



UNIVERSITE SIDI MOHAMED BEN ABDELLAH
FACULTE DES SCIENCES ET TECHNIQUES
Département de chimie



Licence Es-Sciences et Techniques (LST)

TECHNIQUES D'ANALYSE ET CONTROLE DE QUALITE (TACQ)

PROJET DE FIN D'ETUDES

Etude du comportement du clinker dans le béton

Présenté par :

- ◆ SMIR Réda

Encadré par :

- ◆ Pr. MISBAHI Khalid (FST – Fès)
- ◆ Pr. AYADI Abdelaziz (Société)

Soutenu Le 09 Juin 2016 devant le jury composé de :

- Pr. MISBAHI Khalid
- Pr. RODI KANDRI Youssef
- Pr. BOUAYAD Abdeslam

Stage effectué à HOLCIM Fès

Année Universitaire 2015 / 2016

FACULTE DES SCIENCES ET TECHNIQUES FES

☒ B.P. 2202 – Route d'Imouzzer – FES

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

Site web: <http://www.fst-usmba.ac.ma>



DEDICACE :

Que ce travail présente nos respects :

A nos parents :

Grâce à vos tendres encouragements et vos grands sacrifices, vous avez pu Créer le climat affectueux propice à la poursuite de nos études. Aucune dédicace ne saurait exprimer mes respects, mes considérations et mes profonds sentiments pour vous. Je prie Dieu de vous bénir, de veiller sur vous, et j'espère que vous serez toujours fiers de moi.

A mes frères et mes sœurs, ainsi qu'à mes collègues

Je vous dédie ce travail en vous souhaitant un avenir plein de réussite et de bonheur.

A mes ami(e)s

Trouvez ici le témoignage d'une fidélité et amitié infinies.

A mes chers professeurs

Votre générosité et votre soutien nous oblige à vous prendre en considération sur ce dédicace.

A tous ceux qui me sont très chères

Tous ceux qui m'ont soutenu moralement pour réaliser ce projet.



REMERCIEMENTS :

Avant toute chose, mes souhaits les plus chers seront de remercier vivement toutes les personnes, qui, de près ou de loin, se sont impliquées dans la réalisation de ce rapport, tant par leur soutien opérationnel, que professionnel.

Je remercie tout d'abord mon encadrant pédagogique de stage, Monsieur le Professeur MISBAHI Khalid qui, en tant que Professeur, a bien voulu accepter de suivre mon travail, me diriger, afin que je puisse mener ce projet à terme.

Je tiens à exprimer toute ma gratitude et mes remerciements aux membres du jury qui ont bien voulu m'honorer de leur présence.

_ Mr. KANDRI RODI Youssef

_ Mr. BOUAYAD Abdeslam

J'adresse ma profonde reconnaissance à Monsieur El AYADI Abdelaziz, qui m'a chaleureusement Accueilli au sein de son service, et pour le temps qu'il a bien voulu me consacrer afin d'apporter des réponses à toutes mes questions tant opérationnelles, que d'ordre plus général, et dont le savoir pratique m'a permis d'approfondir et d'enrichir mes connaissances du fonctionnement de l'entreprise. J'exprime également mes remerciements à toute l'équipe du laboratoire HOLCIM.

Enfin, Je remercie très chaleureusement ma famille et mes amis, qui ont su me supporter, m'épauler, me remonter le moral, avec une patience infinie, pendant ces années d'études.



Sommaire :

INTRODUCTION	1
PARTIE I	
I HISTORIQUE DU CIMENT.....	4
II PRESENTATION DU GROUPE HOLCIM.....	4
1.1 HISTORIQUE	4
1.2 ORGANIGAMME.....	6
2.1 OBJECTIF.....	8
2.2 SITUATION GEOGRAPHIQUE.....	8
2.3 CHOIX DE SITE.....	9
3 PRINCIPALE VOIE DE FABRICATION.....	9
4 DESCRIPTION DU PROCEDE UTILISEE PAR HOLCIM	10
5 PRODUIT COMMERCIALISE.....	13
6 LE CONTRÔLE DE QUALITE DES PRODUITS CIMENTIERS.....	13
7 APERCU SUR LES ANALYSES DU LABORATOIRE CONTRÔLE DE QUALITE.....	14
III CARACTERISTIQUE DU CIMENT ET SES CONSTITUANTS	17
1 DEFINITION DU CIMENT	17
2-CONSTITUANT DE CIMENT	17
2DIFFERENT TYPE DE CIMENT	17
PARTIE II	
I BETON ET SES CONSTITUANT.....	20



1 CLASSIFICATION DU BETON.....	20
2 CONSTITUANT DU BETON	21
II CÔNE HOLCIM.....	23
☒MODE OPERATOIRE DE L'UTILISATION DE CÔNE HOLCIM.....	25
☒PROBLEMATIQUE.....	25
☒TRAVAIL.....	25
☒RESULTAT.....	26
☒INTERPRETATION.....	28
☒CONCLUSION.....	28
CONCLUSION GENERALE.....	30

Liste des tableaux :

TABLEAU 1 : composition des différents ciments fabriquée par HOLCIM FES	18
TABLEAU 2 : Principales caractéristiques et domaines d'utilisation de chaque ciment	18
TABLEAU 3 : Quantité de matière pour préparer le ciment	25
TABLEAU 4 : Résultat de DRX pour le gypse, calcaire, clinker (bonne et mauvaise qualité) et ciment CPJ55.....	26
TABLEAU 5 : Slump des différentes qualités du ciment	27

Liste des figures :

Figure 1 : Four à moufle.....	14
Figure 2 : Spectromètre à fluorescence X.....	15
Figure 3 : Tamiseur.....	15
Figure 4 : Titreur des ions chlorure	15
Figure 5 : L'aiguille de Vicat.....	16
Figure 6 : Presse de flexion et compression.....	16
Figure 7 : Moule de béton.....	16
Figure 8 : Ionomètre / pH mètre.....	16
Figure 9 : Constituant du béton	20
Figure 10 : Malaxeur	24
Figure 11 : Cône HOLCIM.....	24
Figure 12 : Portique de mesure	24



INTRODUCTION :



L'industrie marocaine du ciment a constamment répondu au développement quantitatif des besoins et à l'évolution qualitative du marché grâce à la modernité de ses centres de production et par l'ouverture de son capital à l'investissement privé national et étranger.

Le Secteur Marocain compte quatre grandes entreprises qui exploitent un total de 11 usines pouvant produire annuellement plus de 10 Millions de tonnes. Le Groupe HOLCIM (Maroc) est un leader dans ce secteur.

Le principale constituant du ciment reste le clinker et de sa qualité dépend étroitement celle du ciment en entier. A la société HOLCIM, il arrive parfois que le clinker soit incuit après sa sortie du four, ce qui est nuisible pour la qualité du ciment et du béton dans lequel il est impliqué. La société procède dans ce cas au rejet du clinker incuit et ceci constitue une partie significative

Par ailleurs, le ciment trouve une utilisation dans plusieurs secteurs, mais sa principale application reste son implication dans la conception du béton.

Vu l'importance du béton, matériau de construction le plus utilisé dans le monde, notre sujet sera basé sur l'étude de ce dernier et de ses constituants en premier lieu, ceci va nous orienter bien évidemment vers l'application du **cône HOLCIM**, pour constituer sur le comportement du ciment dans le béton. Et par la même occasion réaliser une base de données pour anticiper et prévoir quelques paramètres qui caractérisent le béton (mesure du slump).

Cette étude va aussi nous rapprocher de la perfection pour une meilleur satisfaction du client, le fait de prévoir des paramètres sans attendre la livraison du ciment à la centrale de béton (où la production du béton, et son contrôle sont réalisés), va permettre à la société de contrôler les résultats de la centrale et être plus précis au niveau des point de vu d mesures car on peut anticiper la résistance et le slump de béton.



En conséquence, notre mémoire sera conçu comme suit :

Après une introduction générale, une présentation de l'organisme accueillant (HOLCIM) sera élucidée (secteur d'activité, organigramme etc...) Ensuite nous mettrons le point dans une première partie sur le procédé de fabrication du ciment. Dans la deuxième partie nous montreront l'implication du ciment dans le béton, puis nous expliqueront comment on a essayé de résoudre le problème du clinker incuit en étudiant son incorporation dans le béton.

Une conclusion générale viendra par la suite clore le mémoire.



Partie 1:

Présentation générale

I- Histoire du ciment :

Au début du XIXe siècle, Louis Vicat (186- 1876), jeune ingénieur des ponts et des chaussées de 22ans mène des travaux autour des phénomènes d'hydraulicité du mélange « chaux – cendres volcaniques » ce liant, déjà connu des Romains, restait jusqu'alors le seul matériau connu capable de faire prise au contact de l'eau.

Louis Vicat fut le premier à déterminer de manière précise les proportions de calcaire et de silice nécessaires à l'obtention du mélange, qui après cuisson à une température donnée et broyage, donne naissance à un liant hydraulique industrialisable : le ciment artificiel.

En Europe, l'utilisation du ciment et du béton (un mélange de ciment, de granulats, de sable et d'eau) dans les grands travaux de génie civil remonte à l'antiquité. Le ciment Portland, le plus utilisé dans la construction en béton, a été breveté en 1824 du fait de sa similitude d'aspect et de dureté avec la roche du jurassique supérieur que l'on trouve dans la région de Portland dans le sud de l'Angleterre.

En France, la première usine de ciment a été créée en 1846 à Boulogne -sur- mer, bien que les premiers ciments aient été fabriqués du ciment à Pouilly en Bourgogne. Lafarge a fabriqué le ciment à partir de 1868, sur son site du Teil dans l'Ardèche, dont il exploite depuis 1833 le gisement de pierre calcaire pour produire de la chaux. Mais, le véritable essor de l'industrie du ciment coïncide avec le développement des nouveaux matériels de fabrication : four rotatif et broyeur à boulet en tête. Ainsi en 1870, il fallait près de 40 heures pour produire une tonne de Clinker contre environ 3 minutes de nos jours.

II- Présentation du groupe HOLCIM :

1- Présentation du groupe HOLCIM-Maroc :

Le secteur marocain contient quatre grandes entreprises qui exploitent un total de dix usines pouvant produire annuellement 10 millions de tonnes, le groupe HOLCIM est l'un des participants dans cette production.

HOLCIM MAROC filiale du groupe suisse Holderbank, un groupe cimentier présent dans différentes régions du monde, dispose d'une capacité de production de 2 millions de tonnes/an au Maroc.

1.1- Historique :



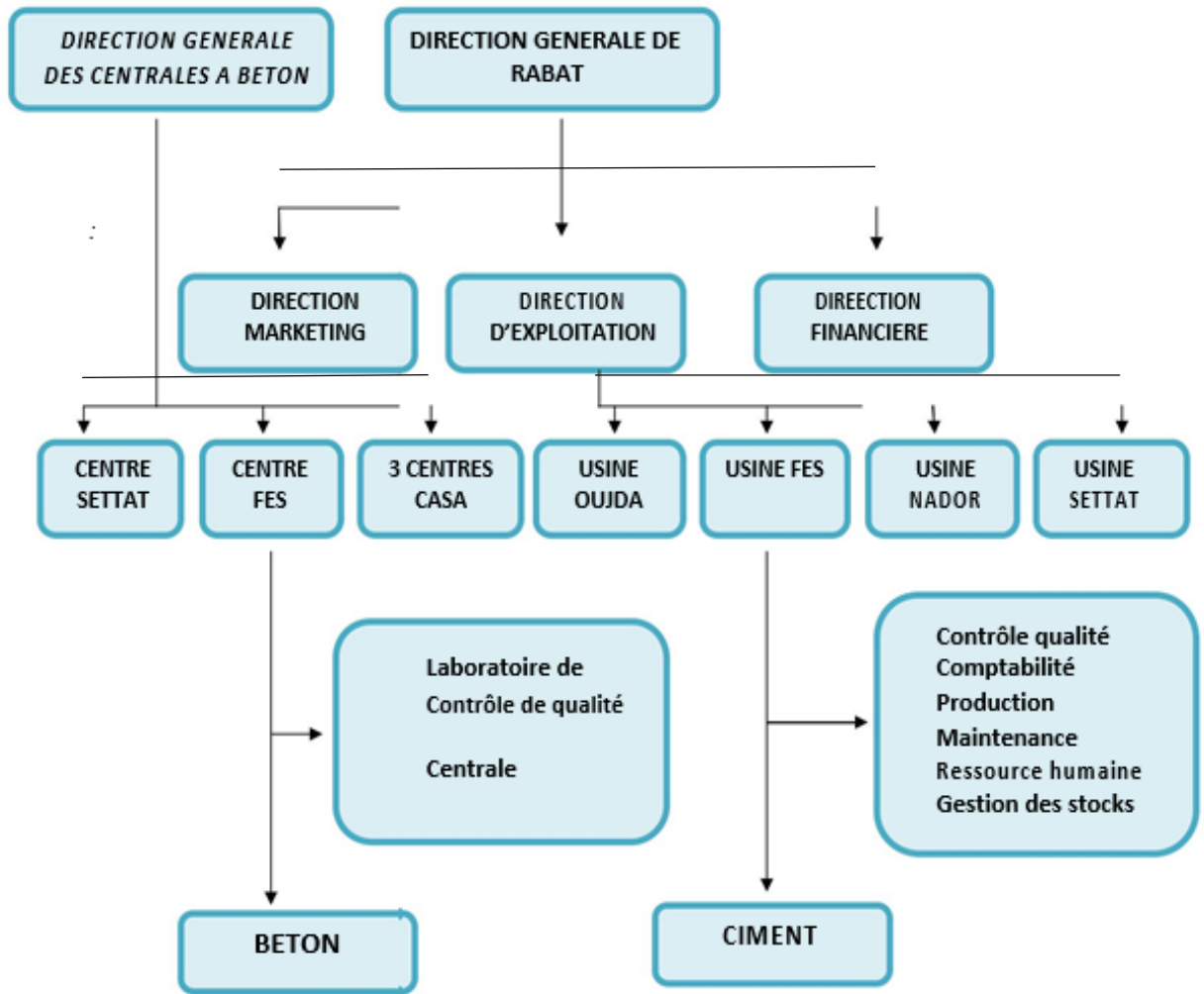


- 1972.** Les gouvernements marocain et algérien décident de construire une cimenterie à Oujda, sous le nom de la Cimenterie Maghrébine (CIMA). Son capital social est de 75 millions de dirhams, réparti à égalité entre l'Office pour le Développement Industriel (ODI) et la SNMC (société nationale marocaine), 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 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 Fès et lancement de l'activité béton prêt à l'emploi) **BPE** avec l'installation d'une première centrale à béton à Fès.
- 1993.** Démarrage de l'unité de Fès portant la capacité de production globale à 1,9 million de tonnes par an et prise de contrôle majoritaire du capital de la CIOR par HOLCIM dans le cadre du programme de privatisation.



- 1997.** Installation d'une centrale à béton à Rabat et d'une autre à Casablanca.
- 1999.** Construction d'une seconde centrale à béton à Casablanca et mise en service d'un centre de broyage et d'ensachage à Nador.
Mise en service des installations de valorisation de combustibles de substitution à l'usine de Fès Ras El Ma, d'une troisième centrale à béton à Casablanca et d'une autre à Nador.
- 2001.** Certification ISO 9 001 et ISO 14 001 de la cimenterie de Fès
- 2002.** Changement de l'identité visuelle : **CIOR** devient **HOLCIM Maroc** et démarrage de la nouvelle activité granulats (Ben Slimane)
Début des investissements relatifs à la rationalisation du dispositif industriel de Fès.
Certification ISO 9 001 et ISO 14 001 de la cimenterie d'Oujda.
- 2004.** Extension de la cimenterie de Fès.
- 2005.** Démarrage du centre d'ensachage et de distribution de Settât.
- 2006.** Extension du centre de Nador.
- 2007.** Démarrage de la cimenterie de Settât et de la plateforme de prétraitement de déchet Ecoval.
- 2008.** Lancement du projet de doublement de capacité de production de l'usine de Fès. Certification ISO 9 001 et ISO 14 001 du centre de Nador.
- 2010.** L'Édition du projet d'extension de l'usine Ras El Ma pour augmenter la capacité de production à environ 50 %.

1.2- Organigramme :



2- Présentation du groupe HOLCIM Fès :

HOLCIM Fès appartient à un groupe cimentier, il dispose d'une capacité annuelle de broyage ciment de 1 millions tonnes et il utilise le procédé de fabrication à voie sèche intégrale (certifié ISO 1400 1 et ISO 9001).

La cimenterie de Ras El Ma travaille dans le plus strict respect des exigences environnementales, notamment par la mise en place :

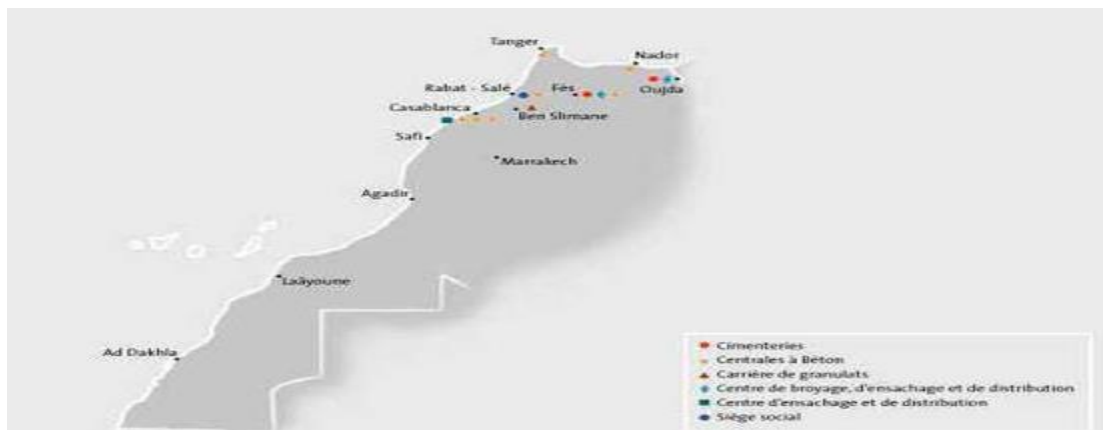
- Des systèmes de dépoussiérage performants
- D'un réseau d'assainissement moderne
- D'un dispositif renforcé de prévention et de lutte contre les incendies.

2.1- Objectifs :

Orientée vers une écoute active des clients et fondant sa politique sur une approche de développement durable, HOLCIM a pour objectifs de :

- Satisfaire le marché régional en ciment
- Optimiser les coûts de produits et de distribution
- Mieux maîtriser l'impact du procédé sur l'environnement
- Améliorer la satisfaction des clients en termes de temps d'attente ainsi que de logistique
- Assurer la production d'un produit conforme à la norme marocaine en vigueur.

2.2- Situation géographique :





La cimenterie de Ras El Ma est située à 25 Km au Sud de la ville de Fès à proximité de l'autoroute FES – CASABLANCA

2.3- choix de site :

Le site n'était pas choisi au hasard mais en tenant compte de plusieurs raisons :

- La disponibilité de la matière première en quantité et en qualité (l'usine a été implantée à proximité d'une carrière calcaire de 230 hectares disposant d'une réserve d'exploitation estimée à 100 ans).
- La possibilité d'alimentation en eau (deux forages ont été réalisés à côté de l'usine).
- La possibilité d'alimentation en énergie (l'électrifié est alimentée par l'ONEP).
- La qualité des terrains de point de vue fondation et écoulement de la production et l'approvisionnement de la cimenterie.

3- Les principales voies de fabrication :

Il existe quatre méthodes de fabrication du ciment qui dépendent essentiellement des matériaux et qui diffèrent par la nature du traitement thermique utilisé pour la préparation du mélange cru :

Par voie humide (la plus ancienne) :

Le cru qui constitue l'ensemble des matières premières est broyé et malaxé en présence d'eau pour former une pâte liquide avant cuisson, cette méthode est abandonnée pour des raisons d'économie d'énergie

Par voie semi humide (dérivée de la voie humide) :

Le mélange est en partie débarrassé de son eau avant cuisson, cette méthode est abandonnée pour les mêmes raisons que la précédente voie.

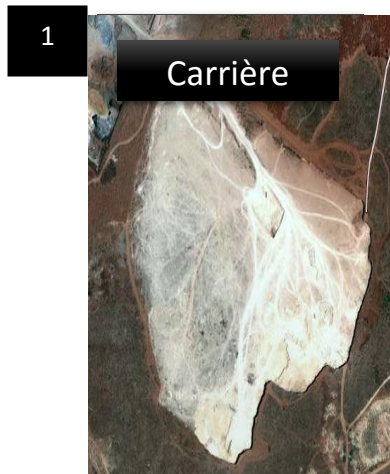
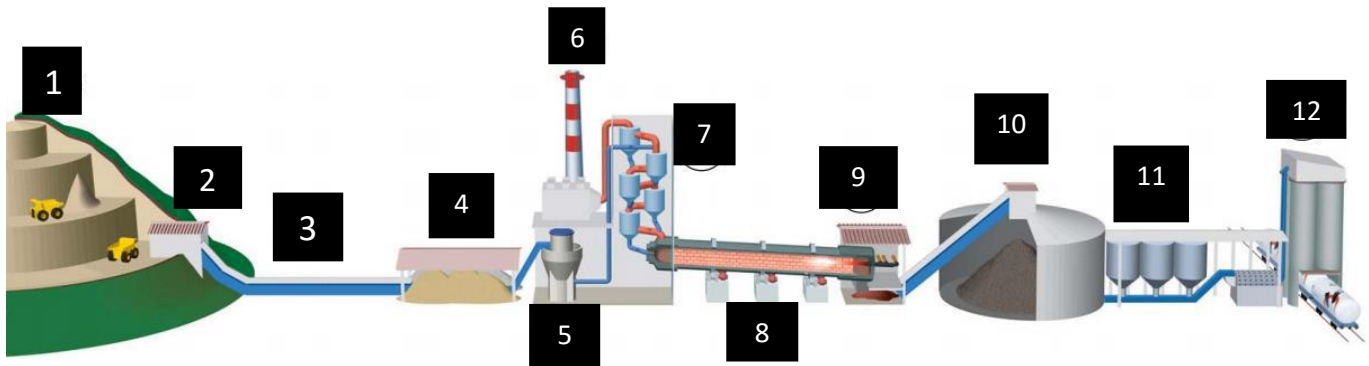
Par voie sèche (la plus utilisée) :

Le cru est éventuellement séché puis broyés finement et envoyé dans le four sous forme pulvérulente, **cette méthode est la plus utilisée** car elle est la plus économique en énergie.

Par voie semi sèche (dérivée de la voie sèche) :

Le cru est aggloméré en boulettes avant cuisson.

4- Description du procédé utilisé par HOLCIM Fès :

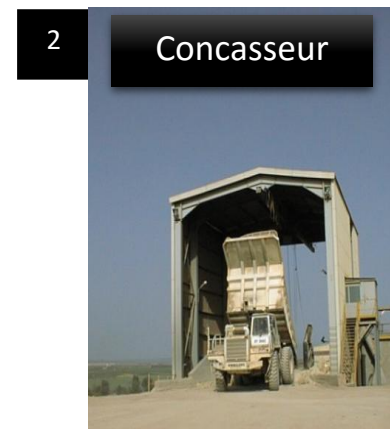


1
Carrière

Dans l'industrie du ciment, l'implantation des usines n'est pas due au hasard mais répond à des contraintes économiques.

En effet, une cimenterie doit être implantée auprès des carrières de calcaires qui représentent la matière première principale dans la préparation du ciment afin de réduire les coûts de production.

Les matières premières sont extraites de deux carrières : l'une, située à proximité de l'atelier de concassage, donne du **calcaire** (matière riche en chaux) ; l'autre, située à la région de Fès (Bhalil), donne le **schiste**. Le reste des matières premières est soit pris depuis des sources de la région soit importé depuis l'étranger selon le besoin.



2
Concasseur

Les matières premières (calcaire, argile, schistes, minerai de fer et gypse) sont concassées dans un concasseur birotor à marteaux. En effet, la matière amenée par une bande navette doit passer entre deux rotors solidaires, tournant en sens inverse où les marteaux sont accrochés et percutent les blocs. La finesse en sortie du concasseur est caractérisée par un refus inférieur à 5% sur le tamis de 80mm. Par ailleurs, une partie du calcaire concassé est expédié au centre de broyage et d'ensachage pour servir d'ajout au clinker et participe ainsi à la seconde unité de production.



3
Transport

Les matières concassées sont transportées jusqu'à l'usine, le plus souvent par bande transporteuse.

4 Pro-homogénéisation

Après concassage de la matière première, on mélange de façon aussi homogène que possible, les différents composants.

5 Broyeur à crû



Les matières préparées par le concassage et la pré homogénéisation doivent être maintenues réduites à la finesse requise pour la cuisson. Le broyeur est constitué de deux paires de galets à suspension flottante. Ces paires de galets sont entraînées par un plateau de broyage. Sous l'effet de la force centrifuge, la matière passe sous les galets, alors que les particules trop lourdes retombent sous le plateau de broyage dans un élévateur à godets qui les recycle dans le broyeur, les fines entraînées par le flux de gaz, sont dirigées vers le séparateur monté sur le broyeur.

6 Dépoussiérage



Une fois la matière broyée, les particules fines sont entraînées par le flux gazeux. Pour cela, on dispose avant la disparition des gaz, des filtres à manches, ils retiennent les poussières émises par les broyeurs ou contenues dans les gaz de combustion. Cette opération de dépoussiérage s'effectue avec un rendement de 99.8%.

7 Préchauffage



Avant d'introduire la matière crue dans le four, elle passe par une tour de préchauffage aussi appelée « tour Dopol » composée de 5 cyclones disposés verticalement et d'un ventilateur situé à sa partie basse qui sert à propulser les gaz chauds du four vers les cyclones. La matière crue remonte par des élévateurs jusqu'à la partie supérieure puis elle descend et en même temps elle se réchauffe lors de son contact avec les gaz chauds.

Ces cyclones servent à déshydrater, chauffer, décarbonater partiellement la matière mais aussi à récupérer la poussière contenue dans les gaz.

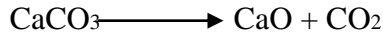
8 Cuisson



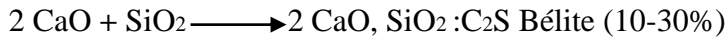
La farine provenant de la tour de préchauffage déjà décarbonatée à 60% environ, poursuit son parcours dans le four rotatif, ce dernier est de forme cylindrique de 3,6m de diamètre, de 62,5m de longueur, avec une pente d'inclinaison de 3% et une vitesse de rotation pouvant atteindre 2,5 tr/mn.

Dans le four on distingue trois phases :

Phase de décarbonatation : Dissociation de CaCO_3 (400-500°C)



Phase transitoire ou phase liquide Caractérisée par la formation des combinaisons provisoires (900-1300°C)



1250-1300°C : Apparition de la phase liquide.

Phase de clinkerisation : transformation de C_2S en C_3S (1300 à 1450 °C)

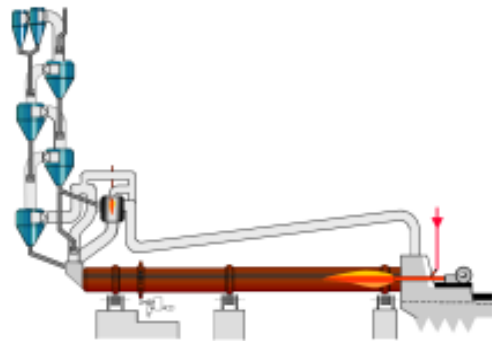


Le combustible utilisé est le coke de pétrole en marche normale et le gazoil au moment de chauffage (parfois, le charbon, les grignons d'olives ou les pneus).

En effet, la température de la zone de cuisson est de l'ordre de 1450°C, ce qui permet la combinaison des silicates bicalciques (CaO)₂

SiO_2 (**Bélite**) avec la chaux libre pour donner les cristaux de silicates tricalciques (CaO)₃ SiO_2

(**Alite**) qui grossissent, granulent, et forment ainsi du **clinker** qui se présente sous forme de grains gris foncés arrondis dont les dimensions sont irrégulières.



La chaleur nécessaire pour la réalisation de ces réactions est assurée par la combustion du coke de pétrole et des pneus déchiquetés, la rotation et l'inclinaison du four permettant la progression de la matière de l'entrée à la sortie.

9 Refroidissement



Le clinker à la sortie du four rotatif a une température comprise entre 1200 et 1400 °C. Il doit subir un traitement thermique sous la forme d'une trempe à l'air pour des raisons de facilité de transport, de stockage, de récupération d'énergie et de qualité.

Le refroidissement du clinker se fait à l'aide de quatre ventilateurs latéraux, dans un refroidisseur à deux grilles CPAG équipé d'un concasseur à marteaux.

10 Silo à clinker

Le stockage du clinker se fait dans un silo métallique de 5000 tonnes, équipé de trois casques d'extraction et d'un transporteur à godets et à chaînes.

11 Broyage à ciment

Après refroidissement, le clinker se présente sous forme de nodule gris foncé d'environ 2 cm de diamètre. Pour la fabrication du ciment, le clinker est broyé dans un broyeur horizontal à boulets d'un débit de 25 t/h équipé d'un séparateur dynamique, et dans un broyeur vertical avec un débit de 115t/h.

Selon la qualité de ciment souhaitée et en conformité avec les normes marocaines on peut ajouter dans des proportions bien définies des matières d'addition telles que le **gypse** qui est un régulateur de prise, le **calcaire**, la **pouzzolane**, et les **cendres volantes**.

Le ciment produit est acheminé au moyen des élévateurs à bandes et à godets puis stocké dans des silos en béton. Ces silos alimentent par la suite le système d'expédition du ciment en vrac et les ateliers d'ensachage.

12 Logistique

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 dans des véhicules dotés de citernes.

Il comporte trois ensacheuses rotatives : une de capacité 90t/h et deux de capacité 120t/h.

5- Produits commercialisés :

La société commercialise un produit semi-fini (clinker) et une gamme de ciment adaptée :

CPA 55 : ciment portland sans ajouts. Il durcit en contact avec l'eau, c'est d'ailleurs ce type qui fût utilisé lors de la construction de la mosquée HASSAN II au bord de la mer.

CPJ 45 : c'est du ciment supportant 45 MPA. Il est utilisé dans les grands travaux de masse et le béton armé.

CPJ 35 : c'est un ciment portland composé dont les principaux constituants sont le clinker du filler et du gypse. Il est utilisable dans le domaine routier pour la stabilisation des sols et des couches de chaussées.

6- Le contrôle qualité des produits cimentiers :

Le laboratoire a pour but le contrôle de qualité des échantillons prélevés de façon régulière tout au long du procédé de la fabrication depuis les matières premières jusqu'au produit fini, afin de connaître leur teneur en différents composés et de pouvoir ainsi les doser.

Les différentes analyses réalisées au laboratoire sont comme suivies :

- Un contrôle du cru sorti broyeur chaque heure.
- Un contrôle de clinker chaque 2 heures.
- Un contrôle de ciment chaque 2 heures.
- Un contrôle de la farine chaude 3 fois/jour.
- Un contrôle de combustible 3 fois /jour.
- Un contrôle des matières premières 1 fois/semaine.

Les résultats de ces contrôles sont utilisés pour la correction des consignes des doseurs qui sont rectifiées automatiquement depuis la salle de contrôle.

7- Aperçu sur les analyses du laboratoire contrôle de qualité :

7.1. La perte au feu :

Cette expérience nous permet de déterminer la teneur en H₂O et CO₂ présent dans la farine traitée et qui était évacué pendant un traitement thermique dans un four à moufle pendant 20 min.

$$\text{P.A.F (\%)} = \frac{(m_1 + m_2 - m_3)}{m_2} * 100$$

m₁ : masse du creuset en (g)

m₂ : prise d'essai en (g)

m₃ : poids du creuset + prise d'essai après calcination en (g)



Figure1 : four à moufle

7.2- Analyse par fluorescence X :

La spectrométrie de fluorescence X (FX ou XRF pour X-ray fluorescence) est une technique d'analyse élémentaire qui permet de :

Qualifier les éléments chimiques présents dans un échantillon. Après cette étape nous pouvons connaître les éléments constituant l'échantillon (ex. : Carbone, Fer, Chrome ...)

Quantifier les éléments présents (ex. : Carbone 0.02%, Fer 72.98%, Chrome 18% ...).

Le principe de l'analyse est le suivant : nous excitons l'échantillon avec un rayonnement standard (solicitation avec un tube à rayon X) et nous analysons le rayonnement propre réémis par l'échantillon.



Figure 2 : Spectromètre de fluorescence X

7.3- La finesse :

Son objectif est de déterminer la granulométrie des échantillons. A l'aide d'un courant d'air, on crée une différence de pression entre les 2 niveaux du tamis. Les grains qui passent à travers le tamis sont entraînés par le courant d'air et les grains dont les dimensions sont supérieures aux mailles du tamis constituent donc les refus.

$$\text{Expression du résultat : } R(\%) = \frac{m_2}{m_1} * 100$$

Avec - m_1 : poids pesé avant tamisage en (g)

- m_2 : poids pesé après tamisage en (g)



Figure 3: Tamiseur

L'analyse de la finesse nous permet de contrôler le bon fonctionnement des broyeurs.

7.4- Détermination de la teneur en chlorure :

Le principe repose sur le dosage potentiométrique. Le titrage se fait par une électrode d'argent et une solution d' AgNO_3 servant à précipiter les ions chlorures présents dans l'échantillon analysé sous forme d' AgCl selon la réaction suivante :



Figure 4 : Titreur des ions chlorure

En générale cette analyse se fait dans le laboratoire pour ne pas avoir un bouchage au niveau des cyclones.

7.5- La prise

Cet essai a pour but de déterminer le temps de prise pour un ciment, c'est-à-dire la durée qui s'écoule entre l'instant où le liant (ciment) est mis en contact avec l'eau de gâchage et le début de prise. Cet essai se fait à l'aide de l'aiguille de Vicat. En enfonçant cette aiguille dans un moule tronconique rempli de pâte pure, on mesure ce temps et on le compare aux temps standards.



Figure5 : L'aiguille de VICAT

7.6- Essais de flexion et de compression

L'essai de rupture par flexion permet de déterminer la contrainte de traction par flexion. La rupture est effectuée à l'aide d'un appareil appelé presse, muni d'un dispositif qui casse les moules en détectant la force qu'ils ont supportés en Méga Pascal (MPa).

Pour les deux cas il faut d'abord préparer des moules de bétons. Ces moules vont subir des périodes différentes (2 jours, 7 jours, 28 jours) dans une humidité constante de 95%.



Figure6 : Presse de flexion et compression



Figure7 : Moule de béton

7.7- Détermination de la teneur en fluorine (CaF₂)

Pour déterminer la teneur en fluorine dans un échantillon (cru, ciment et clinker), on utilise un potentiomètre, après la solubilisation de l'échantillon.



Figure8 : Ionomètre / pH metre



III- Les caractéristiques du ciment et de ses constituants :

1- Définitions du ciment :

Le ciment (du latin caementum, signifiant pierre non taillée) est une matière pulvérulente formant avec l'eau ou avec une solution saline une pâte plastique liante, capable d'agglomérer, en durcissant, des substances variées. Il désigne également, dans un sens plus large, tout matériau interposé entre deux corps durs pour les lier

Après durcissement, cette pâte conserve sa résistance et sa stabilité, même sous l'eau. Son emploi le plus fréquent est sous forme de poudre utilisée avec de l'eau pour agréger du sable fin et des graviers (granulats) pour donner le béton.

Un ciment artificiel est un produit provenant de la cuisson de mélanges artificiels (de la main de l'homme) de silice, d'alumine, de carbonate de chaux, sur lesquels l'eau n'a aucune action (ou qu'une action très lente avant la trituration) et qui, réduits en poudre mécaniquement, font prise sous l'action de l'eau en des temps variables suivant leur qualité.

2- Constituants du ciment :

2.1- Extraction des matières première :

Les matières premières principales sont extraites dans des carrières situées à proximité de la cimenterie afin de réduire les coûts de transport.

La carrière de calcaire :

Le calcaire est utilisé dans le cru comme matière première principale à un taux moyen de 69%. Cette carrière est située à proximité de l'atelier de concassage de l'usine, son exploitation est sous-traitée depuis le 15 février 1999 et elle se fait par abattage à l'explosif sous forme de deux gradins.

La carrière d'argile :

L'argile est utilisée dans le cru comme matière première secondaire à un taux moyen de 22%. La carrière d'argile se situe à 7 km de l'usine, son exploitation est sous-traitée depuis 1981.

La carrière de schiste :

C'est une matière principale utilisée à raison de 9% environ. Sa carrière se situe à 45km environ du site de l'usine (région de BHALIL)

La carrière du minerai de fer

C'est une matière de correction riche en oxyde de fer disponible dans la région d'Elhajeb.

Ces 12 derniers mois HOLCIM a ajouté une nouvelle matière, il s'agit de la fluorine c'est une matière importante qui sert à baisser la température de cuisson et permet de donner une résistance au cru.

3- Différents types de ciment :

Il existe deux types de ciments fabriqués par HOLCIM :

Le ciment Portland Artificiel (CPA)

Le CPA est constitué au minimum de 95% de Clinker et de 5% de gypse.

Le ciment Portland (CPJ)

Le CPJ résulte du mélange de 70 à 80% du clinker, de 7% de gypse et de 13 à 23% d'autres additifs tels que les cendres volantes, la pouzzolane et le calcaire.

Deux types de ciment CPJ sont fabriqués par HOLCIM :

- Le CPJ 35 utilisé dans les travaux de maçonnerie
- Le CPJ 45 et CPJ 55 et CPA55 utilisés pour la fabrication du béton destiné aux travaux de routes, ainsi que les bétons manufacturés.

Ainsi les tableaux suivants résument la composition de ces différents ciments

Type de ciment	Composition Chimique (en %)				
	Clinker	Gypse	Calcaire	Pouzzolane	Cendre volante
CPA 55	95	5	-	-	-
CPJ 55	80	8	2	7	3
CPJ 45	70,5	6,5	3,6	14,4	5
CPJ 35	63,5	6,5	28	0	2

Tableau1 : Composition des différents ciments fabriqués par HOLCIM-FES

Type de ciment	Caractéristique	Domaine d'utilisation
CPA 55 et CPJ 55	Haute résistance (55MPa)	- La fabrication du béton armé fortement Sollicité, béton précontraint et béton à haut Performance. - Décoffrage rapide.
CPJ 45	Résistance Moyenne (45MPa)	- Grands œuvres (bé ton armé fortement Sollicité et à résistance mécanique élevé
CPJ 35	Faible résistance (35MPa)	- 90% dans les travaux de maçonnerie - 10% dans les grands œuvres

Tableau 2 : Principales caractéristiques et domaines d'utilisations de chaque ciment



Partie 2:

**Amélioration et maîtrise du
comportement du ciment
dans le béton.**

I- Béton et ses constituants :

Le béton est né du besoin d'avoir un matériau de construction bon marché, malléable a moment de le mettre en place et résistant. La forme la plus ancienne du béton remonte à 7000 ans avant JC. Un matériau similaire était connu des égyptiens et des Romain, mais l'essor réel du béton tel qu'on le connaît aujourd'hui est dû à l'anglais Joseph Aspdin en 1824.

Le béton est un matériau composite constitué de granulats gros et fins (gravier ou pierre concassée, sable), de ciment et d'eau. Le mélange entre le ciment et l'eau forme une pâte qui durcit. La pâte de ciment hydrate et le sable constituant le mortier. Celui-ci a pour rôle de se lier avec les gros granulats pour former un conglomérat solide. Les adjuvants et les additions servent à améliorer certaines caractéristiques du béton frais ou dure.

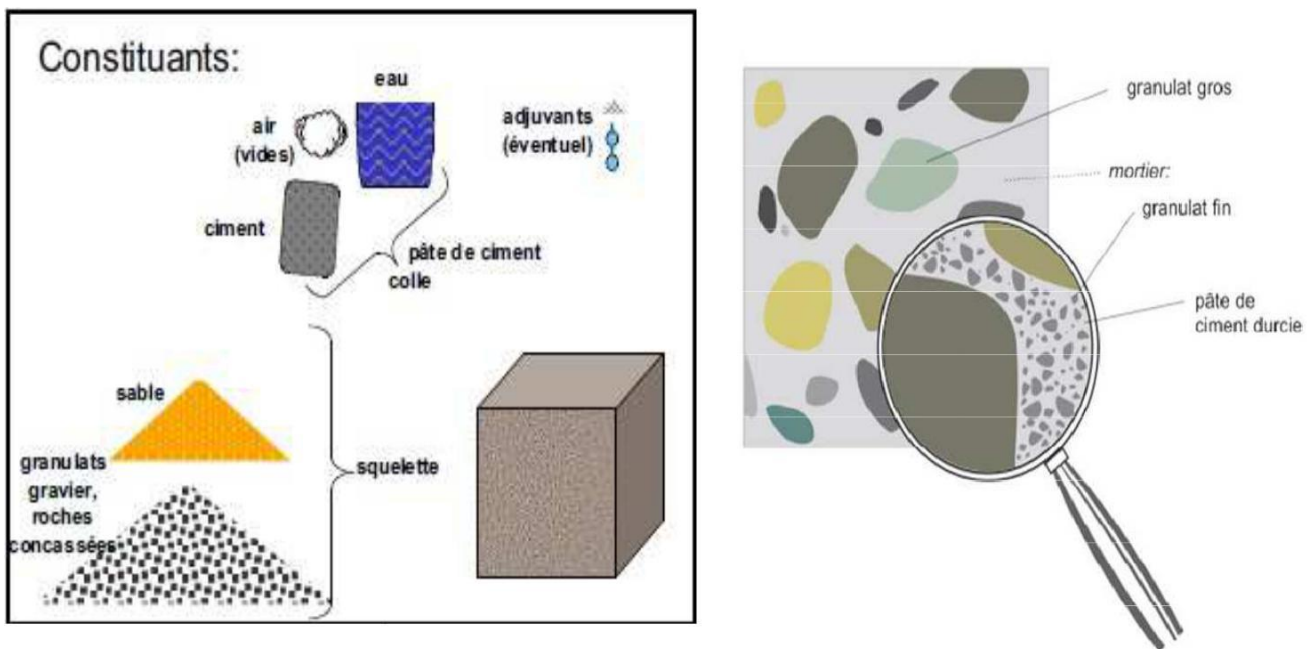


Figure9 : Constituant du béton

1- Classification des bétons :

Le béton utilisé dans le bâtiment, ainsi que dans les travaux publics comprend plusieurs catégories. En général le béton peut être classé en trois groupes selon sa masse volumique ρ :

- Béton normal : ρ entre 2 000 et 2 600 kg/m^3 ;
- Béton lourd : $\rho > 2600 \text{ kg/m}^3$;
- Béton léger : ρ entre 800 et 2 000 kg/m^3 ;



Le béton peut varier en fonction de la nature :

- Des granulats,
- Des adjuvants
- Des colorants et des traitements de surface.

Il peut ainsi s'adapter aux exigences de chaque réalisation, par ses performances et par son aspect.

HOLCIM produit différents types de béton :

Bétons spéciaux : Ce sont des bétons qui n'ont pas été prévus par norme, mais qui sont expressément demandés par les clients, ce sont principalement des :

- Bétons à résistances (B35, B25, B20...),
- Bétons à remblayage,
- Mortiers.

Bétons à Caractéristiques Spécifiées (BCS) :

Ces Bétons à caractéristiques spécifiées conformes à la norme sont désignés par toutes les données précisant leur composition ou leurs caractéristiques particulières répondant à une spécification du client (dosage, coloration...).

Ce sont des bétons bénéficiant d'une garantie de résistance nominale à la compression (de 13 MPa à 30 MPa).

Bétons à Caractéristiques Normalisées (BCN) :

Bétons imprimés : bétons architectoniques répondant à une conception architecturale ou esthétique

Bétons à fibres de polypropylène : bétons spécialement étudiés pour limiter microfissuration de surface.

Bétons colorés : bétons de couleur distincte de la couleur usuelle du béton

Bétons prêts à l'emploi autoplaçants : bétons fabriqués en usine puis transportés livrés sur chantier

2- Les constituants des bétons

a- Les granulats :

Les granulats pour bétons sont des grains minéraux classés en fillers, sables, gravillons, graves ou ballasts, suivant leurs dimensions comprises entre 0 et 125 mm



Selon un concept traditionnel, les granulats constituent le squelette du béton. Ceux, qui sont généralement moins déformables que la matrice de ciment, s'opposent à la propagation des microfissures. Ils améliorent ainsi la résistance du béton

Le choix d'un granulats est donc un facteur important de la composition du béton, qui doit toujours être étudiée en fonction des performances attendues, spécialement sur le plan de la durabilité.

La granulométrie est l'étude de la taille des grains qui forment le granulats, elle consiste à tamiser le granulats sur une série de tamis à mailles carrées, de dimensions d'ouverture décroissantes et à peser le refus (reste non tamisé) sur chaque tamis.

La norme indique la terminologie usuelle des granulats selon leurs dimensions, retenons que :

- Fillers $D < 2 \text{ mm}$,
- Sables $1 < D < 6,3 \text{ mm}$,
- Gravillons $10 \text{ mm} < D < 125 \text{ mm}$,

De nombreuses caractéristiques des granulats sont testées comme la masse volumique, la propreté, la forme, la composition...

Il existe différents types de granulats

- ***Les granulats roulés***

Les granulats alluvionnaires (dits roulés) ont une forme arrondie due à l'érosion. Ces granulats sont lavés pour éliminer les particules argileuses (nuisibles à la résistance du béton) et criblés pour obtenir différentes classes de dimension.

- ***Les granulats de carrières***

Les granulats de carrière sont obtenus par abattage et concassage, ce qui leur donne des formes angulaires. Les granulats concassés présentent des caractéristiques qui dépendent de l'origine de la roche, de la régularité du banc, du degré de concassage...

- ***Les granulats artificiels***

Par exemple, il peut être intéressant d'utiliser des granulats très légers (bois, polystyrène expansé). Très légers (20 à 100 kg/m³), ils permettent de réaliser des bétons de masse volumique comprise entre 300 et 600 kg/m³ (la masse volumique d'un béton est d'environ 2500 kg/m³). On voit donc leur intérêt pour les bétons d'isolation, mais également pour la réalisation d'éléments légers : blocs coffrant, blocs de remplissage, dalles, ou rechargements sur planchers peu résistants.



b- Les adjuvants :

Dès les origines de la fabrication du béton de ciment Portland, des recherches ont commencé sur l'incorporation de produits susceptibles d'améliorer certaines de ses propriétés.

On cherche à agir sur :

- les temps de prise,
- les caractéristiques mécaniques
- la sa mise en œuvre et l'étanchéité.

II- Cône HOLCIM :

Les étapes de concassage, broyage, homogénéisation, et cuisson de cru (mélange des matières premières à une température d'environ 1400°C), nous donne le produit semi fini dit « clinker » qui constitue l'origine des caractéristiques hydrauliques du ciment.

Le ciment est le « produit fini » qui résulte du broyage du clinker et les additifs (gypse, pouzzolane, calcaire, cendres volants), ses caractéristiques physiques, chimiques et mécaniques doivent répondre à la norme en vigueur, le ciment devrait être également une assurance pour l'obtention d'un **béton** de bonne qualité

Pour HOLCIM-MAR OC, le produit fini est désormais le béton est on le ciment.

Depuis plusieurs années, les laboratoires d'HOLCIM renforcent les contrôles du béton issu de leur propre ciment tel que, la préparation des moules du béton dans le laboratoire ciment. Cette dernière opération nécessite des moyens allant jusqu'à la création d'un laboratoire béton avec un laboratoire ciment, toutefois, la réalisation de ces essais ne reste pas sans inconvénient tel que l'irrégularité des granulats.

Afin d'optimiser les moyens matériels et humains et standardiser les essais qui anticipent le comportement du ciment dans le béton, le laboratoire de la cimenterie de FES s'est doté d'un équipement dit « **cône HOLCIM** » dont les résultats devraient donner des indications fiables sur la maniabilité du béton (slump) et les caractéristiques physiques de la résistance.

Notre travail se limitera donc à la réalisation des essais sur le cône HOLCIM, afin de mettre au point des corrélations (avec les mêmes ciments) entre les essais du laboratoire ciment et ceux du laboratoire béton.

Au cours des années 1980 -1990, les études relatives aux bétons à hautes performances ont montré le rôle néfaste de l'excès d'eau dans les bétons. La réduction de cette quantité d'eau par emploi d'agents réducteurs et par correction de l'empilement granulaire via les ultrafines a conduit à des gains en termes de résistance et de durabilité connues de nos jours (Okamura et Ouchi 1999).

En prolongement de ces travaux scientifiques, l'amélioration constatée de l'ouvrabilité de ces nouveaux bétons a conduit les chercheurs à développer et à fiabiliser cette propriété. Ceci nous a

orienté réaliser cette analyse pour réaliser une corrélation entre les ciments fabriqués en société et mélangés dans les chantiers pour les ouvrages de constructions des bâtiments.

La réalisation de cet étude nécessite un ensemble de matériels pour la préparation de la pâte du cône HOLCIM : malaxeur, portique de mesure et cône HOLCIM, est utilisé dans les analyses quotidienne au sein de l'inutile laboratoire.

Ce matériel est propre à HOLCIM.

Le cône HOLCIM : c'est un appareillage qui se compose de 3 éléments et qui sert à déterminer le comportement du ciment dans le béton.

Malaxeur : sert a réalisé un mélange bien homogénéiser dit : « mortier ».



Figure 10 : Malaxeur

Cône HOLCIM : sert à remplir la pâte préparée dans le malaxeur



Figure 11 : Cône HOLCIM

Portique de mesure : sert à mesurer le slump du béton.



Figure12 : Portique de mesure

- **Mode opératoire de l'utilisation du cône d'HOLCIM**
 - La quantité d'eau, du ciment et du sable normalisé, requises pour préparer le mortier, sont calculées en respectant le rapport (Eau / ciment = 0.5)
 - L'eau ajoutée est mélangée avec l'adjuvant qui représente 0.4% du ciment.
 - Mettre le ciment et l'eau dans le récipient du malaxeur et mélanger.
 - Cesser de mélanger pendant une minute afin de nettoyer avec la spatule le ciment collé sur les parois du récipient
 - Mélanger le ciment + (eau + adjuvant) à la vitesse appropriée tout en ajoutant le sable.
 - Mesurer l'écoulement de récession avec le cône de HOLCIM à 15 minutes du gâchage Initial. (Bien remplir le cône en tassant 15 fois à l'aide d'un marteau en caoutchouc).
 - Le reste du mortier est remis dans un sac en plastique pendant 45 minutes.
 - Après ces 45 minutes mélanger le mortier à la vitesse appropriée et répéter l'écoulement de récession à 45 minutes du gâchage initial en prenant la température du mortier.

Problématique :

La fabrication du clinker est coûteuse dans la mesure où elle nécessite de l'argent et de l'énergie. De plus, un clinker incuit est rejeté et cela constitue des pertes pour la société. D'où l'idée de pouvoir récupérer le clinker incuit et le réutiliser dans la préparation du ciment : ceci permettra bien évidemment de diminuer les pertes à ce niveau.

- **Travail :**

Avant de commencer à travailler avec le cône HOLCIM, on va d'abord préparer un ciment CPJ 55 (80% clinker, 8% Gypse, 2% calcaire, 7% pouzzolane), avec un rapport eau/ciment = 0.5.

Ciment CPJ55 1213g
Eau 606.5g
Sable standard normalisé 2700g

Matière utilisée pour fabriquer le ciment	Poids en (g)
Clinker	970.4
Gypse	97.04
Calcaire	24.26
Pouzzolane	84.91

Tableau3 : quantité de matière pour préparer le ciment

Il est à noter que la qualité du ciment dépend étroitement de celle du clinker dans la mesure où ce dernier représente la matière principale du ciment. La préparation de plusieurs échantillons du ciment avec différentes qualités du clinker va permettre de vérifier l'effet du clinker incuit sur le béton.

Il faut donc réaliser des essais sur le cône HOLCIM et calculer l'écoulement pour chaque échantillon à 15 et 45 minutes, puis comparer ces écoulements en fonction du temps. La finesse du ciment préparé (CPJ55) est 4.6%, La finesse du clinker incuit préparé est 5%.

- **Résultat :**

DRX : Diffraction des rayons X (analyse par *Spectromètre de fluorescence X*)

Tableau4 : Résultat du drx pour le calcaire, gypse, clinker bonne qualité et mauvaise qualité (incuit) et CPJ55 :

Composé chimique	Calcaire	Gypse	CPJ55	Clinker M.Q(incuit)	Clinker B.Q
SiO ₂ %	5.58	5.79	17.17	20.45	20.65
Al ₂ O ₃ %	1.86	3.89	5.54	5.32	5.4
Fe ₂ O ₃ %	0.91	1.9	2.57	4.35	2.97
CaO %	50.07	28.68	64.77	63.41	66.2
MgO %	0.57	3.76	1.25	1.71	1.10
K ₂ O %	0.32	0.48	0.8	0.78	0.84
SO ₃ %	0.45	23.35	2.83	2.10	1.64
FSC%	-----	-----	-----	95.6	100.1
CaO libre	-----	-----	-----	11.5	1.22

Le clinker est le produit semi final (la base du ciment) qui assure toute les qualités intrinsec du ciment toute fois la cimenterie pour une raison ou une autre peut produire un clinker de moyen ou mauvaise qualité. Ce dernier (clinker mauvaise qualité) fera l'objet de notre étude sur l'impact de la qualité de ciment par suite son comportement lors de la préparation du béton.

HOLCIM Maroc, usine Fès est équipé d'un matériel (propre au groupe « cône HOLCIM ») qui permet le suivie de comportement du ciment lors de la préparation du béton.

Ciment avec différentes qualités du clinker	Slump Après 15 minutes (mm)	Slump Après 45 minutes (mm)
100% bonne qualité	160.5	151.2
100% B.Q + 5% incuit	150.04	146.2
100% B.Q +10% incuit	130.54	122.8

100% B.Q +15% incuit	111.24	105
100% B.Q +20% incuit	103.21	100
100% B.Q +25% incuit	100.2	100

Tableau5 : Slump des différentes qualités du ciment

Pour faire cette différence par rapport à un ciment normal (préparer par un clinker de bonne qualité) nous avons préparé 5 qualités du ciment CPJ55 avec de pourcentage d'incuit allant de 5 à 25%. L'étude consiste à réaliser des essaies avec cône HOLCIM en préparant du béton standard (pourcentage de sable normale « <5mm », et dosage en eau fixent). Le tableau résume les résultats dans différents essaies réalisés après 15 et 45 min du gâchage.

Problème trouver : (échec expliquer)

Le ciment préparé manuellement présente une finesse très élevée (30 à 35%) et ceci peut être dû au broyeur du laboratoire. En contrepartie le ciment préparé industriellement possède une finesse comprise entre 2 et 6%.

La préparation d'un béton avec le ciment laboratoire (finesse élevée) donne un produit qui durcit rapidement à cause de la granulométrie des particules : les particules des petites dimensions collent à l'eau alors que les grandes restent unies et libre ce qui donne un béton inutilisable.

Et voilà un exemple :



Solution :

Pour remédier à ce problème, nous avons envisagé de travailler avec un ciment CPJ55 fabriqué à l'usine sur lequel nous allons procéder à l'addition du clinker incuit avec différentes quantités.

Et voilà un exemple :





Interprétation des résultats :

Le ciment de référence (0% d'incuit) a des slump respectivement après 15 et 45 min de 160.5 et 151.2 mm ; Le slump se dégrade après augmentation progressive du clinker de mauvaise qualité (incuit).

Nous déduisons donc que la malléabilité du béton est de plus en plus difficile avec l'addition du clinker incuit dans le ciment.

D'après le tableau du DRX on voit que la chaux (CaO) libre est élevée dans le clinker incuit (11.5%) par contre dans le clinker de bonne qualité la chaux libre est nettement plus faible (1.22%), c'est pour cette raison que le clinker incuit nous donne un ciment de mauvaise qualité, ceci est dû essentiellement à la forte teneur en eau qui est liée directement au pourcentage d'incuit.

CONCLUSION :

Nous avons ainsi défini la quantité optimale du clinker incuit à ajouter au ciment sans pour autant modifier les caractéristiques du béton ceci permettra à l'entreprise d'utiliser son clinker incuit qui était destiné initialement à la poubelle.



CONCLUSION

GENERALE :



Au cours de ce travail, il m'a été possible de passer en revue la préparation du ciment portland. J'ai pu étudié le procédé de fabrication du clinker (principal constituant du ciment) depuis la matière première jusqu'à la cuisson. Ceci m'a permis par la suite de comprendre la préparation du béton et de participer à la mise en l'incorporation dans le béton. L'étude m'a permis de montrer que l'introduction d'une faible quantité (5%) du clinker incuit permet au béton de garder toutes ses caractéristiques et minimiser par la même occasion les pertes de la société HOLCIM.

Le stage a été fructueux à plusieurs niveaux dans la mesure où il m'a permis de toucher de près à un procédé industriel, étudier une problématique existante et essayer d'apporter une solution.