

Table des matières

Remerciement	
Liste des abréviations	
Liste des Tableaux	
Liste des figures	
Introduction générale	1
Partie I : PRESENTATION DE L'ORGANISME D'ACCUEIL	
I.Ciment de l'atlas (CIMAT).....	2
II.Fiche d'identité de CIMENT DE L'ATLAS.....	3
III.Activité principale.....	3
PARTIE II : ETUDE DESCRIPTIVE DE L'USINE CIMAT(PROCEDE DE FABRICATION DU CIMENT)	
I.Introduction.....	5
II.Fonctionnement du procédé.....	6
III.Procédé de fabrication du ciment	7
III.1.L'extraction et concassage.....	7
III.2.Parck de Pré-homogénéisation.....	7
III.3.Broyeur cru	7
III.4.Homogénéisation	8
III.5.Préparation du clinker.....	9
III.5.1.La tour :	9
III.5.2.Le four :	10
III.5.3.Refroidissement :	11
III.6.Production du ciment	11
III.6.1.Broyage ciment	11
III.6.2.Ensachage et expédition	12
III.7. Broyage charbon :	12
III.8. Contrôle de qualité du ciment :	12
PARTIE III : ETUDE DE L'IMPACT DU CHLORE SUR LE PROCEDE DE CUISSON DU CIMENT	
I.Généralités	15
II.Méthodologie.....	15
II.1.Etape 0 : Etape de préparation	15
II.1.1.Introduction :	15
II.1.2.Présentation du problème :	16
II.1.2.1.Group du travail :	17

Mémoire de fin d'étude

II.1.2.2.Master plan :	18
II.2.Etape1 : Identification du problème en appliquant QQOCP	18
II.3.Etape 2 : Fonctionnement normale de la Tour	20
II.3.1.Description du système globale	20
II.3.2.Description du système étudié	21
II.4.Etape 3 : Fixer un objectif	22
II.5.Etape4 : Analyse des causes racines	22
II.5.1.Utilisation des 5 pourquoi	22
II.5.2.Impact du Chlore sur le procédé de cuisson clinker.....	26
II.5.3.Suivi de la teneur en chlore (mesure 2015).....	27
II.5.4.Teneur en chlore dans les combustibles alternatifs (valeurs moyennes).....	31
II.5.4.a.Teneur en chlore dans les combustibles alternatifs	32
II.5.4.b.Teneur en chlore dans les SRF.....	33
II.5.4.c.Teneur en chlore dans les déchets (Valeurs moyennes).....	33
II.5.4.d.Teneur en Cl dans la matière première (Valeurs moyennes)	34
II.5.5.Relation entre le Soufre et le Chlore	35
II.5.6.Bilan du Chlore ($g_{Cl}/t_{clinker}$) à CIMAT	36
II.5.7.Bilan du soufre	38
II.6.Etape 5 : Actions et contres mesures.....	39
II.6.1.Resumés des actions proposés.	39
II.6.2.Analyse des actions.....	39
II.7.Etape 6 : Vérification des résultats.....	42
Conclusion général.....	44
Annexes.....	45
Références.....	59

Liste des abréviations

Abréviation	Signification
C₃A	Alumine tricalcique
C₄AF	Aluminoferrite tétracalcique ou ferrite, composant principale du clinker qui a tendance à noircir le ciment.
CaCO₃	Carbonate de calcium est le composant principal du calcaire.
CaO	Oxyde de calcium, largement connu par la chaux, est un composant majeur du clinker.
CIMAT	Ciment d'Atlas
CPA	Ciment Portland artificiel
CPJ	Ciment Portland avec ajout des constituants secondaires
C₂S	Silicate dicalcique
C₃S	Silicate tricalcique
FSC	Facteur de saturation en chaux
MS	Module silicique
MAF	Module aluminoferrique
AFR	Alternatif fuel raw materiel (les combustibles alternatifs de substitution)
Calcaire HT	Calcaire à haute teneur
PCI	Pouvoir calorifique inferieur
KCl	Chlorure de potassium
NaCl	Chlorure de sodium
HCl	Acide chlorhydrique
SO₂	Dioxyde de soufre
Na₂SO₄	Sulfate de Sodium
K₂SO₄	Sulfate de Potassium
P VC	polychlorure de vinyle
CaCl₂	Chlorure de calcium
SRF	Solid recovered fuel
CSR	Combustible solide de récupération
DIB	Déchet industriel banal
Clinker	Est un constituant du ciment, qui résulte de la cuisson d'un mélange composé d'environ 80% de calcaire et de 20% des argiles qui apportent le silicium, l'aluminium et le fer.

Liste des Tableaux

Tableau 1 : Etude des arrêts au niveau du four^[A]	16
Tableau2 : Arrêts liées aux cyclones^[A]	19
Tableau 3 : Températures de fusion des Chlorures et des Sulfures.....	26
Tableau 4 : La teneur en Chlore dans les déchets solides par (mg/Kg) en 2015^[Cl].....	32
Tableau 5 : les teneurs en Chlore dans les SRF et les CSR	33
Tableau 6 : Teneur en Chlore dans les AFR à CIMAT 2015	33
Tableau 7 : Teneur en Chlore dans la matière première.....	34
Tableau 8 : Consommation calorifique en tuyauterie et en chambre de calcination	36
Tableau 9 : Teneur en Chlore en (gCl/tclinker) dans les Combustibles.....	37
Tableau 10 : Teneur de g en Chlore par tonne de clinker dans la farine alimentation Tour	37
Tableau 11 : Teneur en Chlore dans les gaz sortie TOUR par tonne de clinker :	37
Tableau 12 : Teneur en Chlore (gCl/tclinker) dans les poussières	37
Tableau 13 : Teneur en Chlore dans le clinker.....	37
Tableau 14 : Master plan des actions pour minimiser la fréquence des bourrages cyclones.....	39
Tableau 15 : Données process.....	40

Liste des figures

Figure 1 : Gamme des produits CIMAT.....	3
Figure 2 : Parc de pré-homogénéisation.....	7
Figure 3 : broyeur cru vue externe.....	8
Figure 4 : silo de pré-homogénéisation.....	8
Figure 5 : Principe fonctionnement d'un cyclone.....	9
Figure 6 : La tour à CIMAT chaque étages à sa température précis.....	10
Figure 7 : La chronologie des réactions pour chaque zone du Four.....	11
Figure 8 : Broyeur ciment	11
Figure 9 : Le besoin d'une composition particulier (LSF, SM, AM).....	12
Figure 10 : (1) Stock des pneus déchiquetés, (2) Stock des AFR.....	15
Figure 11 : Diagramme de PARETO[A].....	16
Figure 12 : Graphe présent les résultats d'étude des arrêts en (%) ^[A]	17
Figure 13 : Zones de bourrage au niveau des cyclones	19
Figure 14: Emplacement de la Tour dans le procédé ciment	20
Figure 15 : Schéma représentatif de la composition d'un cyclone.....	21
Figure 16: Cheminement des gaz et de la matière fine dans un cyclone	22
Figure 17: Chute prématurée des tubes plongeurs des cyclones inférieurs	23
Figure 18 : Relation entre le taux de corrosion et la teneur en chlore du combustible pour des aciers austénitiques ^[6]	24
Figure 19 : Représentation de réactions en présence de Cl en atmosphère oxydante ^[9]	25
Figure 20 : Quelques combustibles alternatifs à CIMAT	32
Figure 21 : Histogramme présentant la teneur en Chlore dans les déchets alternatifs.....	32
Figure 22 : teneur en Chlore dans les SRF et CSR	33
Figure 23 : Histogramme présentant la teneur en Chlore dans les AFR (avec moyenne SRF)	34
Figure 24: Histogramme des teneurs en Chlore dans la matière première	34
Figure 25 : Marges de bourrage des cyclons en présence du chlore et du soufre.....	35
Figure 26 : Variation de la teneur en SO ₃ (% massique) en fonction de la teneur en Chlore (ppm) (moyenne journalière 2015) ^[D]	35
Figure 27 : Bilan du Chlore au niveau de l'entrée et la sortie du Four (g _{Cl} /t _{clinker}) 2015.....	38
Figure 28 : Bilan Soufre entrés et sortie Four gS/tclinker2015.....	38
Figure 29 : Mesure d'épaisseur dans un cyclone	40
Figure 30 : (1) Source de rayonnement VEGASOURCE31	40
(2) Capteur SOLITRAC31	40
Figure 31 : Position des Airchocs sur un cyclone	41
Figure 32 : Présentation du rôle des Airchocs	41
Figure 33 : Bilan du Chlore au niveau de l'entrée et la sortie du Four (g _{Cl} /tclinker) (01/03/2016-30/04/2016)	43

Introduction générale

A l'instar de ses similaires étrangères, les entreprises industrielles marocaines connaissent une flambée sur différents plans. Agitées par la concurrence qui devient de plus en plus accrue, ces entreprises adoptent des stratégies qui pourraient leur garantir une bonne part de marché et une marge de profitabilité satisfaisante.

Chaque entreprise se fixe des objectifs dans le cadre de sa vocation spécifique pour atteindre des résultats sur ses marchés, en s'interrogeant à tout moment sur les changements à opérer à propos des produits, des équipements, des processus intellectuels et des méthodes. Ainsi pour atteindre tous ces objectifs qui constituent principalement l'élimination des pertes de productions dues à des défaillances des équipements et le maintien d'un état de référence optimal au niveau des systèmes de production, des temps de cycles, de l'environnement, des pratiques...etc.

C'est dans ce volet que CIMAT de BENI MELLAL vise à garder une bonne ouverture sur le marché international.

Ce rapport renferme une reproduction de tous les travaux réalisés qui répondent aux objectifs inclus dans le sujet suivant : La cimenterie de Béni Mellal, est une unité de fabrication du ciment, qui vise la minimisation du coût de la consommation énergétique, en utilisant des combustibles alternatifs. Dans ce contexte, nous nous sommes engagés sur une thématique dédiée à :

- ✓ Déterminer l'impact du chlore issu des AFR (Combustibles alternatifs de substitution) sur le procédé de cuisson du clinker et faire un bilan du Chlore.
- ✓ Proposer des solutions pour éviter ou minimiser la fréquence de l'accumulation de la matière première au niveau du circuit de la cuisson de clinker.

Partie I :

**PRESENTATION DE
L'ORGANISME D'ACCUEIL**

I.Ciment de l'atlas (CIMAT)

Ciments de l'Atlas (CIMAT) est un opérateur national dans un secteur stratégique pour le développement du pays. CIMAT est un groupe cimentier Marocain dont le dispositif industriel comporte, entre autres, deux cimenteries à Ben Ahmed et Béni Mellal.

Le choix des zones d'implantation des deux usines de Ciments de l'Atlas répond aux critères indispensables à la réussite d'un projet de cimenterie, à savoir la qualité et la disponibilité des matières premières d'une part, et le potentiel des marchés de proximité à long terme d'autre part.

La cimenterie de Béni Mellal est située dans la région de Béni Mellal-khénifra, à 35km au nord de la ville de Béni Mellal. Cette usine est destinée à desservir, outre son marché naturel Béni Mellal-Khénifra, le grand marché de la région de Marrakech-Safi ainsi que la région de Fès-Meknès.

Les données caractéristiques de l'usine :

- ✓ Constructeur : Polysius SA
- ✓ Type de procédé : voie sèche intégrale avec Précalcinateur type AS-CC
- ✓ Capacité de Production Clinker : 3600 tonnes/jour

Capacité de Production Ciment : 1'600'000 tonnes/an Atelier d'ensachage et expédition complètement automatisé : Chargement sac par Caricamat et Palettisation



II. Fiche d'identité de CIMENT DE L'ATLAS

<i>Siège et usine</i>	: Commune Rurale d'el ksiba-cercle d'el Ksiba-Béni Mellal-Maroc.
<i>Raison sociale</i>	: CIMENT DE L'ATLAS SA - Groupe CIMAT SA.
<i>Montant de l'investissement</i>	: 2.5 Milliards de DHS.
<i>Effectifs</i>	: 250 personnes directs et indirects.
<i>Capacité de production</i>	: 1.5 Millions tonnes de ciment par an.
<i>Avancement du projet</i>	: -Démarrage de l'activité ensachage : Décembre 2010 -Démarrage de l'activité broyage : Juin 2011. -Démarrage de l'activité Clinker : Décembre 2011.

III. Activité principale

La cimenterie fabrique conformément aux normes marocaines deux types de ciment distingués par leur composition, leur résistance et leur usage, il s'agit du :

- ❖ CPJ : Ciment portland avec ajout (pourcentage du clinker entre 65%-95%)
- ❖ CPA : Ciment portland sans ajout (pourcentage du clinker entre 95%-100%)

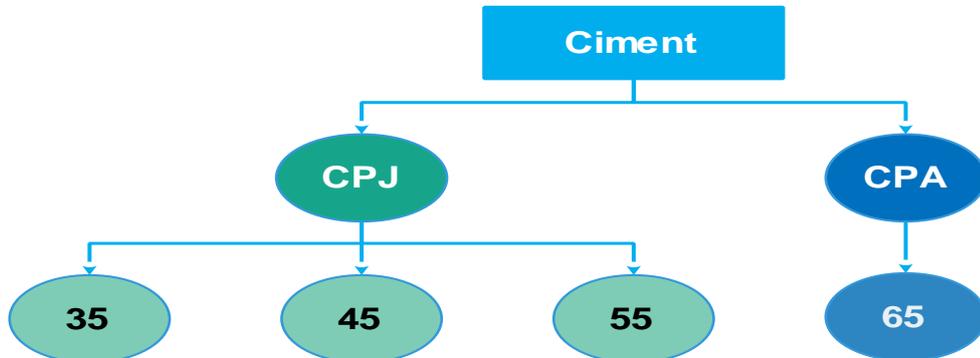


Figure 1 : Gamme des produits CIMAT

PARTIE II :
ETUDE DESCRIPTIVE DE L'USINE
CIMAT
(PROCEDE DE FABRICATION DU
CIMENT)

I.Introduction

Le ciment est un liant, une matière pulvérulente, formant avec l'eau ou avec une solution saline une pâte homogène et plastique, capable d'agglomérer, en durcissant, des substances variées appelées agrégat ou granulats. [1]

Les silicates de calcium, élément majeurs du ciment, sont obtenus par réaction à haute température. C'est pourquoi une cimenterie est organisée autour d'un four dans lequel entre un mélange broyé de matière première, le cru, et duquel sort, en continu, un produit semi fini, le clinker. Un apport d'énergie (très important dans l'économie du ciment) permet d'amener la température à 1450°C, nécessaire pour que se produisent toutes les réactions chimiques qui conduisent à la bonne composition minéralogique du clinker. [2]

Composition chimique du ciment

Les **éléments** constitutants : O, Si, Ca, Al, Fe

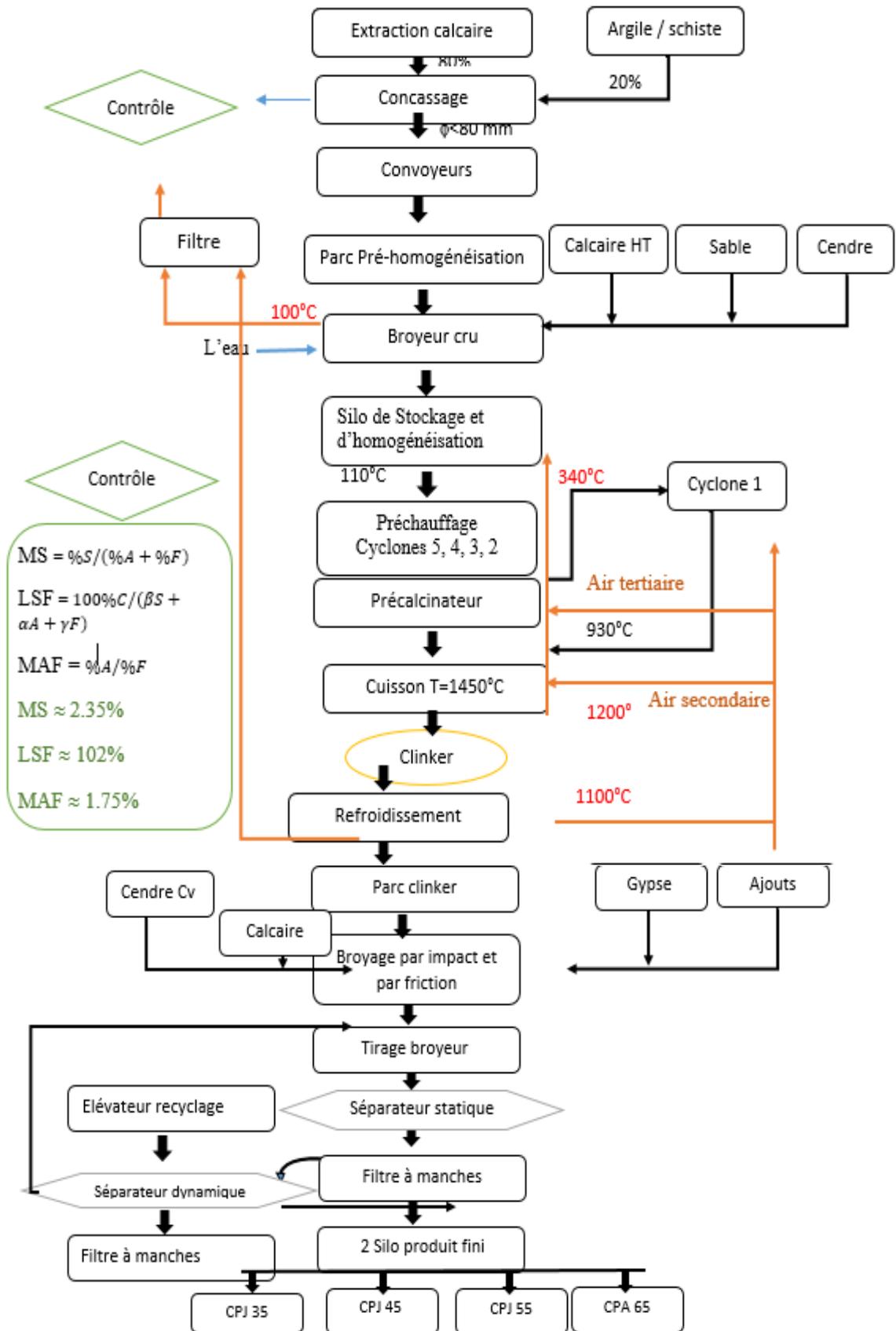


Les **oxydes** constitutants : CaO, SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃
Abréviations **C** **S** **A** **F**



Les **phases** constitutants: **C₃S**, **C₂S**, **C₃A**, **C₄AF** (ferrite ss)
Ca₃SiO₅, Ca₂SiO₄, Ca₃Al₂O₆, Ca₂ (Al, Fe) O₅

II. Fonctionnement du procédé



III. Procédé de fabrication du ciment

III.1. L'extraction et concassage

Les matières premières sont extraites de carrières généralement à ciel ouvert. Les blocs obtenus sont réduits, dans des concasseurs situés généralement sur les lieux mêmes de l'extraction. L'opération de concassage est effectuée par l'intermédiaire des concasseurs et consiste à écraser la matière en vue d'obtenir une granulométrie désirée.

III.2. Parc de Pré-homogénéisation

Le processus de fabrication du ciment se fait de manière continue et exige la constitution de stocks de matières premières concassées pour assurer la marche de l'usine. Le stockage est polaire. L'objectif de cette étape c'est le stockage et l'homogénéisation du mélange (Calcaire 80%, Argile et du Schiste 20%). Le contrôle de cette teneur sera effectué par un analyseur en ligne appelé BOLAP. Ce dernier prélève, chaque heure, des échantillons automatiquement.

Après le mélange sera transporté vers une trémie par des bondes en mouvement afin de contrôler les demandes de la qualité, en cas de manque de l'un des composés, on a trois trémies (la première contient des sables, la seconde du calcaire à haute teneur et la troisième du cendre de pyrrhotine) situées à côté de celle de mélange.



Figure 2 : Parc de pré-homogénéisation

III.3. Broyeur cru

La cimenterie de Béni Mellal utilise un broyeur cru de type broyeur à galette qui fonctionne de la façon suivante :

La matière est introduite dans le broyeur par une goulotte réchauffée et tombe sur la table de broyage. Elle est alors entraînée, par l'effet de la rotation de la table sous les galets pour concassage. La matière broyée est refoulée par la force centrifuge vers l'extérieur de la table par débordement. Le flux gazeux sortant de l'anneau de buses transporte la matière en totalité ou partiellement vers le séparateur dynamique disposé au-dessus du compartiment de broyage. La partie de la matière qui tombe à travers l'anneau de buses est envoyée au séparateur par un élévateur (circulation externe). La matière re-circulée sera remise dans la goulotte d'alimentation, avec la matière fraîche en amont du sas. Le concept de recirculation externe permet de limiter la perte de charge du broyeur en privilégiant le transport mécanique de la matière du plateau de broyage au séparateur. Un élévateur à godets réalise cette fonction de

transport. Le séparateur classe la matière contenue dans le flux gazeux en produit fini et en gruaux. Les gaz chargés de ces poussières traversent les pales fixes du séparateur SEPOL® et sont mis en rotation.



Figure 3 : broyeur cru vue externe

III.4.Homogénéisation

L'atelier d'homogénéisation est fonctionnellement situé entre l'atelier de broyage du cru et l'alimentation du four, c'est le dernier maillon de la chaîne de la préparation du cru.

Cette opération a pour but de rendre homogène, de manière artificielle, la farine entrée four en réduisant la dispersion des caractéristiques physico-chimiques autour des valeurs moyennes que l'on se fixe au moment du dosage et en maintenant la granulométrie de la farine entrée au four la plus constante possible (pas de ségrégations), cette opération permet aussi de rendre le plus stable possible la composition et la granulométrie du cru entrée four et ce pour avoir une cuisson régulière. Ceci assure une marche continue du four avec un minimum de variation du débit de la chimie du cru.



Figure 4 : silo de pré-homogénéisation

III.5.Préparation du clinker

Les matières premières (cru) vont subir une série de modifications qui les transforment en clinker. Cette étape se décompose en trois parties :

III.5.1.La tour :

La tour comprend 5 étages. Chaque étage est composé de deux cyclones. Dans les cyclones, les échanges thermiques s'effectuent à contre-courant entre la matière et les gaz chaud provenant du four, permettant simultanément un cyclonage de la farine. Cet échange est suffisamment efficace pour que la farine crue pénètre dans le four complètement déshydratée et partiellement décarbonatée.

❖ Fonctionnement des cyclones

Le cyclone est un élément de base d'un préchauffeur qui sert à séparer la matière solide en suspension dans le gaz. Cette séparation est basée sur la création d'une force centrifuge par la mise en rotation du mélange gaz/poussières. Ensuite la matière est mélangée avec les gaz chauds pour récupérer leur chaleur.

La séparation matière-gaz est assurée par le cyclone de l'étage n, de telle façon que la matière descend à l'étage n-1 et le gaz monte à l'étage n+1.

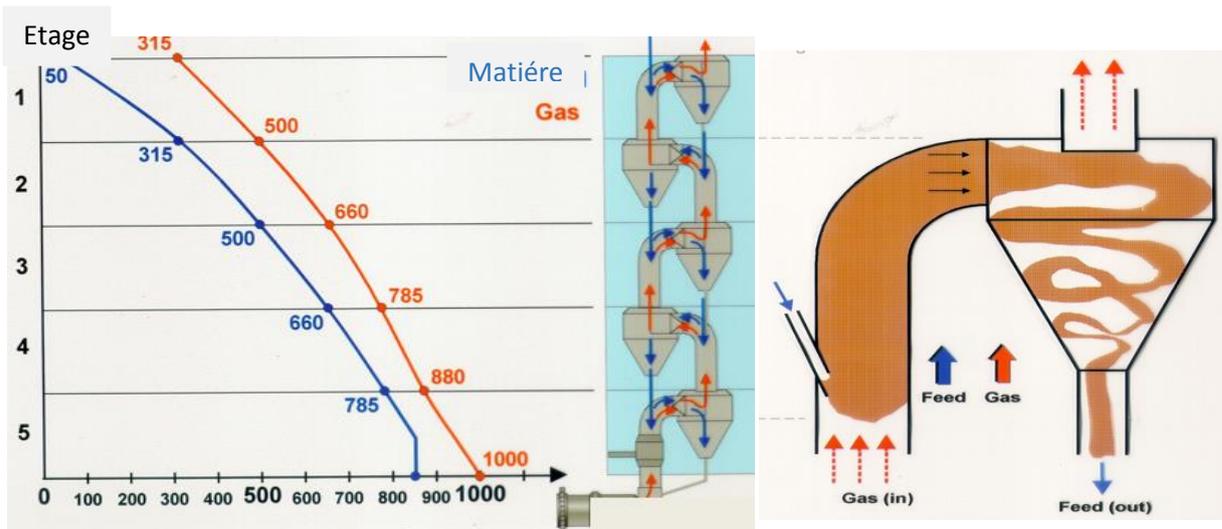


Figure 5 : Principe fonctionnement d'un cyclone

❖ Le rôle du préchauffeur (La tour) peut se présenter comme suit :

- ✓ Préparer la matière (farine cru) en élevant sa température de 50°C à environ 1000°C.
- ✓ Améliorer le rendement énergétique global de l'atelier en récupérant la chaleur des gaz d'exhaure du four.



Figure 6 : La tour à CIMAT chaque étages à sa température précis

III.5.2.Le four :

Les matières sont alors introduit dans le four et descendent vers la flamme grâce à la rotation (5 tours/minute) et à l'inclinaison du four (4 %). Typiquement, c'est un cylindre de 4m de diamètre et 64m de long. Entre 700 et 1200°C, une première réaction entre CaO et SiO₂ en phase solide, conduit à la formation de silicate dicalcique (CaO)₂SiO₂ (C₂S). Vers 1300-1450°C apparait une phase liquide contenant Al₂O₃ et Fe₂O₃, qui servent de fondant. Le liquide forme environ 20% de la masse totale. Le silicate dicalcique se transforme partiellement en silicate tricalcique (CaO)₃SiO₂ (C₃S). La masse est alors refroidie brutalement de façon à solidifier des phases instables à basse température. On obtient des cristaux de silicate tricalcique dans sa forme cristallographique β (la seule qui réagisse avec l'eau) et de silicate tricalcique, noyés dans une matrice contenant l'aluminate tricalcique (CaO)₃Al₂O₃ (C₃A) et l'aluminoferrite tétracalcique (CaO)₄Al₂O₃Fe₂O₃ (C₄AF). Ces phases ne sont en générale pas pures, mais contiennent des éléments mineurs en solution solide.

La composition pondérale moyenne est de 55 à 70 % de silicate tricalcique(C₃S), de 10 à 25 % de silicate dicalcique(C₂S), de 0,5 à 13% d'aluminate tricalcique (C₃A) et de 1 à 15% de ferroaluminat tétracalcique(C₄AF). Une micrographie de clinker apparaît sur la figure 7. C'est le silicate tricalcique (C₃S) qui est à la phase importante du clinker, dans la mesure où son hydratation est à l'origine de l'essentiel de la résistance mécanique.

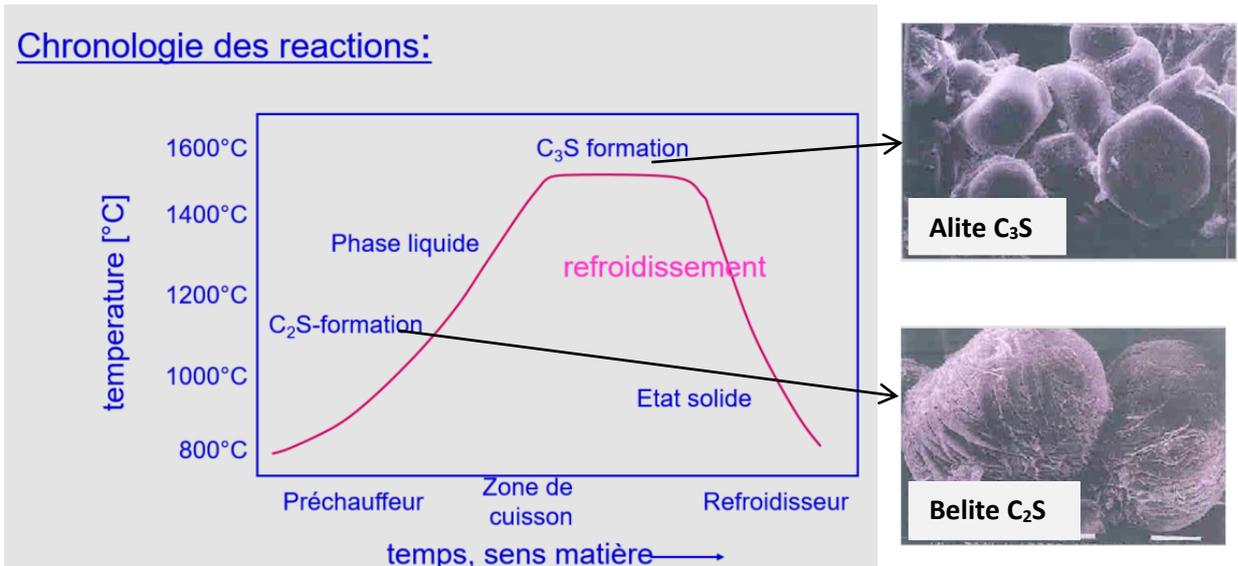


Figure 7 : La chronologie des réactions pour chaque zone du Four

III.5.3. Refroidissement :

Le clinker rencontre l'air servant à la combinaison. Il lui abandonne une partie de sa chaleur. Le clinker commence donc à se refroidir et sa teinte ternit sensiblement. A sa sortie le clinker quitte, le four tombe dans le refroidisseur pour subir une trempe de 1450°C à 100°C.

L'air de refroidissement est produit par des ventilateurs. Le refroidissement se fait en fonction de la couche de clinker par la régulation entre la pression sous grille et la vitesse des grilles. Ainsi, le clinker refroidi est acheminé par un des élévateurs et des bandes transporteuses vers un tank de stockage du clinker.

III.6. Production du ciment

III.6.1. Broyage ciment

Le broyage ciment est l'opération qui consiste à broyer le clinker avec du gypse et d'autres matières comme le calcaire(HT) à Haute teneur, les cendres volantes pour obtenir à la sortie de l'atelier broyage cuit un produit appelé ciment. Le broyage ciment reste le plus grand consommateur d'énergie électrique dans une cimenterie.

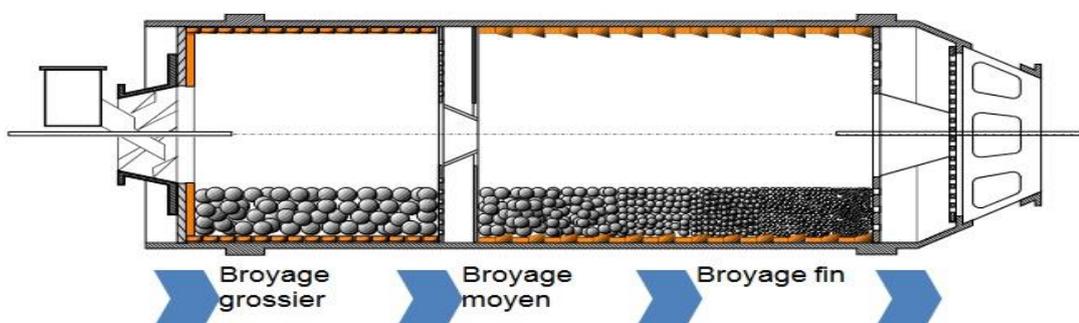


Figure 8 : Broyeur ciment

III.6.2. Ensachage et expédition

Le circuit d'ensachage est l'opération finale dans les cimenteries elle contient au début un silo multi-compartiments, Ce silo permet de conduire le ciment par qualité (CPJ35, CPJ45, CPJ55) vers l'ensacheuse si la livraison était en sacs sinon il se fera en vrac.

Les sacs du ciment sont dirigés par la suite pour une étape de chargement dans les camions à l'aide d'un robot (caricamat) formé d'une tête de chargement équipée de ventouses (une par sac) qui transfère sur la plateforme du camion les couches de sacs préparées.

III.7. Broyage charbon :

Le charbon ou le coke brut est reçu à l'usine par camions et déchargé dans une aire de stockage. La reprise se fait par chargeuse. Le broyage et séchage sont assurés par un broyeur vertical à galets pendulaires avec le gaz provenant lors du refroidissement. Avec un débit : 15 t/h et une Puissance : 272 KW, le charbon ou le coke pulvérisé est stocké dans un silo de capacité de 110 tonnes d'environ. L'alimentation de la tuyère est assurée par un doseur Hasler et une pompe Fuller.

III.8. Contrôle de qualité du ciment :

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

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

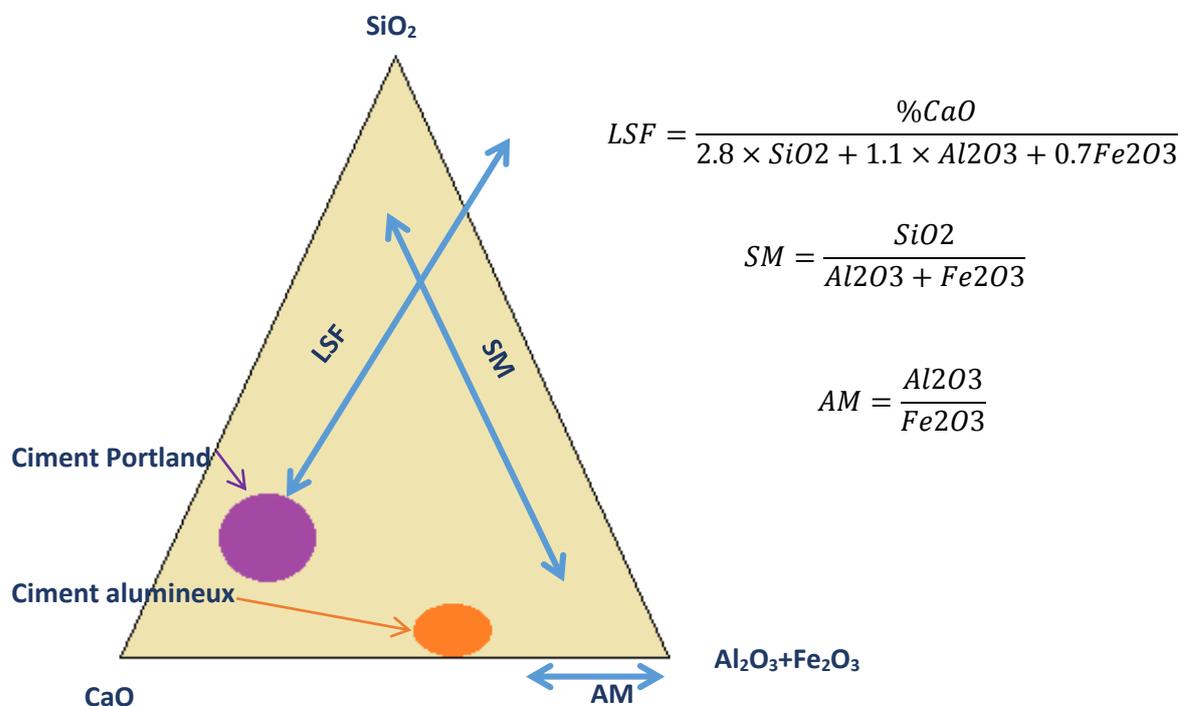


Figure 9 : Le besoin d'une composition particulier (LSF, SM, AM)

✓ Module de chaux ou facteur de saturation en chaux LSF :

-Si $FSC > 100$: Il y'a trop de chaux et l'excès se trouve sous forme de « chaux libre » qui est trop dangereuse pour le ciment, car elle ne se combine pas et conduit-au-gonflement-du-ciment.

- Si $FSC < 100$: il n'y a pas assez de chaux pour se combiner avec la silice, l'alumine et l'oxyde de Fer, qui vont rester libre dans le clinker et par conséquent diminuer sa résistance.

✓ Module de Silice MS :

- $MS > 2.5$ Cuisson difficile

- $MS < 2.45$ Cuisson facile

✓ Module alumino-ferrique : MAF

$$MAF = 1.9 \pm 1$$

Sa valeur caractérise la nature de la phase fondue, contenant la presque totalité des deux oxydes Al_2O_3 et Fe_2O_3 . Quand MAF augmente, la viscosité de la phase fluide augmente aussi, par conséquent, une difficulté à la cuisson d'où une grande consommation d'énergie. [3]

PARTIE III :
ETUDE DE L'IMPACT DU CHLORE SUR
LE PROCEDE DE CUISSON DU CIMENT

I.Généralités

La résolution de problème est le processus d'identification puis de mise en œuvre d'une solution à un problème. C'est généralement un processus en sept étapes avec une étape de préparation :^[4]

- Etape 0 : Etape de préparation.
- Etape 1 : Identification du problème (QOQPC ...) ;
- Etape 2 : Fonctionnement normal du système ;
- Etape 3 : Fixer les objectifs ;
- Etape 4 : Analyse des causes racines (5 pourquoi) ;
- Etape 5 : Actions et contres mesures ;
- Etape 6 : Vérification des résultats ;

II.Méthodologie

II.1.Etape 0 : Etape de préparation

II.1.1.Introduction :

La cimenterie de l'Atlas a toujours cherché de maintenir une bonne qualité de ses services tout en respectant les normes nationales et internationales de la santé, de la sécurité des collaborateurs et de toute personne ayant accès à leur site. Elle cherche aussi à prévenir toute nuisance à l'environnement par la maîtrise de la gestion des déchets et la contribution à la préservation des ressources naturelles.

La cimenterie d'Atlas s'inscrit dans une dynamique d'amélioration continue en vue d'accroître leur performance et leur compétitivité. Le développement durable est devenu le cœur de la stratégie d'évolution de ciments de l'Atlas. Dans ce cadre ils ont décidé d'utiliser les déchets solides comme combustibles alternatifs pour deux raisons :

- ❖ La valorisation des déchets déchiquetés ;
- ❖ Optimiser le coût énergétique.

L'usine CIMAT utilise différents combustibles alternatifs (Pneus, les plastiques, les DIB, les déchets automobiles...) en addition du pet coke qui est la source principale d'énergie calorifique. Ces combustibles sont utilisés pour la matière à la clinkerisation, cette réaction qui peut atteindre une température de 1500°C.



Figure 10 : (1) Stock des pneus déchiquetés, (2) Stock des AFR

Au niveau de la Tour de préchauffage on trouve la chambre de pré-calcination où s'effectue la calcination des déchets et du coke de pétrole afin de préparer la matière première avant d'entrer au four. Cette étape a certainement plusieurs avantages économiques et

environnementaux mais ça n'empêche qu'elle a des inconvénients sur le procédé de cuisson surtout niveau des cyclones de la tour (Bourrage des cyclones), ainsi que sur la qualité du produit finale, à cause de la volatilisation de certains composés chimiques provenant de ces déchets. Parmi les éléments qui ont un effet indésirable sur le procédé de cuisson vient le Chlore.

II.1.2.Présentation du problème :

Le problème est principalement le bourrage des cyclones. Ce qui apparaît d'une façon périodique et qui peut causer des arrêts du four. L'historique des arrêts au niveau du four rotatif durant l'année 2015 nous a permis de tracer un diagramme du PARETO pour suivre l'évolution de ces arrêts.

Tableau 1 : Etude des arrêts au niveau du four ^[A]

Anomalies	Durée(h)	part%2	Part % cumule
Arrêt lié aux cyclones	60,0716667	40,9747169	40,97471693
Problèmes électriques	52,135	35,5611386	76,53585558
Chute des plaques	17,23333333	11,7548088	88,29066436
Problèmes liés au concasseur	11,35	7,74180347	96,03246783
Problèmes mécaniques	5,81666667	3,96753217	100
Somme	146,606667		

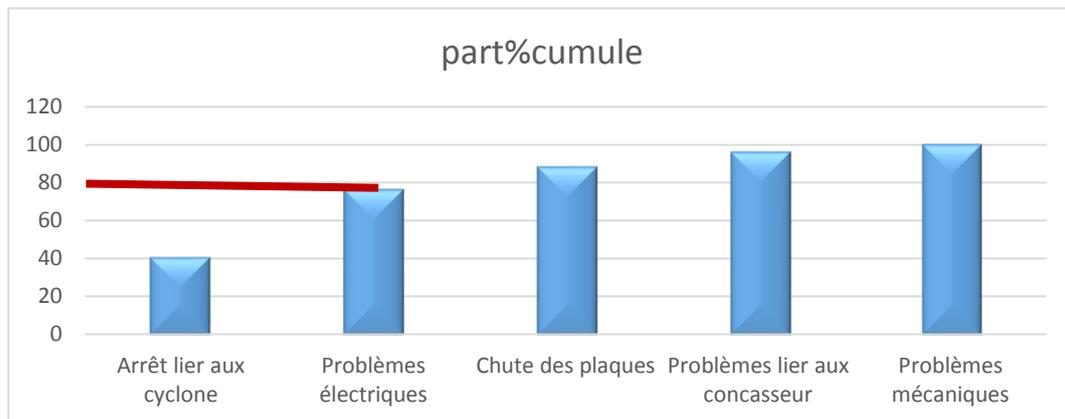


Figure 11 : Diagramme de PARETO ^[A]

D'après le diagramme du PARETO on déduit que 80% des arrêts au niveau de la préparation du clinker sont causés par :

- *Des bourrages au niveau des cyclones de préchauffage.
- *Problèmes électriques.

Le graphe ci-dessous montre que la plupart des interventions ont été effectuées suite à des bourrages des cyclones qui présentent 41% du problème, on a aussi des problèmes électriques avec un pourcentage de 35% et des problèmes liés au chute des plaques 12%, et 8%,4%, des arrêts, qui sont des problèmes liés au concasseur et des problèmes mécaniques.

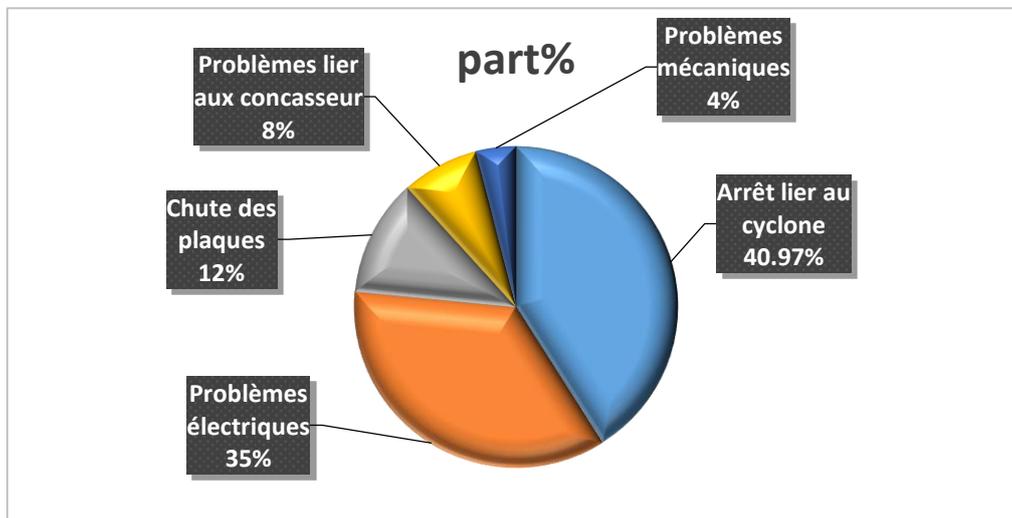


Figure 12 : Graphe présent les résultats d'étude des arrêts en (%)^[A]

II.1.2.1. Group du travail :

Encadrant Responsable du procédé : M. DAOUDI

Responsable de la qualité : M. AZDOUD

Responsable de cuisson : S. ALIOUA

Technicien de laboratoire : A. OUAMI

Technicien de procédé : Kamal

Agent des données techniques : E. HAIHAL

Stagiaire : K. ANNABA

II.1.2.2.Master plan :

Les tâches à suivre	Les durées en mois	du 01/02/2016 au 06/06/2016														
	Les durées en semaine	1	8	15	22	29	7	14	21	28	4	11	18	25	2	9
Description entreprise procédé		■														
Détermination les sources du chlore			■													
préciser la description du Procédé ciment				■												
former le bilan du chlore					■											
Terminer le bilan du chlore						■										
La variation de la teneur en SO3 en fonction du Cl (déterminer les fréquences des bourrages au niveau du C ₁) impacte du Cl sur la partie cuisson							■									
La MRP pour la résolution du problème								■								
QQOQCP									■							
Bilan du Soufre (SO3)										■						
Bilan du soufre											■					
présentation												■				
nuance du matériau (tube plongeur)													■			
vérification des donnés (contact avec les entreprises)														■		
Bilan du Chlore sans SRF															■	
finalisation des donnés																■

II.2.Etape1 : Identification du problème en appliquant QQOQCP

Le QQOQCCP est un outil de questionnement qui se pratique en groupe de travail. Il permet de caractériser une situation en la décrivant selon un «angle» bien défini, en fonction du but recherché.

✓ **Quoi :**

Un problème s’oppose à CIMAT au niveau des cyclones de préchauffage dû à une accumulation de la matière dont résulte un colmatage des cyclones suivi d'un arrêt du four. On remarque que ce problème rassemble tous les domaines techniques, économiques, chimiques

✓ **Quand ?**

L’apparition des bourrages au niveau des cyclones s'effectue d’une manière arbitraire et plusieurs fois chaque mois.

Tableau2 : Arrêts liées aux cyclones ^[A]

Date d'arrêt	Type d'arrêt du cyclone
01/04/2015	Bouillage cyclone C1-2
02/04/2015	Bouillage cyclone C1-2
01/05/2015	Bouillage cyclone C1-2
20/05/2015	H2 pression sortie matière cyclone 1 coté charbon
27/05/2015	Bouillage cyclone C1-2
13/07/2015	Bouchage gaine matière cyclone C1-1 par chute concrétions
14/07/2015	Bouchage gaine matière cyclone C1-1 par chute concrétions
15/07/2015	Bouchage gaine matière cyclone C1-1 par chute concrétions
16/07/2015	Bouchage gaine matière cyclone C1-1 par chute concrétions
10/09/2015	Arrêt volontaire suite chute bloc au cyclone C1-2 coté charbon
20/09/2015	Bouchage cyclone 1-2
21/09/2015	Bouchage cyclone 1-2
12/10/2015	Bouillage cyclone C1-1
18/11/2015	Bouillage C1 coté charbon
09/12/2015	Bouillage C1-2

✓ **OU ?**

Le préchauffage c'est la partie de préparation de la matière première (entrée four) se fait au niveau des cyclones. Le problème de bouillage s'apparaît plus précisément à l'intérieur du tube plongeur, partie central du cyclons, puis se termine par un blocage du procédé au niveau inférieur sortie cyclone.

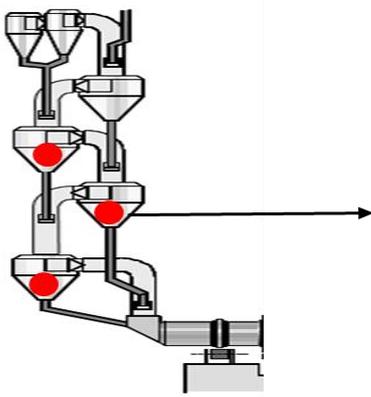


Figure 13 : Zones de bouillage au niveau des cyclones

✓ **QUI ?**

Tous les corps de métier.

✓ **POUQUOI ?**

Le bouillage des cyclones est un problème qui présente une initiation des autres problèmes pour démarrer une deuxième fois le Four, comme :

- Pertes et retardation de la production du clinker.

- Pertes économiques par injection 25m^3 du gasoil à fin d'atteindre une température de 800°C pour le démarrage avec un PCI de 9600 Kcal/Kg , puis on ajoute les combustibles habituels (alternatifs et fossiles)

Dont on a une consommation calorifique élevé :

$$34479+9600=44079\text{Kcal/Kg}$$

- Déclanchement des briques retractaires.
- Consommation électrique présente 40000KW par contre à une consommation normale on trouve une valeur de 25000KW
- La répétition de ses colmatages présent 33% des arrêts à CIMAT.

✓ COMMENT ?

L'Accumulation de la matière au niveau du cyclone bloque le déroulement normal du processus ce qui provoque un bourrage.

II.3.Etape 2 : Fonctionnement normale de la Tour

II.3.1.Description du système globale

L'échangeur à cyclone assure de manière optimale le préchauffage de la farine crue avant que celle-ci passe dans le four, elle y rencontre des gaz chauds sortant du four et de trouve ainsi décarbonatée à hauteur de 20% à 40% , c'est-à-dire transformée en chaux calcinée. Cette opération consistée à extraire le dioxyde de carbone qui y est lié.

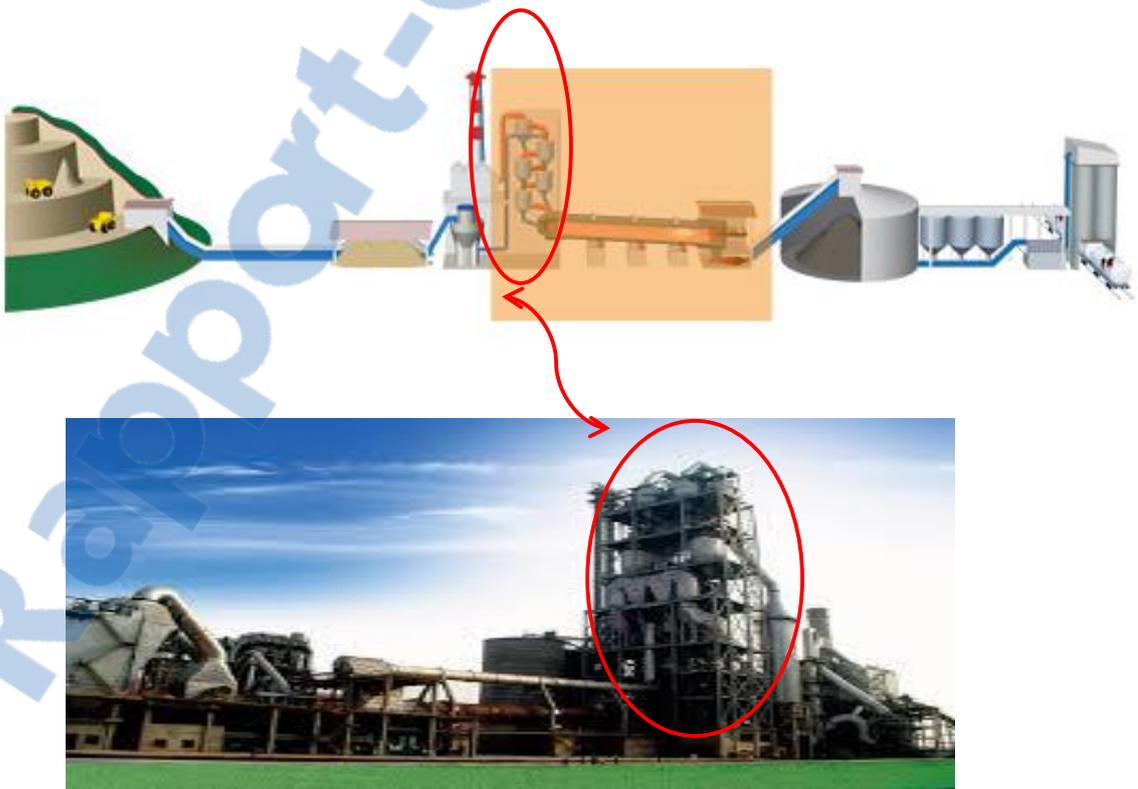
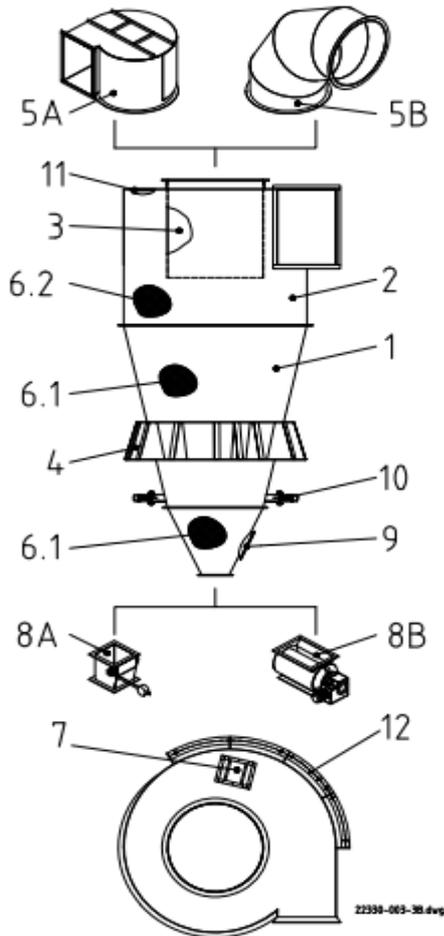


Figure 14: Emplacement de la Tour dans le procédé ciment

II.3.2. Description du système étudié

Le cyclone est utilisé partout où il faut séparer avec un très haut rendement une matière fine d'un mélange air-fines. Des applications typiques sont la séparation de poussières provenant de séparateurs, refroidisseurs de clinker dans les industries cimentière et minérale. [5]



Repères du schéma

1. Cône du cyclone
2. Partie supérieure du cyclone
3. Tube plongeur
4. Support du cyclone
5. Pièce de raccordement, spirale d'aspiration (5A) ou tube coudé (5B)
6. Protection anti-usure
 - 6.1 Protection anti-usure pour le cône
 - 6.2 Protection anti-usure pour la partie supérieure
7. Trappe de visite sur le toit du cyclone
8. Organe de fermeture, clapet pendulaire (8A) ou sas cellulaire (8B)
9. Trappe d'inspection dans le cône
10. Détection de niveau
11. Blindage du toit du cyclone
12. Bâti pour protection anti-usure au niveau de la partie supérieure
 - 12.1 Protection anti-usure dans le bâti (non représenté)

Figure 15 : Schéma représentatif de la composition d'un cyclone

❖ **Fonctionnement du cyclone :**

L'air chargé en poussière arrive dans la spirale d'entrée du cyclone et s'y voit imprimer un mouvement rotationnel. Par la force centrifuge, les particules de poussières sont envoyées contre la paroi du cyclone et glissent ensuite, en suivant la trajectoire d'une spirale, le long de la paroi conique. Elles sont collectées à la pointe du cyclone et extraites via un organe de fermeture. Le flux d'air descend "en colimaçon" jusque dans la partie inférieure du cône, pour remonter ensuite au centre et quitter le cyclone propre, en passant par le tube plongeur. [5]

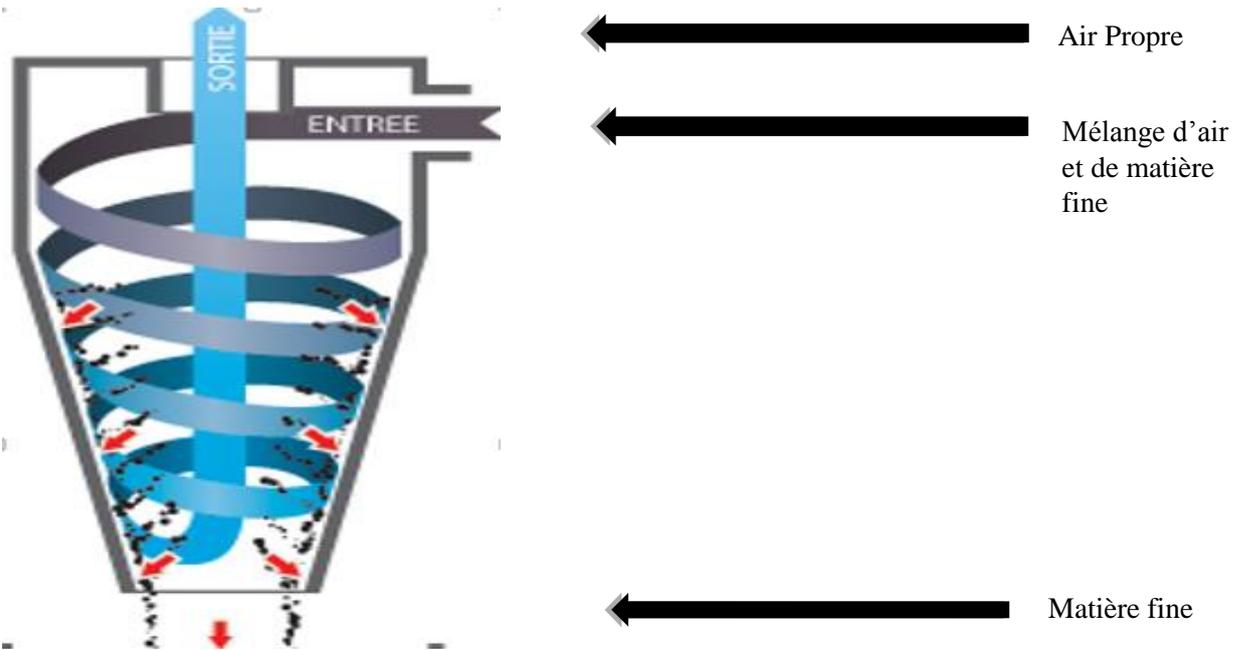


Figure 16: Cheminement des gaz et de la matière fine dans un cyclone

II.4.Etape 3 : Fixer un objectif

Notre objectif est de connaître l'origine des bourrages au niveau des cyclones de préchauffage à CIMAT, afin de pallier à ce problème et par conséquent de minimiser la fréquence des bourrages résultant de l'accumulation de la farine. La fréquence stimulée des bourrages cyclones est de 1 à 1.5 arrêts par mois.

L'objectif que nous avons fixé est :

- ❖ Optimiser la fréquence des arrêts résultants des bourrages cyclone à un arrêt par 6 mois.

II.5.Etape4 : Analyse des causes racines

II.5.1.Utilisation des 5 pourquoi

Cette étape consiste à déterminer les causes racines des bourrages au niveau des cyclones en se basant sur la méthode des cinq pourquoi qu'on va résumer dans le schéma ci-après, la vérification de certaines causes est illustrée par la suite.

D'après l'utilisation les cinq pourquoi comme outil de performance industriel, nous avons tiré 5 causes racines responsables des bourrages à savoir :

- ❖ **Cause racine N°1** : Accumulation de la matière alimentation four, au niveau des parois des cyclones, provoque la formation des blocs causés le bourrage des cyclones.
- ❖ **Cause racine N°2** : Les débits et la vitesse des gaz sortie four augment le contact entre la matière et les gaz. Un grand contact matière/gaz, favorise la combinaison entre les alcalins, les Chlores et les soufres. Donc une grande adhérence de la matière sur les parois des cyclons.
- ❖ **Cause racine N°3** : La température à l'intérieur du cyclone, provoque l'apparition de la corrosion sèche. Les chutes des plaques qui composent le tube plongeur facilite l'accumulation de la matière alimentation four. La présence des conditions favorables pour la corrosion des plaques (la température, les composés corrosifs, matériaux de base des plaques).



Figure 17: Chute prématurée des tubes plongeurs des cyclones inférieurs

- ❖ Explication de la corrosion des plaques du tube plongeur :
 - **Corrosion par les composés Chlorés :**

Les composés chlorés présents dans l'environnement des préchauffeurs de cimenterie CIMAT sont les suivants :

-le gaz HCl, les chlorures alcalins NaCl et KCl, les chlorures de métaux lourds.

L'accélération de la corrosion à haute température par la présence de chlore en phase gazeuse est bien connue. La vitesse de corrosion est directement liée à la teneur en chlore du combustible, comme illustré dans la figure ci-dessous. [6]

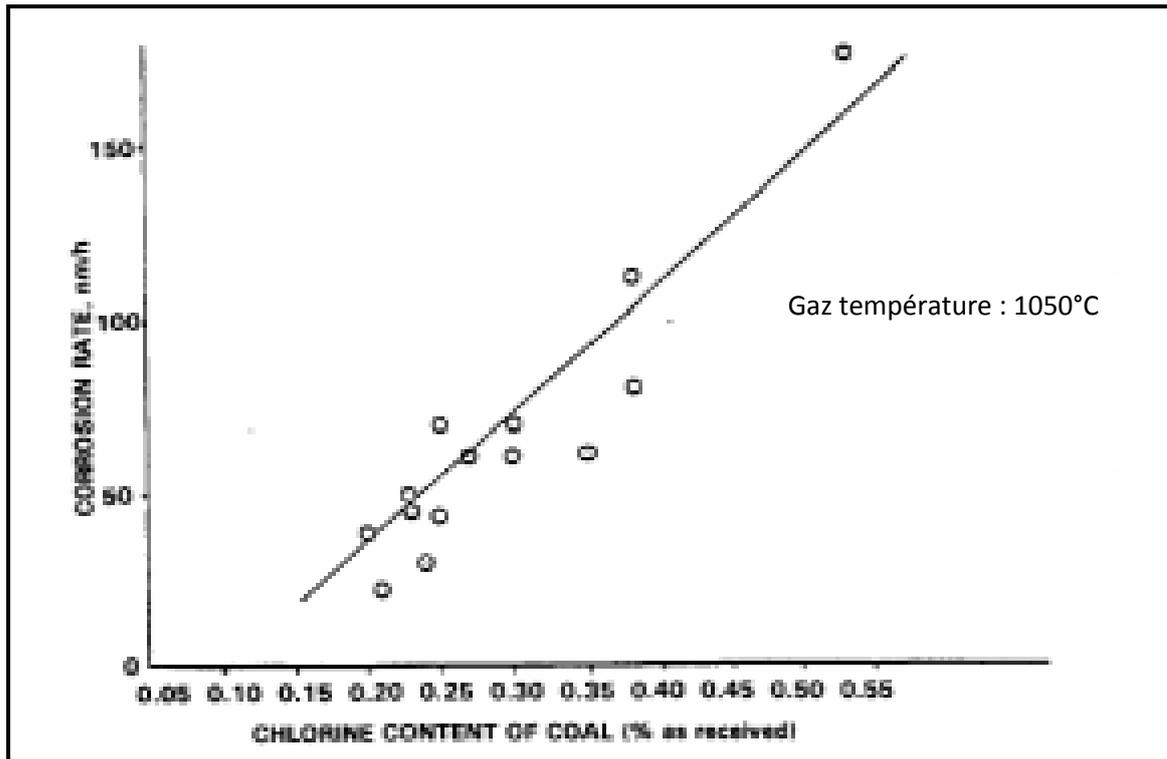


Figure 18 : Relation entre le taux de corrosion et la teneur en chlore du combustible pour des aciers austénitiques [6]

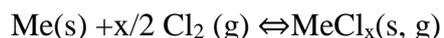
Dans ces atmosphères, la pression partielle en Cl_2 est régie par l'équilibre suivant, appelé réaction de Deacon :



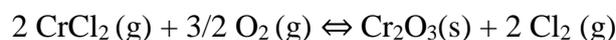
A basse température, l'équilibre se déplace en faveur de Cl_2 , tandis qu'à haute température, la réaction favorise HCl . Il faut noter que cet équilibre s'établit très lentement dans la phase gazeuse, mais les oxydes métalliques peuvent agir comme catalyseurs de la réaction. [7]

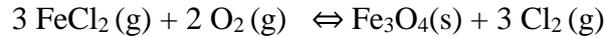
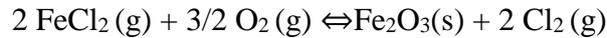
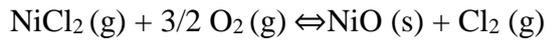
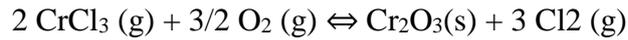
Le mécanisme d'oxydation active est initié par Cl_2 qui peut provenir de la réaction de Deacon décrite ci-dessus. Ce composé chloré diffuse à travers la couche «oxyde» vers l'interface alliage-couche, vraisemblablement par les pores et les fissures ou par des courts circuits tels les joints de grains.

Du fait de la faible pression partielle en oxygène à l'interface alliage-couche, Cl_2 peut réagir avec les éléments d'alliage pour former des chlorures métalliques selon la réaction :



Comme ces composés ont une forte pression vapeur, ils s'évaporent (ce qui induit une perte d'adhérence) et diffusent vers l'interface gaz-oxyde. En atteignant des régions de plus forte activité en oxygène, les chlorures forment, selon les réactions ci-après, des oxydes qui croissent dans les fissures de la couche et détruisent l'oxyde protecteur, empêchant ainsi toute passivation, d'où le terme d'oxydation « active » :





Cette oxydation des chlorures libère du Cl_2 qui peut entrer de nouveau dans le processus de corrosion et donc agir comme catalyseur de l'oxydation du métal. Ce cycle permet un transport continu du métal loin de la surface du métal. La figure suivante résume schématiquement les mécanismes, pour le cas du chlorure ferreux FeCl_2 . [8]

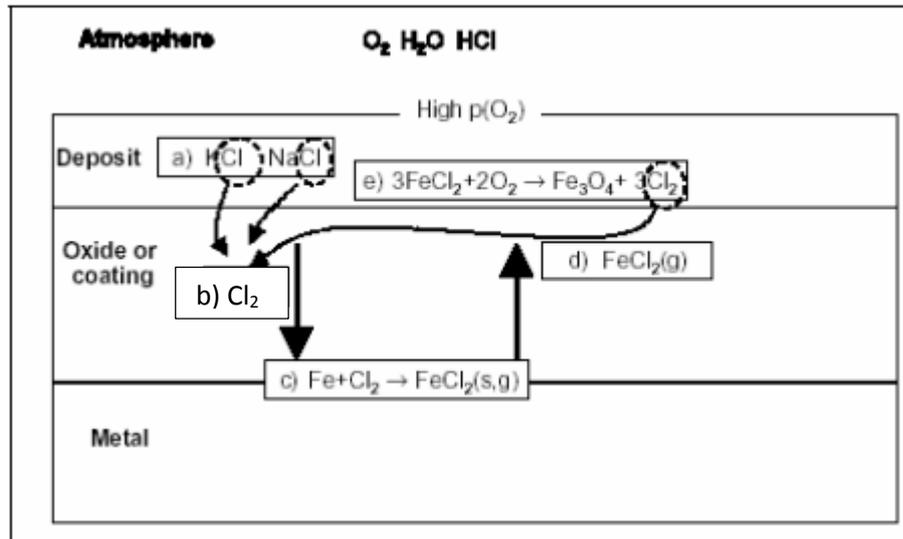
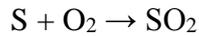


Figure 19 : Représentation de réactions en présence de Cl en atmosphère oxydante [9]

- ❖ **Cause racine N°4** : Le volume de sortie cyclone n'est pas conforme pour éviter le minimum des Bourrages dans les nouvelles conditions.
- ❖ **Cause racine N°5** : L'utilisation des combustibles alternatifs présente un facteur important, qui réagit négativement sur le procédé de cuisson de la farine cru. C'est une source majeure des composés indésirable dans une cimenterie (Soufre, Chlore,...).
 - Le chlorure d'hydrogène (HCl), ou gaz chlorhydrique, est formé dans les enceintes de combustion, du fait de la présence de chlore dans la charge, sous forme de composés organochlorés, de solvants chlorés, de produits phytosanitaires, etc... Le chlore apparaît également du fait de la décomposition de NaCl contenu dans les papiers, cartons, les déchets végétaux. Le PVC (bouteilles, films) contient par exemple 59% en masse de chlore. La teneur moyenne en chlore des déchets industriels est de 3% en masse conduisant pour des déchets riches en plastiques à des concentrations en HCl dans les fumées allant de 1000 à 2000 mg/Nm³ avant traitement. [10]
 - Des oxydes de soufre, dioxyde de soufre SO₂ et trioxyde de soufre SO₃, sont présents dans les fumées de combustion. Ils proviennent du contenu en soufre de la charge à traiter, soit sous forme organique soit sous forme de sulfate. Parmi les déchets à forte teneur en soufre, citons les pneus, le plâtre, les déchets de

process industriels. Lors de la combustion, le SO₂ est produit en quantité plus importante que le SO₃ (90% contre 10%).



La concentration en SO₃ augmente avec l'excès d'air et diminue avec la température. Au-delà de 950°C, la formation de SO₃ devient négligeable. [10]

II.5.2. Impact du Chlore sur le procédé de cuisson clinker

La présence de chlore (chlorures) et de soufre (sulfates, sulfure) dans les matières premières est problématique. En effet, lors du chauffage, le chlore et le soufre se volatilisent et réagissent avec les composés alcalins pour former des chlorures et sulfures alcalins.

Si le pourcentage du chlorure est très élevé, il va d'abord se combiner avec l'ensemble des alcalins formant des chlorures alcalins qui réticulent dans le four et augmentent la probabilité d'accumulations dans le dispositif de préchauffage. Tout le chlorure restant étant ensuite combiné avec CaO pour former CaCl₂ qui a un point de fusion entre (770-780°C). Cela rendra le repas chaud (Farine chaude) très «collant» à cette température et augmentera le risque d'accumulations lors du préchauffage. Les Chlorures forment également des mélanges eutectiques avec des sulfates de potassium, sodium, calcium et magnésium. Ces mélanges eutectiques ont des points de fusion nettement inférieure à celui des composés purs, ce qui augmente l'intensité d'accumulation de la farine crue (Bourrage).

Tableau 3 : Températures de fusion des Chlorures et des Sulfures

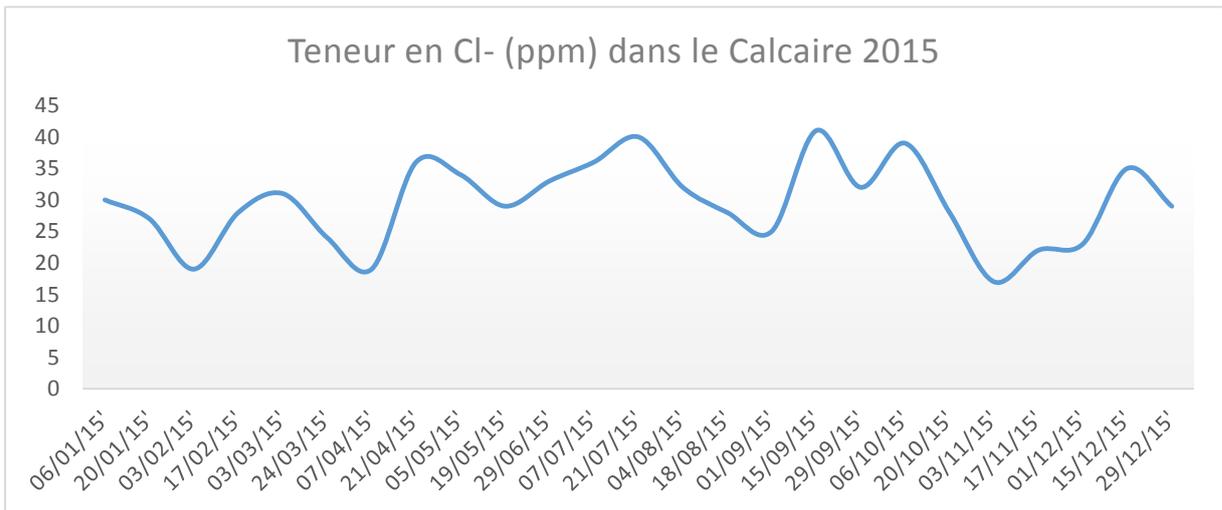
Substances	Temperature de fusion
CaCl ₂	770
KCl	790
NaCl	801
Na ₂ SO ₄	884

Les Chlorure et les Sulfures ont une température de fusion, c'est la même dans les cyclones C1 et C2 dont les bourrages présente avec une grande fréquence. D'où la grande teneur de ses éléments présente un milieu favorable pour l'accumulation de la farine crue

II.5.3.Suivi de la teneur en chlore (mesure 2015)

Afin de préciser l'influence du chlore sur le procédé de cuisson du ciment on a suivi les données de la teneur en chlore durant 2015 dans la matière première, la farine, le clinker et aussi dans les combustibles alternatifs. Les courbes suivantes présentent la variation de la teneur en chlore selon la matière étudiée :

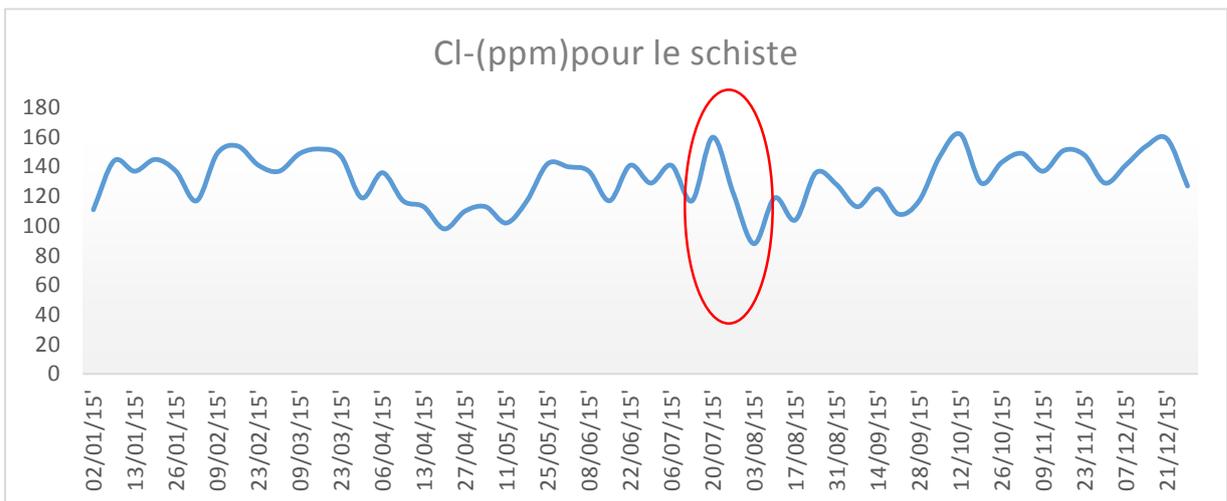
i. Teneur en Cl (ppm) dans le calcaire ^[B]



Interprétation :

D'après la courbe on remarque que la teneur en Chlore durant l'année 2015 varie d'une façon homogène autour d'une moyenne de 29 ppm.

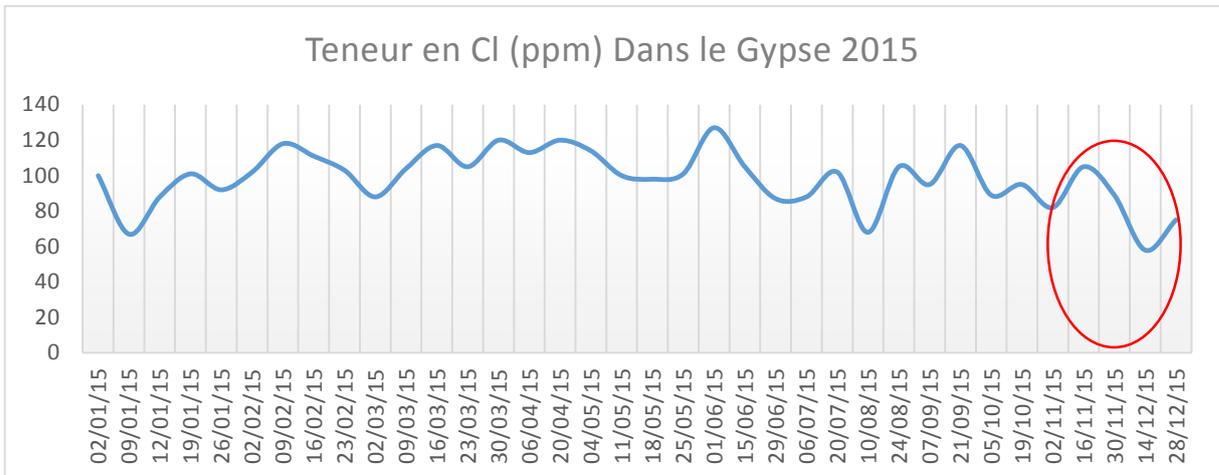
ii. Teneur en Cl (ppm) dans le schiste ^[B]



Interprétation :

D'après la courbe on résume que pour le Schiste durant l'année 2015 la teneur en Chlore varie autour d'une moyenne de 132 ppm avec une grande descendance presque le double de la valeur 160ppm à 20/07/15 a une valeur de 88ppm à 03/08/15.

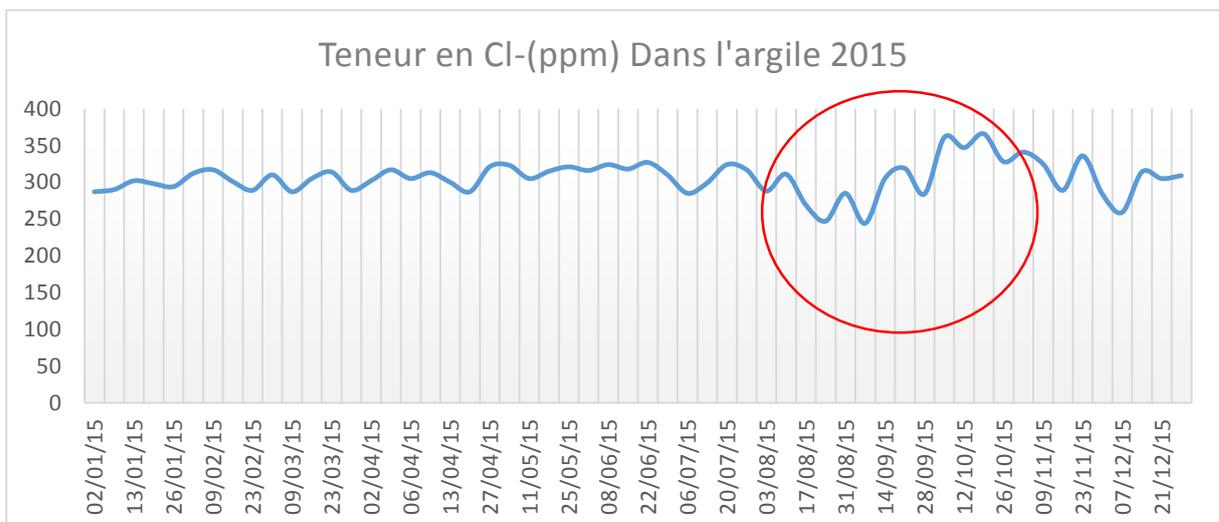
iii. Teneur en Cl (ppm) dans le Gypse ^[B]



Interprétation

La teneur en Chlore dans le gypse durant l'année 2015 présente une distribution presque homogène autour d'une moyenne de 99ppm, avec une diminution de la teneur jusqu'à une valeur minimale de 58ppm à 14/12/2015.

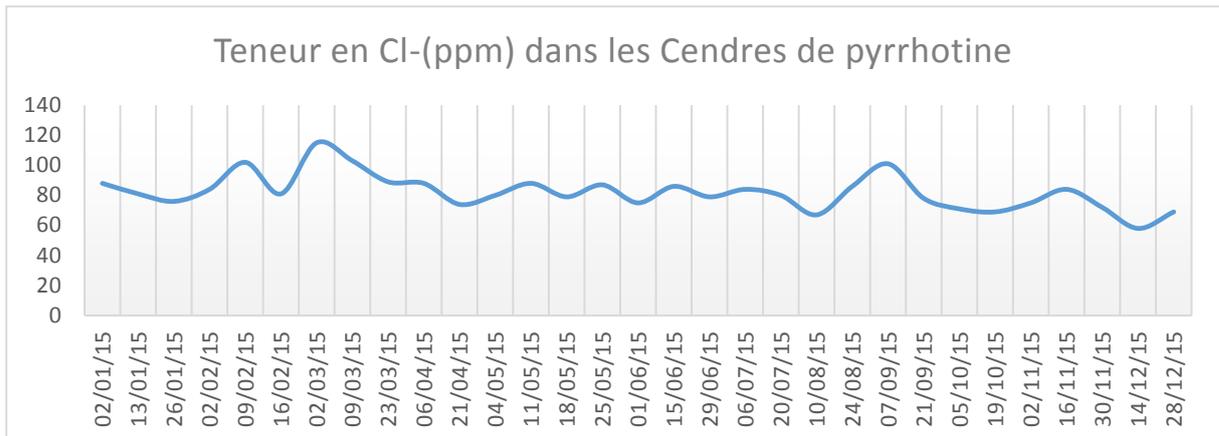
iv. Teneur en Cl (ppm) dans L'argile ^[B]



Interprétation :

D'après la courbe, on remarque que pour l'argile, la teneur en Chlore durant l'année 2015 a connu une variation presque homogène à l'exception de la journée 24/08/2015 où on a remarqué la présence d'une diminution de 244ppm, puis une augmentation progressif pour atteindre une valeur considérée comme maximale 366ppm la journée du 19/10/15.(la distribution se fait autour d'une moyenne de 306ppm)

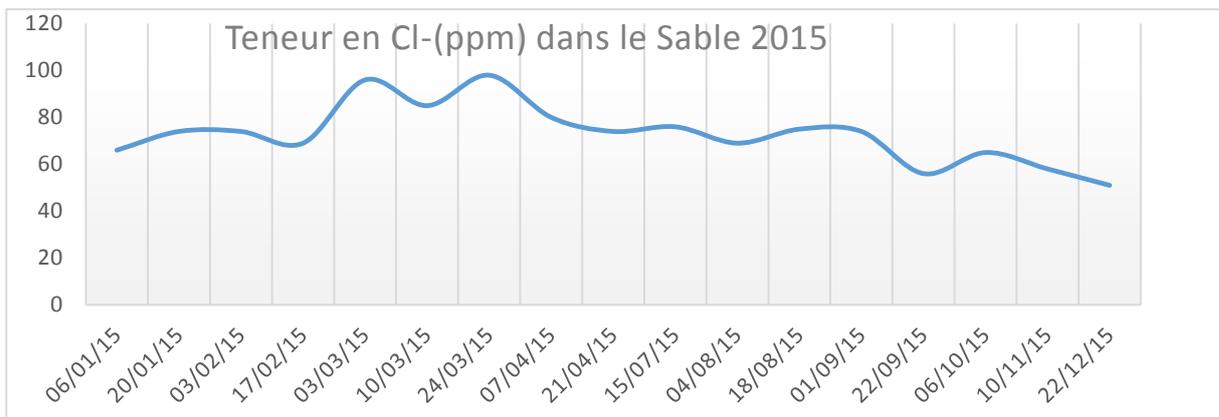
v. **Teneur en Cl (ppm) dans Les Cendres de pyrrhotine** ^[B]



Interprétation :

D'après la courbe on remarque que la teneur en Chlore dans les cendres de pyrrhotine durant l'année 2015 présente une distribution presque homogène autour d'une moyenne de 82,22 ppm avec une diminution durant les derniers mois pour atteindre une valeur minimale de 58ppm à 14/12/15.

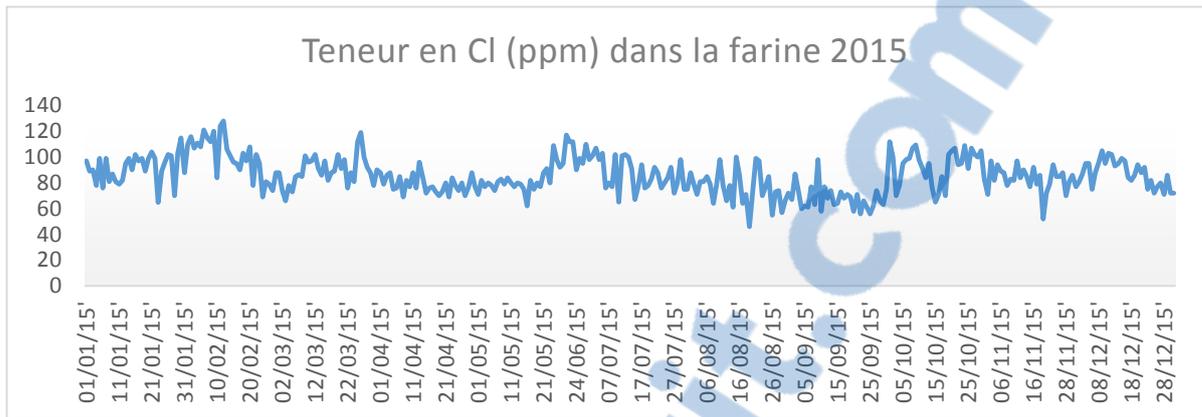
vi. **Teneur en Cl (ppm) dans le Sable** ^[B]



Interprétation :

La teneur en Chlore dans le sable présente une distribution autour une moyenne de 73ppm, une variation comprise entre une augmentation durant le mois Mars dont on a la valeur maximale 98ppm (24/03/15), et une diminution progressif depuis 07/04/15 (80ppm) jusqu'à la valeur minimale 51ppm a 22/12/15.

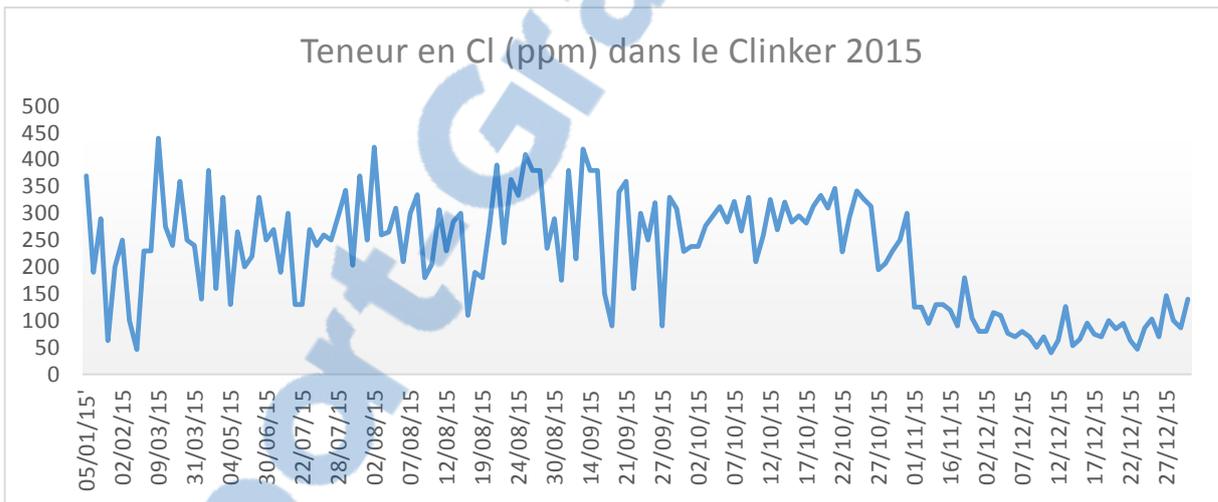
vii. Teneur en Cl (ppm) dans la farine ^[B]



Interprétation :

D'après la courbe on remarque que la teneur en Chlore dans la farine durant l'année 2015 présente une variation analogique avec les teneurs en chlore dans les matières premières.

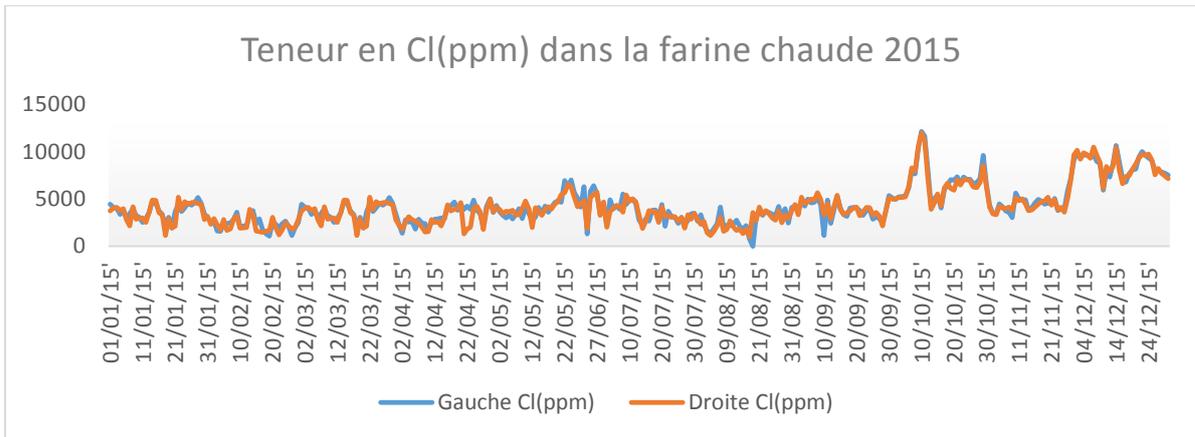
viii. Teneur en Cl (ppm) dans le Clinker ^[B]



Interprétation :

D'après la courbe on remarque que la variation de la teneur en Chlore dans le clinker durant l'année 2015 est distribuée autour d'une moyenne de 223 ppm avec un maximum de 440 ppm et un minimum de 40 ppm. Les résultats avant le 01/12/2015 ne sont pas fiables, par contre les résultats d'après sont confirmés par des laboratoires étrangers pour donner une moyenne de 100 ppm.

ix. Teneur en Cl (ppm) dans La farine chaude ^[B]



Interprétation :

D'après la courbe on remarque que la teneur en Chlore dans la farine chaude présente de grandes valeurs comme moyennes : côté droite de moyenne 4230 ppm et côté gauche de moyenne 4329ppm, une variation entre les deux côtes aux pointes 18/08/2015 ,12/09/2015,29/10/2015.

En générale la variation da la teneur en Chlore presque stable jusqu'au mois Octobre 2015 pour atteindre les valeurs maximale cote gauche 12129 ppm et une autre maximale adroite 11975 ppm.

Conclusion :

A travers cette étude nous avons pu mettre en évidence la grande variation de la teneur en Chlore dans le calcaire, le schiste, le Gypse, L'argile, Les Cendres de pyrrhotine, le Sable, cela est dû principalement à la difficulté de contrôler la teneur en Chlore à l'entré broyeur cru. Donc, il faut en optimiser les débits.

II.5.4.Teneur en chlore dans les combustibles alternatifs (valeurs moyennes)

L'utilisation, de déchets à des fins énergétiques, par un four de la cimenterie exige que ces derniers respectent un certain nombre de conditions liées aux contraintes de fonctionnement d'une unité industrielle. Ces contraintes concernent en priorité:

- la connaissance exhaustive de la nature des déchets tant au plan chimique que toxicologique ;
- les différentes possibilités technologiques de stockage, de manipulation (liquides visqueux, solides broyés ou massifs...) et d'introduction (au capot de chauffe, au préchauffage...).

Dans ce contexte s'est imposée la nécessité de classer les familles de déchets incinérables en prenant en compte ces différentes contraintes.



Figure 20 : Quelques combustibles alternatifs à CIMAT

II.5.4.a. Teneur en chlore dans les combustibles alternatifs

Le tableau ci-dessus présente la teneur en Chlore dans les déchets solides utilisés à CIMAT comme source d'énergie calorifique :

Tableau 4 : La teneur en Chlore dans les déchets solides par (mg/Kg) en 2015^[C]

Types des déchets	Teneur en chlore (mg/kg sec)
SFR E2/SOCOR	13 190
SRF E1/SOCOR	13 130
SRF/UKI	4450
CSR comp usine de BM	3660
CSR INT usine de BM	3310
DIB-31/12/14	2585
FID-DIB	2384
Déchets automobiles	1896
Grignon	578
Plastique thermo	94
Plastique mélange	94

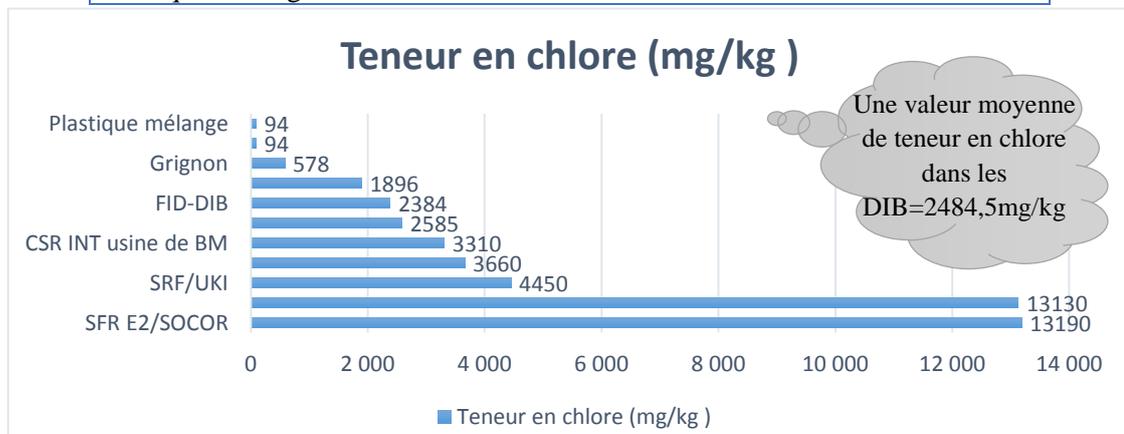


Figure 21 : Histogramme présentant la teneur en Chlore dans les déchets alternatifs

D'après la figure 22 nous constatons que les SRF contiennent la teneur en Chlore majeure par rapport aux autres déchets. Ainsi, les CSR, les DIB et les déchets automobiles présentent des teneurs en Chlore non négligeables.

II.5.4.b.Teneur en chlore dans les SRF

Le tableau ci-dessous présente la teneur en Chlore dans les SRF et les CSR à partir de ces résultats nous avons déterminé une moyenne générale pour faciliter le calcul.

Tableau 5 : les teneurs en Chlore dans les SRF et les CSR

Types des déchets	Teneur en chlore (ppm- sec)
SRF/UKI(15/09/2015)	4450
CSR comp usine de BM(23/12/2015)	3660
SRF E2/SOCOR	13 190
CSR INT usine de BM(23/12/2015)	3310
SRF E1/SOCOR	13 130

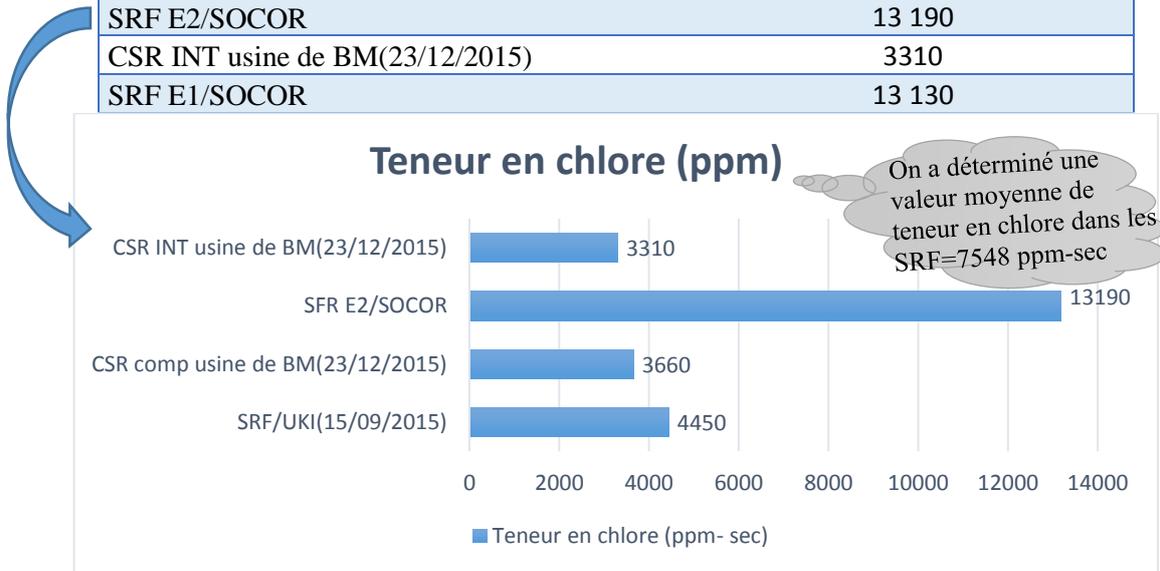


Figure 22 : teneur en Chlore dans les SRF et CSR

On remarque d'après le graphe que les SRF présentent une teneur maximale en chlore de 13190 ppm. Cette valeur est basée sur les résultats du laboratoire SOCOR. On familiarise les CSR aux SRF pour avoir une moyenne de 7548 ppm.

II.5.4.c.Teneur en chlore dans les déchets (Valeurs moyennes)

Le tableau ci-dessous présente, précisément, les teneurs moyennes du Chlore dans les combustibles alternatifs utilisés à CIMAT.

Tableau 6 : Teneur en Chlore dans les AFR à CIMAT 2015

Type des déchets	Teneur en chlore (ppm)
SRF	7548
DIB	2484,5
Déchets automobiles	1896
Grignon	578
Plastiques	94
Somme	12600,5

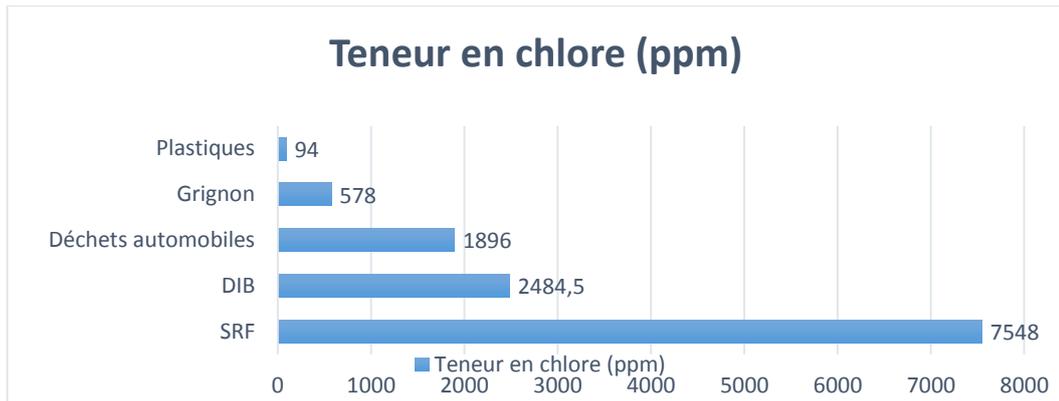


Figure 23 : Histogramme présentant la teneur en Chlore dans les AFR (avec moyenne SRF)

D'après l'histogramme nous constatons que les SRF sont une source principale du Chlore dans les AFR. Par contre à la matière première, nous avons le droit de demander les analyses du Chlore au fournisseur avant l'acheter.

II.5.4.d.Teneur en Cl dans la matière première (Valeurs moyennes)

Tableau 7 : Teneur en Chlore dans la matière première

Matière première	Teneur en Cl (ppm)
Calcaire cutting	32
Schiste	132
Argile	306
Sable	73
Cendre de pyrrhotine	82
Somme	625

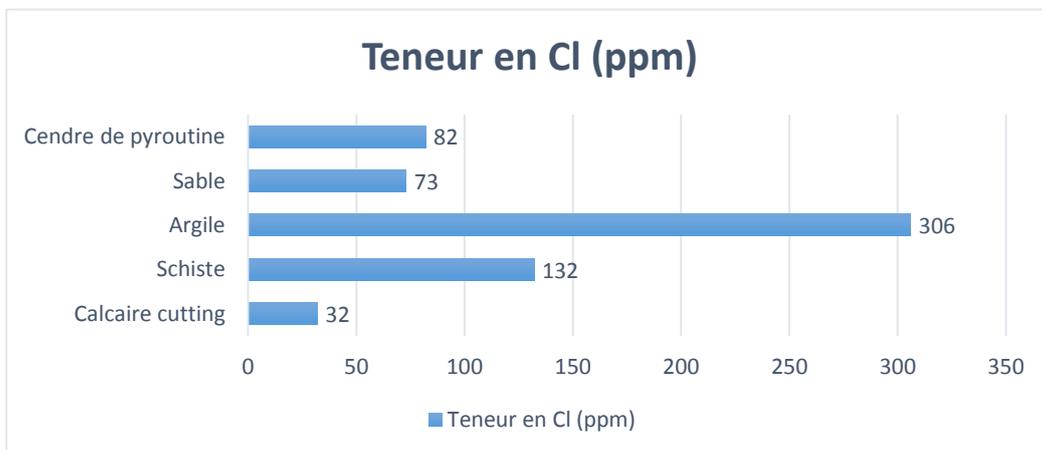


Figure 24: Histogramme des teneurs en Chlore dans la matière première

L'histogramme ci-dessus nous permet d'aviser que l'argile est la source principale du Chlore dans la matière première.

II.5.5. Relation entre le Soufre et le Chlore

D'après le suivi des analyse du Chlore et du Soufre on à remarquer une relation présenter dans Le diagramme ci-dessous, qui montre les marges de bourrage des cyclones, et nous pouvons donc nous limiter de l'intervalle dans lequel il n'y aura pas de risque de bourrage : il s'agit des quantités minimales de ces deux éléments.

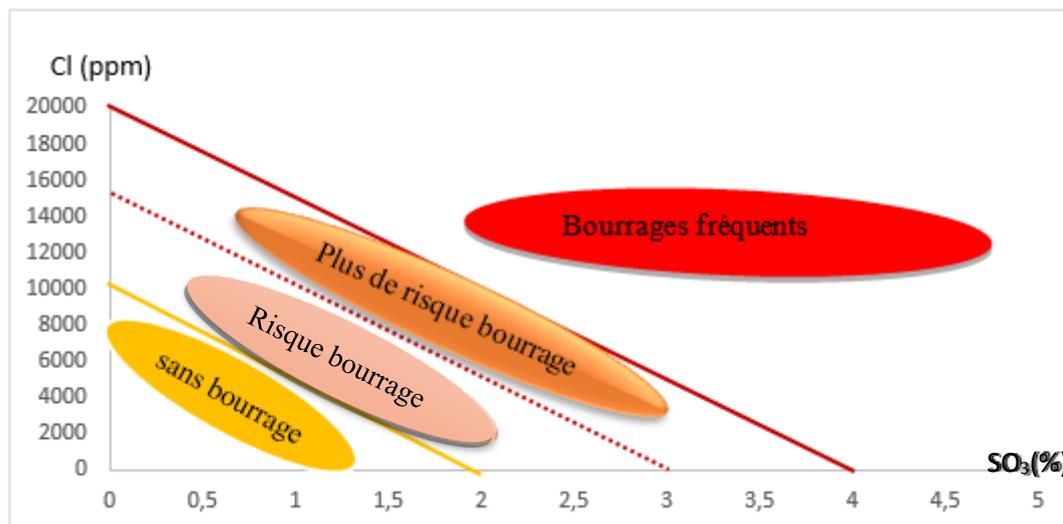


Figure 25 : Marges de bourrage des cyclons en présence du chlore et du soufre

Le suivi de la teneur en Chlore et en Soufre dans la farine chaude (côté gauche de la Tour) durant l'année 2015, nous a donné les résultats présentés dans la figure 27.

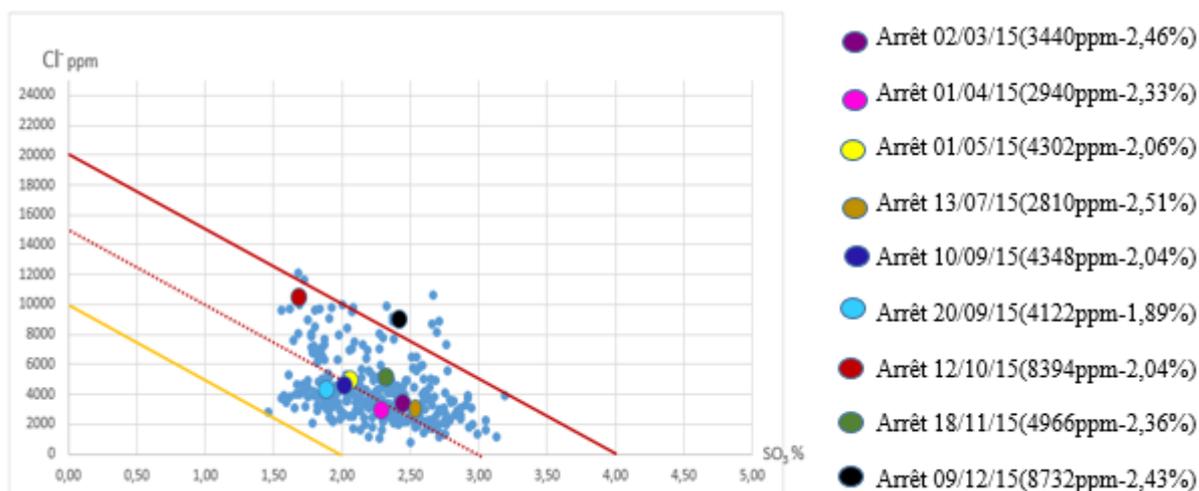


Figure 26 : Variation de la teneur en SO₃(% massique) en fonction de la teneur en Chlore (ppm) (moyenne journalière 2015) ^[D]

En se basant sur la figure 27 et l'annexe D, Nous constatons que la teneur en Chlore a augmenté progressivement juste après l'arrêt du 01/05/15 jusqu'au 24 du même mois tout en atteignant une valeur de 7000ppm, avec une diminution en parallèle de la teneur en Soufre allant de 2,06 à 1.83%. Dans ces conditions, il n'y avait pas de bourrage.

Par la suite, de ladite date jusqu'au 13/07/2015, la teneur en Chlore a connu une chute remarquable: 2810 ppm avec une augmentation accentuée de SO₃ qui vaut 2,51% causant ainsi un bourrage.

Au cours de la production, on prédit l'arrivée d'un bourrage par une simple constatation des valeurs des teneurs du Chlore eu du soufre.

II.5.6.Bilan du Chlore (g_{Cl}/t_{clinker}) à CIMAT

Pour former un bilan du chlore, il faut préciser les entrées et les sorties de notre système (La TOUR) étudié.

On peut présenter les entrées du Chlore par:

- ✓ La farine crue
- ✓ Les combustibles alternatifs et fossiles

Les sorties du Chlore sont présentés par:

- ✓ Les Poussières
- ✓ Les Gaz (sortie Tour)
- ✓ Le clinker

Les mesures tenues dans le laboratoire sont en % massique, donc pour avoir la teneur en Chlore par ppm on applique la formule suivante :

$$ppm = \frac{g}{t} = \frac{\%}{100} \times 10^6$$

Tableau 8 : Consommation calorifique en tuyauterie et en chambre de calcination

consommation calorifique (Mj/t _{clinker})	Pourcentage en tuyauterie %	% en preca	consommation en preca (Mj/t _{clinker})	consommation en tuyau(Mj/t _{clinker})
3250	36	64	2080	1170
facteur de clinkerisation	débit de la farine (t/h)	Débit de clinker(t/h)	conso en preca(Mj/h)	consommation en tuyau (Mj/h)
0,614	245	150,43	312894,4	176003,1

La valeur optimale du facteur de clinkerisation doit être environs 0.614, ce dernier est calculé tout en appliquant la formule qui suit :

$$\frac{D. \text{Clinker}}{D. \text{Farine}} = \frac{150.43}{245} = 0.614$$

- ❖ On commence par déterminer la teneur en Chlore par tonne de clinker dans les AFR et le coke de pétrole :

Tableau 9 : Teneur en Chlore en (gCl/tclinker) dans les Combustibles

	PCI (Kcal/Kg)	PCI (Mj/t)	Teneur en Cl (g/t)	(g _{Cl} /Mj)	Les débits Ø(t/h)	Ø*PCI (Mj/h)	teneur g _{Cl} /h	teneur en g _{Cl} /t _{clinker}
CSR (DIB)	4500	18832,5	2484,5	0,1319	0,5	9416,25	1242,2	8,25
G.d'olives	3000	12555	578	0,0460	2	25110	1156	7,68
SRF	3500	14647,5	12000	0,8192	1	14647,5	12000	79,77
Pneus	7031	29424,735	2700	0,0917	3	88274,20	8100	53,84
Pet Coke	8224	34417,44	100	0,0029	5,09	175446,44	509,76	3,384
Pet COKE (tuyauterie)	8224	34417,44	100	0,0029	5,2	178970,68	520	3,456

Tableau 10 : Teneur de g en Chlore par tonne de clinker dans la farine alimentation Tour :

Teneur en chlore (ppm) Dans la farine	Teneur en chlore (g _{Cl} /tclinker)
86	139,3486517

Tableau 11 : Teneur en Chlore dans les gaz sortie TOUR par tonne de clinker :

Débit gazeux/Nm ³ /h	moyenne en HCl(mg/Nm ³)	teneur en HCl(mg/h)	Teneur en Cl (g/h)	teneur en Cl (g/t _{clinker})
530000	1,9	1007000	979,3731139	6,510490686

❖ Teneur de g en Chlore par tonne de clinker dans les poussières :

Le débit de la farine habituelle est 245 t/h, de telle façon que 5% de ce débit se transforme en poussières, donc 12.25 t/h de la farine est une poussière dont la teneur en chlore est 937 ppm= 937 g/t. Donc $12.25 \frac{t}{h} \times 937 \frac{g}{t} = 11478.25 \frac{g}{h}$

$$D'où \frac{11478.25}{245 \times 0.614} = 76.30 \frac{g}{t \text{ clinker}}$$

Tableau 12 : Teneur en Chlore (gCl/tclinker) dans les poussières

poussière		
%	teneur (ppm)	teneur en (g _{Cl} /t c)
5	937	76,3029316

Tableau 13 : Teneur en Chlore (gCl/t clinker) dans le clinker

Teneur en Cl dans le Clinker (ppm)	teneur n Cl dans le Clinker (g _{Cl} /t _{clinker})
120	195,4397394

La figure 27, résume les résultats antérieurs :

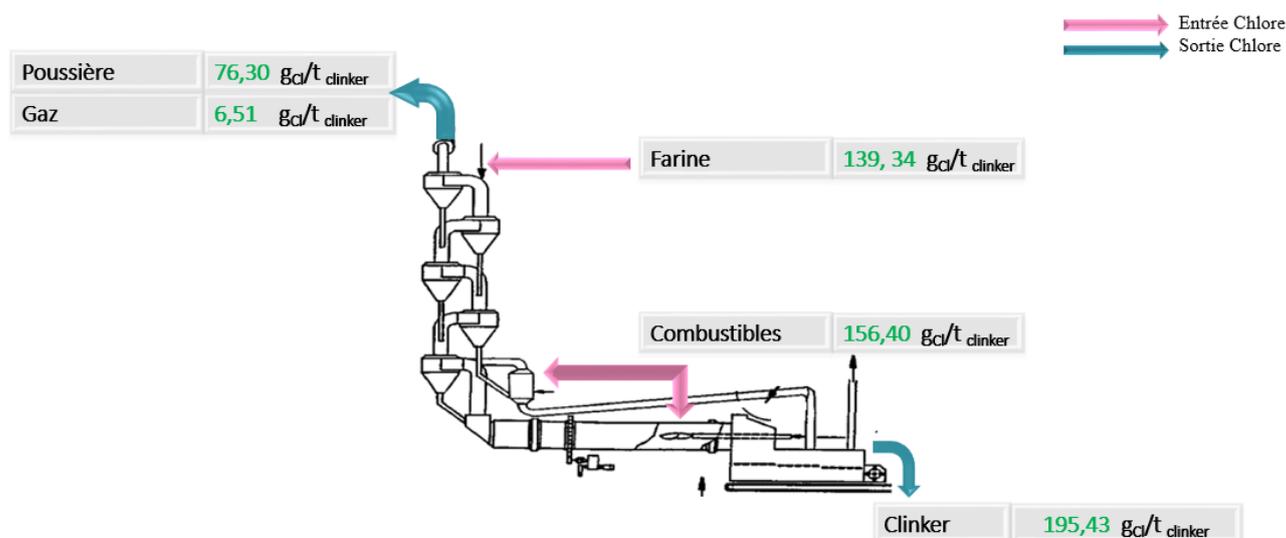


Figure 27 : Bilan du Chlore au niveau de l'entrée et la sortie du Four (gCl/t_{clinker}) 2015

Les entrées du Chlore à CIMAT présentent 295,74 gCl/t_{clinker}, par contre au sortie on a 278,24 gCl/t_{clinker}, Donc entre les sortie et les entrés on a une valeur de 17,4 gCl/t_{clinker}. Chaque tonne de clinker présente 17,4 g de Chlore qui reste à l'intérieur de la Tour. Avec une production de 3600 t_{clinker}/jour, presque 63000 gCl/jour >>>> 63 KgCl/jour qui circule dans les cyclones, c'est une condition favorable pour l'apparition des bourrages a la présence des alcalins.

II.5.7. Bilan du soufre

De la même façon de calcul pour le bilan du Chlore nous avons préparé le bilan Soufre pour avoir les résultats ci-dessous :

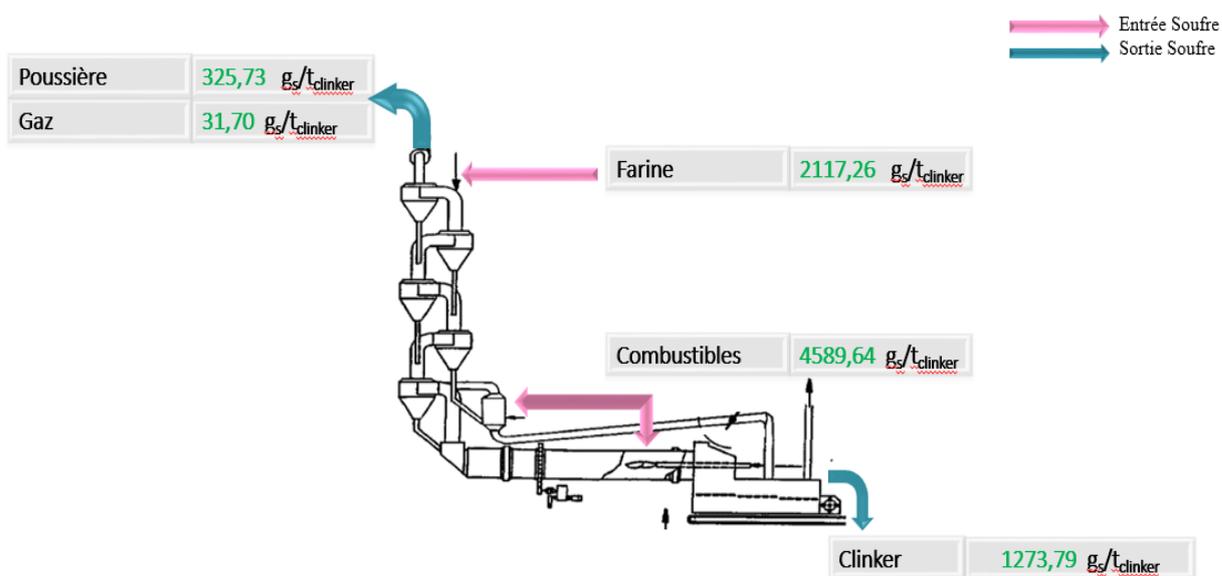


Figure 28 : Bilan Soufre entrés et sortie Four gS/t_{clinker}2015

Dans ce bilan on remarque que la quantité du Soufre dans les sorties 13061,24 gs/t_{clinker}, est supérieure à la quantité de Soufre dans les entrées 6706.9 gs/t_{clinker}, donc une variation illogique de -6354.32 gs/t_{clinker}.

II.6.Etape 5 : Actions et contres mesures

II.6.1.Resumés des actions proposés.

Afin de pallier le problème dont souffrent les cyclones, on devra mettre en évidence des actions et contres mesures permettant de réinitialiser les conditions normales assurant une longue durée sans bourrage cyclone, ces actions sont résumées dans le master plan suivant :

Tableau 14 : Master plan des actions pour minimiser la fréquence des bourrages cyclones

Actions	Objectifs	Quand	Responsables
1)-Arrêter ou minimiser l'utilisation des SRF	Eliminer le maximum des Chlorures piégés dans la Tour	01/03/2016 à 30/04/2016	Mr. AZDOUD (responsable de qualité)
2)-Utiliser des détecteurs d'accumulation à faible épaisseurs de la matière	Contrôler régulièrement les accumulations à faible épaisseurs	Chaque deux heures	Mr. DAOUDI (Chef de process)
3)-Augmenter le nombre des Airhoc dans les zones critiques	Arrêter la formation des grands blocs	Après vérification de formation des accumulations à faible épaisseur	(Chef de process)
4) Commander des combustibles à faible teneur en Chlore et en Soufre	Travailler avec un minimum du Chlore et du Soufre	Chaque commande	Mr.AARIUA (responsable de cuisson)
5) Changer la composition chimique ou recouvrir les tubes plongeur par des matériaux plus résists	Minimiser la chute des plaques des tubes plongeurs	Le prochain grand entretien	Mr. RAFIK (responsable de maintenance)

II.6.2.Analyse des actions

- **La 2^{ème} action** portant sur l'utilisation des détecteurs de bourrage cyclone:

Avant que la farine brute n'entre dans le four rotatif pour la fabrication de clinker, elle est préchauffée dans le cyclone à une température pouvant aller jusqu'à +900 °C. Dans la partie inférieure du cyclone, des colmatages se forment sur les parois. Leur épaisseur doit être surveillée en continu afin d'éviter un bourrage.

❖ Solution

Un détecteur de niveau PoinTrac monté à l'extérieur du cyclone mesure la variation de l'épaisseur de la couche sur les parois intérieures. En cas de besoin, les colmatages sont enlevés à l'aide d'air comprimé.

Tableau 15 : Données process

Tâche de mesure	Mesure d'épaisseur
Point de mesure	Cyclone
Plage de mesure jusqu'à	3 m
Produit	Farine crue
Température process	+300 ... +900 °C
Pression process	0 ... +0 bar
Défis spécifiques	Colmatages

❖ Le fonctionnement

Pour une mesure radiométrique, une substance faiblement radioactive émet des rayons gamma focalisés. Comme source de rayonnement, on utilise un isotope césium 137 ou un isotope cobalt 60. Un détecteur spécial monté sur le côté opposé du réservoir capte le rayonnement. Ce dernier dénommé scintillateur, transforme le rayonnement radioactif en flashes lumineux dont le nombre est compté et analysé. Etant donné que les rayons gamma sont amortis lorsqu'ils pénètrent dans la matière, le capteur peut, à partir de l'intensité du rayonnement reçu, donc du nombre de flashes lumineux, mesurer un niveau, une densité ou un débit massique.

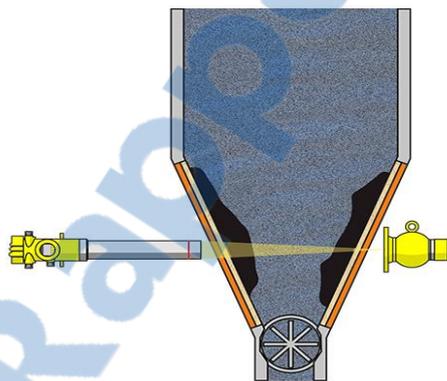


Figure 29 : Mesure d'épaisseur dans un cyclone

**Figure 30 : (1) Source de rayonnement VEGASOURCE31
(2) Capteur SOLITRAC31**

- Pour l'action 3, l'augmentation du nombre des Airhoc (il existe des Airhocs multi – portes)

- ❖ Solution

Le problème des bourrages cyclones a connu une augmentation avec l'utilisation récente des AFR. Les conditions prises en considération lors de la détermination du nombre des Airhocs nécessaires ont donc changé, ce qui revient à dire que ce nombre n'est plus suffisant. D'où l'efficacité de la proposition d'augmenter le nombre des Airhocs, dans les zones critiques des cyclones, afin de bien maîtriser ces derniers.



Figure 31 : Position des Airhocs sur un cyclone

- ❖ Le fonctionnement

Lorsque les flux de la farine cru se fixent sur les côtés du cyclone, l'Airhoc souffle de l'air à l'intérieur de ce dernier afin de nettoyer les couches du bloc construit.

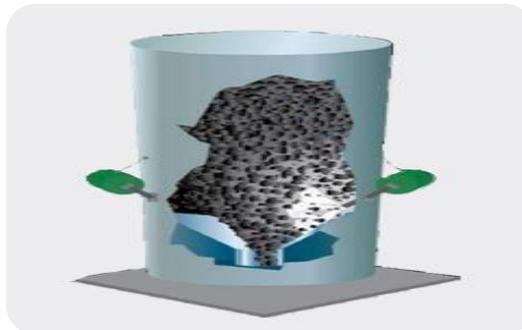


Figure 32 : Présentation du rôle des Airhocs

- La 5^{ème} action portant sur le changement ou le recouvrement des plaques de tube plongeur :

- ❖ Changement de type de matériau du tube plongeur avec un matériau plus résistant à la corrosion.

Le matériau existe déjà à une nuance de GX 40 Cr Ni Si 27-4, c'est un acier inoxydable de type Austéno-ferritique (Réfractaire). La résistance à la corrosion augmente avec la teneur en Chrome, c'est un alphagène : il favorise la forme ferritique, c'est-à-dire la structure cubique centrée du Fer. Des teneurs en Chrome élevées nécessitent des quantités accrues de Nickel pour former une structure austénitique.

Le Nickel favorise le passage de la structure cubique centrée (ferritique) de l'acier inoxydable à la structure cubique faces centrées (austénitique). Les aciers austénitiques contiennent au moins 6% de Nickel. La structure face centrées explique l'excellente ténacité des aciers austénitiques, aussi une meilleure résistance à la corrosion. Donc les aciers austénitiques de nuance GX 40 Cr Ni Si 25-20 restants le meilleur choix pour minimiser la fréquence de la corrosion des plaques de tube plongeur à l'intérieur de cyclone.

❖ Utilisation d'inhibiteur

Un inhibiteur de corrosion est une substance chimique que l'on ajoute en petite quantité au milieu pour diminuer la vitesse de corrosion du matériau métallique à protéger. Leur domaine d'utilisation recouvre les milieux acides, la vapeur, et les eaux de refroidissement

L'utilisation d'additifs permet la minimisation des dépôts adhérents et/ou les corrosions de supports. Des additifs minéraux peuvent être ajoutés à la charge pour capturer les alcalins, par exemple, cause essentielle de l'abaissement des points de fusion des particules minérales, et donc de l'augmentation de leur capacité d'adhésion. L'ajout de kaolin ou d'Alumine finement divisé (10-20 μ m), à raison de 2-3 % de la charge, a permis de contrôler les problèmes d'encrassement de chaudières rencontrés en centrales à combustion de charbon, en conduisant à la formation de cendres moins collantes, et donc la minimisation des dépôts sur les surfaces des chaudières, améliorant ainsi leur rendement de récupération thermique. ^{[11][7]}

II.7.Etape 6 : Vérification des résultats

❖ L'action N°1 qui consiste d'arrêter l'utilisation des SRF durant la période entre 01/03/2016 et 30/04/2016.

Afin de minimiser la teneur en Chlore tout en respectant le pouvoir calorifique nécessaire pour le déroulement normal de la production du clinker, nous avons décidé d'arrêter les SRF qui présentent la grande source du Chlore dans les combustibles alternatifs. La figure ci-dessous présente les résultats, sous forme de bilan du Chlore :

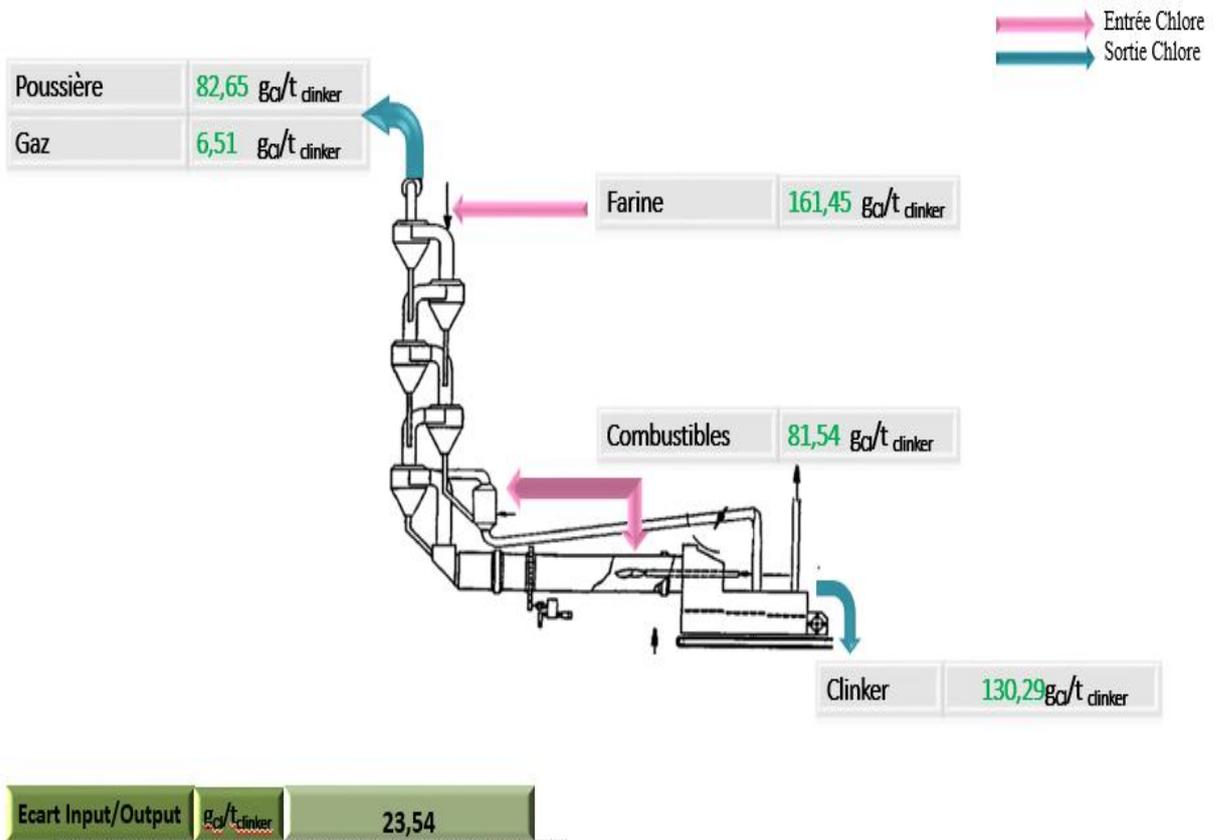


Figure 33 : Bilan du Chlore au niveau de l'entrée et la sortie du Four (gCl/tclinker)

(01/03/2016-30/04/2016)

D'après la figure 33, on remarque clairement que la teneur en Chlore dans les combustibles alternatifs à été diminué après élimination des SRF. Par contre, la teneur en Chlore dans la Farine est augmentée, ce qui exprime la variation de 23.54 gCl/tclinker entre les entrés et les sortie de la zone de cuisson.

Conclusion général

L'étude qui nous a été confiée consiste à déterminer l'impact du Chlore issu des AFR (combustibles alternatifs), sur le procédé de cuisson du clinker, afin de proposer des solutions pouvant résoudre le problème des bourrages cyclones.

Pour ce faire, nous étions en mesure d'éclaircir et d'analyser l'impact du Chlore sur le procédé et d'améliorer le contrôle des bourrages cyclones. Et ce, en répartissant notre étude selon les chapitres suivants :

- ✓ Présentation de l'entreprise CIMAT et de ses activités,
- ✓ Présentation du procédé de fabrication du ciment,
- ✓ Démarche MRP (Méthode de résolution de problèmes) pour résoudre la problématique proposée.

La démarche MRP a révélé qu'une grande teneur en l'élément chimique, le Chlore, est capable de causer des problèmes majeurs dans la partie cuisson du ciment. Et ce, suite à la formation des Chlorures, qui se transforment en matière collante sur les parois des cyclones du préchauffeur, provoquant les problèmes de bourrage des cyclones.

Un bilan du Chlore a été élaboré dans l'objectif de pouvoir déterminer les entrées et sorties du Chlore dans la partie cuisson. Ceci nous a permis de clôturer notre analyse, dans la troisième partie du rapport, par la proposition des actions pouvant répondre à notre besoin.

En effet, nous avons proposé d'arrêter ou minimiser l'utilisation des SRF, à cause de leur teneur en Chlore par rapport aux autres combustibles, cette action qui a été réalisée entre le 01/03/2016 et le 30/04/2016, a été efficace pour la diminution de la teneur en Chlore dans les AFR. Mais cette teneur est augmentée dans la matière première, ce qui explique que la teneur en Chlore des entrées est difficile à contrôler. D'où la nécessité de suivre les bourrages cyclones, par des détecteurs d'accumulation à faible épaisseur de la matière, et de les éliminer avant la formation des grands blocs par des Airchocs.

Annexes

Annexe B : Les analyses du Chlore dans la matière première durant 2015

Calcaire 2015			
		07/07/15	36
Date	Cl-(ppm)	14/07/15	
06/01/15	30	21/07/15	40
13/01/15		28/07/15	
20/01/15	27	04/08/15	32
27/01/15		11/08/15	
03/02/15	19	18/08/15	28
10/02/15		25/08/15	
17/02/15	28	01/09/15	25
24/02/15		08/09/15	
03/03/15	31	15/09/15	41
10/03/15		22/09/15	
17/03/15		29/09/15	32
24/03/15	24	06/10/15	39
31/03/15		13/10/15	
07/04/15	19	20/10/15	28
14/04/15		27/10/15	
21/04/15	36	03/11/15	17
28/04/15		10/11/15	
05/05/15	34	17/11/15	22
12/05/15		24/11/15	
19/05/15	29	01/12/15	23
26/05/15		08/12/15	
29/06/15	33	15/12/15	35
		22/12/15	
		29/12/15	29

Schiste 2015			
		06/07/15	141
Date	Cl-(ppm)	13/07/15	117
02/01/2015	111	20/07/15	160
09/01/15	144	27/07/15	122
13/01/15	137	03/08/15	88
19/01/15	145	10/08/15	119
26/01/15	137	17/08/15	104
02/02/15	117	24/08/15	136
09/02/15	149	31/08/15	128
16/02/15	154	07/09/15	113
23/02/15	141	14/09/15	125
02/03/15	137	21/09/15	108
09/03/15	149	28/09/15	117
16/03/15	152	05/10/15	147
23/03/15	147	12/10/15	162
30/03/15	119	19/10/15	129
06/04/15	136	26/10/15	143
10/04/15	117	02/11/15	149
13/04/15	113	09/11/15	137
20/04/15	98	16/11/15	151
27/04/15	110	23/11/15	148
04/05/15	113	30/11/15	129
11/05/15	102	07/12/15	141
18/05/15	117	14/12/15	154
25/05/15	142	21/12/15	159
01/06/15	140	28/12/15	127
08/06/15	137		
15/06/15	117		
22/06/15	141		
29/06/15	129		

Mémoire de fin d'étude

Gypse 2015		22/06/15	
Date	Cl-(ppm)	23/06/15	87
02/01/15	100	06/07/15	88
09/01/15	67	13/07/15	
12/01/15	88	20/07/15	102
19/01/15	101	27/07/15	
26/01/15	92	03/08/15	
02/02/15	102	10/08/15	68
09/02/15	118	17/08/15	
16/02/15	111	24/08/15	105
23/02/15	103	31/08/15	
02/03/15	88	07/09/15	95
09/03/15	104	14/09/15	
16/03/15	117	21/09/15	117
23/03/15	105	28/09/15	
30/03/15	120	05/10/15	89
06/04/15	113	12/10/15	
13/04/15		19/10/15	95
20/04/15	120	26/10/15	
27/04/15		02/11/15	82
04/05/15	114	09/11/15	
11/05/15	100	16/11/15	105
18/05/15	98	23/11/15	
25/05/15	101	30/11/15	89
01/06/15	127	07/12/15	
08/06/15		14/12/15	58
15/06/15	105	21/12/15	
22/06/15		28/12/15	75

Argile 2015			
Date	Cl-(ppm)	Date	Cl- (ppm)
02/01/15	287	08/06/15	324
09/01/15	290	15/06/15	318
13/01/15	302	22/06/15	327
19/01/15	298	29/06/15	310
26/01/15	294	06/07/15	285
02/02/15	312	13/07/15	299
09/02/15	317	20/07/15	324
16/02/15	301	27/07/15	317
23/02/15	289	03/08/15	288
02/03/15	310	10/08/15	311
09/03/15	287	17/08/15	269
16/03/15	305	24/08/15	247
23/03/15	314	31/08/15	285
30/03/15	289	07/09/15	244
02/04/15	302	14/09/15	305
03/04/15	317	21/09/15	319
06/04/15	305	28/09/15	284
10/04/15	313	05/10/15	361
13/04/15	300	12/10/15	347
20/04/15	287	19/10/15	366
27/04/15	321	26/10/15	328
04/05/15	323	02/11/15	341
11/05/15	305	09/11/15	325
18/05/15	315	16/11/15	289
25/05/15	321	23/11/15	336
01/06/15	316	30/11/15	284
		07/12/15	259
		14/12/15	314
		21/12/15	305
		28/12/15	309

Cendres de pyrrhotine 2015			
Date	Cl-(ppm)	Date	Cl-(ppm)
02/01/15	88	29/06/15	79
09/01/15		06/07/15	84
13/01/15	81	13/07/15	
19/01/15		20/07/15	80
26/01/15	76	27/07/15	
02/02/15	84	03/08/15	
09/02/15	102	10/08/15	67
16/02/15	81	17/08/15	
23/02/15		24/08/15	86
02/03/15	115	31/08/15	
09/03/15	103	07/09/15	101
16/03/15		14/09/15	
23/03/15	89	21/09/15	78
30/03/15		28/09/15	
06/04/15	88	05/10/15	71
13/04/15		12/10/15	
21/04/15	74	19/10/15	69
27/04/15		26/10/15	
04/05/15	80	02/11/15	75
11/05/15	88	09/11/15	
18/05/15	79	16/11/15	84
25/05/15	87	23/11/15	
01/06/15	75	30/11/15	72
08/06/15		07/12/15	
15/06/15	86	14/12/15	58
22/06/15		21/12/15	
		28/12/15	69

Sable 2015			
Date	Cl-(ppm)	Date	Cl-
06/01/15	66	15/07/15	76
13/01/15		28/07/15	
20/01/15	74	04/08/15	69
27/01/15		11/08/15	
03/02/15	74	18/08/15	75
10/02/15		25/08/15	
17/02/15	69	01/09/15	74
24/02/15		15/09/15	
03/03/15	96	22/09/15	56
10/03/15	85	29/09/15	
17/03/15		06/10/15	65
24/03/15	98	10/11/15	58
31/03/15		17/11/15	
07/04/15	80	22/12/15	51
14/04/15		29/12/15	

Mémoire de fin d'étude

Farine 2015							
Date	Cl-(ppm)	20/03/14	88	13/11/14	87	06/12/15	75
01/08/14		21/03/14	91	14/11/14	78	07/12/15	88
02/08/14		22/03/14	110	15/11/14	175	08/12/15	96
03/08/14		23/03/14	98	16/11/14	115	09/12/15	105
04/08/14		24/03/14	102	17/11/14	96	10/12/15	95
05/08/14	88	25/03/14	87	18/11/14	87	11/12/15	103
06/08/14	88	26/03/14	95	19/11/14	72	12/12/15	102
07/08/14	73	27/03/14	78	20/11/14	89	13/12/15	93
08/08/14	73	28/03/14	86	21/11/14	105	14/12/15	95
09/08/14	79	29/03/14	99	22/11/14	144	15/12/15	99
10/08/14	75	30/03/14	59	23/11/14	129	16/12/15	97
11/08/14	74	01/10/14	70	24/11/14	78	17/12/15	84
12/08/14	77	02/10/14	89	25/11/14	75	18/12/15	82
13/08/14	76	03/10/14	82	26/11/14	59	19/12/15	86
14/08/14	79	04/10/14	93	27/11/14	108	20/12/15	94
15/08/14	81	05/10/14	88	28/11/14	97	21/12/15	88
16/08/14	80	06/10/14	79	29/11/14	99	22/12/15	92
17/08/14	77	07/10/14	90	30/11/14	86	23/12/15	75
18/08/14	85	08/10/14	96	01/12/14	87	24/12/15	82
19/08/14	79	09/10/14	110	02/12/14	94	25/12/15	72
20/08/14	84	10/10/14	105	03/12/14	95	26/12/15	77
21/08/14	81	11/10/14	98	04/12/14	87	27/12/15	80
22/08/14	82	12/10/14	86	05/12/14	96	28/12/15	71
23/08/14	79	13/10/14	89	06/12/14	89	29/12/15	86
24/08/14	93	14/10/14		07/12/14	91	30/12/15	72
25/08/14	52	15/10/14		08/12/14	91	31/12/15	72
26/08/14	70	16/10/14		09/12/14	69		
27/08/14	60	17/10/14		10/12/14	114		
28/08/14	70	18/10/14		11/12/14	78		
29/08/14	77	19/10/14		12/12/14	80		
30/08/14	84	20/10/14		13/12/14	86		
31/08/14	98	21/10/14		14/12/14	66		
01/09/14	81	22/10/14		15/12/14	72		
02/09/14	86	23/10/14		16/12/14	69		
03/09/14	92	24/10/14		17/12/14	96		
04/09/14	87	25/10/14		18/12/14	112		
05/09/14	99	26/10/14		19/12/14	79		
06/09/14	90	27/10/14		20/12/14	99		
07/09/14	110	28/10/14		21/12/14	82		
08/09/14	91	29/10/14		22/12/14	85		
09/09/14	88	30/10/14		23/12/14	96		
10/09/14	105	31/10/14	90	24/12/14	98		
11/09/14	99	01/11/14	99	25/12/14	73		
12/09/14	92	02/11/14	67	26/12/14	86		
13/09/14	88	03/11/14	104	27/12/14	71		
14/09/14	81	04/11/14	115	28/12/14	76		
15/09/14	122	05/11/14	122	29/12/14	93		
16/09/14	76	06/11/14	98	30/12/14	84		
17/09/14	94	07/11/14	127	31/12/14	64		
18/09/14	95	08/11/14	60	01/12/14	87		
19/09/14	89	09/11/14	129	02/12/14	94		
20/09/14	88	10/11/14	110	03/12/14	95		
21/09/14	91	11/11/14	86	04/12/14	87		
22/09/14	110	12/11/14	98	05/12/14	96		

Mémoire de fin d'étude

Clinker 2015																		
Date	Cl. %	09/02/15	00/10	23/03/15	00/25	03/05/15		13/06/15		26/07/15		08/09/15	00/42	21/10/15	00/35	03/12/15	00/12	
01/10/15		11/02/15		25/03/15		05/05/15		15/06/15		28/07/15		10/09/15		23/10/15		05/12/15		00/08
02/10/15		12/02/15		26/03/15		06/05/15		16/06/15		29/07/15		11/09/15		24/10/15		06/12/15		00/07
03/10/15		13/02/15		27/03/15		07/05/15		17/06/15		30/07/15		12/09/15		25/10/15		07/12/15		00/08
04/10/15		14/02/15		28/03/15		08/05/15		18/06/15		31/07/15		13/09/15		26/10/15		08/12/15		00/07
05/10/15	0,037	15/02/15		29/03/15		09/05/15		19/06/15		01/08/15		14/09/15		27/10/15		09/12/15		00/05
06/10/15		16/02/15		30/03/15		10/05/15		20/06/15		02/08/15		15/09/15		28/10/15		10/12/15		00/07
07/10/15		17/02/15		31/03/15		11/05/15		21/06/15		03/08/15		16/09/15		29/10/15		11/12/15		00/04
08/10/15		18/02/15		01/04/15		12/05/15		22/06/15		04/08/15		17/09/15		30/10/15		12/12/15		00/06
09/10/15		19/02/15		02/04/15		13/05/15		23/06/15		05/08/15		18/09/15		31/10/15		13/12/15		00/13
10/10/15		20/02/15		03/04/15		14/05/15		24/06/15		06/08/15		19/09/15		01/11/15		14/12/15		00/05
11/10/15		21/02/15		04/04/15		15/05/15		25/06/15		07/08/15		20/09/15		02/11/15		15/12/15		00/07
12/10/15	0,019	22/02/15		05/04/15		16/05/15		26/06/15		08/08/15		21/09/15		03/11/15		16/12/15		00/10
13/10/15		23/02/15		06/04/15		17/05/15		27/06/15		09/08/15		22/09/15		04/11/15		17/12/15		00/07
14/10/15		24/02/15		07/04/15		18/05/15		28/06/15		10/08/15		23/09/15		05/11/15		18/12/15		00/07
15/10/15		25/02/15		08/04/15		19/05/15		29/06/15		11/08/15		24/09/15		06/11/15		19/12/15		00/10
16/10/15		26/02/15		09/04/15		20/05/15		30/06/15		12/08/15		25/09/15		07/11/15		20/12/15		00/09
17/10/15		27/02/15		10/04/15		21/05/15		01/07/15		13/08/15		26/09/15		08/11/15		21/12/15		00/10
18/10/15		28/02/15		11/04/15		22/05/15		02/07/15		14/08/15		27/09/15		09/11/15		22/12/15		00/06
19/10/15	0,023	01/03/15		12/04/15		23/05/15		03/07/15		15/08/15		28/09/15		10/11/15		23/12/15		00/05
20/10/15		02/03/15	0,023	13/04/15	0,038	24/05/15		04/07/15		16/08/15		29/09/15	0,031	11/11/15		24/12/15		00/09
21/10/15		03/03/15		14/04/15		25/05/15	0,022	05/07/15		17/08/15		30/09/15	0,023	12/11/15		25/12/15		00/10
22/10/15		04/03/15		15/04/15		26/05/15		06/07/15		18/08/15		01/10/15	0,024	13/11/15		26/12/15		00/07
23/10/15	0,006	05/03/15		16/04/15		27/05/15	0,033	07/07/15		19/08/15		02/10/15	0,028	14/11/15		27/12/15		00/15
24/10/15		06/03/15		17/04/15		28/05/15		08/07/15		20/08/15		03/10/15	0,028	15/11/15		28/12/15		00/10
25/10/15		07/03/15		18/04/15		29/05/15		09/07/15		21/08/15		04/10/15	0,030	16/11/15		29/12/15		00/09
26/10/15	0,020	08/03/15		19/04/15		30/05/15		10/07/15		22/08/15		05/10/15	0,031	17/11/15		30/12/15		00/14
27/10/15		09/03/15	0,044	20/04/15	0,016	31/05/15		11/07/15		23/08/15		06/10/15	0,028	18/11/15				
28/10/15		10/03/15		21/04/15		01/06/15		12/07/15		24/08/15		07/10/15	0,032	19/11/15				
29/10/15		11/03/15	0,028	22/04/15		02/06/15		13/07/15	0,019	25/08/15		08/10/15	0,027	20/11/15				
30/10/15		12/03/15	0,024	23/04/15		03/06/15		14/07/15		26/08/15		09/10/15	0,033	21/11/15				
31/10/15		13/03/15		24/04/15		04/06/15		15/07/15		27/08/15		10/10/15	0,021	22/11/15				
01/10/215		14/03/15		25/04/15		05/06/15		16/07/15		28/08/15		11/10/15	0,026	23/11/15				0,018
02/10/215	0,025	15/03/15		26/04/15		06/06/15		17/07/15		29/08/15	0,024	12/10/15	0,033	24/11/15				
03/10/215		16/03/15	0,036	27/04/15	0,033	07/06/15		18/07/15		30/08/15	0,029	13/10/15	0,027	25/11/15				
04/10/215		17/03/15		28/04/15		08/06/15		19/07/15		31/08/15	0,018	14/10/15	0,032	26/11/15				
05/10/215		18/03/15		29/04/15		09/06/15		20/07/15		01/09/15	0,030	15/10/15	0,028	27/11/15				
06/10/215		19/03/15		30/04/15		10/06/15		21/07/15		02/09/15	0,038	16/10/15	0,030	28/11/15				
07/10/215		20/03/15		01/05/15		11/06/15		22/07/15		03/09/15	0,013	17/10/15	0,028	29/11/15				0,011
08/10/215		21/03/15		02/05/15		12/06/15		23/07/15		04/09/15	0,027	18/10/15	0,031	30/11/15				
09/10/215	0,010	22/03/15		03/05/15		13/06/15		24/07/15		05/09/15	0,024	19/10/15	0,033	01/12/15				0,008
10/10/215		23/03/15	0,025					25/07/15		06/09/15	0,026	20/10/15	0,031	02/12/15				0,008

Mémoire de fin d'étude

Farine chaude 2015		11/02/15	17/34	14/35	07/04/15	28/70	24/30	27/03/15	41/40	4/30	03/08/15	2/220	17/17	23/09/15	37/20	37/17	19/11/15	44/41	47/32	
Date	Garde																			
	Cilpepi	Cilpepi	19/02/15	10/6	16/8	09/04/15	2/380	1/10	2/300	1/10	11/08/15	2/340	2/50	01/10/15	5/51	4/334	21/11/15	44/47	4/361	
01/03/15	44/3	37/31	21/02/15	2/35	1/31	11/04/15	2/31	2/840	31/05/15		12/08/15	2/160	1/6/30	02/10/15	4/3/6	4/3/6	22/11/15	5/0/5	4/3/6	
02/03/15	41/07	41/02	22/02/15	1/7/6	1/2/6	12/04/15	2/6/4	2/3/30	24/06/15	1/3/8	14/08/15	1/8/25	1/3/30	04/10/15	5/2/4	5/1/1	24/11/15			
03/03/15	3/3/31	3/1/62	23/02/15	2/3/34	1/14/0	13/04/15	2/3/30	2/6/23	25/06/15	5/1/30	15/08/15	2/80	1/1/0	05/10/15	5/3/4	5/2/28	25/11/15			
04/03/15			24/02/15	2/3/50	24/60	14/04/15	3/0/3	2/67	26/06/15	64/10	16/08/15			06/10/15	61/28	62/19	26/11/15			
05/03/15	37/31	3/3/80	25/02/15	2/1/00	2/1/50	15/04/15	2/3/30	2/3/60	27/06/15	5/3/30	17/08/15			07/10/15	80/41	82/88	27/11/15			
06/03/15	2/3/50	2/60/6	26/02/15	1/50	1/8/30	16/04/15	4/1/6	4/3/66	28/06/15	3/3/30	18/08/15	1/3/2	1/20	08/10/15	76/4	73/10	28/11/15			
07/03/15	34/17	2/44	27/02/15	1/9/80	2/0/00	17/04/15	4/2/37	37/3/6	29/06/15	44/23	19/08/15	4/4/23	4/4/23	09/10/15	102/39	105/46	29/11/15			
08/03/15	3/3/82	4/1/33	28/02/15	2/34/0	2/84/0	18/04/15	4/67/3	3/3/31	30/06/15	27/3	20/08/15	3/04/9	27/31	10/10/15	121/23	119/15	30/11/15			
09/03/15	3/24/3	2/84/3	01/03/15	4/4/5	37/31	19/04/15	3/30/3	3/3/36	01/07/15		21/08/15	3/007	4/1/27	11/10/15	116/25	110/3	01/12/15			
10/03/15	3/0/53	2/37/8	02/03/15	4/07	4/04/2	20/04/15	44/3/6	4/67/6	02/07/15		22/08/15	3/27/3	3/3/32	12/10/15	80/46	75/4	02/12/15			
11/03/15	2/3/2	2/3/84	03/03/15	3/3/39	4/1/02	21/04/15	37/31	1/31	03/07/15		23/08/15	37/02	37/3	13/10/15	41/3	3/3/21	03/12/15			
12/03/15	2/3/22	2/341	04/03/15	3/3/31	37/3/2	22/04/15	4/2/3/6	1/8/28	04/07/15	4/3/30	24/08/15	3/6/5	3/440	14/10/15	5/0/57	4/3/5	04/12/15			
13/03/15	3/3/77	3/3/82	05/03/15	37/31	3/3/80	23/04/15	3/3/37	2/00	05/07/15	3/340	4/0/32	3/3/87	2/3/89	15/10/15	54/22	5/1/5	05/12/15			
14/03/15	47/33	4/8/33	06/03/15	2/3/50	2/80/6	24/04/15	4/3/00	4/01	06/07/15	4/310	26/08/15	37/3/5	27/5/6	16/10/15	40/50	42/18	06/12/15			
15/03/15	47/36	4/8/36	07/03/15	34/17	2/44	25/04/15	3/30/3	4/2/3/8	07/07/15	37/30	4/2/30	4/2/20	37/34	17/10/15	5/6/6	61/65	07/12/15			
16/03/15	37/40	3/3/27	08/03/15	3/3/82	47/3	26/04/15	34/60	3/6/30	08/07/15	5/1/5	28/08/15	2/3/88	24/1/8	18/10/15	65/28	66/12	08/12/15			
17/03/15	3/3/57	3/342	09/03/15	3/24/0	2/84/3	27/04/15	27/0/8	17/5	09/07/15	44/20	54/10	29/08/15	37/14	3/2/88	19/10/15	70/48	61/12	09/12/15		
18/03/15	27/40	17/54	10/03/15	3/0/53	2/97/8	28/04/15	4/21/0	3/6/39	10/07/15	4/314	47/66	30/08/15	24/5	2/37/8	20/10/15	69/15	5/347	10/12/15		
19/03/15	3/0/61	2/30/5	11/03/15	2/2/25	2/3/84	29/04/15	5/0/37	4/377	11/07/15	4/3/30	5/0/3	31/08/15	41/24	37/15	21/10/15	73/41	69/37	11/12/15		
20/03/15	1/904	1/3/63	12/03/15	2/3/22	2/341	30/04/15	37/310	3/6/37	12/07/15	4/5/23	47/05	01/09/15	41/61	44/11	22/10/15	66/06	64/5/6	12/12/15		
21/03/15	3/6/28	27/0/6	13/03/15	3/377	3/3/82	31/03/15	47/3/2	47/3/6	13/07/15	2/810	3/300	02/09/15	3/3/36	3/3/23	23/10/15	73/1	70/40	13/12/15		
22/03/15	44/33	57/8	14/03/15	47/3	4/8/33	02/07/15	3/6/2/6	3/6/5	14/07/15	2/2/33	1/870	03/09/15	4/6/5	57/33	24/10/15	70/8	70/54	14/12/15		
23/03/15	3/6/55	37/3/8	15/03/15	4/5/6	4/8/3/6	03/07/15	3/2/64	34/20	15/07/15	2/340	2/6/50	04/09/15	4/2/30	4/2/1	25/10/15	70/67	69/03	15/12/15		
24/03/15	40/62	47/22	16/03/15	37/40	3/5/27	04/07/15	3/00/6	3/6/34	16/07/15	2/6/60	37/31	05/09/15	4/3/36	47/23	26/10/15	66/06	62/6/2	16/12/15		
25/03/15	4/5/61	44/54	17/03/15	3/3/57	3/342	05/07/15	3/300	3/640	17/07/15	3/80/5	3/6/30	06/09/15	4/5/38	47/13	27/10/15	67/27	61/85	17/12/15		
26/03/15	4/3/38	4/6/20	18/03/15	27/40	17/54	06/07/15	2/300	37/30	18/07/15	3/34/6	3/6/38	07/09/15	4/64/2	4/30/6	28/10/15	75/8	67/26	18/12/15		
27/03/15	4/6/23	4/6/55	19/03/15	3/0/61	2/30/5	07/07/15	3400	3/2/30	19/07/15	3/0/60	2/340	08/09/15	57/67	5/6/66	29/10/15	3/607	8/31	19/12/15		
28/03/15	57/46	4/5/25	20/03/15	1/904	1/3/63	08/07/15	3/370	3/340	20/07/15	4477	47/3	09/09/15	4/34/8	434/6	30/10/15	65/18	62/32	20/12/15		
29/03/15	47/30	4473	21/03/15	3/6/28	27/0/6	09/07/15	2/340	37/30	21/07/15	27/23	37/64	10/09/15	17/28	3/3/31	31/10/15	43/04	40/38	21/12/15		
30/03/15	34/33	2/8/38	22/03/15	44/33	57/8	10/07/15	47/00	4770	22/07/15	3/6/30	3/240	11/09/15	4/87/2	4470	01/11/15	34/85	34/34	22/12/15		
31/03/15	27/34	37/80	23/03/15	3/6/55	37/3/8	11/07/15	3440	37/30	23/07/15	6742	3/0/63	12/09/15	24/33	2/3/6	02/11/15			23/12/15		
01/04/15	2/6/30	27/23	24/03/15	47/32	12/0/57	13/07/15	2770	1/390	24/07/15	3704	37/2	03/11/15	3/84/9	42/26	03/11/15			24/12/15		
02/04/15	2/6/60	2/3/20	25/03/15	4/5/61	44/54	14/07/15	3710	47/00	25/07/15	24/33	2/6/37	04/09/15	52/3/3	54/0/6	04/11/15	34/15	37/26	25/12/15		
03/04/15	1/610	2/240	26/03/15	4/5/6	4/6/20	14/07/15	4720	37/50	26/07/15	3/0/60	3/0/30	05/09/15	47/27	3/3/84	05/11/15	4474	42/0/6	26/12/15		
04/04/15	1/5/31	17/54	27/03/15	4/6/23	4/6/55	15/07/15	34/52	3/2/38	27/07/15	2/300	1/390	06/09/15	37/31	37/11	06/11/15	47/11	40/34	27/12/15		
05/04/15	27/30	2/8/30	28/03/15	57/46	4/5/25	16/07/15	4/2/3/8	3/3/21	28/07/15	27/30	3/340	07/09/15	37/1/6	3/3/55	07/11/15	37/15	37/18	28/12/15		
06/04/15	247	1/6/6	29/03/15	47/30	4473	17/07/15	3730	47/90	29/07/15	3420	2/6/60	08/09/15	47/50	3743	08/11/15	3/600	47/32	29/12/15		
07/04/15	2448	1/8/64	30/03/15	34/33	2/8/38	18/07/15	4741	37/30	30/07/15	3710	3440	09/09/15	47/22	47/58	09/11/15	37/34	37/39	30/12/15		
08/04/15	2/8/60	27/30	31/03/15	2/3/33	2/2/23	19/07/15	44/62	44/61	31/07/15	2/673	2/673	10/09/15	47/42	47/42	10/11/15	5677	57/17	31/12/15		
09/04/15	3/676	3/207	01/04/15			20/07/15	4720	4770	01/08/15	3733	2/330	21/09/15	37/34	324/6	11/11/15	47/17	48/35			
10/04/15	1/3/86	1/377	02/04/15	1/390	1/8/20	21/07/15	4740	5470	02/08/15	224/5	2/6/22	22/09/15	327/3	3/6/50	12/11/15	49/05	50/16			
11/04/15	27/60	1/348	03/04/15	2/800	27/10	22/07/15	63/30	5/6/50	03/08/15	1/6/21	1/3/97	23/09/15	3777	47/16	13/11/15	49/16	44/84			
12/04/15	27/08	1/394	04/04/15	27/60	3740	23/07/15	63/30	65/30	04/08/15	1/5/31	1/1/5	24/09/15	3914	47/13	14/11/15	37/1/6	37/1/7			
13/04/15	34/31	37/303	05/04/15	2/6/60	2/8/20	24/07/15	7000	6270	05/08/15	1/84/6	1/5/38	25/09/15	2/84/8	37/302	15/11/15	40/81	3/8/25			
14/04/15	37/81	37/3/3	06/04/15	1/8/20	2/670	25/07/15	5/6/60	5/200	06/08/15	27/17	27/17	26/09/15	37/85	37/66	16/11/15	47/33	47/52			
15/04/15	27/3/8	1/6/2	07/04/15			26/07/15	57/30	47/90	07/08/15	47/3/6	37/81	27/09/15	27/14	3270	17/11/15	47/3/6	44/50			

Annexe C : Analyses des Combustibles alternatifs à CIMAT (2015)



Rapport d'analyse Page 1 / 3
 Edité le : 25/01/2016

Annule et remplace l'édition du
 Veuillez détruire l'exemplaire précédent

CIMENT DE L'ATLAS
 M. Kamal BOUQALLABA

28 Lotissement La Colline II Sidi Maarouf
 20150 CASABLANCA
 MAROC

Le rapport établi ne concerne que les échantillons soumis à l'essai. Il comporte 3 pages.
 La reproduction de ce rapport d'analyse n'est autorisée que sous la forme de fac-similé photographique intégral.
 L'accréditation du COFRAC atteste de la compétence des laboratoires pour les seuls essais couverts par l'accréditation, identifiés par le symbole #.
 Les paramètres sous-traités sont identifiés par (*).

Identification dossier : SOC15-11654

Référence contrat : SOCC15-1970

Identification échantillon : **SOC1512-452-2**

Référence client : **CSR INT USINE DE BENI MELLAL**

NATURE : Produits solides - Combustibles solides de récupération

PRELEVEMENT : Prélevé le 19/11/2015 Réceptionné le 03/12/2015

Les données concernant la réception, la conservation, le traitement analytique de l'échantillon et les incertitudes de mesure sont consultables au laboratoire. Pour déclarer, ou non, la conformité à la spécification, il n'a pas été tenu explicitement compte de l'incertitude associée au résultat.

Paramètres analytiques	Résultats	Unités	Méthodes	Normes	Détection	Références de qualité	COFRAC
Analyse sur le produit							
<i>Analyses physiques</i>							
Humidité totale	17.0	% brut	Séchage en étuve - Méth. int. selon PA254	XP CEN15 1544-1			#
<i>Analyse de base</i>							
Préparation/Broyage d'un échantillon	-	-	-	NF EN 15413			#
Refus de broyage (non analysé)	0.0	% sec	Broyage				
<i>Analyse élémentaire</i>							
Carbone total	44.9	% sec	Microanalyseur	NF EN 15407			#
Carbone total	37.3	% brut	Microanalyseur	NF EN 15407			#
Hydrogène total	5.84	% sec	Microanalyseur	NF EN 15407			#
Hydrogène total	6.75	% brut	Microanalyseur	NF EN 15407			#
Minéralisation pour dosage halogènes et/ou soufre	-	-	Combustion en bombe	NF EN 15408			
Chlore total	1.319	% sec	Chromatographie ionique	NF EN 15406 et NF EN ISO 10304-1			
Chlore total	1.095	% brut	Chromatographie ionique	NF EN 15406 et NF EN ISO 10304-1			
Soufre total	0.532	% sec	Chromatographie ionique	NF EN 15406 et NF EN ISO 10304-1			

Annexe D : Analyses de la Farine chaude (Cl⁻ (ppm), SO₃ (%))

Date	FARINE CHAUDE											
	Gauche		Droite		Gauche		Droite		Gauche		Droite	
	Cl ⁻ ppm	SO ₃										
1/1/15	4459	2,10	3731	2,09	3781	2,04	3283	2,05	3290	2,24		
2/1/15	4107	2,33	4042	2,29	2388	1,98	1602	1,98	4127	2,36		2,25
3/1/15	3999	2,46	4102	2,42	2901	2,26	1955	2,36	2940	2,33	2190	2,51
4/1/15	3381	2,33	3762	2,37	1734	2,69	1495	2,71				
5/1/15	3791	1,82	3980	1,87	1319	2,75	1628	2,69	1390	2,59	1820	2,61
6/1/15	2950	2,85	2806	2,74	1076	2,27	1658	2,29	2800	2,34	2570	2,35
7/1/15	3471	2,20	2144	2,23	2601	2,85	3057	2,75	2560	2,37	3140	2,47
8/1/15	3982	2,59	4183	2,73	2315	2,87	1951	2,89	2660	2,39	2820	2,32
9/1/15	3240	2,66	2849	2,74	1976	2,64	1216	2,71	1820	2,22	2670	2,28
10/1/15	3053	2,20	2978	2,21	2394	2,57	1740	2,56	2870	2,73	2430	2,78
11/1/15	2525	2,34	2984	2,34	2650	2,51	2460	2,53	2470	2,77	2060	2,85
12/1/15	2922	2,34	2541	2,36	2100	2,75	260	2,77	2380	2,55	1510	2,56
13/1/15	3577	2,19	3582	2,23	180	2,71	1600	2,77	1700	2,08	1540	2,09
14/1/15	4789	2,09	4889	2,05	1980	2,17	2000	2,21	2531	2,06	2840	2,08
15/1/15	4556	2,35	4856	2,40	2540	2,08	2840	2,04	2864	2,13	2530	2,18
16/1/15	3740	2,40	3527	2,73	3440	2,40	2910	2,40	2890	2,12	2623	2,13
17/1/15	3357	2,43	3342	2,49	3340	2,46	3080	2,38	3013	2,26	2167	2,30
18/1/15	2140	2,65	1154	2,69	2940	2,44	2820	2,48	2890	2,10	2960	2,05
19/1/15	3061	2,87	2905	2,79	3240	2,49	3370	2,50	4136	1,95	4366	1,89
20/1/15	1904	2,55	1963	2,52	2580	2,42	2370	2,48	4287	1,88	3736	2,01
21/1/15	3628	2,79	2106	2,70	2220	2,79	290	2,50	4673	1,89	3891	1,86
22/1/15	4439	2,64	5188	2,67	2010	2,42	2320	2,52	3809	1,62	3998	1,73
23/1/15	3617	2,63	2929	2,72	1740	2,63	1460	2,46	4436	1,75	4616	1,75
24/1/15	4062	2,75	4722	2,79	3130	2,40	2480	2,65	3913	1,79	1319	1,84
25/1/15	4561	2,45	4454	2,58	3204	1,94	2800	1,90	4256	1,73	1828	1,76
26/1/15	4358	2,32	4620	2,32	2429	2,22	2759	2,32	3897	1,94	2010	1,86
27/1/15	4623	2,36	4665	2,34	2990	2,54	2457	2,49	4900	1,75	4011	1,74
28/1/15	5146	1,91	4525	1,99	2870	2,72	2290	2,74	3809	1,75	4258	1,74
29/1/15	4560	1,95	4419	1,93	3020	2,31	2880	2,28	3460	1,59	3630	1,69
30/1/15	3433	2,28	2838	2,29	3420	2,10	3500	2,07	2108	1,79	1775	1,70
31/1/15	2964	2,61	3180	2,53	3470	2,80	2090	2,75	4210	1,94	3839	1,97
1/2/15	2630	2,82	2325	2,74	2210	2,45	2890	2,82	5037	1,86	4977	1,90
2/2/15	2660	2,40	2920	2,53	1720	2,65	1580	2,57	3570	1,94	3637	2,01
3/2/15	1610	2,29	2240	2,20	190	3,13	1900	3,07	4302	2,06	4126	2,04
4/2/15	1591	2,14	1754	2,05	2280	2,52	1880	2,47	3626	1,93	3865	1,94
5/2/15	2370	2,31	2830	2,31	2130	2,61	2020	2,55	3264	1,85	3420	1,95
6/2/15	2417	2,29	1666	2,17	290	2,36	2410	2,32	3006	1,89	3694	1,92
7/2/15	2448	2,16	1864	2,17	2390	2,49	2590	2,49	3300	1,89	3640	1,92
8/2/15	2860	2,32	2910	2,38	2500	2,76	2620	2,74	2900	1,90	3790	1,90
9/2/15	3616	2,21	3207	2,23	1990	2,76	2620	2,74	3400	1,91	3290	1,94
10/2/15	1986	2,63	1917	2,75	2670	2,87			3970	1,69	3340	1,74
11/2/15	2160	2,48	1948	2,53	280	2,30		2,29	2940	1,82	3970	1,89
12/2/15	2108	2,42	1994	2,42	2750	2,39	2080	2,30	4060	1,69	4770	1,73
13/2/15	3431	2,31	3909	2,35					3440	1,97	3930	1,99

Mémoire de fin d'étude

Gauche		Droite																					
Cl-ppm	SO3																						
4459	210	3731	209	640	218	540	214	2220	275	197	288	3777	158	418	185	491	240	4034	248	8491	190	9078	189
4407	233	4042	229	6590	235	5720	251	2790	278	2700	288	3914	157	4073	182	3785	215	3378	225	9900	208	9789	208
3899	246	4102	242	3890	244	3284	244	2340	240	2090	246	2848	147	3282	157	3900	229	432	231	9986	201	9720	199
3381	233	3782	237	4429	238	4697	235	2760	275	1830	286	3085	219	3586	217	3034	271	3809	283	9578	207	9638	213
3791	182	3980	187	273	193	2031	190	2930	275	180	278	294	199	320	195	967	220	8990	175	9488	175	9488	177
2980	285	2805	274					825	283	1030	289	2600	200	260	203	4977	231	4635	234	9068	191	918	198
3471	220	244	223					280	285	1770	273	3720	228	3717	236	495	247	506	246	8006	199	7541	199
3982	289	483	279									570	189	511	195	496	247	4484	247	8020	227	8220	234
3240	286	2949	274	4930	289	3890	293					931	228	4994	232	3778	242	3787	239	7780	230	7533	245
3063	220	2978	221	3940	220	402	221	792	230	1020	257	495	210	4989	224	4091	241	3825	241	7731	238	7405	241
2825	234	2894	234	430	225	4230	221			3890	290	521	223	5170	228	4983	241	482	241	482	241	482	241
2922	234	2541	238	390	245	4230	244	3049	296	2731	300	5254	190	5161	207	4986	236	4460	234				
3977	219	3682	223	555	220	3995	229	3807	267	4127	281	5334	203	5228	212	4779	230	4719	234				
4799	209	4899	206	4420	215	540	223	3273	291	3382	327	6128	182	6279	188	4487	282	4745	254				
4568	235	4686	240	494	223	4768	233	3702	241	3789	241	8041	178	8288	184	4631	211	6200	214				
3740	240	3827	273	4990	228	5055	227	3855	214	3440	219	7884	187	7970	188	4447	229	4361	234				
3387	243	3342	248	463	238	4705	244	3387	215	2899	219	10299	167	10546	167	8065	280	4936	264				
2140	285	1854	288	280	291	3300	281	385	290	2786	249	1239	189	18795	188	3779	292	3867	292				
3061	287	2905	279	223	245	1870	245	2354	193	2988	196	1825	173	11099	189								
1904	255	1863	252	2940	214	2890	231	2988	198	2478	201	8394	204	8333	210								
3828	279	206	270	2880	240	3781	289	3974	207	3288	221	483	281	3921	282								
4439	264	5188	267	3805	224	3630	223	325	182	3133	201	5967	285	4695	273	3988	318	426	322				
3617	263	2829	272	3846	221	3898	225	4124	197	3775	197	5860	277	5390	274	326	292	316	278				
4082	275	4722	279	3080	282	2540	245	4161	215	4411	214	4601	239	4278	276	8640	287	5012	305				
4561	245	4454	288	4417	229	418	232	3936	292	3223	270	5886	228	686	236	780	179	6983	182				
4388	232	4620	232	2123	238	384	245	4685	232	5193	231	6228	251	6872	257	9855	195	9425	161				
4823	238	4685	234	3890	246	3240	292	4290	249	4821	242	7048	207	612	220	9884	193	1041	199				
5146	191	4825	199	3142	253	3063	257	4998	228	4723	236	6375	218	5947	218	9703	183	9688	194				
4580	195	4419	193	3084	237	305	238	4899	230	4973	237	7341	215	6997	220	10011	189	9824	174				
3433	228	2838	229	2433	257	2897	282	4642	219	4906	218	6806	188	6456	195	9873	182	9818	166				
2994	261	3801	253	3080	274	3030	275	5857	227	5866	230	7311	188	7040	192	9928	232	9988	232				
2830	282	2325	274	2300	283	1930	287	4348	204	4946	208	7099	184	7054	188	947	237	10366	239				
2890	240	2820	253	2790	256	3340	285	1128	220	3331	235	7067	227	6909	217	8902	237	9581	241				
1610	229	2240	220	390	282	3440	281	4872	203	4470	217	6806	182	632	188	8732	243	8879	249				
1891	214	1754	206	390	282	3440	281	2433	191	2896	193	6727	179	685	188	6923	289	610	285				
2370	231	2830	231	2673	270	2805	285	3849	188	4226	187	7189	185	6726	195	983	289	8682	270				
2447	229	1868	217	3333	234	2330	240	6283	161	5406	189	9801	180	8631	192	7302	278	7888	278				
2449	216	1884	217	2245	305	2622	312	4027	188	3984	172	698	255	6292	267	8683	286	9427	286				
2880	232	2910	238	621	305	1937	300	339	188	3371	196	4304	210	4098	211	10661	286	10428	288				
386	221	3207	223	181	273	185	288	378	173	3853	177	3837	228	3498	218	8894	271	800	270				
1886	263	187	275	1846	293	638	308	4050	192	3743	192					718	178	6792	183				
2180	249	1949	253	2377	267	2177	281	422	189	4088	191					7824	185	7879	184				
2108	242	1894	242	4391	217	3021	220	4088	225	442	229	345	259	326	241	7875	177	7882	178				
3431	231	3899	235	2030	295	1895	301	3794	210	3246	212	4474	232	4206	232	8086	188	868	175				

Annalyse du Cl (ppm) et SO₃ (%) dans la farine Chade durant 2015 à CIMAT

Mémoire de fin d'étude

Variation de la teneur en SO₄(%) en fonction de la teneur en Chlore [ppm] (moyenne journalier 2015)

Date	01/04/15	50%	5/21/15	2370	2,31	13/31/15	2370	2,72	18/4/15	4673	1,89	22/5/15	6950	2,06
11/15	4459	2,10	6/21/15	2417	2,29	14/3/15	3120	2,31	19/4/15	3809	1,62	23/5/15	6300	1,97
21/15	4107	2,33	12/21/15	2448	2,16	15/3/15	3420	2,10	20/4/15	4436	1,75	24/5/15	7000	1,83
31/15	3999	2,46	18/21/15	2860	2,32	16/3/15	3470	2,80	21/4/15	3913	1,79	25/5/15	5660	2,14
41/15	3381	2,33	9/21/15	3616	2,21	17/3/15	2210	2,45	22/4/15	4256	1,73	26/5/15	5090	2,14
51/15	3791	1,82	10/21/15	1986	2,63	18/3/15	1720	2,65	23/4/15	3897	1,94	27/5/15	4140	2,37
61/15	2950	2,85	11/21/15	2160	2,48	19/3/15	1190	3,13	24/4/15	4900	1,75	28/5/15	6300	1,87
71/15	3471	2,20	12/21/15	2108	2,42	20/3/15	2280	2,52	25/4/15	3809	1,75	24/6/15	1318	2,99
81/15	3982	2,59	13/21/15	3431	2,31	21/3/15	2130	2,61	26/4/15	3460	1,59	25/6/15	5790	2,52
91/15	3240	2,66	14/21/15	3781	2,04	22/3/15	2390	2,36	27/4/15	2108	1,79	26/6/15	6410	2,18
10/15	3053	2,20	15/21/15	2388	1,98	23/3/15	2500	2,49	28/4/15	4210	1,94	27/6/15	5590	2,55
11/15	2525	2,34	16/21/15	2901	2,26	24/3/15	1990	2,76	29/4/15	5037	1,86	28/6/15	3580	2,44
12/15	2922	2,34	17/21/15	1734	2,69	25/3/15	2670	2,87	30/4/15	3570	1,94	29/6/15	4429	2,36
13/15	3577	2,19	18/21/15	1319	2,75	26/3/15	2180	2,30	15/5/15	4302	2,06	30/6/15	2173	1,93
14/15	4789	2,09	19/21/15	1076	2,27	27/3/15	2750	2,39	21/5/15	3626	1,93	4/7/15	4930	2,69
15/15	4556	2,35	20/21/15	2601	2,85	28/3/15	2030	2,71	31/5/15	3264	1,85	5/7/15	3940	2,20
16/15	3740	2,40	21/21/15	2315	2,87	29/3/15	3290	2,24	4/5/15	3006	1,89	6/7/15	4310	2,25
17/15	3357	2,43	22/21/15	1976	2,64	30/3/15	4127	2,36	5/5/15	3300	1,89	7/7/15	3910	2,45
18/15	2140	2,65	23/21/15	2394	2,57	31/3/15	2940	2,33	6/5/15	2900	1,90	8/7/15	5515	2,20
19/15	3061	2,87	24/21/15	2650	2,51	24/4/15	1390	2,59	7/5/15	3400	1,91	9/7/15	4420	2,15
20/15	1904	2,55	25/21/15	2100	2,75	34/4/15	2800	2,34	8/5/15	3970	1,69	10/7/15	4914	2,23
21/15	3628	2,79	26/21/15	1150	2,71	44/4/15	2560	2,37	31/5/15	2940	1,82	11/7/15	4990	2,28
22/15	4439	2,64	27/21/15	1980	2,17	54/4/15	2660	2,39	10/5/15	4060	1,69	12/7/15	4529	2,38
23/15	3617	2,63	28/21/15	2540	2,08	64/4/15	1820	2,22	11/5/15	3440	1,97	13/7/15	2810	2,51
24/15	4062	2,75	11/3/15	3440	2,40	74/4/15	2870	2,73	12/5/15	2710	2,01	14/7/15	2233	2,45
25/15	4561	2,45	21/3/15	3340	2,46	84/4/15	2470	2,77	13/5/15	3110	1,66	15/7/15	2940	2,14
26/15	4358	2,32	31/3/15	2940	2,44	94/4/15	2380	2,55	14/5/15	4120	2,24	16/7/15	2660	2,40
27/15	4623	2,36	41/3/15	3240	2,49	104/4/15	1700	2,08	15/5/15	3452	1,89	17/7/15	3805	2,24
28/15	5146	1,91	51/3/15	2580	2,42	114/4/15	2331	2,06	16/5/15	4238	1,79	18/7/15	3846	2,21
29/15	4560	1,95	61/3/15	2220	2,79	124/4/15	2864	2,13	17/5/15	3590	2,03	19/7/15	3060	2,52
30/15	3433	2,28	71/3/15	2010	2,42	134/4/15	2890	2,12	18/5/15	4141	1,80	20/7/15	4417	2,29
31/15	2964	2,61	81/3/15	1740	2,63	144/4/15	3013	2,26	19/5/15	4632	1,71	21/7/15	2123	2,38
1/21/15	2630	2,82	91/3/15	3130	2,40	154/4/15	2990	2,10	20/5/15	4820	1,83	22/7/15	3690	2,46
2/21/15	2660	2,40	101/3/15	3204	1,94	164/4/15	4136	1,95	21/5/15	4640	1,67	23/7/15	3142	2,53
3/21/15	1610	2,29	111/3/15	2429	2,22	174/4/15	4287	1,88	24/5/15	3084	2,37	24/7/15	3084	2,37
4/21/15	1591	2,14	121/3/15	2990	2,54	184/4/15	4673	1,89	25/7/15	2433	2,57	25/7/15	2433	2,57

Mémoire de fin d'étude

26/7/15	3660	2,74	27/8/15	3936	2,62	7/10/15	8841	1,78	13/11/15	4916	2,47	20/12/15	8491	1,80
27/7/15	2300	2,63	3/9/15	4685	2,32	8/10/15	7664	1,87	14/11/15	3776	2,42	21/12/15	9800	2,08
28/7/15	2730	2,56	4/9/15	4250	2,43	9/10/15	10299	1,67	15/11/15	4081	2,41	22/12/15	9996	2,01
29/7/15	3510	2,82	5/9/15	4998	2,28	10/10/15	12129	1,68	16/11/15	4593	2,41	23/12/15	9576	2,07
30/7/15	3510	2,82	6/9/15	4588	2,30	11/10/15	11625	1,73	17/11/15	4966	2,36	24/12/15	8990	1,75
31/7/15	2673	2,70	1/9/15	4642	2,13	12/10/15	8394	2,04	18/11/15	4779	2,30	25/12/15	9068	1,91
1/8/15	3333	2,34	8/9/15	5167	2,27	13/10/15	4183	2,61	19/11/15	4487	2,52	26/12/15	8006	1,98
2/8/15	2245	3,05	9/9/15	4348	2,04	14/10/15	5067	2,65	20/11/15	4631	2,11	27/12/15	8020	2,27
3/8/15	1621	3,05	10/9/15	1128	2,20	15/10/15	5560	2,77	21/11/15	4447	2,29	28/12/15	7760	2,30
4/8/15	1351	2,73	11/9/15	4872	2,03	16/10/15	4050	2,59	22/11/15	5065	2,60	29/12/15	7731	2,38
5/8/15	1846	2,93	12/9/15	2433	1,91	17/10/15	5966	2,28	23/11/15	3779	2,92	30/12/15	7520	2,09
6/8/15	2377	2,67	13/9/15	3849	1,86	18/10/15	6528	2,51	27/11/15	3958	3,19			
7/8/15	4291	2,17	14/9/15	5283	1,61	19/10/15	7048	2,07	28/11/15	3926	2,92			
8/8/15	2030	2,95	15/9/15	4027	1,66	20/10/15	6975	2,18	29/11/15	5840	2,57			
9/8/15	2220	2,75	16/9/15	3319	1,88	21/10/15	7341	2,15	30/11/15	7190	1,79			
10/8/15	2190	2,76	17/9/15	3176	1,73	22/10/15	6606	1,86	1/12/15	9655	1,55			
11/8/15	2340	2,40	18/9/15	4050	1,92	23/10/15	7311	1,88	2/12/15	9854	1,93			
12/8/15	2760	2,75	19/9/15	4122	1,89	24/10/15	7068	1,84	3/12/15	9703	1,83			
13/8/15	2130	2,75	20/9/15	4088	2,25	25/10/15	7067	2,27	4/12/15	10011	1,69			
14/8/15	1825	2,53	21/9/15	3784	2,10	26/10/15	6606	1,82	5/12/15	9673	1,62			
15/8/15	2180	2,65	22/9/15	3273	1,82	27/10/15	6727	1,79	6/12/15	9928	2,32			
16/8/15	792	2,50	23/9/15	3777	1,56	28/10/15	7158	1,85	7/12/15	9147	2,37			
20/8/15	3049	2,95	24/9/15	3914	1,57	29/10/15	9601	1,80	8/12/15	8902	2,37			
21/8/15	3807	2,67	25/9/15	2848	1,47	30/10/15	6518	2,55	9/12/15	8732	2,43			
22/8/15	3273	2,91	26/9/15	3085	2,19	31/10/15	4304	2,03	10/12/15	5923	2,59			
23/8/15	3702	2,41	27/9/15	2914	1,99	1/11/15	3637	2,28	11/12/15	8153	2,69			
24/8/15	3565	2,04	28/9/15	2500	2,00	4/11/15	3415	2,59	12/12/15	7302	2,76			
25/8/15	3387	2,15	29/9/15	3720	2,28	5/11/15	4474	2,32	13/12/15	8663	2,66			
26/8/15	3195	2,50	30/9/15	5370	1,89	6/11/15	4181	2,40	14/12/15	10661	2,66			
27/8/15	2354	1,93	1/10/15	5131	2,26	7/11/15	3755	2,15	15/12/15	8894	2,71			
28/8/15	2988	1,98	2/10/15	4956	2,10	8/11/15	3600	2,29	16/12/15	7178	1,78			
29/8/15	3974	2,07	3/10/15	5231	2,23	9/11/15	3034	2,71	17/12/15	7624	1,65			
30/8/15	3215	1,92	4/10/15	5254	1,90	10/11/15	5617	2,20	18/12/15	7875	1,77			
31/8/15	4124	1,97	5/10/15	5334	2,03	11/11/15	4977	2,31	19/12/15	8106	1,68			
1/9/15	4161	2,15	6/10/15	6128	1,82	12/11/15	4905	2,47						

Références :

- [1] Wikipédia
- [2] ANNABA Khadija. Ciment Matériau de construction, projet de fin d'étude, Université Sultan Moulay Slimane Faculté des Sciences et des Techniques de Béni Mellal. 2014
- [3] ELHAMDAOUNI Btissam. Contrôle des Doseurs au sein de HOLCIM (REM), Université Sidi Mohamed Ben Abdellah Faculté des sciences et des techniques Fès.2010/2011.P.18-19.
- [4] M.CHIKHBIHI. Améliorer la fiabilité des équipements mécaniques de la laverie. Office Chérifienne de Phosphate ELYOUSSOFIA. Rapporte de stage d'ombouche.2013.P48.
- [5] Manuel de Maintenance et Pièce de Rechange, Cimenterie d'atlas, Béni mellal.2011,E11.28.P3-5.
- [6] S. Brooks, D.B. Mea dowcroft, Corrosion Resistant Mat e rials, Applied Sci. Publish. , London , 105, 1983.
- [7] .M. HAZI – POCEDIS - Verneuil en halatte Processus d'interaction corrosion / érosion / dépôt dans les enceintes de traitement thermique des déchets. ETUDE N° 03-0223/1A.2006.P.57-60.
- [8] M.A. Uusitalo, P.M.J. Vuoristo, T.A. Mantyla, Corrosion Scien ce 46, 2004.
- [9] D.A.Vaughan,H.H.Krause, W.D. Boyde, Proc.Int. Conf. on Ash Deposits and Corrosion, Henniker, New Hampshire, 26 June, 473, 1997.
- [10] M. HAZI – POCEDIS - Verneuil en halatte Processus d'interaction corrosion / érosion / dépôt dans les enceintes de traitement thermique des déchets. ETUDE N° 03-0223/1A.2006.P.57-60.
- [11] Vuthaluru H.B., Fuel, 78, 1789-1803, 1999