



Licence Sciences et Techniques (LST)  
**TECHNIQUES D'ANALYSE CHIMIQUE ET CONTROLE DE  
QUALITE**

**TACCQ**

**PROJET DE FIN D'ETUDES**

***CONTROLE DE FIABILITE  
DES DOSEURS D'AJOUTS***

**Présenté par :**

**SBAI Mohammed**

**Encadré par :**

- ♦ Mr AYADI Abdelaziz (Société)
- ♦ Pr HAZM Jamal Eddine (FST)

**Soutenu Le 17 Juin 2011 devant le jury composé de**

- Pr HAZM Jamal Eddine
- Pr KHALIL Fouad
- Pr ZEROUALE Aziz

**Stage effectué à "HOLCIM Fès"**

**Année Universitaire 2010 / 2011**

# SOMMAIRE

|                                                                      |    |
|----------------------------------------------------------------------|----|
| INTRODUCTION GENERALE .....                                          | 1  |
| PREMIERE PARTIE : HOLCIM FES .....                                   | 3  |
| I. HISTORIQUE DE HOLCIM MAROC .....                                  | 4  |
| II. PRINCIPE DE FABRICATION DU CIMENT PORTLAND .....                 | 8  |
| 1. LES CONSTITUANTS DES CIMENTS COURANTS : .....                     | 8  |
| 2. PRINCIPE DE FABRICATION DU CIMENT : .....                         | 8  |
| 3. FABRICATION PAR VOIE SECHE.....                                   | 10 |
| 4. LE PROCEDE DE FABRICATION ADOPTE PAR L'USINE DE RAS EL MA : ..... | 12 |
| A. APPROVISIONNEMENT EN MATIERES PREMIERES : .....                   | 13 |
| B. LE CONCASSAGE : .....                                             | 13 |
| C. BROyage CRU .....                                                 | 14 |
| D. L'HOMOGENEISATION : .....                                         | 14 |
| E. PRECHAUFFAGE : .....                                              | 14 |
| F. LA CUISSON : .....                                                | 14 |
| G. LE REFROIDISSEMENT : .....                                        | 16 |
| H. LE BROyage CIMENT : .....                                         | 16 |
| DEUSIEME PARTIE: LABORATOIRE DE CONTROLE QUALITE .....               | 18 |
| I. INTRODUCTION: .....                                               | 19 |
| II. LES ANALYSES DU LABORATOIRE DE CONTROLE QUALITE : .....          | 19 |
| 1. LA FINESSE : .....                                                | 19 |
| 2. LA PERTE AU FEU (P.A.F) ET LE TAUX DE CENDRE (TC): .....          | 20 |
| 3. TAUX D'HUMIDITE : .....                                           | 20 |
| 4. ANALYSE PAR FLUORESCENCE RX : .....                               | 21 |
| □ FSC : FACTEUR DE SATURATION EN CHAUX : .....                       | 21 |
| □ MS : MODULE SILICIQUE .....                                        | 21 |
| □ MAF : MODULE ALUMINO-FERRIQUE .....                                | 22 |
| 5. ESSAI DE PRISE : .....                                            | 22 |
| 6. ESSAI D'EXPANSION : .....                                         | 22 |
| 7. PREPARATION DES MOULES : .....                                    | 23 |
| 8. ESSAI DE RUPTURE PAR FLEXION : .....                              | 23 |
| 9. ESSAI DE RUPTURE PAR COMPRESSION : .....                          | 23 |
| 10. DETERMINATION DE LA TENEUR EN CHLORURE : .....                   | 23 |
| 11. DETERMINATION DU PCS ET PCI : .....                              | 24 |
| 12. DETERMINATION DE LA TENEUR EN SOUFRE : .....                     | 24 |
| TROISIEME PARTIE: PARTIE EXPERIMENTALE.....                          | 25 |
| I. INTRODUCTION : .....                                              | 26 |

|                                                         |           |
|---------------------------------------------------------|-----------|
| <b>II. LES AJOUTS UTILISES A L'UNITE DE RAS EL MA :</b> | <b>26</b> |
| <b>1. LES DIFFERENTS TYPES D'AJOUTS :</b>               | <b>27</b> |
| A. POUZZOLANE :                                         | 27        |
| <input type="checkbox"/> Pouzzolane naturelle           | 27        |
| <input type="checkbox"/> Pouzzolane artificielle        | 27        |
| B. LE CALCAIRE:                                         | 27        |
| C. LE GYPSE :                                           | 27        |
| D. LES CENDRES VOLANTES :                               | 28        |
| <b>III. LES RESULTATS D'ANALYSE DES AJOUTS :</b>        | <b>28</b> |
| <b>1. POUZZOLANE :</b>                                  | <b>28</b> |
| <b>2. CALCAIRE :</b>                                    | <b>29</b> |
| <b>3. GYPSE :</b>                                       | <b>30</b> |
| <b>4. LES CENDRES VOLANTES</b>                          | <b>31</b> |
| <b>IV. LE PRODUIT FINI : LE CIMENT :</b>                | <b>32</b> |
| <b>1. FABRICATION DU CIMENT</b>                         | <b>32</b> |
| <b>2. RESULTATS D'ANALYSE DU CIMENT :</b>               | <b>32</b> |
| <b>V. INTERPRETATIONS :</b>                             | <b>33</b> |
| <b>1. CAS NORMAL :</b>                                  | <b>34</b> |
| INTERPRETATIONS :                                       | 34        |
| <b>2. DETECTION D'UNE DERIVE :</b>                      | <b>35</b> |
| INTERPRETATIONS :                                       | 35        |
| <b>3. VERIFICATION APRES REAJUSTEMENT :</b>             | <b>36</b> |
| INTERPRETATIONS :                                       | 36        |
| CONCLUSION                                              | 37        |

## INTRODUCTION GENERALE

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, dont le Groupe HOLCIM (Maroc) qui est un leader dans ce secteur.

Le ciment est produit en portant à une température de 1450 °C un mélange de calcaire et d'argile. On obtient alors des nodules durs appelés clinker. Le clinker additionné au gypse est broyé très finement pour obtenir le ciment "Portland". L'ajout au clinker, lors de son broyage, d'autres éléments minéraux (laitiers de hauts fourneaux, cendres de centrales thermiques, fillers calcaires, pouzzolanes naturelles ou artificielles) permet l'obtention des différentes catégories de ciments "à ajouts". Mélangé à des granulats, du sable, des adjuvants et de l'eau, le ciment est l'élément de base indispensable pour la fabrication du béton, dont il est le composant actif. C'est pourquoi il est aujourd'hui l'élément essentiel et incontournable du secteur de la construction contemporaine et donc du monde moderne.

Le laboratoire de contrôle de qualité joue un rôle majeur dans l'industrie cimentière, car il assure la conformité du produit aux exigences des normes, d'où la nécessité de contrôles rigoureux et continus à chaque point du procédé de fabrication du ciment.

Mon stage effectué à Holcim (Maroc) –cimenterie de Fès- était une période précieuse pour comprendre le procédé de fabrication du ciment et essayer de saisir de plus près des sujets techniques dans le cadre de ma formation à la chimie industrielle.

Vu l'importance des ajouts dans la déduction du coûts de fabrication du ciment et l'importance des pourcentages d'ajouts administrés par les doseurs, mon travail intitulé « *contrôle de fiabilité des doseurs d'ajouts* » est une étude sur la base de la composition chimique des entrées (Clinker, ajouts :Calcaire, gypse, pouzzolane, cendres volantes) et sortie : ciment, du système broyeur à ciment, conduit à l'établissement des tableaux rassemblant les pourcentages d'ajouts-consigne- visés et celle réalisés dans le ciment, et discuter les résultats pour juger le bon fonctionnement des Doseurs.

Dans ce sens, je procéderai de la manière suivante :

- ☑ Dans la première partie je donnerai une brève présentation de la société.
- ☑ Dans la deuxième partie, j'essayerai de présenter les ciments, leurs caractéristiques, les divers procédés de fabrication du ciment existants et en particulier le procédé de fabrication par voie sèche adopté par l'unité de Ras El Ma Fès.
- ☑ Dans la troisième partie je ferai un aperçu sur le laboratoire de contrôle qualité, les analyses effectuées, ainsi que leurs principes et objectifs.
- ☑ Dans la quatrième partie je donnerai un aperçu technique sur mon sujet, à savoir : le contrôle de fiabilité des doseurs d'ajouts sur la base de la composition chimique des constituants du ciment et ajouts.

## *PREMIERE PARTIE :*

---

# *HOLCIM*

# *FES*

---

### *I. HISTORIQUE DE HOLCIM MAROC*

En 1972 le gouvernement 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 marocain (ODI) et la société nationale des matériaux de construction algérien (SNMC). Le projet CIMA fut mis en veilleuse et placé sous administration provisoire à cause du retrait algérien de l'opération en 1975.

En 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, 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, l'installation à Casablanca d'un centre d'ensachage d'une capacité de 350 000 tonne par an.

1985, création de ciments blancs du Maroc à Casablanca.

1990, début des travaux pour la réalisation d'une ligne complète de production de Clinker à Fès 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.

Prise de contrôle majoritaire du capital de CIOR par Holcim dans le cadre du programme de privatisation.

1997, installation d'une centrale à béton à Rabat et d'une autre à Casa.

1999, construction d'une seconde centrale à béton à Casa, ainsi que la mise en service d'un centre de broyage et d'ensachage à Nador.

Mise en service des installations de valorisation des combustibles de substitution à l'usine de Fès Ras El Ma, et d'une troisième centrale à béton et d'une autre à Nador.

2001, Certification ISO 9001 et ISO 14001 de la cimenterie de Fès.

2002, changement de l'identité visuelle : CIOR devient HOLCIM Maroc. Démarrage de la nouvelle activité granulats (Bensliman). Début des investissements relatifs à la rationalisation du dispositif industriel de Fès.

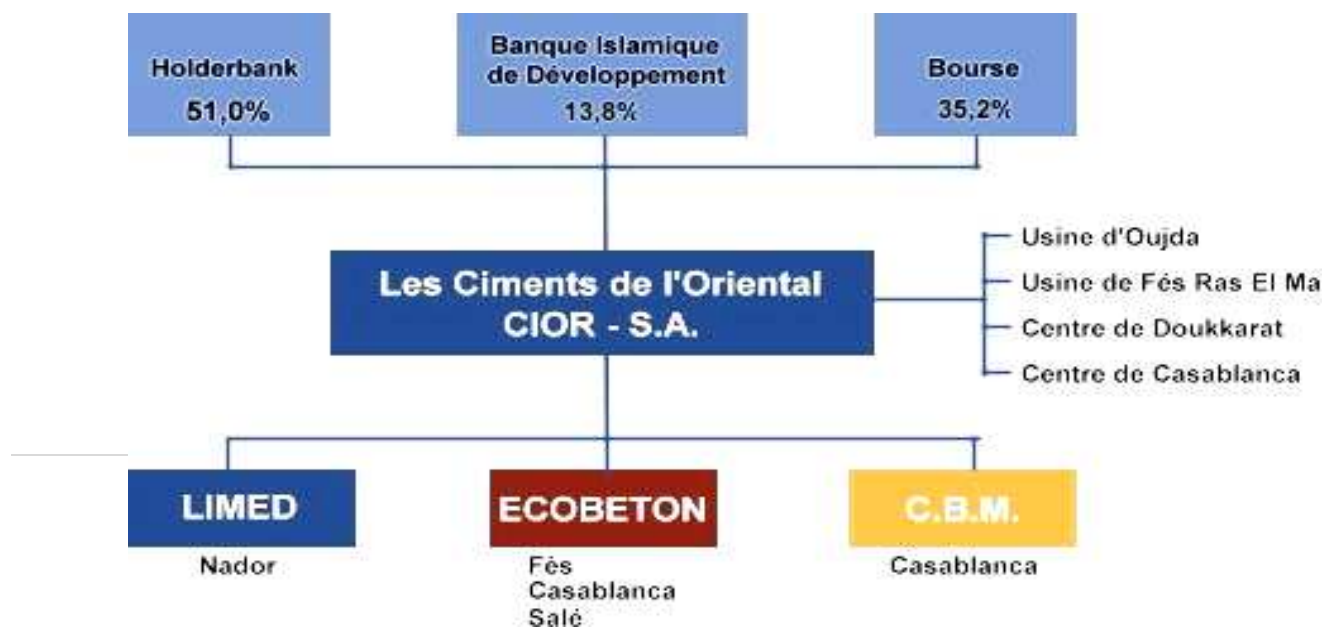
Certification ISO 9001 et ISO 14001 de la cimenterie d'Oujda.

2007, démarrage de la cimenterie de Settat et de la plateforme de prétraitement de déchets Ecoval.

2008, lancement du projet de dédoublement de capacité e production de l'usine de Fès. Certification ISO 9001 et ISO 14001 du centre de Nador.

### ➤ Actionnariat :

Le schéma suivant présente les actionnaires de HOLCIM ainsi que les filiales



détenues par cette dernière :

Cotée en bourse depuis sa privatisation en 1993, Holcim Maroc a pour actionnaire majoritaire Holderbank avec 51% des parts. La participation de la Banque Islamique de Développement est de 13.8%, le reste (35.2%) étant détenu par les actionnaires.

### ➤ Organigramme:

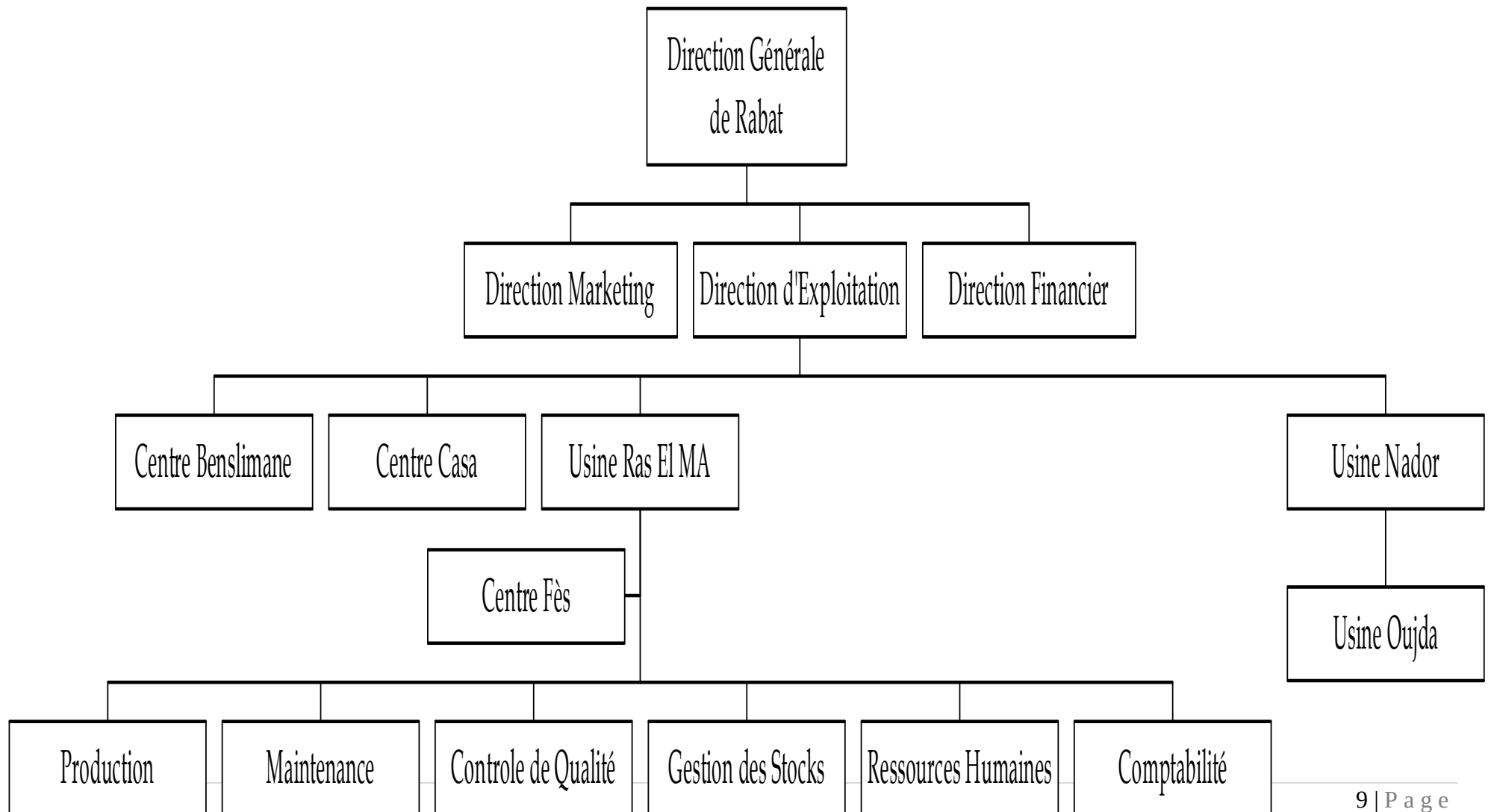
Le passage HOLCIM Maroc d'une entreprise publique à une entreprise privée, sous le contrôle de la société mère, a entraîné des changements au niveau organisationnel à savoir :

A/La création d'une direction de Ressources Humaines à la place de la direction administrative.

B/L'unification de la direction technique et la direction usine en une direction d'exploitation.



# Organigramme de Holcim Maroc



## Fiche signalétique

|                         |                                                                                                       |
|-------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| RAISON SOCIALE          | Holcim Maroc                                                                                          |
| FORME JURIDIQUE         | Société Anonyme de droit privé                                                                        |
| DATE DE CREATION        | 1976 pour une durée de 99 ans                                                                         |
| ACTIVITE                | Production et commercialisation des ciments                                                           |
| CAPITAL SOCIAL          | 910 Millions DH en 2000                                                                               |
| ACTIONNAIRES            | ✓ HOLDER BANK : 51%<br>✓ Banque Islamique : 14%<br>✓ Personnels : 1,5%<br>✓ Actions en bourse : 33.5% |
| REGISTRE DE COMMERCE    | 24713                                                                                                 |
| N° DE PRODUCTION FISCAL | 512367                                                                                                |
| AFFILIATION A LA CNSS   | 1515123                                                                                               |
| CAPACITE DE PRODUCTION  | 1.9 T/an                                                                                              |
| EFFECTIF                | 800                                                                                                   |
| IMPLANTATION            | Oujda, Fès (Ras El Ma, Doukkarat), Nador et Casablanca                                                |
| SIEGE SOCIAL            | 22, Rue Jabal Ayachi – AGDAL – RABAT.                                                                 |

## II. PRINCIPE DE FABRICATION DU CIMENT PORTLAND

### Les constituants des ciments courants :

Les principaux composants du ciment sont :

- ☒ **Le clinker** : Produit obtenu par la cuisson du mélange : Calcaire + Argile.

Il est constitué principalement d'oxydes métalliques, les quatre composants essentiels sont :

- La Silice ( $\text{SiO}_2$ ) : 17 à 25 %
- L'alumine ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) : 3 à 6 %
- La Chaux( $\text{CaO}$ ): 54 à 65 %
- L'Oxyde de fer ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ): 2 à 5 %

Selon leurs types, les ciments courants peuvent contenir les autres constituants suivants :

- ☒ **Les cendres volantes** : produits résultant de la combustion des huiles et lignites dans les centrales thermiques.
- ☒ **Les pouzzolanes** : produits d'origine volcanique.
- ☒ **Les ajouts chimiques de fabrication**: sulfate de calcium (gypse), agents de mouture...

Ces constituants possèdent :

- ① **Des propriétés hydrauliques** : par hydratation se forment des microcristaux fibreux stables et enchevêtrés dont résulte une cohésion progressive.
- ① **Des propriétés pouzzolaniques** : faculté de fixer le  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  pour donner naissance à des composés hydrauliques stables.
- ① **Des propriétés physiques** : résistance, maniabilité, compacité,...

## Principe de fabrication du ciment :

La fabrication de ciment se réduit schématiquement aux trois opérations suivantes:

- préparation du cru
- cuisson
- broyage et conditionnement

Il existe 4 méthodes de fabrication du ciment qui dépendent essentiellement du matériau:

- Fabrication du ciment par voie humide (la plus ancienne).
- Fabrication du ciment par voie semi-humide (en partant de la voie humide).
- Fabrication du ciment par voie sèche (la plus utilisée).
- Fabrication du ciment par voie semi-sèche (en partant de la voie sèche).

Le composé de base des ciments actuels est un mélange de silicates et d'aluminates de calcium résultant de la combinaison de la chaux ( $\text{CaO}$ ) avec la silice ( $\text{SiO}_2$ ), l'alumine ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), et l'oxyde de fer ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ). La chaux nécessaire est apportée par des roches calcaires. L'alumine, la silice et l'oxyde de fer par des argiles. Les matériaux se trouvent dans la nature sous forme de calcaire, argile ou marne et contiennent, en plus des oxydes déjà mentionnés, d'autres oxydes.

Le principe de la fabrication du ciment est le suivant: calcaires et argiles sont extraits des carrières, puis concassés, homogénéisés, portés à haute température ( $1450\text{ }^\circ\text{C}$ ) dans un four. Le produit obtenu après refroidissement rapide (la trempe) est le clinker.

Un mélange d'argile et de calcaire est chauffé. Au début, il y a le départ de l'eau de démouillage, puis au delà de  $100\text{ }^\circ\text{C}$ , le départ d'eau davantage liée. A partir de  $400^\circ\text{C}$  commence la décomposition en gaz carbonique ( $\text{CO}_2$ ) et en chaux ( $\text{CaO}$ ), du calcaire composé essentiellement du carbonate de calcium ( $\text{CaCO}_3$ ).

Le mélange est porté à  $1450\text{-}1550\text{ }^\circ\text{C}$ , température de fusion. Le liquide ainsi obtenu permet l'obtention des différentes réactions. On suppose que les composants du ciment sont formés de la façon suivante: une partie de  $\text{CaO}$  est retenu par  $\text{Al}_2\text{O}_3$  et  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  en formant une masse liquide.  $\text{SiO}_2$  et  $\text{CaO}$  restant réagissent pour donner le silicate bicalcique dont une partie se transforme en silicate tricalcique dans la mesure où il reste encore du  $\text{CaO}$  non combiné.

Le schéma qui suit présente les différentes **voies** de fabrication du ciment

Vu le fait que le procédé le plus utilisé est celui par voie Sèche, je me restreindrai à sa description.

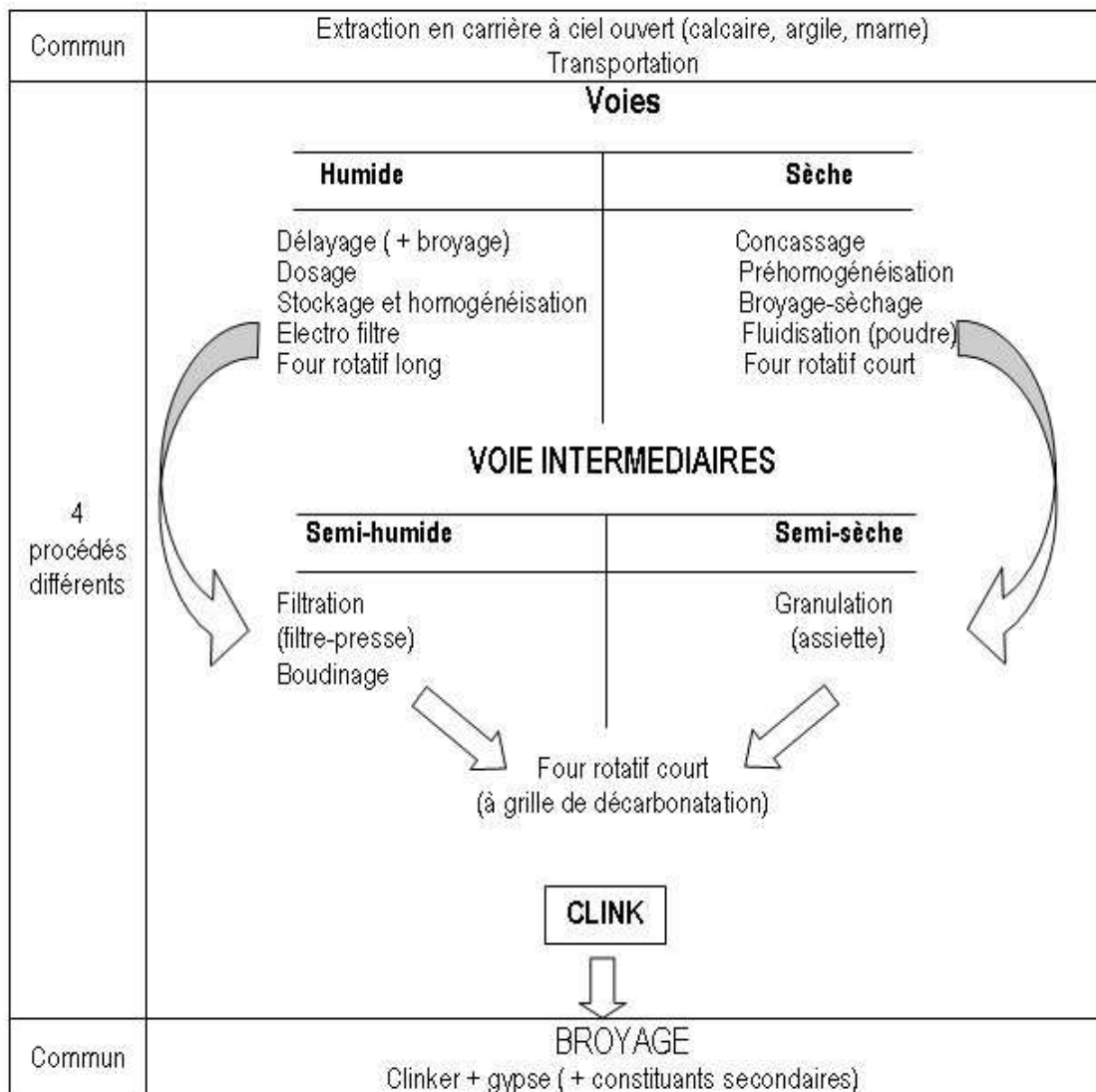


Figure 1 : schéma de la fabrication du ciment par voie sèche

## Fabrication par voie sèche

Les ciments usuels sont fabriqués à partir d'un mélange de calcaire ( $\text{CaCO}_3$ ) environ de 80% et d'argile ( $\text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3$ ) environ de 20%. Selon l'origine des matières premières, ce mélange peut être corrigé par apport de bauxite, oxyde de fer ou autres matériaux fournissant le complément d'alumine et de silice requis.

Après avoir finement broyé, la poudre est transportée depuis le silo homogénéisation jusqu'au four, soit par pompe, soit par aérogelisseur.

Les fours sont constitués de deux parties:

- Un four vertical fixe, préchauffeur (cyclones échangeurs de chaleur).
- Un four rotatif.

Les gaz réchauffent la poudre crue qui circule dans les cyclones en sens inverse, par gravité. La poudre s'échauffe ainsi jusqu'à 800 °C environ et perd donc son gaz carbonique (CO<sub>2</sub>) et son eau. La poudre pénètre ensuite dans un four rotatif analogue à celui utilisé dans la voie humide, mais beaucoup plus court.

La méthode de fabrication par voie sèche pose aux fabricants d'importants problèmes techniques:

- a. La ségrégation possible entre argile et calcaire dans les préchauffeurs. En effet, le système utilisé semble être néfaste et en fait, est utilisé ailleurs, pour trier des particules. Dans le cas de la fabrication des ciments, il n'en est rien. La poudre reste homogène et ceci peut s'expliquer par le fait que l'argile et le calcaire ont la même densité (2,70 g/cm<sup>3</sup>). De plus, le matériel a été conçu dans cet esprit et toutes les précautions ont été prises.
- b. Le problème des poussières. Ce problème est rendu d'autant plus aigu, que les pouvoirs publics, très sensibilisés par les problèmes de nuisance, imposent des conditions draconiennes. Ceci oblige les fabricants à installer des dépoussiéreurs, ce qui augmente considérablement les investissements de la cimenterie. Les dépoussiéreurs sont constitués de grilles de fils métalliques portés à haute tension et sur lesquels viennent se fixer des grains de poussière ionisée. Ces grains de poussière s'agglomèrent et sous l'action de vibreurs qui agitent les fils retombent au fond du dépoussiéreur où ils sont récupérés et renvoyés dans le four. En dehors des pannes, ces appareils ont des rendements de l'ordre de 99%, mais absorbent une part importante du capital d'équipement de la cimenterie.
- c. Le problème de l'homogénéité du cru est délicat. Nous avons vu comment il pouvait être résolu au moyen d'une pré-homogénéisation puis d'une homogénéisation.

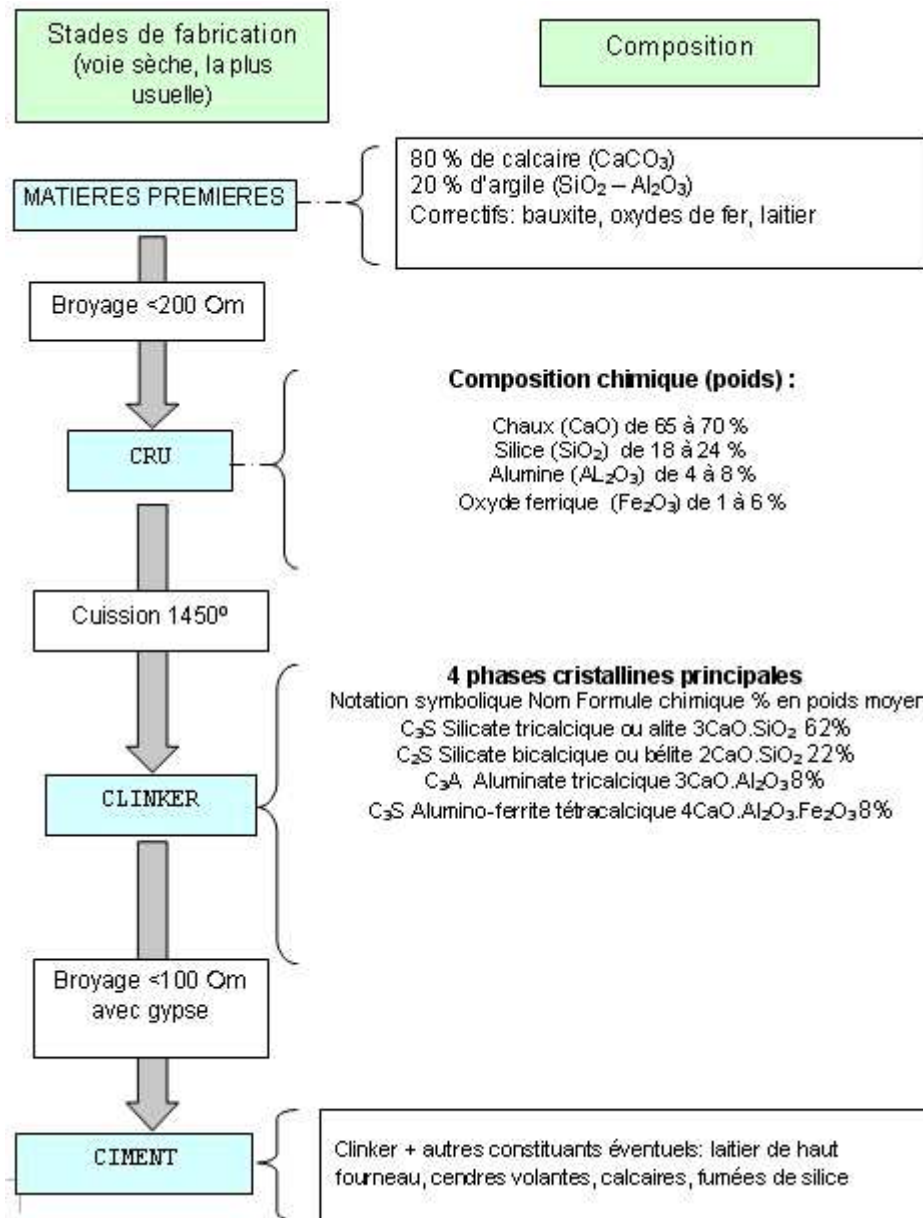


Figure 2. Fabrication du ciment

## Le procédé de fabrication adopté par l'usine de Ras El Ma :

Vu qu'elle est la plus économique en énergie, la voie sèche et la plus utilisée car la farine une fois concassée, broyée à sec, homogénéisée et avant l'entrée en four, elle est préchauffée à travers des cyclones. A l'entrée du four rotatif, la farine est soumise à une température de 900 à 1000 °C. Autrement dit, cette voie est plus rentable et plus optimale au niveau énergétique. C'est la méthode utilisée à REM.

Pour des raisons de réduction du coût de production, l'usine de REM a été implantée à proximité d'une carrière de calcaire de 230 hectares disposant

d'une réserve d'exploitation estimée à 100 ans. De même, pour la consommation d'eaux, deux forages ont été réalisés à côté de l'usine, en ce qui concerne l'électricité, HOLCIM Maroc est alimentée par l'ONE.

On peut résumer le **processus de fabrication** en 8 étapes :

### ***Approvisionnement en matières premières :***

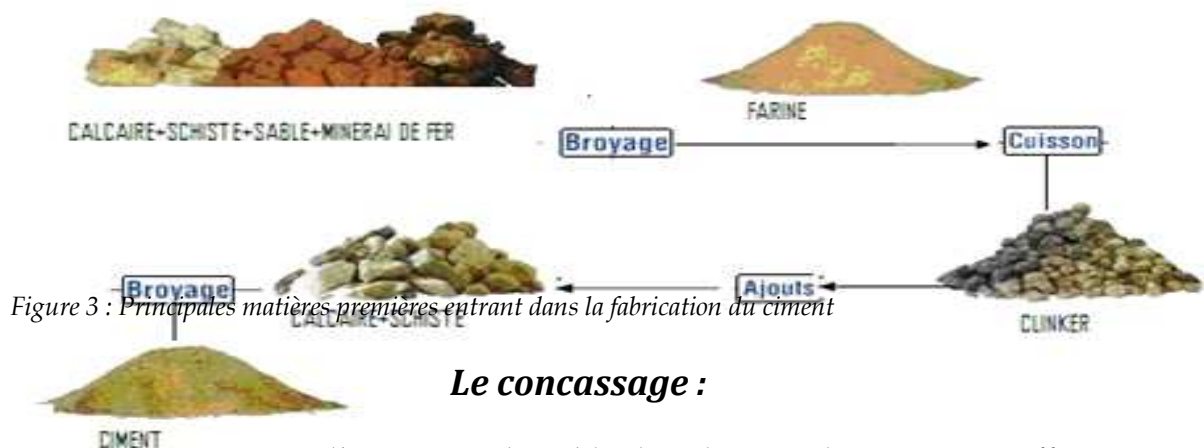
Toutes les cimenteries s'approvisionnent en cinq matières premières : Le calcaire, le schiste, le sable, le gypse, et le fer :

Les principales matières premières utilisées pour la fabrication du clinker sont :

- 1/- Le calcaire (80%) ;
- 2/- Le schiste (13 - 14%) ;

Afin d'obtenir un produit conforme aux normes, des matières de correction sont ajoutées pour conférer à la farine les propriétés et la granulométrie souhaitées. Parmi ces matières on cite :

- Les minerais de fer (1,8%) ;
- Le sable (4%) ;
- Le gypse
- le Fer.



### ***Le concassage :***

Toutes ces matières à l'exception du sable dont la granulométrie est suffisante, sont concassées séparément par concasseur à marteau situé en amont de la ligne de cuisson. En effet, la matière amenée par un A.T.M (Alimentateur à Tablier Métallique) 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 expédiée



au centre de broyage et d'ensachage pour servir d'ajout au clinker et participe ainsi à la seconde étape de production.

### ***Broyage cru***

Un broyeur constitué de deux paires de galets à suspension flottantes permet de préparer la matière crue en farine crue. D'une part, des flux ascendants de gaz chauds assurent le séchage et le transport des farines, d'autre part, le sol où la farine se déverse, appelé plateau de broyage est en rotation, par effet de la force centrifuge, les matières sont attirées vers les galets qui roulent dessus et les écrasent.

Un élévateur à galets recycle dans le broyeur les particules trop lourdes, un séparateur centrifuge à haut rendement dont la partie supérieure permet le passage de la farine vers les deux cyclones de séparation et empêche celui des particules dont la finesse n'est pas requise.

### ***L'homogénéisation :***

La farine sortie du broyeur sera introduite dans le silo d'homogénéisation et stockée par le biais de quatre aéroglisteurs. Ce silo dont la capacité de stockage est de 4500 t est équipé d'un système de fluidisation et d'extraction.

### ***Préchauffage :***

Afin de récupérer la chaleur de gaz sortant du four, la matière effectue plusieurs boucles dans cinq cyclones montées en série grâce à un élévateur. Un ventilateur à la base propulse les gaz chauds et les fait tournoyer dans chaque cyclone assurant ainsi un bon échange thermique.

Ces cyclones servent à déshydrater, chauffer, décarbonater partiellement la matière, et aussi ils récupèrent la poussière contenue dans les gaz. On considère que 95% est ainsi retenue, les 5% restant se dirigent vers un filtre.

### ***La cuisson :***

À la sortie du préchauffeur, la farine arrive dans le four rotatif où s'effectue l'étape la plus importante de sa transformation. L'alimentation en farine s'effectue à l'extrémité opposée au brûleur, la rotation et l'inclinaison du four font progresser la matière.

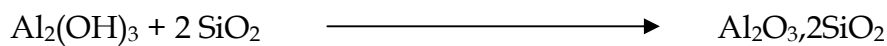
A l'entrée du four, la décarbonatation de la farine se poursuit et s'achève au fur et à mesure que la farine avance dans le four, sa température augmente, ce qui permet la formation des minéraux de clinker. Le produit ainsi sortant du four est appelé clinker. Le four de Holcim a une capacité de 100t/heure.

La température nécessaire à la **clinkerisation** est de l'ordre de 1450 °C. L'énergie consommée se situe entre 3200 et 4200 kJ par tonne de **clinker**, qui est le produit semi fini obtenu à la fin du cycle de cuisson. Il se présente sous forme de granules grises.

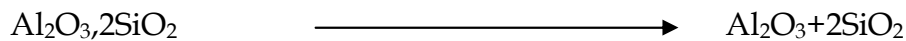
De 100°C à 200°C départ de l'eau libre

De 400°C à 600°C départ de l'eau combinée

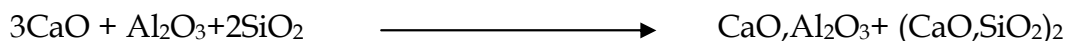
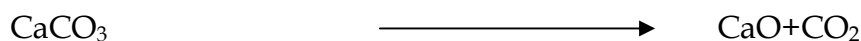
De 600°C à 750°C destruction des argiles suivant la réaction suivante :



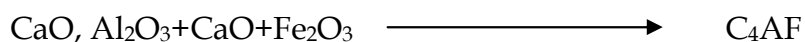
De 600°C à 900°C destruction de  $\text{Al}_2\text{O}_3(\text{SiO}_2)_2$ , et formation d'oxyde actif suivant la réaction suivante :



De 900°C à 1000°C décomposition du calcaire ou décarbonatation suivant les réactions suivantes :



De 800°C à 1300°C consommation de CaO par  $\text{CaO}, \text{SiO}_2$  et formation de  $\text{C}_4\text{AF}$  suivant les réactions suivantes :



Avec:

C signifie CaO

A signifie  $\text{Al}_2\text{O}_3$

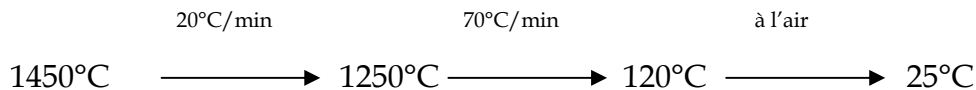
F signifie  $\text{Fe}_2\text{O}_3$

S signifie  $\text{SiO}_2$

$\text{C}_4\text{AF}$  signifie  $4\text{CaO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$

À la sortie du four, le Clinker doit être refroidi et broyé avant d'être entreposé dans des silos.

o Profile thermique de refroidissement de Clinker :



### ***Le refroidissement :***

Quand le clinker sort du four, il passe au refroidissement à l'aide de cinq ventilateurs qui propulsent de l'air, ce mode de refroidissement est appelé **Trempe**: c'est un refroidissement rapide pour obtenir un clinker réactif, utilisé afin d'avoir la granulométrie désirée. Le clinker prêt à l'emploi est transféré à un silo de stockage.

### ***Le broyage Ciment :***

Le clinker prêt à l'emploi est transféré à un silo de stockage à l'aide d'un transporteur à godets. Par la suite il est soit transporté par camion au centre de Doukkarat soit il est broyé sur le site pour la préparation du ciment.

**Le ciment fini** est un mélange de clinker auquel on ajoute du gypse et du calcaire dont les proportions sont variables selon le type de ciment désiré, ce mélange est à nouveau broyé dans un broyeur horizontal à boulet et donne le produit fini de l'usine. Le ciment peut être expédié en vrac ou en sac de 50 kg selon la demande.

Le schéma ci-dessous présente une vue générale du site :

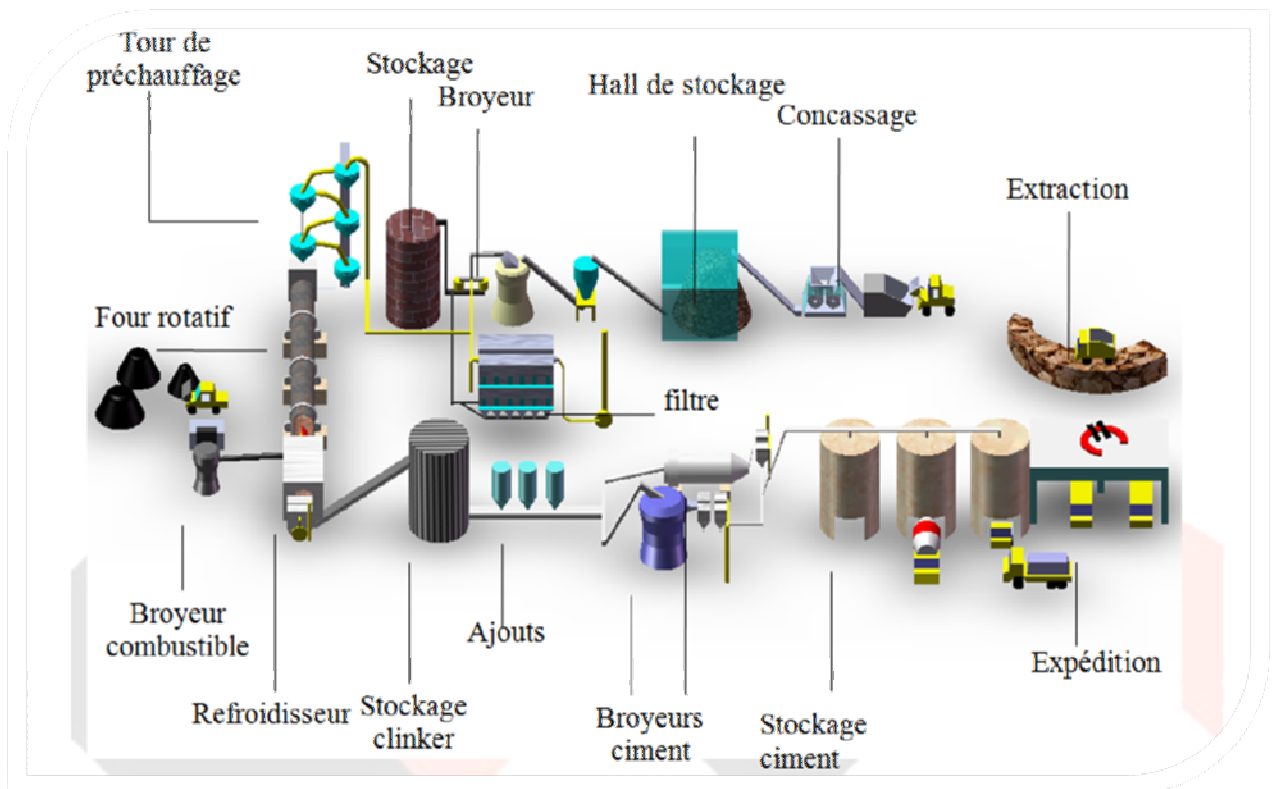


Figure 4 : Vue générale du site

En général, les **différents produits** fabriqués selon la qualité sont :

- **CPI 35** (Ciment Portland Composé) : Produit par toutes les cimenteries. C'est le ciment le plus utilisé au Maroc.
  - **Pourcentage** d'ajouts est de 30 à 35%.
  - Ses domaines d'application sont :
    - Béton courant non armé ;
    - Produits préfabriqués en béton ;
    - Béton de résistance mécanique moyenne ou peu élevé.
  - Ses propriétés spécifiques sont :
    - Excellente ouvrabilité et facilité de mise en œuvre des mortiers ;
    - Durcissement normal ;
    - Bonne résistance.
  
- **CPI45** (Ciment Portland Composé) : Produit par toutes les cimenteries, il s'agit de la meilleure qualité utilisée pour la fabrication du béton prêt à l'emploi.

- **Pourcentage** d'ajouts est de 20 à 25%.
  - Ses domaines d'application préférentiels sont :
    - Béton armé fortement sollicité ;
    - Travaux de grande masse ;
    - Éléments préfabriqués en béton armé.
  - Ses propriétés spécifiques sont :
    - Durcissement normal ;
    - Bonne résistance à court et long terme contre les fissures de surface.
- 
- **CPA 55** (Ciment Portland Artificiel) : Fabriqué par HOLCIM Maroc, CIMAR et ASMAR, il s'agit d'un ciment de haute gamme fabriqué en très faibles quantités.
    - Ses domaines d'application sont :
      - Béton armé à haute performance ;
      - Béton armé fortement sollicité ;
    - Ses propriétés Spécifiques sont :
      - Résistances élevées ;
      - Excellence ouvrabilité ;
      - Durcissement rapide .

## *DEUSIEME PARTIE:*

---

# *LABORATOIRE DE CONTROLE QUALITE*

---

### *I. INTRODUCTION:*

Le laboratoire de contrôle de qualité est le plus important service au sein de l'usine puisqu'il a pour tâche la vérification de la conformité de réalisation des différentes étapes de la production, depuis les matières premières jusqu'au produit fini: le ciment.

<sup>2</sup>Il constitue une auto-évaluation pour le laboratoire de l'entreprise et permet d'y construire une réelle capacité de réaction et d'anticipation afin de rester conforme aux standards en vigueur et aux normes marocaines de production de ciments.

Les cimenteries modernes sont aujourd'hui fortement automatisées, tel est le cas de Holcim - cimenterie de Fès-. Les chimistes postés analysent en permanence les échantillons disposés en différents points de l'unité de production.

De la salle de contrôle, 24 heures sur 24 et 7 jours sur 7, les techniciens supervisent l'ensemble des phases de la production, de la carrière jusqu'à l'ensachage.

C'est pourquoi Holcim Maroc a depuis longtemps mis en place des procédures de contrôle rigoureuses qui lui permettent de garantir la qualité de son produit pour être conforme aux exigences des normes marocaines.

Les différentes analyses effectuées par les chimistes de poste sont comme suit :

- Un contrôle du cru sortie 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 1fois/semaine.

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

## II. LES ANALYSES DU LABORATOIRE DE CONTROLE QUALITE :

### La finesse :

Son objectif est de déterminer la granulométrie des échantillons. À l'aide d'un courant d'air, on crée une différence de pression entre les deux niveaux du tamis. Les passants 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.



### Expression du résultat :

$$\text{Taux de refus (\%)} = \frac{m_2}{m_1} \times 100$$

Avec :

- $m_1$  : poids pesé avant tamisage.
- $m_2$  : poids pesé après tamisage.

L'analyse de finesse nous aide à contrôler l'homogénéisation de l'échantillon et de contrôler aussi le bon fonctionnement des broyeurs et des séparateurs.

### La perte au feu (P.A.F) et le taux de cendre (TC):

La perte au feu est une analyse qui permet de déterminer le taux de constituants qui se volatilisent à 1000°C (essentiellement CO<sub>2</sub> et H<sub>2</sub>O).

Cette analyse est réalisée dans un four à moufle à 1000°C pour une durée minimale de 20 min.

On calcule la perte au feu à l'aide de la formule suivante:

$$PAF \text{ (\%)} = \frac{(m_1 + m_2 - m_3)}{m_2} \times 100$$

Avec:

- m<sub>1</sub> : la masse du creuset en platine vide.
- m<sub>2</sub> : la masse de l'échantillon mesurée.
- m<sub>3</sub> : la masse finale de l'échantillon + la masse de creuset.



Cette analyse nous aide à faire une approximation sur le suivi thermique de la matière dans le procédé et son bon fonctionnement.

Pour les combustibles, on fait la même analyse mais pour le calcul on fait l'inverse, car pour les combustibles on calcule le taux de cendres qui est égale à :

$$TC \text{ (\%)} = \frac{(m_3 - m_1)}{m_2} \times 100$$

### Taux d'humidité :

Le taux d'humidité est déterminé en pesant une quantité de matière, la sécher à l'étuve jusqu'à poids constant et déduire le pourcentage d'eau par la formule :

$$Taux \text{ d'humidité}(\%) = \frac{(m_1 - m_2)}{m_1} \times 100$$

Avec :

- m<sub>1</sub> : masse pesée avant le séchage.
- m<sub>2</sub> : masse pesée après le séchage.

Cette analyse est réalisée généralement sur les matières premières pour savoir leurs degrés d'humidité et déterminer par suite les réactions nécessaires à faire, puisque le procédé de fabrication est par voie sèche.

### Analyse par fluorescence RX :



Spectromètre à Rayon X



C'est une technologie moderne qui facilite la tâche d'exploitation de plusieurs résultats. 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 presseur hydraulique pour former ainsi une pastille qu'on va la mettre en contact avec un rayon X dans un analyseur par fluorescence. Les résultats sont traités automatiquement par l'ordinateur qui nous affiche le pourcentage en chaque constituant.

Les résultats de ces contrôles sont utilisés pour la correction des consignes des doseurs qui sont rectifiées automatiquement par la salle de contrôle et pour suivre la conformité du produit dans tous le procédé.

A l'échelle industrielle, les chimistes de poste se basent sur certaines formules pour contrôler le procédé et faire les corrections convenables. Ces formules sont :

☞ **FSC : Facteur de Saturation en Chaux :**

☞ c'est la teneur en chaux réellement présente par rapport à la chaux standard.

$$FSC = \frac{CaO}{(2.8 \times SiO_2 + 1.18 \times Al_2O_3 + 0.6 \times Fe_2O_3)}$$

☞ **M**  
**S**

**: Module silicique.**

$$MS = \frac{SiO_2}{(Al_2O_3 + Fe_2O_3)}$$

☞ **MAF : Module Alumino-Ferrique.**

$$MAF = \frac{Al_2O_3}{Fe_2O_3}$$

**Essai de 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.

**Essai d'expansion :**

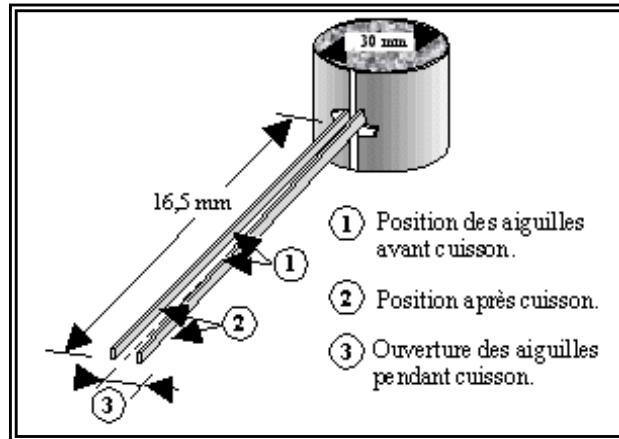
Un essai permet de s'assurer que le ciment ne contient pas de substances susceptibles de provoquer une expansion dangereuse au cours du temps.

On simule l'effet du temps en accélérant les processus de durcissement par une cuisson à 100 °C pendant 2 heures d'une pâte durcie de ciment à consistance normale âgée de 24 heures. Pour mesurer l'expansion, on utilise les aiguilles de Le Châtelier (fig 5). La différence d'ouverture des aiguilles avant et après cuisson doit rester inférieure à 10 mm.

### Ouverture d'aiguille causée par cuisson à 10 mm.

L'essai d'étuvage a été supprimé pour les ciments Portland, car depuis de nombreuses années, il n'y a jamais eu de ciment Portland défectueux selon cet essai. On continue par contre à utiliser ce type d'essai pour contrôler la stabilité de volume des chaux hydrauliques.

Figure 5 : Aiguilles de



Le Châtelier

### Préparation

### des moules :

Ces essais sont effectués sur des moules de mortier préparées selon le mode opératoire suivant :

- Peser directement 225g de l'eau dans un bol du malaxeur séché et nettoyé convenablement.
- Peser 450g de ciment et le verser dans le bol du malaxeur.
- Mettre le malaxeur en marche en mode automatique.
- Après 30s, verser en haut du bol 1350g de sable normalisé.
- Après l'arrêt automatique du malaxeur, raclez les parois et le fond du bol et verser le contenu du bol sur une plaque inoxydable puis former une patte rectangulaire.
- Fixer le moule sur la table à choc, introduire une partie du mélange puis faire démarrer la machine à 60choc/min. Après l'arrêt automatique de la machine, verser le deuxième contenu sur le premier puis raclez par une raclette. Mettre une deuxième fois la machine à choc en marche. Une fois la machine arrêtée, on fait raser les moules à l'aide d'une règle métallique et on les conserve dans l'armoire humide pendant 24h.



Après 24h, on fait sortir les moules de l'armoire et on les démoule puis on remet les éprouvettes dans l'armoire pour les essais de flexion et de compression à 2j, 7j, 28j.

### Essai de rupture par flexion :

L'essai de flexion permet de déterminer la contrainte de rupture à la traction par flexion des liants hydrauliques.

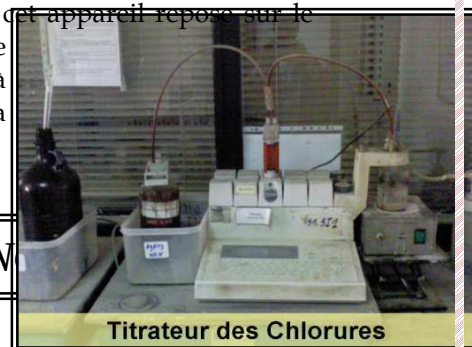
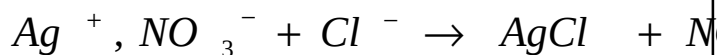
### Essai de rupture par compression :

Il permet de déterminer la contrainte de rupture à la compression des liants hydrauliques.



## Détermination de la teneur en chlorure :

La teneur en chlorure est réalisée par un titrateur. 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 précipiter les chlorures sous forme de chlorure d'argent selon la réaction suivante :



## Détermination du PCS et PCI :

☆ **PCS** : Pouvoir calorifique supérieur : c'est la quantité exprimée en calories par gramme dégagée par combustion. L'eau produite étant entièrement condensée et les autres produits de la combustion ramenés à la température fixée à 25 °C.

☆ **PCI** : Pouvoir calorifique inférieur : c'est la quantité de chaleur exprimée en calories par gramme dégagée par combustion, les produits de cette combustion étant ramenés excepté l'eau à la température initiale fixée à 25°C.

A l'aide du calorimètre, on détermine le PCS des combustibles solides et liquides.

Le PCI est déduit du PCS par calcul en appliquant les formules suivantes:

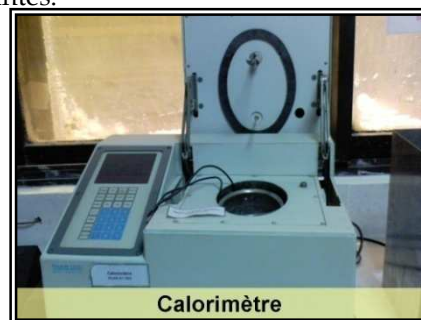
$$PCI = PCS - (54H \times 6H_2O)$$

Avec :

- $H$  : la teneur en hydrogène ( $H = 4$  pour le charbon et pneus).
- $H_2O$  : la teneur en humidité totale.

En général, pour le charbon et la coke, la relation précédente devient :

$$PCI = PCS - 220$$



## Détermination de la teneur en soufre :

Généralement cette analyse est appliquée sur les combustibles car ils sont les plus riches en soufre.

Le combustible est brûlé dans une bombe contenant de l'oxygène sous pression. Le soufre contenu dans les eaux de rinçage est dosé, puis filtré et séché.

Cette analyse nous permet de déterminer le taux de soufre que nous allons introduire à notre procédé, car le soufre est un élément nuisible aussi bien pour le procédé que pour le produit.

*TROISIEME PARTIE:*

---

*PARTIE*  
*EXPERIMENTALE*

---

## ***I. INTRODUCTION :***

Le contrôle qualité de la qualité du ciment dépend de la résistance et de la pérennité des ouvrages.

Le ciment répond à des normes Marocaines, voir Internationales très sévères sur lesquelles les cimenteries s'engagent. C'est pourquoi HOLCIM a depuis longtemps mis en place des procédures de contrôle rigoureuses qui lui permettent de garantir la qualité du produit.

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.

Vu que le système de broyage à ciment est la dernière étape avant l'obtention du produit fini en question : le ciment; je me suis intéressé au contrôle de la fiabilité des doseurs d'ajouts, c'est-à-dire un contrôle basé sur la composition chimique des entrées (Clinker, et ajouts: Gypse, Calcaire, Pouzzolane, Cendres Volants) et des sorties: ciment.

Mon travail consiste à réaliser des prélèvements du CK, des ajouts et le ciment correspondant, pour pouvoir les analysées par la suite et déterminer ainsi le % des entrées (CK et Ajout) réalisé, et les comparées au % donné par la consigne, vérifiant ainsi si le doseur avait administré le pourcentage visé ou pas.

## ***II. LES AJOUTS UTILISES A L'UNITE DE RAS EL MA :***

Les ajouts cimentaires sont des matériaux présentant une granulométrie très fine que l'on incorpore le plus souvent au ciment Portland et donnent ses propriétés au ciment, grâce à une activité hydraulique et/ou pouzzolanique.

Les ajouts permettent soit d'améliorer les caractéristiques du ciment ou de lui conférer des propriétés spécifiques.

Contrairement aux adjuvants, les ajouts doivent être pris en compte dans le calcul de la Composition du ciment. Des ajouts, tels que les cendres volantes le laitier granulé de haut fourneau (LGHF) et les fumées de silice, les fillers etc., entrent dans la majorité des compositions du ciment dans le but d'améliorer ses caractéristiques rhéologiques et/ou mécaniques. On obtient ainsi un liant de composition binaire voire tertiaire.

Le tableau suivant nous montre les constituants des ciments courants avec leurs notations conventionnelles.

| Constituant                   | Notation | Constituant                      | Notation |
|-------------------------------|----------|----------------------------------|----------|
| Clinker                       | K        | Pouzzolanes industrielles        | Q        |
| Laitier granulé haut fourneau | S        | Cendres volantes Calciques       | W        |
| Fumée de silice               | D        | Schistes calcinés                | T        |
| Pouzzolanes naturelles        | Z        | Calcaire                         | L        |
| Cendres volantes siliceuse    | V        | Fillers(constituants secondaire) | F        |

Tableau 2 : notation des constituants

Du fait que le %CK= 100 - (% ajouts) ne figure pas dans ce tableau qui présente les ajouts admis dans les 5 types de ciments courants.

|                                | S   | D   | Z   | V,W | Q   | T   | L   | F   |
|--------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| <b>Ciment Portland</b>         |     |     |     |     |     |     |     | Oui |
| <b>Ciment Portland composé</b> | Oui | Oui | Oui | Oui | Oui | Oui | Oui |     |
| <b>Ciment de haut fourneau</b> | Oui |     |     |     |     |     |     | Oui |
| <b>Ciment pouzzolanique</b>    |     | Oui | Oui | Oui | Oui |     |     |     |
| <b>Ciment composé</b>          | Oui |     | Oui | Oui | Oui |     |     |     |

Tableau 3 : les constituants admis dans différentes types de ciments

## Les différents types d'ajouts :

### a. Pouzzolane :

Les pouzzolanes sont exploitées pour la production des ciments composés. Ce sont des matériaux naturels ou artificiels riches en silice et en alumine capables de réagir avec la chaux en présence de l'eau et de former à l'issue de cette réaction des produits manifestant des propriétés liantes.

☑ *Pouzzolane naturelle* : qui est un matériau d'origine naturelle qui peut avoir été calcinées dans un four ou transformées. La variété les plus utilisées comprennent l'argile calcinée, le schiste calcinées et le métakoalin.

☑ *Pouzzolane artificielle* : se sont toute matière essentiellement composés de silice, d'alumine et d'oxyde de fer ayant subi un traitement thermique pour lui assurer des propriétés pouzzolaniques à savoir : le renforcement de la résistance aux attaques chimiques et la durabilité, la réduction des réactions alcalins agrégats et du retrait au séchage.

### b. Le calcaire:

Le carbonate de calcium (CaCO<sub>3</sub>) est très répandu dans la nature. Le calcaire possède une structure microgranulée. Plus le calcaire est blanc plus il est pur. Le calcaire renferme souvent des substances argileuses et des composés de fer.

Les dépôts de calcaire abondent presque partout dans le monde. Les roches calcaires représentent 20 % des roches sédimentaires; et il est extrait à ciel ouvert.

### ***Le gypse :***

Le gypse est un minéral composé de sulfate hydraté de calcium de formule  $\text{CaSO}_4 \cdot 2(\text{H}_2\text{O})$  ainsi qu'une roche évaporitique. Le nom vient du latin gypsum, emprunté au grec gypsos, de même sens. Le gypse est un minéral très commun des séries sédimentaires et peut former des roches mono minérales (régulateur de prise)

### ***Les cendres volantes :***

Lors de sa combustion dans les centrales thermiques, le charbon pulvérisé passe à travers une zone de très haute température dans le four. Les composants volatiles et le carbone sont brûlés, tandis que les impuretés minérales tel que l'argile, le quartz et les feldspaths passent en fusion.

Les produits en fusion sont rapidement entraînés vers la zone froide où ils se solidifient en de petites sphères de verre. La majorité de ces sphères sont emportées par le courant gazeux vers l'extérieur. Ces cendres sont récupérées dans un précipitateur électrostatique.

Les cendres volantes peuvent avoir différentes compositions chimiques et phasiques dépendant des impuretés contenues dans le charbon utilisé.

Du point de vue minéralogique les cendres volantes se divisent en deux catégories, qui diffèrent l'une de l'autre par leur teneur en CaO (l'une contenant moins de 10% de CaO produit de la combustion de l'anthracite et du charbon bitumineux, l'autre contenant entre 15 % et 35% de CaO produit de la combustion de la lignite).

## ***III. LES RESULTATS D'ANALYSE DES AJOUTS :***

Après échantillonnage des entrées, on les sèche à l'étuve afin de pouvoir déterminer le taux d'humidité, ensuite on sur broie l'échantillon sèche dans un sur broyeur permettant ainsi d'avoir la granulométrie nécessaire a l'analyse au FRX .

Le spectromètre nous donne les résultats suivants :

### **Pouzzolane :**

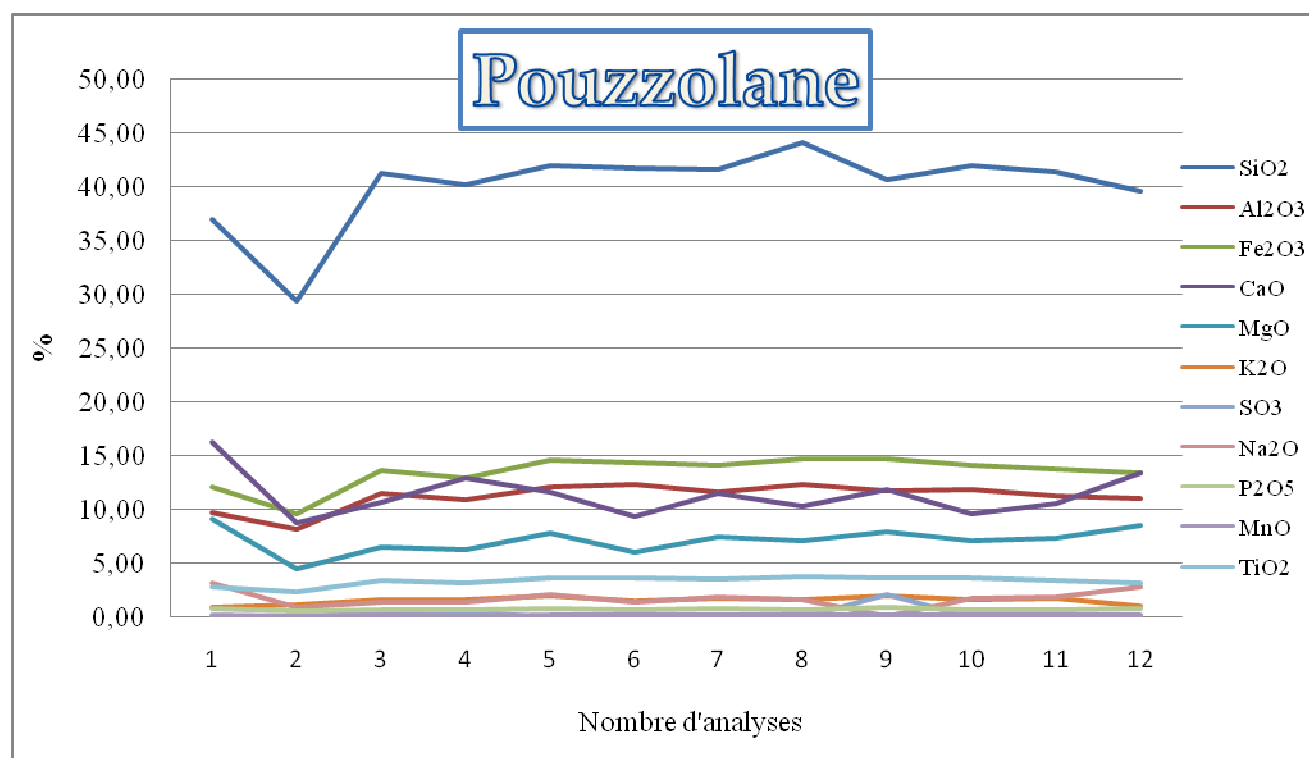
|          | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO   | MgO  | K <sub>2</sub> O | SO <sub>3</sub> | Na <sub>2</sub> O | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | MnO  | TiO <sub>2</sub> |
|----------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|------|------------------|-----------------|-------------------|-------------------------------|------|------------------|
| <b>1</b> | 36,96            | 9,74                           | 12,10                          | 16,33 | 9,14 | 1,00             | 0,06            | 3,19              | 0,91                          | 0,20 | 2,91             |



|    |       |       |       |       |      |      |      |      |      |      |      |
|----|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|
| 2  | 29,34 | 8,21  | 9,59  | 8,74  | 4,57 | 1,20 | 0,09 | 1,04 | 0,57 | 0,15 | 2,42 |
| 3  | 41,20 | 11,52 | 13,66 | 10,62 | 6,53 | 1,65 | 0,64 | 1,42 | 0,73 | 0,22 | 3,44 |
| 4  | 40,13 | 10,89 | 12,86 | 12,95 | 6,38 | 1,66 | 0,60 | 1,46 | 0,75 | 0,19 | 3,20 |
| 5  | 41,90 | 12,10 | 14,60 | 11,60 | 7,82 | 1,96 | 0,09 | 2,14 | 0,92 | 0,24 | 3,67 |
| 6  | 41,67 | 12,27 | 14,33 | 9,39  | 6,15 | 1,54 | 0,17 | 1,44 | 0,73 | 0,22 | 3,65 |
| 7  | 41,60 | 11,68 | 14,15 | 11,52 | 7,51 | 1,77 | 0,12 | 1,92 | 0,84 | 0,23 | 3,58 |
| 8  | 44,06 | 12,32 | 14,69 | 10,28 | 7,14 | 1,69 | 0,05 | 1,67 | 0,76 | 0,23 | 3,76 |
| 10 | 40,61 | 11,78 | 14,70 | 11,84 | 7,93 | 1,94 | 2,09 | 0,17 | 1,00 | 0,23 | 3,63 |
| 12 | 41,94 | 11,87 | 14,14 | 9,55  | 7,13 | 1,69 | 0,04 | 1,82 | 0,73 | 0,22 | 3,62 |
| 13 | 41,30 | 11,31 | 13,69 | 10,60 | 7,36 | 1,74 | 0,05 | 1,94 | 0,73 | 0,21 | 3,44 |
| 14 | 39,61 | 11,06 | 13,42 | 13,40 | 8,52 | 1,09 | 0,21 | 2,89 | 0,89 | 0,22 | 3,23 |

Tableau 4 : résultats d'analyses au FRX de la pouzzolane

Graphique :



Interprétation :

Concernant la pouzzolane on peut conclure d'après le graphe qu'il est de teneur importante en SiO<sub>2</sub>. Donc son indicateur est **la Silice**.

**Calcaire :**

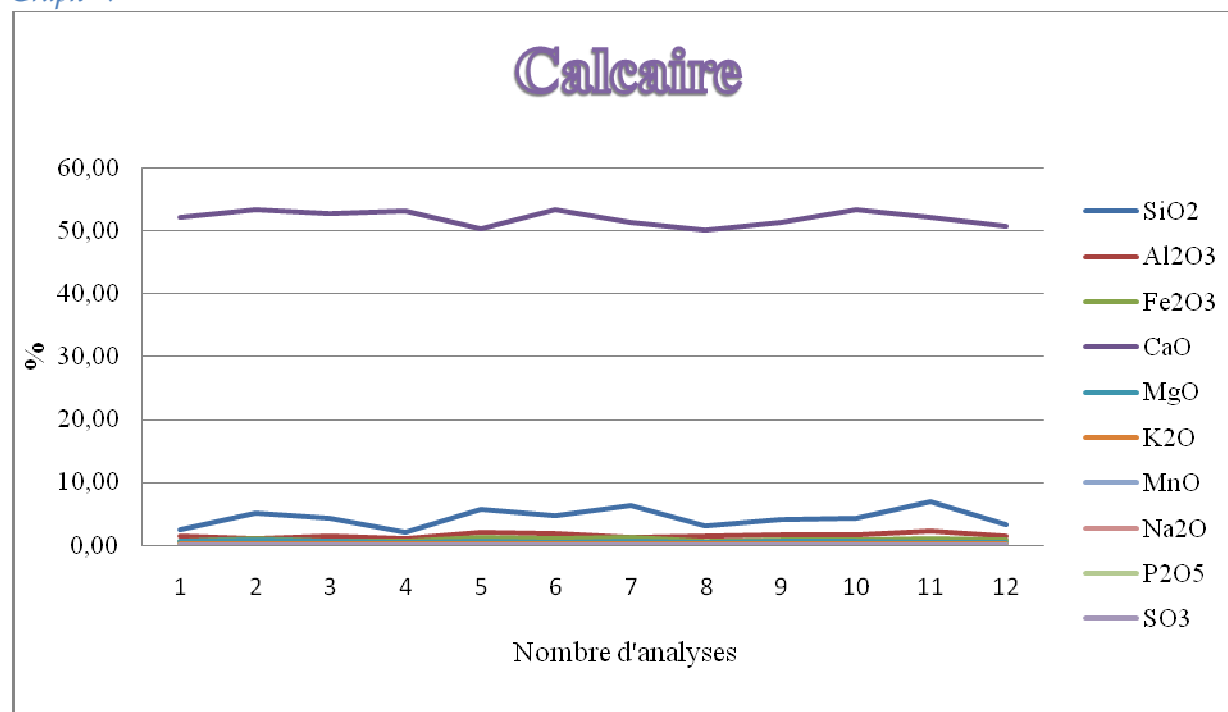
|   | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO   | MgO  | K <sub>2</sub> O | MnO  | Na <sub>2</sub> O | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | SO <sub>3</sub> |
|---|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|------|------------------|------|-------------------|-------------------------------|-----------------|
| 1 | 2,48             | 1,31                           | 0,72                           | 52,01 | 0,64 | 0,18             | 0,01 | 0,01              | 0,03                          | 0,04            |



|    |      |      |      |       |      |      |      |      |      |      |
|----|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|------|
| 2  | 5,17 | 0,93 | 1,10 | 53,20 | 0,89 | 0,28 | 0,01 | 0,00 | 0,03 | 0,00 |
| 3  | 4,21 | 1,49 | 0,73 | 52,70 | 0,62 | 0,22 | 0,01 | 0,00 | 0,02 | 0,00 |
| 4  | 2,08 | 0,96 | 0,67 | 53,15 | 0,52 | 0,12 | 0,00 | 0,00 | 0,02 | 0,00 |
| 5  | 5,75 | 2,04 | 1,24 | 50,33 | 0,72 | 0,27 | 0,02 | 0,00 | 0,03 | 0,00 |
| 6  | 4,59 | 1,77 | 1,03 | 53,27 | 0,44 | 0,23 | 0,02 | 0,00 | 0,03 | 0,02 |
| 7  | 6,37 | 1,20 | 1,30 | 51,26 | 0,59 | 0,30 | 0,02 | 0,00 | 0,05 | 0,02 |
| 8  | 3,09 | 1,46 | 0,67 | 50,13 | 0,39 | 0,17 | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,00 |
| 9  | 4,04 | 1,61 | 0,93 | 51,34 | 0,54 | 0,22 | 0,02 | 0,00 | 0,03 | 0,00 |
| 10 | 4,31 | 1,53 | 0,93 | 53,28 | 0,54 | 0,20 | 0,02 | 0,00 | 0,03 | 0,00 |
| 11 | 6,90 | 2,28 | 1,17 | 52,11 | 0,47 | 0,29 | 0,04 | 0,02 | 0,03 | 0,01 |
| 12 | 3,33 | 1,42 | 0,87 | 50,80 | 0,42 | 0,19 | 0,02 | 0,01 | 0,03 | 0,03 |

Tableau 5 : résultats d'analyses au FRX du calcaire

Graph :



Interprétation :

Concernant le calcaire on peut conclure d'après le graphe qu'il est de teneur importante en CaO.  
Donc son indicateur est **la Chaux**.

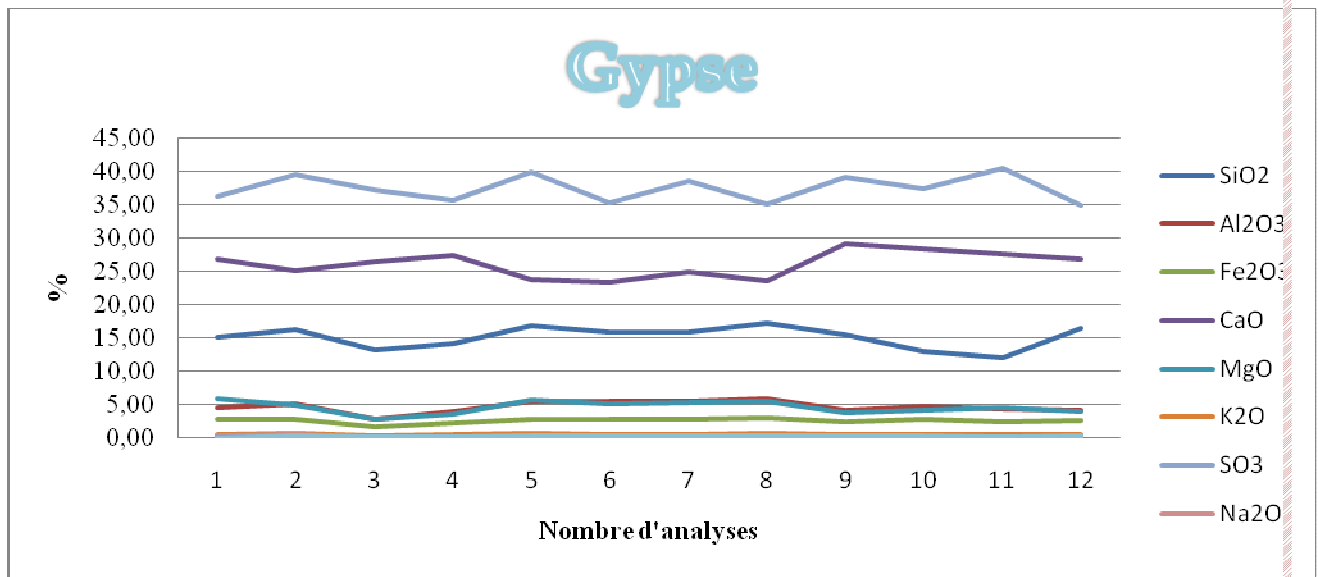
**Gypse :**

|   | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO   | MgO  | K <sub>2</sub> O | SO <sub>3</sub> | Na <sub>2</sub> O | MnO  | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | TiO <sub>2</sub> |
|---|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|------|------------------|-----------------|-------------------|------|-------------------------------|------------------|
| 1 | 15,12            | 4,58                           | 2,92                           | 26,96 | 6,02 | 0,54             | 33,22           | 0,44              | 0,04 | 0,30                          | 0,04             |
| 2 | 17,28            | 5,10                           | 2,86                           | 25,12 | 5,04 | 0,63             | 32,59           | 0,60              | 0,03 | 0,04                          | 0,35             |
| 3 | 11,27            | 2,92                           | 1,67                           | 26,54 | 2,88 | 0,37             | 37,19           | 0,18              | 0,02 | 0,02                          | 0,20             |
| 4 | 14,17            | 4,06                           | 2,37                           | 27,49 | 3,62 | 0,57             | 33,74           | 0,27              | 0,03 | 0,03                          | 0,28             |

|    |       |      |      |       |      |      |       |      |      |      |      |
|----|-------|------|------|-------|------|------|-------|------|------|------|------|
| 5  | 19,84 | 5,54 | 2,94 | 23,82 | 5,85 | 0,71 | 32,91 | 0,37 | 0,03 | 0,05 | 0,38 |
| 6  | 18,89 | 5,45 | 2,93 | 23,42 | 5,16 | 0,62 | 33,32 | 0,17 | 0,03 | 0,39 | 0,37 |
| 7  | 18,99 | 5,44 | 2,84 | 25,03 | 5,37 | 0,62 | 34,65 | 0,23 | 0,03 | 0,04 | 0,38 |
| 8  | 20,22 | 5,87 | 3,12 | 23,54 | 5,65 | 0,65 | 34,08 | 0,22 | 0,03 | 0,04 | 0,42 |
| 9  | 15,55 | 4,30 | 2,53 | 29,27 | 3,80 | 0,55 | 33,24 | 0,34 | 0,03 | 0,06 | 0,34 |
| 10 | 18,03 | 4,71 | 2,85 | 28,45 | 4,31 | 0,57 | 34,50 | 0,26 | 0,03 | 0,07 | 0,39 |
| 11 | 17,16 | 4,48 | 2,56 | 27,67 | 4,63 | 0,54 | 40,51 | 0,26 | 0,03 | 0,04 | 0,31 |
| 12 | 16,47 | 4,15 | 2,69 | 26,95 | 4,15 | 0,49 | 34,95 | 0,27 | 0,03 | 0,05 | 0,35 |

Tableau 6 : résultats d'analyses au FRX du gypse

Graph :



Interprétation :

D'après le graph, nous observons une fluctuation de la teneur en MgO, de même pour le CaO, mais la teneur la plus importante et celle en SO<sub>3</sub>, ce qui fait du **Soufre** l'indicateur du gypse.

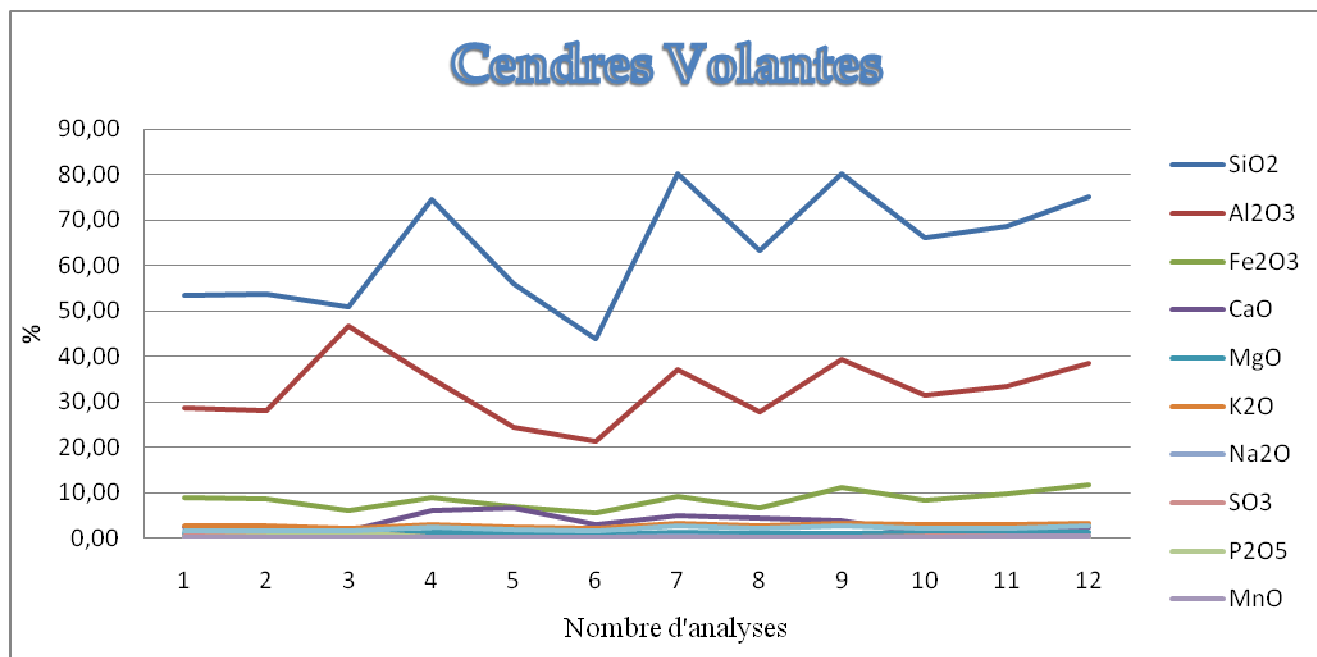
## Les Cendres Volantes

|   | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO  | MgO  | K <sub>2</sub> O | Na <sub>2</sub> O | SO <sub>3</sub> | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | MnO  | TiO <sub>2</sub> |
|---|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|------|------------------|-------------------|-----------------|-------------------------------|------|------------------|
| 1 | 53,35            | 28,53                          | 8,86                           | 2,46 | 1,09 | 2,65             | 0,35              | 0,43            | 0,12                          | 0,04 | 1,71             |
| 2 | 53,57            | 28,01                          | 8,76                           | 1,98 | 1,29 | 2,68             | 0,52              | 0,61            | 0,37                          | 0,03 | 1,73             |
| 3 | 50,80            | 46,57                          | 6,31                           | 1,65 | 0,79 | 2,03             | 0,18              | 1,40            | 1,40                          | 0,03 | 1,66             |
| 4 | 74,55            | 35,08                          | 9,07                           | 6,20 | 1,26 | 2,92             | 0,22              | 0,08            | 0,04                          | 0,04 | 2,45             |
| 5 | 55,89            | 24,44                          | 7,08                           | 6,67 | 1,23 | 2,27             | -0,16             | 0,23            | 0,04                          | 0,04 | 1,77             |
| 6 | 43,84            | 21,30                          | 5,61                           | 2,95 | 0,77 | 2,00             | 0,17              | 0,16            | 0,07                          | 0,02 | 1,60             |
| 7 | 80,13            | 37,04                          | 9,11                           | 4,97 | 1,35 | 3,25             | 0,45              | 0,07            | 0,15                          | 0,15 | 2,76             |
| 8 | 63,35            | 27,75                          | 6,65                           | 4,30 | 1,07 | 2,65             | 0,12              | 0,08            | 0,04                          | 0,04 | 2,06             |
| 9 | 80,17            | 39,35                          | 11,19                          | 3,88 | 1,21 | 3,19             | 0,08              | 0,21            | 0,15                          | 0,04 | 2,79             |

|    |       |       |       |      |      |      |      |      |      |      |      |
|----|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 10 | 66,11 | 31,32 | 8,42  | 1,05 | 1,24 | 2,80 | 0,08 | 0,24 | 0,15 | 0,05 | 2,14 |
| 11 | 68,52 | 33,38 | 9,93  | 1,55 | 1,32 | 2,86 | 0,07 | 0,35 | 0,15 | 0,17 | 2,31 |
| 12 | 75,00 | 38,29 | 11,74 | 2,59 | 1,37 | 3,17 | 0,07 | 0,33 | 0,03 | 0,32 | 2,76 |

Tableau 7 : résultats d'analyses au FRX des cendres volantes

Graph :



Interprétation :

Les cendres volantes vont avec la pouzzolane, ils ont le même indicateur qui est la **Silice**.

## IV. LE PRODUIT FINI : LE CIMENT :

### FABRICATION DU CIMENT (Décris précédemment)

#### Résultats d'analyse du ciment :

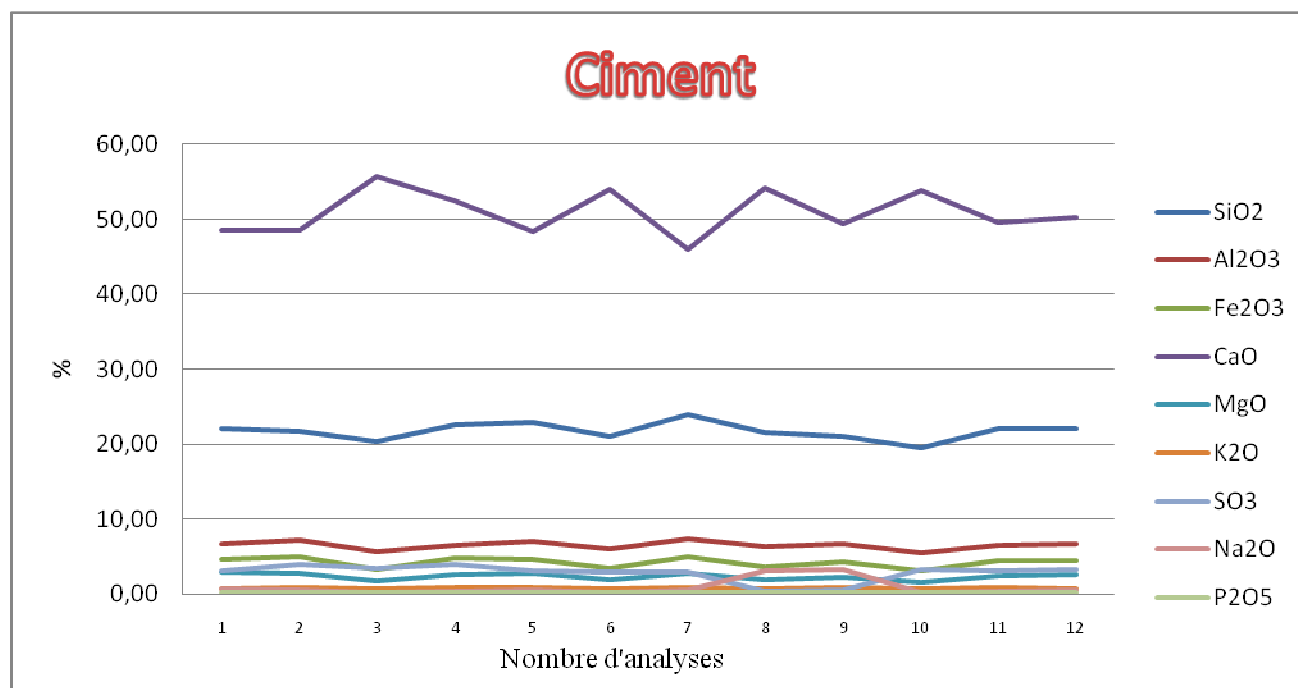
Le tableau suivant présente les résultats d'analyse effectué sur les ciments :

|   | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO   | MgO  | K <sub>2</sub> O | SO <sub>3</sub> | Na <sub>2</sub> O | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> |
|---|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|------|------------------|-----------------|-------------------|-------------------------------|
| 1 | 22,05            | 6,66                           | 4,62                           | 48,57 | 2,93 | 0,66             | 2,98            | 0,73              | 0,26                          |
| 2 | 21,68            | 7,15                           | 4,95                           | 48,55 | 2,76 | 0,77             | 3,90            | 0,49              | 0,24                          |
| 3 | 20,25            | 5,67                           | 3,19                           | 55,75 | 1,86 | 0,62             | 3,33            | 0,23              | 0,11                          |
| 4 | 22,45            | 6,52                           | 4,78                           | 52,44 | 2,53 | 0,82             | 3,93            | 0,47              | 0,23                          |
| 5 | 22,90            | 7,02                           | 4,68                           | 48,32 | 2,70 | 0,78             | 3,10            | 0,51              | 0,21                          |
| 6 | 20,98            | 5,97                           | 3,42                           | 54,01 | 1,95 | 0,63             | 2,91            | 0,31              | 0,13                          |
| 7 | 23,87            | 7,34                           | 5,01                           | 45,97 | 2,76 | 0,78             | 2,87            | 0,53              | 0,24                          |
| 8 | 21,53            | 6,22                           | 3,61                           | 54,23 | 1,99 | 0,64             | 0,29            | 3,10              | 0,14                          |
| 9 | 20,98            | 6,62                           | 4,32                           | 49,32 | 2,26 | 0,89             | 0,42            | 3,28              | 0,22                          |

|    |       |      |      |       |      |      |      |      |      |
|----|-------|------|------|-------|------|------|------|------|------|
| 10 | 19,48 | 5,44 | 3,09 | 53,79 | 1,63 | 0,63 | 3,23 | 0,24 | 0,11 |
| 11 | 22,02 | 6,55 | 4,42 | 49,59 | 2,38 | 0,77 | 3,03 | 0,44 | 0,20 |
| 12 | 22,02 | 6,60 | 4,48 | 50,25 | 2,67 | 0,69 | 3,26 | 0,62 | 0,23 |

Tableau 8 : résultats d'analyses au FRX du ciment

Graph :



## V. INTERPRETATIONS :

Le doseur est un dispositif, utilisé pour l'introduction non seulement des matières d'ajouts mais aussi les matières premières, au dessous duquel il existe un alimentateur à tablier métallique, ce dernier animé par un moteur qui nous permet de régler la vitesse ainsi le débit pour pouvoir introduire la masse nécessaire visée.

Donc pour contrôler sa fiabilité on s'est intéressé aux analyses des différents constituants des entrées et sorties qui nous a permis de réaliser une étude statistique, à l'aide de laquelle on détermine l'écart entre la moyenne calculée des constituants apportés par les ajouts et les constituants du produit fini.

Les tableaux suivants nous présentent la composition en pourcentage des matières entrant dans la composition du ciment, permettant ainsi de calculer la moyenne de chaque constituant en fonction du réalisé, cette moyenne est comparée au résultat de la CPJ correspondant analysé.

Cette comparaison est faite par le calcul de l'écart entre la moyenne calculée des constituants et celle du ciment, pour pouvoir déterminer l'écart en pourcentage ( % ) afin d'avoir des valeurs comparables.

En bas des tableaux nous trouvons les consignes :

☆ **Consigne (%)** : c'est le pourcentage visé, il est sous forme humide c'est-à-dire que c'est le pourcentage de la matière + le taux d'humidité.

☆ **Consigne sur sec (%)** : c'est la consigne humide - le taux d'humidité

☆ **Réalisé sur sec (%)** : c'est le pourcentage administré par les doseurs.

La partie des pourcentages réalisés est indiquée par l'apport des indicateurs de chaque matière, c'est-à-dire qu'ils sont calculés depuis le ciment réalisé.

## Cas Normal :



FES  
Sce contrôle qualité

### DETERMINATION DES AJOUTS

Ciment : **CPJ45** 10h-12h

| 4-mai-11                 | SiO <sub>2</sub><br>% | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub><br>% | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub><br>% | CaO<br>% | MgO<br>% | SO <sub>3</sub><br>% | K <sub>2</sub> O<br>% | Na <sub>2</sub> O<br>% | PAF 500<br>% | PAF 1000<br>% | H <sub>2</sub> O<br>% |
|--------------------------|-----------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|----------|----------|----------------------|-----------------------|------------------------|--------------|---------------|-----------------------|
| Clinker                  | 20,66                 | 5,03                                | 2,85                                | 66,55    | 1,41     | 0,31                 | 0,41                  | 0,23                   |              | 0,39          | 0,00                  |
| Calcaire                 | 2,28                  | 0,82                                | 1,10                                | 52,23    | 9,45     | 0,04                 | 0,14                  | 0,00                   |              | 44,24         | 5,00                  |
| Pouzzolane               | 39,42                 | 12,34                               | 9,59                                | 13,76    | 10,92    | 0,06                 | 1,20                  | 1,04                   |              | 4,81          | 9,00                  |
| Cendre                   | 35,56                 | 12,53                               | 8,76                                | 1,98     | 1,29     | 0,61                 | 2,68                  | 0,52                   |              | 6,22          | 2,00                  |
| Gypse                    | 12,28                 | 5,10                                | 5,45                                | 30,56    | 5,04     | 40,18                | 0,63                  | 0,60                   |              | 21,38         | 9,00                  |
| Moyenne calculé          | 23,88                 | 6,80                                | 4,73                                | 48,03    | 4,11     | 3,27                 | 0,72                  | 0,43                   |              | 5,65          | 2,96                  |
| CPJ 45 analysé           | 21,68                 | 6,15                                | 4,95                                | 52,30    | 3,49     | 2,62                 | 0,67                  | 0,49                   | 3,46         | 5,50          | -                     |
| Ecart calc / analysé     | 2,20                  | 0,65                                | -0,22                               | -4,27    | 0,62     | 0,65                 | 0,05                  | -0,06                  |              | 0,15          |                       |
| Ecart calc / analysé (%) | 0,10                  | 0,11                                | 0,04                                | 0,08     | 0,18     | 0,25                 | 0,07                  | 0,12                   |              | 0,03          |                       |

Moyenne Ecart 0,08

| Consigne ( % ) |      |     |    |       | Consigne sur sec (%) |       |      |      |       |       | Réalisé sur sec (%) |       |      |      |       |       |
|----------------|------|-----|----|-------|----------------------|-------|------|------|-------|-------|---------------------|-------|------|------|-------|-------|
| Cal            | Pz   | Gyp | CV | Clk   | Cal                  | Pz    | Gyp  | CV   | Clk   | Total | Cal                 | Pz    | Gyp  | CV   | Clk   | Total |
| 5,6            | 22,4 | 8   | 6  | 58,00 | 5,32                 | 20,38 | 7,28 | 5,88 | 58,00 | 96,86 | 5,45                | 21,00 | 7,55 | 6,10 | 59,90 | 100   |
|                |      |     |    |       | 5,49                 | 21,04 | 7,52 | 6,07 | 59,88 | 100   |                     |       |      |      |       |       |

|                         |       |       |      |      |
|-------------------------|-------|-------|------|------|
| Ecart consi / reali     | -0,04 | -0,04 | 0,03 | 0,03 |
| Ecart consi / reali (%) | 0,77  | 0,21  | 0,45 | 0,49 |

## Interprétations :

Dans notre cas, l'écart entre la consigne sur sec en jaune et le réalisé est inférieur à 1%, ce qui signifie que les doseurs ont administrés a peu près les pourcentages visés.

## Détection d'une dérive :



### DETERMINATION DES AJOUTS

Ciment : **CPJ45** de 10 à 12h

| 5-mai-11                 | SiO2<br>% | Al2O3<br>% | Fe2O3<br>% | CaO<br>% | MgO<br>% | SO3<br>% | K2O<br>% | Na2O<br>% | PAF 500<br>% | PAF 1000<br>% | H2O   |
|--------------------------|-----------|------------|------------|----------|----------|----------|----------|-----------|--------------|---------------|-------|
| Clinker                  | 20,57     | 5,59       | 3,01       | 65,17    | 1,28     | 1,85     | 0,55     | 0,21      |              | 0,38          | 0,00  |
| Calcaire                 | 2,48      | 1,31       | 0,72       | 52,01    | 0,64     | 0,26     | 0,18     | -0,01     |              | 41,87         | 6,00  |
| Pouzzolane               | 36,96     | 9,74       | 12,10      | 16,33    | 9,14     | 0,06     | 1,00     | 3,19      |              | 6,97          | 11,00 |
| Cendre                   | 53,35     | 28,53      | 8,86       | 2,46     | 1,09     | 0,43     | 2,65     | 0,35      |              | 9,37          | 0,55  |
| Gypse                    | 15,08     | 4,57       | 2,91       | 26,89    | 6,00     | 35,12    | 0,54     | 0,44      |              | 19,27         | 12,00 |
| Moyenne calculé          | 24,01     | 7,16       | 4,96       | 49,55    | 3,10     | 3,43     | 0,71     | 0,81      |              | 5,45          | 3,28  |
| CPJ 45 analysé           | 24,09     | 7,07       | 4,90       | 51,53    | 3,11     | 3,44     | 0,70     | 0,77      | 5,00         | 4,80          | -     |
| Ecart calc / analysé     | -0,08     | 0,09       | 0,06       | -1,98    | -0,01    | -0,01    | 0,01     | 0,04      |              | 0,65          |       |
| Ecart calc / analysé (%) | 0,00      | 0,01       | 0,01       | 0,04     | 0,00     | 0,00     | 0,02     | 0,05      |              | 0,14          |       |

Moyenne Ecart : 0,02

| Consigne sur humide( % ) |      |     |     |       | Consigne sur sec (%) |       |      |      |       |       | Réalisé sur sec (%) |       |      |      |       |       |
|--------------------------|------|-----|-----|-------|----------------------|-------|------|------|-------|-------|---------------------|-------|------|------|-------|-------|
| Cal                      | Pz   | Gyp | CV  | Clk   | Cal                  | Pz    | Gyp  | CV   | Clk   | Total | Cal                 | Pz    | Gyp  | CV   | Clk   | Total |
| 5,4                      | 21,6 | 7   | 4,4 | 61,60 | 5,08                 | 19,22 | 6,16 | 4,38 | 61,60 | 96,44 | 5,24                | 19,88 | 6,25 | 4,50 | 64,13 | 100   |
|                          |      |     |     |       | 5,26                 | 19,93 | 6,39 | 4,54 | 63,88 | 100   |                     |       |      |      |       |       |

|                         |       |       |       |       |
|-------------------------|-------|-------|-------|-------|
| Ecart consi / reali     | -0,02 | -0,05 | -0,14 | -0,04 |
| Ecart consi / reali (%) | -0,45 | -0,27 | -2,20 | -0,83 |

< 1%

Intervention sur doseur gypse : réajustement

## Interprétations :

Dans ce cas on a détecté et confirmé une dérive du pourcentage du gypse réalisé ce qui entraîne une dérive dans les proportions des constituants apportés par le gypse avec un excès de 2%, c'est-à-dire que le ciment correspondant aura aussi cette dérive du même pourcentage.

Une fois confirmé, la dérive est signalée par le laboratoire de contrôle de qualité, ce qui engendre **un arrêt immédiat du système** pour ne pas avoir un produit fini hors normes ce qui peut nuire à l'image de marque de Qualité de la société.

Pour corriger cette dérive un tarage est effectué.

**Le tarage** : est une vérification au niveau du moteur de l'alimentateur à tablier métallique du doseur.

Les électriciens tarent la masse introduite par l'alimentateur pour pouvoir réajuster le débit, obtenant ainsi la vitesse nécessaire pour introduire les Pourcentages visés.

## Vérification après réajustement :



FES  
Sce contrôle qualité

### DETERMINATION DES AJOUTS

Ciment : **CPJ45** 10h-12h

| 6-mai-11                 | SiO <sub>2</sub><br>% | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub><br>% | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub><br>% | CaO<br>% | MgO<br>% | SO <sub>3</sub><br>% | K <sub>2</sub> O<br>% | Na <sub>2</sub> O<br>% | PAF 500<br>% | PAF 1000<br>% | H <sub>2</sub> O |
|--------------------------|-----------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|----------|----------|----------------------|-----------------------|------------------------|--------------|---------------|------------------|
| Clinker                  | 20,75                 | 5,20                                | 2,96                                | 65,95    | 1,44     | 1,36                 | 0,35                  | 0,20                   |              | 0,35          | 0,00             |
| Calcaire                 | 4,21                  | 1,49                                | 0,73                                | 52,70    | 0,62     | 0,92                 | 0,22                  | 0,00                   |              | 41,43         | 6,50             |
| Pouzzolane               | 41,20                 | 10,52                               | 13,66                               | 10,62    | 6,53     | 0,64                 | 1,65                  | 1,42                   |              | 7,86          | 14,50            |
| Cendre                   | 50,80                 | 41,57                               | 6,31                                | 1,65     | 0,79     | 1,40                 | 2,03                  | 0,18                   |              | 9,37          | 0,50             |
| Gypse                    | 13,27                 | 2,92                                | 1,67                                | 26,54    | 2,88     | 35,19                | 0,37                  | 0,18                   |              | 26,24         | 5,00             |
| Moyenne calculé          | 22,90                 | 6,91                                | 3,92                                | 55,33    | 1,95     | 3,59                 | 0,53                  | 0,30                   |              | 4,18          | 1,84             |
| CPJ 45 analysé           | 20,25                 | 5,67                                | 3,19                                | 55,75    | 1,96     | 3,53                 | 0,62                  | 0,23                   | 2,48         | 4,60          | -                |
| Ecart calc / analysé     | 2,65                  | 1,23                                | 0,73                                | -0,43    | 0,00     | 0,05                 | -0,08                 | 0,08                   |              | -0,41         |                  |
| Ecart calc / analysé (%) | 0,13                  | 0,22                                | 0,23                                | 0,01     | 0,00     | 0,01                 | 0,14                  | 0,33                   |              | 0,09          |                  |

Moyenne Ecart : 0,15

| Consigne ( % ) |      |     |    |       | Consigne sur sec (%) |      |      |      |       |       | Réalisé sur sec (%) |      |      |      |       |       |
|----------------|------|-----|----|-------|----------------------|------|------|------|-------|-------|---------------------|------|------|------|-------|-------|
| Cal            | Pz   | Gyp | CV | Clk   | Cal                  | Pz   | Gyp  | CV   | Clk   | Total | Cal                 | Pz   | Gyp  | CV   | Clk   | Total |
| 2,6            | 10,4 | 7   | 4  | 76,00 | 2,43                 | 8,89 | 6,65 | 3,98 | 76,00 | 97,95 | 2,50                | 9,05 | 6,80 | 4,05 | 77,60 | 100   |
|                |      |     |    |       | 2,48                 | 9,08 | 6,79 | 4,06 | 77,59 | 100   |                     |      |      |      |       |       |

|                         |      |       |      |       |
|-------------------------|------|-------|------|-------|
| Ecart consi / reali     | 0,02 | -0,03 | 0,01 | -0,01 |
| Ecart consi / reali (%) | 0,73 | -0,31 | 0,16 | 0,29  |

Reajustement efficace

### Interprétations :

Après réajustement une vérification doit être faite par le laboratoire afin d'avoir la conformité du ciment aux Normes.



# Conclusion

Le contrôle de fiabilité des doseurs d'ajouts, sur la base de la composition chimique des constituants d'entrées et des sorties, est une méthode efficace.

Les analyses qu'on a effectué nous ont permis non seulement de contrôler chimiquement la fiabilité des doseurs d'ajouts, mais aussi de vivre une expérience sur le plan professionnel, enrichissant ainsi mes connaissances théoriques et pratiques d'une part, et de prendre part aux difficultés rencontrées dans le milieu professionnel.