



UNIVERSITE SIDI MOHAMED BEN ABDELLAH
FACULTE DES SCIENCES ET TECHNIQUES
FES



Département de CHIMIE

PROJET DE FIN D'ÉTUDE

**CONTRÔLE DES DOSEURS
AU SEIN DE HOLCIM (REM)**

ENCADRÉ PAR :

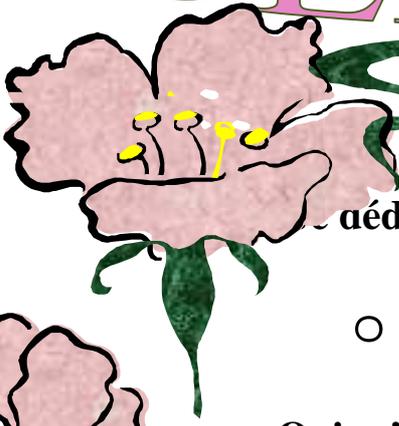
ÉLABORÉ PAR :

+ Btissam ELHAMDOUNI

+ Pr. H. wahbi
+ Mr. M. EL HAJJI

Année Universitaire 2010/2011

DEDICACE



Je dédie le fruit de ce modeste travail

- **A mes parents**

Qui m'ont donné beaucoup de soutien et d'encouragement, symbolisant pour moi le sacrifice et la source d'où naît la lumière qui éclaire ma vie, et pour qui aucune dédicace n'exprimera la profondeur de mon amour,

- **A mes frères et sœurs**

En témoignage de l'amour et de l'affection qui nous lient.

- **A mes formateurs**

Qui m'ont dirigé vers le chemin de succès par leur compréhension et leur conseil. Veuillez trouver dans



ce travail, l'expression de mes profondes
reconnaisances et ma grande estime.

○ **Aussi**

A tous mes amis et collègues, pour les moments
forts et agréables qu'on a passés ensemble et à tous
qui m'aiment et me souhaitent le bonheur.

Remerciemen ts

*Au terme de ce travail, je tiens à remercier
vivement :*

Mr. KADOURI, directeur général de la
cimenterie **HOLCIM** de Ras-El-Ma, qui a bien voulu
m'accueillir au sein de sa société.

Mr. Hajji chef de service de contrôle qualité de
m'avoir accepté et m'accorder un stage au service de la
qualité, et qui n'a épargné aucun effort pour me porter



*aide et assistance le long de la réalisation de ce modeste travail. Ses conseils étaient d'une utilité incontestable, et je remerci chaleureusement **Ms. AIYADI** pour son aide.*

*De crainte d'omettre les noms, Je présente également mes sincères remerciements et reconnaissance à tout le personnel de la Société **HOLCIM** de Ras-El-Ma pour sa sympathie et son aide*

Ma gratitude et estime au corps professoral compétant, aux responsables, et aux personnels de La Faculté des Sciences et Techniques de Fes ,aux professeur du département de chimie, qui veille sur ma formation afin de me garantir les compétences distinguées.

*En fin un remerciement spécial à **Mr. Hamid WAHBI**, professeur et encadrant de ce stage pour son aide et sa sympathie, et aussi pour avoir accepter l'évaluation de ce travail. Ses pertinentes et ses derectives ont permis la réalisation de ce modeste travail.*

SOMMAIRE



[INTRODUCTION GENERALE](#) Erreur ! Signet non défini.

chapitre I2

[HISTORIQUE DE CIMENT](#) : Erreur ! Signet non défini.

[HISTORIQUE DE HOLCIM MAROC](#) Erreur ! Signet non défini.

[Présentation de la cimenterie de Fès - Ras El Ma \(REM\)](#) Erreur ! Signet non défini.

[Organigramme de la société Holcim de Fès](#) : Erreur ! Signet non défini.

[Procédé de fabrication de ciment](#) Erreur ! Signet non défini.

[1. Définition du ciment](#) : Erreur ! Signet non défini.

[2. Les constituants de ciment](#) : Erreur ! Signet non défini.

[o Matières premières](#) : Erreur ! Signet non défini.

[o Les matières ajoutées](#) : Erreur ! Signet non défini.

[3. La chaîne de fabrication du ciment](#) : Erreur ! Signet non défini.

[a- L'extraction et le concassage](#) : Erreur ! Signet non défini.

[b- Préchauffage](#) : Erreur ! Signet non défini.

[c- Cuisson](#) : Erreur ! Signet non défini.

[d. Refroidissement](#) : Erreur ! Signet non défini.

[e. Le broyage](#) : Erreur ! Signet non défini.

[f. Expédition](#) : Erreur ! Signet non défini.

chapitre II

.....11

[Service contrôle qualité](#) : Erreur ! Signet non défini.

[1. Module de chaux ou facteur de saturation en chaux : FSC](#) Erreur ! Signet non défini.

[2. Module silicique : MS](#) Erreur ! Signet non défini.

[3. Module alumino-ferrique : MAF](#) Erreur ! Signet non défini.



<u>A-Analyses physico-chimique</u>	Erreur ! Signet non défini.
<u>a. Le taux d'humidité :</u>	Erreur ! Signet non défini.
<u>b. la perte au feu :</u>	Erreur ! Signet non défini.
<u>c. Analyses par rayon fluorescents (RX) :</u>	Erreur ! Signet non défini.
<u>d. Dosage de chlorure :</u>	Erreur ! Signet non défini.
<u>e. Dosage de fluorine F⁻ :</u>	Erreur ! Signet non défini.
<u>B- Essais physiques et mécaniques :</u>	Erreur ! Signet non défini.
<u>Analyse Granulométrie : utilisation du tamiseur à courant d'air :</u>	Erreur ! Signet non défini.
<u>1. Détermination de la résistance à compression et à flexion :</u>	Erreur ! Signet non défini.
<u>3- Essai de prise pour le ciment :</u>	Erreur ! Signet non défini.
Chapitre III :contrôle des doseurs	Erreur ! Signet non défini.
<u>GENERALITES :</u>	Erreur ! Signet non défini.
<u>Définition du doseur pondérale :</u>	Erreur ! Signet non défini.
<u>Préparation des matériaux :</u>	Erreur ! Signet non défini.
<u>Les analyses effectuées :</u>	Erreur ! Signet non défini.
<u>Résultats :</u>	Erreur ! Signet non défini.
<u>Expérimentation :</u>	Erreur ! Signet non défini.
<u>Pour le clinker :</u>	Erreur ! Signet non défini.
<u>Pour le calcaire :</u>	Erreur ! Signet non défini.
<u>Pour le gypse :</u>	Erreur ! Signet non défini.
<u>Pour les cendres volantes et la pouzzolane :</u>	Erreur ! Signet non défini.
<u>Interprétation :</u>	29
<u>Conclusion Générale</u>	30



INTRODUCTION

La demande clientèle exige de plus en plus de la qualité, et pour répondre à cette exigence, les entreprises font tout leur possible pour avoir un produit d'une performance élevée, surtout dans un secteur concurrentiel que celui du ciment. La réduction du prix de revient et l'amélioration de la productivité représentent le souci majeur des cimenteries.

Selon le dictionnaire de L'Académie française :

Ciment hydraulique, ciment formé d'un mélange de chaux, de sable et de lave pilée, qui durcit sous l'action de l'eau.

Ciment armé, Ciment soutenu par une armature intérieure qui est ordinairement en métal.

Ciment romain, Ciment formé de calcaire argileux calciné et qui durcit sous l'action de l'air ou de l'eau.

Mon travail consiste à contrôler les doseurs des ajouts au sein de la cimenterie Holcim Ras El Ma.

Ce rapport comportera trois chapitres :

Le premier chapitre sera consacré à la présentation de l'entreprise ainsi qu'au procédé de fabrication.

Le deuxième chapitre, présentera les différents types d'analyses effectuées dans le laboratoire.

Et le troisième chapitre sera consacré à la présentation du sujet ainsi qu'à la partie expérimentale.



Chapitre I

- ✓ Présentation de l'entreprise
- ✓ Procédé de fabrication du ciment



1. HISTORIQUE DU CIMENT :

Le mot ciment vient du latin "caementum", qui signifie mortier, liant des maçonneries. Ce sens d'origine a été conservé en s'appliquant aux seuls liants hydrauliques, c'est-à-dire capables de durcir au contact de l'eau.

Les Grecs sont les premiers constructeurs à employer la chaux obtenue par cuisson du calcaire. Les Romains améliorent ce liant en y ajoutant des cendres volcaniques et des briques pilées et obtiennent ainsi un liant hydraulique, intermédiaire entre une chaux et un véritable ciment. Ce liant rend possible la construction de grands ouvrages tels les arènes, les thermes, les amphithéâtres ou les aqueducs, dont certains sont encore parfaitement conservés vingt siècles plus tard.

C'est au 18ème siècle que sont produites les premières chaux hydrauliques proches des ciments modernes, principalement du fait des progrès réalisés dans les procédés de cuisson. En 1759, l'Anglais John Smeaton produit un mortier aussi dur que de la pierre en mélangeant des chaux hydrauliques et des cendres volcaniques.

Le Français Louis Vicat découvre en 1817 les principes chimiques des ciments et définit les règles de fabrication du ciment hydraulique. Il est considéré comme l'inventeur du ciment moderne, mais il publie ses travaux sans prendre de brevets.

C'est l'Anglais Joseph Aspdin qui fait breveter en 1824 le ciment "Portland", obtenu à partir d'un procédé de calcination combinant la cuisson de calcaire et d'argile dans des fours alimentés au charbon. La dénomination "Portland", due simplement à la similarité de couleur et de dureté avec la pierre de Portland (Sud de l'Angleterre), est à l'heure actuelle toujours employée dans l'industrie.



En Belgique, une première cimenterie voit le jour en 1872 (Messieurs Dufosse et Henry établirent la première usine de production de ciment Portland du pays à Cronfestu). Dès la fin du 19ème siècle, le béton moderne à base de ciment Portland devient un matériau de construction largement répandu.

De nombreux perfectionnements sont apportés au cours du 20ème siècle à la fabrication du ciment, notamment avec la production des ciments spéciaux, sans toutefois modifier les caractéristiques physico-chimiques et les propriétés fondamentales du ciment Portland.

2. HISTORIQUE DE HOLCIM MAROC

Holcim MAROC est une filiale du groupe suisse Holcim Ltd, troisième cimentier marocain avec une part de marché de 21% en 2005. Présent dans différentes régions du Maroc et disposant d'une capacité de production de millions de tonnes.

Filiale de HOLCIM Ltd, l'un des leaders mondiaux du béton et des granulats, il est un groupe cimentier national qui intervient à travers plusieurs sites dans les domaines du ciment, du béton prêt à l'emploi, et depuis 2002 des granulats.

Holcim Maroc, Présent sur le marché national depuis 1978, avec plus de 500 collaboratrices et collaborateurs, produit des matériaux de construction pour les usages les plus variés. A ces produits s'ajoutent les supports techniques et logistiques adaptés aux besoins

✓ 1972

Les gouvernements marocain et algérien décident de construire une cimenterie à Oujda, sous le nom de la Cimenterie Maghrébine (CIMA). Son capital social est de 75 millions de dirhams, réparti à égalité entre l'Office pour le Développement Industriel (ODI) et la SNMC, organismes représentant respectivement le Maroc et l'Algérie. Le projet CIMA fut mis en veilleuse et placé sous administration provisoire à cause du retrait algérien de l'opération en 1975.

✓ 1976

L'ODI crée une société nouvelle dénommée Cimenterie de l'Oriental (CIOR) qui reprend les actifs de la CIMA avec pour objet la réalisation d'une cimenterie dans la région d'Oujda.

✓ 1979

Holcim Maroc, 30 ans au service de la construction du Maroc. Mise en service de l'usine d'Oujda qui démarre avec une capacité de production de 1,2 millions de tonnes par an.



✓ 1980

Installation à Fès d'un centre d'ensachage d'une capacité de 500 000 tonnes par an.

✓ 1982

Installation à Casablanca d'un centre d'ensachage d'une capacité de 350 000 tonnes par an.

✓ 1985

Création de Ciments Blanc du Maroc à Casablanca.

✓ 1989

Installation d'un centre de broyage à Fès d'une capacité de 350 000 tonnes par an.

✓ 1990

Début des travaux pour la réalisation d'une ligne complète de production de clinker à

✓ **2009**

Création du premier réseau de distribution des matériaux de construction au Maroc:
BATIPRO Distribution.

Certification ISO 9 001 et ISO 14 001 du centre de distribution de Casablanca, de la cimenterie de Settat et de la plateforme de traitement de déchets Ecoval.

✓ 2010

Lancement du projet de doublement de la capacité de production clinker de la cimenterie de Fès.

3. Présentation de la cimenterie de Fès – Ras El Ma (REM)

La cimenterie de Ras-el-Ma, située à la périphérie de Fès, est d' une capacité annuelle de 600 000 à 1 000 000 de tonnes par an, l'usine de Fès, qui utilise le procédé de fabrication à voie sèche intégrale, a été mise en service en 1993.

Située à 25 km au sud de Fès.

L'usine comporte des ateliers de concassage, broyage, homogénéisation et stockage de la farine, cuisson et stockage du clinker, broyage des combustibles, broyage du ciment, ensachage et expédition du ciment.

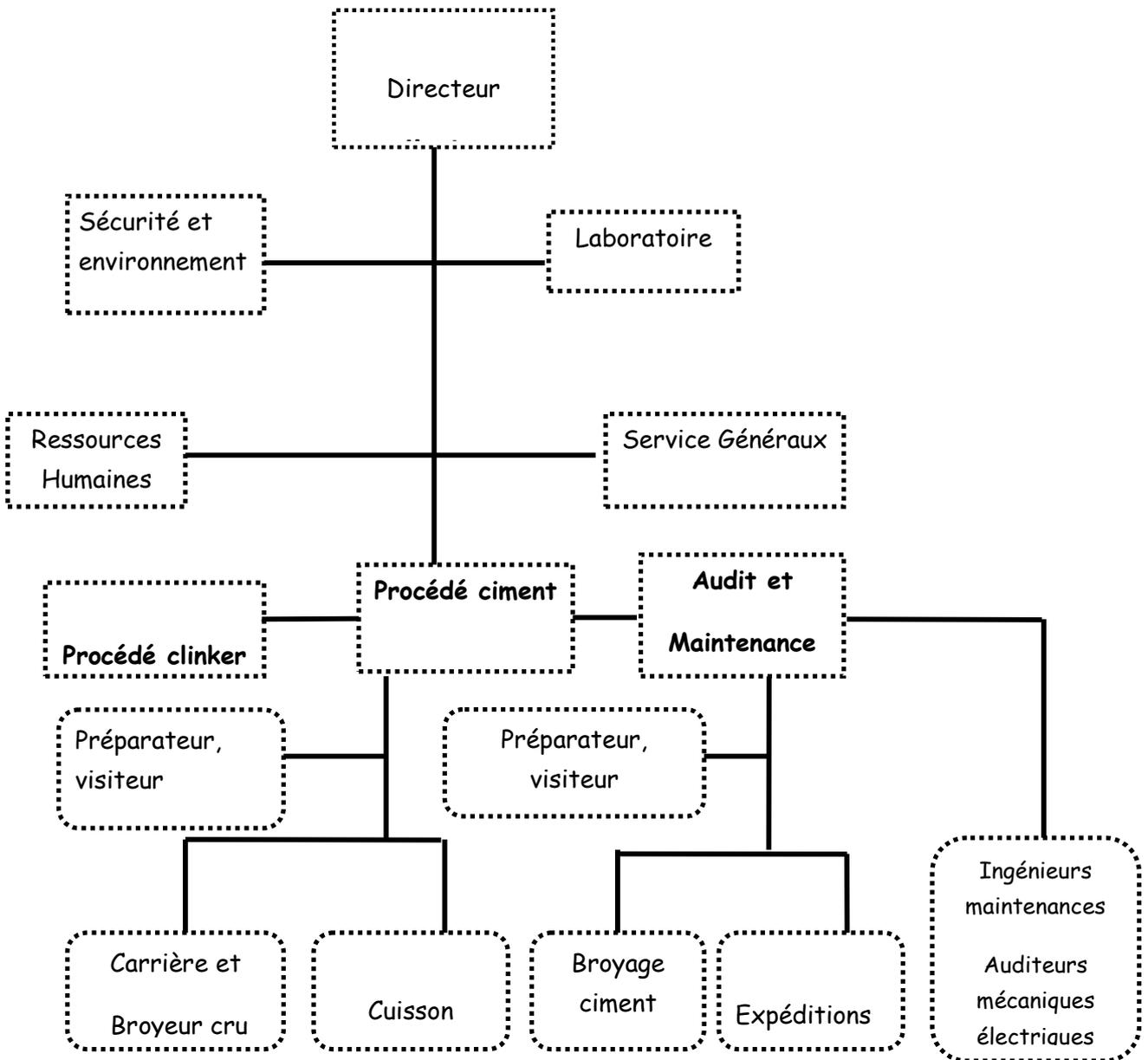


Le broyeur à ciment vertical a une capacité de 115 t/heure. La technologie utilisée, unique au Maroc ou tous les broyeurs sont horizontaux, permet de réaliser une économie d'énergie pouvant atteindre les 30%.

4. Organigramme de la société Holcim de Fès :

L'organigramme ci-dessous résume la voie hiérarchique de la société, il comprend trois grands secteurs d'activités :

Procédé Clinker ; procédé ciment, audit et maintenance :





Procédé de fabrication du ciment

1. Définition du ciment :

Le ciment est une poudre minérale très fine qui durcit sous l'action de l'eau, de ce fait le ciment est appelé un liant hydraulique. Lorsqu'on ajoute la pâte (ciment, air et eau) aux granulats (sable, gravier, pierre..) elle agit comme une colle qui lie ensemble les granulats pour former une masse semblable à la pierre.

2. Les constituants du ciment :

2.1. Les matières premières :

Les matières premières sont le calcaire, avec un pourcentage élevé (vers les 80%), l'argile, le fer et le schiste, ses deux derniers constituants sont utilisés avec des proportions faibles et même parfois ils ne sont pas ajoutés aux matières premières.

- **CALCAIRE**

Le calcaire est une substance minérale dont la composition chimique est caractérisée par un taux élevé de carbonate de calcium, souvent d'origine organique (calcaires à foraminifères dont la craie, calcaires coquilliers), mais aussi d'origine chimique (calcite, calcaire oolithique, pisolithique, lithographique).

- **ARGILE**

L'argile est une roche sédimentaire blanchâtre douce au toucher, elle est composée d'au moins 50% de silicates d'alumine.

- **LE clinker**

Le clinker est un constituant du ciment, qui résulte de la cuisson d'un mélange composé d'environ 75 % de calcaire et de 25 % de silice : la « farine » ou le « cru ». Cette cuisson, la clinkerisation, se fait à une température d'environ 1450 °C.



2.2. Les matières ajoutées :

Calcaire :

Dans la fabrication du ciment le calcaire est utilisé comme une matière première et encore une fois comme un additif.

Pouzzolane :

C'est une roche naturelle d'origine volcanique, elle est généralement de couleur rouge, noir, gris ...

La pouzzolane est à la base de fabrication de certains ciments.

Gypse :

Le gypse est une espèce minérale composée de sulfate hydraté de calcium de formule $\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$. Dans la nature, en formation sédimentaire, il peut être accompagné par des impuretés minérales comme l'argile et la silice.

Cendres volantes :

Les cendres volantes sont le résidu finement divisé résultant de la combustion de charbon pulvérisé et évacué de la chambre de combustion d'un four par les gaz qui s'en échappent.

3. La chaîne de fabrication du ciment :

a- L'extraction et le concassage :

Après extraction des matières premières de ses carrières naturelles, Calcaire et Argile, ces matériaux subissent un concassage dans des proportions bien définies.

L'opération est assurée dans un concasseur à rotors d'un débit horaire de 1200 tonnes.

Les matières d'ajouts sont concassées séparément dans des concasseurs appropriés.

o La pré-homogénéisation :

Après concassage le mélange est ensuite réalisé dans un hall de pré-homogénéisation où la matière est mise sous forme de couche horizontales superposées.

- Broyage du CRU :

Le produit est ensuite destiné à être broyé dans un broyeur cru à galets, dans le but d'obtenir une farine de finesse 10 μ m).

« Le CRU : est un mélange des matières premières après broyage (farine très fine). »

- Homogénéisation :

La farine passe du broyeur CRU au silo d'homogénéisation là où se passe l'homogénéisation de la farine par l'air sec.

b- Préchauffage :

Cette étape a pour but de préparer la farine CRU aux réactions de combustion, donc le CRU passe par la suite par 5 cyclones où se passe le préchauffage par les gaz émis par le four.

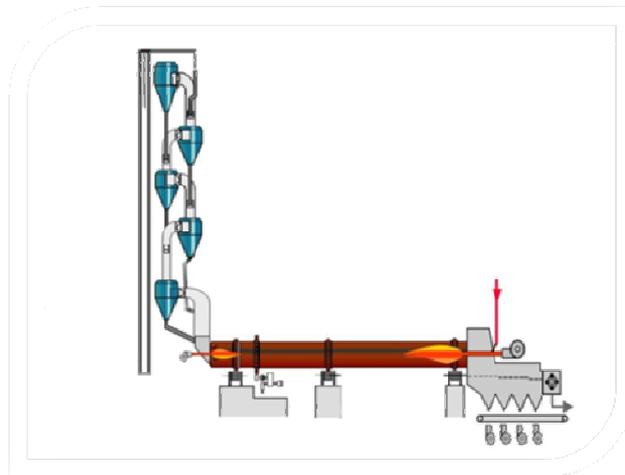


Figure 1:schéma représentatif du four et des 5 cyclones



c- Cuisson :

Le four est un tube rotatif d'une longueur de 64m et d'un diamètre de 4m,

à l'intérieur il est recouvert par une couche de briques qui protège la tôle du four au cours de la cuisson. Théoriquement Il y a trois phases dans le four :

1. Décarbonations :

Presque toutes les étapes se font au niveau des 5 sillonnées, la farine arrive au four déjà décarbonatée à 90%.

2. Phase de cuisson :

La cuisson se fait à une température voisine de 1450 °C, La farine chemine lentement et se combine en venant à la rencontre de la source de chaleur, cette dernière est une longue Flamme alimentée au charbon pulvérisé.

3. phase de clinkerisation :

A la sortie du four, un refroidisseur à grille abaisse brutalement la température du clinker sortant du four à 1400°C vers environ de 300°C. Le clinker désormais maniable sera stocké dans de grands silos de stockage.

Tout au long de la cuisson, un ensemble de réactions physico-chimiques conduit à l'obtention du clinker.

d. Refroidissement :

A la sortie du four, le produit passe au refroidisseur, cette étape se fait à l'aide de quatre ventilateurs latéraux, il est très important d'effectuer un refroidissement rapide pour obtenir un clinker de bonne qualité.

Ensuite ,le clinker est prêt à l'emploi et transféré à un silo de stockage.

e. Le broyage :

Un broyeur à boulets de débit 120 t/h c'est le BK4 et un autre broyeur vertical de 20 t/h c'est le BK3, assurent le broyage à partir d'un mélange de clinker, gypse, calcaire, pouzzolane, et cendres volantes dans les proportions déterminées en fonction de la classe de ciment désiré .

f. Expédition :

L'atelier d'ensachage et de distribution du ciment de l'usine de Fès- Ras El Ma est conçu pour la livraison des différents types de ciments, en sac ou en vrac sur camions ou wagons.



Chapitre II

Service Contrôle qualité



Service contrôle qualité :

Le service contrôle qualité a pour but d'avoir un produit fini qui est le ciment avec une bonne qualité, c'est pour cela qu'un groupe surveille 24h/24h et 7 jours/7jours afin d'obtenir un ciment dans les normes marocaines.

Au sein de HOLCIM Maroc, le laboratoire assure le contrôle de la matière depuis la carrière jusqu'à l'expédition, et intervient- si nécessaire - à chaque étape de fabrication.

Le laboratoire de la cimenterie de Fès effectue des analyses physico-chimiques :

- Un contrôle des matières premières chaque semaine
- Un contrôle de sortie broyeur cru toutes les 2 heures
- Un contrôle de la farine chaude 3 fois par jour
- Un contrôle de clinker chaque heure
- Un contrôle de ciment chaque heure

Le contrôle se fait en se basant sur trois équations de référence, **FSC**, **MS**, **MAF**, le calcul des trois équations se fait à l'aide de quatre éléments qui sont: CaO, SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃.

1. Module de chaux ou facteur de saturation en chaux : FSC

$$FSC = \frac{\text{Teneur en chaux réelle}}{\text{chaux standard}}$$

Avec : **FSC = 99 ± 1**

Chaux standard : quantité de chaux capable de se combiner aux oxydes comme la silice (SiO₂), l'Alumine (Al₂O₃), et le Fer (Fe₂O₃).



$$FSC = \frac{\% CaO}{2,8 * \% SiO_2 + 1,18 * \% Al_2O_3 + 0,6 * \% Fe_2O_3}$$

- Si $FSC > 100$: Il y'a trop de chaux et l'excès se trouve sous forme de « chaux libre » qui est trop dangereuse pour le ciment, car elle ne se combine pas et conduit au gonflement du ciment. Le maximum de chaux libre acceptable est de 1,5 %.
- Si $FSC < 100$: il n'y a pas assez de chaux pour se combiner avec la silice, l'alumine et l'oxyde de Fer, qui vont rester libre dans le clinker et par conséquent diminuer sa résistance.

2. Module silicique : MS

Fe_2O_3 et Al_2O_3 sont des agents de fusion, grâce auxquels la formation de la phase liquide commence. S'il y en a peu, le MS est élevé et la cuisson est difficile.

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

Avec : MS = 2.45 à 2.5

MS > 2.5 Cuisson difficile



MS < 2.45 Cuisson facile

3. Module alumino-ferrique : MAF

$$\text{MAF} = \text{Al}_2\text{O}_3/\text{Fe}_2\text{O}_3 \quad ; \quad \text{MAF} = 1.9 \pm 1$$

Sa valeur caractérise la nature de la phase fondue, contenant la presque totalité des deux oxydes Al_2O_3 et Fe_2O_3 . Quand MAF augmente, la viscosité de la phase fluide augmente aussi, par conséquent, une difficulté à la cuisson d'où une grande consommation d'énergie.

A-Analyses physico-chimiques

a. Le taux d'humidité :

Cette analyse consiste à déterminer la quantité d'eau dans l'échantillon.

Mode opératoire :

On pèse une masse M_i de l'échantillon, puis on le porte à l'étuve à une température de 100°C environ 2 à 3 heures, après refroidissement de la matière, on pèse à nouveau notre échantillon M_f .

Résultat :

$$\% \text{ d'humidité} = \frac{M_i - M_f}{M_i} \times 100$$



b. la perte au feu : PAF

Cette analyse Consiste à déterminer la perte en poids de la matière (quantité de gaz CO₂ dégagée).

- **Domaine d'application :**

Matière première, cru, clinker, ciment.

- **Mode opératoire :**

Peser dans un creusé taré (T.C tare du creusé) une masse de $1 \pm 0,05$ g (Mi) de l'échantillon

Puis on porte l'ensemble au four dont la température est de 1000°C pendant 20 min, on pèse l'ensemble (creusé + matière) après refroidissement à l'air libre et on note la masse finale Mf.

Résultats :

$$\% \text{ Perte au feu} = \frac{(T.C + M_i) - M_f}{M_i} \times 100$$

c. Analyses par rayon fluorescents (RX) :

Pour passer au spectromètre on doit préparer une pastille à analyser. Cette préparation consiste à broyer la matière pour l'amener à une granulométrie Ultime des différents grains et obtenir une pastille prête pour l'analyse.

- **Domaine d'application :**

Matière premières, les ajouts, cru, farine chaude, clinker, ciment.

- **Mode opératoire :**



Le principe de cette analyse consiste à surbroyer l'échantillon à analyser dans un surbroyeur pour avoir des granulats de dimension plus fins. Par la suite on met presque 15 g dans un pressoir hydraulique pour former une pastille, celle-ci est mise en contact avec un rayon X dans un analyseur par fluorescence.

On récupère la totalité du matériau broyé avec un pinceau et on le met dans la presse à pastille.

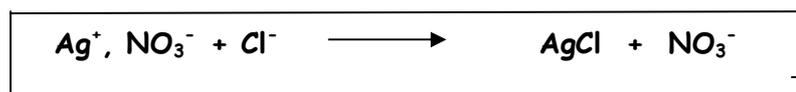
- **L'appareillage :**

L'analyse de la pastille se fait grâce à un spectromètre à rayons X : Cet appareil procède pour effectuer l'analyse chimique au bombardement à rayons X suivant le programme demandé correspondent à la matière traitée, le spectromètre donne la composition chimique de façon directe et brève à 2min environ du lancement de la pastille.

d. Dosage des chlorures :

Détermination de la teneur en chlorure (Cl^-) par un titreur.

Le principe de cet appareil repose sur le dosage potentiométrique. Le titrage se fait par une électrode d'argent et une solution de nitrate d'argent (Ag^+ , NO_3^-) servant à la précipitation des chlorures sous forme de chlorure d'argent selon la réaction suivante :



Ce titrage est programmé pour mesurer des teneurs en ion Cl^- de l'ordre de 100 à 1000 ppm.

- **Domaine d'application :**

Farine chaude, alimentation four, les matières premières, pouzzolane, gypse.

- **Mode opératoire :**

On pèse une masse d'environ 0,2g de la farine chaude et environ 2g pour l'alimentation four, on ajoute un peu d'eau distillée, 10 ml d' HNO_3 50 % et après on ajuste



avec de l'eau distillée jusqu'à 2/3 du volume du bécher. Après, on le place dans l'appareil titreur.

Le résultat est affiché automatiquement en ppm.

e. Dosage de fluorure F^- :

Ce dosage consiste à déterminer le taux de fluorure F^- dans l'échantillon.

- **Domaine d'application :**

Cru, la farine chaude, clinker, le ciment.

- **Mode opératoire :**

On met dans un creusé 0,5g de l'échantillon qu'on veut analyser à qui on ajoute 4g de NaOH et on porte l'ensemble au four dont la température est de 600°C pendant 3 min. on fait sortir le creusé et le chauffe à nouveau à l'aide d'un chalumeau et on le laisse refroidir à l'aire libre.

L'ensemble (creusé + matière) est transvasé dans un bécher contenant 100ml l'acide citrique préalablement chauffé, on continue le chauffage, la solution préparée est introduite dans une fiole de 250 ml puis ajustée jusqu'au trait de la jauge.

Puis dans un bécher on met 10 ml d'eau distillée plus 10 ml de la solution TISAB auxquels on ajoute 10 ml de notre solution préparée et on effectue une mesure avec un potentiomètre.

B- Essais physiques et mécaniques :

1. Analyse Granulométrie : utilisation du tamiseur à courant d'air :

La finesse du ciment est mesurée par tamisage sur des tamis normalisés.

Ainsi est déterminé le pourcentage du ciment dont les dimensions des grains sont supérieures aux dimensions de la maille spécifiée.



- **Domaine d'application :**

Cru, Combustible, ciment.

- **Mode opératoire :**

On pèse 10 grammes d'échantillon à analyser soit (m_1), et on dépose cette quantité pesée sur le tamis puis on met en place le couvercle et on déclenche la minuterie.

Pour éviter le collage du produit on tape le couvercle avec un marteau en plastique, après le déclenchement automatique de la minuterie on récupère les refus et on pèse la masse m_2 .

Résultats :

$$\% R1 = m_2 * 100 / m_1$$

Avec m_1 : poids initial (g)

m_2 : poids après tamisage (g)

Détermination de la résistance à compression et à flexion :

- **Principe :**

Les essais de flexion et de compression permettent de déterminer la contrainte de rupture à la traction par flexion et la contrainte de rupture à la compression des liants hydrauliques (ciment).

- **Préparation des moules :**

Cette opération consiste à préparer dans un récipient d'un malaxeur une pâte avec 450g de ciment, et 250g d'eau et 1350g de sable normalisée, puis on la verse dans des éprouvettes en acier de dimension 4cm × 4cm × 16cm placés sur une table à choc, ces dernières permettent d'évacuer les particules d'air de la pâte pour que le moule soit bien rempli.



Après remplissage, on les conserve à une température de 20°C pendant 24 heures.

Le démoulage s'effectue le lendemain en notant la référence, la date de la rupture et on les remet dans une armoire climatisée immergées dans l'eau pendant des différents âges, de 2 jours, 7 jours, et 28 jours.

- ***Rupture des moules par flexion et compression :***

Les éprouvettes doivent être sorties de l'eau 15 minutes avant l'essai, essuyées et pesées. Placer l'éprouvette dans la machine d'essai de flexion, faire exercer la traction par flexion jusqu'à rupture.

Chaque demie éprouvette est essayée en compression sur les surfaces latérales du moulage, sous une section de 4 × 4cm, entre deux plaques de métal dur.

La charge doit croître jusqu'à rupture à vitesse telle que l'accroissement de contrainte soit compris entre 1 et 2 MPa par seconde.

3- Essai de prise pour le ciment :

On mesure l'enfoncement d'une aiguille, fixé à la partie mobile de l'appareil de Vicat, dans une pate de ciment maintenue dans un moule tronconique, lorsque l'aiguille s'arrête à une distance $d = 4\text{mm} (+ \text{ou} - 1\text{mm})$ de la plaque de base plane, on dit il 'y a début de pris, et lorsque l'aiguille ne s'enfonce plus de 0,5mm par rapport au sommet du moule tronconique on a atteint le temps de prise.



Chapitre III

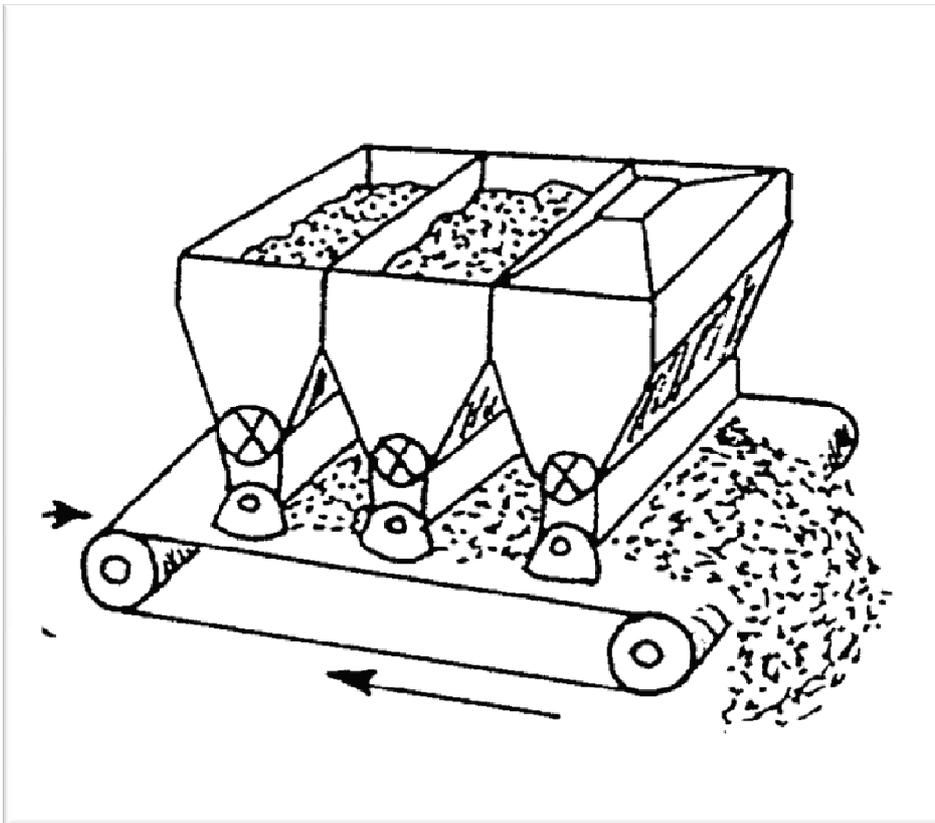
Contrôle des doseurs des matières ajoutées

GENERALITES :

1. Définition du doseur pondérale :

Un doseur pondéral est un système de pesage sur mesure, associé à une plate-forme de pesée et un capteur de vitesse. Le doseur contrôle le débit entrant/sortant d'un produit dans un processus. La régulation du débit de produit sur la bande s'effectue à l'aide d'un moteur d'entraînement à vitesse variable et d'une transmission adaptée.

Le doseur garantit ainsi un pesage de précision, et améliore la qualité de mélange des produits et la traçabilité du processus. Ils sont fréquemment utilisés avec des produits aussi divers que la chaux vive, le kaolin, le gypse, les charbons, les fruits et les légumes, les céréales.





Notre travail consiste à contrôler les doseurs des matières ajoutés ainsi que celui du clinker, pour voir si les résultats visés sont réalisés au produit fini le ciment.

Comment peut-on procéder à ce contrôle :

Dans cette partie on doit se baser sur les analyses chimiques des matières ajoutés (Gypse, pouzzolane, calcaire, cendres volantes), le clinker et le ciment produit réalisé à partir de ces matières. (Voir chapitre II Procédé de fabrication du ciment).

2.Préparation des matériaux :

Pour chaque essai on fait des prélèvements des échantillons de la bande roulante du doseur (Gypse, calcaire, cendres volantes, clinker).seul le prélèvement de la pouzzolane qui se fait à partir du stock.

Notre échantillon doit être représentatif de la matière, car la composition chimique peut varier d'un endroit à l'autre, Lorsqu'il n'est pas possible d'homogénéiser, il faut donc effectuer des prélèvements en plusieurs endroits.

On prélève des quantités importantes de chaque échantillon.

Au laboratoire on prélève juste la quantité nécessaire à l'essai qui sera représentatif à l'échantillon de départ.

3.Les analyses effectuées :

- L'humidité :

Pour tout les échantillons sauf le ciment

- La perte au feu :

Et

- Analyse par spectromètre de florescence X :

Pour tout les échantillons.



4. Résultats :

On collecte nos résultats sous forme d'un tableau dans le but de chercher les pourcentages par les doseurs :

	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	CaO %	MgO %	SO ₃ %	K ₂ O %	Na ₂ O %	PAF 500 %	PAF 1000 %
Clinker	20,49	5,41	2,99	66,41	1,32	1,44	0,62	0,18		0,39
Calcaire	5,43	1,94	1,09	50,04	0,51	0,05	0,27	0,01		40,14
Pouzzolane	44,22	12,18	14,59	10,98	8,06	0,02	1,66	1,62		5,34
Cendre	48,43	27,11	7,98	3,32	1,41	0,37	1,61	0,40		9,37
Gypse	9,43	2,53	1,49	29,93	2,36	34,50	0,31	0,02		18,50
Moyenne calculée	22,97	6,62	4,63	52,79	2,32	2,88	0,76	0,38		5,85
CPJ 45 analysé	23,16	6,63	3,73	57,64	2,35	2,93	0,70	0,42	2,44	5,89
Ecart calc / analysé	-0,19	-0,01	0,90	-4,85	-0,03	-0,05	0,06	-0,04		-0,04



	Cal	Pz	Gyp	CV	Clk	Totale
Consignes (%)	4,6	18,4	7,00	6,00	64,00	100
Consigne sur sec (%)	4,28	16,38	6,48	5,97	64,00	97,10
	4,41	16,87	6,67	6,15	65,91	100
Réalisé sur sec (%)	8,70	15,00	5,45	3,00	67,85	100

Ce tableau représente les résultats obtenus avec une moyenne calculée par les pourcentages préalablement déterminés.

Le deuxième tableau présente les pourcentages qu'on vise à réaliser ce sont les consignes, on les calcule sur sec :

$$\text{Consigne sur sec} = \text{consigne} - (\text{consigne} * \text{humidité} / 100)$$

On calcul ces consigne sur sec afin de les comparer avec les pourcentages réalisés sur sec.

5. Chercher les pourcentages réalisés :

On fait varier les pourcentages réalisés, tout en faisant des tentations afin d'avoir un écart, entre la moyenne calculée et notre ciment analysé, qui tend vers zéro, en tenant compte que :

○ Pour le calcaire :

Pour chercher le pourcentage réalisé par le doseur du calcaire on doit s'intéresser à la valeur de la perte au feu, car on remarque que la perte au feu du calcaire est la plus élevée par rapport aux autres ajouts, elle représente les 40%.



○ **Pour la pouzzolane et les cendres volantes :**

Ces deux éléments ont presque la même composition chimique, ils ont presque le même pourcentage de la silice SiO_2 . L'alumine, sous forme de Al_2O_3 , présente vers les 30% dans la composition chimique des cendres volantes et il est présent de 10 à 15% dans le cas de la pouzzolane. Donc pour chercher les pourcentages réalisés par les doseurs de la pouzzolane et des cendres volantes on doit diminuer l'écart calculé / analysé de la silice et l'alumine.

○ **Pour le Gypse :**

Pour avoir le pourcentage du gypse réalisé par le doseur il faut prendre en considération que SO_3 se représente surtout dans la composition chimique du gypse avec un pourcentage important par rapport aux autres ajouts. Donc c'est le pourcentage de SO_3 qui contrôle le pourcentage du gypse.

6. Expérimentation :

Durant ma période de stage, j'ai effectué 16 essais pour chaque composant du ciment; après calcul et traitement les résultats sont regroupés sur les tableaux ci -dessous:

Pour le clinker :

consigne sur sec	réalisé sur sec
65,90%	67,64%
65,91%	67,85%
65,91%	61,74%
65,91%	66,70%
61,74%	64,70%
59,63%	61,00%
77,55%	78,00%
60,65%	59,00%



60,86%	54,70%
66,09%	69,50%
63,32%	65,60%
64,69%	68,70%
57,65%	64,60%
61,60%	59,10%
62,52%	74,00%
61,07%	72,00%

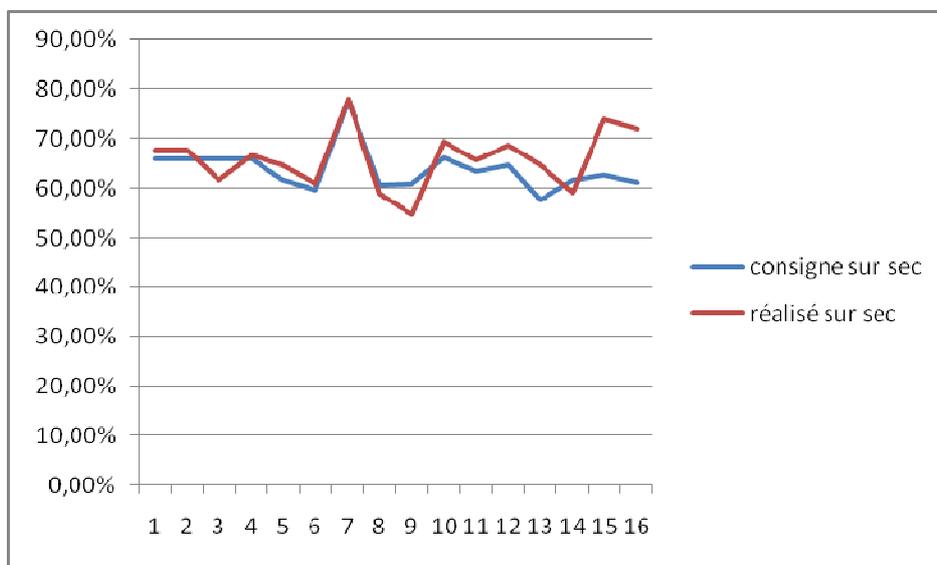


Figure 2: courbe représentative pour les résultats du clinker

D'après les résultats obtenus dans le graphe ci-dessus, on note que pour les six premiers jours les pourcentages visés ne correspondent pas à ce qui a été réalisé (courbe en rouge). Les trois jours suivant on a pu réaliser ce qu'on a visé. Mais après le neuvième jour on a rencontré le même problème, donc on doit de nouveau régler le doseur.

La différence entre les deux moyennes (consigne et réalisé) est de

$$M_c - M_r = 63,81 \% - 65,93\%$$

$$= - 2,12 \%$$

Pour le calcaire :

consigne sur sec	réalisé sur sec
4,42%	9,66%
4,41%	8,70%
4,41%	8,70%
4,41%	11,50%
5,33%	10,30%
5,47%	6,00%
3,80%	5,00%
5,38%	6,00%
5,57%	6,50%
6,65%	8,00%
4,48%	6,50%
5,06%	7,80%
5,39%	7,90%
5,27%	5,90%
5,11%	6,00%
5,31%	6,00%

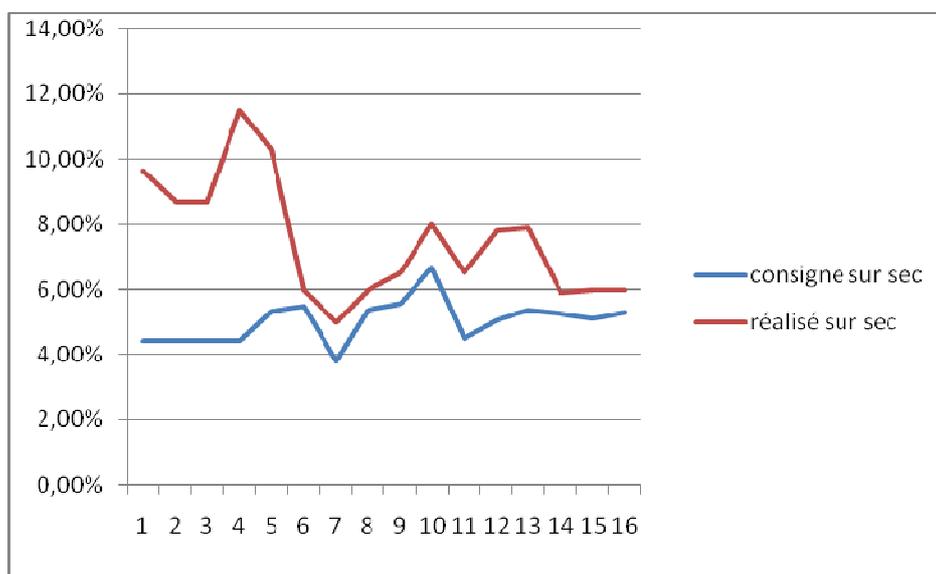


Figure 3 : courbe représentative pour les résultats du calcaire

Pour les résultats du calcaire on remarque une grande différence entre les pourcentages visés et ceux qui ont été réalisés, surtout pendant les cinq premiers essais. Dès le sixième jour on a pu diminuer l'écart entre les deux pourcentages.



La différence entre les deux moyennes (consigne et réalisé) est de :

$$M_c - M_r = 5,03 \% - 7,53\%$$

$$= - 2,5\%$$

Pour le gypse :

consigne sur sec	réalisé sur sec
6,00%	5,2%
6,50%	5,5%
6,70%	5,4%
6,67%	5,8%
5,80%	5,0%
7,81%	7,0%
6,79%	5,0%
8,99%	8,0%
7,51%	6,3%
6,79%	6,5%
8,05%	7,9%
8,14%	7,0%
9,80%	7,0%
6,83%	6,5%
8,31%	7,0%
8,81%	8,0%

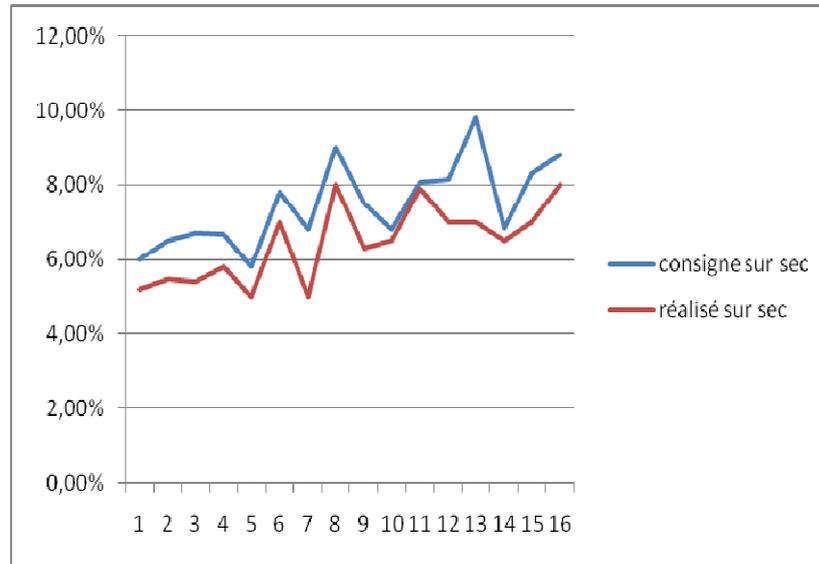


Figure 4: courbe représentative pour les résultats du gypse

L'allure de la courbe ci-dessus, nous permet de dire que l'écart entre les pourcentages réalisés par le doseur du gypse, et les pourcentages avisés est presque le même. Plus particulièrement du cinquième jusqu'au le dixième jour.

La différence entre les deux moyennes (consigne et réalisé) est de :

$$\begin{aligned} Mc - Mr &= 7,47\% - 6,44\% \\ &= 1,03\% \end{aligned}$$

Pour les cendres volantes et la pouzzolane :

On avait déjà signalé que ces deux éléments ont presque la même composition chimique, donc on vari l'un des deux pourcentages (pouzzolane ou cendres volantes). C'est pour cette raison qu'on fait la somme des deux pourcentages.

consigne sur sec	réalisé sur sec
23,01%	17,50%
23,01%	18,00%
23,01%	24,15%
23,01%	16,00%
26,26%	20,00%
27,09%	26,00%
11,87%	12,00%
24,98%	27,00%
26,07%	32,50%
20,47%	16,00%
24,14%	20,00%
21,85%	16,50%
26,96%	20,50%
26,31%	28,50%
24,06%	13,00%
24,81%	14,00%

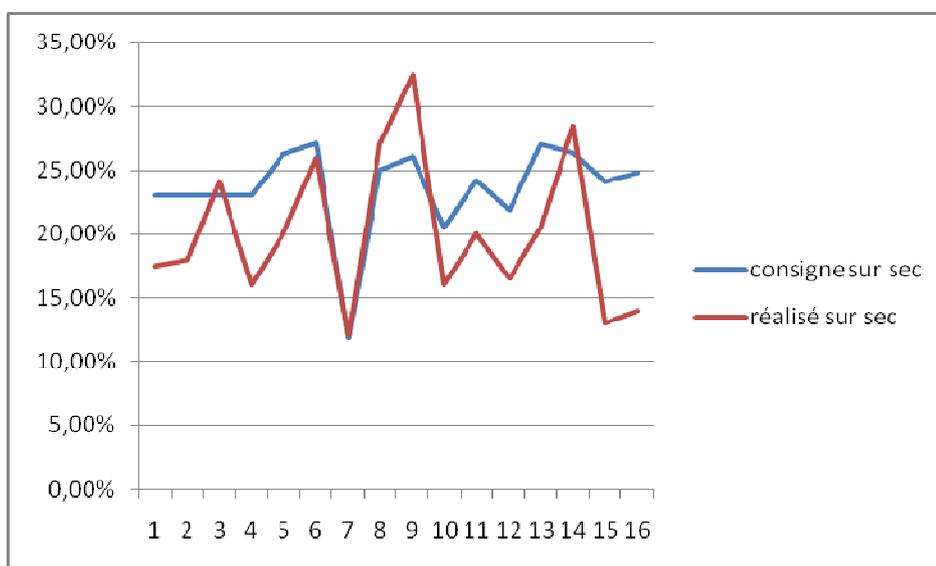


Figure 5: courbe représentative pour les résultats de la pouzzolane et des cendres volantes

Ce graphe montre que les doseurs de la pouzzolane et des cendres volante nécessitent un suivi permanent, pour qu'on puisse avoir des pourcentages réalisés correspondantes aux celles visés.



$$\begin{aligned} Mc - Mr &= 23,56\% - 20,1\% \\ &= 3,46\% \end{aligned}$$

7. Interprétation :

D'après les résultats présentés ci-dessus on constate que nos doseurs nécessitent un réglage de débit afin d'écarter cette différence entre les pourcentages visés et les pourcentages réalisés.

On peut résoudre ce problème par un contrôle continue des doseurs, ça demande beaucoup de temps, et plus d'essais et d'efficacité aux analyses et aux calculs ou bien par un étalonnage des doseurs.



Conclusion

Grâce à ce stage, j'ai pu mettre en application des notions que j'ai acquies durant ma formation, de les développer et aussi d'avoir de nouvelles connaissances dans le domaine contrôle de qualité, que j'ai essayé de mieux approcher, et de formaliser dans ce modeste rapport.

Le procédé de fabrication du ciment consiste à suivre le produit depuis la matière première jusqu'à l'expédition, ainsi que les machines de la carrière et les appareils des analyses au laboratoire.

Le personnel du laboratoire d'assurance qualité procède à des tests et des contrôles qui ne laissent aucun doute sur la qualité exceptionnelle du produit.

Cette étude nous a permis de mettre l'accent sur les doseurs des matières ajoutées, d'avoir une idée sur leur fonctionnement et leur contrôle.

Les résultats de ce bilan ont montré que les doseurs des matières ajoutés nécessitent un réglage permanent avec un suivi quotidien ou bien un étalonnage pour qu'on puisse écarter cette différence entre les résultats visés et les résultats réalisés.



Lexique

Expression	L'abréviation
- facteur de saturation en chaux	- FSC
- Module silicique	- MS
- Module alumino-ferrique	- MAF
- la perte au feu	- PAF



Références bibliographiques

- ❖ www.holcim.com
- ❖ www.febelcem.be
- ❖ www.google.ma
- ❖ rapport de stage de fin d'étude réalisé par
Souad MALIANI « évaluation des pouzzolanes
dans le ciment selon la procédure du groupe
HOLCIM