Introduction

Le ciment est un matériau de base qui trouve de nombreuses applications dans le génie civil. Son utilisation est généralisée dans le monde entier. Face à une population mondiale et à un développement croissants, les besoins en produits cimentiers pour la construction des bâtiments et des infrastructures de communication sont considérables. D'autre part, l'économie de marché mondiale astreint les industriels à rester toujours plus compétitifs pour la survie de leurs activités. Ceci implique en partie de développer des moyens de production performants et économiquement viables. Pour produire le ciment qui est un produit de base élaboré, mais ayant pourtant un prix de vente somme toute assez faible, l'industrie cimentière a dû optimiser son processus de fabrication.

Dans le cadre de l'optimisation des coûts de production, l'usine a lancé plusieurs projets afin de mettre le focus sur les sujets les plus critiques. L'un des sujets les plus importants est la réduction de la consommation du Clinker, produit intermédiaire coûteux, dans la composition du produit final qui est le ciment. La consommation du Clinker dans le ciment est exprimée par le ratio massique C/K (Ciment/Clinker).

En effet, en améliorant ce rapport, nous aurons rallongé la durée de vie de la carriére, nous aurons aussi diminué les charges liées à la production du ciment. Puisque pour produire ce dernier, nous utilisons principalement du clinker qui représente un pourcentage important de l'ensemble des matières premières, suivi du calcaire, gypse, et pouzzolane. En plus d'être le composant majoritaire dans la fabrication du ciment, il y est aussi le plus cher. Tout compte fait, 1% gagné en clinker correspond à un potentiel de gain 4.39MDH par an.

Pour aboutir aux objectifs fixés par le sujet et le cahier des charges, le travail réalisé est basé sur les points suivants :

- Brainstorming des idées sur notre problématique
- Identification des axes d'optimisation du ratio C/K
- Comparatif des principaux indicateurs cimentiers entre 2008 et janvier 2016

L'amélioration du ratio ciment/clinker exige un plan de travail, Notre travail sera présenté en deux grandes parties :

- La première partie (bibliographique) : sera consacrée à la présentation de l'entreprise d'accueil, ainsi que son processus de fabrication
- la deuxième partie (expérimentale) : sera consacrée une étude détaillée du broyeur, séparateurs … permettant de déterminer ses principaux paramètres, pour établir un bilan de séchage fondé sur des mesures prises sur site, dans le but de repérer les écarts (mesures - normes) et d'éliminer le problème d'humidité des matières premières et trouver les actions convenables à améliorer notre rapport C/K. et on va clôturer notre rapport par une petite conclusion

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

Partie 1 :

Étude bibliographique

I.Présentation de l'organisme d'accueil

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 principal dérivé, le béton, dépend tout l'équipement du pays : logements, écoles, ponts, barrages, routes…. 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

I.1. Historique

La cimenterie de Meknès se trouve au Nord-est de la ville à proximité immédiate de Hay Soussi et non loin de la route principale Meknès Fès. Dénommé CADEM (Ciments Artificiels de Meknès), l'usine a démarré en 1953 avec une seule ligne de production. [1]

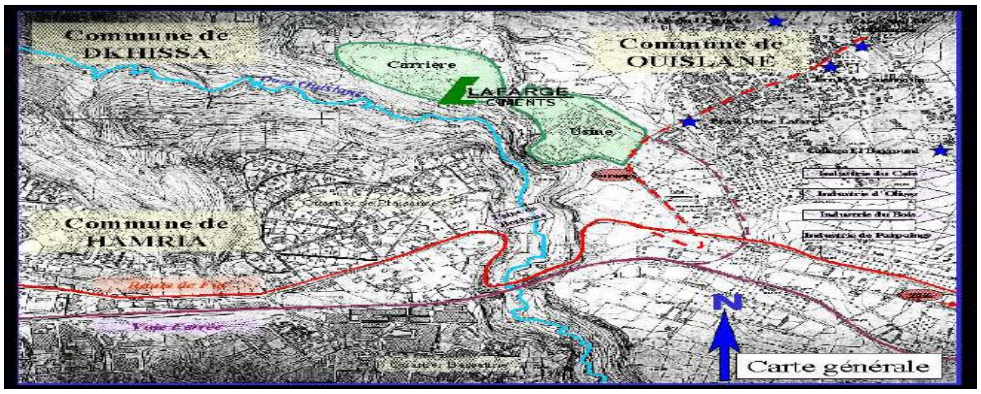


Figure 1:situation géographique de Lafarge à Meknès

I.2. Implantation de Lafarge Meknès [1]

1971 : Extension des capacités avec l'installation d'un nouveau four de 650 t/j et augmentation de la capacité broyage ciment à 650.000 t.

1985 : Conversion du procédé voie humide en voie sèche, tout en augmentant la capacité de production qui atteint 1500 tonnes par jour.

1989 : Installation d'un broyeur à ciment BK4.

1990 : la capacité de production passe de 1500 à 1800 tonnes par jour, grâce à des modifications au niveau du précalcinateur et du refroidisseur.

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

1997 : la CADEM est devenue LAFARGE Meknès et faisant partie du Groupe Lafarge. Plusieurs améliorations techniques ont été réalisées pour augmenter le niveau de production.

2002 : Certification ISO 14001

2004 : Certification ISO 9001

2016 : Concrétisation de la fusion entre les deux groupe LAFARGE et HOLCIM en 2015 au Maroc. Lafarge HOLCIM Maroc est le nouveau leader national du ciment et matériaux de construction.

I.3. La fiche technique

Nom	LAFARGE Ciments Usine de Meknès
Forme juridique	Société Anonyme
Capital social	476 430 500 DH
Capacité de production	1 250 000 tonnes/an.
Pays d'origine	France
Adresse	Km 8, route de Fès – Meknès BP 33 et 233
Téléphone	0535 52 26 44
Fax	0535 54 93 07
Effectif	163
Date de création	1953
Activité	Cimenterie
Produit fabriqué	CPJ35, CPJ45, CPJ55
Site web	www.lafarge.ma

Tableau 1: Statut juridique de LAFARGE

I.4. Les équipements de l'usine

L'usine contient :

- 2 lignes de cuisson en voie sèche avec conduite entièrement automatisée pilotée par un système expert;
- 3 broyeurs ciments d'une capacité totale annuelle 1.250.000 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 tonnes
- Atelier d'expédition sac et vrac
- Embranchement particulier à la voie ferré.

I.5. Organigramme de l'usine Meknès

Voici une vue générale de l'organigramme de l'entreprise Lafarge-Meknès.

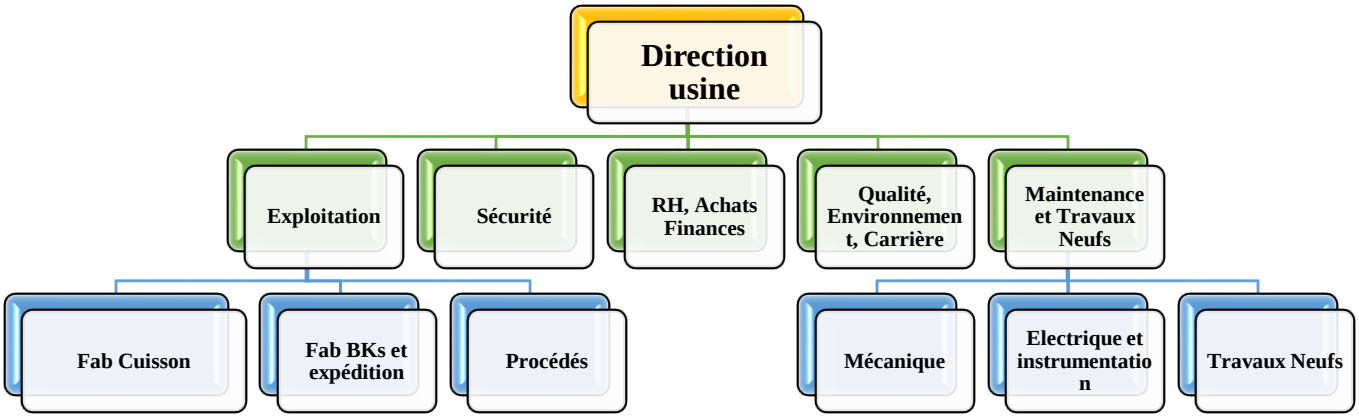


Figure 2: organigramme d'usine Lafarge Meknès

II. Le processus de fabrication du ciment

II.1. Généralité sur le ciment

Le ciment est un liant hydraulique utilisé dans différents domaines, principalement comme matériau de construction. Il est fabriqué à partir de la cuisson, le mélange et le broyage de différentes matières premières. [2]

Les ciments usuels sont fabriqués à partir d'un mélange de calcaire ($CaCO_3$) environ de 80% et d'argile (SiO_2 –Al_2O_3) environ de 20%.

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_2O_3	A	102
Oxyde de Fer	Fe_2O_3	F	160

Tableau 2: Composition du ciment

Il existe un grand nombre de catégories de ciment, la plus connue d'entre elles est celle des ciments Portland qui, en fait, regroupe deux catégories normalisées :

- Le Ciment Portland Artificiel : CPA
- Le Ciment Portland Composé : CPJ (**35, 45, 55**)

Voici la composition de différents types de ciment au sein de la société cimentier Lafarge Meknès

Ciments / Compositions	CPJ35	CPJ45	CPA55
Calcaire	35%	28%	13%
Pouzolane	0%	4%	10%
Gypse	4%	4%	4%
Clinker	63.5%	64%	73%

Tableau 3 : composition de différents types de ciment

II.2. Matières premières du ciment

Les matières premières qui rentrent dans la fabrication du Ciment sont essentiellement le calcaire et l'argile ou toutes matières renfermant essentiellement de la chaux (CAO), de la silice (SiO_2), de l'alumine (Al_2O_3), et de l'oxyde ferrique (Fe_2O_3).

II.3. Matières d'ajouts du ciment

- **Gypse :** son rôle est de régulariser le temps de prise du ciment.
- **Calcaire :** Ajout qui diminue la résistance du ciment
- **Le Schiste** : le gisement de schiste se situe à 20 Km de Sud-ouest de la ville Fès (Bhalil).
- **Matières de correction:** Les matières de correction sont en général : le sable et les minerais de fer, elles sont ajoutées à la matière crue, leur coût est élevé car elles sont fournies par des fournisseurs étrangers.
- **Pouzzolane :** une matière volcanique, et spécialement utilisée pour la fabrication de tous les types du ciment commercialisé sauf pour le CPJ35.

II.4. Les étapes de fabrication du ciment

Avant d'obtenir le produit fini (le ciment), la matière première du ciment, suit des étapes différentes qui sont des transformations physiques et chimiques.

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

La procédure générale de la fabrication du ciment est la suivante :

- La carrière et le concassage.
- La préparation du cru.
- Cuisson de la farine.
- Le broyage du clinker.
- L'ensachage

II.4.1. Carrière et concassage

a. Carrière

Elle permet de fournir deux essentielles matières premières le calcaire et l'argile, elles sont extraites comme des roches et cela par méthode de l'abattage à l'explosif, le calcaire est transporté par des dumpers vers un atelier de concassage.

Il existe trois carrières :

- **La carrière CADEM :** Cette carrière est équipée d'un concasseur à marteau FCB, assurant un débit de 500t/h. Cette carrière est épuisée et est en cours de réhabilitation. Actuellement, le concasseur est utilisé pour le concassage du calcaire d'addition du gypse et peut alimenter les deux Pré homos.
- **La carrière ZONE 4 :** Elle est située à 5km de l'usine, d'une superficie de 100ha. Son exploitation a débuté en 1978. Cette carrière équipée d'un concasseur HAZEMAG. L'exploitation de la carrière zone 4 se fait par abattage à l'explosif.
- **La carrière ZONE D :** L'exploitation de cette zone a commencé en 2009 pour rallonger la durée de vie de l'usine. Elle est située à 3km de la zone et est exploitée par abattage et ripage. Le calcaire extrait est acheminé au HAZMAG pour concassage. Les réserves actuelles des deux zones sont estimées à 10ans.

L'acheminement de la matière de carrière vers l'usine est assuré par un transporteur d'une longueur de 5km appelé le Curvoduc afin de la stocker dans les deux pré-homogénéisation.

b. Concassage

Lafarge est équipée d'une installation de criblage et concassage de matières premières ayant un débit horaire de 500 tonnes par heure, Les blocs de calcaire extraits peuvent atteindre $1m^3$ de volume, ils sont concassés et ramenés à des dimensions inférieures à 120 mm, le tout venant d'être concassé, est acheminé du concasseur jusqu'à l'usine par une bande transporteuse

II.4.2. Préparation cru

La préparation crue se fait en plusieurs étapes :

a. Echantillonnage

Avant de stocker la matière première à l'origine de la carrière, il faut l'analyser au laboratoire et la vérifier par un système d'échantillonnage afin d'ajuster sa composition chimique.

Rapport-Gratuit.com

L'usine de Meknès est équipée d'une tour d'échantillonnage de type ITECA à 4 étages. Cette tour permet d'obtenir en continu un échantillon de 800g de matière prélevée à la sortie du coupeur tertiaire pour chaque lot de 1500 tonnes.

b. Pré homogénéisation

Pour obtenir un produit homogène (mélange très intime des constituants : calcaire, argile, sable, minerai de fer) l'usine est équipée de deux installations de pré homogénéisation polaires de capacité totale de environ 2×18000 tonnes chacune. Le tas est constitué par des couches des matières premières à l'aide d'un manège tournant avec deux navettes.

c. Broyeur cru

La matière crue, additionnée avec des ajouts en constituants secondaires (schiste, minerai de fer, calcaire de correction…), passe par deux broyeurs crus verticaux. L'objectif est d'atteindre la finesse souhaitée (de l'ordre de 10 à 13 % de rejets à 100 µm) appelée farine ou cru sortie broyeur. Au cours du broyage, le cru est séché à une humidité de 0,6%, par les gaz chauds en provenance de la tour de préchauffage.

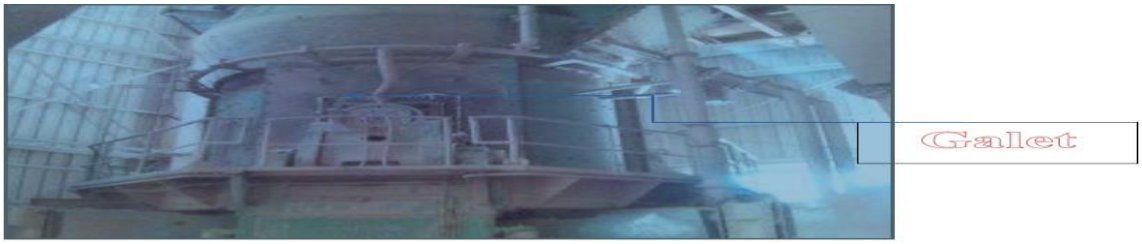


Figure 3 : broyeur à galets

d. Homogénéisation

Le cru provenant des broyeurs est ensuite acheminé par des aéroglisseurs pour être stocké dans les silos d'homogénéisation. L'usine en compte deux de cette sorte. Ce type de silo IBAU assure à la fois le stockage et l'homogénéisation de la farine. Leur but est de réaliser un mélange final de la farine pour gommer les dernières dérives chimiques présentes. L'un a une capacité de 7500 t/an, l'autre de 5000 t/an.

Cette opération a pour objectif de réaliser un mélange final de la farine pour gommer les dernières dérives chimiques encore présentes.

II.4.3. Cuisson de la farine

La cuisson du cru est l'opération fondamentale dans la préparation du ciment. A la sortie du silo d'homogénéisation, la farine est introduite en tête d'une tour de préchauffage, dite« EVS ». Elle circule par gravité le long de cinq cyclones à contre-courant des gaz d'une température de 800°C. Par la suite, elle arrive dans le four rotatif, légèrement incliné, avec une température

de 900 °C. En progressant dans le four, la matière commence à se transformer en clinker à une température de 1200°C.

Les transformations que la farine subit :

- **La déshydratation:** la farine contient environ 0.2 % d'humidité. Cette quantité d'eau s'évapore en contact avec les gaz chauds provenant du four.
- **La décarbonatation:** la farine crue déshydratée se décarbonate jusqu'à 75%,

$$CaCO_3 \longrightarrow CaO + CO_2$$

Après la tour, on vient au four qui est composé de deux zones:

- **Zone de décarbonatation:** Elle occupe la première partie en amont du four, le reste de carbonate de chaux (10%) perd son gaz carbonique et la chaux amorce le processus des différentes combinaisons avec les autres éléments.

Les réactions chimiques principales au niveau du four sont:

$$CaO + C2S \rightarrow C3S \quad \text{(Alite)}$$
$$2CaO + SiO2 \rightarrow C2S \quad \text{(Bélite)}$$
$$3CaO + Al2O3 \rightarrow C3A \quad \text{(Aluminate tricalcique)}$$
$$4CaO + Al2O3 + Fe2O3 \rightarrow C4AF \quad \text{(Alumino-Ferrite tétracalcique)}$$

a. Le refroidissement

Plusieurs refroidisseurs peuvent être envisagés :

- Refroidisseurs rotatifs.
- Refroidisseurs planétaires.
- la grille de refroidisseur.

A la sortie du four, le clinker progresse lentement le long de la grille, soit par translation de celle-ci, soit grâce au mouvement alternatif de plaques de grille.

Sous la grille, des ventilateurs propulsent l'air à travers la couche de clinker, assurent un refroidissement progressif.

Les ajouts clinker sont généralement le gypse et le calcaire.

II.4.4. Broyage du clinker

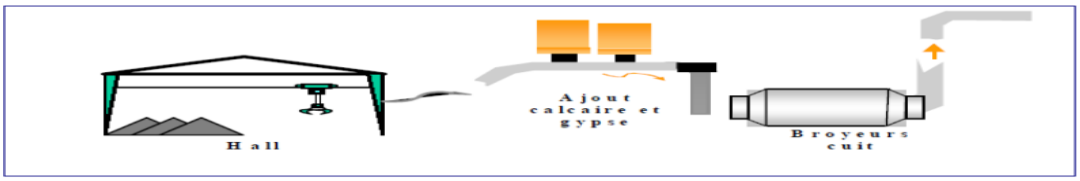


Figure 4 : broyage du clinker

On vise à broyer simplement le clinker, le gypse et le calcaire en utilisant trois broyeurs:

- Broyeur à boulet de débit d'environ **52 t/h** destiné à la production du **CPJ 45**.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

- Broyeur à boulet de débit d'environ **113 t/h** destiné à la production du **CPJ 35**.
- Broyeur à boulet d'environ **115t/h** destiné à la production du **CPJ 55**.

Le broyeur ciment est composé de deux compartiments:

Dans le premier compartiment, le broyage de la matière première se fait par des boulets entraînés par la rotation du broyeur. A cette vitesse, certains boulets seront entraînés et projetés sur les blindages releveurs et d'autres tomberont sous l'influence de leur poids; ils agiront par choc.

II.4.5. Ensachage et expédition

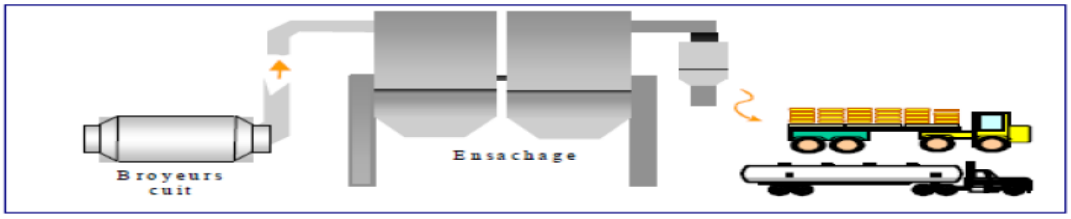


Figure 5: Ensachage

Des équipements mécaniques et pneumatiques acheminent le produit vers quatre silos de stockage. La capacité de chacun est de 1800 tonnes. Le silotage permet de conserver le ciment en empêchant son hydratation, ensuite vient la livraison comme suit:

Livraison du ciment en sac: Est obtenue à l'aide des machines automatiques de remplissage et de pesage. Le débit est de l'ordre de 50 T/h. la capacité d'un sac est standardisée, et vaut 50 kg.

Livraison en vrac: Une manche télescopique ayant un débit de 250 T/h, permet le remplissage direct des réservoirs des camions. Le principe du mode opératoire consiste à la fluidisation par pompes ou aéroglisseurs. Ce type de livraison est appelé en vrac.

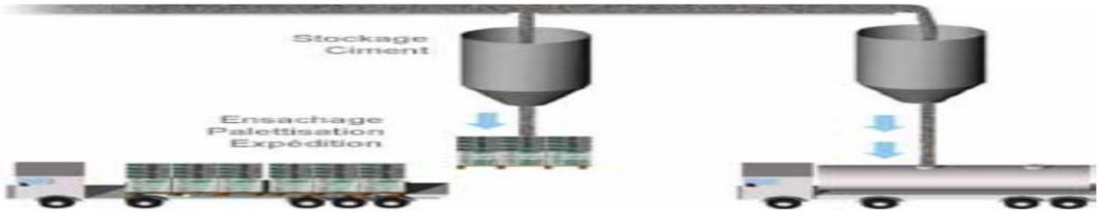


Figure 6 : Livraison du ciment

Partie 2 :
Optimisation du ratio ciment / clinker

Le rapport C/K (ciment produit / clinker consommé), ce ratio se calcule à partir de la quantité produite de chaque qualité et du clinker utilisé pour ces derniers durant une durée donnée.

L'optimisation du ratio C/K est une politique de Lafarge pour optimiser ses coûts de production et contrer le développement du marché cimentier marocain.

I.Contexte du projet

Avec une croissance progressive du marché cimentier marocain marquée par une stagnation des prix de vente aussi bien qu'une augmentation des prix des entrants, Lafarge et plus particulièrement sa division cimentière ont adopté un système de management par performance dans toutes ses unités de fabrication au Maroc. L'optimisation du ratio C/K fait partie des indicateurs clés de ce système.

Dans ce contexte, une problématique se pose. Le rapport C/K doit être constamment optimisé. La question qui se pose dans le cadre de notre sujet est donc :

Quels sont les axes à solliciter, et quels sont les leviers d'actions pour garantir un bon niveau de performance en C/K ?

Pour répondre à cette question, nous proposons de gérer notre mission qui s'appuie sur une bonne maîtrise du procédé de la fabrication du ciment et des outils d'analyse et de communication, déclinée en trois étapes :

- Brainstorming des idées l'optimisation du ratio C/K
- Identification des axes d'optimisation du ratio C/K
- Comparatif des principaux indicateurs cimentiers entre 2008 et janvier 2016

La réalisation de l'ensemble de ces points doit être effectuée en collaboration avec les acteurs du cœur de métier (Fabricants, qualiticiens, procédés). La validation des plans d'actions sera faite lors des réunions périodiques.

I.1. Brainstorming des idées sur les axes de l'optimisation du ratio C/K

I.1.1. Définition de la technique du brainstorming

Le brainstorming est une technique de créativité qui facilite la production d'idées d'un individu ou d'un groupe. L'utilisation du brainstorming permet de trouver le maximum d'idées originales dans le minimum de temps grâce au jugement différé. Le jugement différé consiste à énoncer d'abord un grand nombre d'idées et de les évaluer uniquement dans un deuxième temps ou lors d'une autre rencontre. Notez que les termes «remue-méninges» et «tempête d'idées» servent à nommer également la technique du brainstorming. **[3]**

I.1.2. Pourquoi utiliser la technique du brainstorming pour trouver des idées?

La technique du brainstorming a pour principal avantage de favoriser la fluidité de la pensée des individus et du groupe. En effet, elle permet de préserver le flux (flow) des idées et d'éviter de détruire les idées des autres. L'application de la technique consiste essentiellement à énoncer dans un premier temps, une grande quantité d'idées et de s'assurer de suspendre le jugement. Ce n'est que dans un deuxième temps, après avoir sorti le plus d'idées possibles que l'on a la permission de critiquer les idées trouvées. On peut alors prendre soin de transformer les idées brutes en solutions adaptées à la situation. [3]

Durant les premières semaines de travail, nous avons pris connaissance des différentes ressources (humaines + matérielles) de l'usine via une série de visites in situ et de discussions avec les principaux corps de métiers intervenants sur ce volet tels que la fabrication, le procédé et la qualité. A travers cette démarche, nous avons établi un brainstorming des différentes idées pour l'optimisation du ratio C/K.

Le schéma ci-dessous synthétise les pistes obtenues :

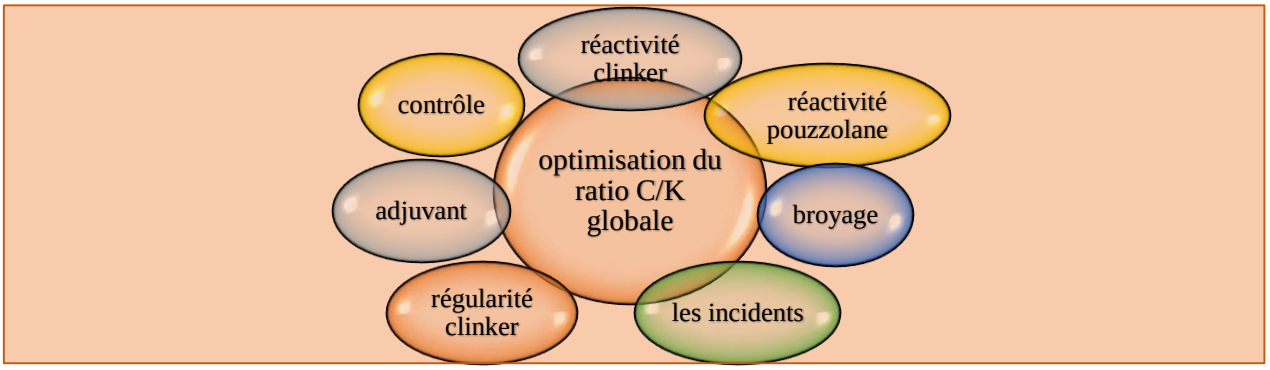


Figure 7 : brainstorming des idées

Apres la prise en compte du brainstorming et l'organisation d'une réunion avec les interlocuteurs, on a défini ensemble les axes qui sont prioritaires à traiter par ordre. Les axes choisis sont :

Broyage, réactivité clinker, réactivité pouzzolane, régularité clinker, les incidents et contrôle.

Sur chaque axe il y aura un objectif globale et un travail d'analyse à faire afin de suggérer un plan d'actions et d'assurer son suivi.

I.2. Historique d'évolution de rapport C/K

L'usine de Meknès contient deux lignes de production du clinker à voies sèches, la première ligne assure une production journalière de 1800 t du clinker alors que la deuxième ligne produit 1200 t/j.

L'orientation de l'usine de Meknès en termes de performance révèle la volonté d'optimiser davantage le rapport C/K. Le graphe suivant présente l'évolution de ce dernier réalisée entre 2008 et janvier 2016.

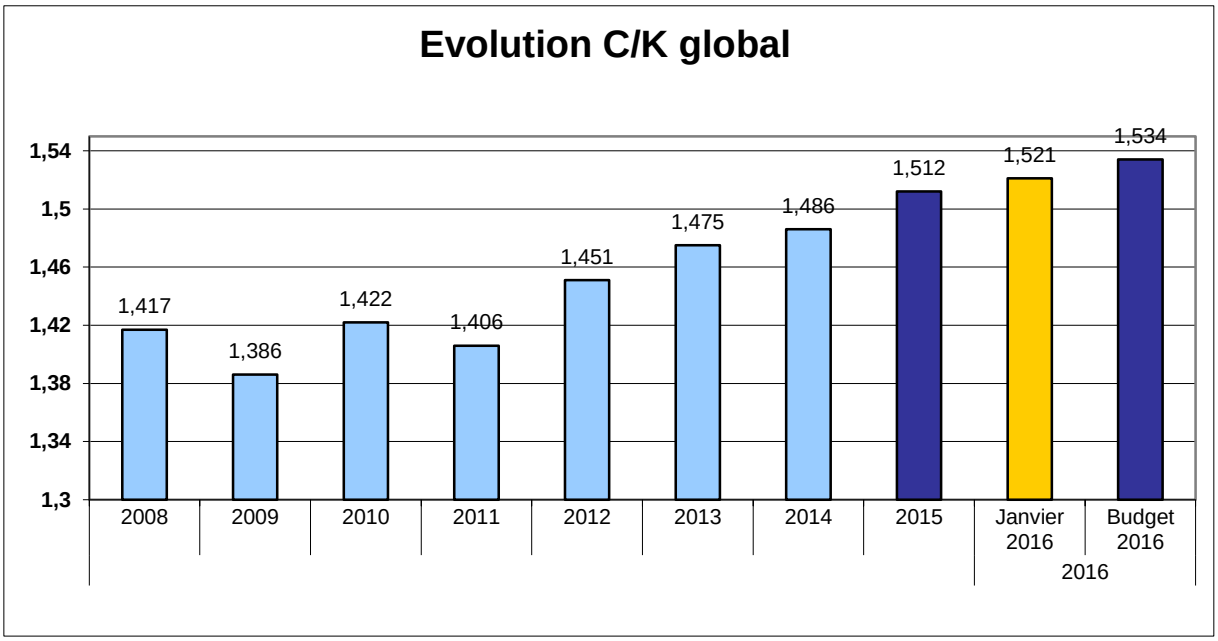


Figure 8 : évolution de rapport C/K entre les années 2008 - janvier 2016

D'après le graphe ci-contre On s'aperçoit que l'évolution du ratio C/K entre les années 2008-2012 n'était pas stable mais à partir de l'année 2012 on voit que cette évolution augmente relativement d'une année à une autre jusqu'à atteindre sa valeur maximal (1.521). Mais vu l'importance de cet indicateur, l'usine s'est fixé un objectif ambitieux de 1.534.

La première étape à franchir donc est de définir la démarche nécessaire pour quantifier les différents processus touchants notre rapport (C/K) puis à réaliser le plan d'action issu de cette quantification.

I.3. Analyse de rapport C/K du mois avril 2016

avr-16			
		Budget	Réalisé
CPJ35	t	19 155	16 731
	%KK	64,1%	64,1%
	C/K	1,560	1,560
CPJ45	t	83 388	83 438
	%KK	64,3%	65,7%
	C/K	1,555	1,522
CPJ55	t	9 829	13 975
	%KK	74,1%	74,4%
	C/K	1,350	1,345
Global	t	112 373	114 143
	%KK	65,14%	66,52%
	C/K	1,535	1,527

Tableau 4 : Analyse du ratio c/k du mois avril

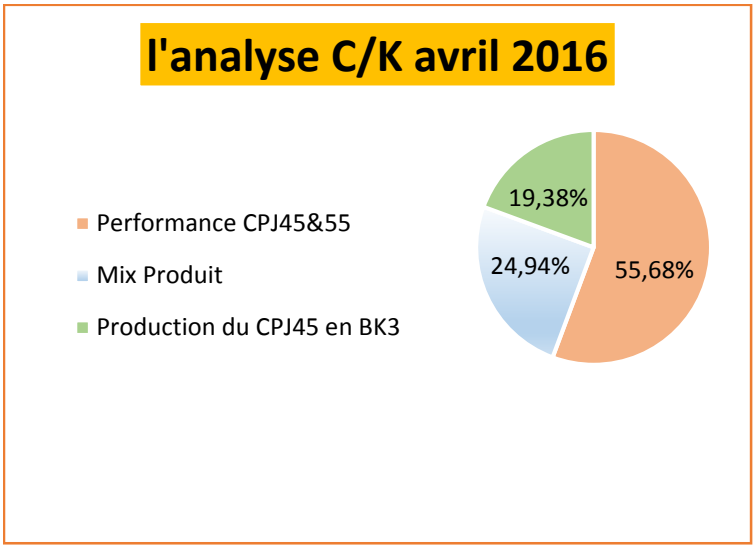


Figure 9 : graphe d'analyse du c/k du mois avril

L'objectif C/K de l'usine est défini d'une manière global (toutes qualités confondus). C'est la répartition des quantités de ventes (et par conséquent production) qui définit les objectifs par qualité. Ces derniers dépendent fortement des prévisions de ventes établis par le service commercial et logistique. Pour le mois d'avril, le C/K réalisé était de 1.527. Si l'on décortique cette performance, on parvient à la conclusion suivante : La contre-performance du C/K est due à trois effets majeurs : Le mix produit, l'usage du BK3 pour le CPJ45 et la contre-performance « propre ».

- **Le mix produit :** C'est le décalage entre les volumes prévisionnels et ceux réellement produits. Cet effet est d'autant plus défavorable quand il s'agit d'une surproduction (Besoin du marché) du CPJ 55, produit plus noble qui consomme plus de clinker, au détriment du CPJ 35.
- **L'usage du BK_3 pour le CPJ 45 :** L'atelier de broyage BK_3 est muni d'un séparateur de 1ère génération. Il est incapable de produire un ciment avec une finesse accrue. C'est pourquoi, il a été spécialisé dans le CPJ 35 (Résistances réalisées avec le clinker plutôt que la finesse). Toutefois et avec un besoin de plus en plus fort en qualités supérieures, le BK_3 sert pour des appoints en CPJ45 avec un %KK plus conséquent.
- **La contre-performance « propre » :** C'est l'un des facteurs qui entrave le cycle de production ce qui influence négativement notre ratio C/K. C'est sur ce volet qu'on possède des leviers d'action. Notre travail portera sur l'analyse et la proposition d'actions pour palier à cette contre-performance.

II. Analyse et étude piste par piste

Dans un souci de prolongation de durée de vie de la carrière et afin d'améliorer la rentabilité, l'amélioration du ratio C/K s'avéré nécessaire. Ayant actuellement un rapport ciment / clinker égale à 1.528, notre objectif est d'atteindre un rapport de 1.538, pour y arriver, plusieurs paramètres sont mis en jeu, et dont nous pouvons distingués deux grandes catégories :

La première étant les paramètres dits non contrôlables, à savoir le mix produit, puisqu'il est contrôlé par le marché, le rapport est donc calculé en fonction du type de production qui est contrôlé par le besoin des clients.

La deuxième regroupe les paramètres dits contrôlables, à savoir le problème de performance qui nécessite une étude sur tous les points susceptibles de modifier ce ratio. Donc après la prise en compte du brainstorming et l'organisation d'une réunion avec les interlocuteurs, on a défini ensemble les axes qui sont prioritaires à traiter. Les7 axes choisis sont : La réactivité clinker, adjuvant, broyage, les incidents, régularité clinker, et finalement le contrôle

Le schéma ci-dessous synthétise les pistes obtenues de l'analyse par arbre de causes :

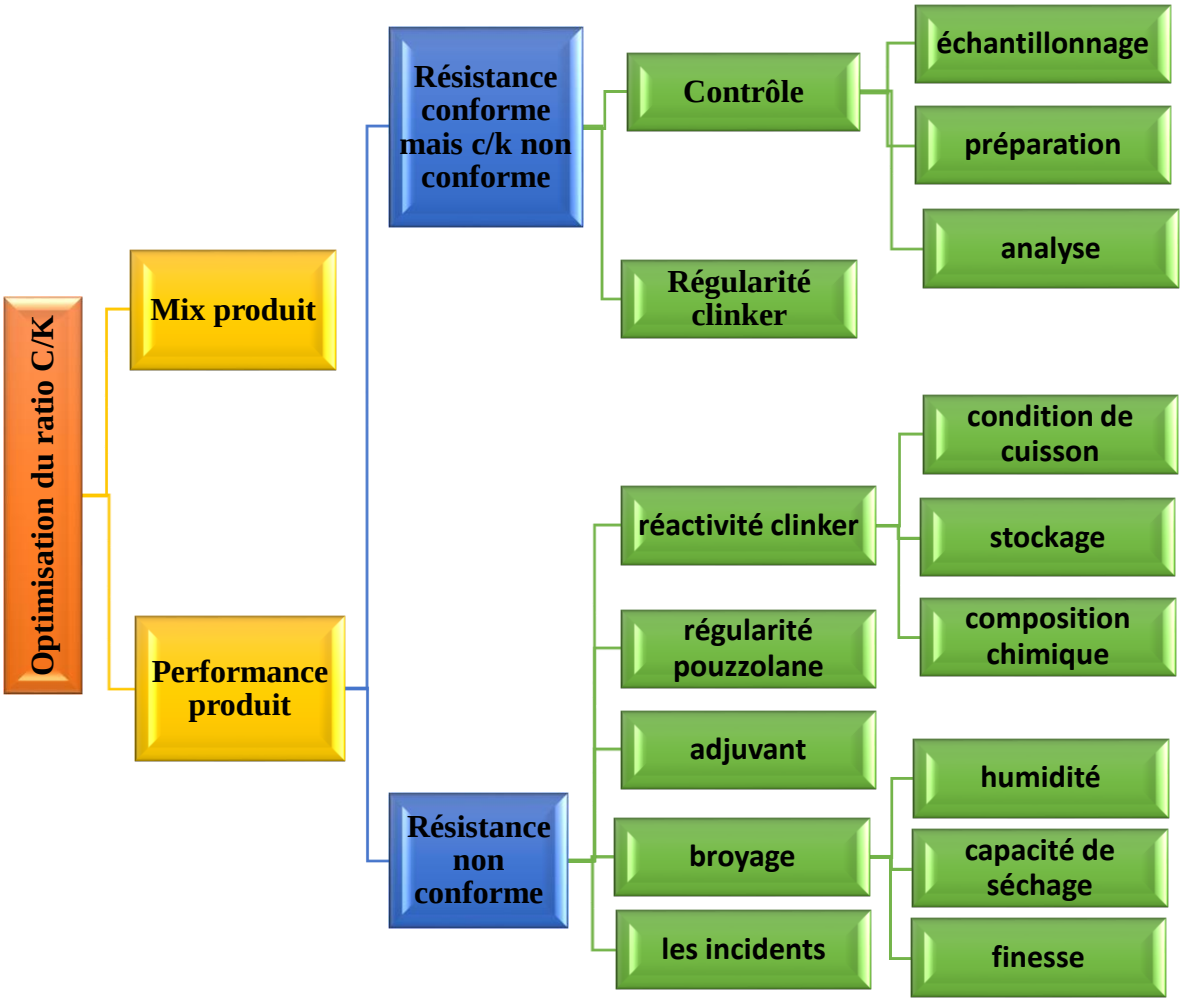


Figure 10 : les facteurs qui influencent notre rapport C/K

II.1. Premier axe d'optimisation: contrôle

II.1.1. Etude de la stabilité de l'analyse et de la préparation

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

Après homogénéisation et quartage de l'échantillon on pèse (30 ± 1) g de ce dernier on ajoute (20 ± 1) ml d'alcool ; puis on fait le broyage de l'ensemble pendant 6mn, le mélange est séché et on récupère le maximum de matière sur un papier propre, ensuite à l'aide de spatule, mélanger la matière et faire casser les plaquettes formées lors du séchage ; remplir doucement l'anneau et faire étaler la matière sur la totalité de la surface ; finalement on nettoie le fond de la pastille avec le pinceau pour éviter la pollution de l'appareil FX (l'analyse est effectuée sur l'échantillon qui est sous forme de pastille).

Le laboratoire dispose d'un spectromètre à fluorescence X, OXFORD, MDX 1080, qui permet d'analyser simultanément les éléments suivants : SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3, CaO, MgO, SO_3, K_2O et Na_2O .Cet appareil est capable de détecter la présence de minéraux cités ainsi que leurs pourcentages.

Figure 11 : Spectroscopie à fluorescence X

L'erreur analytique est essentiellement due au mauvais étalonnage de la MDX (FX). Afin de s'assurer de l'existence ou non de cette erreur, nous avons fait un essai de répétabilité sur la MDX (FX) : nous avons passé un échantillon standard 10 fois dans la FX.

Rapport-Gratuit.com

a. Résultats et interprétation

Les résultats obtenus sont illustrés dans les deux tableaux suivant :

Nombre de répétition	SiO_3(%)	Al_2O_3(%)	Fe_2O_3(%)	CaO(%)
Echantillon ciment(1)	13.35	3.28	2.1	42.86
Echantillon ciment (2)	13.33	3.28	2.1	42.86
Echantillon ciment (3)	13.35	3.2	2.1	42.85
Echantillon ciment (4)	13.34	3.29	2.1	42.88
Echantillon ciment (5)	13.35	3.28	2.11	42.88
Echantillon ciment(6)	13.36	3.27	2.11	42.77
Echantillon ciment (7)	13.37	3.3	2.11	42.8
Echantillon ciment (8)	13.36	3.31	2.11	42.79
Echantillon ciment(9)	13.35	3.27	2.11	42.86
Echantillon ciment(10)	13.35	3.28	2.11	42.85
moyenne	13.35	3.27	2.11	42.84
Ecart-type	0.01140	0.01195	0.00498	0.03108

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

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

	SiO_2(%)	Al_2O_3(%)	Fe_2O_3(%)	CaO(%)
moyenne	13.18	3.28	2.08	42.84
Limite supérieur	13.47	3.45	2.17	44.26
Limite inferieur	12.89	3.11	1.99	41.42

Tableau 6 : les données de l'échantillon standard

b. Interprétation des résultats

Les résultats de cet essai montrent que la MDX (FX) est en bon état car les moyennes trouvées sont acceptables.

L'analyse des échantillons au niveau de laboratoire de Lafarge s'effectue dans des conditions dites parfaits et à l'aide de matériels modernes et performant.

La vérification du fonctionnement des installations est très importante, c'est pour cette raison qu'à Lafarge, la vérification est journalière, elle inclue la balance des appareils ainsi que leur étalonnage. Ceci ne prend pas beaucoup de temps mais il est indispensable pour assurer un bon déroulement du processus au sein de l'usine. Tous ces analyses et contrôles rendent le laboratoire le cerveau de l'usine et c'est lui qui garde les choses sous contrôle. Et aussi la préparation de la matière au sein de laboratoire de

contrôle de qualité se passe sous des conditions parfaites et on peut dire avec confiance que la marge d'erreur est très étroite voire même négligeable.

L'étude précédente montre que l'analyse et la préparation s'effectuent normalement et donnent de bons résultats.

II.1.2. Etude de la stabilité des échantillonneurs

L'objectif de l'opération d'échantillonnage consiste, à partir d'un lot de production, d'en prélever une partie, appelée échantillon, considérée représentatif de la totalité vis-à-vis des critères de qualité fixés, et dont la connaissance des caractéristiques déterminera la stratégie à adopter pour le lot complet.

Lafarge Meknès dispose de trois broyeurs ciment Bk3, Bk4 et Bk5 dont chacun est muni d'un échantillonneur produit fini.

- **Bk3 : échantillonneur semi-automatique**

On a constaté un fonctionnement intermittent au niveau de la pompe d'expédition. Ce qui fait qu'on doit attendre jusqu'à ce que la trémie « PNEUMEX » du ciment soit complètement remplie pour que la pompe fonctionne. En conséquence, on ne peut ni passer la matière ni transférer le produit fini avant d'atteindre un certain niveau de pression.

Au-dessus de la trémie PNEUMEX, on a un échantillonneur à vis manuel qui s'avère être la source d'erreur.

On n'a pas suffisamment d'espace au niveau de la jetée par conséquent la matière n'a pas suffisamment du temps d'homogénéisation

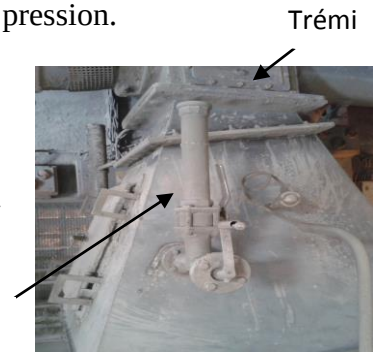


Figure 12 : Echantillonneur de BK 3 avec une vise manuelle

- **Bk4 : échantillonnage manuel**

Au BK4, L'aéroglisseur produit fini est munie d'une porte visite qui permet à l'opérateur de prélever la matière à l'aide d'une louche et l'emmener au laboratoire pour subir les analyses nécessaires.

Pour le BK 4 on a constaté les problèmes suivant :

- Un espace insuffisant entre la jetée et la vis (< 1m) par conséquent la matière récupérée n'est pas homogène
- Présence d'erreur c'est à cause de l'échantillonnage manuel

Figure 13: échantillonneur BK4

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

- **Bk5 : échantillonneur automatique**

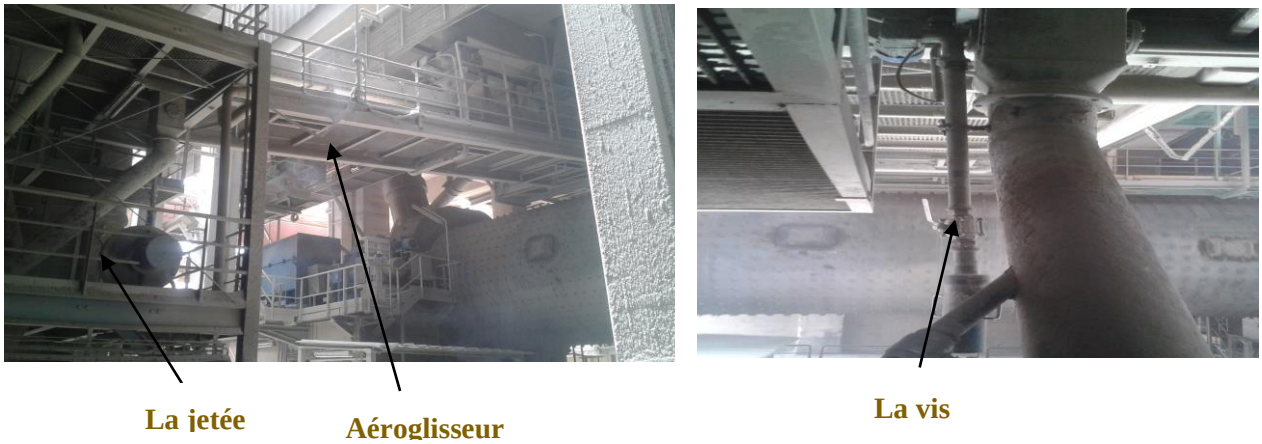


Figure 14 : échantillonneur automatique BK5

Cet échantillonneur est composé d'une vis, d'un moteur et d'un automate. Une fois il est temps de prélever les échantillons, l'automate donne un signal au moteur pour qu'il démarre et fait tourner le vis pour permettre la récupération de la matière.

La récupération de la matière au niveau de l'échantillonneur automatique consiste trois temps :

- Temps de récupération : le temps de récupération de la matière le long de la vis
- Temps de pause : c'est le temps de repos
- Temps de purge : le temps de vidange de la vis

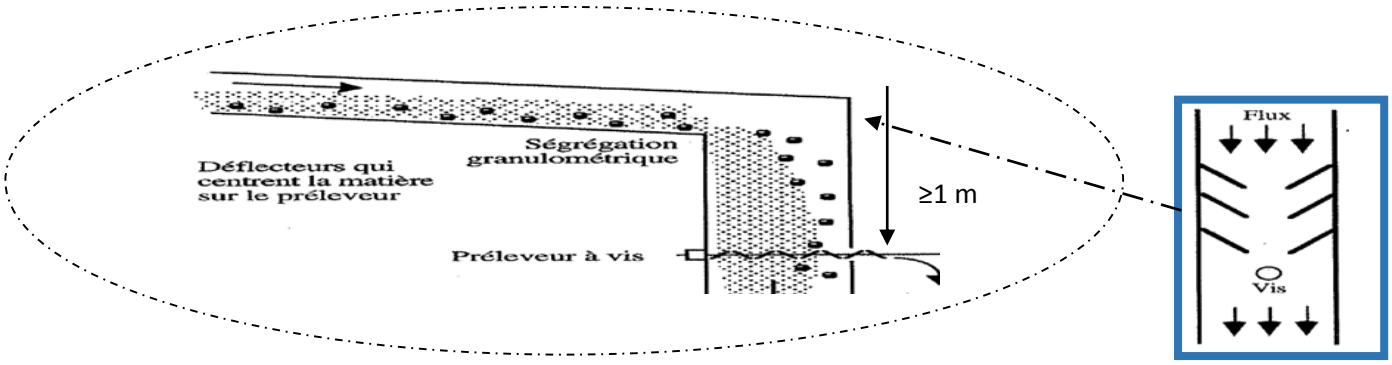


Figure 15: Installation d'un préleveur à vis BK 5

a. L'impact de la diversification de l'échantillonnage

D'après ce qu'on a cité auparavant, le système d'échantillonnage n'est pas harmoniser au sein de l'usine

On déduit que l'échantillonnage peut poser un problème de représentativité avec un pourcentage de fiabilité inférieur à 50%. Ce qui rend l'échantillonnage une source d'erreur pour nous renseigner sur la composition du ciment et biaiser par conséquent le pilotage.

II.2. Deuxième axe d'optimisation: régularité clinker

II.2.1. Etude de la stabilité des doseurs

Quand nous abordons le pourcentage du clinker, nous parlons directement de la régularité, qui nous renvoie systématiquement aux doseurs, puisque, le pourcentage de la matière a une étroite relation avec le fonctionnement des doseurs.

Donc pour avoir une régularité du clinker, nous devons savoir si la vérification de ces doseurs est bien faite, et si le tarage est effectué comme il faut et si un certain suivi est mis en place. En discutant de cette problématique avec les responsables des doseurs et avec le responsable contrôle qualité, on nous a informés qu'il y a deux types de tarages, le premier est physique et le deuxième est électrique. Ce dernier a une périodicité mensuelle alors que le premier se fait deux fois par an généralement, ou de façon préventive selon la déclaration du laboratoire ou dans le cas d'incident par exemple quand le suivi du pourcentage du clinker révèle que ce dernier est hors normes. Si le pourcentage affiché est différent par rapport au pourcentage réalisé, nous avons donc un écart de doseurs et il faut faire des actions correctives par conséquent. Ces actions se traduisent par une demande de la mise en place du tarage électrique pour faire la correction, et si cela s'avère inefficace ou insuffisant, ils démarrent le tarage physique puisqu'il est plus fiable

a. Description du doseur

Les doseurs sont des équipements d'alimentation pondéraux de la matière. Celle-ci est transportée sur une bande dont la vitesse est ajustée pour obtenir un débit de matière correspondant à une valeur de consigne. Il est conçu pour la mesure et le dosage des débits et les pourcentages de matière.

En règle générale, la bande transporteuse assure également l'extraction de la matière du silo d'alimentation.

Lafarge utilise des doseurs de type Schenck MULTIDOS. Le MULTIDOS est un doseur gravimétrique régulé en vitesse pour le dosage en continu de matériaux. Le matériau est extrait directement de la trémie (Silo) placée au-dessus de son entrée. Un registre de réglage de hauteur de couche, qui souvent fait partie de l'installation du client, permet d'obtenir un volume à peu près constant de la charge sur la bande.

Figure 16 : Doseur Schenck MULTIDOS

b. Analyse du pourcentage du clinker [annexe 1]

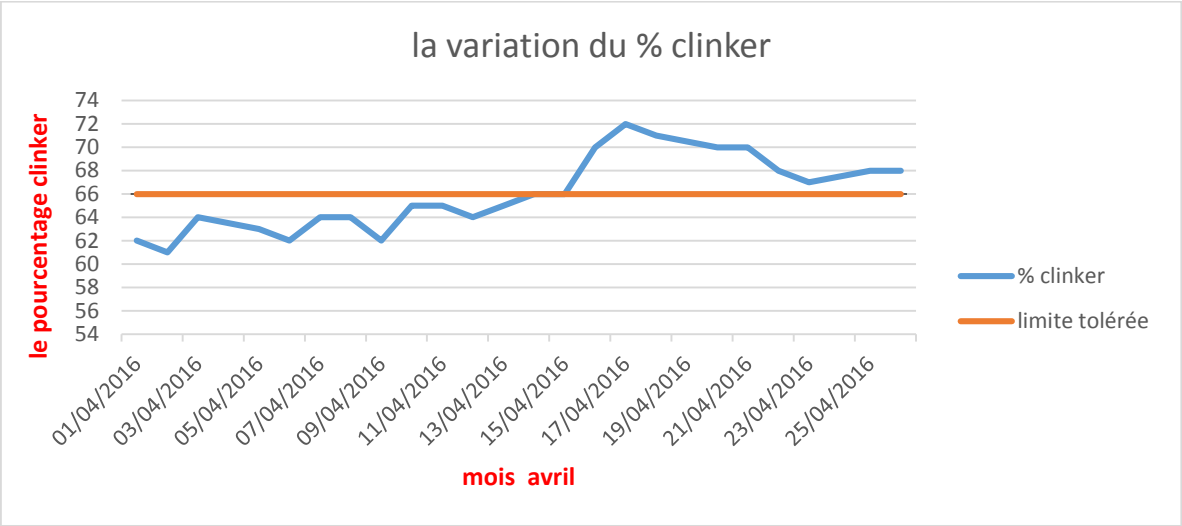


Figure 17 : le pourcentage du clinker

c. Interprétation du résultat

Suite à une analyse du pourcentage du clinker dans le ciment de sortie on a constaté que le pourcentage du clinker était au-dessous du seuil défini (66% = cible)

II.3. Troisième axe : les incidents

Un incident est un événement inattendu ayant une faible influence, ou évènement peu important en lui-même, mais susceptible d'entraîner de graves conséquences.

II.3.1. Premier problème : marche à vide

Nous avons le phénomène appelé « marches à vide », ce qui revient à dire que les doseurs sont en arrêt et le broyeur en marche.

- **L'effet des marches à vides sur le rapport C/K [annexe 2]**

Les marches à vide sont dues au bouchage ou au bourrage des trémies soit du calcaire gypse et pouzzolane à cause de l'humidité ou friabilité de ces derniers ou soit le circuit clinker ne fonctionne pas si le silo clinker est vide ou pas entièrement remplie.

Ces marches à vide représentent des sources de perturbation, si fréquentes, nous ne pouvons pas atteindre le rapport C/K souhaité et aussi ces deniers influencent sur le débit de production, la composition de notre ciment et la résistance c'est-à-dire la qualité de notre produit fini donc on a :

- ✓ En moyenne l'alimentation s'arrête 8 fois par jour
- ✓ Chaque arrêt engendre en moyenne 45s de passage de Clinker seul
- ✓ Il s'agit alors de 3h/mois de passage du clinker seul

On peut expliquer ça par le fait que si le doseur de calcaire, par exemple, s'arrête, sachant que l'ensemble des matières représentent 100%, nous aurons une augmentation automatique du pourcentage de clinker car le pourcentage de ce dernier égale à 100%-(%calcaire+%gypse+%pouzzolane) ce qui nous éloigne de la valeur du rapport souhaitée et aussi sur le débit de production,

L'analyse faite révèle clairement le problème, nous ne savons pas quand le problème au niveau des doseurs a lieu, et quelle matière a été coupée puisque à 30 secondes de différence, toutes les matières sont coupées. Afin de résoudre ce problème.

II.3.2. Deuxième problème : changement de qualité

Sur les BK3 et BK4. En moyenne on change de qualité produite 3 fois par semaine

Chaque arrêt engendre en moyenne 45 minutes de production vers le silo la qualité inférieure avec le pourcentage clinker correspondant à la qualité supérieure

- **Les conséquences de changements de qualité pour les mois janvier février mars et avril 2016 [annexe 3]**

II.4. Quatrième axe : réactivité clinker

Le clinker est un matériau hydraulique composé de 95 à 99 % de produits que nous appellerons majeurs et qui résultent de la combinaison, lors de la cuisson, des minéraux:

CaO - SiO_2 - Al_2O_3 - Fe_2O_3

Et de 1 à 5 % d'autres minéraux que nous appellerons mineurs du fait de leur quantité et non pas du fait de l'action qu'ils mènent auprès des composants majeurs.

Composants majeurs : Les minéraux formés lors de la cuisson sont :

55 à 70 % de C_3S	**3 à 15 % de C_3A**
10 à 20 % de C_2S	**0 à 15 % de C_4AF [4]**

C_3S =Silicate tricalcique ou alite dont la formule est $3CaO, SiO_2$: qui donne au ciment une résistance rapide et élevée elle est formé suivant la réaction

$$C_2S + CaO(libre) \rightarrow C_3S$$

- ✓ **C_2S**= Silicate bi calcique ou bélite, dont la formule est $2CaO, SiO_2$: qui permet au ciment d'atteindre des résistances élevées à moyen et à long terme
- ✓ **C_3A** = Aluminate tricalcique : qui contribue à la prise de la plâtre de ciment, mais assez peu à la résistance finale.
- ✓ **C_4AF** = Alumino-ferrite tétra-calcique, de formule $4CaO, Al_2O_3, Fe_2O_3$: qui a un rôle mineur dans la réaction de durcissement.

II.4.1. Réactivité du clinker

La réactivité est définie comme étant la capacité du clinker à développer les résistances. Donc la réactivité du clinker conditionne sa proportion dans la recette du ciment : Plus le clinker est réactif, moins on en mettra dans le ciment et vice versa.

A l'usine de Meknès, on réalise un essai de réactivité systématique du clinker sortie four. Il consiste à faire le gâchage d'un ciment CPA (95% Clinker et 5% Gypse) et de mesurer la résistance développée à 1, 2, 7 et 28 jours en MPa. La résistance est définie comme le rapport de la résistance à 28j devisée par la finesse SSB.

a. Résultats d'analyse de la réactivité du clinker

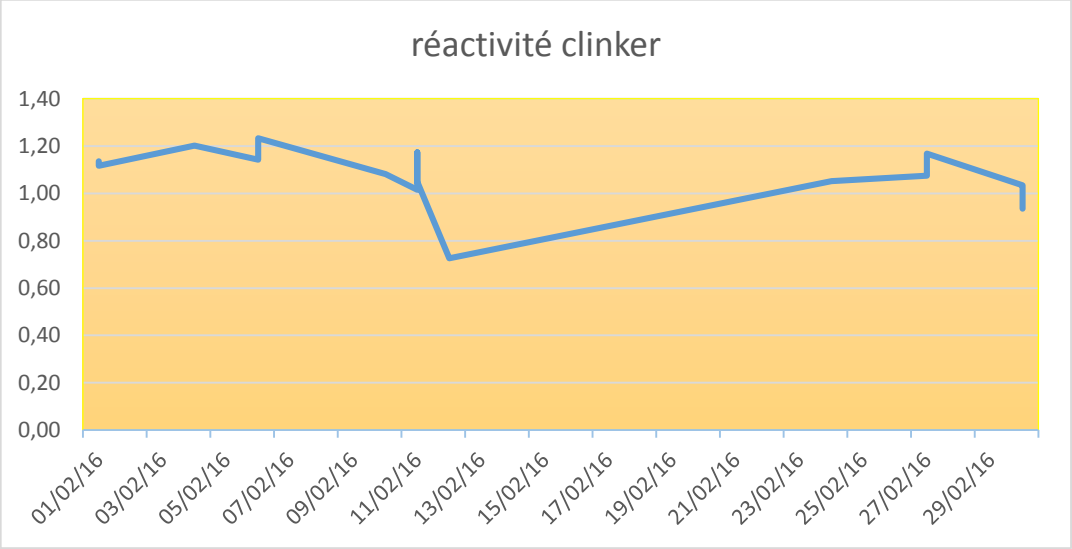


Figure 18 : courbe du suivie du réactivité clinker du mois Février

Après avoir analysé la réactivité du clinker nous avons constaté que celle-ci a une tendance à baisser. Cette tendance à la baisse rend le clinker incapable à développer les résistances voulues au ciment.

II.4.2. Les facteurs influencent la réactivité du clinker

a. La composition chimique du clinker

On fait l'étude de l'effet de 10 facteurs sur la réponse (réactivité clinker) donc on doit utiliser le plan de Plackett et Burman où les essais sont organisés par la matrice d'Hadamard qui est une matrice orthogonale multiple de 4➔ on va faire 12 essais.

L'analyse est effectuée sur 0.5g du ciment produit fini (même mode opératoire de la préparation du cru).

	Facteurs	Unité	Niveau-	Niveau+
X_1	C_3S	%	54.46	66.21
X_2	Fe_2O_3	%	2.78	4.05
X_3	C_3A	%	7.50	9
X_4	C_4AF	%	9.59	12.32
X_5	CaO_L	%	0.45	0.80
X_6	Al_2O_3	%	4.96	5.32
X_7	C_2S	%	9.18	22.12
X_8	MgO	%	1.04	1.11
X_9	Na_2O	%	0.18	0.22
X_{10}	SO_3	%	0.45	2.48

Tableau 7: le domaine d'étude des facteurs

Après exécution des essais les résultats des réponses sont regroupés dans le tableau ci-dessous :

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
L'indice de réactivité	1.4	1.2	1.5	1.1	1.4	1.1	1.4	0.8	1.3	0.9	0.6	1.1

- **Matrice d'expérience**

Les coefficients du modèle concernant la réactivité clinker sont :

Nom	Coefficient
b0	15.598
b1	0.098
b2	-0.552
b3	0.440
b4	0.113
b5	0.330
b6	0.358
b7	0.888
b8	0.097
b9	-0.537
b10	0.612

Tableau 8 : les coefficients du modèle concernant la réactivité clinker

❖ **Modèle posé**

$$y = b_0 + \sum b_i x_i$$

Avec Y c'est notre réponse (indice de réactivité)

$$Y=15.598+0.098x_1-0.552x_2+0.440x_3+0.113x_4+0.330\ x_5+0.358x_6+0.888x_7+0.097\ x_8-\ 0.537x_9+\ 0.612x_{10}$$

Apres application de la règle de 20/80 sur le diagramme de Pareto on a constaté que la réactivité clinker est influencée seulement par les 5 paramètres suivants :

- ❖ B7 : C_3S
- ❖ B10 : SO_3
- ❖ B 2 :Fe_2O_3
- ❖ B 9 :Al_2O_3
- ❖ B 3 : CaO_L

Le diagramme de Pareto correspondant est comme suit :

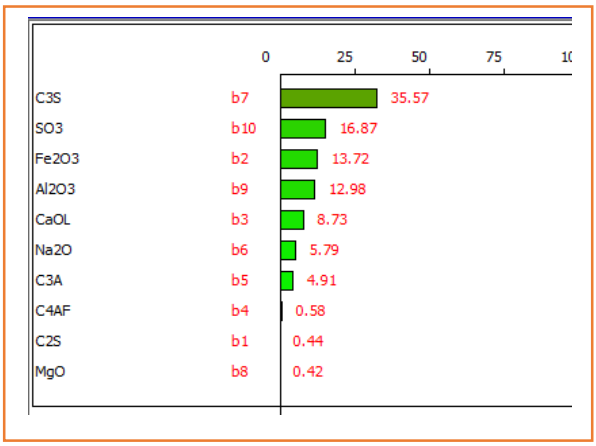


Figure 19 : diagramme de Pareto

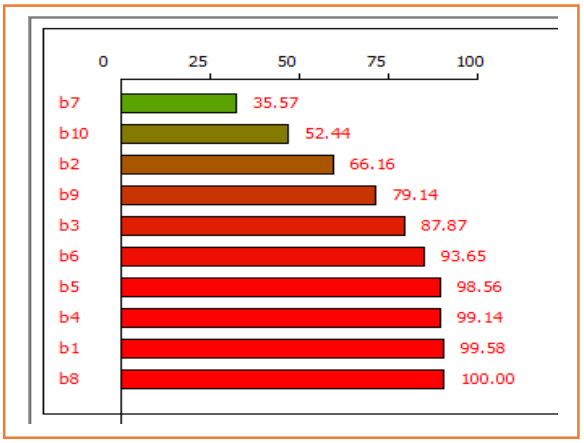


Figure 20 : diagramme de Pareto cumulé

Etude graphique des effets des facteurs étudiés sur l'indice de réactivité

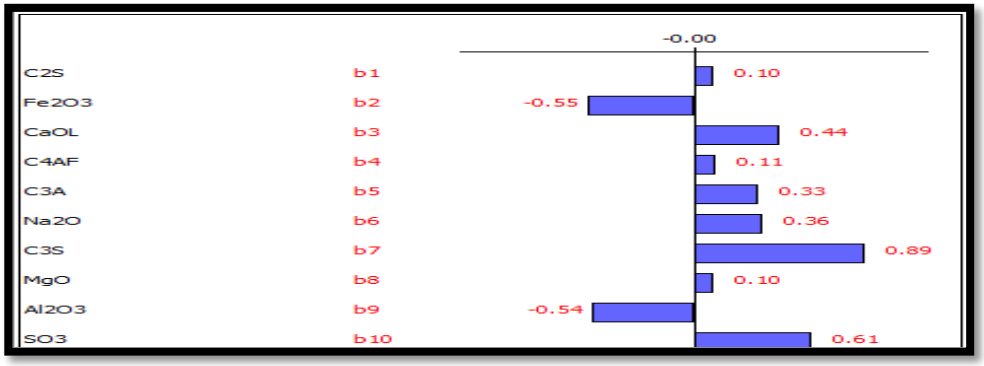


Figure 21 : diagramme des effets des facteurs sur l'indice de réactivité

- On ce qui concerne le C_3S : C_7=0,89 >0 .on peut dire que b_7 a un effet positive sur la réactivité clinker ça veut dire la réactivité augmente en augmentant la teneur C_3S
- On ce qui concerne la teneur en SO_3: C_{10}=0,61>0 .on peut dire que b_{10} a un effet positive sur la réactivité clinker ça veut dire la réactivité augmente en augmentant la teneur en SO_3
- Al_2O_3: C_9= -0.54<0, à un effet significatif est négatif sur la réactivité clinker ça veut dire la réactivité diminue en augmentant la teneur Al_2O_3
- Fe_2O_3 : C_2 = - 0.55 <0. à un effet significatif et négatif sur la réactivité clinker ça veut dire la réactivité diminue en augmentant la teneur Fe_2O_3
- CaO_L : C_3= 0.44>0. à un effet significatif et positif sur la réactivité clinker ça veut dire la réactivité augmente en augmentant la teneur CaO_L

Les autres paramètres n'ont pas d'influence sur la réactivité clinker. Alors à partir de 10 facteurs, on arrive à travailler qu'avec 5 facteurs influençant la réactivité clinker. On a trouvé le modèle suivant :

$$Y= 15.598 -0.55x_2+0.44 x_3+0.89x_7- 0.54x_9+ 0.61x_{10}$$

b. Stockage [annexe 4]

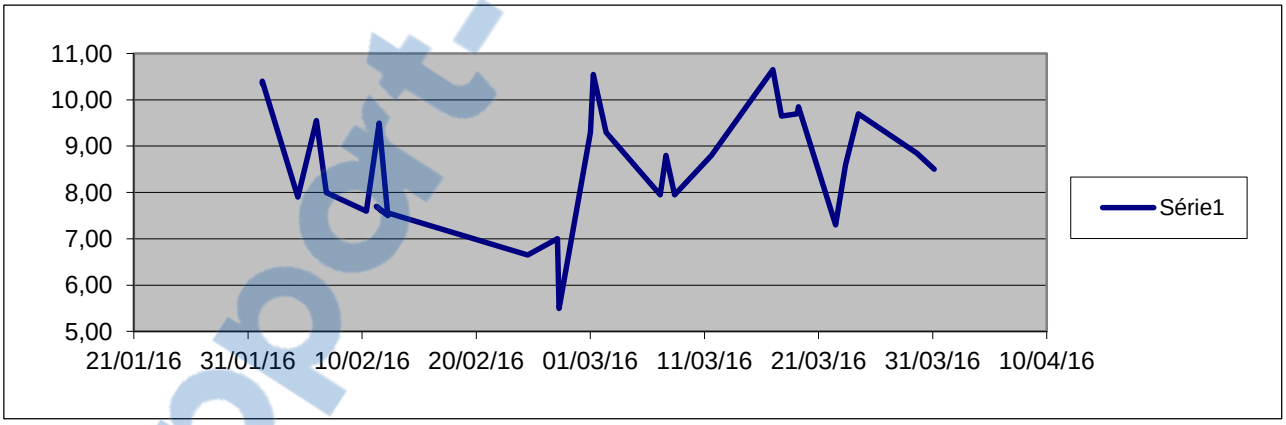


Figure 22 : effet stockage extérieur février et mars 2016

Suite à un arrêt planifié des 2 fours durant le mois février et mars, LAFARGE exploite le clinker du stock ce qui explique la chute de température et la dégradation de la réactivité du clinker.

Le stockage extérieur du clinker a aussi un effet négatif sur les résistances. Le clinker stocké à l'extérieur est exposé aux conditions climatiques surtout la pluie. Lorsqu'il est mouillé par la pluie, le processus d'hydratation du C_3S commence et il y a un début de prise ce qui affaibli le pouvoir du clinker à développer des résistances par la suite.

Rapport-Gratuit.com

II.5. Cinquième axe : la régularité pouzzolane

II.5.1. Définition de la pouzzolane

La pouzzolane est une roche volcanique poreuse, de couleur marron à gris. Il s'agit d'une roche naturelle possédant une texture alvéolaire.

C'est un matériau léger, de densité sèche inférieure à 1, poreux, isolant thermiquement et de pH neutre. **[5]**

II.5.2. La qualité de la pouzzolane dépend en grande partie de sa genèse

Pouzzolane de bonne qualité est issue de :

- Un magma de haute viscosité
- Un magma avec haute degré de fragmentation
- Refroidissement rapide du magma
- Granulométrie ➔ facilite le broyage **[5]**

II.5.3. Le rôle principal de la pouzzolane dans la fabrication de ciment

- Diminution de la chaleur d'hydratation
- Faible demande en eau
- Amélioration de la durabilité
- Bonne réception d'eau
- Bonne indice de réactivité
- Les ciments pouzzolanique résistent aux eaux agressives **[5]**

II.5.4. Caractéristiques physico-chimique de la pouzzolane

- **Réaction de la pouzzolane : [5]**

$$X\ Ca(OH)_2 + Y\ SiO_2\ (amorphe) + Z\ H_2O$$

Portlandie pouzzolane eau

$$\downarrow$$

$$X\ CaO\ Y\ SiO_2\ (X+Z)\ H_2O$$

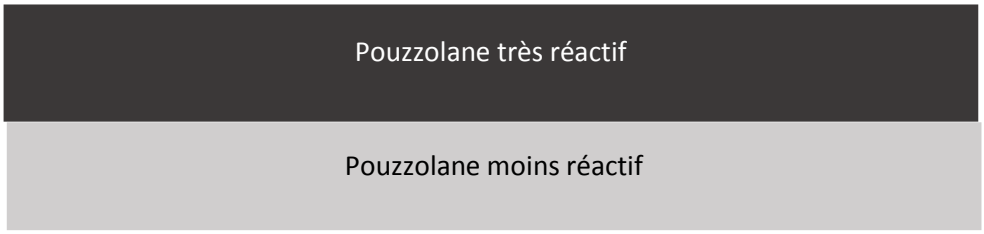
Calcium silicate hydraté

II.5.5. Situation Existante

Concernant la réactivité de la pouzzolane, la norme européenne dite que pour avoir une pouzzolane réactive il est nécessaire dans ce cas que le pourcentage de SiO_2 > 25 %.

Pour Lafarge Meknès la carrière de la pouzzolane située à TIMAHDIT possède plusieurs zones et chaque zone constituée de deux couches :

- Une couche inferieure avec une coloration noir foncé (pouzzolane très réactif) : SiO_2> 25%
- Une couche supérieur avec une coloration claire (pouzzolane moins réactif : SiO_2< 25%)



Lorsqu'ils veulent faire le sondage pour cette pouzzolane ils introduisent une sonde et réalisent le décapage à la surface (c'est-à-dire horizontalement), dans ce cas on a comme résultats un cylindre de la pouzzolane qui a une réactivité faible.

II.6. Sixième axe : adjuvant

II.6.1. Définition

L'adjuvant est un Produit ajouté en très faible quantité aux bétons (dose inférieure à 5% du poids de ciment) avant ou pendant le malaxage, dans le but d'accélérer le développement des résistances initiales des ciments. Très fréquemment la durée de prise est raccourcie dans une mesure compatible avec la mise en œuvre. **[6]**

II.6.2. Objectif

Identification du type d'adjuvant qui permet d'anticiper l'arrivé de la nouvelle norme de qualité c'est-à-dire une augmentation au niveau de la résistance, qui consistera à faire diminuer le pourcentage clinker. Par conséquent avoir un rapport C/K souhaité.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

II.6.3. Technique du benchmark ING

a. Définition

Une technique de marketing ou de gestion de la qualité qui consiste à étudier et analyser les techniques de gestion, les modes d'organisation des autres entreprises afin de s'en inspirer et d'en tirer le meilleur. **[10]**

b. Discutions

Nous avons constaté que les autres sites de Lafarge (BOUSKOURE, TETOUAN, TANGER) consomment moins de clinker par rapport à notre site. Donc on ne peut pas faire des comparaisons pointilleuses, car les technologies différentes d'un site à l'autre. Le seul point commun à comparer est celui de la résistance de ciment aussi bien que celui du pourcentage de notre produit semi fini (clinker). En se basant sur le type d'adjuvant qui est MAPEI.

Chaque site emploie l'adjuvant MAPEI mais chacun d'eux utilise un type spécifique de ce produit.

Lafarge MEKNES utilise GRACE, un adjuvant qui permet l'augmentation des résistances et par conséquence la diminution du pourcentage clinker n'est pas du même degré que dans les autres sites.

C'est dans cette perspective que nous avons mené à établir un plan d'essais à l'échelle laboratoire pour choisir les meilleures propositions de MAPEI pour l'année 2016.le but principal de ce plan est d'anticiper l'arrivé de la nouvelle norme de qualité, qui consistera à faire diminuer le pourcentage clinker.

c. Protocole d'essais

Dans le cadre d'augmenter les résistances à **1j** et **2j** et **28j** de notre ciment, afin d'améliorer notre rapport C/K, Un essai de la consommation de 4 qualités d'adjuvants : **GRACE(XS254) et MAPEI (Additifs 1, Additif 4et Additif 11)** pour quantifier leurs impacts sur les résistances dans BK5 en CPJ 45 et CPJ 55 afin de définir notre choix d'adjuvant optimal.

On a reproduit dans le broyeur du laboratoire, un ciment avec 62% clinker et 5% gypse pour la qualité CPJ45 et 75% clinker et 5 % gypse pour la qualité CPJ 55, et on a mélangé ceci avec les ajouts, broyés séparément [tableau 9 et 10], on a donc reconstruit des ciments à différents taux d'ajout, en ajoutant les agents de mouture dans notre échantillon préparé [tableau 11].

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

La composition chimique (%)	CPJ 45
% clinker	62.0
% calcaire	21.0
% gypse	5.0
% pouzzolane	12
Blaine SSB cm^2/g	4490
Refus à 45 µm	3.9%

Tableau 10 : Composition chimique de ciment pour CPJ55

La composition chimique (%)	CPJ 55
% clinker	71.0
% calcaire	8.0
% gypse	5.0
% pouzzolane	16
Blaine SSB cm^2/g	3910
Refus à 45 µm	5.7%

Tableau 9 : composition chimique de ciment pour CPJ45

Adjuvant	Jour	Dosage en ppm
GRACE(XS254)	1 er jour	250
		300
Additif 1	2eme jour	350
Additif 2	3eme jour	450
Additif 4	4eme jour	350
Additif 11	5 eme jour	
Sans Adjuvant	Pendant 24 h	

Tableau 11: protocole d'essai d'adjuvant pour les qualités CPJ45 et CPJ 55

II.6.4. Les résultats d'analyse

Les résultats sont montrés dans les tableaux joints :

additive	Dosage en ppm	2 jours (MPa)	7 jours (MPa)	28 jours (MPa)
Sans adjuvant	-	12.8	22	33.8
Additive 1	350	13.5	23.9	36.9
Additive 11	350	12.9	23.7	37.1
GRACE(XS254)	250	13.7	25.2	37.1
GRACE(XS254)	300	13.9	25.2	39.2
Additive 4	450	14.1	25.5	39.7

Tableau 12 : les résultats des essais physiques et mécaniques pour la qualité CPj 55

additive	Dosage en ppm	2 jours (MPa)	7 jours (MPa)	28 jours (MPa)
Sans adjuvant	-	10.7	17.8	28.2
Additive 1	350	11.6	19.4	30.1
GRACE(XS254)	250	11.3	19.2	29.3
Additive 2	300	11.8	19.9	28.8
GRACE(XS254)	300	11.9	19.2	31.0
Additive 4	450	12.0	20.1	32.5

Tableau 12 : les résultats des essais physiques et mécaniques pour la qualité CPj 45

II.6.5. Interprétation des résultats

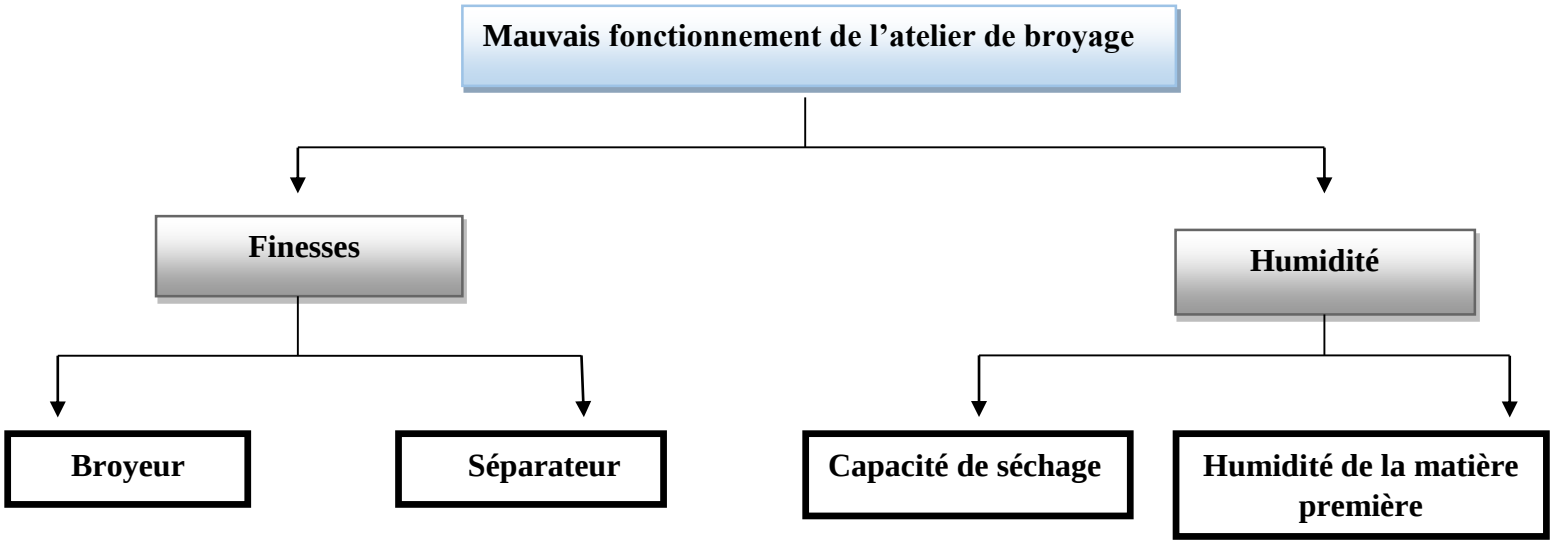
D'après les tableaux ci-dessus, on voit que les analyses sans adjuvants nous donnent des résultats relativement faibles (résistance 2 jours, 7 jours et 28 jours) par rapport à celles avec adjuvant, Comme indiqué précédemment, l'adjuvant contribue de manière significative d'augmenter les résistances de ciment.

On a deux types d'adjuvant GRACE(XS254) et MAPEI (additive1, 2, 4 et 11).

L'augmentation des résistances est maximisée à 28 jours avec le MAPEI (additive 4) et le MAPEI (additive 1), avec encore le GRACE(XS254) comme alternative à faible dosage.

Le MAPEI (additive 4) montre qu'il est efficace aux jeunes, moyenne âges et à long terme.

II.7. Septième axe : Broyage



II.7.1 Etude de l'état du fonctionnement du broyeur

Les broyeurs à boulets sont très largement utilisés dans toutes les branches de l'industrie, pour le broyage fin de différents produits.

Le broyage est provoqué par des boulets qui se trouvent avec le produit dans un tambour rotatif. Il est produit par le choc qui résulte de la chute des corps de broyage sur le produit broyé et par le frottement entre le produit et les corps de broyage.

Le tube broyeur à boulets est généralement divisé en deux compartiments, recouverts de plaques de blindage en acier le premier étant moins long que le deuxième, assure le concassage et le deuxième est équipé de boulets plus petits qui assurent la finition. Ces deux compartiments (C_1 et C_2), sont séparés par une cloison intermédiaire qui ne laisse transiter que les grains de taille suffisamment réduite, par un jeu de lumière de diamètre de 8mm pour C_1 et

de 10mm pour C_2.Le produit broyé sort du broyeur par la grille de décharge, qui empêche les boulets de sortir du deuxième compartiment.

Figure 23: broyeur à boulets

a. Objectif de la visite interne

La visite interne du broyeur occupe une place de choix dans une auscultation. Elle doit permettre de qualifier le fonctionnement du broyeur.

On doit qualifier la réduction de la granulométrie matière, elle-même tributaire, en partie, de l'état des équipements du broyeur.

Toute visite interne doit être faite sur un arrêt d'urgence de toute l'installation, (tous les appareils, ventilation et alimentations matières arrêtés nets) afin de bien refléter l'état du broyeur en marche.

b. Méthode d'analyses des équipements

Une analyse visuelle des installations au niveau du broyeur nous a permet de constater les point suivantes

b.1 Blindage par compartiment

- Relever les types de blindage (releveur, classant etc...)
- On Note l'usure des plaques, notamment l'apparition de stries (surtout pour le compartiment 1)

b.2 Cloisons intermédiaire

- On Note le type de la cloison intermédiaire (simple, double ou double réglable…),
- On Vérifié l'usure de lumière

b.3 Charge broyante

- On note le taux de remplissage de chaque compartiment
- On mesure le diamètre du plus gros et du plus petit boulet visibles (donne une idée de l'usure de la charge par rapport à la charge originelle)

c. Résultats d'analyse visuelle

c.1 Blindage par compartiment

Le compartiment 1 : travaille par concassage, d'où la nécessité de relever la charge broyant par l'intermédiaire de blindages releveurs.

- Type de blindage au niveau de compartiment 1 : est un blindage releveur
- Le redent est de 70mm donc n'affecte pas les performances du broyeur (car il est supérieur à 30mm donc pas de l'usure)
- On a constaté que les plaques ne sont pas cassées

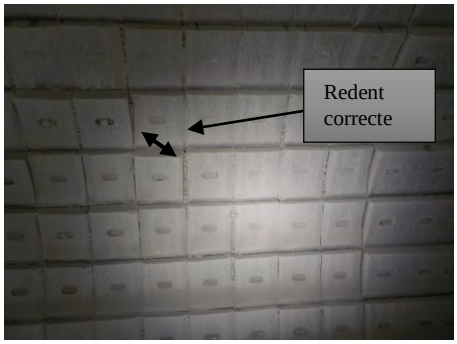


Figure 24 : compartiment 1 blindages releveurs

Le Compartiment 2 : travaille par attrition (broyage par frottement boulets/ matière)

- Type de blindage au niveau de compartiment 1 : est un blindage classant
- Le redent est de l'ordre de 12 cm.

Figure 25 : compartiment 2 blindages classant

c.2 Cloison intermédiaire

Le type de la cloison intermédiaire est une cloison double : Une première face équipée de lumières, une face arrière équipé de plaques aveugles et entre les 2 des releveurs qui régulent la vitesse de passage de la matière.

Figure 26 : cloison intermédiaire double

		Blin Centrale	Blin interne	Préconisation
Année 2016	Janvier	6.5-7mm	6,5-9,1mm	6-8mm
	Février	7,5-8mm	7-8mm	
	Mars	6.5-8mm	6,5mm	
	Avril	7,5-7,6mm	6,4-8,6mm	

Tableau 13 : jeux de lumière des cloisons intermédiaires

En analysant les jeux de lumière des cloisons on constat que la valeur mesurée est à la valeur préconisé durant les mois Janvier, Février, Mars et Avril ce qui favorise un passage favorable de la granulométrie dans le second compartiment.

c.3 Charge broyante

Taux de remplissage	Préconisation	Mois	Janvier	Février	Mars	Avril
	32%	C_1	31,66 %	32,06 %	31,17 %	32,29 %
	30%	C_2	28,11 %	28,05 %	28,53 %	28,09 %

Tableau 14 : taux de remplissage du broyeur

On a analysé le taux de remplissage du broyeur durant l'année 2016, et on a constaté que le taux de remplissage est fort. Ce qui explique un bon rendement de broyage.

II.7.2 Etude de l'état du fonctionnement du séparateur

Un séparateur est un appareil qui utilise le flux d'air pour séparer les fines et les grosses particules, le séparateur assure une finesse facile à régler et constante.

On distingue trois types de séparateur :

- ⇨ Séparateur de 1ère génération pour le broyeur Bk3
- ⇨ Séparateur de 2eme génération
- ⇨ Séparateur de 3eme génération pour les broyeur Bk3 et Bk4

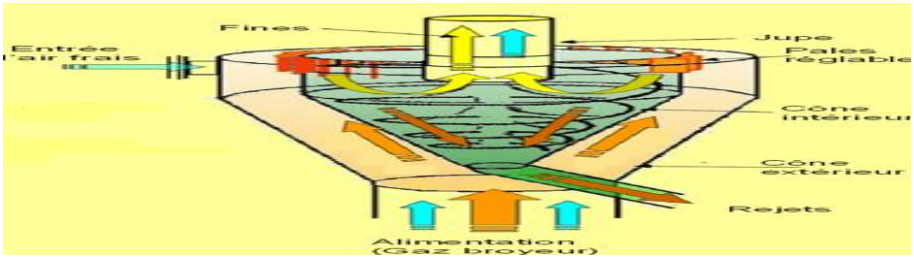


Figure 27: Séparateur

a. Analyse et résultats

Après analyse de la granulométrie des flux entrant et sortant du séparateur on trace une courbe de partage. Cette courbe représente la probabilité pour qu'une particule de taille x de retourner au broyeur.

Les résultats d'analyse sont représentés dans les tableaux **[Annexe 5].** Ainsi, d'après les résultats on a la courbe de partage tracée, ayant en abscisses des mailles (μm) et en ordonnées les probabilités, qu'a une particule de chaque maille, de retourner au broyeur.

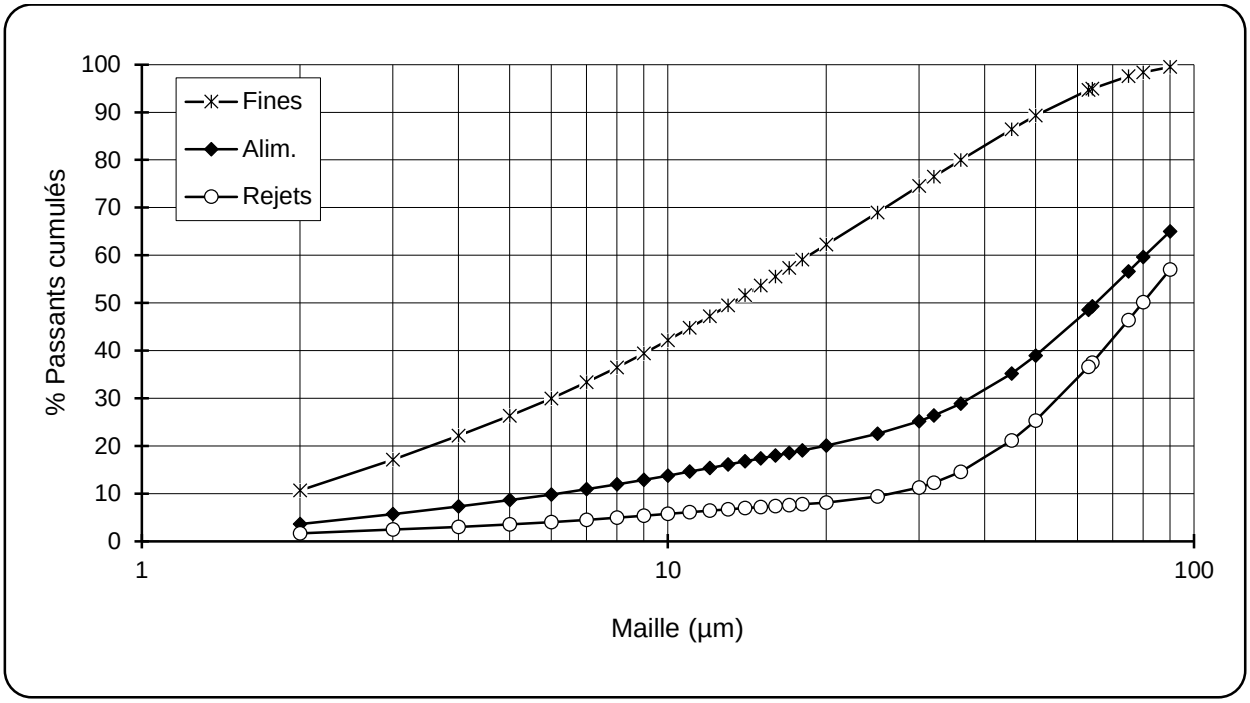


Figure 28: la courbe de partage

D'après cette courbe, les paramètres caractéristiques du séparateur sont les suivants :

La limite d'acuité : c'est-à-dire la limite en delà de laquelle le séparateur n'est plus capable de distinguer la taille des particules, est de 19um .plus elle est faible, plus on a une bonne séparation.

Le soutirage ou le by-pass (8%) correspond à une valeur très satisfaisante pour un séparateur de la 3 eme génération .c'est la probabilité minimale qu'a une fine particule d'aller dans les rejets. Plus il est élevé, plus on envoie du produit fin vers le broyeur, ce qui est inefficace.

La charge circulante : exprime la quantité de matière retournant au broyeur pour un autre passage. Elle peut être contrôlée en mesurant l'énergie absorbée par l'élévateur pour amener la matière au séparateur. Ce paramètre est un indicateur clé pour contrôler le travail du broyeur.

	BK 5 - avril 2016 (échantillon CPJ45)	Référence
Charge circulante (%)	236%	100% et 250%
Soutirage (%)	10.3%	5-10%
Limite d'acuité (μm)	12.6 µm	< 15 μm
Imperfection brute	0.28	0,30

Tableau 15: les paramètres caractéristiques du séparateur

b. Interprétation des résultats

En effet, à partir de ce graphe, on voit clairement que les rejets du séparateur (revenant au broyage) présente la répartition granulaire la plus large, c'est-à-dire pour une même maille on a le % de passant cumulé le plus faible par rapport à celui de chaque courbe, donc la granulométrie des rejets est supérieur à celle de l'alimentation séparateur, qui est à son tour supérieur à celle des fines filtres broyeur (sortie filtre broyeur) et ainsi supérieur à celle du produit fini.

Alors, cette répartition reflète un bon état de broyage et une très bonne coupure de séparation.

II.7.3 Etude de la stabilité de La gaine gaz chauds

La gaine gaz chauds est une gaine calorifugée véhiculant les gaz chauds depuis l'exhaure du four jusqu'à l'entrée du broyeur à ciment. Et ce pour le séchage de la matière d'alimentation dudit broyeur.

Rapport-Gratuit.com

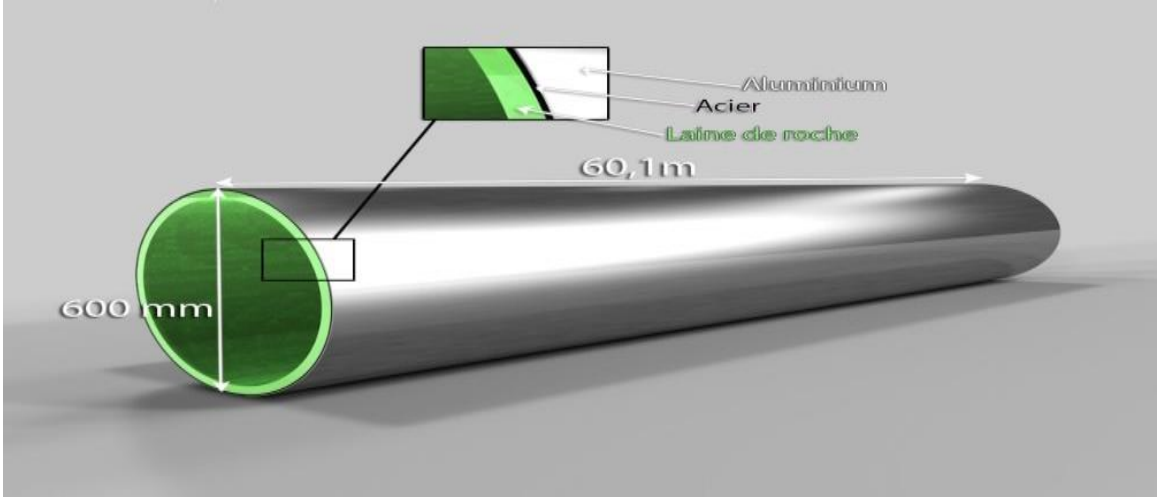


Figure 29: la gaine des gaz chauds

a. Analyse et résultats

- Diamètre (D) : 600mm
- Longueur(L) : 60.1m
- Le rayon interne r_1 : 239 mm
- Le coefficient d'échange entre les gaz chauds et la laine de roche c'est à dire interne (h_1) : $4.8*10^{-3}$ $m^2/WK°$
- Le coefficient d'échange entre l'air ambiant et l'aluminium c'est-à-dire externe (h_2) : 0.256 m^2/W K°
- La température d'entrée (gaz chauds) :216C°
- La température de l'air ambiant (externe) :20C°
- Capacité calorifique des gaz chauds : 1.32kj/kg K°
- Débit des gaz chauds : 3.96m^3/s

	Epaisseur (mm)	**Rayon (mm)**	**Conductivité thermique (w/m K°)**
aluminium	5	R_4=300	220
acier	6	R_3=295	50
La laine de roche	50	R_2=289	0.04

Tableau 16: Les caractéristiques de la gaine des gaz chauds

La gaine gaz chauds est un cylindre creux recouvert d'une ou plusieurs couches de matériaux différents (aluminium, acier, la laine de roche) et où l'on ne connaît que les températures Tf1 et Tf2 des fluides en contact avec les faces interne et externe du cylindre ; h1 et h2 sont les coefficients de transfert de chaleur par convection entre les fluides et les faces internes et externes puisqu'on a un régime permanent (Re<2000), le flux de chaleur ϕ se conserve lors de la traversée des différentes couches et s'écrit :

$$\Phi = h_1 S\,(T_{f1}-T_1) = \frac{2\pi*\lambda(l.r)*L(T1-T2)}{\ln(\frac{r2}{r1})} = \frac{2\pi*\lambda(acier)*L(T2-T3)}{\ln(\frac{r3}{r2})} = \frac{2\pi*\lambda(Al)*L*(T3-T4)}{\ln(\frac{r4}{r3})} = h_2 S\,(T_4-T_{f2}).$$

Avec : S= 2∗ π ∗r*L

D'où :

$$Cp_g*Dg*Log\frac{Tf1-Tf2}{Ts-Tf2} = \frac{1}{2\pi*r1*h1*L} + \frac{\ln(\frac{r2}{r1})}{2\pi*\lambda(l.r)*L} + \frac{\ln(\frac{r3}{r2})}{2\pi*\lambda(acier)*L} + \frac{\ln(\frac{r4}{r3})}{2\pi*\lambda(Al)*L} + \frac{1}{2\pi*r1*h2*L}$$

D'après le calcul on a trouvé que la température de sortie de la gaine est égale à 200C°

b. Interprétation des résultats

On sait que la température réelle à la sortie de la gaine gaz chauds et égale à 190 °C et la température calculée théoriquement est égale à 200 °C

$$T_{(réelle)} \cong T_{(théorique)}$$

⇨ On considère que perte charge au niveau de la gaine est négligeable

II.7.4. Humidité de la matière

L'humidité de la matière influence de façon directe sur le débit de la sortie du broyeur grâce à la condensation de la matière (gypse, pouzzolane et calcaire) dans le premier compartiment du broyeur ce qui provoque un blocage d'écoulement de la matière dans le second compartiment.

Faisant une analyse de la figure 27 de l'humidité de mélange (calcaire, gypse, pouzzolane) durant l'année 2016 nous avons constaté qu'il existe une relation d'inversement. Entre l'humidité de mélange et le débit atteint.

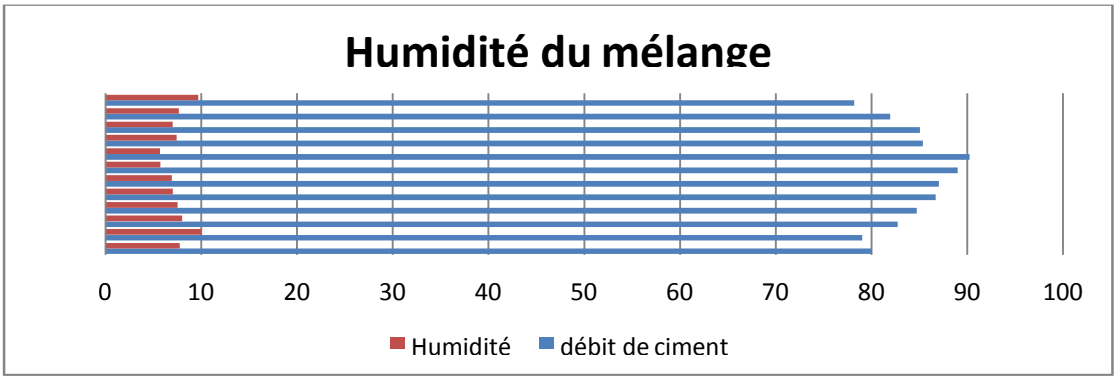


Figure 30: humidité de mélange

a. Taux de pré hydratation du ciment

Lorsque l'humidité dans le broyeur est élevée, il y a hydratation partielle du ciment par contact intime entre l'eau et les particules de ciment (spécialement les fines particules).

Le taux du ciment hydraté de la sortie est noté par «Wk». Wk peut être mesuré de la façon suivante: **Wk(%) = PAF (450°C) –PAF (120°C)** [7]

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

Afin d'éviter une baisse importante dans les résistances à la compression du ciment : **Wk<0,3%.**

b. Analyse et résultats [annexe 6]

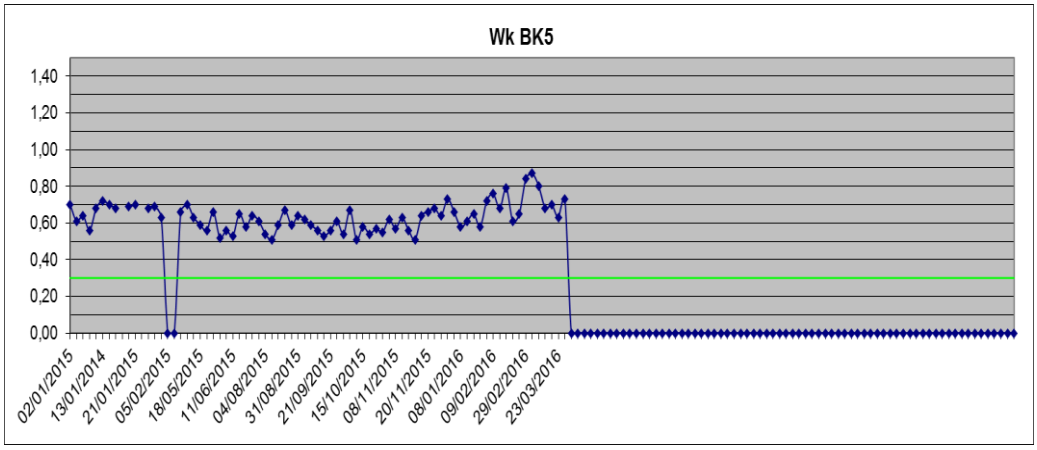


Figure 31: Taux de pré hydratation du ciment au niveau du BK5

Comme vous voyez le taux de pré hydratation dépasse 0.3%

Dans ce cas on va avoir beaucoup de problème au niveau du broyeur à savoir :

- Matière mal concassée,
- Accumulation des refus au niveau de la cloison,
- Bouchage progressif des lumières de la cloison,
- Remplissage progressif de la chambre 1,
- Reflue de matière à l'entrée du broyeur,
- Reflue de matière = débordement de matière en chambre 2 à travers la grille centrale = chute du rendement en chambre 2,
- La résistance à la compression du ciment décroît très rapidement quand le taux de réhydratation du ciment augmente.
- Cette décroissance rapide de la résistance à la compression s'explique entre autre par l'hydratation d'une grande quantité des fines, responsables en autres des résistances aux jeunes âges

III. Les plans d'action sur chaque axe

III.1. Les actions sur l'échantillonnage

Pour répondre au mieux aux problèmes issus de l'analyse et au respect de la stratégie de l'optimisation, on a proposé de :

- harmoniser les échantillonneurs c'est-à-dire rendre les échantillonneurs de Bk3 et Bk4 automatique pour minimiser l'erreur lié à l'échantillonnage

Pour automatisé les échantillonneurs de BK_3 et BK_4 on propose :

- ⇨ Faire un échantillonneur à la jetée
- ⇨ Placer la vis à une distance suffisante de la jetée (au moins 1m) pour s'affranchir des éventuelles turbulences à la jetée et pour que les matières peut s'homogénéisé
- ⇨ On propose un préleveur par aéroglisseur pour le BK3 par exemple :

Ce préleveur est un système tubulaire monté perpendiculairement au flux matière .il est composé d'un tube muni d'une fente sur toute la hauteur matière de l'aéroglisseur qui tourne à 180°.la rotation peut s'effectuer par une alimentation pneumatique, électrique ou éventuellement manuelle. Ce préleveur s'implante sur toute section d'aéroglisseur (plans à nous communiquer).

En position de prélèvement, le tube est positionné avec sa partie fendue en regard du flux de matière. Cette dernière est évacuée verticalement par un tube Ø 2.En position repos, la partie fendue du préleveur est maintenue dans la direction du flux matière (donc à 180° par rapport à la position prélèvement) et est protégée par un capot caoutchouté qui empêché toute entrée de matière.

Une vanne guillotine DN50à commande pneumatique située à la sortie du préleveur assure l'étanchéité du système. [8]

Figure 32: Préleveur pour PF106 aéroglisseur

- ⇨ Un préleveur à vis dans le corps de la trémie de la pompe pour le BK4 par exemple :

Lé préleveur d'échantillons à vis de type PREC 100 permet de récupérer des échantillons de matière par rotation de la vis du préleveur en continue [9]

Figure 33: Préleveur à vis PREC 100

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

- Vérifier la représentativité des échantillonneurs
- Calcule du poids représentatif minimal comme masse de matière minimum à échantillonner (et analyser) d'une matière d'un aspect donné pour atteindre une précision de détermination de la caractéristique donnée.
- Comparer la méthode de prélèvement à tester avec une autre méthode, considérée comme référence, sur le même lot.

III.2. Les actions sur les incidents

III.2.1. Premier problème : marche à vide

Implantation des boucles de régulation : différencier l'intervalle de coupure des trois autres doseurs par rapport au premier coupé en fonction de la matière arrêté. Concrètement, si le calcaire est arrêté, 30 secondes après, les autres seront coupés, si la pouzzolane est arrêtée en premier, l'arrêt des autres doseurs aura lieu après 35 secondes, et si c'est le gypse qui est arrêté en premier, 40 secondes après les autres seront arrêtés. Ainsi, saurons-nous quelle matière a été coupée en premier.

Concernant la trémie il faudrait une installation d'un système d'extraction fiable, implantation des moteurs vibrants pour avoir le passage de la matière, un contrôle à la réception et une installation des Grilles et pour éviter le faite de bouchage au niveau de la trémie

III.2.2 Deuxième problème : changement qualité

Il faut bien maitriser la gestion des stocks, voir la capacité des silos et c'est exactement le travail de service fabrication

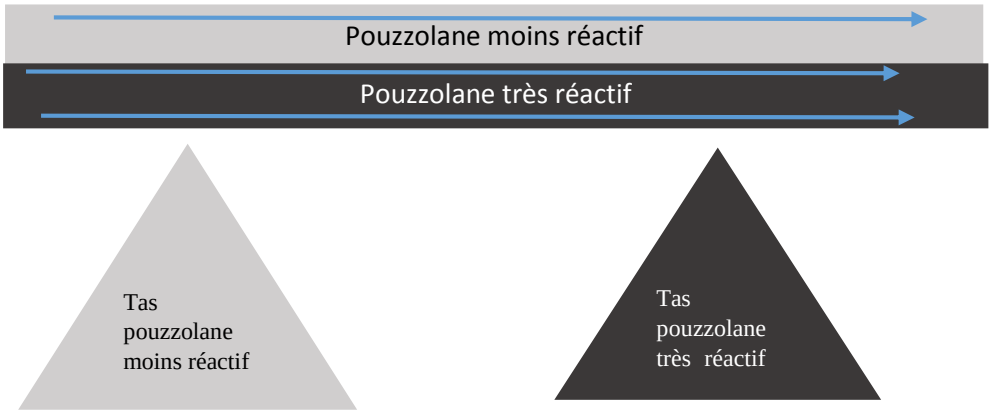
Chaque broyeur doit être responsable d'une seule qualité et chaque qualité doit être destinée au silo propre à lui pour limiter les changements de qualité

III.3. Les actions sur la régularité clinker

Notre proposition était de faire un tarage électrique mensuel et physique chaque trois mois, puisque ce dernier aura une influence directe sur le rapport C/K puisque, plus le % du clinker augmente, plus le rapport diminue, moins nous pourrons réaliser notre objectif qui n'est autre que l'amélioration de ce rapport.

III.4. Les actions sur la régularité pouzzolane

Donc pour éviter cette problématique il faut réaliser un décapage horizontale c'est-à-dire séparer les couches réactifs de ce sont moins réactifs et avant tout ça il faut faire des analyses pour voir l'homogénéité et donc former deux tas, une propre à la pouzzolane réactif et l'autre à la pouzzolane moins réactif, et après ils doivent réaliser le dosage c'est-à-dire réalisent le mélange j'jusqu'à l'arrivé à la qualité voulue



III.4.1. Les résultats obtenus [annexe 7]

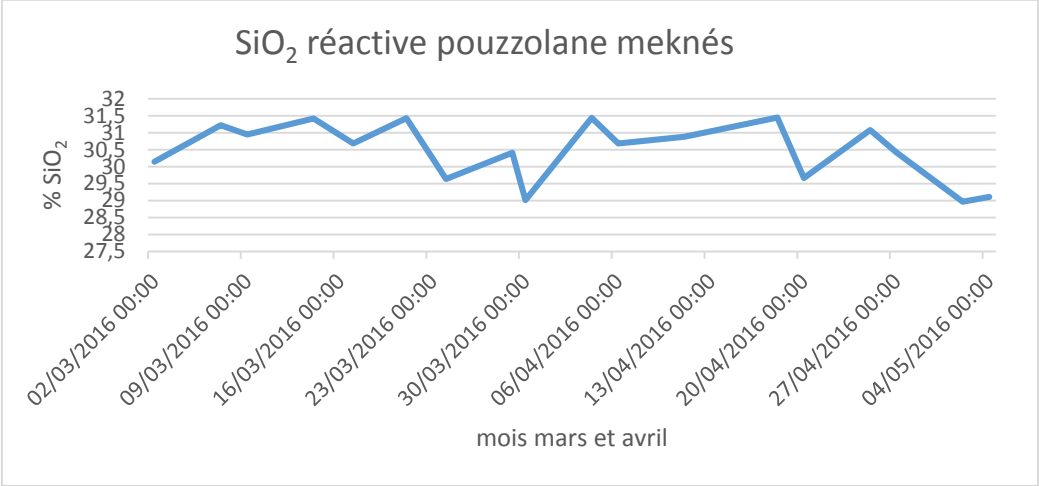


Figure 34 : réactivité SiO2 (pouzzolane)

Comme indiqué précédemment, pour que la pouzzolane soit réactive il faut que la teneur en SiO_2 soit supérieure à 25%. Donc d'après les résultats obtenus on a le pourcentage de SiO_2 varie entre 32.04 et 27.42

- Donc l'amélioration de la variation de la SiO_2 réactive ➔ réaction plus stable
- Moyenne globale plus élevée

III.5. Les actions sur la réactivité clinker

III.5.1. La composition chimique

Pour avoir une optimisation du ratio C/K on doit choisir un niveau de C_3S, un niveau de la teneur en SO_3, Al_2O_3, Fe_2O_3 et CaO_L afin d'avoir un clinker plus réactif ; donc on va prendre une teneur en C3S de 66.21 (niveau+), une teneur en SO_3 de 2.48 (niveau+). Une teneur en CaO_L de 0.80 (niveau+), Al_2O_3 de 4.96 (niveau-), et une teneur en Fe_2O_3 de 2.78 (niveau-).

III.5.2. Les conditions de cuisson

L'industrie mondiale du ciment se concentre de plus en plus sur l'optimisation des couts de la fabrication du clinker et par suite ceux du ciment tout en maintenant la qualité du ciment conforme à la norme marocaine en vigueur.

Cette optimisation est réalisée par l'utilisation de moyens de production plus performants et par un suivi continu de la qualité des produits. Une autre action consiste à travailler sur les matières premières.

L'adjonction des minéralisateurs dans le mélange des matières premières permet de diminuer la température de cuisson d'environ 17% (1450°C à 1200°C) tout en maintenant la qualité du produit fini.

Mais d'après mon expérience à HOLCIM de RAS EL MA qui est aussi parmi les plus grandes sociétés cimentières au Maroc. Concernant l'axe de cuisson on peut notamment proposer l'utilisation de la fluorine

Donc la fluorine comme agent minéralisateur est ajoutée au mélange des matières premières

Le ciment produit avec ce clinker est caractérisé par une résistance à la compression plus élevée que celle du ciment ordinaire. Il est donc possible de produire un clinker à une température de cuisson plus basse avec des résistances à la compression comparables à celles du ciment ordinaire.

a. Pourquoi utiliser la fluorine ?

Produire un clinker plus réactif :

- Augmentation la saturation en chaux ➔ Augmenter C_3S
- Maitriser la chaux libre (< 3 %)
- Favoriser la fixation de Soufre dans le clinker

Gain éventuel de la consommation calorifique

- Baisse de la température de cuisson
- Minéralisateur.

C/K augmente

Suite à notre proposition, au mois de mai, des négociations ont été entamée avec HOLCIM Fès pour commencer des essais de minéralisation du clinker par la fluorine

Concernant la cuisson : le groupe de travail décidé de travailler sur ce sujet dans un projet à part.

III.6. Les actions sur le broyage

III.6.1. Humidité de la matière

a. Le bilan séchage

Ce bilan permet d'optimiser le séchage de la matière et de quantifier l'énergie nécessaire à ce séchage.

On peut aussi ajuster une recirculation des gaz d'exhaure.

On pourra donc prioritairement, optimiser l'énergie fournie par la source chaude surtout si celle-ci est générée par un foyer. (Gain sur l'achat du combustible).

Ce type de bilan se fait sur des ateliers de broyage de cru ou de combustible.

Il est parfois envisageable de réaliser un bilan de séchage sur un broyeur cuit lorsqu'un ajout est très humide et en forte proportion.

Dans ce cas il s'agit de déterminer s'il est utile d'ajouter des gaz chauds au broyeur ou si la chaleur créée par le broyeur est suffisante.

a.1 Bilans de séchage et thermique

Le bilan de séchage est en fait couplé avec un bilan thermique car, en plus de savoir où est éliminée l'eau de la matière et en quelle quantité, on détermine 2 ratios liés aux énergies mises en jeu.

Le 1er ratio est le rendement de séchage théorique qui est l'énergie totale fournie à l'entrée par kg d'eau à évaporer.

On entend par énergie totale, l'énergie apportée par la source chaude, mais aussi par les chaleurs sensibles des gaz et matières entrée atelier (on prend une référence à 0 °C).

Ce ratio peut aussi s'exprimer en pourcentage de la vaporisation théorique (596 kcal / kg d'eau) par rapport à l'énergie totale fournie.

Le 2ème ratio est le rendement de séchage utile qui est l'énergie noble fournie à l'entrée par kg d'eau à évaporer.

- **Mesurer** (débit, température) et analyser (H_2O) les flux gazeux entrant et sortant de l'installation, et par appareil si l'on veut savoir plus précisément où se situe l'évaporation de l'eau.

- **<u>Prélever</u>** (débit, température) et analyser (H_2O) les matières entrant et sortant de l'installation, et par appareil si l'on veut savoir plus précisément où se situe l'évaporation de l'eau.

a.1.1 Bilan de séchage

Le bilan de séchage peut être exprimé soit en kg d'eau/h, soit en Nm^3/h de vapeur. Toutefois il est préférable de l'exprimer en kg / h à cause des ratios

Détermination du débit d'eau entrée et sortie atelier et / ou par appareil.

<u>Matière</u>

- Volume d'eau (Nm^3 / h) = débit de matière (kg / h) * proportion H_2O *22,4/ 18
- Poids d'eau (kg / h) = débit de matière (kg / h) * proportion H_2O

<u>Gaz</u>

- Volume d'eau (Nm^3 / h) = débit gazeux réel (Nm^3 / h) * proportion H_2O
- Poids d'eau (kg / h) = débit gazeux réel (Nm^3 / h) * proportion H_2O * 18 / 22,4

<u>Air faux</u>

- Ne pas oublier que l'air ambiant apporte de l'eau.
- La perte de l'eau de la matière dans un appareil est appelée vaporisation et s'exprime souvent en Nm^3 / h.

a.1.2 Bilan thermique

Il s'exprime en kcal / h (ou kJ / h) et est réalisé, sauf cas particulier, sur l'ensemble de l'atelier. Il s'exprime par rapport à 0°C.

<u>Matière</u>

- Chaleur sensible (kcal/h) = débit de matière (kg/h)*température*chaleur spécifique moyenne à la température (kcal/kg).

<u>Gaz</u>

- Chaleur sensible (kcal/h) = débit de gaz (Nm^3/h)*température*chaleur spécifique moyenne à la température (kcal/Nm^3).

<u>Broyeur</u>

- Une partie de l'énergie du broyeur est transformée en chaleur et entre en compte dans le bilan thermique.
- Chaleur fournie (kcal/h) = puissance broyeur (kW)*1h*proportion d'énergie transformée*860

<u>Pertes par parois</u>

- Elles ne sont pas mesurées, mais estimées.
- On prend un pourcentage de la somme des entrées (kcal / h).

Vaporisation

- Ne pas oublier, dans les sorties, que la vaporisation de l'eau à 0°C consomme 596 kcal / kg d'eau évaporée.
- Nous prenons une valeur de vaporisation à 0°C, car le bilan s'exprime par rapport à la référence de 0°C

En général

- **90 %** de l'énergie électrique est transformée en énergie mécanique.
- **95 %** de l'énergie mécanique est transformée en chaleur.
- **au total 85 %** de l'énergie électrique est transformée en chaleur.
- **1 kWh = 860 kcal.**

b. Résultats [annexe 8]

c. Conclusion du bilan

Rendement utile trop bas par rapport au rendement théorique: On fait le séchage plus par la chaleur de broyage que par les gaz chauds du four.

L'humidité entrée broyeur est trop élevée

La température d'entrée des gaz chauds est basse (Généralement les autres usines Lafarge marchent à 400°C). De plus le débit des gaz chauds est faible par rapport à celui de l'air frais (Problème sur le registre d'air frais bloqué à l'ouverture)

Le taux des airs faux est excessivement élevé (30% vs 10% préconisé par le constructeur). Il s'agit de problèmes d'étanchéité à la sortie broyeuse, dans les filtres broyeur et séparateur et dans les gaines gaz. C'est là qu'il y a un risque de condensation de la vapeur dans les gaz et ainsi faire prise avec le ciment d'où la perte de résistances.

d. Propositions

Proposition: Réparer et nettoyer le registre puis ouvrir celui des gaz chauds au maximum (En évitant de faire passer le broyeur en pression). Comme amélioration, faire une régulation entre l'ouverture du registre des gaz chauds avec la température sortie broyeur.

On propose comme action : de faire une visite spécifique avec les mécaniciens pour réparer les prises d'air. Une remise en état des filtres (déchirures et calorifuges) et de leurs gaines s'impose.

Bâchage de toutes les matières premières à l'extérieur

Faire un sécheur séparé

La visite interne du broyeur doit être chaque fois par mois

La visite interne du séparateur doit être chaque fois par mois

Grillage des trémies

Rapport-Gratuit.com

IV. Evaluation économique

L'évolution économique désigne la variation des bénéfices et des coûts respectifs de différentes interventions. Son objectif est de mesurer l'efficience aussi bien que l'utilité de l'argent dépensé pour une intervention par rapport à une autre. A ce niveau-là, je vais m'intéresser à quelques actions proposées à travers des tableaux explicatifs. En premier lieu, je vais vous présenter un tableau de base qui contient le coût unitaire de chaque produit, puis, je vais préciser le gain du produit Clinker en %, ainsi que la rentabilité de ces derniers. En passant par la détermination des montants investis afin de réaliser le maximum du profit.

Tout d'abord, je vais commencer par un tableau de base, auquel dépend le reste des tableaux. Celui-ci résume tous les produits utilisés avec leurs coûts unitaires. (Tableau 17).

Les matières	Couts unitaire (DH/T)
Clinker	**293.735 MAD**
Calcaire	**29.00 MAD**
Gypse	**106.00 MAD**
Pouzzolane	**76.00 MAD**
L'adjuvant GRACE	**13 400.00 MAD**
Nouvel adjuvant	**15 600.00 MAD**

Tableau 17 : le coût unitaire des matières et des composés utilisés pour la fabrication du ciment

IV.1. Gain grâce à l'action au niveau du Pouzzolane

BK3 CPJ45		
	Sans Pz	**Avec PZ**
Débit moyen (T/h)	**54,70**	**53,20**
%Clinker	66,50%	65,27%
%Calcaire	29,50%	26,73%
%Gypse	4,00%	4,00%
%Pouzzolane	0,00%	4,00%
C/K	**1,504**	**1,532**
MP (dh/T)	*207,64 MAD*	*206,27 MAD*
kWh/t	31,39	32,28
Adjuvant (g/t)	350	350
Prix de revient (dhs/T)	***235,40 MAD***	***234,68 MAD***
Gain (dhs/T)		**0,72 MAD**
Gain annuel estimé CPJ45 BK3 (dhs/an)		**150211.29 MAD**
Economie de clinker (T/an)		2575

Tableau 18 : Le gain par rapport à la production de la qualité CPJ45 dans le BK3

Le tableau (18) montre le calcul du taux de reviens (le gain), c'est à dire la différence entre le taux de reviens et la production du ciment CPJ 45 dans le broyeur bk3 (sans et avec pouzzolane). Un ciment sans pouzzolane contient 0% de ce dernier, alors qu'un ciment avec pouzzolane contient 4% de ce dernier. On ajoute 4% car la déclaration de la norme impose une quantité des ajouts qui ne dépasse pas 5%. Les expériences de la farce nous montre que le ratio

de substitution clinker/pouzzolane =3.23%, celui-là remplace 1.23% du clinker. De ce fait, une quantité de 4% de la pouzzolane nous permet de gagner 1,23% du clinker qui correspond à 0.72MAD. Notre production du clinker est de 2575 t/an, du coup l'ajout des pouzzolanes nous assurent un gain de 250000MDA.

IV.2. Gain grâce à l'action au niveau d'adjuvant

CPJ45(BK4 et BK5)		
	Avant	**Après**
Débit moyen (T/h)	**143,28**	**143,28**
%Clinker	64,94%	63,94%
%Calcaire	27,06%	28,06%
%Gypse	4,00%	4,00%
%Pouzzolane	4,00%	4,00%
C/K	**1,540**	**1,564**
MP (dh/T)	*205,40 MAD*	*202,76 MAD*
kWh/t	34,70	34,70
Adjuvant (g/t)	350	400
Prix de revient (dhs/T)	***235,60 MAD***	***234,51 MAD***
Gain (dhs/T)		**1,09 MAD**
Gain annuel estimé CPJ45 (dhs/an)		**969 010,00 MAD**
Economie de clinker (T/an)		8890

Tableau 19: effet de l'adjuvant (MPEI) sur le % clinker pour la qualité du ciment CPJ45

Le tableau (19) représente l'effet de la nouvelle qualité de l'adjudant sur le% clinker. On remarque le même impact de l'ajout des pouzzolanes, sauf que le gain en clinker est de l'ordre de 1%.

CPJ 55 (BK4)		
	Avant	**Après**
Débit moyen (T/h)	**45,58**	**45,58**
%Clinker	73,57%	72,57%
%Calcaire	14,43%	15,43%
%Gypse	4,00%	4,00%
%Pouzzolane	8,00%	8,00%
C/K	**1,359**	**1,378**
MP (dh/T)	*230,06 MAD*	*227,42 MAD*
kWh/t	39,70	39,70
Adjuvant (g/t)	350	400
Prix de revient (dhs/T)	***263,93 MAD***	***262,84 MAD***
Gain (dhs/T)		**1,09 MAD**
Gain annuel estimé CPJ45 (dhs/an)		**124 260,00 MAD**
Economie de clinker (T/an)		1140

Tableau 20: effet de l'adjuvant (MPEI) sur le % clinker pour la qualité du ciment CPJ55

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

Et la même chose pour la qualité CPJ 55 au niveau du broyeur BK4 on a un gain de 1% de clinker qui correspond à 1.09 MAD c'est-à-dire un gain annuel de 124 260.00 MAD et une économie de 1140 Tonne par an en clinker

Economies totales	
Total des économies (dhs/an)	**1 243 481,29 MAD**
Economie de clinker (T/an)	12605

Tableau 21 : économie totale

Si on veut calculer l'économie totale on va faire la somme des gains annuels alors en totale on a un gain de 1.243 481.29 MAD qui correspond à une économie de clinker égal a 12605 alors ce sont des chiffres très important.

IV.3. Investissements

L'investissement consiste pour une entreprise à engager des ressources financières et humaines en vue de résultats à venir

Investissements		Commentaires
2 Echantillonneurs	*480 000,00 MAD*	Equipements (Marque ITECA), pose et travaux d'adaptations
Trémie PZ pour le BK3	*1 100 000,00 MAD*	Trémie métallique + Doseur + Transporteur
Travaux génie civil	*300 000,00 MAD*	Adaptation pour la nouvelle trémie
Total	**1 880 000,00 MAD**	

Tableau 22 : les investissements

Le tableau(22) présente les investissements. Lafarge Meknès dispose de 3 échantillonneurs, (bk3 bk5 et bk4). Notre objectif est de rendre les échantillonneurs BK3 et BK4 automatiques. Et aussi nous propose d'installer une trémie de la pouzzolane au bk3. Ceci demande un travail d'ingénieurs génie civil.

IV.5. Retour sur investissement

Le Retour sur Investissement (ou ROI =Return On Investment) indique si une opération marketing a été une réussite ou non en termes de revenu financier. Plus simplement, c'est l'argent gagné par rapport à l'argent investi

Retour sur investissement (années)	**1,51**
	soit 1ans et demi

Tableau 23: retour sur investissement

Le tableau (23) présent le retour sur investissement, c'est à dire l'argent gagné par rapport à l'argent investi. Il montre aussi le temps nécessaire pour regagner l'argent investi. Après les calculs que nous avons fait, une année et demi qui est une durée suffisante.

Conclusion

Au cours de notre stage, nous avons travaillé en équipe et apporté notre méthodologie d'analyse afin d'identifier d'une façon assez exhaustive les facteurs qui ont un impact sur le rapport C/K. Chacun de ces facteurs a été étudié afin d'en ressortir l'effet. C'est ainsi que nous avons d'abord distingué les causes « non-contrôlables » qui dépendent de l'environnent de l'usine (Clients, marché..) de celles « contrôlables » relevant proprement dit de la performance des installations. En effet, nous avons traité les points relatifs aux moyens de contrôle (Analyse et échantillonnage), la régularité des doseurs, la réactivité du clinker et de la pouzzolane, l'impact des incidents et coupures, l'effet des adjuvants et la performance du broyage (Finesse et séchage).

Par la suite, nous avons été une force de proposition pour donner des solutions aux causes identifiés tout en respectant les contraintes de l'usine, notamment la contrainte financière. En effet, la consigne de notre encadrant était de trouver d'abord les « quick-wins » : C'est ainsi que nos propositions sont faisables localement sans grands apports financiers demandant des investissements conséquents. Ce choix est motivé par la vétusté de l'usine et ces ressources limitées. C'était un challenge que nous avons pu relever et assister à la réalisation de certains de nos solutions ou des essais que nous avons recommandés. D'autres propositions ont été appréciées et vont être adoptés plus tard dans cette année.

Références

[1] : http://www.lafarge.ma/wps/portal/ma/historique-au-maroc

[2] : http://www.wikipedia.org/wiki/Ciment

[3] : http://www.definitions-marketing.com/definition/brainstorming/

[4] : https://fr.wikipedia.org/wiki/Clinker

[5] : Chimie clinker et ciment (formation sur la chimie clinker et ciment) AYAADI

[6] : https://fr.wikipedia.org/wiki/Adjuvant_pour_mat%C3%A9riau_de_construction

[7] : formation sur l'influence de l'humidité sur le processus du broyage (ELMANSORY Khalid)

[8] : http://www.iteca.fr/index.php/fr/echantillon/prelev-clinker-pf106

[9] : http://www.iteca.fr/index.php?option=com_content&view=article&id=81&Itemid=87&lang=fr

[10] :http://www.journaldunet.com/business/pratique/dictionnaire-economique-et-financier/16507/benchmarking-definition.html

Les annexes

[Annexe 1]

date	% clinker	limite tolérée
01/04/2016	62	66
02/04/2016	61	66
03/04/2016	64	66
05/04/2016	63	66
06/04/2016	62	66
07/04/2016	64	66
08/04/2016	64	66
09/04/2016	62	66
10/04/2016	65	66
11/04/2016	65	66
12/04/2016	64	66
13/04/2016	65	66
14/04/2016	66	66
15/04/2016	66	66
16/04/2016	70	66
17/04/2016	72	66
18/04/2016	71	66
20/04/2016	70	66
21/04/2016	70	66
22/04/2016	68	66
23/04/2016	67	66
25/04/2016	68	66
26/04/2016	68	66

[Annexe 4]

Date de prélèvt	Essais physiques				
	Refu à 63µm	Compression			
		Rc 1j	Rc 2j	Rc 7j	Rc 28j
01/02/16	1,00	10,35	17,68	30,25	39,50
01/02/16	1,00	10,40	17,13	30,85	39,55
04/02/16	1,20	7,90	14,95	27,45	37,38
06/02/16	1,20	9,55	15,28	28,35	39,77
06/02/16	0,88	8,00	14,73	29,65	40,58
10/02/16	0,84	7,60	15,85	30,60	42,70
11/02/16	0,80	9,50	16,52	29,90	37,90
12/02/16	0,88	7,50	13,80	26,85	36,27
11/02/16	0,84	7,70	14,82	25,15	36,40
11/02/16	0,60	7,60	13,50	25,05	34,80
24/02/16	0,96	6,65	13,03	24,25	34,55
27/02/16	0,80	7,00	13,00	26,15	36,52
27/02/16	1,00	5,50	7,95	16,50	30,05
01/03/16	0,76	9,30	16,30	29,45	39,75
01/03/16	0,44	10,55	18,15	37,10	50,50
02/03/16	0,96	9,30	17,68	31,80	39,80
07/03/16	1,28	7,95	15,70	28,50	40,05
07/03/16	1,08	8,80	16,07	28,30	38,60
08/03/16	0,88	7,95	14,38	27,75	37,48
11/03/16	1,32	8,80	15,32	30,00	37,55
17/03/16	0,76	10,65	17,50	29,00	40,40
17/03/16	1,32	9,65	15,18	29,60	44,20
19/03/16	0,88	9,70	14,85	27,85	40,80
19/03/16	1,08	9,85	15,65	32,25	41,73
22/03/16	1,32	7,30	15,00	28,90	39,25
23/03/16	1,08	8,60	15,78	28,60	39,38
24/03/16	1,28	9,70	17,98	32,30	41,48
29/03/16	1,20	8,85	14,70	28,35	38,08

[Annexe 2]

Conséquences marches à vide 2016																	
	BK3							BK4							BK5		
	T ciment	%kk 35	%kk 45	Heures de marche	H pertes	T kk perdu au màv	%kk supp	T ciment	%kk 45	%kk 55	Heures de marche	HCKK seul	T kk perdu au màv	%kk supp	T ciment	T kk perdu au màv	%kk supp
Janvier	20 043	63,89%	64,87%	334,89	9	5,29	0,03%	33 385	64,87%	73,32%	611,68	9	41,49	0,12%	53 236	0,00	0,0%
Février	15 563	63,90%	64,49%	281,59	9	2,92	0,02%	22 939	64,49%	72,44%	450,46	9	36,47	0,16%	56 037	0,00	0,0%
Mars	21 787	63,94%	64,55%	407,83	9	2,92	0,01%	28 648	64,55%	74,03%	580,08	9	42,16	0,15%	49 294	0,00	0,0%
Avril	29 079	64,10%	65,70%	561,07	9	7,46	0,03%	28 922	65,70%	74,37%	604,16	9	37,37	0,13%	56 142	0,00	0,0%
	86 472					**5,00**	**0,02%**	113 895					**39,60**	**0,14%**	214 709	0,00	**0,00%**
																	0,042%

[Annexe 3]

conséquences changement qualité 2016														
	BK3							BK4						
	T ciment	%kk 35	%kk 45	Heures de marche	H pertes	T kk perdu au màv	%kk supp	T ciment	%kk 45	%kk 55	Heures de marche	HCKK seul	T kk perdu au màv	%kk supp
Janvier	20 043	63,89%	64,87%	334,89	9	5,29	0,03%	33 385	64,87%	73,32%	611,68	9	41,49	0,12%
Février	15 563	63,90%	64,49%	281,59	9	2,92	0,02%	22 939	64,49%	72,44%	450,46	9	36,47	0,16%
Mars	21 787	63,94%	64,55%	407,83	9	2,92	0,01%	28 648	64,55%	74,03%	580,08	9	42,16	0,15%
Avril	29 079	64,10%	65,70%	561,07	9	7,46	0,03%	28 922	65,70%	74,37%	604,16	9	37,37	0,13%
	86 472					5	0,02%	113 895					39,6	0,14%
														0,04%

[Annexe 5]

	Maille	% Passant cumulé		
	(µm)	Fines	Alim.	Rejets
1	**90**	**99,26**	**57,09**	**49,10**
2	**80**	**98,27**	**51,80**	**42,92**
3	**75**	**97,56**	**48,93**	**39,59**
4	**64**	**95,29**	**42,10**	**31,81**
5	**63**	**95,02**	**41,45**	**31,08**
6	**50**	**90,27**	**32,77**	**21,59**
7	**45**	**87,60**	**29,45**	**18,12**
8	**36**	**81,15**	**23,90**	**12,65**
9	**32**	**77,48**	**21,74**	**10,70**
10	**30**	**75,43**	**20,76**	**9,87**
11	**25**	**69,70**	**18,62**	**8,23**
12	**20**	**63,13**	**16,86**	**7,22**
13	**18**	**60,27**	**16,19**	**6,96**
14	**17**	**58,79**	**15,85**	**6,85**
15	**16**	**57,28**	**15,50**	**6,75**
16	**15**	**55,72**	**15,13**	**6,65**
17	**14**	**54,12**	**14,74**	**6,54**
18	**13**	**52,46**	**14,31**	**6,43**
19	**12**	**50,72**	**13,85**	**6,31**
20	**11**	**48,88**	**13,33**	**6,16**
21	**10**	**46,91**	**12,77**	**5,98**
22	**9**	**44,77**	**12,15**	**5,77**
23	**8**	**42,38**	**11,47**	**5,51**
24	**7**	**39,67**	**10,71**	**5,21**
25	**6**	**36,49**	**9,86**	**4,85**
26	**5**	**32,66**	**8,89**	**4,43**
27	**4**	**27,89**	**7,71**	**3,90**
28	**3**	**21,74**	**6,19**	**3,21**
29	**2**	**13,61**	**4,09**	**2,21**

[Annexe 6]

Wk ciment sortie BK's					
Date	**Broyeur**	**qualité ciment**	**PF à 450°C**	**PF à 120°C**	**Wk**
02/01/2015	BK5	CPJ45	1,53	0,83	**0,70**
06/01/2015	BK5	CPJ45	1,39	0,78	**0,61**
07/01/2014	BK5	CPJ45	1,33	0,69	**0,64**
08/01/2015	BK5	CPJ45	1,26	0,70	**0,56**
12/01/2014	BK5	CPJ45	1,51	0,83	**0,68**
13/01/2014	BK5	CPJ45	1,44	0,72	**0,72**
14/01/2015	BK5	CPJ45	1,36	0,66	**0,70**
15/01/2015	BK5	CPJ45	1,28	0,60	**0,68**
19/01/2015	Broyeur en arrêt				
20/01/2015	BK5	CPJ45	1,22	0,53	**0,69**
21/01/2015	BK5	CPJ45	1,36	0,66	**0,70**
23/01/2015	BK5	Broyeur en arrêt			
02/02/2015	BK5	CPJ45	1,33	0,65	**0,68**
03/02/2015	BK5	CPJ45	1,38	0,69	**0,69**
04/02/2015	BK5	CPJ45	1,31	0,68	**0,63**
05/02/2015	Broyeur en arrêt				**0,00**
06/02/2015	Broyeur en arrêt				**0,00**
22/03/2015 12H00	BK5	CPJ45	1,48	0,82	**0,66**
28/01/2016	BK5	CPJ45	1,19	0,54	**0,65**
02/02/2016	BK5	CPJ45	1,35	0,77	**0,58**
05/02/2016	BK5	CPJ45	1,26	0,54	**0,72**
09/03/2016	BK5	CPJ45	1,46	0,66	**0,80**
14/03/2016	BK5	CPJ45	1,48	0,80	**0,68**
16/03/2016	BK5	CPJ45	1,53	0,83	**0,70**
23/03/2016	BK5	CPJ45	1,37	0,74	**0,63**
28/03/2016	bk5	CPJ45	1,42	0,69	**0,73**

[Annexe 7]

		Reactive SiO2
Product	Sampling Date	%
Inc. Natural Pozzolana, CM Feeder	02/03/2016 03:00	30,14
Inc. Natural Pozzolana, CM Feeder	07/03/2016 07:00	31,22
Inc. Natural Pozzolana, CM Feeder	09/03/2016 06:00	30,95
Inc. Natural Pozzolana, CM Feeder	14/03/2016 06:00	31,42
Inc. Natural Pozzolana, CM Feeder	17/03/2016 07:00	30,68
Inc. Natural Pozzolana, CM Feeder	21/03/2016 07:00	31,43
Inc. Natural Pozzolana, CM Feeder	24/03/2016 07:00	29,63
Inc. Natural Pozzolana, CM Feeder	29/03/2016 07:00	30,41
Inc. Natural Pozzolana, CM Feeder	30/03/2016 06:00	29,01
Inc. Natural Pozzolana, CM Feeder	04/04/2016 00:00	31,44
Inc. Natural Pozzolana, CM Feeder	06/04/2016 07:00	30,68
Inc. Natural Pozzolana, CM Feeder	11/04/2016 07:00	30,88
Inc. Natural Pozzolana, CM Feeder	18/04/2016 06:00	31,45
Inc. Natural Pozzolana, CM Feeder	20/04/2016 07:00	29,66
Inc. Natural Pozzolana, CM Feeder	25/04/2016 00:00	31,08
Inc. Natural Pozzolana, CM Feeder	27/04/2016 00:00	30,42
Inc. Natural Pozzolana, CM Feeder	02/05/2016 03:00	28,96
Inc. Natural Pozzolana, CM Feeder	04/05/2016 03:00	29,11

pport-Gratuit.com

[Annexe 8]

BILAN THERMIQUE D'UN BROYEUR A Ciment sans FOYER **Page 1**
avec GAZ DE FOUR FONCTIONNANT AU CHARBON
Calcul gaz chauds BK 5 MKS 28/5/16

GENERALITES

humidité relative de l'air ambiant	75	%	température de l'air ambiant	20	°C
eau de l'air ambiant (pour 1 Nm3)	0,017	Nm3	N2 de l'air ambiant	0,778	Nm3
O2 de l'air ambiant (pour 1 Nm3)	0,206	Nm3	poids d'un Nm3 d'air humide	1,285	Kg
pourcentage de pertes par parois	5	%	ratio aéraulique de base	1,8	Nm3/kg
pourcentage d'air faux/débit gaz sortie broyeur	30	%	température gaz sortie broyeur	90	°C

Ciment

débit poussières séches entrées	0,00	t/h	débit poussières séches piégées	0,00	t/h
pourcentage d'eau entrée broyeur	2,5	%	pourcentage d'eau sortie broyeur	0,1	%
débit entrée	92,31	t/h	débit sec sortie broyeur	90,00	t/h
eau entrée	2,308	t/h	eau résiduelle	0,090	t/h
eau à vaporiser	2,22	t/h	débit humide sortie broyeur	90,09	t/h
température entrée	58	°C	température sortie	80	°C
broyabilité du ERREUR	33,0	kwh/t	% d'énergie électrique transformée en chaleur	80	%

FOYER

débit combustible		Kg/h	température entrée foyer		°C
pci combustible		kcal/kg	excés d'air du foyer		%
pouvoir comburivore		Nm3/kg	fumées neutres de combustion		Nm3/kg
		FUMEES NEUTRES :	**Nm3/h**		
COMPOSITIOI	N2	Nm3		H2O	Nm3
	CO2	Nm3		SO2	Nm3
		FUMEES TOTALES :	**Nm3/h**		
COMPOSITIOI pouvoir fumigéne		Nm3		O2	Nm3
	N2	Nm3	(par kg de combustible)	H2O	Nm3
	CO2	Nm3		SO2	Nm3

SOURCE CHAUDE N°avec GAZ DE FOUR FONCTIONNANT AU CHARBON

		débit	9600	Nm3/h	température	180 °C
% O2 (Sec)	5,0 %	% O2	4,8	%	% N2	60,7 %
% CO2 (Sec)	26,0 %	% CO2	24,7	%	% SO2	0,1 %
		% H2O	5,0	%	point de rosée	34,6 °C

Air frais **avec AIR**

		débit	12600	Nm3/h	température	20 °C
% O2 (Sec)	20,5 %	% O2	20,1	%	% N2	76,4 %
% CO2 (Sec)		% CO2		%	% SO2	%
		% H2O	2,0	%	point de rosée	18,2 °C

Activer W
Accédez au
activer Win

BILAN THERMIQUE D'UN BROYEUR A Ciment sans FOYER **Page 2**
avec GAZ DE FOUR FONCTIONNANT AU CHARBON
Calcul gaz chauds BK 5 MKS 28/5/16

ENTREE BROYEUR

température entrée broyeur	36 °C	température avant recirculation	36 °C

SORTIE BROYEUR

débit gazeux total sortie (humide)	35657 Nm3/h	débit gazeux recirculé (humide)	0 Nm3/h

SORTIE CIRCUIT

débit gazeux total sortie (humide)	35657 Nm3/h	ratio aéraulique effectif	0,40 Nm3/kg		
concentration maxi H2O (sans condensation)	0,56 kg/Nm3	concentration effective H2O	0,083 kg/Nm3		
ratio de condensation	14,91 %	point de rosée	46,7 °C		
% N2 sortie	66,68 %	% CO2 sortie	6,65 %		7,41 % Sec
% H2O sortie	10,30 %	% SO2 sortie	0,03 %		
% O2 sortie sur gaz secs	16,21 %	% O2 sortie sur gaz humides	14,54 %		16,21 % Sec

	ENTREES				SORTIES		
POSTES	DEBITS	° C	kcal/h	POSTES	DEBITS	° C	kcal/h
JRCE CHAUDE N°1 (Nm3/h)	9600	180	567730	VAPORISATION (Kg/h)	2218	-	1321691
OUSSIERES source 1 (Kg/h)	0	0	0	USSIERES EXHAURE (Kg/h)	0	0	0
JRCE CHAUDE N°2 (Nm3/h)	12600	20	73742	Ciment (Kg/h)	90000	80	1337234
OUSSIERES source 2 (Kg/h)	0	0	0	OUSSIERES PIEGEES (Kg/h)	0	0	0
FOYER (Kg/h)	0	-	0	EAU RESIDUELLE (Kg/h)	90	80	7207
AIR FAUX (Nm3/h)	10697	20	62202	GAZ SECS (Nm3/h)	31985	90	883442
EAU AIR FAUX (Nm3/h)	181	20	1285	EAU VAPEUR (Nm3/h)	3672	90	118747
Ciment (Kg/h)	90000	58	955344	PERTES PAR PAROIS	-	-	191876
EAU DU Ciment (t/h)	2,308	58	133846				
EAU PUVERISEE (l/h)	0	20	0				
MOTEUR BROYEUR	-	-	2043360				
TOTAL ENTREES			3 837 511	**TOTAL SORTIES**			3 860 197

RENDEMENT DE SECHAGE THEORIQUE (calories totales entrée/kg d'eau matière à évaporer **1730** kcal/kg
RENDEMENT DE SECHAGE UTILE (calories nobles entrée/kg d'eau matière à évaporer) **289** kcal/kg ¯ E-S/E = -0,59%

BILAN THERMIQUE D'UN BROYEUR A Ciment sans FOYER — Page 3
avec GAZ DE FOUR FONCTIONNANT AU CHARBON
Calcul gaz chauds BK 5 MKS — 28/5/16

FILTRE et/ou CYCLONES

100%

GAZ SORTIE BROYEUR		
DEBIT	35657	Nm3/h
DEBIT	9,9	Nm3/s
DEBIT	13,2	m3/s
TEMPERATUF	90	° C
RATIO AERAU	0,40	Nm3/kg

Ciment SORTIE ATELIER		
DEBIT Ciment	90,0	t/h Sec
DEBIT POUSSIER	0,0	t/h Sec
DEBIT TOTAL	90,0	t/h Sec
DEBIT TOTAL	90,1	t/h Humide
TEMPERATURE	80	° C
% H2O	0,1	%

Ciment		
DEBIT	92,3	t/h
% H2O	2,5	%
POUSSIERES	0,0	t/h

DEBIT POUSSIERES EXH.	0,0	t/h Sec

PULVERISATION EAU		
DEBIT	0	l/h

100%

SORTIE CIRCUIT		
DEBIT	35657	Nm3/h
DEBIT	9,9	Nm3/s
DEBIT	13,2	m3/s
TEMPERATURE	90	° C
% O2 (Sec)	16,2	%
QUANTITE H2C	0,083	kg/Nm3
% H2O en volur	10,3	%
RATIO DE CON	15	%
POINT DE ROS	47	° C

0%

RECIRCULATION		
DEBIT	0	Nm3/h
DEBIT		Nm3/s
DEBIT		m3/s
TEMPERATURE		° C

SOURCE CHAUDE N° 1 : G. FOUR Ch		
DEBIT	9600	Nm3/h
DEBIT	2,7	Nm3/s
DEBIT	4,4	m3/s
TEMPERATURE	180	° C
POINT DE ROS	35	° C
% O2 (Sec)	5,0	%

BROYEUR Ciment

FOYER : SANS		
DEBIT COMB.	0	Kg/h
EXCES D'AIR		%
DEBIT GAZEUX		Nm3/h
DEBIT GAZEUX		Nm3/s
DEBIT GAZEUX		m3/s
TEMPERATURE		° C

BROYEUR		
P. ABSORBEE	2970	kw
% PERTES PA	5	%

ENTREE BROYEUR		
DEBIT	22200	Nm3/h
DEBIT	6,2	Nm3/s
DEBIT	21,1	m3/s
TEMPERATURE	36	° C

Air frais : AIR		
DEBIT	12600	Nm3/h
DEBIT	3,5	Nm3/s
DEBIT	3,8	m3/s
TEMPERATURE	20	° C
POINT DE ROS	18,2	° C
% O2 (Sec)	20,5	%

AIR FAUX		
POURCENTAG	30	% Sorties
POURCENTAG	48	% Entrées
DEBIT	10697	Nm3/h
HUM. RELATIV	75	%
TEMPERATUF	20	° C

AVANT RECIRCULATION		
DEBIT	22200	Nm3/h
DEBIT	6,2	Nm3/s
DEBIT	21,1	m3/s
TEMPERATU	36	° C

ORIGINE DE L'EAU DES GAZ D'EXHAURE					
AIR AMBIANT	145	kg/h	---->	181	Nm3/h
FOYER	0	kg/h	---->	0	Nm3/h
SOURCE CHAUDE n° 1	386	kg/h	---->	480	Nm3/h
SOURCE CHAUDE n° 2	203	kg/h	---->	252	Nm3/h
MATIERE	2218	kg/h	---->	2760	Nm3/h
PULVERISATION	0	kg/h	---->	0	Nm3/h
TOTAL	2951	kg/h	---->	3672	Nm3/h

Table des matières

Introduction **1**

I. Présentation de l'organisme d'accueil 3

I.1. Historique 3

I.2. Implantation de Lafarge Meknès [1] 3

I.3. La fiche technique 4

I.4. Les équipements de l'usine 4

I.5. Organigramme de l'usine Meknès 5

II. Le processus de fabrication du ciment 5

II.1. Généralité sur le ciment 5

II.2. Matières premières du ciment 6

II.3. Matières d'ajouts du ciment 6

II.4. Les étapes de fabrication du ciment 6

II.4.1. Carrière et concassage 7

II.4.2. Préparation cru 7

II.4.3. Cuisson de la farine 8

II.4.4. Broyage du clinker 9

II.4.5. Ensachage et expédition 10

I. Contexte du projet 12

I.1. Brainstorming des idées sur les axes de l'optimisation du ratio C/K 12

I.1.1. Définition de la technique du brainstorming 12

I.1.2. Pourquoi utiliser la technique du brainstorming pour trouver des idées? 13

I.2. Historique d'évolution de rapport C/K 14

I.3. Analyse de rapport C/K du mois avril 2016 15

II. Analyse et étude piste par piste 16

II.1. Premier axe d'optimisation: contrôle 17

II.1.1. Etude de la stabilité de l'analyse et de la préparation 17

II.1.2. Etude de la stabilité des échantillonneurs 19

II.2. Deuxième axe d'optimisation: régularité clinker 21

II.2.1. Etude de la stabilité des doseurs 21

II.3. Troisième axe : les incidents 22

II.3.1. Premier problème : marche à vide 22

II.3.2. Deuxième problème : changement de qualité 23

II.4. Quatrième axe : réactivité clinker 23

II.4.1. Réactivité du clinker 24

II.4.2. Les facteurs influencent la réactivité du clinker 24

II.5. Cinquième axe : la régularité pouzzolane 28

II.5.1. Définition de la pouzzolane 28
II.5.2. La qualité de la pouzzolane dépend en grande partie de sa genèse 28
II.5.3. Le rôle principal de la pouzzolane dans la fabrication de ciment 28
II.5.4. Caractéristiques physico-chimique de la pouzzolane 28
II.5.5. Situation Existante 29
II.6. Sixième axe : adjuvant 29
II.6.1. Définition 29
II.6.2. Objectif 29
II.6.3. Technique du benchmark ING 30
II.6.4. Les résultats d'analyse 31
II.6.5. Interprétation des résultats 32
II.7. Septième axe : Broyage 32
II.7.1 Etude de l'état du fonctionnement du broyeur 32
II.7.2 Etude de l'état du fonctionnement du séparateur 35
II.7.3 Etude de la stabilité de La gaine gaz chauds 37
II.7.4. Humidité de la matière 39
III. Les plans d'action sur chaque axe 41
III.1. Les actions sur l'échantillonnage 41
III.2. Les actions sur les incidents 42
III.2.1. Premier problème : marche à vide 42
III.2.2 Deuxième problème : changement qualité 42
III.3. Les actions sur la régularité clinker 42
III.4. Les actions sur la régularité pouzzolane 43
III.4.1. Les résultats obtenus [annexe 7] 43
III.5. Les actions sur la réactivité clinker 44
III.5.1. La composition chimique 44
III.5.2. Les conditions de cuisson 44
III.6. Les actions sur le broyage 45
III.6.1. Humidité de la matière 45
IV. Evaluation économique 48
IV.1. Gain grâce à l'action au niveau du Pouzzolane 48
IV.2. Gain grâce à l'action au niveau d'adjuvant 49
Conclusion 51
Références 52
Les annexes 53

Liste des figures

Figure 1:situation géographique de Lafarge à Meknès 3
Figure 2: organigramme d'usine Lafarge Meknès 5
Figure 3 : broyeur à galets 8
Figure 4 : broyage du clinker 9
Figure 5: Ensachage 10
Figure 6 : Livraison du ciment 10
Figure 7 : brainstorming des idées 13
Figure 8 : évolution de rapport C/K entre les années 2008 - janvier 2016 14
Figure 9 : graphe d'analyse du c/k du mois avril 15
Figure 10 : les facteurs qui influencent notre rapport C/K 16
Figure 11 : Spectroscopie à fluorescence X 17
Figure 12 : Echantillonneur de BK 3 avec une vise manuelle 19
Figure 13: échantillonneur BK4 19
Figure 14 : échantillonneur automatique BK5 20
Figure 15: Installation d'un préleveur à vis BK 5 20
Figure 16 : Doseur Schenck MULTIDOS 21
Figure 17 : le pourcentage du clinker 22
Figure 18 : courbe du suivie du réactivité clinker du mois Février 24
Figure 21 : diagramme des effets des facteurs sur l'indice de réactivité 26
Figure 22 : effet stockage extérieur février et mars 2016 27
Figure 23: broyeur à boulets 33
Figure 24 : compartiment 1 blindages releveurs 34
Figure 25 : compartiment 2 blindages classant 34
Figure 26 : cloison intermédiaire double 34
Figure 27: Séparateur 35
Figure 28: la courbe de partage 36
Figure 29: la gaine des gaz chauds 38
Figure 30: humidité de mélange 39
Figure 31: Taux de pré hydratation du ciment au niveau du BK5 40
Figure 32: Préleveur pour PF106 aéroglisseur 41
Figure 33: Préleveur à vis PREC 100 41
Figure 34 : réactivité SiO2 (pouzzolane) 43

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

Liste des tableaux

Tableau 1: Statut juridique de LAFARGE 4
Tableau 2: Composition du ciment 5
Tableau 3 : composition de différents types de ciment 6
Tableau 4 : Analyse du ratio c/k du mois avril 15
Tableau 5 : Résultats de l'essai de répétabilité de la MDX 18
Tableau 6 : les données de l'échantillon standard 18
Tableau 7: le domaine d'étude des facteurs 25
Tableau 8 : les coefficients du modèle concernant la réactivité clinker 25
Tableau 11: protocole d'essai d'adjuvant pour les qualités CPJ45 et CPJ 55 31
Tableau 12 : les résultats des essais physiques et mécaniques pour la qualité CPj 45 31
Tableau 13 : jeux de lumière des cloisons intermédiaires 34
Tableau 14 : taux de remplissage du broyeur 35
Tableau 15: les paramètres caractéristiques du séparateur 36
Tableau 16: Les caractéristiques de la gaine des gaz chauds 38

Liste des abréviations

BK	**broyeur clinker**
SSB	**surface spécifique de blinde**
KK	**clinker**
CPJ	**ciment portland avec ajout**
CPA	**ciment portland sans ajout**
C/K	**ciment/ clinker**
C_3S	**silicate tricalcique**
C_2S	**silicate bi calcique**
C_3A	**aluminate tricalcique**
C_4AF	**alumino-férite tetracalcique**
C_1	**compartiment 1 du broyeur à boulets**
C_2	**compartiment 2 du broyeur à boulets**
WK	**le taux de pré hydratation**
PA	**perte au feu**