

Stage Technique sous thème :

**Optimisation et régulation de la
température du gaz de cyclone C4**
**Action sur débit combustible
précalcinateur (coke)**



Dédicace

Nous dédions ce modeste travail

A nos chers parents

Pour leur soutien, leur patience, leur sacrifice

et leur amour, vous méritez tout éloge,

vous qui avez fait de nous ce que nous sommes maintenant.

Nous espérons être l'image que vous êtes fait de

nous, que dieu vous garde et vous bénisse.

Nous dédions aussi ce travail à nos chers frères et sœurs,

pour leur affection et leur encouragement qui ont toujours

été pour nous des plus précieux.

Que ce travail soit pour vous le gage de notre profond amour

A tout nos amis

A tous ceux qui nous ont aidés.

A tous ceux que nous aimons, nous dédions ce travail ...



Remerciement

Nous tenons à exprimer notre gratitude et nos remerciements au membre de jury. Veuillez accepter dans ce travail notre sincère respect et notre profonde reconnaissance.

Tout d'abord nous présentons mes remerciements à Mr CHEWAR, Directeur général de LAFARGE CIMENT DE MEKNES de nous avoir accordé ce stage.

A Mr ADIL HAMIMAZ Chef département du procédés à notre encadrant de stage Mr OMAR CHAIK pour ses conseils, son encadrement et sa disponibilité durant toute la période du stage.

Notre remerciements s'adresse également à tout les cadres de département de procédés pour tous les efforts qu'ils ont fournis à fin de me permettre les meilleures conditions de compréhension d'apprentissage en particulier Mr NABIL

Nous tenons également à remercier infiniment notre encadrant de l'école M. RABI MOHAMMED pour nous avoir guidés dans l'élaboration de ce travail et contribuer largement à sa réalisation avec la patience et le dynamisme qui le caractérise et aussi son soutien tout au long de notre projet.

Que le corps professoral et administratif et surtout le directeur général de l'Ecole Supérieure de Technologie de FES, trouvent ici nos vifs remerciements, pour tout le travail effectué durant notre formation à l'école.

Merci a tous



Sommaire

| | |
|------------------------------------|---|
| Dédicace..... | 2 |
| Remerciements | 3 |
| Liste des Figures et Tableaux..... | 6 |
| Introduction..... | 8 |

Chapitre I : Présentation du groupe LAFARGE

| | |
|--|----|
| 1..... | L |
| Le groupe LAFARGE | 11 |
| 2..... | L |
| LAFARGE Maroc | 13 |
| 2.1. Historique | 13 |
| 2.2. Implantation de LAFARGE-Maroc | 14 |
| 2.3. Lafarge Maroc en chiffre | 15 |
| 3..... | P |
| Présentation de LAFARGE de Meknès | 15 |
| 3.1. Historique | 15 |
| 3.2. Implantation de Lafarge de Meknès | 16 |
| 3.3. Fiche Signalétique | 18 |
| 4..... | P |
| Présentation des services de LAFARGE de Meknès | 19 |
| 4.1. Service carrière | 19 |
| 4.2. Service fabrication | 19 |
| 4.3. Service électrique et régulation | 19 |
| 4.4. Service commercial | 19 |
| 4.5. Direction financière | 20 |
| 4.6. Direction administrative | 20 |
| 4.7. Service contrôle de qualité | 20 |
| 4.8. Service procédé | 21 |
| 4.9. Service sécurité | 21 |
| 5..... | O |
| Organigramme d'usine de MEKNES | 22 |

Chapitre II : Procédé de fabrication du ciment

| | |
|----------------------------|----|
| 1..... | D |
| Définition du ciment | 24 |

| | |
|--------------------------------------|----|
| 2..... | D |
| différents types de ciments | 25 |
| 3..... | E |
| tapes de fabrication de ciment | 26 |
| 3.1. Carrière | 26 |
| 3.2. Concassage | 27 |
| 3.3. Préparation du cru | 27 |
| 3.4. Broyage cru | 28 |
| 3.5. L'homogénéisation | 29 |
| 3.6. Ligne de cuisson | 29 |
| 3.6.1. Tour à cyclones | 30 |
| 3.6.2. Four rotatif | 30 |
| 3.6.3. Refroidisseur | 32 |
| 3.7. Broyage ciment | 33 |
| 3.8. Ensachage et expédition | 33 |

Chapitre III: Etude et mise en service d'une boucle de régulation du débit combustible précalcinateur

| | |
|---|----|
| 1..... | P |
| présentation du procédé et du sujet..... | 36 |
| 1.1. Présentation du procédé | 36 |
| 2.1.1. Fonction de préchauffeur | 37 |
| 2.1.2. Les capteurs de Pression et de Température | 38 |
| 1.2. Présentation du sujet..... | 39 |
| 2.2.2. Actions à faire | 41 |
| 2..... | P |
| présentation du circuit | 41 |
| 3..... | O |
| optimisation de la consommation calorifique de pré-calcinateur | 42 |
| 3.1. Système de commande: système de management | 42 |
| 3.2. Amélioration du système de régulation | 44 |
| 3.2.1. Présentation des boucles de régulation | 44 |
| 3.2.2. Suivi du fonctionnement des capteurs de température | 47 |
| 3.2.3. Simulation du fonctionnement de la régulation et sa mise en marche | 49 |
| ➤ | |
| Régulation et sa mise en marche | 49 |
| ➤ | P |
| procédure de mise en marche de la régulation en toute sécurité | 50 |
| ➤ | R |
| résultats de la simulation | 51 |

| | |
|---|-----------|
| ➤ | R |
| résultats de la mise en marche | 51 |
| ➤ | C |
| conclusion | 53 |
| 3.2.4. Suite à donner : Repositionner les capteurs de température de la tour EVS du four1 pour améliorer le fonctionnement de la régulation de l'optimisation du coke au niveau précalcinateur..... | |
| | 54 |
| ❖ | C |
| changer de l'emplacement de la température matière C4..... | 54 |
| ❖ | C |
| changer de l'emplacement de la température gaz Sortie C4..... | 55 |
| ❖ | P |
| révoir un piquage sur la gaine verticale du cross (juste à l'entrée de C4) | 56 |
| 3.2.5. Conclusion..... | 57 |
| Conclusion générale..... | 57 |
| Référence | 59 |

LISTE DES FIGURES

Chapitre 1

| | |
|--|-----------|
| Figure 1.1 : une présence mondiale de groupe LAFARGE | 13 |
| Figure 1.2: Les EPI (Équipement de protection individuelle)..... | 21 |
| Figure 1.3: Organigramme d'usine de MEKNES | 22 |

Chapitre 2

| | |
|--|-----------|
| Figure 2.1: Constitution du ciment | 25 |
| Figure 2.2: Différents Types de ciments | 25 |
| Figure 2.3: Extraction et transport de la matière première | 26 |
| Figure 2.4: Concassage | 27 |
| Figure 2.5: Alimentation des doseurs | 28 |
| Figure 2.6: Broyeur cru | 28 |
| Figure 2.7 : Silos d'homogénéisation | 29 |
| Figure 2.8: Les étapes de cuisson du clinker | 29 |
| Figure 2.9: Circuit de cuisson | 30 |

| | |
|---|----|
| Figure 2.10: Four rotatif | 31 |
| Figure 2.11: Refroidisseur | 32 |
| Figure 2.12 : Ensachage et expédition du ciment | 33 |
| Figure 2.13 : procédés de fabrication | 34 |

Chapitre 3 :

| | |
|---|----|
| Figure 3.1 : Circuits gaz-matière et leurs températures dans les cyclones | 36 |
| Figure 3.2 : Fonctionnement d'un cyclone | 37 |
| Figure 3.3 : Préchauffeur a cyclones avec précalcinateur pour l'alimentation de premier four . | 37 |
| Figure 3.4 : Schéma du tour de Préchauffage avec le précalcinateur | 38 |
| Figure 3.5: la position des capteurs dans chaque cyclone | 39 |
| Figure 3.6 : schéma du circuit de l'atelier cuisson | 41 |
| Figure 3.7 : les différentes perturbations sur le débit du préca | 43 |
| Figure 3.8 : copie d'écran du fichier de suivi sur IP21 montrant l'effet des perturbations sur la Réponse du débit dans le system | 44 |
| Figure 3.9 : présentation des différentes boucles de régulation dans l'installation | 46 |
| Figure 3.10: présentation des capteurs des températures dans l'installation | 47 |
| Figure 3.11: copie d'écran du fichier de suivi sur IP21 montrant la Réponse de différentes températures dans le système | 48 |
| Figure 3.12 : le système à étudier | 49 |
| Figure 3.13: Remplacement l'ancien bloc par le nouveau bloc qui permet de mettre le choix .. | 50 |
| Figure 3.14: copie d'écran du fichier de suivi sur IP21 montrant le résultat de la simulation du doseur coke préca | 51 |
| Figure 3.15: copie de fichier de suivi sur IP21 montre le Fonctionnement de la régulation du coke du précalcinateur 1 ^{er} essai | 25 |
| Figure 3.16 : copie de fichier de suivi sur IP21 montre le Fonctionnement de la régulation du coke du précalcinateur 2 ^{ème} assai | 52 |
| Figure 3.17 : copie de fichier de suivi sur IP21 montre le Fonctionnement de la régulation du coke du précalcinateur 3 ^{ème} essai | 53 |
| Figure 3.18 : Gaine matière du cyclone 4 | 54 |

| | |
|--|----|
| Figure 3.19 : franchir le clapet dans une position inclinée | 54 |
| Figure 3.20 : L'emplacement actuel du Cylindre et gaine gaz sortie cyclone 4 | 55 |
| Figure 3.21 : Emplacement recommandé du Cylindre et gaine gaz sortie cyclone 4 | 55 |
| Figure 3.22 : Cylindre et gaine gaz sortie cyclone 3..... | 56 |
| Figure 3.23 : Gaine gaz entrée cyclone 4 | 56 |

LISTE DES TABLEAUX

| | |
|---|----|
| Tableau 1.1: Capacité de production des cimenteries marocaines | 12 |
| Tableau 2.1: la composition du ciment | 24 |
| Tableau 2.2: différents types de ciments selon les pourcentages des ajouts au clinker | 26 |
| Tableau 2.3: les caractéristiques des deux fours..... | 30 |
| Tableau 3.1: l'historique des consommations du four calorifique entre 2006 et 2009 | 40 |

INTRODUCTION

Face à une population mondiale et à un développement croissants, les besoins en produits cimentiers pour la construction des bâtiments et des infrastructures de communication sont considérables.

D'autre part, l'économie de marché mondiale astreint les industriels à rester toujours plus compétitifs pour la survie de leurs activités. Ceci implique en partie de développer des moyens de production performants et économiquement viables.

Pour produire le ciment qui est un produit de base élaborée, mais ayant pourtant un prix de vente somme toute assez faible, l'industrie cimentière a dû optimiser son processus de fabrication. Il s'agit d'un procédé de fabrication très consommateur d'énergie calorifique, surtout au niveau de four.

Dans ce contexte, une problématique se pose. Tout d'abord, la consommation calorifique du four 1 doit être optimisée, vue qu'elle dépasse largement son objectif. La question qui se pose dans le cadre de notre sujet est donc :

Sur quoi il faut agir pour garantir un bon niveau de performance en terme de consommation calorifique ?

Pour répondre à cette question nous essayerons d'explicitier davantage le contexte et la problématique de l'étude. Puis, nous proposerons notre démarche par une mise au point des boucles de régulation pour améliorer le fonctionnement de précalcinateur car actuellement, il est impossible de rencontrer un procédé industriel n'utilisant pas de régulation. Cela veut dire que la régulation industrielle est plus qu'indispensable pour le bon fonctionnement et donc pour la compétitivité de tout procédé industriel

Donc le travail de fin d'étude qui nous a été proposé est l'Optimisation et Régulation de la température du gaz de cyclone C4 en fonction du débit combustible précalcinateur.

La mise au point de cette régulation a été effectuée en commençant d'abord par donner un Suivi du fonctionnement des capteurs de température qui reflètent une bonne image sur la stabilité de la décarbonatation ensuite réaliser une Simulation du fonctionnement de la régulation et sa mise en marche.

L'idée de passer par une simulation est de voir réellement les actions menées par la régulation en fonction de la variation du système et d'établir un plan d'expérience pour déterminer les paramètres optimaux de la régulation (temps proportionnel et temps dérivé).

Ensuite, nous détaillerons les résultats que nous avons développés avec leurs justifications. En fin, nous indiquerons la suite à donner aux travaux de l'optimisation : Repositionner les capteurs de température de la tour EVS du four1 pour améliorer le fonctionnement de la régulation de l'optimisation du coke au niveau précalcinateur.

Chapitre1 :

Présentation du groupe LAFARGE



1. LE GROUPE LAFARGE :

LAFARGE [3] est un groupe français de matériaux de construction, leader mondial dans son secteur, suivi par **Holcim**. Il est présent dans quatre activités principales : béton et granulats, ciment, plâtre, toiture, et dans 75 pays. Son chiffre d'affaires, en 2006, s'est élevé à 16,9 milliards d'euros, dont 47 % dans le ciment, 33 % dans le béton et les granulats, 11 % dans le plâtre et 9 % dans les toitures. Le groupe emploie environ 90 000 personnes dans le monde.



L'industrie des matériaux de construction, dont le ciment constitue la matière de base, détient une place importante dans le secteur des industries de transformation, avec un pourcentage de 8.6% du total des entreprises du secteur industriel marocain.

L'industrie du ciment est ce qu'on appelle une industrie de base parce qu'elle se situe à la source du développement économique. De son principal dérivé, le béton, dépend tout l'équipement du pays : logements, écoles, ponts, barrages, routes...

C'est aussi une industrie lourde du fait qu'elle traite une grande masse des matières premières de faible valeur initiale pour aboutir à un produit également d'un faible prix mais dans des installations d'un coût élevé.

En vue d'assurer la régularité d'approvisionnement du marché national en ce produit de base, le ministère du commerce et de l'industrie a procédé, en 1990, à la libération du ciment.

La capacité total du marché excède 9 millions et se répartit entre 11 usines couvrant tout le territoire national. Remarquons que le marché du ciment au Maroc est caractérisé par le poids des frais de transport qui grève les prix.

Cependant, la demande de ciment semble inélastique au prix et reste directement liée au développement de l'économie.

| Usine | Capacité usine (t/an) | Capacité Société (t/an) | Part du marché (%) |
|-------|-----------------------|-------------------------|--------------------|
| | | | |

| | | | | |
|----------------------------|------------------|---------|---------|----|
| LAFARGE CIMENTS | <i>Bouskoura</i> | 2000000 | 3760000 | 41 |
| | Meknès | 1400000 | | |
| | Tétouan | 350000 | | |
| | Tanger | 1000000 | | |
| CIMAR | Marrakech | 1200000 | 2300000 | 31 |
| | Agadir | 1100000 | | |
| | Safi | 600000 | | |
| HOLCIM | Oujda | 1400000 | 2000000 | 21 |
| | Fès | 600000 | | |
| ASMENT | Temara | 630000 | 9300000 | 7 |

Tableau 2.1: Capacité de production des cimenteries marocaines

- **1833** : l'entreprise est fondée par Léon Pavin de Lafarge, par reprise d'une activité familiale lancée en **1749** ; l'usine exploite une carrière de pierre à chaux dans la montagne Saint-Victor dominant le Rhône entre Le Teil et Viviers, en Ardèche, en France.
- **1864** : Livraison de 11 000 tonnes de chaux pour le Canal de Suez ; c'est le premier chantier d'envergure internationale pour l'entreprise.
- **1919** : Transformation en SA sous le nom de "Société anonyme des chaux et ciments de Lafarge et du Teil".
- **1939** : Lafarge est le premier cimentier français.

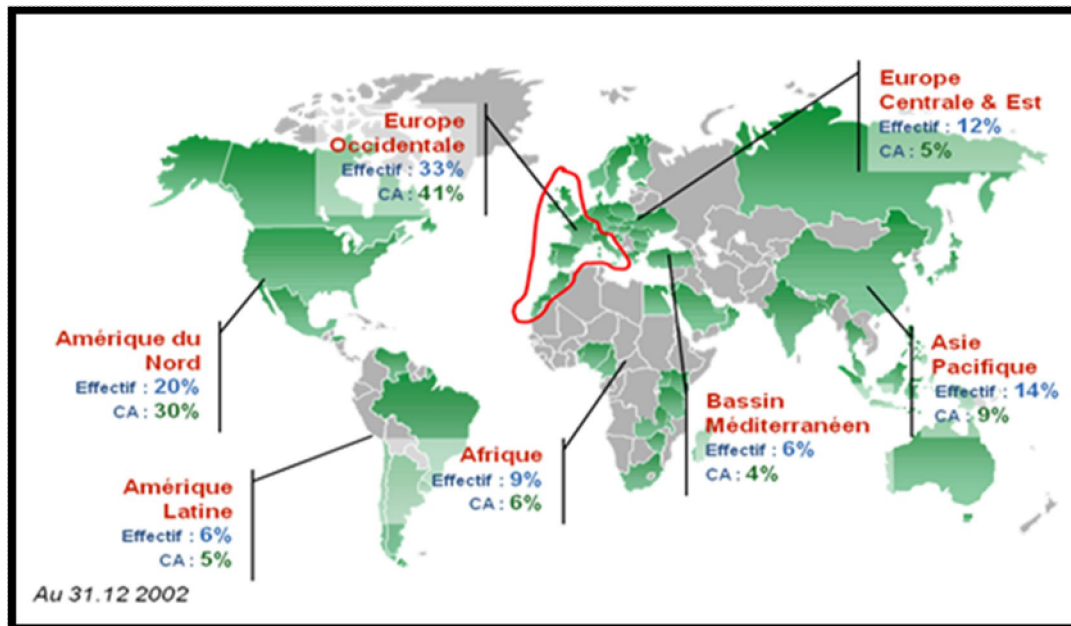


Figure 1.1: une présence mondiale de groupe LAFARGE

Le groupe Lafarge, dirigé par Bertrand Collomb, est le leader mondial des matériaux de construction. Il est en particulier le N° 2 dans le marché mondial du ciment. Il est présent dans plus de soixante pays avec un effectif de 66 000 collaborateurs.

Présent au Maroc depuis 1913, Lafarge Maroc a bâti son leadership au fil des années pour devenir le leader national des matériaux de construction à travers ses 4 métiers : le ciment, les granulats et bétons, le plâtre et la chaux.

2. LAFARGE MAROC :

2.1. Historique :

C'est à partir de 1912 que le ciment commençât à être utilisé au Maroc, d'abord pour certaines réparations, puis pour les constructions principalement à Casablanca. La construction du port de Casablanca nécessita des quantités importantes de ciment, qui était à l'époque importé.

C'est alors que fut décidée en 1913, l'implantation de la première cimenterie à Casablanca avec une capacité de production annuelle de 10 000 tonnes.

L'accroissement des besoins nationaux en ciment a engendré l'extension de l'usine de Casablanca et la création de nouvelles unités. La cimenterie de Casablanca a renforcé son potentiel de production pour atteindre les 19 000 tonnes par an en 1949 :

Création d'une nouvelle usine à Agadir en 1952 avec une capacité de production de 60 000 T/ an.

Démarrage de la cimenterie de Meknès en 1953 avec un nominal de production de 150 000 T/an.

Dans le Nord du pays, deux unités ont vu le jour à Tanger en 1953 (60 000 tonnes / an) à Tétouan en 1954 (86 000 T / an).

Mais la naissance officielle de « Lafarge Maroc » a eu lieu le 01 Juin 1995, lors de la signature d'une convention de partenariat entre SNI (Société Nationale d'Investissement) et Lafarge qui aboutit à la création d'un Holding (50% LAFARGE et 50% SNI), mais notons que la SNI est achetée par ONA donc (50%LAFARGE et 50%ONA). La première conséquence de ce partenariat pour l'entreprise, est de pouvoir disposer d'une structure financière forte.

Aujourd'hui, Lafarge Maroc occupe la place de leader sur le marché et notons que l'activité essentielle de Lafarge est issue de la production de ciment (85% des ventes de l'entreprise).

2.2. Implantation de LAFARGE-Maroc :

1930 : Lafarge s'implante au Maroc avec ouverture de la 1ère cimenterie du pays à Casablanca.

1953 : Création d'une 2ème cimenterie à Meknès.

1992-1994 : Déploiement de l'activité :

- ✓ 2 cimenteries dans le Nord (Tétouan et Tanger)
- ✓ 1 usine de plâtre à Safi.

✓ 9 centrales à béton.

1995 : Signature d'une convention de partenariat avec SNI/ONA.

1997 : Construction d'une nouvelle ligne de production de ciment à Bouskoura .

1998 : de Gravel Maroc 2003 Un nouvel atelier de dalles de plâtre au Maroc.

2003 : Construction d'un nouvel atelier de Acquisition dalles de plâtre au Maroc à Safi

2004 : Début de la construction d'une nouvelle ligne de production à Bouskoura (900 000 T).

2005 : Inauguration du parc éolien de la cimenterie de Tétouan.

2006 : Inauguration d'une nouvelle ligne de production de plâtre à L'usine de Safi.

2.3. Lafarge Maroc en chiffre.

Il occupe la première position avec des parts de marché de 40% et un chiffre d'affaires de 2.986 MDH avec un résultat net de 784 millions DH.

3. PRÉSENTATION DE LAFARGE DE MEKNÈS

3.1. Historique :

La cimenterie de Meknès se trouve au Nord-Est de la ville à proximité immédiate de Hay Soussi et non loin de la route principale Meknès Fès.

Dénommé CADEM (Ciments Artificiels de Meknès), l'usine a démarré en 1953 avec une seule ligne de production à voie humide d'une capacité de 400 tonnes par jour.

3.2. Implantation de Lafarge de Meknès.

- ✚ **1971** : Extension des capacités avec l'installation d'un nouveau four de 650 t/j et augmentation de la capacité broyage ciment à 650.000 t.
- ✚ **1985** : conversion du procédé voie humide en voie sèche, tout en augmentant la capacité de production qui atteint 1500 tonnes par jour.
- ✚ **1989** : installation d'un broyeur à ciment BK4.
- ✚ **1990** : la capacité de production passe de 1500 à 1800 tonnes par jour, grâce à des modifications au niveau du précalcinateur et du refroidisseur.
- ✚ **1993** : Nouvelle extension avec le démarrage d'une seconde ligne de cuisson d'une capacité de 1.200 t/j clinker.
- ✚ Depuis **1997**, la CADEM est devenue LAFARGE Meknès et faisant partie du Groupe Lafarge.

Plusieurs améliorations techniques ont été réalisées pour augmenter le niveau de production.

Toujours à la recherche des améliorations et de l'augmentation du rendement de ses installations et de leur exploitation, Lafarge a lancé un vaste programme d'économie qui se résume comme suit :

- *Substitution du combustible solide (charbon et coke de pétrole) au fuel.
- *Installation d'un nouveau broyeur à ciment.
- *Montage d'un filtre à manche en aval du four pour protéger l'environnement.
- *Modification du précalcinateur four pour protéger l'environnement.
- *Mise en service d'un nouvel atelier de broyage en collaboration avec la société PLYSIUS avec une capacité de 100 tonnes par heure.

En Août 2002, le système de management environnemental de l'usine, et après une démarche d'amélioration de ses performances environnementales, a reçu sa certification ISO 14001 par le Ministère de l'Industrie et l'Association Française de l'Assurance Qualité (AFAQ).

Destiné à accroître la capacité d'ensachage et à réduire d'autant les délais d'attente avant chargement, l'usine a engagé un investissement de 40 millions de DH pour l'extension et la modernisation du stockage et de l'ensachage du ciment.

Cet Investissement s'inscrit dans le droit fil des efforts développés par l'usine dans le cadre de la nouvelle approche client.

✚ 2003/2004 :

*Mise à jour de la nouvelle installation du projet d'extension du stockage et d'ensachage du ciment.

Cet aménagement a été accompagné par une démarche d'automatisation et d'un système de contrôle commande.

* Mise à niveau d'une installation d'incinération des pneus déchiquetés au niveau BAF ligne 2.

✚ 2004/2005 :

*Lancement d'une nouvelle organisation Usine/Secteur.

*Annonce du développement des compétences de fabrication.

*Certification ISO 9001.

3.3. Fiche Signalétique

Raison Sociale : LAFARGE Ciments Usine de Meknès.

Siège Social : Casablanca

Forme Juridique : Société anonyme

Date de création : Octobre 1995

Adresse : Km 8 Route de Fès, BP 33 Meknès

Téléphone : 035-52-26-44/45/46

CNSS : 1098343

N° Patente : 17045015

Registre de Commerce : 40779

Effectif du personnel : 340

Directeur : Mr CHEWAR

Capital : 476 430 500 DH

Gamme de Produits :

- CPJ45 en sac et en vrac.
- CPJ35 en sac.
- Ciment POZZOLANES.
- CPA 55 en sac

4. PRÉSENTATION DES SERVICES DE LAFARGE DE MEKNÈS :

En partant de l'extraction des matières premières jusqu'à l'obtention du ciment, ce processus de fabrication nécessite l'existence de plusieurs services s'occupant chacun d'une ou plusieurs tâches :

4.1. Service carrière :

Il permet l'approvisionnement des matières premières : Calcaire, Argile de la carrière. Celles-ci sont extraites sur un site à 5km de l'usine et sont concassées sur un concasseur. Les matières sont ensuite acheminées vers l'usine par un tapis transporteur.

4.2. Service fabrication :

Les ateliers composant la fabrication du ciment (concassage de la matière première, pré homogénéisation, broyage cru, cuisson, broyage cuit...) fonctionnent automatiquement, leur suivi se fait à partir d'une salle de contrôle. Le service Fabrication est donc composé de chefs de postes, d'opérateurs et de rondiers qui assurent la production 24h/24h.

4.3. Service électrique et régulation :

Il intervient à la demande du service Fabrication. Il s'occupe de tout ce qui est moteurs électriques, transformateurs, automates, variateurs de vitesse, régulation permettant de contrôler et d'observer les différents paramètres rentrant en jeu dans la supervision tels que la température, les pressions, les débits...

4.4. Service commercial :

Ce service est le plus mouvant car il permet de fixer les objectifs de vente de ciments sur une clientèle bien identifiée.

Leur travail se base sur la réception des bons de commande et des effets de commerce, la saisie des commandes et des bons de livraison.

4.5. Direction financière :



C

comptabilité générale :

Le service comptabilité générale s'occupe de tous les projets d'investissement quelle que soit leur nature car pour tous achats et approvisionnement, des commandes sont établies et présentées à la section « Fournisseurs d'Exploitation » qui s'occupe d'établir ces commandes par l'envoi d'une facture préforma. Les fournisseurs avisent la société de leur possession des produits demandés, les bons de commandes sont préparés par le bureau du service achat et rapatrié ultérieurement au service de la comptabilité fournisseurs afin de vérifier la conformité de la marchandise et d'enregistrer et classer les bons de commande.

4.6. Direction administrative:

Ce bureau s'occupe de la gestion du personnel pour répondre à un ensemble d'objectifs :

- Ajuster l'effectif des employés de façon à réaliser les objectifs fixés.
- Motiver le personnel pour une organisation du travail au sein de l'entreprise.

4.7. Service contrôle de qualité :

LAFARGE CEMENTS usine de Meknès est dotée d'un laboratoire équipé de tous les équipements nécessaires à la réalisation des contrôles depuis la réception des matières premières jusqu'aux expéditions du produit fini et ce conformément aux normes en vigueur et aux besoins de la clientèle. Le personnel de ce laboratoire ayant en charge le contrôle de la qualité est compétent et suit des formations continues en matière de contrôle de qualité et selon un planning de formation préétabli.

Ce laboratoire est divisé en plusieurs départements, agencés de telle sorte à assurer une bonne réception, identification et conservation des échantillons ainsi que la réalisation de tous les essais.

4.8. Service procédé :

Le service procédé est un service qui s'intéresse aux différents procédés s'effectuant au sein de l'usine ; il contrôle en collaboration avec les services de fabrication et de qualité le processus de fabrication du ciment, aussi cherche-t-il à optimiser les paramètres de réglage de différentes installations (cuisson, broyage...). En effet des audits et des tests de performance se réalisent systématiquement dans le but d'améliorer le rendement des unités de production.

4.9. Service sécurité :

Il est le moteur pour la réalisation et l'encadrement de l'effectifs de l'usine pour produire un ciment avec un objectif de zéro accident il a pour mission l'animation de la sécurité, le soutien de la hiérarchie en matière de sécurité, l'animation d'un comité de sécurité usine, instauration des procédures de sécurité, le reporting sécurité et la gestion du réseau sécurité inter usines.

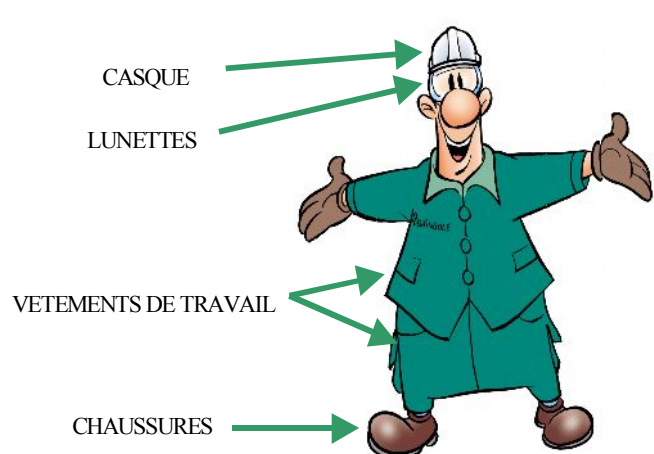


Figure 1.2 : Les EPI (Équipement de protection individuelle)

5. ORGANIGRAMME D'USINE DE MEKNES.

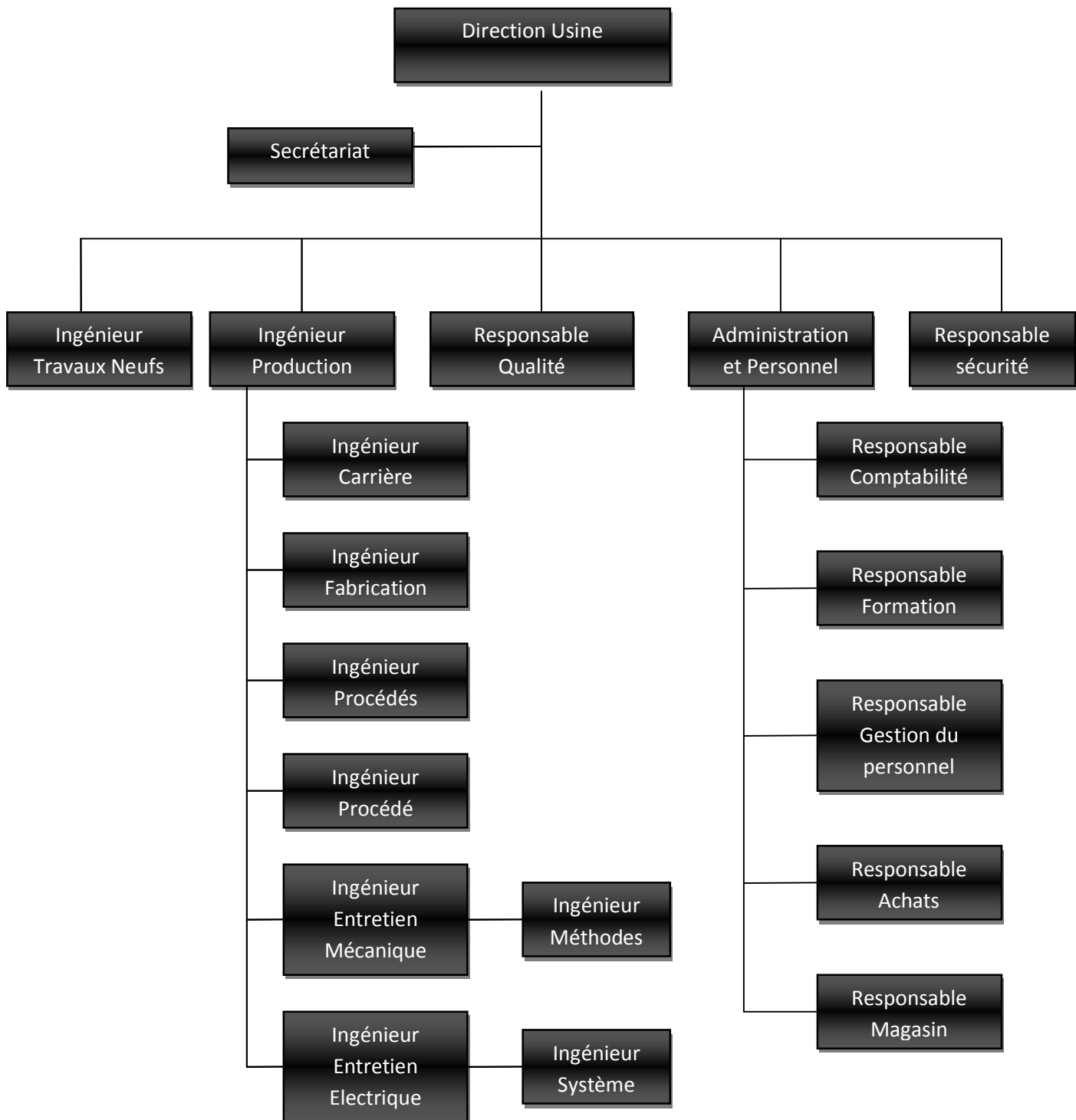
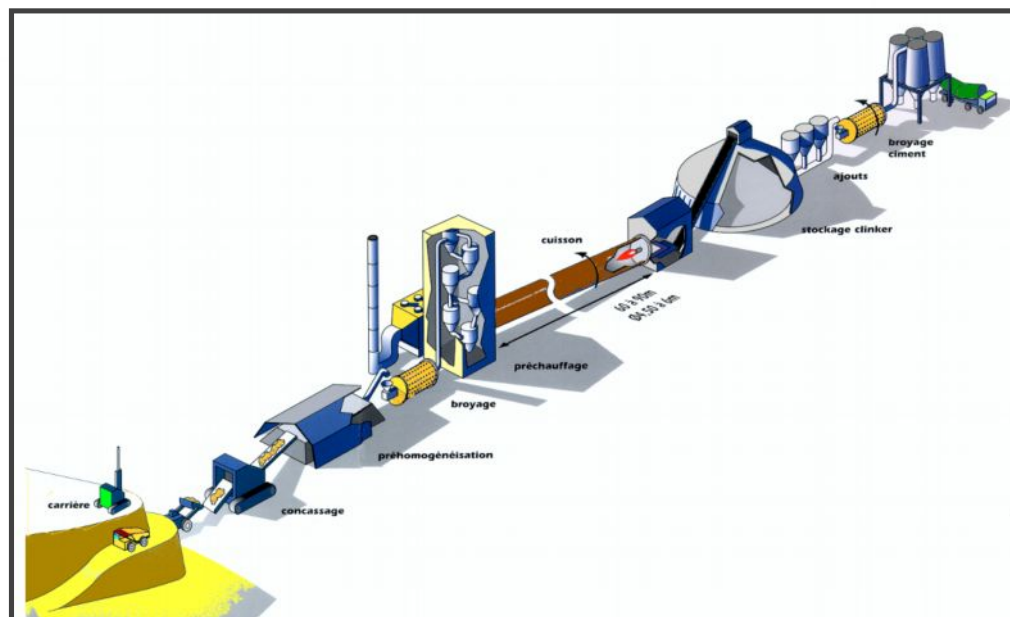


Figure 1.4: Organigramme d'usine de MEKNES

Chapitre 2 :

Procédé de fabrication du ciment



1. DÉFINITION DU CIMENT :

Le ciment est un lien hydraulique constitué d'une poudre minérale, d'aspect grisâtre, obtenue par broyage et cuisson à 1450 °C d'un mélange de calcaire et d'argile. Le produit de la cuisson, appelé clinker, forme une combinaison de chaux, de silice, d'alumine et d'oxyde ferrique comme indique le tableau 2.1

| Nom | Symbole chimique | Notation Cimentière | Masse molaire |
|--|--------------------------------|---------------------|---------------|
| <i>Oxyde de Calcium</i> ou Chaux vive | CaO | C | 56 |
| Oxyde de silice ou silice | SiO ₂ | S | 60 |
| Oxyde d'Aluminium ou Alumine | Al ₂ O ₃ | A | 102 |
| Oxyde de Fer | Fe ₂ O ₃ | F | 160 |

Tableau 3.1 : la composition du ciment

Le ciment résulte du broyage de clinker et de sulfate de calcium ajouté généralement sous forme de gypse. Il forme avec l'eau une pâte plastique faisant prise et durcissant progressivement, même à l'abri de l'air, notamment sous l'eau.

Les constituants anhydres, présents sous forme de cristaux polygonaux assez réguliers et homogènes, se combinent à l'eau et se décomposent. En s'hydratant, ils recristallisent, prenant des formes très variées : Aiguilles, bâtonnet, prismes, divers...

Ces cristaux adhèrent aux adjuvants granuleux du béton : sable, gravier, cailloux... c'est l'hydratation qui constitue le ciment.

La figure suivante (Figure 2.1) résume les éléments qui entrent dans la constitution du ciment :



Figure 2.1 : Constitution du ciment

2. DIFFÉRENTS TYPES DE CEMENTS :

LAFARGE MAROC s'intéresse à la fabrication des trois catégories de ciments, à savoir : CPJ35, CPJ45 et CPA55 (Figure 2.2). Concernant le ciment blanc, le groupe l'importe sous forme de matière cuite (clinker) pour être broyé et mit en sacs en vue de son expédition.

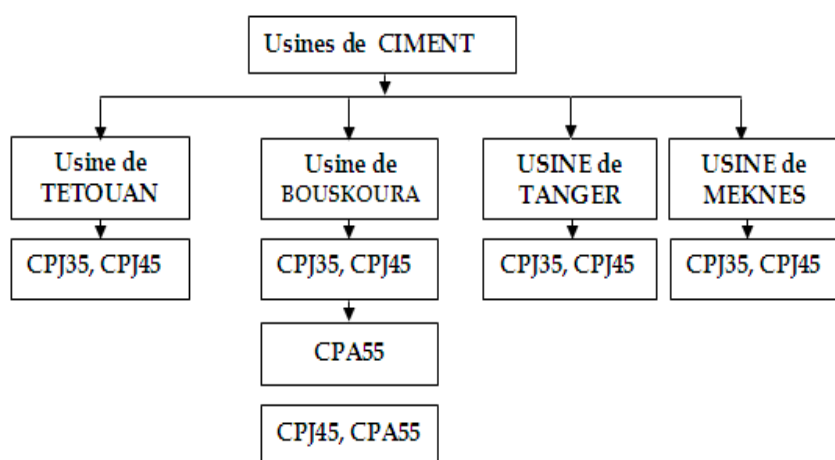


Figure 2.2: différents Types de ciments

En outre, les trois types de ciments (CPJ35, CPJ45, CPA55) se différencient selon des pourcentages précis des ajouts au clinker (Tableau 2.2).

| Ciments | CPJ35 | CPJ45 | CPA55 |
|-------------------------|--------|--------|--------|
| Compositions | | | |
| Calcaire | 35.60% | 24.00% | 0.00% |
| Cendres volantes | 3.21% | 6.52% | 0.00% |
| Gypse | 2.80% | 3.14% | 5.64% |
| Clinker | 58.39% | 66.34% | 94.36% |

Tableau 2.2 : différents types de ciments selon les pourcentages des ajouts au clinker

3. ÉTAPES DE FABRICATION DE CIMENT :

Avant d’obtenir du ciment, la matière première passe par diverses étapes de transformation physico-chimiques de l’extraction jusqu’à l’expédition [1].

3.1. Carrière :

LAFARGE ciments Meknès exploite une carrière qui fournit deux matières premières : le calcaire et le schiste. L’extraction de ces roches se fait par abattage à l’explosif. Il consiste à fragmenter le massif exploité à l’aide d’explosifs :



Figure 2.3 : Extraction et transport de la matière première

3.2. Concassage :

C'est une opération qui consiste à réduire la granulométrie de la matière première en fragments de faibles dimensions (25 à 40 mm). Elle assure également un certain mélange des matières premières arrivant de la carrière (calcaire et schiste). En effet, le calcaire et le schiste transportés par les camions sont déchargés dans une trémie qui est reliée à un alimentateur à vitesse variable qui permet de réguler le débit d'alimentation.

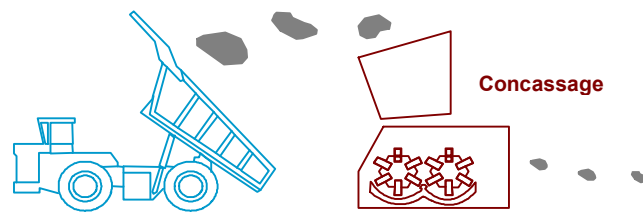


Figure 2.4: Concassage

3.3. Préparation du cru :

La préparation du cru consiste à réaliser un dosage approprié des 4 constituants de bases : chaux, silice, Alumine et Fer.

Mais pour avoir un cru dosé, il faut ajouter des produits auxiliaires :

- Pélite : Apport de silice et Alumine.
- Phtanite : Apport de silice.
- Minerai de Fer : Roche riche en Oxyde de fer

Les matières premières constituant le cru doivent être finement broyées et parfaitement homogénéisées de manière à faciliter les réactions au cours de la cuisson.

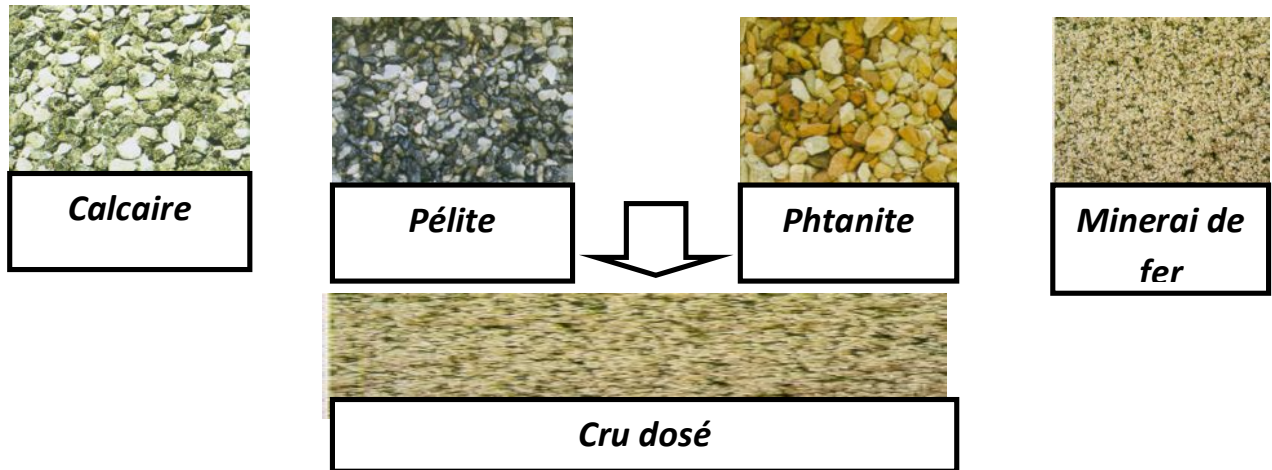


Figure 2.5 : Alimentation des doseurs

3.4. Broyage cru :

Les matières premières doivent être finement broyées pour faciliter les réactions chimiques au cours de la cuisson dans le four.

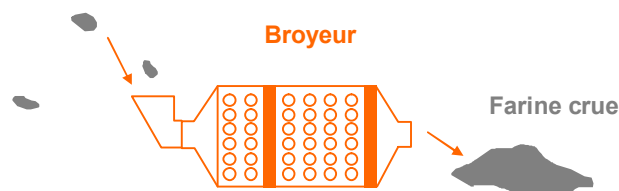


Figure 2.6 : Broyeur cru

La matière passe donc par les doseurs qui alimentent le broyeur sécheur. La fonction de séchage est nécessaire pour diminuer le taux d'humidité de la matière. En plus du séchage et de la fragmentation, le broyeur assure le mélange des différents minerais apportés par les matières premières et les ajouts de correction en faibles proportions. A la fin du broyage, la matière est dirigée vers un séparateur qui sélectionne les particules selon leur grosseur.

3.5. L'homogénéisation :

Après broyage, le cru est expédié, à l'aide de deux élévateurs, vers deux silos d'homogénéisation qui assurent à la fois le stockage et l'homogénéisation de la farine de capacité :

- ❖ Silo 1 : 7500 tonnes.
- ❖ Silo 2 : 5000 tonnes

Cette homogénéisation permet d'alimenter les fours avec un cru de composition chimique constante dans le temps.



Figure 2.7 : Silos d'homogénéisation

3.6. Ligne de cuisson :

On entend par cuisson le processus de transformation de la matière crue en clinker par un apport thermique suffisant pour obtenir des réactions chimiques complètes conduisant à l'élimination presque totale de chaux non combinée.

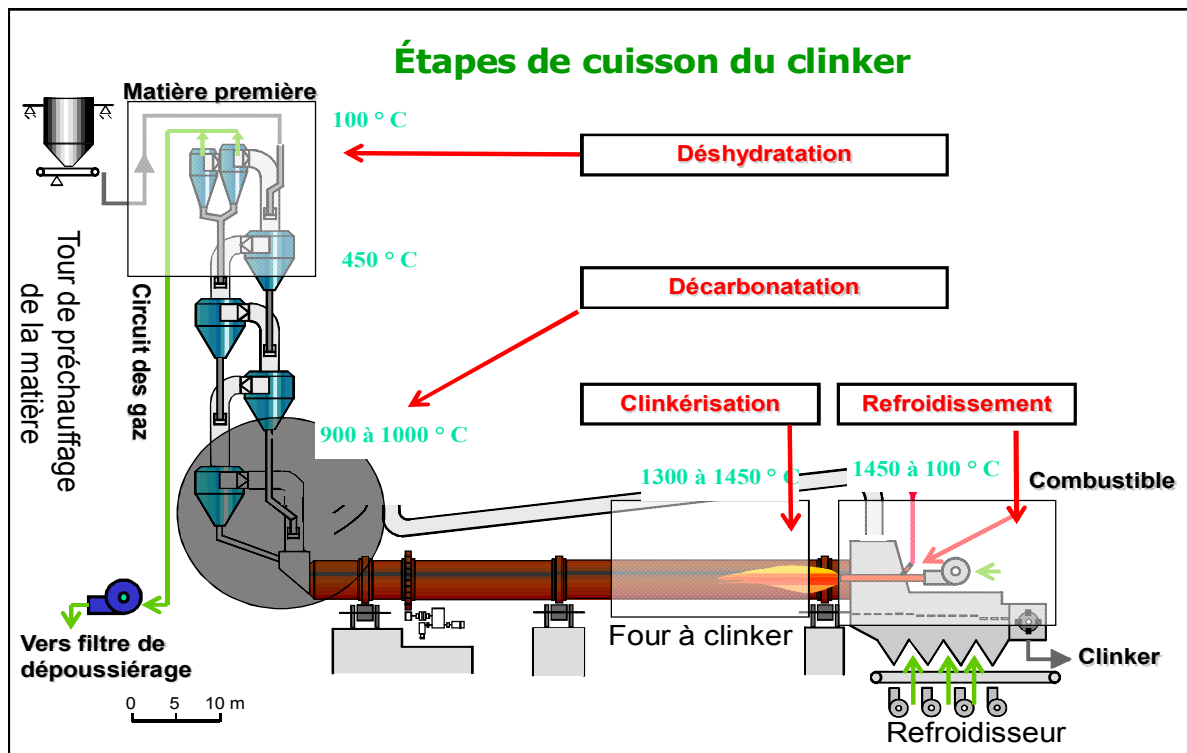


Figure 2.8 : Les étapes de cuisson du clinker

La ligne de cuisson est constituée de :

- Une tour à cyclones ;
- Un four rotatif ;
- Un refroidisseur.

3.6.1. Tour à cyclones :

La tour à cyclones est un échangeur de chaleur à voie sèche constituée de cinq étages. Elle permet d'effectuer un échange thermique à contre courant entre les gaz chauds (850°C) sortant du four et la farine froide (50 à 60°C). Les gaz parcourent l'édifice de bas en haut alors que la matière le parcourt en sens inverse.

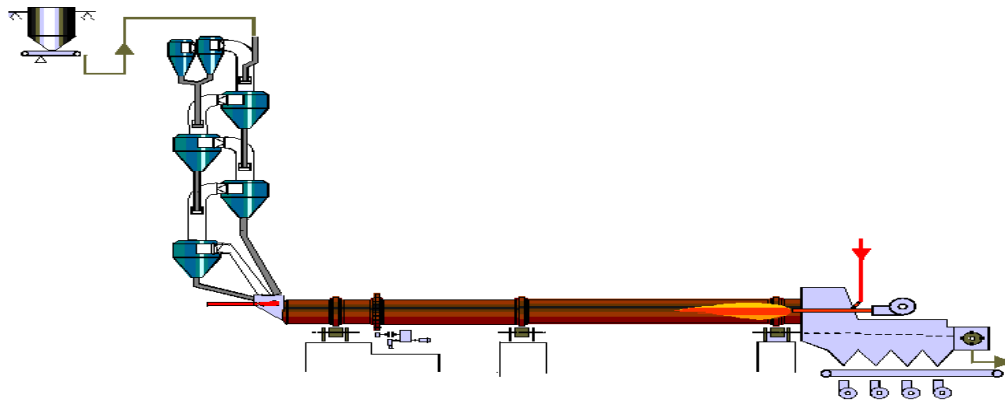


Figure 2.9 : Circuit de cuisson

3.6.2. Four rotatif :

L'usine dispose de deux fours rotatifs légèrement inclinés dont les caractéristiques sont les suivantes :

| | Longueur (m) | Diamètre (m) | Pente (°C) | Capacité (t/j) |
|--------|--------------|--------------|------------|----------------|
| Four 1 | 96 | 3,75 | 3 | 1800 |
| Four 2 | 64 | 4 | 3 | 1200 |

Tableau 2.4 : les caractéristiques des deux fours

C'est une grande enceinte circulaire rotative dans laquelle on injecte le combustible sous pression pour produire une flamme. C'est un échangeur de chaleur à contre courant dans lequel la flamme et les gaz récupérés du refroidisseur cèdent leur chaleur à la farine qui arrive en sens inverse. Le four est constitué par une virole en acier et protégée par un revêtement intérieur en matériaux réfractaires.

Ainsi au fur et à mesure de l'avancement de la matière dans le four, elle passe par plusieurs stades de transformation :

Elle subit d'abord un séchage, puis un réchauffage entre 400 et 500°C ; elle entre vers 900 à 1100°C dans une zone de décarbonatation et de calcination pour aboutir vers 1450°C à la clinkérisation (transformation de CS_2 en C_3S en présence d'alumine et d'oxyde de fer qui ont subi une fusion).

La matière sortant du four est le clinker, elle se présente sous forme de grains gris foncés, arrondis, à surface irrégulière et dont le diamètre peut aller jusqu'à 3 cm.

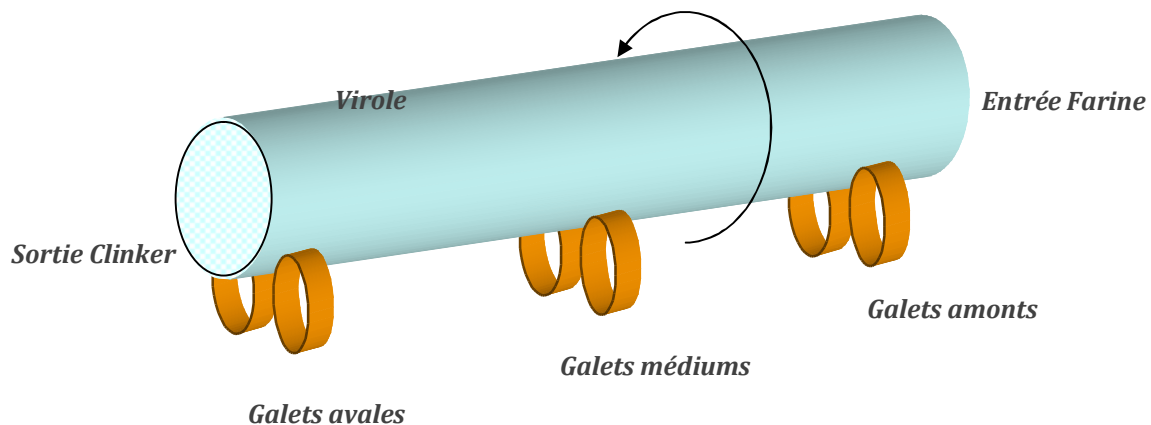


Figure 2.10: Four rotatif

3.6.3. Refroidisseur :

Il est situé à l'aval du four, c'est un refroidisseur à grilles horizontales au nombre de deux à commande hydraulique. Le refroidissement est assuré par onze ventilateurs. L'air produit par ces ventilateurs est insufflé sous les grilles par des chambres de soufflage.

Le refroidisseur a un triple rôle :

- Refroidir le clinker qui sort du four
- Récupérer le maximum de chaleur contenu dans le clinker
- Assurer la trempe de clinker par un refroidissement énergétique et rapide.

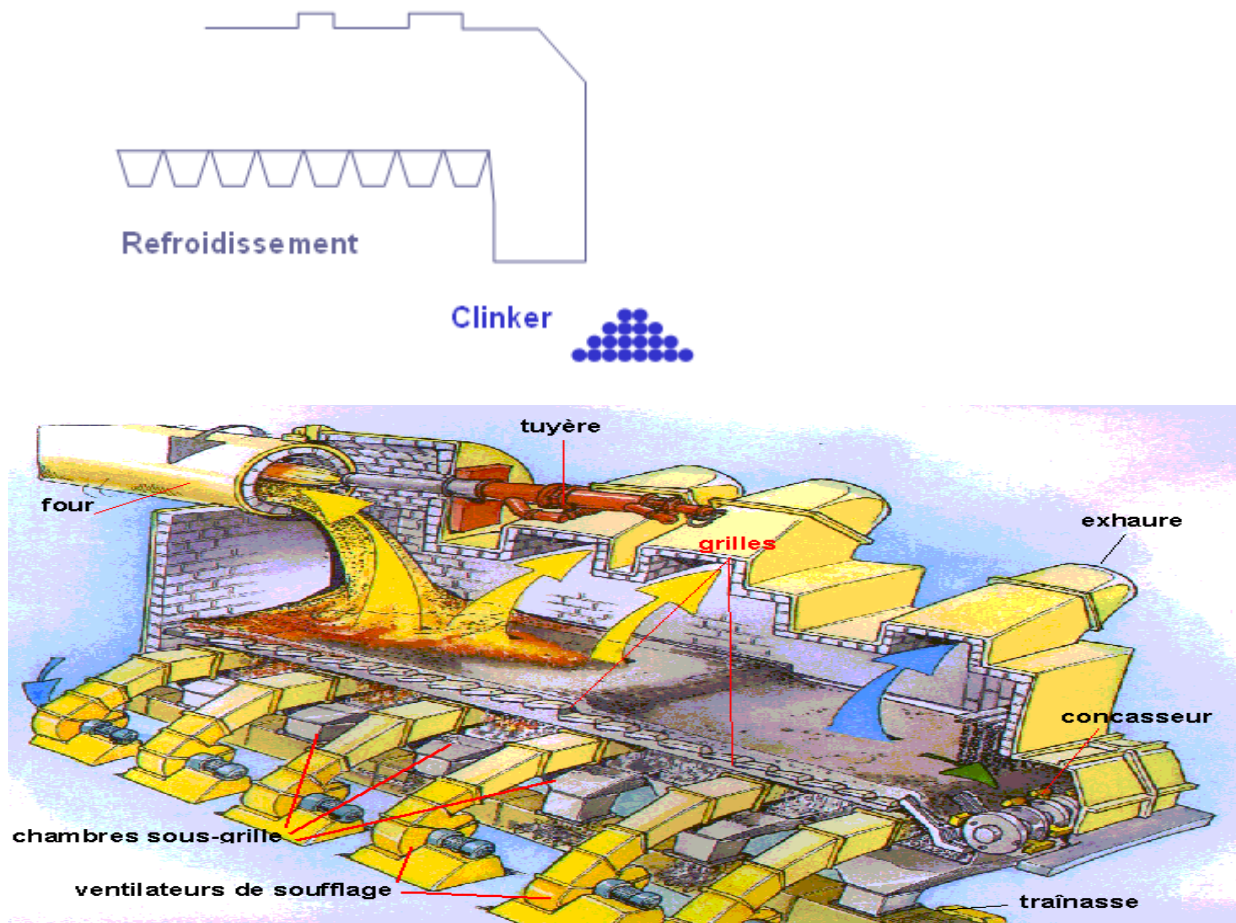


Figure 2.11: Refroidisseur

3.7. Broyage ciment :

Après refroidissement, les granules de clinker sont ensuite broyés avec addition de gypse. Cette addition a pour but de régulariser la prise du ciment, notamment de ceux qui contiennent des proportions importantes d'aluminate tricalcique et aussi de conférer au ciment des propriétés spécifiques correspondant aux différentes qualités du ciment (CPJ35 ; CPJ45 ; CPA55).

3.8. Ensachage et expédition :

A la sortie du broyeur, le ciment est orienté vers les silos de stockage et de livraison. Trois silos pour la CPJ35, trois pour la CPJ45 et un silo pour la CPA55. Le transport s'effectue à l'aide d'un convoyeur pneumatique par des pompes Fuller. La livraison du ciment s'effectue soit en sacs, soit en vrac.

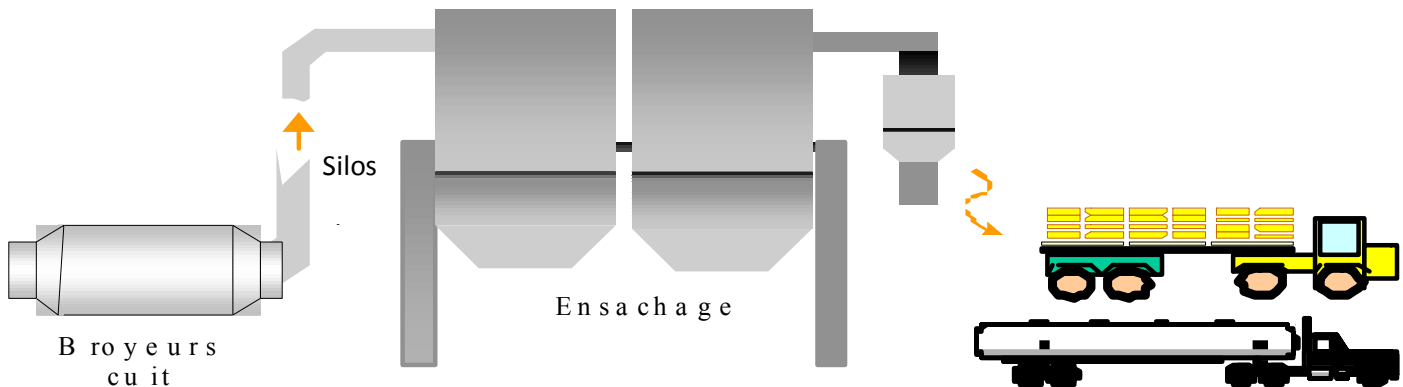


Figure 2.12 : Ensachage et expédition du ciment

Le schéma ci-contre (Figure 2.13) résume les différentes transformations subies par la matière première jusqu'à l'obtention du ciment et son expédition :

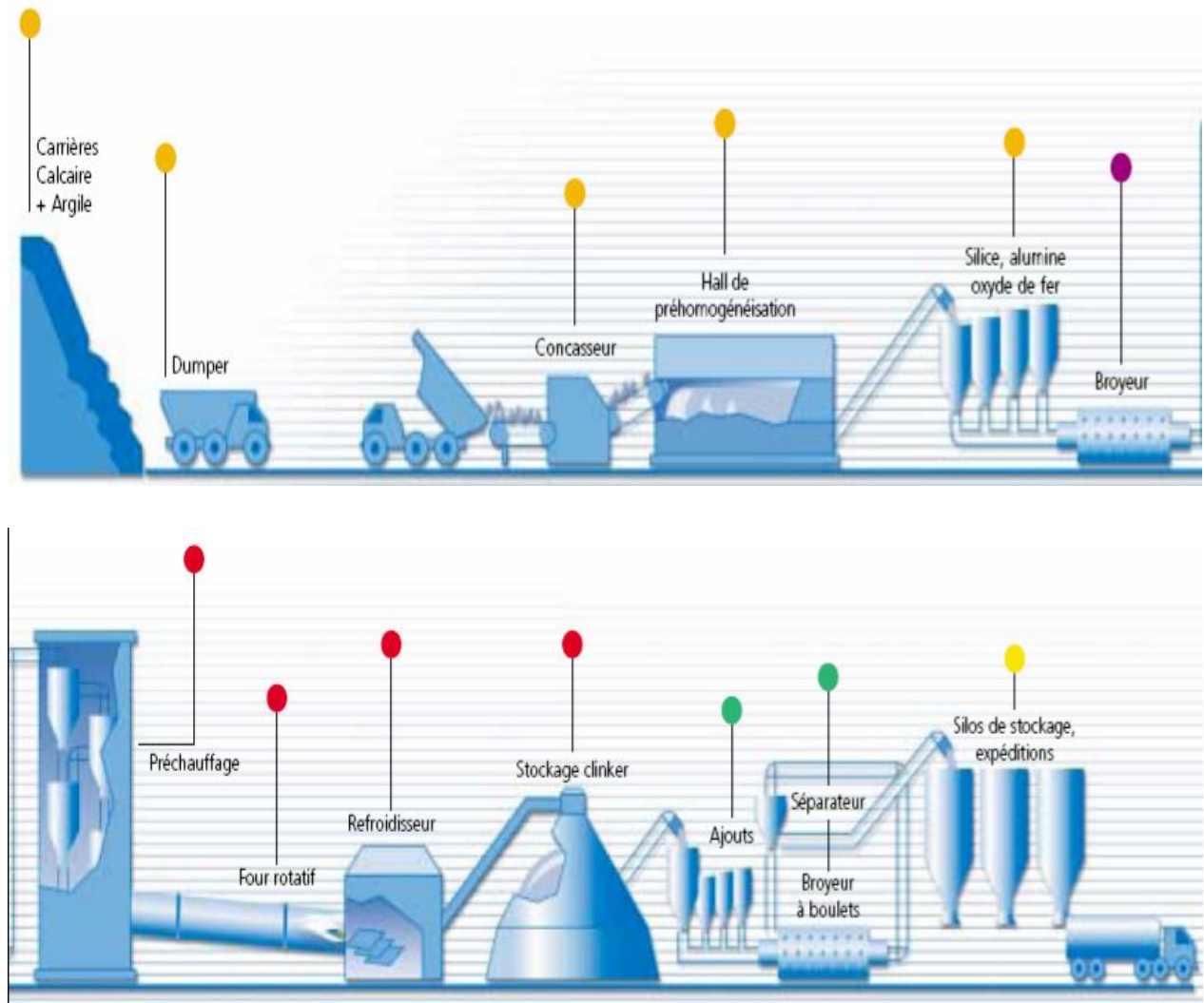


Figure 2.13 : procédés de fabrication

Chapitre3 :

Optimisation et régulation de la température du gaz de cyclone C4 en fonction de combustible préca



1. PRÉSENTATION DU PROCÉDÉ ET DU SUJET

1.1. Présentation du procédé

La cuisson recouvre toutes les étapes de transformation chimique de la farine crue, jusqu'à la formation du clinker. Cette opération est fondamentale de la préparation du ciment (déshydratation) avant son introduction au four. Elle est effectuée dans deux fours rotatifs (inclinés de 3%) munis d'un pré-chauffeur à 4 étages de cyclones et d'une pré-calcination (pour le four 1).

1.1.1. Fonction de préchauffeur

La farine provenant des silos d'homogénéisation par pompe, aéroglisseur puis par aérolite ou élévateur subit un réchauffement progressif (de 100 à ~900 °C) au cours par échange de chaleur entre le matériau entrant et les gaz chauds sortant du four. Une tour d'échangeurs est composée de 4 à 5 étages de cyclones. Dans les cyclones (Figure 3.1), le matériau suit un parcours hélicoïdal à contre-courant des gaz chauds.

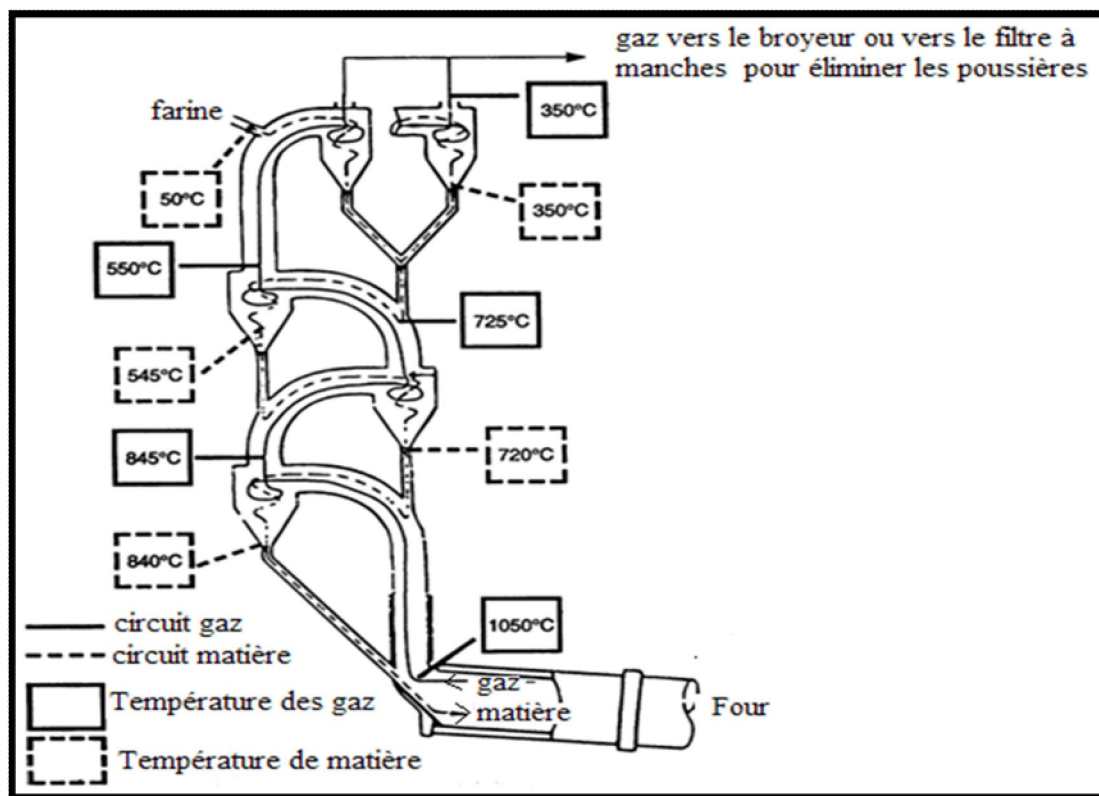


Figure 3.1 : Circuits gaz-matière et leurs températures dans les cyclones

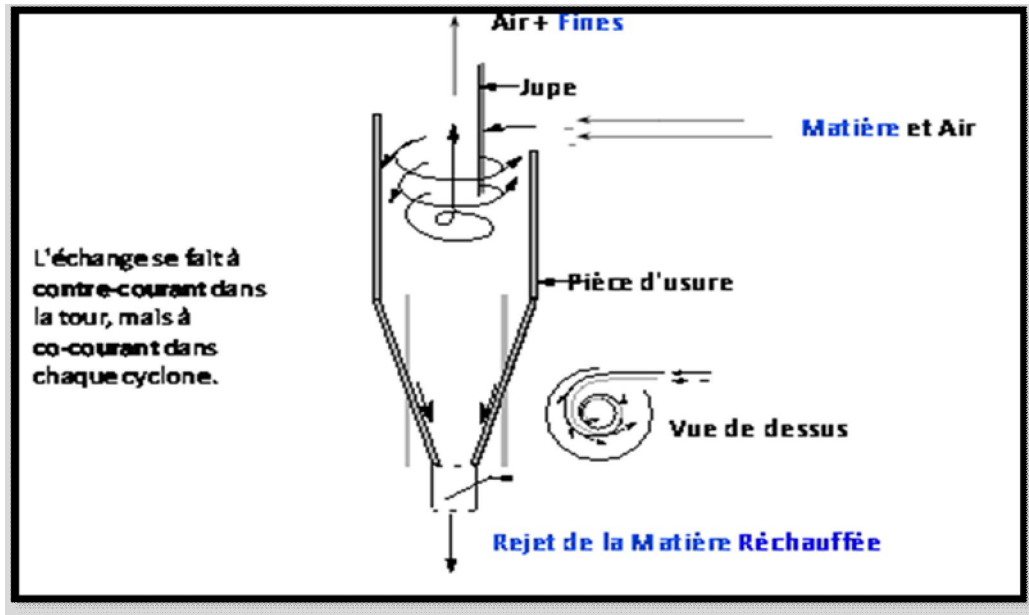


Figure 3.2 : Fonctionnement d'un cyclone

1.1.2. Fonction de précalcinateur

Dans une installation moderne, avant son passage dans le dernier cyclone, la farine passe par un stade de pré-calcination qui sert à optimiser l'échange de chaleur entre le matériau et les gaz chauds, et à achever la décarbonatation du calcaire qui survient vers 900 °C. Le précalcinateur permet de décarbonater la matière à 95% avant son introduction dans le four.

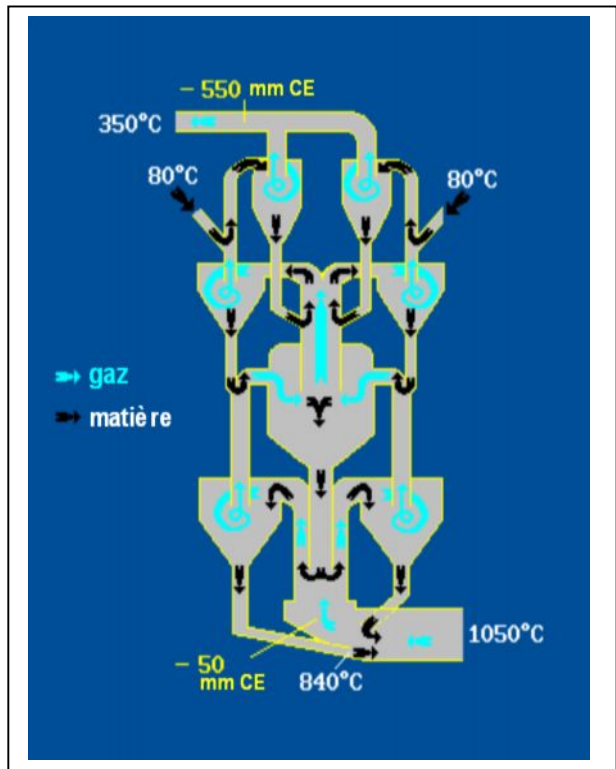
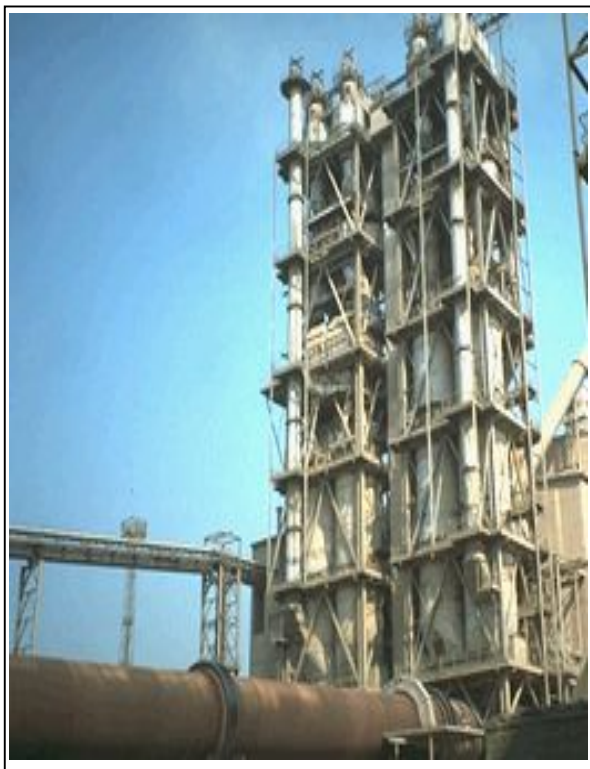


Figure 3.3 : Préchauffeur a cyclones avec précalcinateur pour l'alimentation de premier four

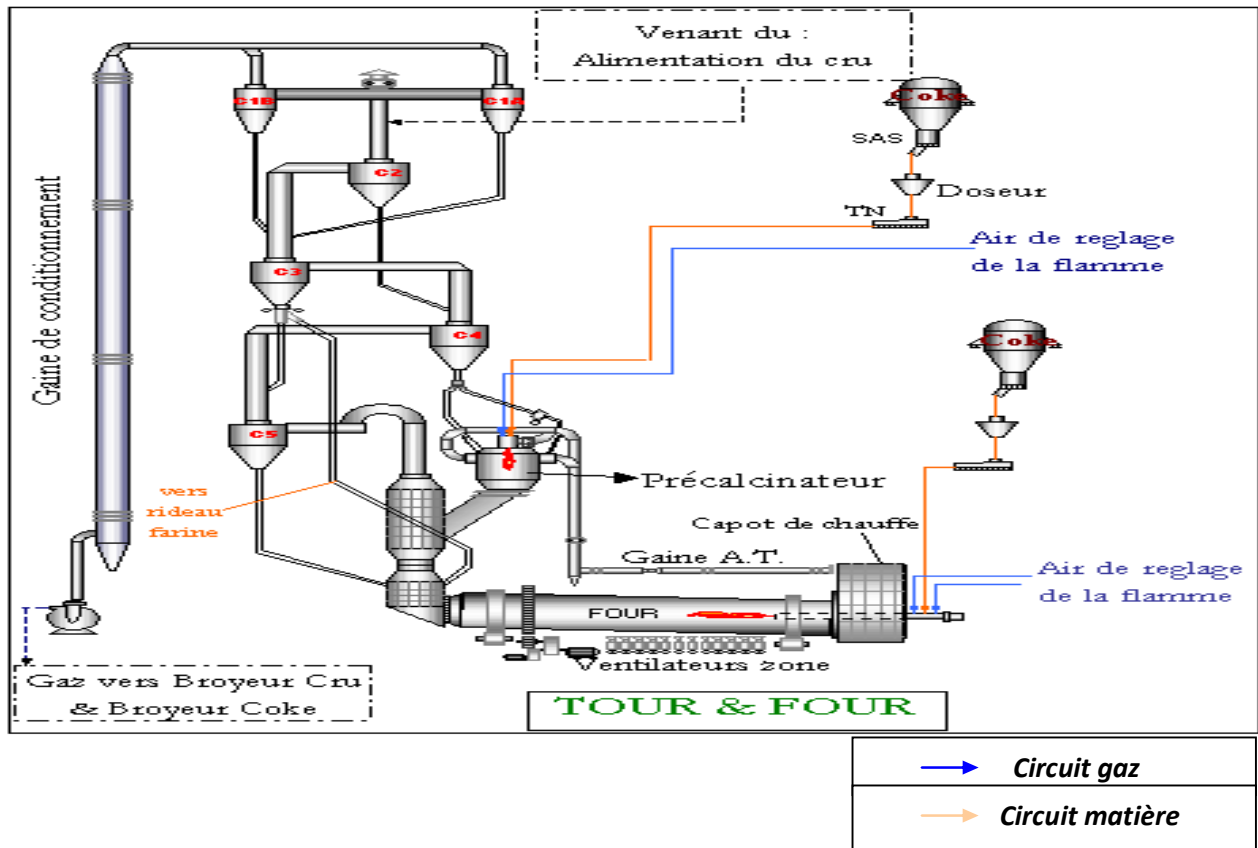


Figure 3.4 : Schéma du tour de Préchauffage avec le précalcinateur

L'utilisation d'un précalcinateur se caractérise par :

- La diminution du diamètre et de longueur du four,
- L'augmentation de la production après son installation sur une unité existante,
- L'utilisation de combustibles à forte teneur en cendres ou de combustibles difficiles à brûler,
- La disparition de l'effet d'aéroglossière dans le four,
- La baisse de la volatilisation des alcalins dans le four,
- Une plus grande stabilité de marche du four.
- Faible consommation (740 à 860 th /t)
- Forte capacité (jusqu'à 700 t/j)

1.1.3. Les capteurs de Pression et de Température

Sur ce circuit sont installés plusieurs capteurs-transmetteurs (Figure 3.5) des capteurs de température pour mesure la température de gaz et de matière et des capteurs-transmetteurs de pression.

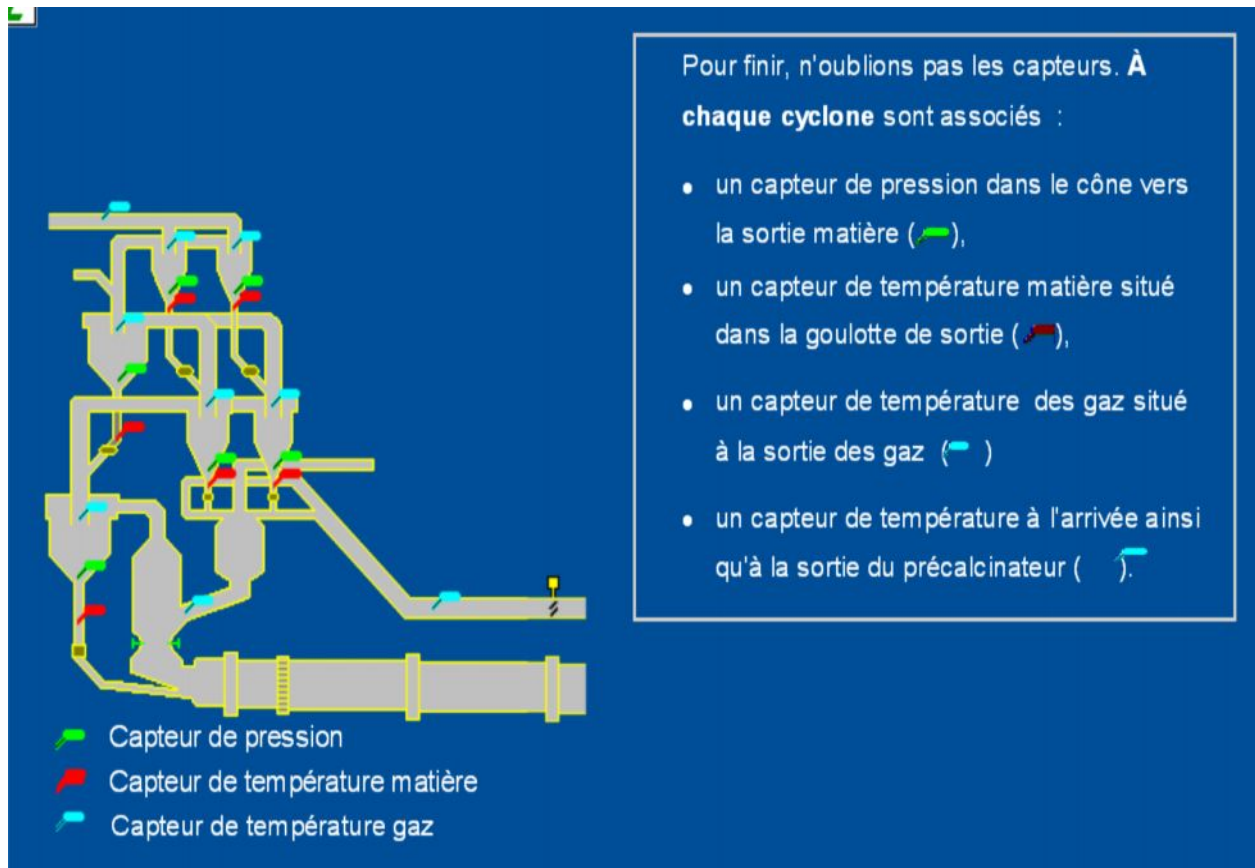


Figure 3.5 : la position des capteurs dans chaque cyclone

1.2. Présentation du sujet

L'étude vise à optimiser l'optimisation globale de la consommation de précalcinateur par la mise en marche d'une boucle de régulation de la température gaz du cyclone C4 en fonction du débit combustible précalcinateur.

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

L'usine de Meknès est classée comme première consommatrice d'énergie thermique malgré sa modeste capacité de production dans le groupe.

Dans ce contexte, une problématique se pose. Tout d'abord, la consommation calorifique du four 1 doit être optimisée, vue qu'elle dépasse largement son objectif. Ensuite, donner des directives de l'optimisation globale de la consommation de l'usine.

Donc l'intérêt de cette étude est d'autant plus important qu'il rassemble plusieurs facteurs :

- Taux de décarbonation le plus grand possible
- Coûts d'exploitation (augmentation de débit de production ciment)
- Qualité (finesse ; Blain ; ajout...)
- Stabilité procès de l'atelier de cuisson
- Et surtout améliorer la consommation énergétique de l'atelier cuisson.

1.2.1. Problématique

L'usine de Meknès contient deux lignes de production du clinker à voies sèches, la première ligne est composée d'un four avec préca débitant 135t/h de cru, la deuxième ligne contient un four sans préca avec un débit de 94 t/h. Depuis plusieurs années, la consommation globale de ces deux fours demeure instable et dépasse le budget fixé à 840 th/t. Le tableau suivant (Tableau 3.1) présente l'historique des consommations calorifique entre 2006 et 2009.

| Consommation calorifique en th/t | Cumul Four1 | Cumul Four2 | Cumul Globale | Objectif Globale | Ecart Global |
|----------------------------------|-------------|-------------|---------------|------------------|--------------|
| 2006 | 890,73 | 857,45 | 877,05 | 840 | +37,05 |
| 2007 | 870,38 | 836,9 | 856,71 | 840 | +16,71 |
| 2008 | 868,29 | 859,91 | 864,63 | 840 | +24,63 |
| 2009 | 870,62 | 851,44 | 864,07 | 840 | +24,07 |

Tableau 3.1 : l'historique des consommations du four calorifique entre 2006 et 2009.

A l'issue de cette comparaison, il est évident que le four 1 consomme plus de thermies par rapport à son objectif fixé à 820 th/t, alors que le four 2 reste relativement au-dessous de l'objectif fixé à 850 th/t.

Pour traiter ce sujet nous essayerons d'explicitier davantage le contexte et la problématique de l'étude. Puis, nous proposerons notre démarche. Ensuite, nous détaillerons les résultats que nous avons développés avec leurs justifications. En fin, nous indiquerons les suites à donner aux travaux de l'optimisation.

1.2.2. Actions à faire :

Optimisation du système de régulation

- Suivi du fonctionnement des capteurs de température.
- Simulation du fonctionnement de la régulation et sa mise en marche.
- Repositionner les capteurs de température de la tour EVS du four 1 pour améliorer le fonctionnement de la régulation de l'optimisation du coke au niveau précalcinateur.

2. PRÉSENTATION DU CIRCUIT

La figure suivante (Figure 3.6) montre le schéma du circuit de l'atelier cuisson.

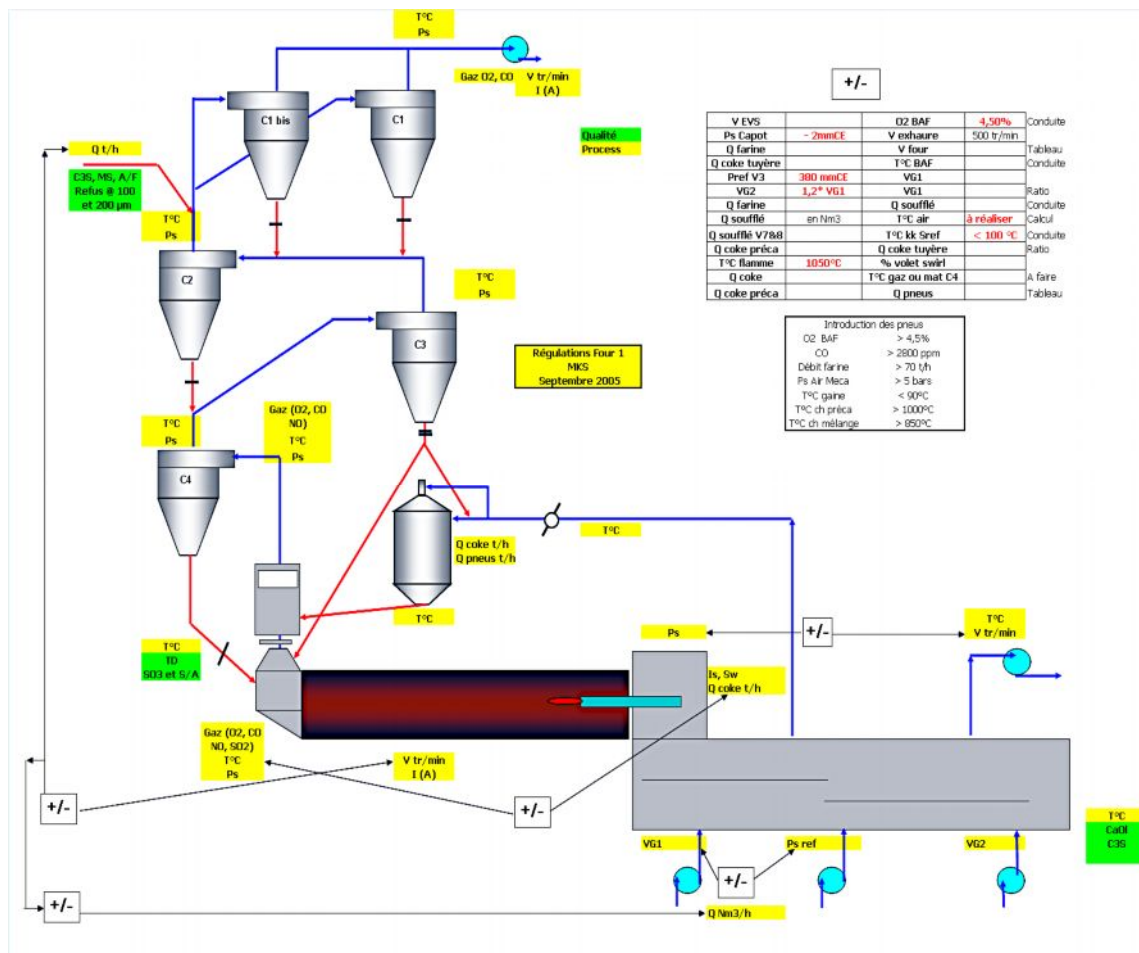


Figure 3.6 : schéma du circuit de l'atelier cuisson

Conçue pour une production journalière de 1800 t/j de clinker, la ligne de cuisson de est équipée :

- D'un four rotatif de 96 m de longueur et d'un diamètre de 3.7 m posé sur deux appuis.
- D'une tour échangeur EVS à 4 étages équipée d'un précalcinateur alimenté par la matière de cyclone C₄ et des gaz chauds en provenance de capot de chauffe. Une partie de la matière de cyclone C₃ est dirigé vers le rideau de farine pour éliminer les matières volatiles.
- D'un refroidisseur constitué de deux grilles, de 5 chambres, d'un concasseur à marteau et de 7 ventilateurs de soufflage. Une partie de l'air soufflé par le ventilateur V₂ assurera l'évacuation des poussières clinker des chambres vers le transporteur clinker à godets.
- D'un échangeur tubulaire pour refroidissement des gaz exhaure alimentant un filtre à manches.

3. OPTIMISATION DE LA CONSOMMATION CALORIFIQUE DE PRÉ-CALCINATEUR

3.1. Système de commande : système de management

Il est difficile de caractériser l'efficacité des boucles de régulation en l'absence de système contrôle commande. En effet, il n'est pas possible d'éditer des courbes afin de suivre l'évolution des différents paramètres dans le temps.

L'enjeu prépondérant dans la bonne marche de l'atelier est de maintenir une marche la plus stable possible pour assurer une régularité de production et pour pouvoir faire des optimisations. Ceci permettra également d'améliorer la régularité de la qualité du produit fini. Pour cela certaines boucles de régulations ont été crée et mise en service dans le but d'assurer la stabilité aéraulique et aussi celle de la charge circulante. Ces boucles sont disponibles basiquement sur le système contrôle commande sous formes de régulations PID. L'usine dispose également dans un cadre d'optimisation plus poussé d'un système expert de conduite automatique plus performant(SYSTEME DE MANAGEMENT) se basant sur une approche purement « calcul » caractérisant l'état de marche à court et à long terme permettant ainsi l'optimisation des paramètres de marche et par conséquent d'atteindre les objectifs qualité recherchés. Ce système conduit tous les ateliers y compris le précalcinateur.

Ce SYSTEME DE MANAGEMENT permet de gérer plusieurs paramètres à la fois prenant en compte les contraintes qui se présenteraient quand il s'agit par exemple d'une certaine charge ou d'un certain dépassement à ne pas atteindre. SYSTEME DE MANAGEMENT fait une lecture de tous les paramètres de marche et obéit à celui qui reflète réellement le vrai besoin en termes d'action à faire. En effet, les paramètres de marche sont pondérés au niveau SYSTEME DE MANAGEMENT en fonction de leur importance et leur représentativité de la marche de l'atelier. Un calcul d'un estimateur plus complet permet ensuite d'envisager l'action la plus adéquate à faire.

Toutefois, il faut signaler que la connexion de SYSTEME DE MANAGEMENT est impérativement conditionnée par une bonne fiabilité d'abord de l'atelier (capteurs fiables, doseurs réactifs, matière première bien maîtrisée,...).

Néanmoins, la stabilité de débit n'est pas assurée. Ceci est mis en évidence par les perturbations suivant (Figure 3.7 et 3.8) :

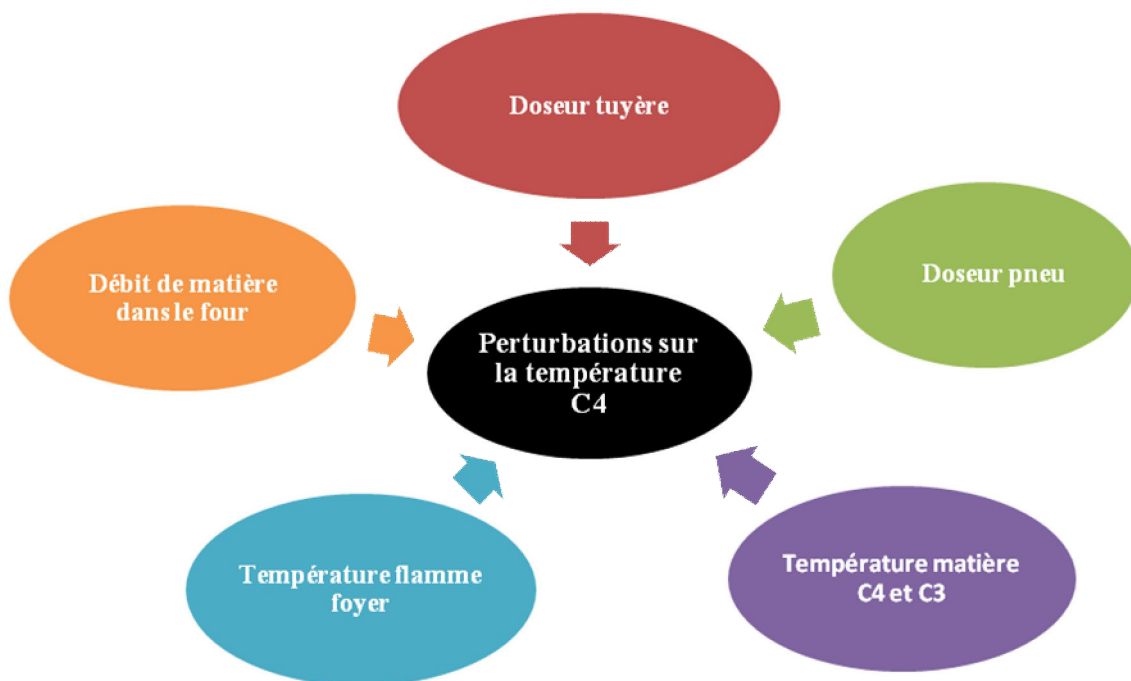


Figure 3.7 : les différentes perturbations sur le débit du préca

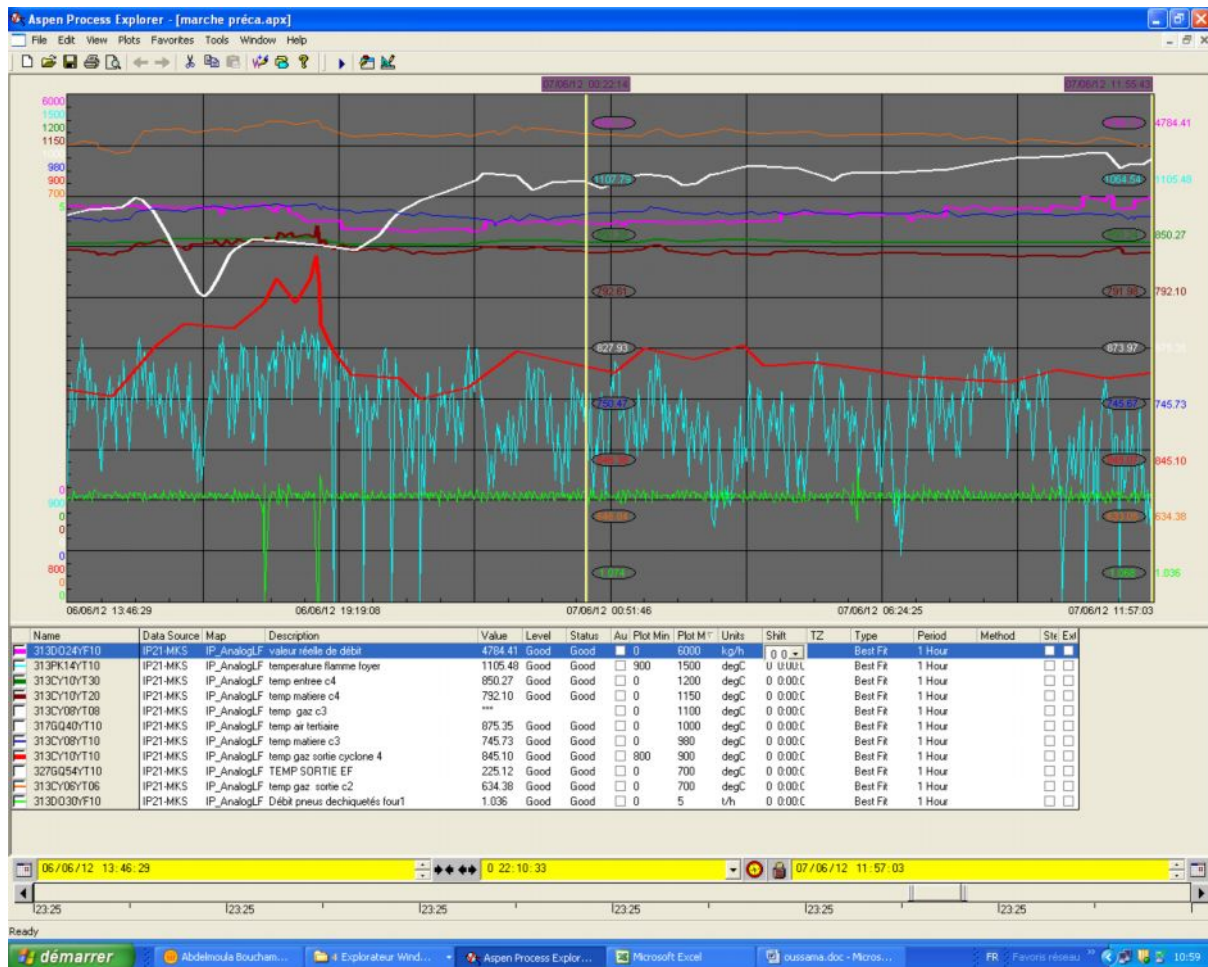


Figure 3.8 : copie d'écran du fichier de suivi sur IP21 montrant l'effet des perturbations sur la Réponse du débit dans le system

3.2. Amélioration du système de régulation

3.2.1. Présentation des boucles de régulation :

Un diagnostic des différentes boucles de régulation et de leur fiabilité s'avère nécessaire dans le cadre de l'optimisation de l'atelier.

L'atelier cuisson contient plusieurs boucles de régulation simples et d'autre en cascade (Figure 3.9) se diffèrent par leurs potentiels d'influence sur la marche de l'atelier.

Pour assurer les régulations nécessaires, des capteurs process (débit, pression, température,...) ont été installés sur place dont l'information est remontée en salle de contrôle. Cela permet de mieux caractériser le fonctionnement de l'atelier et d'assurer la sûreté de ses équipements.

Les différentes boucles de régulation existantes sont décrites dans le schéma suivant :

1. régulation du débit de la farine par action sur la vanne modulante.

| Grandeur réglée | Grandeur réglante | Grandeur perturbante | Consigne | PID |
|-----------------|--------------------|----------------------|------------|---------------------|
| Débit farine | La vanne modulante | ventilateur | 0 à 140t/h | P=2 I=450 D=0 |

2. régulation de la température gaz C4 par action sur débit préca

| Grandeur réglée | Grandeur réglante | Grandeur perturbante | Consigne | PID |
|---------------------------|-------------------|--|----------|-----------------------|
| Température gaz sortie C4 | Débit préca | Température air tertiaire Température foyer Débit coke | 850°C | P=0.8 I=600 D=0 |

3. régulation du débit fuel par action sur la vanne modulante

| Grandeur réglée | Grandeur réglante | Grandeur perturbante | Consigne | PID |
|-----------------|-------------------|----------------------|------------|---------------------|
| Débit fuel | Vanne modulante | viscosité | 0 à 600L/h | P=1 I=100 D=0 |

4. régulation de la pression capot de chauffe par action sur la vitesse de ventilateur EXHAUR

| Grandeur réglée | Grandeur réglante | Grandeur perturbante | Consigne | PID |
|---------------------------|-------------------------------|----------------------|-----------|-------------------------|
| Pression capot de chauffe | Vitesse de ventilateur EXHAUR | Fiabilité de mesure | 0 à -4 dp | P=-0.2 I=1000 D=0 |

5. régulation de la pression entrée TC par action sur la vitesse de ventilateur final

| Grandeur réglée | Grandeur réglante | Grandeur perturbante | Consigne | PID |
|--------------------|------------------------------|----------------------|--------------|-----------------------|
| Pression entrée TC | Vitesse de ventilateur final | Fiabilité de mesure | -10 à -20 dp | P=-0.2 I=60 D=0 |

Le problème de marche est au niveau du capteur qui donne un signal qui n'informe pas exactement sur l'état du précalcinateur ce si doit être la cause de deux problème

- Problème de fiabilité de capteur
- Problème de positionnement de capteur

➤ Schéma de la boucle de régulation

Présentation des boucles de régulation de l'atelier cuisson (Figure 3.9) :

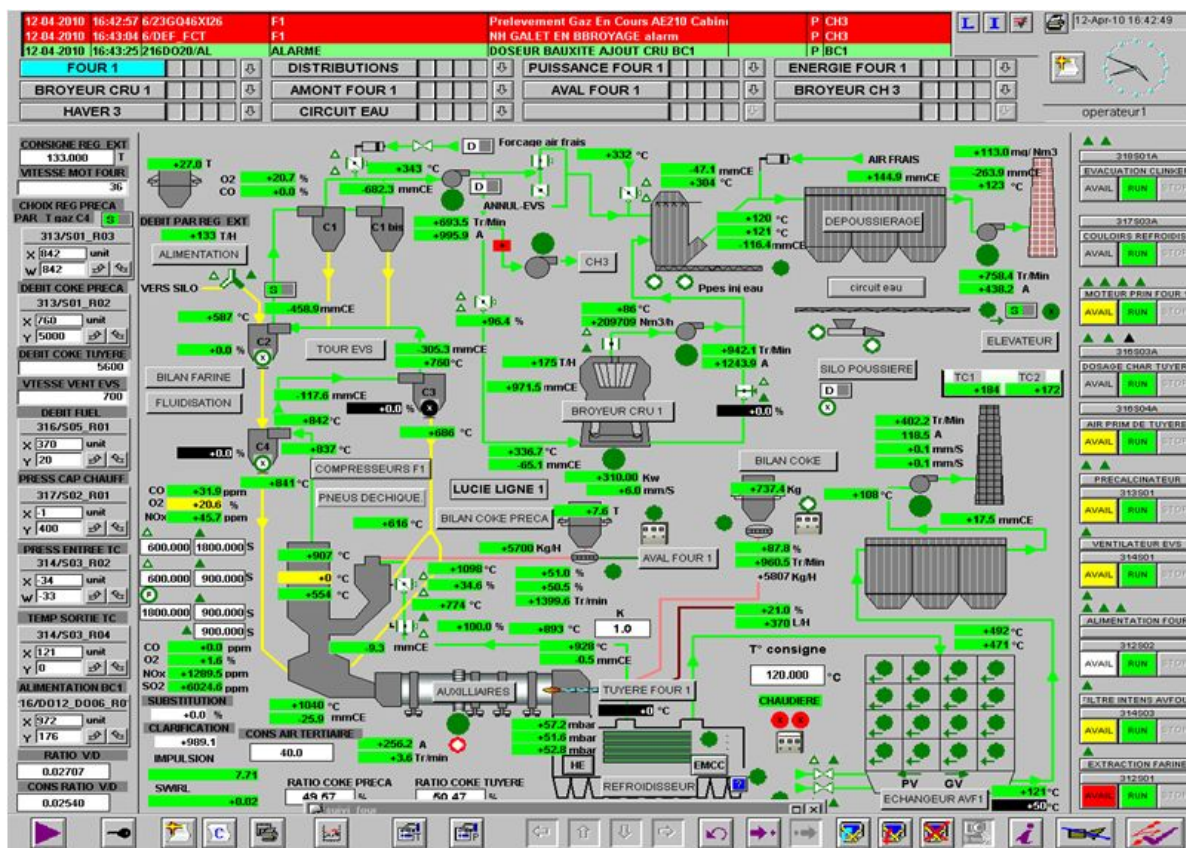


Figure 3.9: présentation des différentes boucles de régulation dans l'installation

Pour mettre en service les boucles de régulation on doit avoir une instrumentation fiable

3.2.2. Suivi du fonctionnement des capteurs de température

➤ Les capteurs qui sont suivis et qui reflètent une bonne image sur la stabilité de la décarbonatation sont:

- Température matière C4
- Température gaz sortie C4
- Température gaz entré C4
- Température matière C3
- Température gaz C3

Les deux figures montrent la position des capteurs de température dans l'installation (Figure 3.10) et la Réponse de différentes températures dans le système (Figure 3.11).

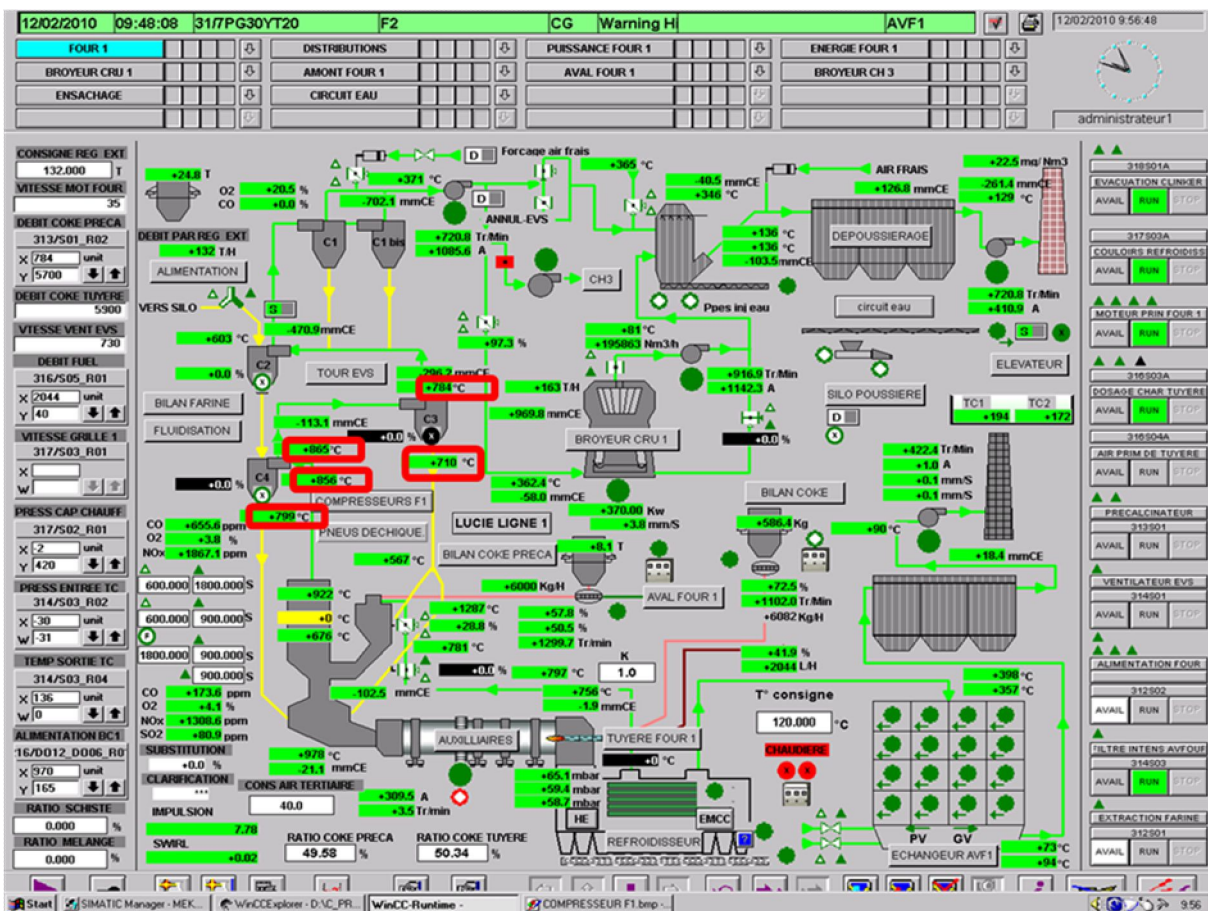


Figure 3.10 : présentation des capteurs des températures dans l'installation

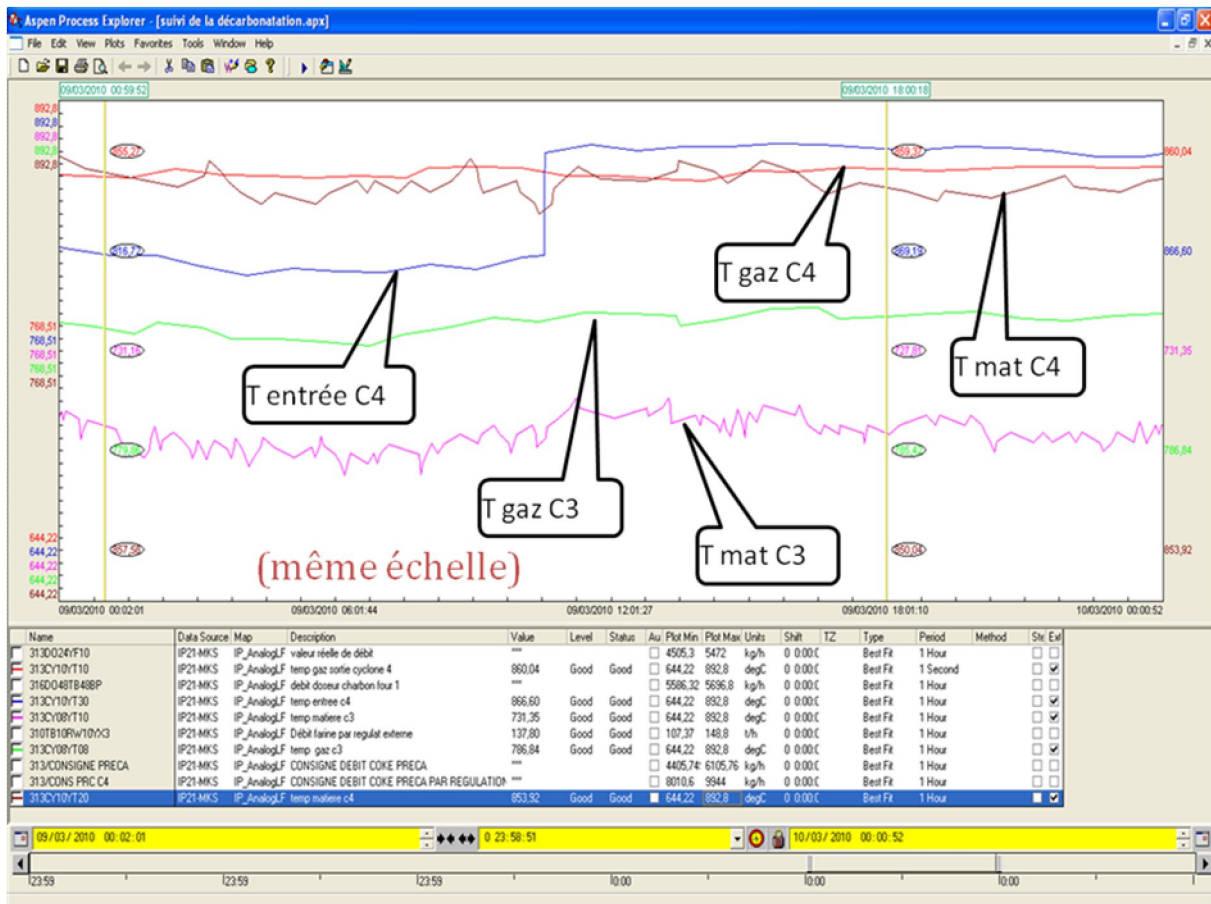


Figure 3.11 : copie d'écran du fichier de suivi sur IP21 montrant la Réponse de différentes températures dans le système

On voit clairement que la température gaz C4 est la plus stable par rapport aux autres températures pour la même échelle.

Conclusion sur les températures :

- On s'aperçoit que les températures matière C3 et C4 sont instables → difficile de les intégrer dans la régulation
- La température gaz entré C4 est légèrement stable mais elle nécessite à chaque fois des corrections de l'erreur.
- Les deux températures qui restent (gaz sortie C3 et C4) sont plus représentatives
- Cependant celle de C4 présente des petites ondulations qui sont stables dans le temps par rapport aux ondulations de la température gaz de C3

3.2.3. Simulation du fonctionnement de la régulation et sa mise en marche

Etudes du système physique



Figure 3.12 : le système à étudier

D'après les anciennes essais qu'ils ont faite auparavant les résultats obtenus sont incomparables vue l'instabilité physique du système et la variation des paramètres de marche.

➤ Régulation et sa mise en marche

L'idée de passer par une simulation est:

- Voir réellement les actions menées par la régulation en fonction de la variation du système
- Eviter les perturbations de la marche du four
- Déterminer les paramètres optimaux de la régulation (temps proportionnel et temps intégral)
- Mise en marche en toute sécurité.

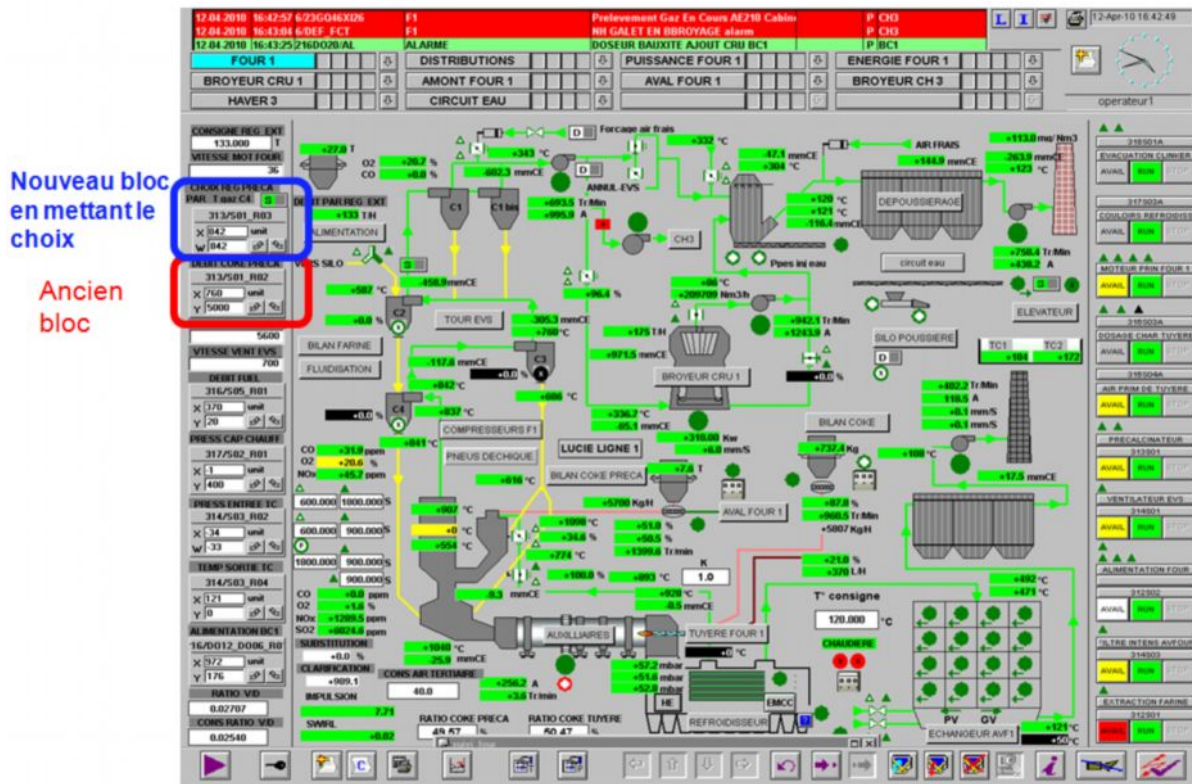


Figure 3.13 : Remplacement l’ancien bloc par le nouveau bloc qui permet de mettre le choix

➤ Procédure de mise en marche de la régulation en toute sécurité

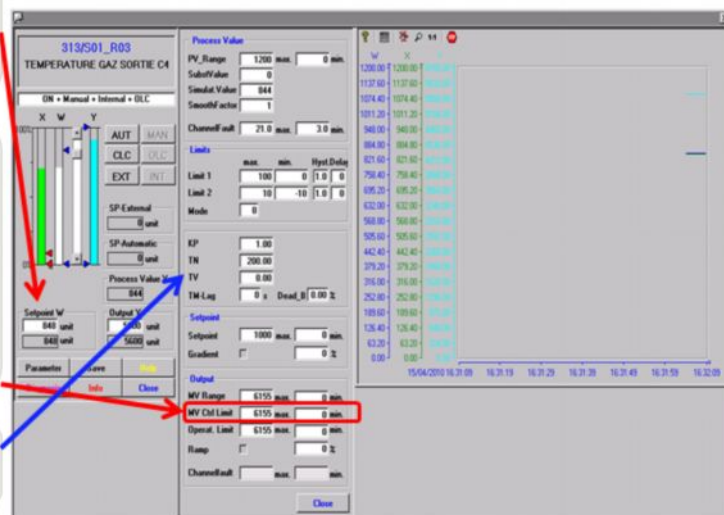
Pour la mise en marche de la régulation proposée on réalise les étapes suivant :

1. Saisir la même température affichée sur le pavé de la consigne

2. Saisir les limites de contrôle de la régulation en prenant un écart de +/- 150 kg/h de la consigne actuelle afin de contrôler l'efficacité de la régulation et d'éviter de la dérive brusque du capteur de température

3. Vérifier que : $KP=1$; $TN=200$ et $TV=0$

4. Mettre la régulation en automatique en cliquant sur CLC



5. Pour repasser en manu cliquer sur OLC et remettre les anciennes limites de contrôle [0::6155]

➤ Résultats de la simulation

Pour un écart de +/- 2°C une variation de +/- 100 kg/h du coke préca pendant une heure. On obtient l'évolution de la figure 3.17. avec un P= 1et I= 200 et D=0. [2]

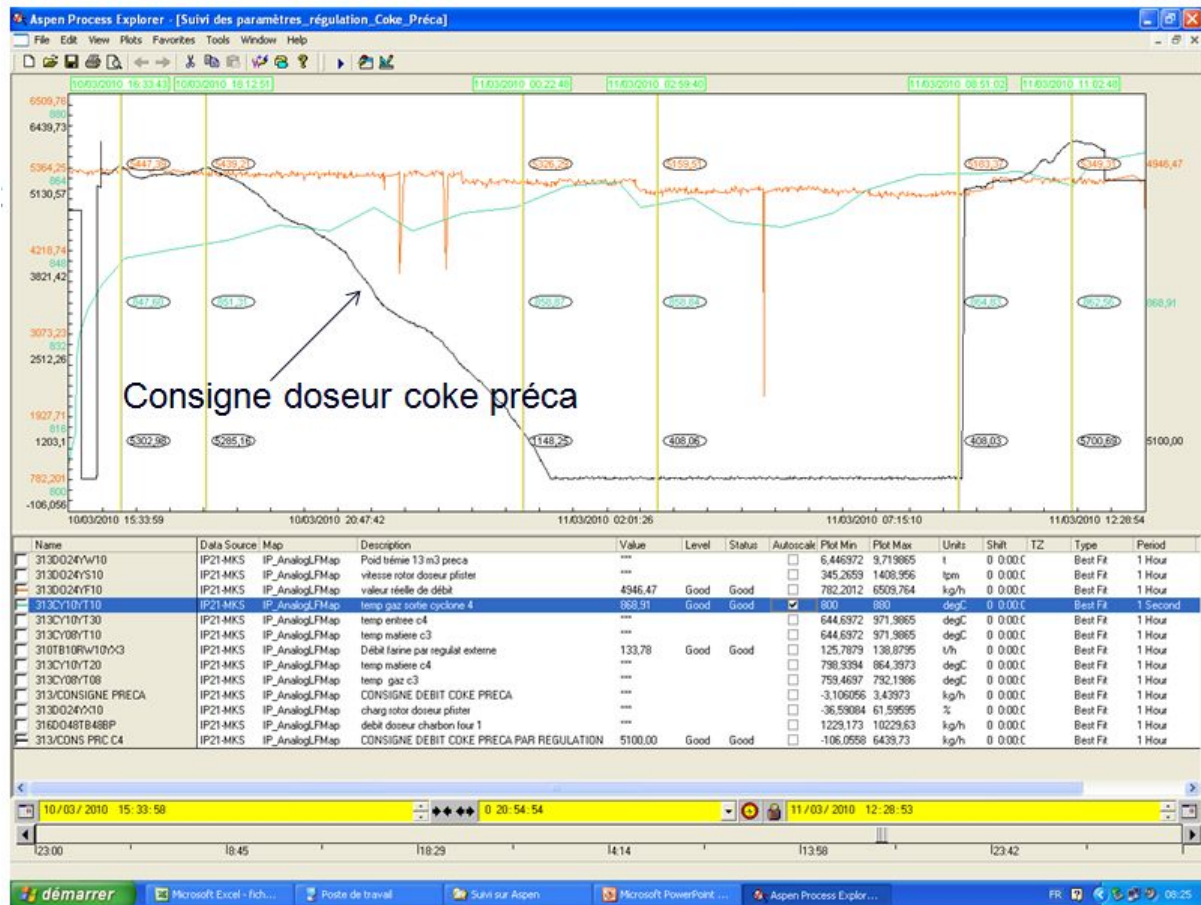


Figure 3.14 : copie d'écran du fichier de suivi sur IP21 montrant le résultat de la simulation du doseur coke préca

➤ Résultats de la mise en marche

Enfin, sans créer des perturbations de la marche du four on a mis en place une régulation PID de l'optimisation de la température des gaz à la sortie du cyclone quatre par rapport du débit coke du précalcinateur vue sa stabilité et sa réactivité dans le temps. Le résultat de la mise en marche à bien réussi, néanmoins, la perturbation récurrente du débit farine ainsi que le plafonnement du doseur coke nous ont obligé reprendre le fonctionnement en manuel jusqu'au réglage des doseurs.

Les fichiers suivants (Figure 3.15 et 3.16 et 3.17) montrent clairement l'efficacité de cette régulation.

1^{er} essai

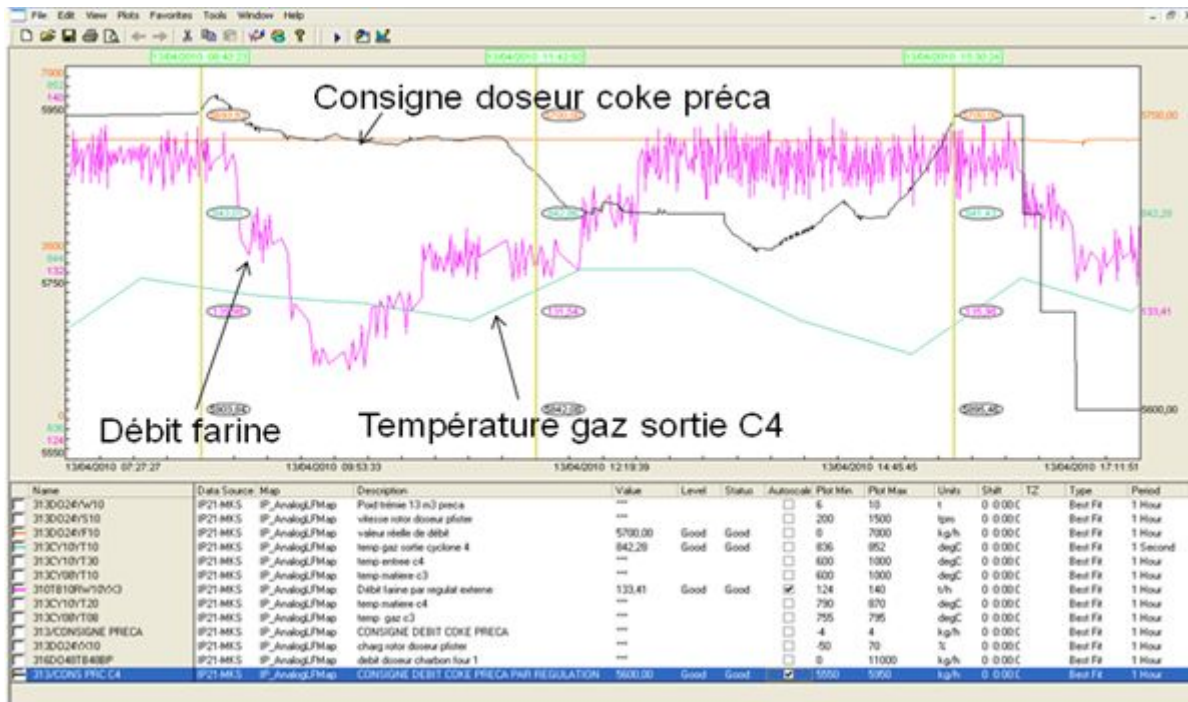


Figure 3.15 : copie de fichier de suivi sur IP21 montre le Fonctionnement de la régulation du coke du précalcinateur 1^{er} essai

2^{ème} essai

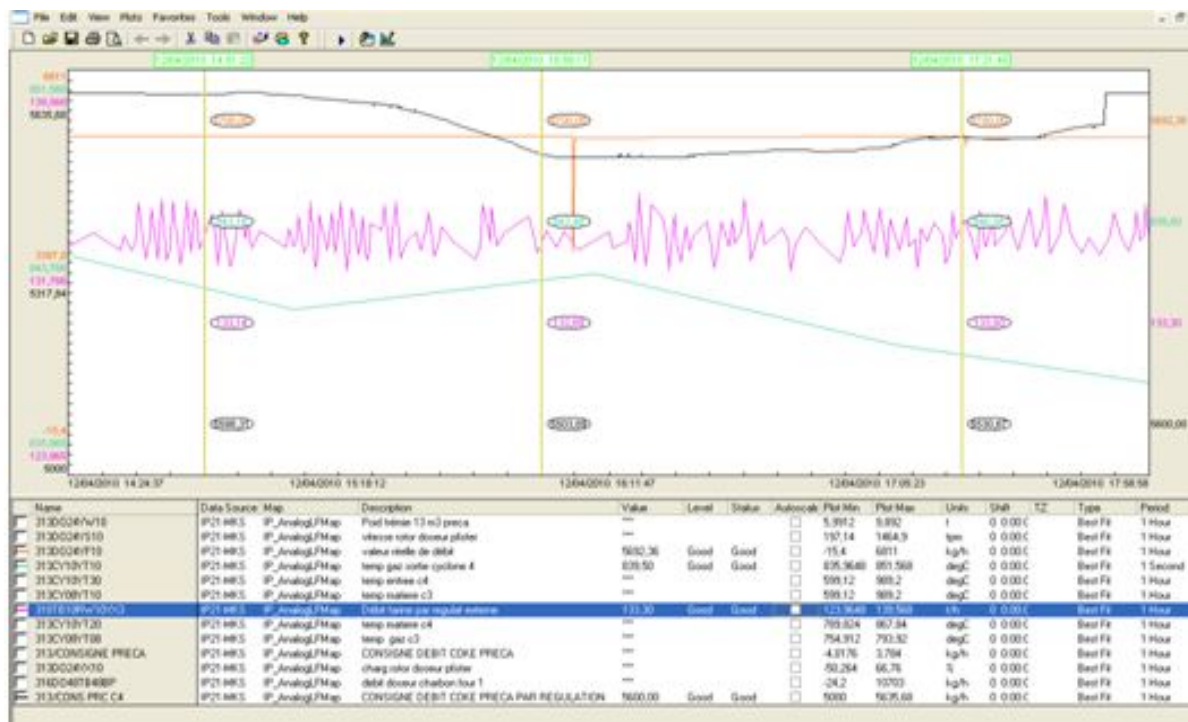


Figure 3.16 : copie de fichier de suivi sur IP21 montre le Fonctionnement de la régulation du coke du précalcinateur 2^{ème} essai

3^{ème} essai

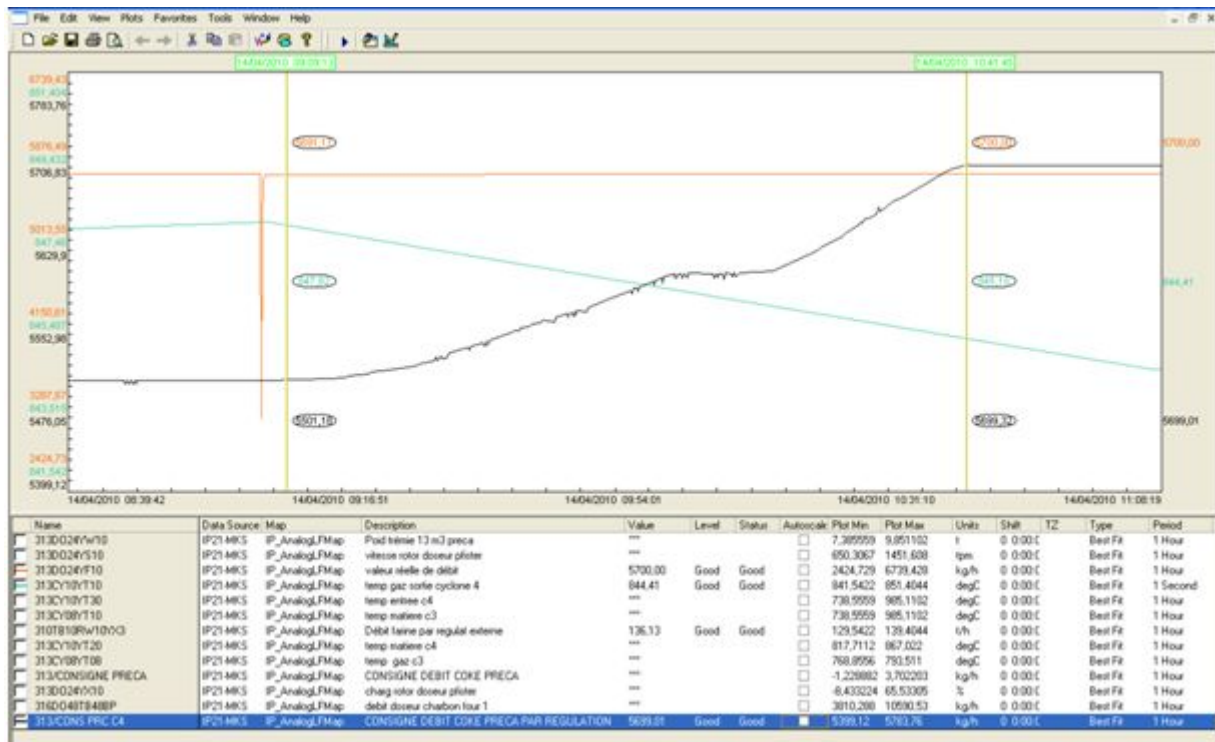


Figure 3.17 : copie de fichier de suivi sur IP21 montre le Fonctionnement de la régulation du coke du précalcinateur 3^{ème} essai

➤ Conclusion

Pour garantir le bon fonctionnement de la régulation il faut:

- Un suivi régulier des capteurs des températures (Procédé, Instrumentation)
- Un engagement des opérateurs vis-à-vis la mise en marche de la régulation
- Une adaptation des paramètres de la régulation par le service procédé en fonction de la dérive des capteurs ou du doseur préca
- Faire fonctionner la régulation pour une plage de débit farine entre 130 et 140 t/h
- Faire des essais avec d'autres capteurs de température en suivant les recommandations ci-après

Pour maintenir la stabilité des paramètres de marche il faut:

- Un suivi permanent des dérives des doseurs coke et farine (Procédé, Maintenance)

3.2.4. Suite à donner : Repositionner les capteurs de température de la tour EVS du four1 pour améliorer le

fonctionnement de la régulation de l'optimisation du coke au niveau précalcinateur

❖ Changer de l'emplacement de la température matière C4

L'ancienne position de ce capteur révélait des valeurs de température instable dans le temps vue la variation de l'écoulement de la matière avant de franchir le clapet comme nous indique les photos ci-dessus (Figure 3.18 et 3.19) :

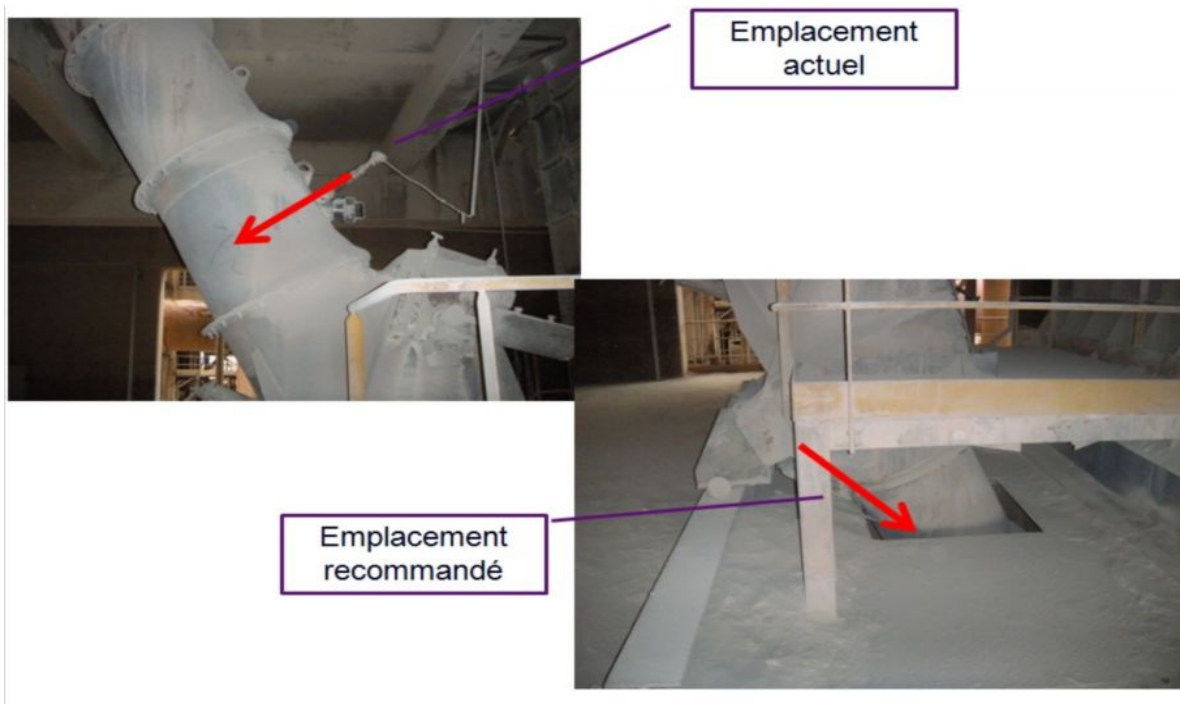


Figure 3.18 : Gaine matière du cyclone 4

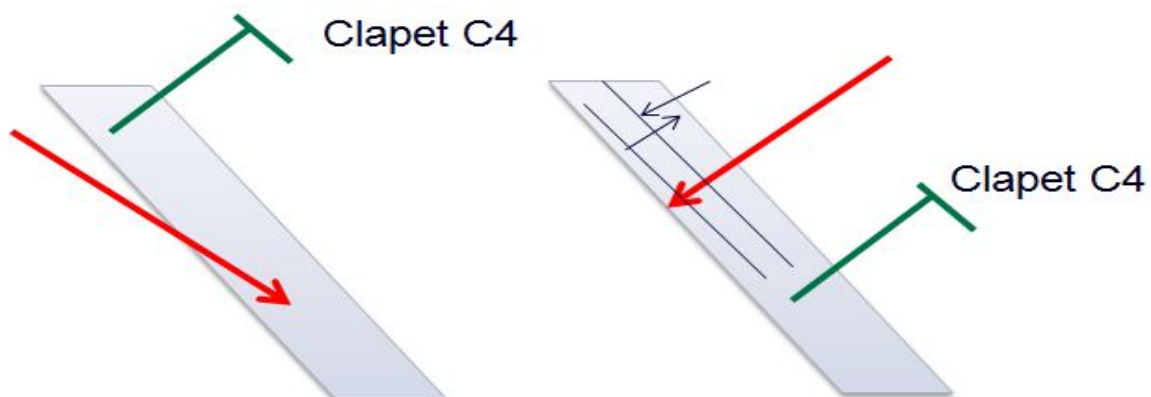


Figure 3.19 : franchir le clapet dans une position inclinée

Le but de mettre la sonde de la température après le clapet (dans une position inclinée) est de garantir un contact continu et permanent entre la sonde et la matière décarbonatée.

❖ Changer de l'emplacement de la température gaz Sortie C4

L'emplacement actuel ne reflète pas l'image de la température gaz sortie C4. C'est une indication de la température du mélange du gaz et de la matière sortie cyclone quatre.



Figure 3.20 :L'emplacement actuel du Cylindre et gaine gaz sortie cyclone 4

Emplacement recommandé

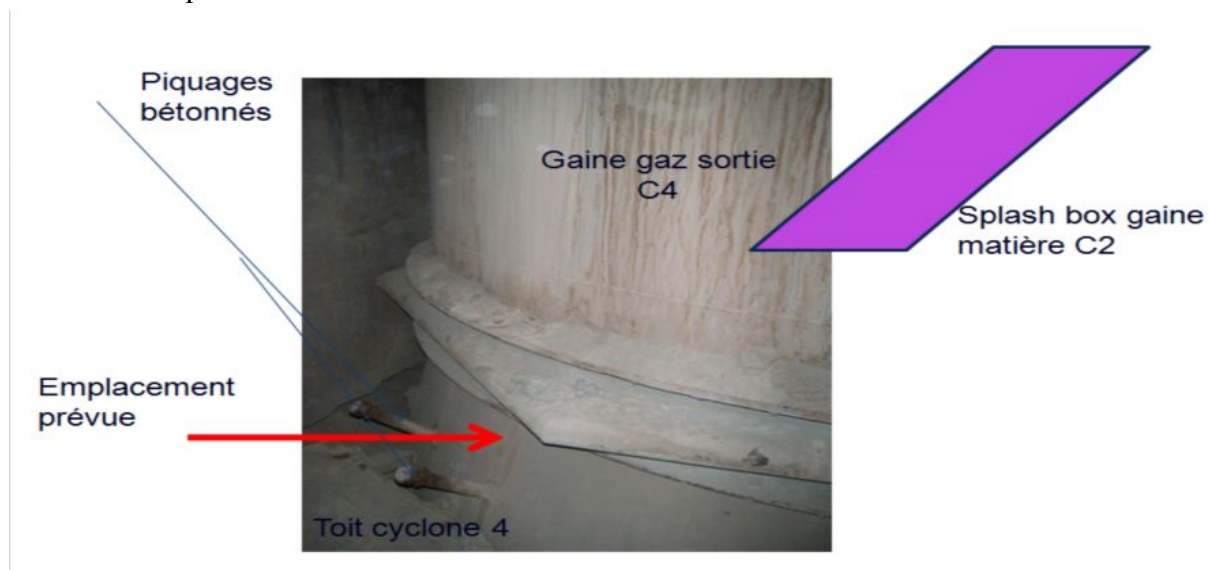


Figure 3.21: Emplacement recommandé du Cylindre et gaine gaz sortie cyclone 4

Même recommandation pour le C3

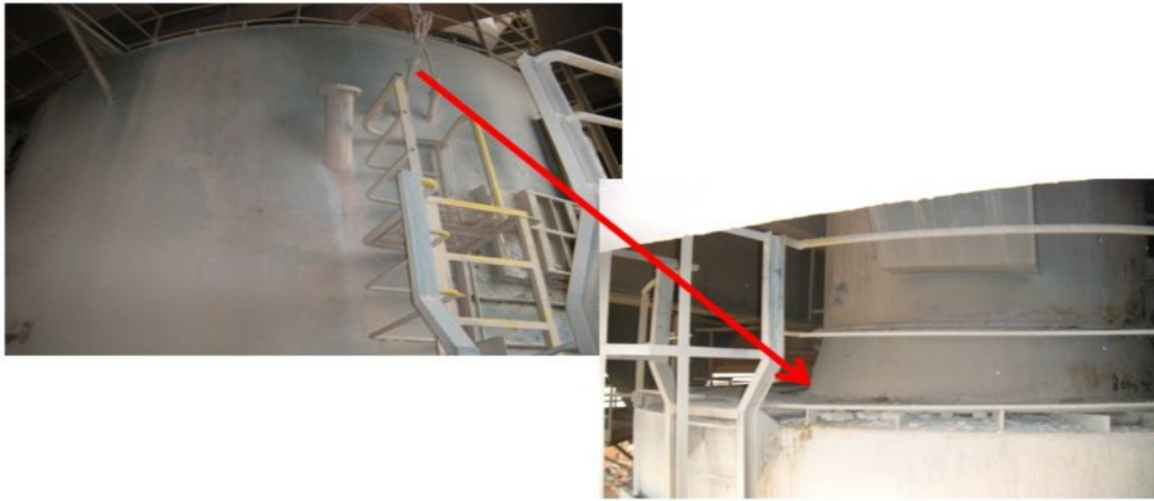


Figure 3.22 : Cylindre et gaine gaz sortie cyclone 3

- ❖ Prévoir un piquage sur la gaine verticale du cross (juste à l'entrée de C4)

L'emplacement du capteur dans un coude donnera l'image de la température d'une partie où le passage des gaz est préférentiel. Cependant, l'emplacement recommandé permettra d'avoir une température moyenne du mélange gaz-matière plus significative qu'avant.



Figure 3.23 : Gaine gaz entrée cyclone 4

En fin, après une évaluation du fonctionnement de ces capteurs recommandé, nous préconiserons d'utiliser une seule régulation qui prend en considération ces températures afin de pouvoir optimiser le coke du précalcinateur de ce procédé.

3.2.5. Conclusion

L'Optimisation et Régulation par simulation de la température du gaz de cyclone C4 en fonction du débit combustible précalcinateur ; nous a permis de retenir que l'on obtient une régulation plus performante. En effet, elle permet D'Voir réellement les actions menées par la régulation en fonction de la variation du système et Eviter les perturbations de la marche du four Et Mise en marche en toute sécurité. Ces résultats ont été prouvés expérimentalement.

Pour atteindre ces performances, le system à étudier doit être stable. Dans ce cas et comme la cascade est sur la grandeur réglante, nous avons travaillé avec 100% coke c'est-à-dire qu'il n'y a pas de perturbation par les autres combustibles (pneu,..) car le coke ne pose aucune perturbation pour la température de précalcinateur.

Par ailleurs on constate clairement, que Le bon fonctionnement des capteurs de température reflètent une bonne image sur la stabilité de la décarbonatation et par conséquent améliorer le fonctionnement de la régulation de l'optimisation du coke au niveau précalcinateur.

CONCLUSION GÉNÉRALE

La mission présentée dans ce rapport illustre bien l'intérêt d'évoluer en termes de performance engagé sur les objectifs de pilotage de cette usine. Néanmoins, la garantie et la pérennisation des résultats réalisés est beaucoup plus difficile. Nous apportons au travers de ce rapport quelques-unes des actions nécessaires à l'optimisation de la consommation calorifique au court et moyen terme et des systèmes de suivi des dérives et de traçabilité sur les actions menées.

L'étude particulière du four1 nous a permis de clarifier les problématiques liées à l'optimisation de la consommation calorifique chez Lafarge de Meknès.

Donc travail de fin d'étude qui nous a été proposé est la mise en service d'une boucle de régulation du débit combustible précalcinateur par Action sur la température du gaz de cyclone C4

Au début nous avons déterminé un Suivi du fonctionnement des capteurs de température on a trouvé que celle de C4 présente des petites ondulations qui sont stables dans le temps par rapport aux autres températures qui sont difficile de les intégrer dans la régulation ;ensuite nous avons réalisé une Simulation du fonctionnement de la régulation et sa mise en marche. Cette régulation par simulation nous permet de :

- Voir réellement les actions menées par la régulation en fonction de la variation du système
- Eviter les perturbations de la marche du four
- Déterminer les paramètres optimaux de la régulation (temps proportionnel et temps intégral)
- Mise en marche en toute sécurité.

Nous avons ensuite effectué une change de la position de ces capteurs en évaluant à chaque fois l'efficacité et le taux de confiance des mesures obtenus pendant les futures compagnes du four ,pour améliorer le fonctionnement de la régulation qui prend en considération ces températures afin de pouvoir optimiser le coke du précalcinateur de ce procédé.

Un point très essentiel dans ce travail que nous avons bien appris et que nous n'oublierons jamais, c'est comment réussir garantir le bon fonctionnement de la régulation? En effet pour se faire, il faut:

- Un suivi régulier des capteurs des températures (, Procédé, Instrumentation)
- Un engagement des opérateurs vis-à-vis la mise en marche de la régulation
- Une adaptation des paramètres de la régulation par le service procédé en fonction de la dérive des capteurs ou du doseur préca
- Faire des essais avec d'autres capteurs de température en suivant les recommandations
- Aussi stabilité du système a étudier est obligatoire.

La période de notre stage au sein de LAFARGE Meknès, nous a permis d'élargir nos connaissances concernant le monde industriel ainsi que les problèmes quotidiens de l'entreprise.

Durant ce stage à LAFARGE CIMENT-Usine de Meknès, nous avons constaté plusieurs choses qui sont très intéressantes :

- Se familiariser avec le monde du travail est l'objectif de tout stagiaire.
- Le zéro accident est parmi les objectifs prioritaires de performance en matière de sécurité dans l'usine, la sécurité est un élément essentiel non seulement pour le personnel usine mais aussi pour les intervenants extérieurs (visiteurs, stagiaires ...).
- La ponctualité est une caractéristique remarquable dans tout le personnel de l'usine.
- Le stage est décomposé en deux périodes, une découverte de l'usine ensuite un sujet à propos les paramètres utilisé suivant la qualité ciblé. La visite guidée de l'usine est assurée par des gens du service procédé, et d'autres... en expliquant en même temps avec rigueur chaque passage et chaque étape.

