), et l'oxyde de fer (Fe₂O₃). La chaux nécessaire est apportée par des roches calcaires, l'alumine, la silice et l'oxyde de fer par des argiles. Les matériaux se trouvent dans la nature sous forme de calcaire, argile ou marne et contiennent, en plus des oxydes déjà mentionnés, d'autres oxydes et en particulier Fe₂O₃, l'oxyde ferrique.



La chaîne de transformation de calcaire et d'argile au ciment

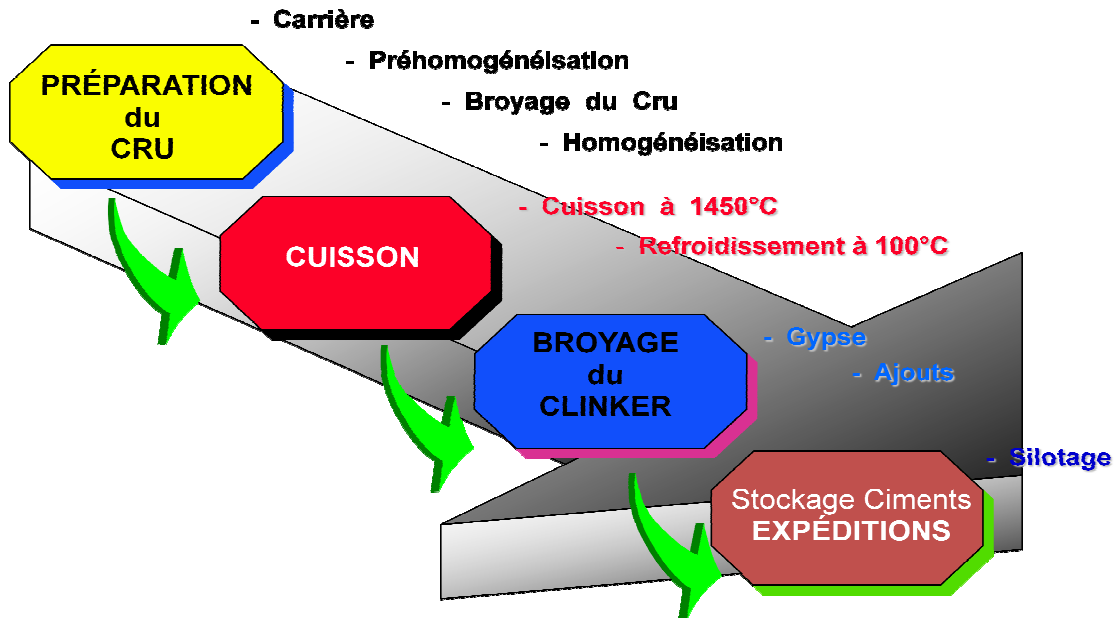
2. Différents types de ciments :

LAFARGE MAROC s'intéresse à la fabrication des trois catégories de ciments, à savoir : CPJ35, CPJ45, CPJ55 et CPA55. Concernant le ciment blanc, le groupe l'importe sous forme de matière cuite (clinker) pour être broyé et mis en sacs en vue de son expédition.

En outre, les trois types de ciments (CPJ35, CPJ45, CPA55) se différencient selon des pourcentages précis des ajouts au clinker.

Ciments	CPJ35	CPJ45	CPA55
Compositions			
Calcaire	35.60%	24.00%	0.00%
Cendres volantes	3.21%	6.52%	0.00%
Gypse	2.80%	3.14%	5.64%
Clinker	58.39%	66.34%	94.36%

Les grandes étapes de la fabrication :



II. PROCÉDÉ DE FABRICATION DU CIMENT :

1. La préparation du cru :

a) Exploitation de la carrière :

LAFARGE Ciments dispose de carrières fournissant deux matières premières :

Le calcaire est très riche en carbonate de calcium CaCO_3 tandis que le schiste contient des teneurs importantes de silice SiO_2 , d'alumine Al_2O_3 et d'oxyde du fer Fe_2O_3 .

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

Les matières premières ainsi extraites en carrière sont transportées jusqu'à l'usine pour y subir leur première transformation qui est le concassage. Le transport est assuré par des camions équipés de bennes basculantes pour un déchargement rapide.



FIGURE 3: EXTRACTION ET TRANSPORT DE LA MATIERE PREMIERE

b) Concassage :

L'opération de concassage a pour but de réduire la granulométrie des blocs de pierre en fragments de faibles dimensions (<80 mm).

Elle assure également un certain **MELANGE** des matières premières arrivant de la carrière et contenant de fortes proportions des éléments suivants : CaCO_3 , Fe_2O_3 , SiO_2 et des traces d'autres éléments.

En effet, le calcaire et le schiste sont transportés par les camions puis déchargés dans une trémie qui est reliée à un alimentateur à vitesse variable qui permet de réguler le débit d'alimentation. La matière passe par deux étages de concassage, dont le premier à mâchoires et le deuxième à marteaux. Les deux concasseurs traitent jusqu'à 1100 t/h.

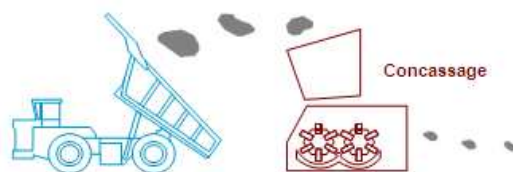


FIGURE 4: CONCASSAGE

c) Echantillonnage :

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 constituants de base de cru : chaux, silice, alumine et fer, qui assurera la composition correcte et donc la qualité du produit fini.

A 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 du de pré homogénéisation.



FIGURE 5: LA TOUR
D'ECHANTILLONNAGE

d) Pré homogénéisation :

La phase de pré homogénéisation consiste à créer un mélange homogène.



FIGURE 6: HALL DE PRE-HOMOGENEISATION

Cette opération est réalisée dans un hall pour aboutir un mélange pré homogène en disposant la matière en couches horizontales superposées (on parle de tas en constitution), puis en la reprenant verticalement (le tas en consommation) à l'aide d'une roue-pelle.

e) Broyage cru :

Le broyage est nécessaire après l'étape de pré homogénéisation, il procède par fragmentations successives des grains jusqu'à obtenir la granulométrie adéquate (30 mm vers 100µm pour faciliter leur cuisson).

L'échange thermique et les réactions chimiques sont en effet d'autant plus intenses lors de la cuisson que les surfaces de contact entre les grains de matière et les gaz sont importantes.

La fragmentation de mélange (matière pré homo + les correcteurs) est assurée par deux broyeurs verticaux de type loesche LM27-30 à 3 galets avec une capacité comprise entre 140-180 et 150-190 t/h chacun et une puissance de 1200kw.

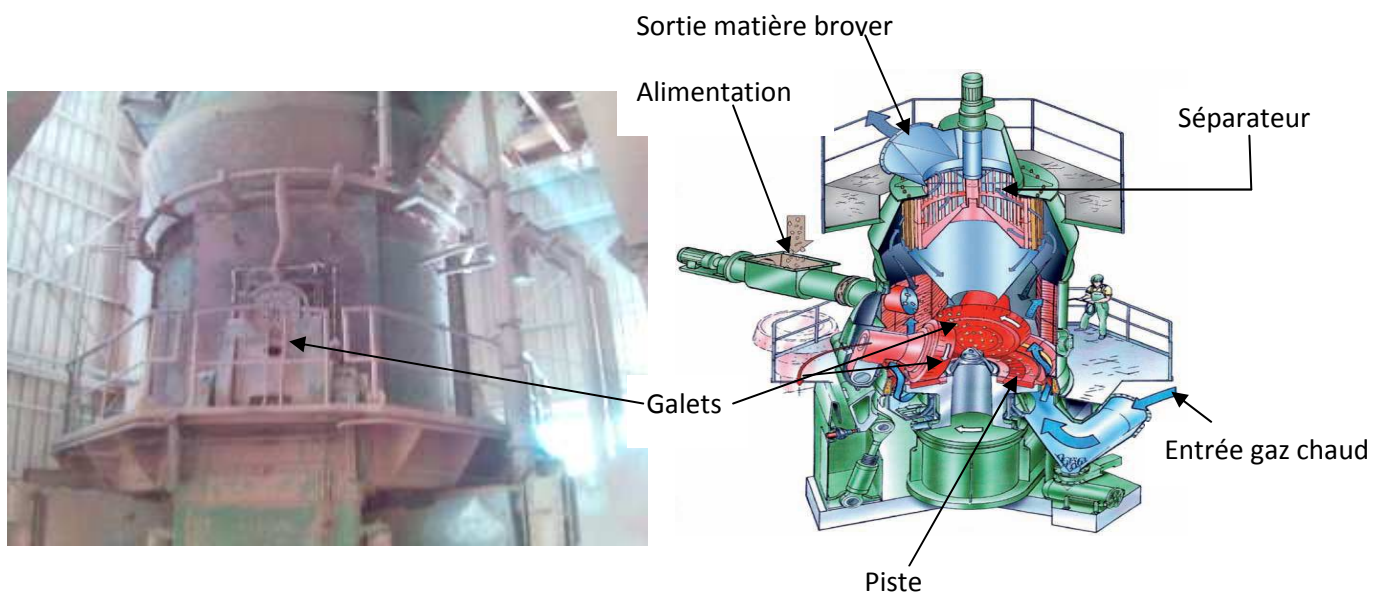


FIGURE 7 : BROYEUR A GALETS

Après écrasement de la matière entre la piste et les galets un flux de gaz chaud provenant du four assure le séchage et le transport pneumatique de la matière, un séparateur intégré à la machine permet de régler la finesse du produit final : les grosses particules retombent sur le plateau de broyage tandis que les fines sont entraînées par le flux de gaz vers

des séparateurs à fin de faire une séparation solide /gaz, la farine récupérée par les filtres et acheminée vers le silo farine

f) Homogénéisation :

A la suite du broyage et après séparation, les matières premières sont transformées en une poudre de grande finesse appelée dans le jargon cimentier « Farine ». Cette farine doit présenter une composition chimique aussi constante que possible. Ces matières premières sont acheminées vers des silos dans lesquelles elles sont homogénéisées.



FIGURE 8 : SILO D'HOMOGENEISATION

L'opération d'homogénéisation complète le processus de pré homogénéisation préalable, elle permet d'obtenir un produit de caractéristiques chimiques uniformes qui permettent la fabrication d'un clinker de qualité constante. La préparation de la matière première est maintenant achevée

2. Les différentes étapes de la cuisson

a) Préchauffage :

L'opération commence par l'évaporation de l'eau que le mélange cru contient et se poursuit par la décarbonatation. Le préchauffage se fait dans une série de cyclones, disposés verticalement sur plusieurs étages, appelée " Préchauffeur". La matière froide, introduite dans la partie supérieure, se réchauffe au contact des gaz. D'étage en étage, elle arrive partiellement décarbonatée, jusqu'à l'étage inférieur, à la température d'environ 800°C.

b) Pré-calcination :

Elle se fait dans le précalcinateur placé entre le préchauffeur et le four. La décarbonatation commencée dans le préchauffeur se fait pour l'essentiel dans le

précalcinateur et se termine dans le four. Cette opération, qui s'effectue à des températures entre 650 et 900°, permet de libérer le gaz carbonique pour obtenir la chaux nécessaire à la fabrication de clinker.

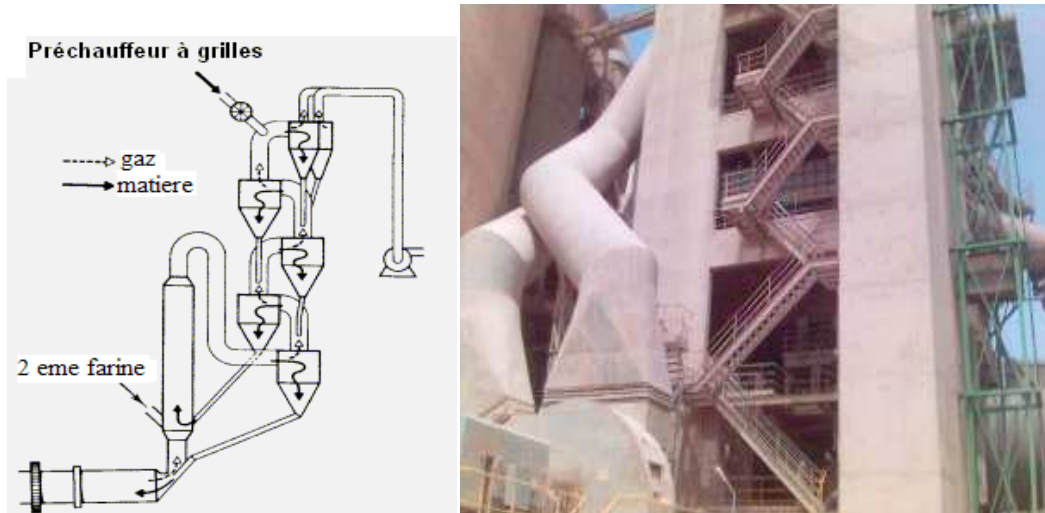


FIGURE 9 : PRECHAUFFEUR A CYCLONES AVEC PRECALCINATEUR POUR L'ALIMENTATION DU FOUR.

c) Clinkérisation :

Après un certain temps de progression dans le four (environ 1 heure), le cru atteint une température de 1450°C, ou il se transforme alors en "clinker": c'est la zone dite de linéarisation.

La transformation du cru en clinker se caractérise par un changement de la structure moléculaire. Les composants de l'argile (principalement silicates d'alumine et oxydes de fer) se combinent à la chaux provenant du calcaire et donnent des silicates et des aluminates de calcium, molécules qui réagiront avec l'eau pour la prise du ciment.

Le clinker qui se trouve sous la forme liquide dans le four, est immédiatement sorti de celui-ci vers le refroidisseur.

d) Refroidissement :

Il est situé à l'aval du four, c'est un refroidisseur à grilles horizontales au nombre de deux à commande hydraulique. Le refroidissement est assuré par des ventilateurs. L'air produit par ces ventilateurs est insufflé sous les grilles par des chambres de soufflage.

Le refroidisseur a un triple rôle :

- Refroidir le clinker qui sort du four.
- Récupérer le maximum de chaleur contenu dans le clinker.
- Assurer la trempe de clinker par un refroidissement énergétique et rapide.

e) Broyage ciment :

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. Le transport s'effectue pneumatiquement dans des tuyauteries grâce à des pompes spéciales.

f) 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 5000 tonnes, et 4 silos de 2000 tonnes chacun. La capacité de stockage totale est d'environ 18000 tonnes de ciment.

La livraison du ciment se fait soit en sacs, soit en vrac (transport par la route).

Pour ceci, l'usine dispose de 3 ensacheuses rotatives (Haver-Bocker), et une station de chargement du vrac.

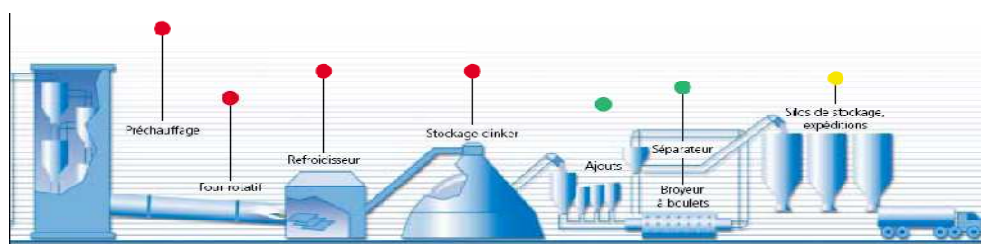


FIGURE 10 : LES DIFFERENTES ETAPES DE LA CUISSON A L'EXPEDITION

A decorative graphic consisting of a vertical blue line on the left and two horizontal blue lines, one above and one below the main text, creating a frame-like effect.

Chapitre 3 :

Présentation du sujet

I. INTRODUCTION :

En cimenteries, l'alimentation du four doit être assurée par une grande **régularité** de la matière première en vue de produire un clinker de bonne qualité et dans les meilleures conditions (consommation énergétique faible...).

La régularité de la farine d'alimentation du four est un grand indicateur de suivi d'amélioration.

LAFARGE a adopté une stratégie de contrôle d'efficacité ayant pour objectif la vérification du fonctionnement du matériel dans un état assurant la production voulue au cout optimal.

Pour cette raison, ce présent travail va se consacrer à vérifier l'efficacité du silo d'homogénéisation de la matière première.

II. OBJECTIFS D'HOMOGENÉISATION :

Les fonctions principales d'un atelier d'homogénéisation sont :

- Assurer un stock tampon de farine (cru broyé) entre le four et l'atelier cru sans lequel :
 - ✓ Chaque arrêt du cru entrainerait un arrêt du four.
 - ✓ Toute remise en régime du four serait longue et fastidieuse.
- Rendre constante la composition chimique et granulométrique de la farine à l'alimentation du four pour que la cuisson soit régulière

III. LES DIFFÉRENTS TYPES D'HOMO :

1-L'homo mécanique :

Cela consiste à faire recycler la matière via un élévateur, de l'extraction vers l'alimentation. La performance d'un homo mécanique dépend fortement des débits d'alimentation et de recirculation.

2- L'homo statistique :

Dans une homo statistique, on remplit plusieurs silos suivant un certain cycle de remplissage (par exemple, un changement de silo tous les quarts d'heure) et on extrait simultanément de tous les silos. Ce système est donc peu coûteux d'un point de vue énergétique, mais nécessite l'implantation de plusieurs silos. L'efficacité d'un homo statistique est essentiellement fonction du nombre de silos.

3 - L'homo pneumatique :

C'est le système encore le plus répandu actuellement. Le fond du silo d'homo est muni de toiles poreuses et divisé en quatre quadrants. L'un des quadrants est dit « actif » : de l'air comprimé en grande quantité passe au travers des toiles du quadrant et soulève la matière de



telle façon à ce qu'elle retombe sur la partie supérieure des autres. Les trois autres quadrants sont dits « inactifs » : une quantité d'air plus faible passe au travers de leurs toiles pour fluidiser la matière et lui permettre de glisser en partie basse sur le quadrant actif.

4- L'homo à chambre de mélange :

La société Claudius Peters propose un système d'homo continu en un seul silo, généralement de grande capacité. L'alimentation du silo est réalisée par un jeu d'aéroglossières disposées en étoile, pour déposer la matière par couches. Ensuite, on a une cuve de stockage. A la base centrale du silo, on a une chambre de mélange de faible capacité, alimentée par une série d'aéroglossières radiales.

L'efficacité de ce silo est assez bonne en termes de consommation énergétique. Mais la performance d'un point de vue régularité à la sortie dépend de la variabilité de la farine entrée silo.

Notre étude sera répartie en deux parties essentielles :

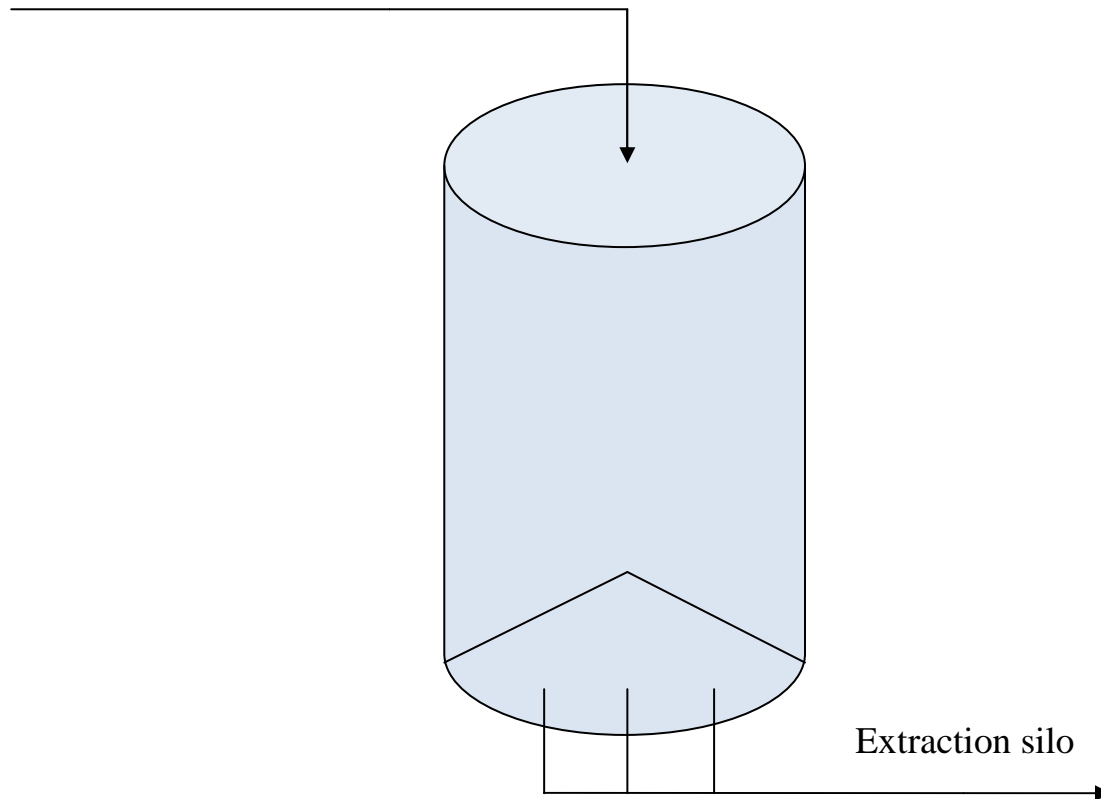
- ✓ **Une étude descriptive du silo et du processus d'homogénéisation de ce dernier.**
- ✓ **Une étude expérimentale et statistique.**

IV. ETUDE DESCRIPTIVE :

1-caractéristiques du silo :

Diamètre	14m
Hauteur	48m
Capacité	5000T
Nature	béton
Forme	Cylindrique

Alimentation silo



2-description du processus d'homogénéisation :

Le silo de mélange de farine crue est un silo à cône centrale.

La farine crue se dépose dans le silo en différentes couches. Durant l'extraction, l'écoulement vertical de différentes couches ensemble produit le mélange recherché.

Dès que le niveau maximum est atteint dans le silo, le transport de farine doit être arrêté ou dirigé vers le silo existant.

En marche normal, le niveau dans le silo doit toujours être compris entre 60 et 90 % du niveau plein.

La farine est transportée dans la trémie centrale sur pesons à partir de 9 sections de soutirage suivies chacune d'une trappe d'isolement manuelle, d'une vanne doseuse motorisée et d'une aéroglissière.

Chacune des 9 sections de soutirage de fond de silo comporte une aéroglissière de fond de silo en deux parties ; la partie aval et la partie amont de l'aéroglissière peuvent être soufflées séparément au moyen de vannes de réglage manuelles.



L'air d'extraction est amené successivement par des vannes d'isolement pneumatiques aux aéroglisteurs des sections choisies.

Le processus d'extraction se fait par la vanne doseuse motorisée et l'aéroglistière conduisant à la trémie centrale sur pesons.



Lors d'une extraction normale, 3 vannes doseuses motorisées sont en service simultanément.

La vanne doseuse et sa section de soutirage, sont programmées de telle sorte que, après un temps librement réglable (10 min), l'extraction alterne d'une section à la suivante.

Les vannes doseuses en sortie de silo sont régulées en fonction des signaux de niveau de la trémie sur pesons, de façon à maintenir un niveau constant dans la trémie.

Le niveau de farine dans la trémie sur pesons oscille entre deux niveaux-limites de travail.

L'air nécessaire pour l'extraction de silo est produit par trois surpresseurs à piston rotatif.

Sur le dessus de la trémie sur pesons est installé un filtre de type « haut de silo » qui assure une extraction sans émanation de poussières.

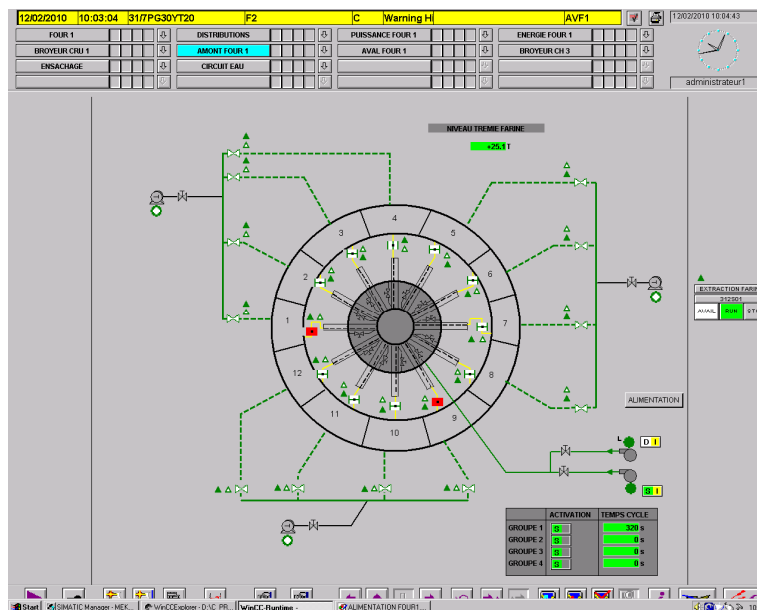


FIGURE 11 : SYNOPTIQUE DE FONCTIONNEMENT DU PROCESSUS D'HOMOGENEISATION

3-circuit d'extraction du silo d'homogénéisation :

Durant l'extraction du silo, le filtre type haut de silo doit être en service. Le flot gravitaire de farine mélangée passe par les trois vannes doseuses motorisées en service simultanément vers la trémie sur pesons à fond soufflé.

Les trois surpresseurs de fond de silo et le surpresseur de fond de trémie sur pesons sont en service. Le niveau de farine dans la trémie est constamment maintenu entre les deux limites précitées.

Le passage aux trois sections de soutirage suivantes se fait avec un temps de recouvrement librement choisi de l'ordre de 10 secondes..

L'extraction du silo n'est mise à l'arrêt que lors d'un arrêt prolongé du four. La séquence d'arrêt se fait dans l'ordre inverse de la séquence de démarrage.

La farine crue homogénéisée est transportée depuis la trémie centrale sur pesons jusqu'à l'airlift du préchauffeur par la vanne doseuse pneumatique suivie d'une aéroglissière. La vanne doseuse pneumatique à la sortie de la trémie sur pesons s'ouvre ou se ferme en fonction du débit de consigne présélectionné et de la valeur réelle du débit instantané

Un ventilateur d'aéroglissière fournit l'air à l'aéroglissière qui va à l'airlift.

L'airlift remonte la matière verticalement jusqu'à l'entrée du préchauffeur. L'air de transport de l'airlift est produit par un surpresseur à piston rotatif. Un deuxième surpresseur de secours est installé en "stand-by"

Le processus d'extraction s'interrompt s'il n'y a plus de signal de demande de farine.



V. EFFICACITÉS D'UNE HOMO :

1-Définition:

L'objectif d'un atelier d'homogénéisation étant de réduire la variabilité de la farine à la sortie de cet atelier, l'efficacité est définie par le rapport suivant :

$$\text{Efficacité} = \frac{\sigma_{\text{entrée}}^2}{\sigma_{\text{sortie}}^2}$$

$$\text{où : } \begin{cases} \sigma_{\text{entrée}}^2 = \text{variance farine entrée atelier} \\ \sigma_{\text{sortie}}^2 = \text{variance farine sortie atelier} \end{cases}$$

La définition ci-dessus est aussi appelée « efficacité brute »

Quelques remarques :

La définition précédente est très simple, mais incomplète. Elle appelle donc plusieurs remarques :

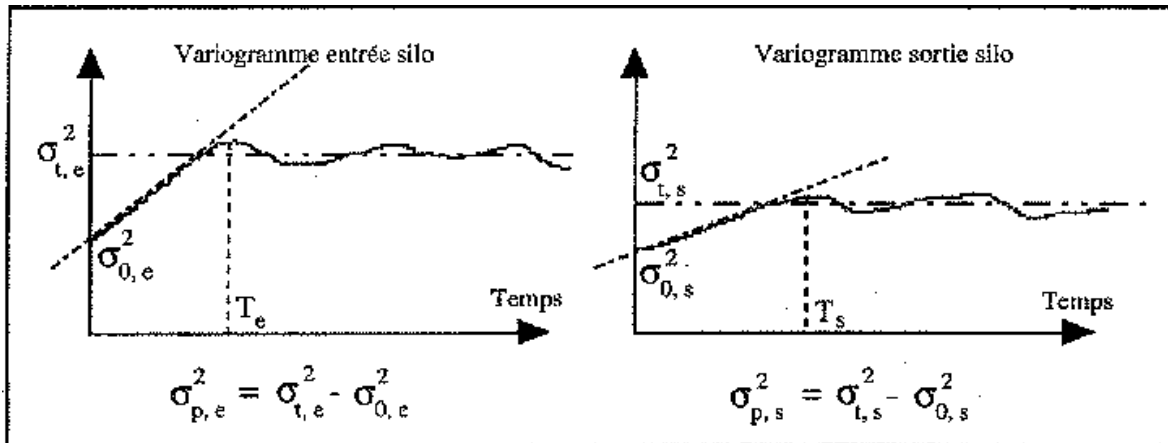
- ✓ Un atelier d'homo, même très performant aura une efficacité faible si la variance du produit entrée est déjà faible. En effet plus la variance entrée est élevée (produit irrégulier), plus la proportion de gain en terme de régularité sera susceptible d'être forte.
- ✓ On peut réaliser une mesure grossière de l'efficacité avec environ 30 prélèvements entrée silo et 40 autres sortie silo. Mais on doit tenir compte du temps de séjour et cela reste très approximatif. De plus, l'utilisation des statistiques classiques suppose que 2 échantillons consécutifs sont indépendants, ce qui est loin d'être le cas dans la pratique.
- ✓ L'efficacité d'un silo homo est en fait très liée à la structure des variations entrée (on revient à la notion de variogramme), et en particulier de la portée T du signal entrée. Donc pour analyser correctement la performance d'un atelier d'homogénéisation, il faut réaliser une étude variographique.
- ✓ Certains auteurs parlent de facteur d'homogénéisation, défini comme le rapport des écarts type au lieu des variances, donc en négligeant le phénomène de régionalisation.

2-Variogrammes et efficacité :

Pour construire un variogramme représentatif, il faut au moins 100 à 150 valeurs, espacées de manière adéquate pour avoir une image claire de la portée. Donc un bilan complet d'atelier homo est une opération lourde

$$\text{Soient : } \begin{cases} T_e = \text{portée variogramme entrée silo (de même, } T_s \text{ sortie silo)} \\ \sigma_{t,e}^2 = \text{variance totale entrée silo (de même, } \sigma_{t,s}^2 \text{ sortie silo)} \\ \sigma_{0,e}^2 = \text{pépite entrée silo (de même, } \sigma_{0,s}^2 \text{ sortie silo)} \\ \sigma_{p,e}^2 = \text{variance propre entrée silo (de même, } \sigma_{p,s}^2 \text{ sortie silo)} \end{cases}$$

D'une manière générale, un silo d'homo réduit le plateau des Variogrammes (il réduit la variabilité) et augmente la portée (une perturbation entrée sur une certaine période peut être ressentie plus longtemps à la sortie, du fait de l'effet de mélange).



GRAPHE1 : VARIOGRAMMES ET EFFICACITE HOMO

En terme de mélange, l'apport du silo d'homo correspond au rapport $\frac{\sigma_{p,e}^2}{\sigma_{p,s}^2}$, car les termes $\sigma_{0,e}^2$ et $\sigma_{0,s}^2$ renferment les aléas de mesure et d'échantillonnage, sur lesquels la performance du silo n'intervient pas.

3-Etude variographique :

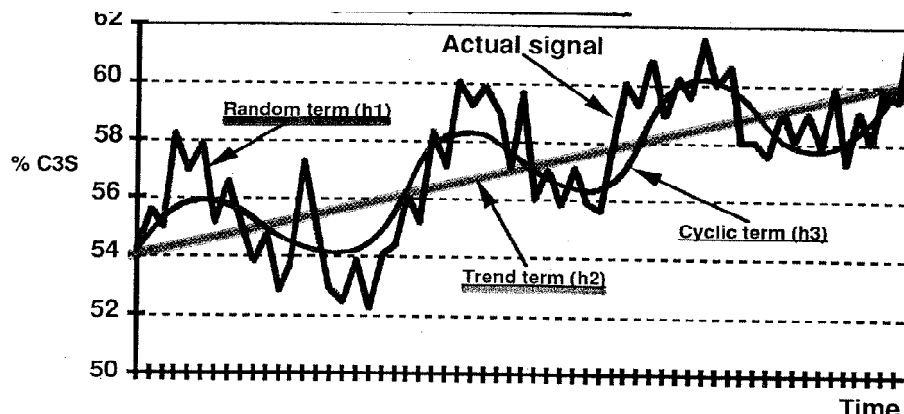
a- Introduction :

Le but de cette étude est d'expliquer comment construire un graphique spécial appelé UN VARIOGRAMME.

Le variogramme est un diagramme illustrant la variance en fonction des intervalles de temps situés entre deux échantillons d'un groupe de paires

En bref, le but de construire un variogramme est de qualifier et quantifier la variabilité des caractéristiques dans un flux de matière.

Il ya trois termes d'hétérogénéité dans ce genre de flux, comme le graphe 2 illustre.



GRAPHE2 : % DE C3S DANS LE CRU PRESENTANT LES 3 TERMES D'HETEROGENEITE (H1, H2, H3)

1-Hétérogénéité de terme aléatoire (h1). 2-Hétérogénéité de terme de tendance (h2).

3-Hétérogénéité de terme cyclique (h3).

b- Les caractéristiques d'un variogramme :

Un variogramme est un graphe représentant la variance (C3S, par exemple) en fonction des intervalles du temps, (chaque minute, 2 minutes, 3 minutes ...).

La formule suivante illustre comment calculer la variance (V (j)).

$$V(j) = \frac{1}{2(N-1)} \sum_{i=1}^N ([h_{m+j} - h_m])^2$$

Avec : j = intervalle de temps entre les valeurs d'une paire.

N = nombre des paires d'échantillons

h = les valeurs de la variable dans l'étude.

m = numération chronologique de la valeur de l'échantillon.

c- Les étapes à suivre pour construire un variogramme :

1-rassembler une série d'échantillons représentatifs régulièrement espacés (chaque minute, 30 minutes, 1 heure etc.), sur un flux de matière.

2-exécuter l'analyse appropriée des échantillons.

3-Tracer les valeurs de l'expérience en fonction de temps. Vérifier la validité des valeurs en vérifiant les changements non expliqués arrivant dans le signal.

4-Choisir une première valeur de (j) correspondante à l'intervalle de temps de l'échantillonnage. Considérer toutes les valeurs des paires possibles en intervalle de temps (j)

5-Appliquer la formule du variogramme (formule 1) dans cet intervalle de temps spécifique (j) et tracer V(j) sur le variogramme.

Répéter cette opération pour la valeur de (j) choisie dans des multiples de nombre entier jusqu'à (j) = la moitié de la durée d'échantillonnage (ex, si votre fréquence d'échantillonnage a été mise à chaque minute, commencer ensuite à calculer le V (j) pour j=1min, ensuite pour j = 2min, j = 3 minute, etc.) et enfin tracer les valeurs de V (j) sur votre variogramme.

d-Les avantages d'un variogramme :

A-Déterminer le niveau min et max de la variabilité dans un flux de matière.

B-Evaluer les trois termes d'hétérogénéité (h1, h2, h3), chose difficile avec un graphe normal

C-Déterminer la périodicité et la fréquence des cycles.

D-Déterminer l'intervalle de temps mini, au dessus duquel il n'existe plus de corrélation entre les échantillons.

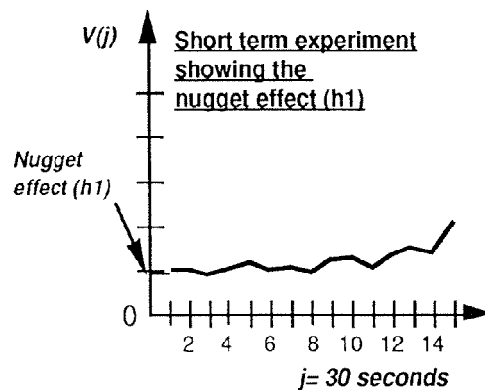
Ainsi on peut appliquer des fonctions statistiques normales à des fréquences supérieures à cet intervalle de temps.

e-Interprétation d'un variogramme :

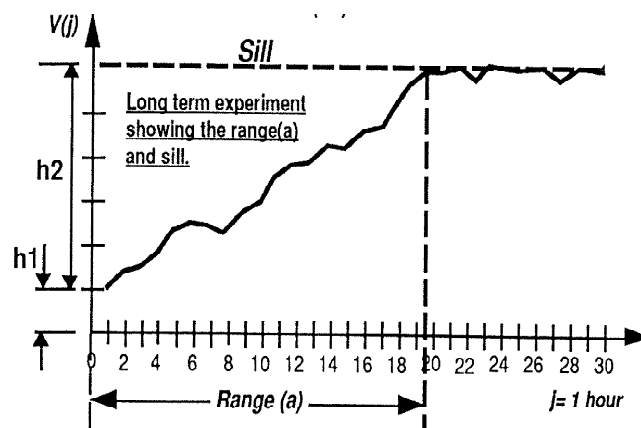
Composantes d'un variogramme :

Il y a 4 composantes importantes dans un variogramme :

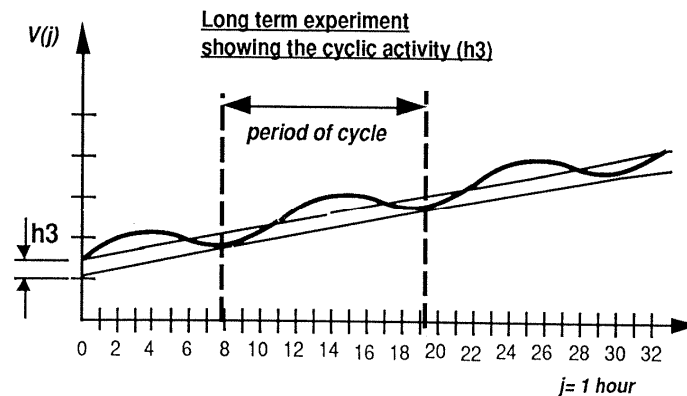
- a) L'effet de pépite (h_1)
- b) La portée (a)
- c) Le rebord ($h_1+h_2+h_3$)
- d) Les cycles (h_3)



GRAPHE 3 : L'EFFET DE PEPITE EST LA VALEUR DE L'EXTRAPOLATION DE LA COURBE DU VARIOGRAMME A COURT TERME SUR L'AXE DES V (J).



GRAPHE 4 : LE REBORD ($h_1+h_2+h_3$) EST LA VALEUR DE LA PARTIE HORIZONTALE DE LA COURBE.



GRAPHE 5 : LA VARIANCE DU TERME H3 (HETEROGENEITE CYCLIQUE) EST LA MOITIE DE L'AMPLITUDE MAXIMALE DES CYCLES. EN EFFET, LA MOYENNE EST PLACEE AU MILIEU DES CYCLES. LA PERIODE DU CYCLE PEUT ETRE LUE SUR L'AXE D'INTERVALLE DE TEMPS. DANS CET EXEMPLE C'EST 11 HEURES.

Quelques définitions :

L'effet de pépite (h1) : (figure 1) : Sur un variogramme, l'effet de pépite est l'intersection extrapolée de la courbe graphique avec l'axe des V (j). L'effet de pépite décrit entièrement le terme d'hétérogénéité aléatoire du flux de matière.

Le rebord (h1+h2+h3) (figure 2) : c'est la partie où la différence entre des particules n'augmente plus. Le rebord représente aussi le niveau de variance maximal que le flux de matière peut atteindre. Sur le variogramme le rebord est représenté par la partie horizontale de la courbe graphique.

La portée (a) (figure 2) : c'est l'intervalle de temps exigé entre des échantillons pour atteindre le rebord. Sur le variogramme, la portée est le temps exigé sur l'axe (j) pour arriver de 0 au point où le rebord est atteint.

Les cycles (figure 3) : c'est la périodicité de la courbe. La variance du terme d'hétérogénéité cyclique est la moitié de l'amplitude maximale des cycles, parce que la moyenne est placée au milieu des cycles. La période peut être directement lue sur l'axe des (j) du variogramme.

f-Évaluation de la proportion des trois termes d'hétérogénéité :

Nous pouvons évaluer la proportion des 3 types d'hétérogénéité sur un variogramme avec les formules suivantes :

- **Proportion du terme d'hétérogénéité aléatoire :**

$$\% h1 = \frac{\text{nugget effect}}{\text{sill}} \times 100$$



- **Proportion du terme d'hétérogénéité de tendance :**

$$\% h_2 = 100 - (h_1 + h_3)$$

- **Proportion du terme d'hétérogénéité cyclique :**

$$\% h_3 = \frac{1/2 \times \text{the biggest amplitude of a cycle}}{\text{sill}} \times 100$$

VI. ETUDE EXPERIMENTALE ET STATISTIQUE :

1-Protocole d'essai : Calcul de l'efficacité du silo d'homogénéisation :

a-Objectif :

Afin d'évaluer l'efficacité du silo homo de la ligne 2, nous avons procédé à un essai pour calculer sa capacité d'homogénéisation.

b-Méthodologie :

Pour ce faire, le meilleur moyen est de construire un variogramme à l'entrée et un autre à la sortie silo. Un variogramme représente la variance d'un paramètre donné en fonction des intervalles de temps. Le paramètre qui sera étudié est le % C3S.

c-Pré requis :

- Niveau de silo est inférieur à 5m de vide
- Assurer une marche sans arrêt du BC
- Débit stable du BC
- Aéroglières de soutirage opérationnelles
- Débit four stable

d-Construction du variogramme :

Nous avons réalisé plusieurs prélèvements de matière à l'entrée et à la sortie du silo homo.

- L'entrée : 20 prélèvements, à fréquence d'un prélèvement par heure.
- La sortie : 40 prélèvements, à fréquence d'un prélèvement par heure.

Le tableau ci-dessous synthétise les prélèvements à réaliser :

Emplacement du prélèvement	Nombre total de prélèvement	Fréquence	Durée totale des prélèvements
Entrée	20	1 par heure	20h
Sortie	40	1 par heure	40h

Pour tous les prélèvements nous avons besoin du %C3S.

Les prélèvements à l'entrée et à la sortie devraient débiter au même moment.

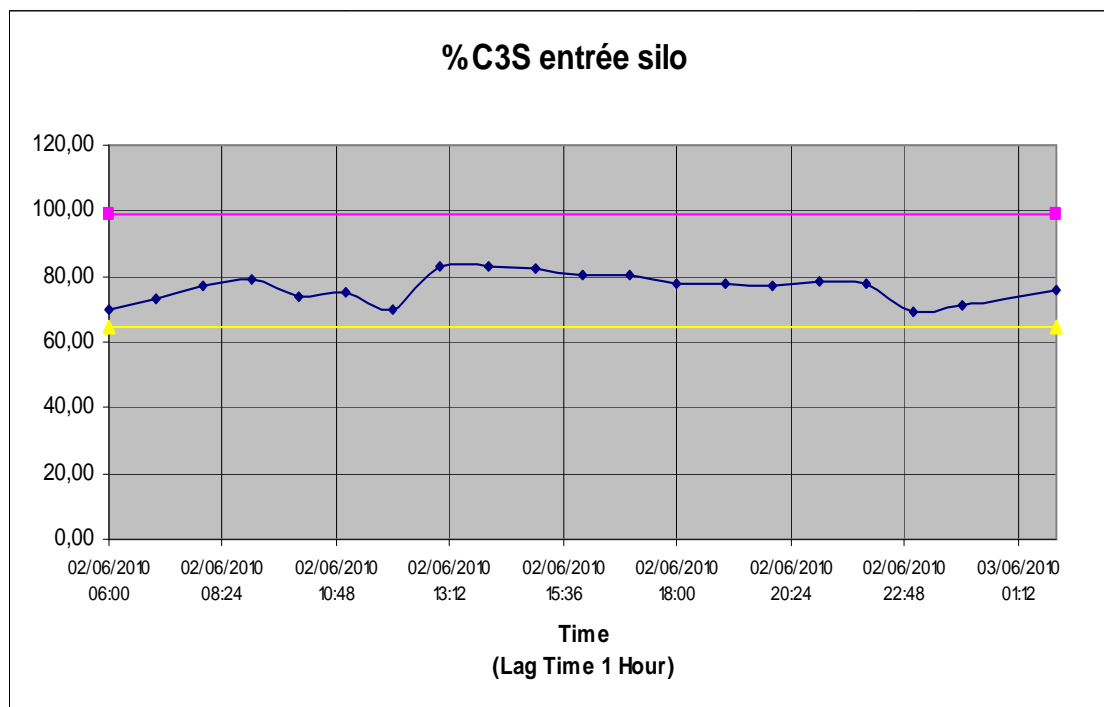
2-Conditions de déroulement de l'essai

- Démarrage de l'essai le 02-06-10 à 6h00
- Niveau du silo d'homogénéisation : 7m de vide
- Le groupe n° 3 d'extraction silo non opérationnel (problème sur vanne à papillon de l'aéro n°3).
- La marche du BC2 est stable.
- Débit moyen : 150t/h
- Un petit arrêt du BC pendant 20min suite à un problème au niveau du gratteur de la pré-homo (pas d'influence sur les résultats de l'essai)
- Les prélèvements effectués :
 - 20 prélèvement entrée silo, un par heure
 - 40 prélèvement sortie silo, un par heure

L'analyse des prélèvements se faisait au fur et à mesure que les prélèvements.

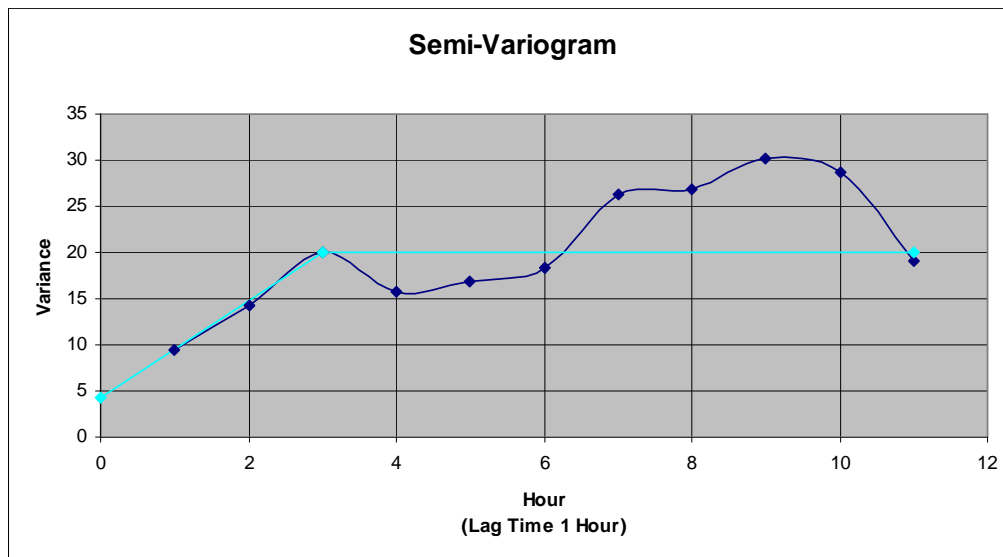
3- Les résultats obtenus :

a-Variogramme du %C3S entrée silo :



Ce graphique montre le pourcentage de C3S en fonction du temps mesurée sur 20 échantillons du cru prélevés toutes les heures à la sortie du BC avec un %min de 69,13 un %max de 83,07 et une variance de 18,17.

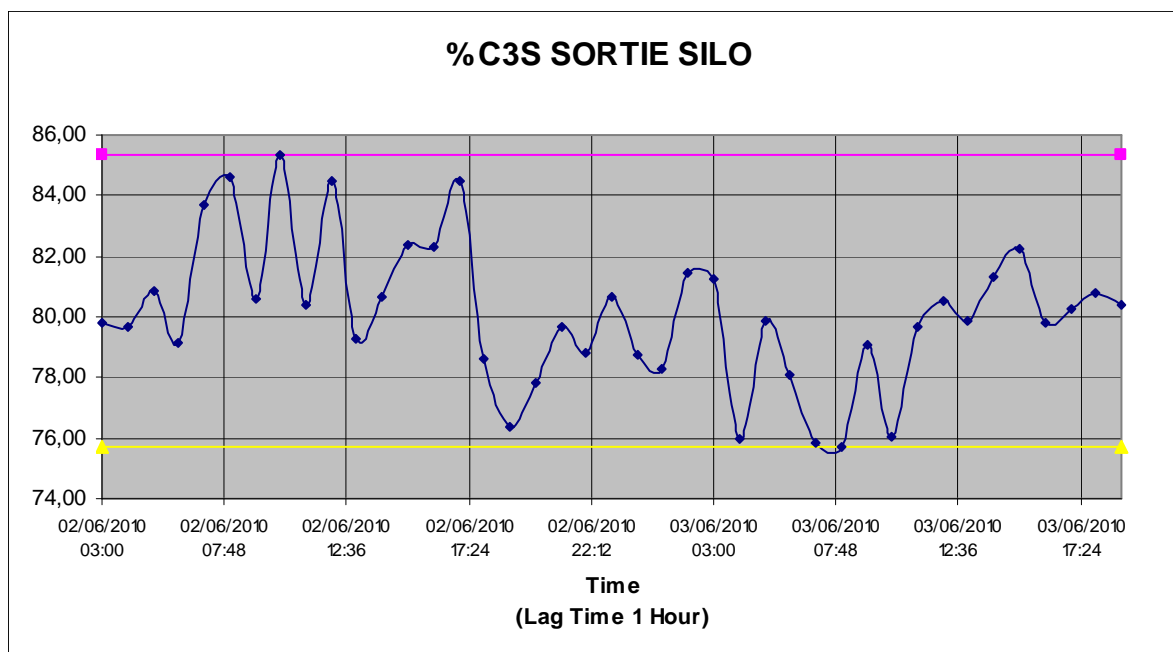
Nombre d'échantillon:	20,00
% moyenne:	76,58
%minimum:	69,13
%maximum:	83,07
Variance:	18,18



Interprétation			
h1	4,20	%h1:	21,00
h2	15,80	%h2:	79,00
a2	3,00	%h3:	0,00

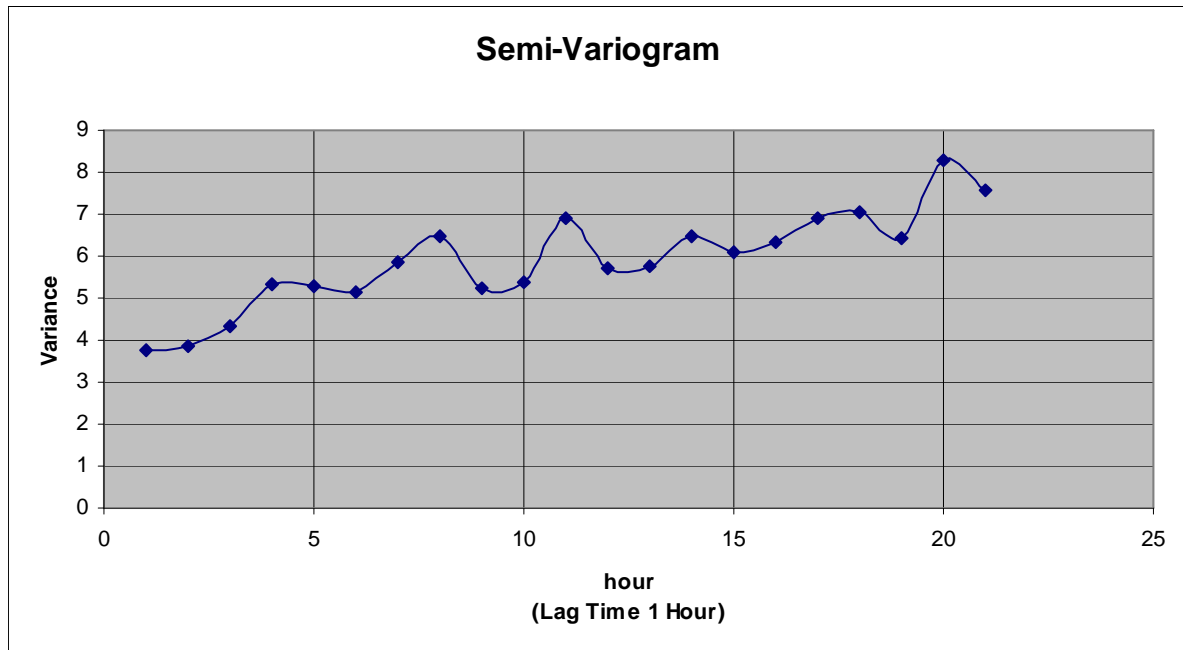
- L'erreur due à la variabilité aléatoire (h1) est de 4,2.
- L'erreur due à la variabilité tendance (h2) est de 15,8.
- La portée est 3h.
- Nous n'avons pas de phénomène cyclique

b-Variogramme du %C3S sortie silo :



On peut reconnaître sur ce graphique trois sortes d'hétérogénéités : une hétérogénéité aléatoire, de tendance et cyclique avec une variance de 5,67.

Nombre d'échantillon:	41,00
%moyenne:	80,11
%Minimum:	75,73
%Maximum:	85,33
Variance:	5,68



Interprétation			
h1	3,80	%h1:	48,72
h2:	3,00	%h2:	38,46
a2	21,00	%h3:	12,82
2*h3	2,00		
T	3,00		

- La valeur de $h1=3,8$ est un peu élevée. Cela peut s'expliquer par le mauvais emplacement et le fonctionnement de l'échantillonneur (conclusion établie lors de l'essai à haute fréquence de caractérisation de ce dernier).
- La proportion de $h1$ est 48,78.
- Nous avons un phénomène cyclique ($h3$) d'une période d'une heure et de proportion de 12,82%.
- Nous avons aussi une variabilité de la tendance ($h2$) de proportion 38,46%.

c-Comparaison des deux variogramme

- La portée a augmenté, elle est passée de 3h à 21h.
- La variabilité maximale ($h_1+h_2+h_3$) a diminué de 20 à 7,5.
- Création d'un phénomène cyclique à la sortie du silo.

L'efficacité du silo d'homogénéisation peut être calculée par le rapport $(h_2+h_3)_{\text{entrée}}/(h_2+h_3)_{\text{sortie}}$.

- Les termes h_1 entrée et sortie ne sont pas pris en considération car ils renferment les aléas de mesures et d'échantillonnage, sur lesquels la performance du silo n'intervient pas
- L'efficacité de ce silo est : $15,8/3+1$ est égale à 3,95
- la référence d'efficacité pour ce type de silo est comprise entre 2 et 6.
Donc ce silo a une bonne efficacité.

d-Conclusion :

- ↳ Ce silo d'homogénéisation a augmenté la portée, a réduit la variabilité et il a une bonne efficacité donc il assure bien son rôle.
- ↳ Reste une création d'un phénomène cyclique qui peut être expliqué par l'inefficacité de l'échantillonneur sortie silo.

Conclusion générale

Les conclusions que j'ai tiré de ce travail sont les suivantes :

L'efficacité d'homogénéisation de silo dépend de plusieurs paramètres :

- ✓ Le contrôle des stocks des matières premières s'avère très nécessaire pour le bon fonctionnement du silo d'homogénéisation, surtout à fournir une matière régulière dans sa composition chimique et donc facile à cuire.
- ✓ Les pré-conditions de fonctionnement du silo à savoir le niveau de remplissage, le fonctionnement des sections de soutirage ainsi que le débit d'alimentation du silo d'homogénéisation.
- ✓ Le processus d'homogénéisation au fond du silo.
- ✓ La géométrie du silo d'homogénéisation ainsi que la méthode de stockage et de déstockage choisie.

Cette étude m'a permis de confirmer le bon fonctionnement du silo d'homogénéisation de LAFARGE usine de Meknès.

Les différentes tâches que j'ai réalisées, m'ont permis d'acquérir un certain nombre de connaissances au niveau du processus de production.

Malgré la courte durée de ce stage, cette période m'a été utile et m'a permis d'acquérir un savoir sur le monde professionnel, plus d'expériences et améliorer mes connaissances économiques relationnelles.

Donc le stage s'est déroulé dans de bonnes conditions et a été pour moi une étape importante dans ma formation scientifique et technique.

Bibliographie

- Gy, P, 1988
“Hétérogénéité - Echantillonnage - Homogénéisation“
Ensembles cohérent des théories.
Collection mesures physiques, Masson, p 108-130.
- Pitard F, F 1989.
“Pierre Gy’s Sampling Theory and Sampling Practice“
Volume I, Heterogeneity and Sampling, CRC Press, p89-108-214.
- Gy, P 1965
“L’échantillonnage des minerais en cours de transport continu“.
Revue de l’industrie Minérale, p 51-82.
- Gy, P 1988.
“Hétérogénéité – Echantillonnage – Homogénéisation“ ; Ensembles cohérent des théories.
Collections mesures physiques, Masson, p 210-270.
- Haller, H.S and Bowles, R.L revised 9/91.
“Industrial Problem-Solving Method“; SSI Management Consultants, Inc, Part 17.
- Pitard, F.F 1987 “The Variographic Experiment: An Essential Test for Optimizing Sampling Methodology in Monitoring Streams, in Chemical and Biological Characterization of Sludge, p 44-58.
- FABRICATION DU CIMENT.
www.ciments-calcia.fr
- Rapport de stage présenté par MRABBAJ Nisrine.ASMENT TEMARA 2008
TITRE : étude de l’efficacité du silo d’homogénéisation des matières premières.