Université Sidi Mohammed Ben Abdellah
Faculté des Sciences et Techniques
www.fst-usmba.ac.ma

Année Universitaire : 2015-2016

Master Sciences et Techniques GMP

Génie des Matériaux et des Procédés

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour l'Obtention du Diplôme de Master Sciences et Techniques

Optimisation du temps de purge pour la production des ciments spéciaux

Présenté par:

EL ALAMI Nouâamane

Encadré par:

- **TAOUIL Ismail LAFARGE Bouskoura**
- **KHALIL Fouad FST Fès**

Soutenu Le 17 Juin 2016 devant le jury composé de:

- **Pr. KHALIL Fouad**
- **Pr. CHTIOUI Hicham**
- **Pr. WAHBI Hamid**

Stage effectué à : LAFARGE Ciments usine de Bouskoura

2015/2016

Master Sciences et Techniques : Génie des Matériaux et des Procédés

Nom et prénom: EL ALAMI Nouâamane

Titre: Optimisation du temps de purge pour la production des ciments spéciaux.

Résumé

LAFARGE ciment du Maroc est une industrie de poids du fait qu'elle produit près du tiers de la capacité de production totale du secteur.

Etant le leader dans son domaine, LAFARGE Ciment usine de Bouskoura s'est considérablement développée ces dernières années, c'est l'unité de production la plus importante du payé en terme de capacité.

Ainsi l'industrie cimentière a dû optimiser son processus de fabrication pour produire un ciment de très bonne qualité avec un coût bien raisonnable.

Dans ce cadre, ma mission de stagiaire au sein de cette entreprise était d'optimiser le temps de purge du broyeur BK4, afin de réduire le temps d'arrêt de ce dernier et de maitriser les pertes de point de vu énergétique et du rapport ciment/clinker.

Après, nous avons faire une petite description de l'atelier BK4, et a l'aide d'un historique des temps de purge nous avons collecté les causes responsable du retard dans le but de détecter les problèmes majeurs qui on un effet élevé, afin d'analyser ces causes et trouver des solutions.

Mots clés: Broyeur BK4, temps de purge, temps de réglage.

LAFARGE CIMENTS

Dédicaces

A ma mère, qui a œuvré pour ma réussite, par son amour, son soutien, tous les sacrifices consentis et ses précieux conseils, pour toute son assistance et sa présence dans ma vie, reçois à travers ce travail aussi modeste soit-il, l'expression de mes sentiments et de mon éternelle gratitude.

A mon père, qui peut être fier et trouver ici le résultat de longues années de sacrifices et de privations pour m'aider à avancer dans la vie. Puisse Dieu faire en sorte que ce travail porte son fruit ; Merci pour les valeurs nobles, l'éducation et le soutient permanent venu de toi.

A mes frères Taha et Abdessamad et ma sœur Hind et son mari qui n'ont cessé d'être pour moi des exemples de persévérance, de courage et de générosité.

A mon très cher oncle EL ALAMI Mohamed et sa famille qui était toujours présent pour les bons conseils, l'encouragement et le soutien.

Mes professeurs de la FSTF qui doivent voir dans ce travail la fierté d'un savoir bien acquis.

A toute ma famille.

A tous mes amis.

A tous ceux et celles que j'aime.

Remerciements

Les remerciements sont marque de politesse incontournable mais insuffisante pour témoigner ma gratitude envers ceux qui nous ont soutenus.

Après nos louanges à Dieu, je présente mes sincères remerciements à mon parrain de stage Mr. TAOUIL Ismail, Chef de service Procédés, d'avoir accepté, d'encadrer ce présent projet, et aussi pour la qualité de son encadrement, ses précieux conseils, ses encouragements, ses fructueuses orientations et son soutient tout au long du déroulement de ce stage qui m'a permis, grâce au sujet que j'ai développé, d'enrichir mes connaissances théoriques et pratiques.

Mes remerciements les meilleurs s'adressent à Mr. KHALIL Fouad mon encadrant à la faculté des sciences et techniques pour son encadrement, ses précieux conseils, son soutien, ses encouragements, ses fructueuses orientations et sa précieuse aide dans l'accomplissement de ce projet.

Ma profonde gratitude s'adresse également à toute l'équipe de service Procédés, pour leurs accueils, leurs aides, leurs conseils et leurs écoutes, en particulier Mr. ANOUAR, Mr. AITMAGHRIT, Mr. EL MAIYAR, Mr. HAZIM, Mr. BOUTIZLA, Mr. ZIBAR.

Mes vifs remerciements vont aussi à tout le personnel de LAFARGE Bouskourades différents services qui se sont montrés coopératifs et serviables en particulier Mr. AKARDISS, Mr. CHAKIB, Mr. KSIRRI, Mm. ADLANE, Mr Idriss, pour leurs aides et les nombreuses informations précieuses.

Je tiens aussi à remercier cordialement tout le corps professoral et administratif de notre faculté pour leur soutien tout au long de notre formation.

Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury Mr. WAHBI et Mr.CHTIOUI qui ont bien accepté d'évaluer ce projet de fin d'études.

Enfin, merci à tous ceux qui ont participé de près ou de loin à l'élaboration de ce projet.

A tous… merci

Nomenclature

$CaCO_3$ (C)	Carbonate de Calcium est le composant principal du calcaire.
SiO_2 (S)	Le dioxyde de silicium.
Al_2O_3 (A)	Alumine.
Fe_2O_3 (F)	Oxyde ferrique.
SO_3	Anhydride Sulfurique.
MgO	Oxyde de Magnésium, largement connu par "Magnésie", est un composant mineur du Clinker.
$CaSO_4,2H_2O$	Gypse.
CaO	Oxyde de Calcium CaO, largement connu par "la Chaux", est un composant majeur du Clinker.
CaOL	Chaux libre ; la chaux qui n'a pas réagit avec les autres élémens pendant la cuisson. La teneur doit être en général inférieure à 2 % en masse dans le clinker. La quantité de chaux libre augmente lorsque la température du four baisse.
CS	silicate monocalcique.
C_2S	Silicate bicalcique ou Bélite, est un composant du clinker.
C_3A	Aluminate tricalcique.
C_4AF	Aluminate-ferrite tetracalcique.
C_3S	silicate tricalcique ou Alite, est le constituant principal du clinker.
CPA	Le Ciment Portland Artificiel.
CPJ	Le Ciment Portland Composé.
SSB	La surface spécifique blaine.
BK	Broyeur du Clinker.
BC	Broyeur cru.
MPa	Le méga-pascal est une unité utilisée pour la mesure de haute pression.
KK	Clinker.

Sommaire

INTRODUCTION GENERALE **1**

CHAPITRE 1: PRESENTATION DE L'ORGANISME D'ACCUEIL ET CONTEXTE DU PROJET **2**

1.1. PRESENTATION ORGANISME D'ACCUEIL 3
1.1.1. Introduction *3*
1.1.2. Historique *3*
1.1.3. LAFARGE Maroc *4*
1.1.4. LAFARGE Ciments, usine de Bouskoura *4*
1.1.4.1. Fiche technique de LAFARGE Ciments, usine de Bouskoura 4
1.1.4.2. Organigramme de l'usine 5
1.2. ABC CIMENT 6
1.3. PROCEDES GENERAL DE FABRICATION DU CIMENT 8
1.3.1. Organigramme du Procédés *8*
1.3.2. Etapes de fabrication du ciment *9*
1.4. PRESENTATION DE LA PROBLEMATIQUE 13
1.4.1. Position du problème *13*
1.4.2. Objectif *13*

CHAPITRE2 : MISE EN SITUATION ET PROPOSITION DES SOLUTIONS POUR MINIMISER LE TEMPS AVANT ET APRES LA PURGE **14**

2.1. INTRODUCTION 15
2.2. DEFINITION DE LA THEMATIQUE 15
2.2.1. Description de l'atelier BK4 ..... *15*
2.2.1.1. Broyeur à boulets 15
2.2.1.2. Filtre 16
2.2.1.3. Séparateur statique 16
2.2.1.4. Séparateur dynamique 17
2.2.2. Définition des purges *17*
2.3. OPTIMISATION DU TEMPS AVANT ET APRES LA PURGE 18
2.3.1. Définition du temps du basculement d'une qualité inférieure vers une qualité supérieure *18*
2.3.2. Temps avant le lancement de la purge (temps de réglage) *18*
2.3.2.1. Définition et historique 18
2.3.2.2. Interprétation de l'historique 19
2.3.2.3. Application de la méthode SMED 19
- Définition 19
- Application de la méthode 20

2.3.3. Temps d'analyse *29*

CHAPITRE 3 : MISE EN SITUATION ET PROPOSITION DES SOLUTIONS POUR MINIMISER LE RETARD DES PURGES **30**

3.1. INTRODUCTION 31
3.2. LA DEMARCHE DMAIC 31
3.3. PRESENTATION DU PROJET 32
3.3.1. Introduction *32*
3.3.2. Le QQOQCP *32*
3.3.3. Diagramme Pareto *33*

3.3.3.1. Recherche des causes 33
3.3.3.2. Interprétation du diagramme 34
3.3.3.3. Présentation de causes majeures du retard 35
3.3.4. Les 5 pourquoi 36
3.3.4.1. Présentation de la méthode 5 pourquoi 36
3.3.4.2. Interprétation des résultats 38
3.3.4.3. Résultats 39
3.4. TRAITEMENT DES CAUSES ET RECHERCHE DE SOLUTION 39
3.4.1. Introduction 39
3.4.2. La teneur en chaux libre 39
3.4.2.1. Modèle de gestion du remplissage de clinker 39
3.4.2.2. Organigramme 40
3.4.3. La teneur en $SO3$ 41
3.4.3.1. Gestion du gypse 41
- Méthode d'homogénéisation de gypse 41
- *Gypsage optimum 42*

3.4.3.2. Problème des doseurs 47
3.5. DETERMINATION DU TEMPS DE PURGE OPTIMAL 49
3.5.1. Introduction 49
3.5.2. Procédure 49
3.5.3. Résultat 50

CHAPITRE4 : ESTIMATION DES PERTES ET CALCUL DU GAIN DE PRODUCTIVITE 51

4.1. INTRODUCTION 52
4.2. ETUDE ECONOMIQUE- ESTIMATION DES PERTES 52
4.3. CALCUL DES GAINS 59
4.3.1. Introduction 59
Dans cette partie nous allons calculer le gain de productivité qu'on peut gagner par les solutions présentés dans le troisième chapitre. 59
4.3.2. Gain d'optimisation de retard de temps de purge 59
- *Méthode de calcul 59*

Les pertes après solutions sont calculées par la règle de trois en utilisant les pertes globales. 59
Le gain est égal à la différence entre les pertes calculée ci-dessus et les pertes après solutions. 59
Le gain de productivité = les pertes – les pertes hors incidents 59
Le gain de productivité est représenté dans le tableau ci-dessous. 59
- *Interprétation 59*

4.3.3. Gain d'optimisation de temps de purge 60
- *Méthode de calcul 60*

Les pertes après solutions sont calculées par la règle de trois en utilisant les pertes globales. 60
Le gain est égal à la différence entre les pertes hors incidents et les pertes après solutions. 60
Le gain de productivité = les pertes hors incidents – les pertes après solutions 60
Le gain de productivité est représenté dans le tableau ci-dessous. 60
- *Interprétation 60*

CONCLUSION 61

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUES 62

ANNEXE 63

Liste des Figures

Figure 1 : Organigramme de l'usine Bouskoura[1] 5
Figure 2 : Organigramme du Procédés général de l'usine Bouskoura 8
Figure 3 : L'étape d'extraction 9
Figure 4 : L'étape de concassage. 9
Figure 5 : L'étape de pré homogénéisation 10
Figure 6 : L'étape de broyage cru. 10
Figure 7 : L'étape de cuisson 12
Figure 8 : L'étape de broyage cuit 12
Figure 9 : L'étape d'ensachage 12
Figure 10 : Broyeur à boulets 16
Figure 11: Temps du basculement d'une qualité inférieure vers une qualité 18
Figure 12 : Historique du temps de réglage par rapport à 12 min durant l'année 2015. 19
Figure 13 : Organigramme de la méthode SMED 20
Figure 14 : Etapes de la méthode SMED 21
Figure 15 : Opérations internes et externes du temps de réglage 23
Figure 16 : Vanne Marceau Amalric 24
Figure 17 : Corps de vanne attaquée 25
Figure 18 : Usure des joints d'étanchéités 25
Figure 19 : Schéma de gestion de d'alimentation du clinker 28
Figure 20 : Diagramme QQOQCP 32
Figure 21 : Diagramme Pareto des causes du retard 34
Figure 22 : Variation du pourcentage du SO_3 par rapport aux normes marocaines 35
Figure 23 : Variation du pourcentage de la chaux libre par rapport à la norme marocaine 36
Figure 24 : Les 5 pourquoi pour le SO_3 37
Figure 25 : Les 5 pourquoi pour la chaux libre 37
Figure 26 : Gestion du remplissage clinker 40
Figure 27 : Le %SO3 optimal pour le CPA 65 43
Figure 28 : Le %SO3 optimal pour le CPJ 55 43
Figure 29 : Le %SO3 optimal pour le CPJ 55 PM 44
Figure 30 : Interface graphique du programme 46
Figure 31 : Image du doseur Shenck utilisé dans l'usine 47

Liste des tableaux

Tableau 1: Fiche technique de LAFARGE Ciments, usine de Bouskoura [1] 4
Tableau 2: Les opérations internes et externes du temps de réglage (SMED) 23
Tableau 3: Prixdes pièces de rechange d'origine 26
Tableau 4: Les causes du retard du temps de purge 33
Tableau 5: Fiche technique du doseur gypse 48
Tableau 6: Résultat des essaies pour avoir le temps de purge optimale 50
Tableau 9: Pertes en KWH/t pour CPJ45-CPJ 55 53
Tableau 10: Pertes en C/Kpour CPJ45-CPJ 55 53
Tableau 7: Consommation électrique selon les tranches 53
Tableau 8: Prix et consommation électrique selon les qualités du ciment 53
Tableau 11: Pertes totales CPJ45-CPJ 55 54
Tableau 12: Pertes en KWH/tpourCPJ45-CPA 65 54
Tableau 13: Pertes en C/K pour CPJ45-CPA 65 54
Tableau 14 : Pertes totales pour CPJ45-CPA 65 55
Tableau 15: Pertes en KWH/t pour CPJ55-CPA 65 55
Tableau 16: Pertes en C/KpourCPJ55-CPA 65 56
Tableau 17 : Pertes totales CPJ55-CPA 65 56
Tableau 18: Pertes en KWH/t pour CPJ55PM-CPA 65 57
Tableau 19:Pertes en C/k pourCPJ55PM-CPA 65 57
Tableau 20:Pertes totalespourCPJ 55 PM-CPA 65 57
Tableau 21:Pertes en KWH/t pourCPJ 55-CPJ 55PM 58
Tableau 22:Pertes en C/k pour CPJ 55-CPJ 55PM 58
Tableau 23:Pertes totales CPJ 55-CPJ 65 58

Introduction générale

Dans le cadre de la concurrence mondiale et de la grande compétitivité dans le monde industriel, les entreprises sont appelées à améliorer la qualité de leurs produits et services. Elles doivent adopter une politique qui tient compte de l'évolution économique et technologique actuelle, afin de faire face efficacement aux impératifs du marché et des réglementations, aux besoins des clients mais aussi aux nécessités du développement durable.

Face à ces contraintes et afin de consolider son rang de leader, le groupe LAFARGE considère l'implantation des nouvelles technologies, la réduction du temps d'arrêt des machines, l'augmentation de la production, comme étant un choix prioritaire dans sa stratégie concurrentielle

Produire d'une part des ciments de bonne qualité, avec le meilleur rapport qualité/coût de revient et d'autre part, de maîtriser les pertes de point de vue rapport KWh/tonne et Ciment/Clinker sont les objectifs visés par le groupe Lafarge.

C'est dans cette perspective qu'il nous a été proposé comme projet de fin d'étude « l'optimisation des purges pour obtenir des ciments spéciaux » pour l'atelier BK4 qui se caractérise par la production des ciments qui contiennent plus de clinker et consomment plus de KWh/t lors du broyage.

Le présent rapport regroupe le travail réalisé tout au long de ce stage de fin d'études. Il est organisé comme suit :

Chapitre 1 : consacré à la présentation de LAFARGE Ciments de l'usine de Bouskoura, l'ABC ainsi que le procédé général de fabrication du ciment, Présentation de la problématique et la méthodologie de travail.

Chapitre 2 : comporte une description de l'atelier BK4, Définition et historiques des purges, ainsi que des recommandations afin d'optimiser le temps avant et après le lancement de la purge

Chapitre 3 : se subdivise en trois parties, une partie consacrée aux traitements des causes du retard du temps de purge, une consacrée aux solutions, et la dernière partie consacrée à l'optimisation du temps de purge

Chapitre 4 : présente une étude financière (pertes et gains), afin d'évaluer la rentabilité de ce projet

Chapitre 1: Présentation de l'organisme d'accueil et contexte du projet

1.1. Présentation Organisme d'accueil

1.1.1. Introduction

La présentation de l'Entreprise ayant parrainé le stage, sa présence à l'international, et entre autres ses domaines d'activités, ses départements et ses chiffres clés, constitue un premier abord indispensable pour l'assimilation de l'environnement de travail et fait l'objet de ce premier chapitre .Une fois cette partie est maitrisée, nous allons nous attarder sur l'ABC ainsi le procèdes général de la fabrication du ciment puis entamer le contexte du projet pour définir l'objectif de cette étude et décrire la méthodologie de résolution adoptée.

1.1.2. Historique

C'est en 1833, que naît l'activité du cimentier Lafarge, après la reprise par son fondateur, Joseph-Auguste Pavin de Lafarge, du Pavin de Lafarge, une activité familiale lancée en 1749, dont l'usine de fours à chaux exploite une carrière de pierre à chaux dans la montagne Saint-Victor en France.

En 1919, l'activité est transformée en société anonyme sous le nom de « Société anonyme des chaux et ciments de Lafarge et du Teil » et, dès 1939, Lafarge devient le premier cimentier français et progressivement l'un des leaders mondiaux. Lafarge étend son réseau sur trois territoires (dix usines en France, une implantation en Afrique du Nord et une filiale en Angleterre).

Lafarge est devenu aujourd'hui un leader mondial des matériaux de construction et acteur majeur dans les activités ciment, granulats et béton, Aujourd'hui elle occupe la position de leader par excellence à travers ses produits : Ciment (n°1 mondial), Granulats (n°1 mondial), Bétons (n°3 mondial), et Plâtre (n°3 mondial), et qui mettent en œuvre des programmes d'amélioration de performances, des actions de réduction des coûts, d'amélioration de la qualité des produits et des services rendus aux clients.

Lafarge contribue à construire des villes meilleures dans le monde entier avec des solutions innovantes pour les rendre plus accueillantes, plus compactes, plus durables, plus belles et mieux connectées.

D'ici 2025, le marché de la construction de Lafarge va plus que doubler pour atteindre 15 trillions de dollars. Il va changer de taille mais aussi de nature, générant de nouveaux besoins et de nouveaux défis. L'urbanisation, les enjeux climatiques et la protection de l'environnement en constitueront les principaux.

1.1.3. LAFARGE Maroc

C'est à partir de 1912 que le ciment commençât à être utilisé au Maroc. Aujourd'hui, Lafarge Maroc occupe la place de leader sur le marché, il faut noter que l'activité essentielle de Lafarge est issue de la production de ciment (85% des ventes de l'entreprise).

1.1.4. LAFARGE Ciments, usine de Bouskoura

L'usine de Bouskoura est la plus importante unité de production dans le pays en termes de capacité. Elle est localisée à 35 km au sud-ouest de Casablanca, sa capacité est passée à 2.100.000 de tonnes par an en 2008 et ce grâce à l'extension de la seconde ligne de production.

1.1.4.1. Fiche technique de LAFARGE Ciments, usine de Bouskoura

Le tableau N°1 représente les données relatives à la société Lafarge Bouskoura.

Tableau 1: Fiche technique de LAFARGE Ciments, usine de Bouskoura [1]

Raison sociale	Lafarge Ciments
Forme juridique	Société anonyme
Capital	467.430.500 DHs
Registre de commerce	40779
C.N.S.S	1098343
T.V.A	620800
Adresse d'usine	30 Km sud-ouest Casablanca, 17Km Bouskoura
Tél.	0522-33-45-72 / 0522-33-73-74
Fax.	0522-33-45-75 / 0522-33-42-80
Actionnaires	Lafarge Maroc 68.2%
	Caisse de dépôt et de gestion 9.6%
	Banque nationale pour le développement économique 7.9%
	Banque islamique de développement 5.4%
	Caisse interprofessionnelle marocaine de retraite 3.6%
	Cementos marroquies 1.4%
	Divers 3.9%
Activité de la société	Fabrication et commercialisation du ciment

1.1.4.2. Organigramme de l'usine

L'usine de Bouskoura obéit à un organigramme bien défini. Il se résume comme suit :

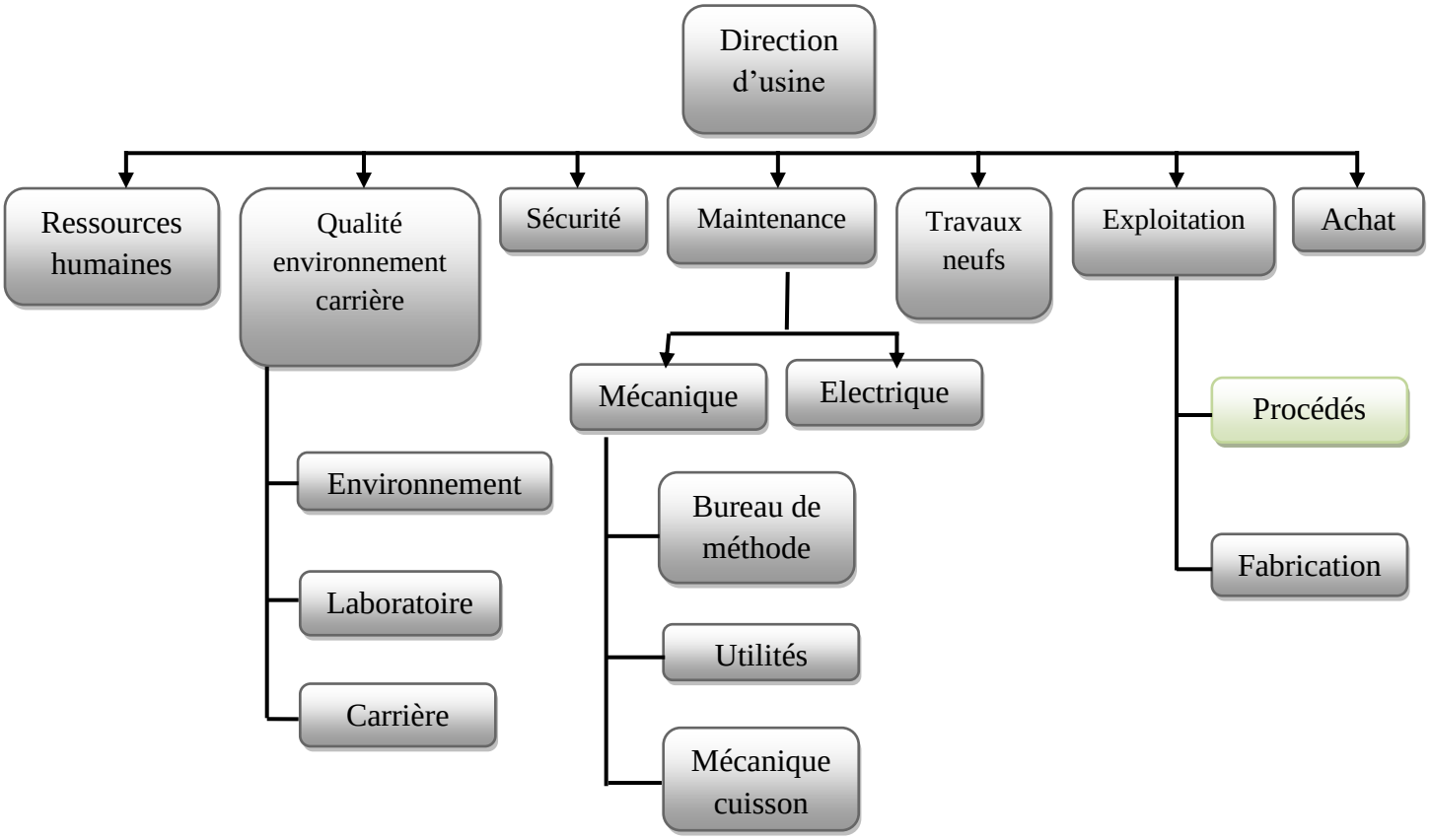


Figure 1 : Organigramme de l'usine Bouskoura[1]

Notre stage s'est déroulé au sein du service Procédés :

Le service procédés a pour mission de rationaliser la consommation des énergies (électrique et calorifique) et des matières premières dans une optique environnementale, en étudiant, proposant et développant les tests et essais permettent l'utilisation optimale du procédé de fabrication et son évolution éventuelle.

Le service Procédés contrôle en collaboration avec les services de fabrication et de qualité, le processus de fabrication du ciment, il cherche à optimiser les paramètres de réglage des différentes installations (cuisson, broyage…) et propose enfin des améliorations des processus de production dans la recherche d'un meilleur rendement et d'une plus grande stabilité.

1.2. ABC ciment

Le ciment est un liant hydraulique inventé au 18ème siècle par les romains et constitué d'une poudre minérale, c'est donc une matière inorganique finement moulue, d'aspect grisâtre, obtenue par broyage et cuisson à 1450 °C d'un mélange de calcaire et d'argile. Le produit de la cuisson et d'un refroidissement a l'air brusque, appelé clinker, est pour l'essentiel une combinaison de chaux, de silice, d'alumine et d'oxyde ferrique. Le ciment résulte donc du broyage du clinker avec d'autres constituants secondaires, à savoir le sulfate de calcium ajouté généralement sous forme de gypse, le laitier, les cendres volantes, etc. Gâché avec de l'eau, il forme une pate plastique faisant prise et durcissant progressivement par suite de réaction et processus de déshydratation. Apres durcissement, le ciment conserve sa résistance et sa stabilité même sous l'eau. En effet, 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, notamment des aiguilles, des bâtonnets, des prismes.

Il existe deux grandes familles de ciment

- les ciments Portland, constitues majoritairement de silice (SiO_2) et de chaux (CaO) et qui sont utilisés principalement dans les bétons de bâtiments et les ouvrages de génie civil.
- les ciments alumineux qui se composent essentiellement d'alumine (Al_2O_3) et de chaux. En raison de leur résistance aux attaques chimiques, de leur prise rapide ou de l'absence de chaux libre [2].

Lafarge Ciments Bouskoura produit différents types de ciments, à savoir :

- Le CPJ35 avec un pourcentage en clinker de 65%, le reste est constitué des ajouts (calcaire, cendres volantes). La résistance à la compression à 28 jours doit être supérieure à 22,5 MPa. Le CPJ 35 développe des performances adaptées pour une utilisation dans la confection des bétons faiblement sollicites, béton non arme et tous les types de mortiers.
- Le CPJ45 avec un pourcentage en clinker de 65%, le reste est constitué des ajouts (calcaire, cendres volantes). La résistance à la compression à 28 jours doit être supérieure à 32,5 MPa. Le CPJ45 développe des performances qui lui permettent d'être utilise pour les bétons armes courants et les bétons destines aux travaux en grandes masses.

- Le CPJ55 qui est un ciment composé principalement du 80% clinker et le reste est constitué d'ajouts (calcaires, cendres volantes et gypse). La résistance à 28 jours doit être supérieure à 42,5MPa. Le CPJ55 développe des performances qui lui confèrent une bonne aptitude pour la confection des bétons armes destinés aux ouvrages, bâtiments et travaux publics.

- Le CPA 65 qui doit contenir un pourcentage minimum de clinker de 90% et dont les hautes performances mécaniques particulièrement les résistances à la compression développées à 24 heures, lui permettent d'être utilisé pour les bétons très sollicites ou nécessitant un décoffrage rapide.

- Le Super blanc CPA 65 est un ciment adapté pour tous les usages de finition esthétique, qui doit contenir suivant la norme marocaine NM 10.1.004 est composé de calcaire (17,6%) et de clinker gypsé (82,4%). Ses performances et sa blancheur en font un ciment idéal pour les bétons polis destinés aux revêtements de sol.

- Le PREFA est un nouveau ciment gris parfaitement adapté et 100% dédié à la fabrication des petits éléments de préfabrication, qui doit contenir Suivant la norme NM 10.004, le ciment PREFA est composé de 65% de clinker et un maximum de 35% d'ajouts secondaires (hors gypse).
- Le CPJ 55 Prise Mer à base de cendres volantes répond aux deux normes NM 10.1.004 (liants hydrauliques) et NM 10.1.157 (ciments pour travaux à la mer). Le CPJ 55 Prise Mer contient au minimum 75 % de clinker prise mer, le reste est constitué d'ajouts (calcaires, cendres volantes). Ces ciments sont destinés à la confection des bétons nécessitant des performances qui leur permettent de mieux résister aux éléments chimiques présents dans les milieux agressifs tels que les eaux marines, les eaux séléniteuses, eaux saumâtres, etc.

1.3. Procédés général de fabrication du ciment

1.3.1. Organigramme du Procédés

Avant d'obtenir le produit fini qui est le ciment, les matières premières subissent diverses transformations physiques et chimiques et ce en plusieurs étapes.

L'organigramme suivant résume ces différentes étapes :

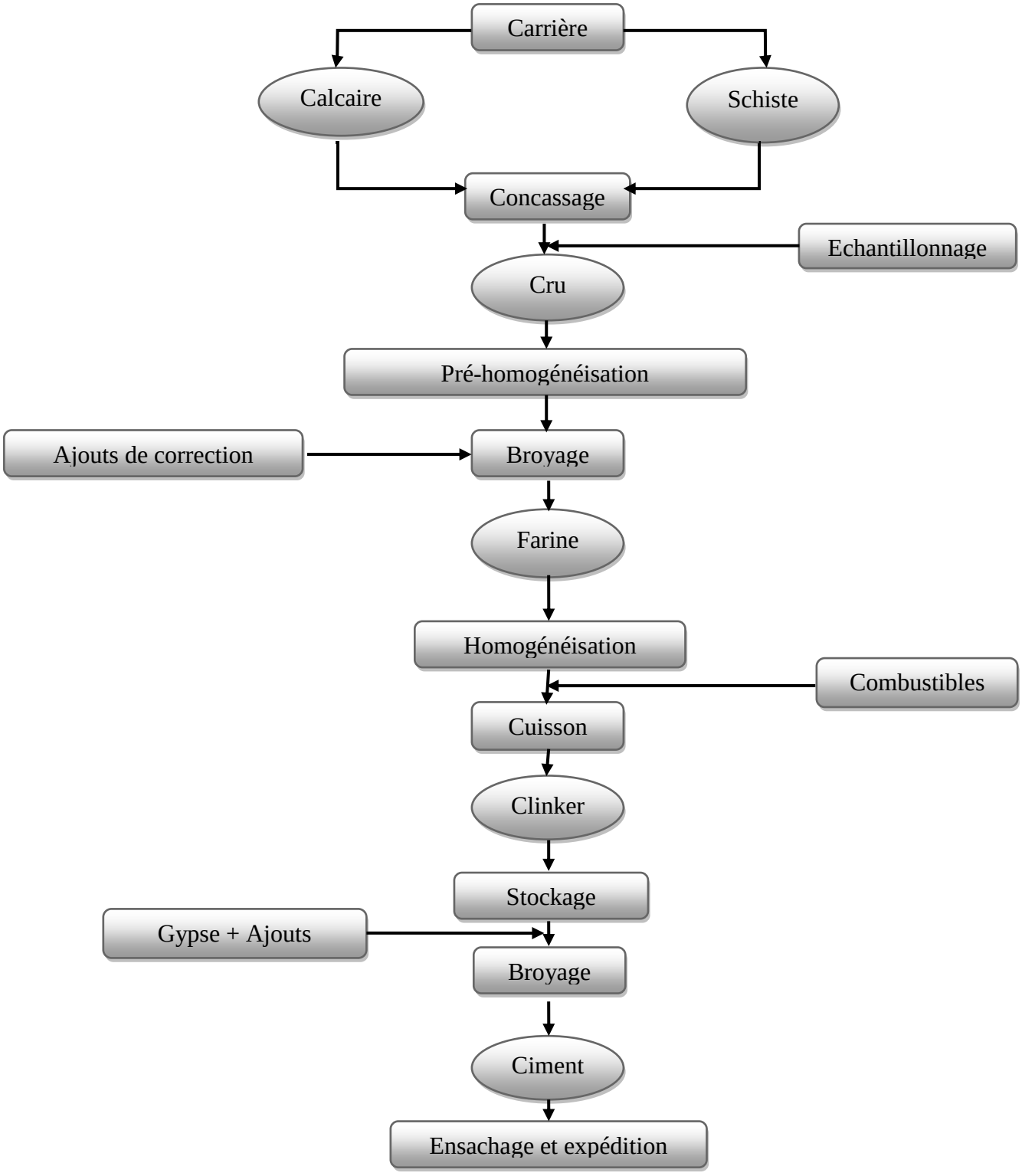


Figure 2 : Organigramme du Procédés général de l'usine Bouskoura

1.3.2. Etapes de fabrication du ciment

1) Carrière

LAFARGE ciments dispose de carrières fournissant deux matières premières :

- Le calcaire riche en $CaCO_3$ et le schiste qui donne SiO_2 et Al_2O_3.

L'extraction de ces roches se fait dans ces carrières par abatage à l'explosif qui consiste à fragmenter le massif exploité.

Les matières premières ainsi extraites en carrière sont transportées jusqu'à l'usine pour y subir leur première transformation qui est le concassage.

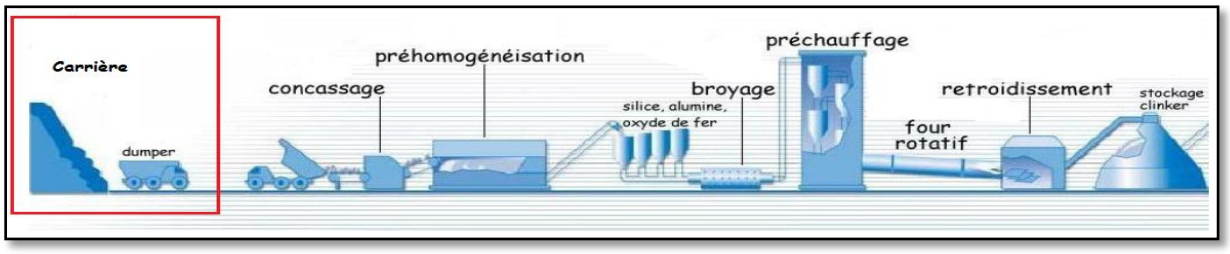


Figure 3 : L'étape d'extraction

2) Concassage

L'opération de concassage a pour but de réduire la granulométrie des blocs de pierre en fragments de faibles dimensions. Elle assure également un certain mélange des matières premières arrivant et contenant de fortes proportions des éléments suivants : $CaCO_3$,,Fe_2O_3, SiO_2, Al_2O_3et des traces d'autres éléments

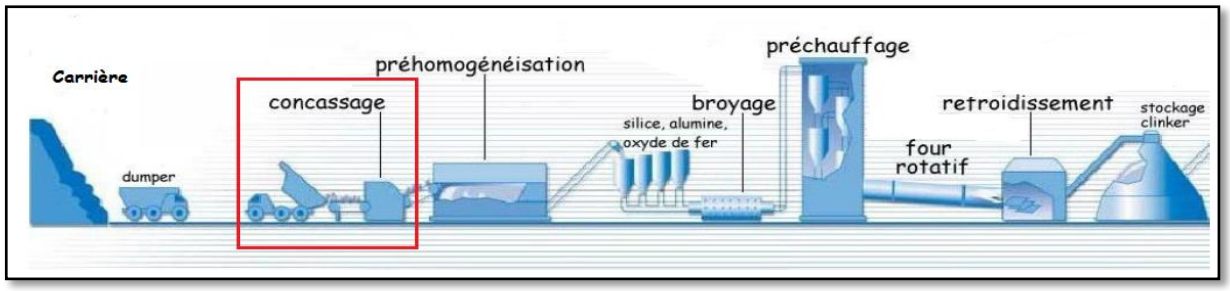


Figure 4 : L'étape de concassage.

3) Pré-homogénéisation

Après le concassage, la matière crue présente toujours des fluctuations importantes dans sa composition, c'est pourquoi elle est introduite dans une tour d'échantillonnage qui a pour but de déterminer et de réaliser un pré dosage des quatre constituants de base du cru : chaux, silice, alumine et fer, qui assurera la composition correcte et donc la qualité du produit fini. Puis stockée dans l'installation de pré homogénéisation

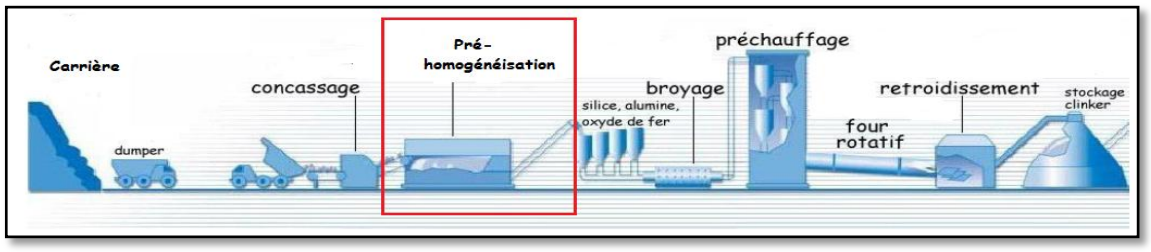


Figure 5 : L'étape de pré homogénéisation

4) Broyage cru

Les matières pré homogénéisées doivent être finement broyées pour être chimiquement plus réactives au cours de leur cuisson dans le four.

La fonction du séchage est nécessaire car le broyage ne peut s'effectuer que dans la mesure où la matière ne s'agglomère pas sous l'effet de l'humidité.

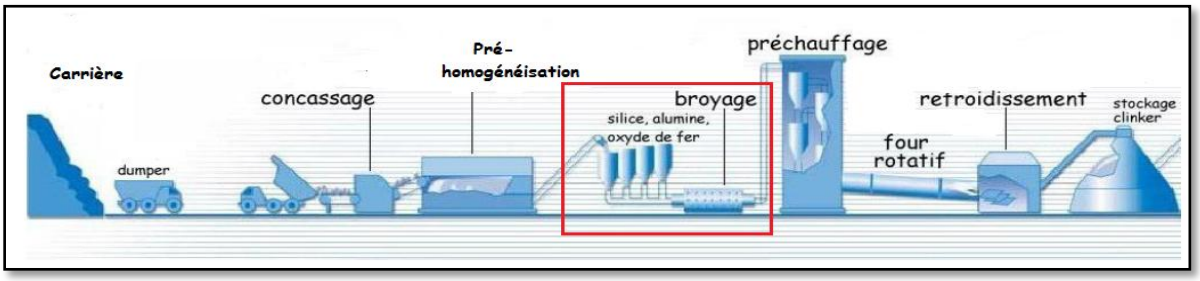


Figure 6 : L'étape de broyage cru.

5) Homogénéisation

A la suite du broyage et après séparation, les matières premières sont transformées en une poudre de grande finesse appelée dans le jargon cimentier « farine ».Cette dernière doit présenter une composition chimique aussi constante que possible. Ces matières premières sont acheminées vers des silos dans lesquelles elles sont homogénéisées par brassage à l'air grâce à des ventilateurs.

6) Ligne de cuisson

Le but de l'atelier de cuisson est de préparer du clinker. Pour cela il faut préparer le cru et amorcer les réactions en créant de la chaleur et en transportant les calories. Pour effectuer ces opérations on aura recours à un certain nombre d'appareils :

- Tour de préchauffage :

La tour de préchauffage est un étage à cyclones qui permet le transfert de chaleur entre le gaz chaud à la sortie du four et la matière crue. Le cyclone assure deux fonctions principales : l'échange thermique gaz/ matière et la séparation gaz/mélange après l'échange.

Pour améliorer l'efficacité du four, On ajoute un précalcinateur pour augmenter la capacité du four et assurer 93% de la décarbonatation.

- Four :

Le four est la pièce maîtresse de la cimenterie, elle a pour rôle de transformer la matière préparée dans la tour en clinker en le portant à une température allant de 1000 à 1450 °C.

- Clinkérisation

La température nécessaire à la clinkirésation est de l'ordre de 1450 °C.

A partir de 650 °C environ. La première réaction de transformation de clinkérisation commence à se produire. Le carbonate de calcium issu calcaire subit une réaction de décarbonatation selon la réaction suivante :

$$CaCO_3 \rightarrow \quad CaO + CO_2$$

On obtient alors de la chaux vive CaO accompagnée d'un important dégagement gazeux de CO_2.

Au-dessus de 800 °C il y'a la formation du silicate monocalcique CS, de l'aluminate plus riche en chauxCSA_3, du silicate bicalciqueC_2S, de l'aluminate tricalcique et différent aluminate tricalcique C_3Aet C_4AF, du silicate tricalcique par réaction de C_2S ce qui entraîne une disparition progressive de chaux libre Caol et du C_3S

- Refroidisseur

Le clinker sortant du four est trempé par un refroidisseur à grilles qui abaisse sa température de 1450 °C à 100 °C par soufflage d'air grâce à 11 ventilateurs.

La procédure du refroidissement après cuisson joue un rôle très important sur la forme et la réactivité des constituants du clinker. Il évite la décomposition du C_3S en C_2S, la

précipitation de MgO sous forme de gros cristaux et le changement de la forme cristalline de C_2S qui provoque la modification des propriétés hydrauliques du ciment.

Le clinker sortant du refroidisseur est transporté par un élévateur vers un silo de stockage de capacité de 40 000 tonnes.

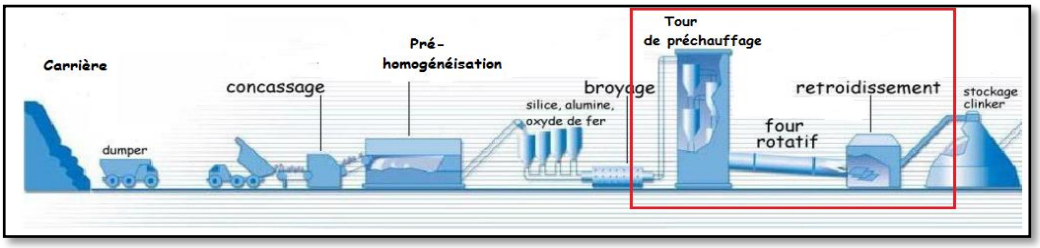


Figure 7 : L'étape de cuisson

7) Broyage cuit

Après refroidissement, les granulats de clinker sont ensuite broyés avec addition des ajouts pour régulariser la prise du ciment et aussi pour conférer au ciment des propriétés spécifiques correspondant aux différents qualités des ciments cités auparavant (CPJ 35, CPJ 45, Préfa 45, CPJ 55, CPJ 55 Prise Mer, CPA 65..).

Figure 8 : L'étape de broyage cuit

8) Ensachage et expédition

Le ciment est expédié par des pompes à vis à l'aide des compresseurs d'air vers des silos de stockage du produit fini selon la qualité. L'usine dispose de 10 silos et un 11ème pour la purge pour le BK4. La livraison du ciment s'effectue soit en vrac soit en sac.

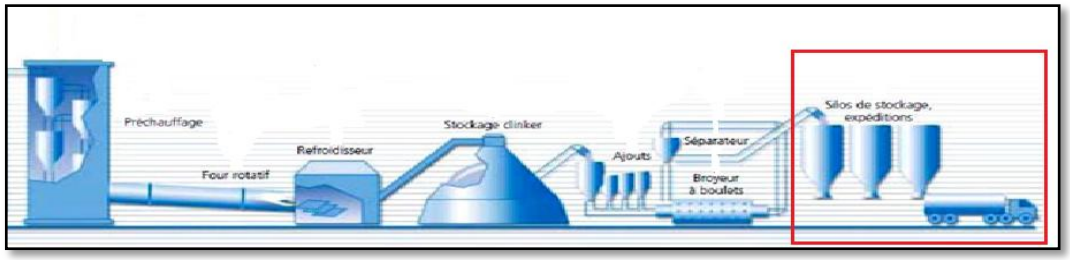


Figure 9 : L'étape d'ensachage

1.4. Présentation de la problématique

1.4.1. Position du problème

Parmi les missions du service Procédés dans Lafarge c'est de maîtriser et réduire les arrêts de production et précisément du broyeur BK4 lors de la production des ciments spéciaux, que ça soit des arrêts liés aux pannes (mécaniques ou électriques) ou à la contrainte de produit fini vis-à-vis la qualité désirée à produire. Cette dernière est due à plusieurs facteurs tels que le changement d'une qualité inférieure vers une qualité supérieure (purge) et la non-conformité du produit fini.

Pour faire face à ce problème, le service Procédés nous a proposé comme sujet l'optimisation du temps d'arrêt de production lors du changement d'une qualité inférieure vers une qualité supérieure.

L'arrêt de broyeur BK4 lors de la purge comporte 3 durées à savoir :

- Temps de réglage : changement des paramètres de marche,
- Temps de purge : démarrage broyeur vers silo purge,
- Temps d'analyse : analyse d'échantillon et prise d'une décision sur la conformité.

1.4.2. Objectif

En se basant sur les données relatives à l'année 2015 concernant la consommation énergétique ainsi que le rapport Ciment/Clinker, nous avons démontré que la purge représente une perte pour la société.

Pendant une année de production il 'y avait 256h de purge qui correspond à une perte de 440 652,198 en KWh/t et de 2 566 873DHs en C/K qui est en total une perte de3 007 525,2DHs, Les calculs seront détaillés par la suite dans le quatrième chapitre.

De ce fait notre objectif est de chercher des solutions afin d'optimiser le temps de purge qui comporte le temps de réglage, le temps du lancement de la purge et le temps d'analyse pour minimiser les pertes en KWh/t et en C/k.

Chapitre2 : Mise en situation et proposition des solutions pour minimiser le temps avant et après la purge

2.1. Introduction

Afin de localiser la thématique, ce chapitre comprendra une brève description de l'atelier BK4, une définition des purges, ainsi que les étapes effectuées lors du lancement de purge que nous avons regroupés en trois grandes étapes, temps de réglage, temps de purge et temps d'analyse.

Nous allons tout d'abord traiter le temps de réglage de deux volet : hors incident en utilisant la méthode SMED, cas d'incidents en proposant des solutions. Par la suite donner des recommandations afin de réduire le temps d'analyse.

NB : Nous allons traiter le temps de purge en détail dans le chapitre qui suit.

2.2. Définition de la thématique

2.2.1. Description de l'atelier BK4

2.2.1.1. Broyeur à boulets

Les broyeurs à boulets sont très largement utilisés dans toutes les branches de l'industrie, pour le broyage fin de différents produits. Le broyage est provoqué par des boulets qui se trouvent avec le produit dans un tambour rotatif.

Il est produit par le choc qui résulte de la chute des corps de broyage sur le produit broyé et par le frottement entre le produit et les corps de broyage.

Le tube broyeur à boulets est généralement divisé en deux compartiments, recouverts de plaques de blindage en acier. Dans le premier compartiment, les gros boulets travaillent principalement par compression et choc pour concasser le produit grossier et dans le deuxième, les petits boulets travaillent d'avantage par attrition et cisaillement pour produire des fines.

La taille des corps broyant se situe entre 90 et 20 mm de diamètre.

- Fonction d'alimentation

L'alimentation du broyeur se constitue d'un mélange de 3 éléments qui sont le clinker, le calcaire, le gypse et des ajouts selon la qualité, ou bien des refus recyclés du séparateur.

Les débits voulus en pourcentage de chaque constituant, sont délivrés par des doseurs en agissant sur leurs vitesses. Ces doseurs à leur tour sont alimentés à l'aide des trémies et des ponts.

- Fonction de broyage

Le broyage est une opération de fragmentation réalisée en deux compartiments qui se diffèrent par le type de blindage et la taille des boulets contenues.

Le blindage dans la 1ère chambre est de type releveur, la forme de ces blindages permet d'obtenir la chute en cataracte des boulets qui est nécessaire au broyage du produit grossier et dans la 2ème chambre de type classant il assure le classement des boulets de l'amont vers l'aval dans un ordre décroissant.

Le broyeur dispose d'un système de ventilation qui permet à la fois de Refroidir le ciment, d'entraîner les fines, d'éviter le coating des boulets et des blindages.

La cloison double intermédiaire sert à séparer les charges (C1) et (C2), assurer le passage de la matière broyée du (C1) vers le (C2) par l'intermédiaire des écopes et favoriser la ventilation du broyeur.

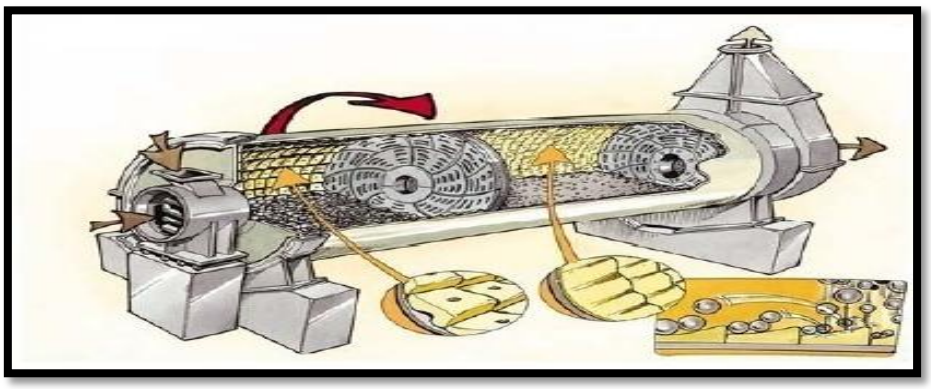


Figure 10 : Broyeur à boulets

2.2.1.2. Filtre

Les gaz et la matière entrent dans le filtre qui contient des manches poreuses dans lesquelles les gaz peuvent passer et la matière ne passe pas, donc la matière s'accumule sur les manches, ce qui va diminuer la pression à l'entrée du filtre et l'augmenter à la sortie.

Donc il y a un système automatique qui donne un signe aux rompes, pour souffler l'air comprimé. Par secouage mécanique, les solides collectés tombent dans une chambre de récupération.

2.2.1.3. Séparateur statique

Le séparateur statique (annexe 2) permet, grâce au flux d'air provenant par le bas de celui-ci, de séparer la matière sortant du broyeur. Le flux d'air chargé de poussières est soulève entre la sortie du flux gazeux et le cône interne jusqu'à la plaque de couverture du cyclone.

Le flux est alors amené dans le cône interne par les ailettes de guidage de l'anneau qui le met en rotation.

La matière brute dont la finesse ne correspond pas aux spécifications, est extraite grâce à la force centrifuge qui éjecte la matière sur les parois lisses, permettant ainsi à la matière de tomber dans le cône interne puis de quitter le séparateur par la conduite de décharge.

Les fines sont amenées par le flux de gaz et sont extraites par une conduite d'extraction.

2.2.1.4. Séparateur dynamique

La matière entre dans le séparateur au sommet à balayage d'air la séparation est forcée par la force centrifuge et les forces de résistance à l'air, la finesse est réglée par la cage et le flux d'air. Le séparateur dynamique (annexe2) permet une bonne récupération de fines, une bonne efficacité sur les hautes valeurs de Blaine, une finesse réglable et un refroidissement de la matière.

2.2.2. Définition des purges

Les purges correspondent aux matières qui ont été produites durant un régime transitoire entre les produits, ainsi la matière obtenue lors de ces transitions ne correspond plus aux critères d'acceptation pour la production. Les purges seront donc rajoutées au produit fini d'une qualité inférieure et en quantité limitées de manière à ne pas en modifier ces caractéristiques.

Le temps nécessaire de purge correspond à la stabilisation du régime de broyeur soit théoriquement de 45min à 1heure au maximum. Les purges doivent se faire dans le silo purge (N=11). Il est strictement interdit de purger le broyeur dans un autre silo sauf après dérogation avec les responsables BKs et Qualité.

Les conditions de purge sont résumées dans le tableau N°2

Tableau 2: Conditions de purge [2]

De qualité 1 vers qualité 2		Qualité 2			
		CPJ 45	CPJ 55	CPJ 55 PM	CPA 65
Qualité 1	CPJ 45		Avec purge	Avec purge	Avec purge
	CPJ 55	Sans purge		Avec purge	Avec purge
	CPJ 55 PM	Sans purge	Sans purge		Avec purge
	CPA 65	Sans purge	Sans purge	Avec purge	

2.3. Optimisation du temps avant et après la purge

2.3.1. Définition du temps du basculement d'une qualité inférieure vers une qualité supérieure

Pour passer d'une qualité inférieure vers une qualité supérieure il faut purger. La purge est une phase transitoire qui comporte différentes étapes : avant, pendant et après la purge.

Ces étapes se présentent comme suit:

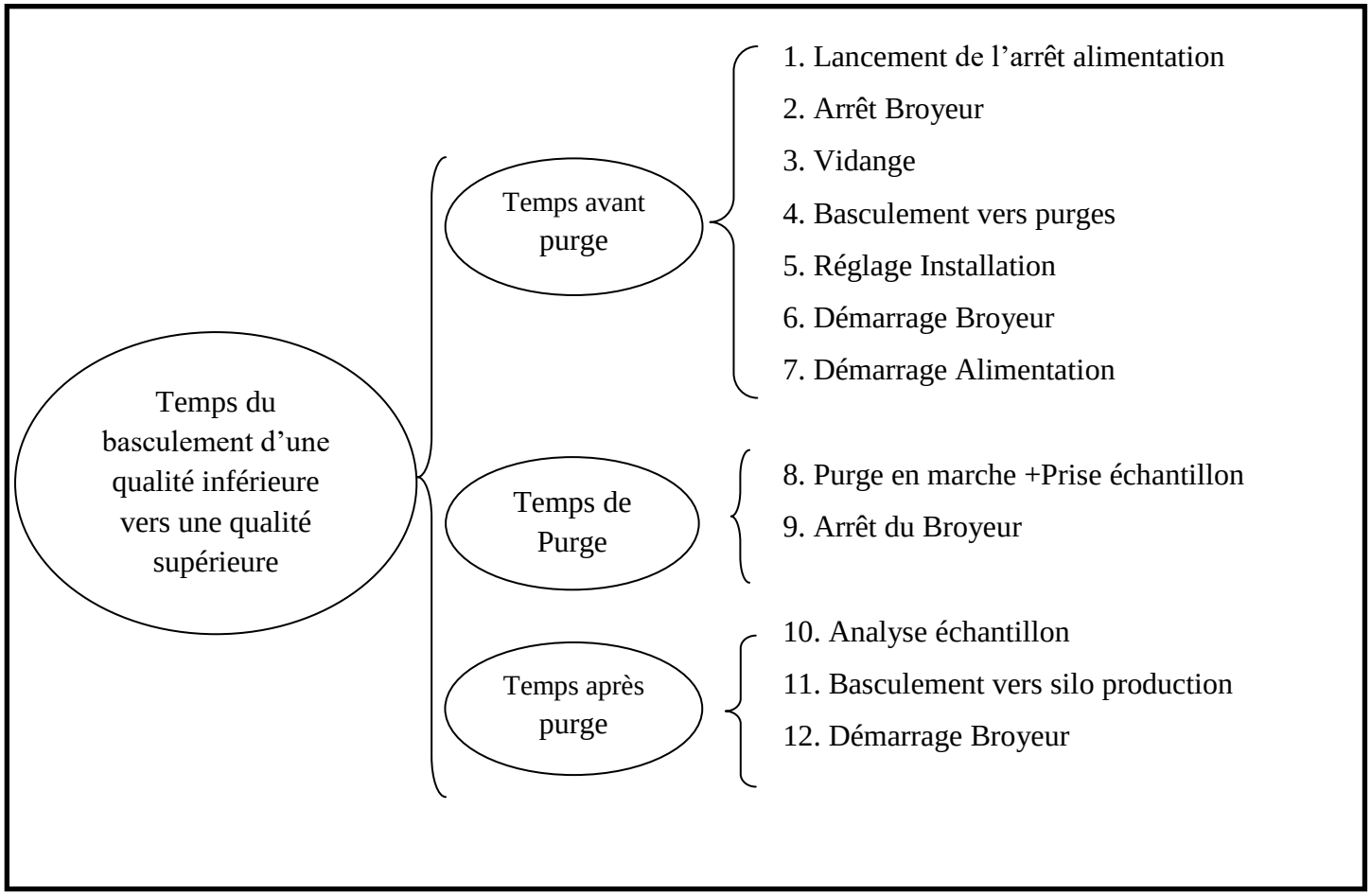


Figure 11: Temps du basculement d'une qualité inférieure vers une qualité

2.3.2. Temps avant le lancement de la purge (temps de réglage)

2.3.2.1. Définition et historique

Le temps de réglage est défini comme le temps de préparation de la purge, où le broyeur est en arrêt. Il dure 12 min dans le cas parfait et peut augmenter à 10 fois plus en présence de problèmes.

La courbe suivante représente la variation du temps « temps de réglage » sur une durée d'un an :

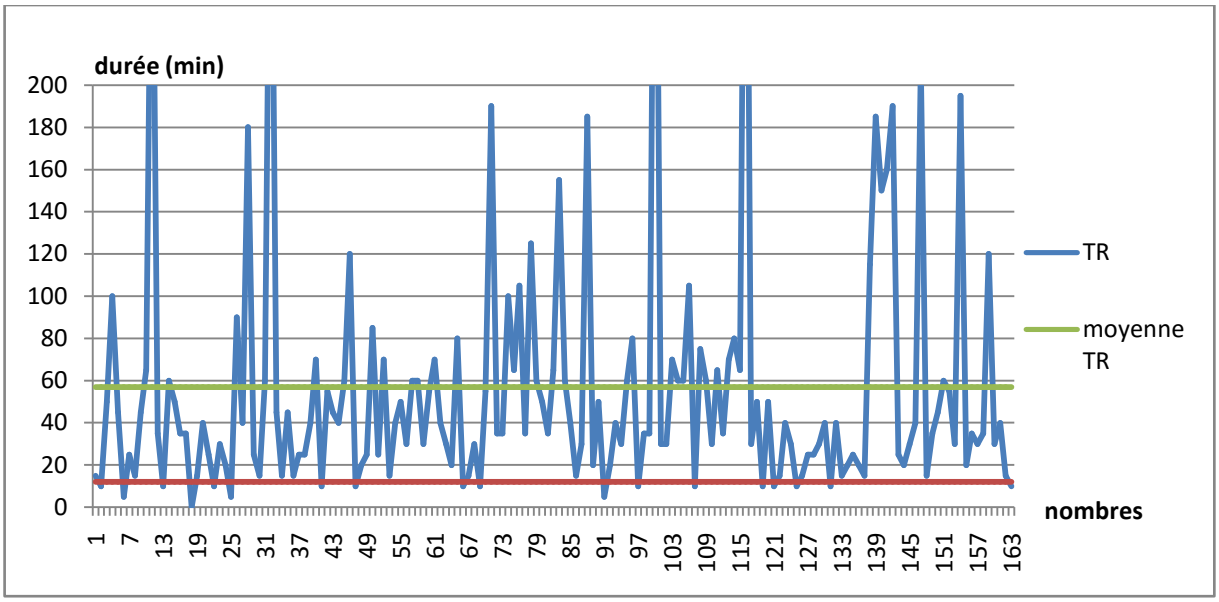


Figure 12 : Historique du temps de réglage par rapport à 12 min durant l'année 2015.

2.3.2.2. Interprétation de l'historique

- Nous remarquons que le temps de réglage connait de grandes fluctuations et dépasse largement le temps optimum qui est de 12 min, pouvant aller jusqu'à 200 minutes ou plus, ce qui confirme une présence majeure de problèmes.
- Le temps de réglage moyen correspond à TR= 60min.

2.3.2.3. Application de la méthode SMED

- **Définition**

SMED = Single **M**inute **E**xchange of **D**ie

Soit : Echange d'outil en quelques minutes.

L'acronyme SMED signifie Single Minute Exchange of Die, expression qui même pour un anglophone reste relativement hermétique «Die» est le terme technique anglais désignant une matrice, une empreinte ou un moule. «Exchange» signifie échanger. La méthode SMED est née dans un atelier mécanique, lors de travaux sur des presses dont la lenteur et les péripéties des changements d'outils ont inspiré Shigeo. Pour réduire significativement le temps d'immobilisation des presses – initialement plusieurs heures –, il était nécessaire de réviser drastiquement la manière de procéder.

Afin de ne pas limiter la créativité du groupe de travail et de créer une réelle rupture dans les pratiques, il fallait imposer un objectif de temps très ambitieux. Ainsi, l'idée qu'a voulu promouvoir Shigeo Shingo était qu'un changement doit pouvoir se réaliser en moins de dix minutes, autrement dit se compter avec un seul nombre, d'où l'appellation quelque peu ambiguë de «Single Minute».

La méthode SMED aide à atteindre un gain de temps lors du changement de série en production et ce :

- En séparant les opérations internes (VA) et externes (NVA) ; faisant ressortir ces dernières en les réalisant en temps masqués.
- En réduisant le temps de l'ensemble des opérations de changements d'outils.

- **Application de la méthode**

La méthode SMED repose sur quatre points présentés dans la figure suivante

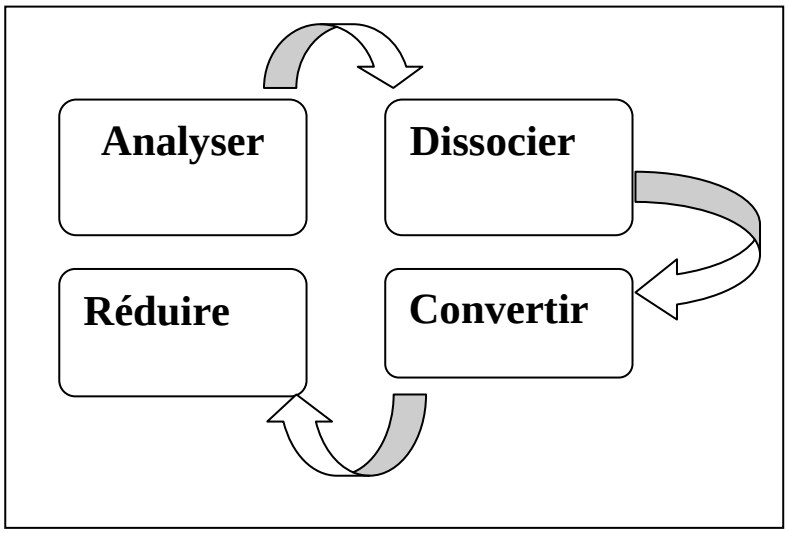


Figure 13 : Organigramme de la méthode SMED

- **Etapes du SMED**

Les étapes de la méthode SMED sont représentées dans le tableau suivant :

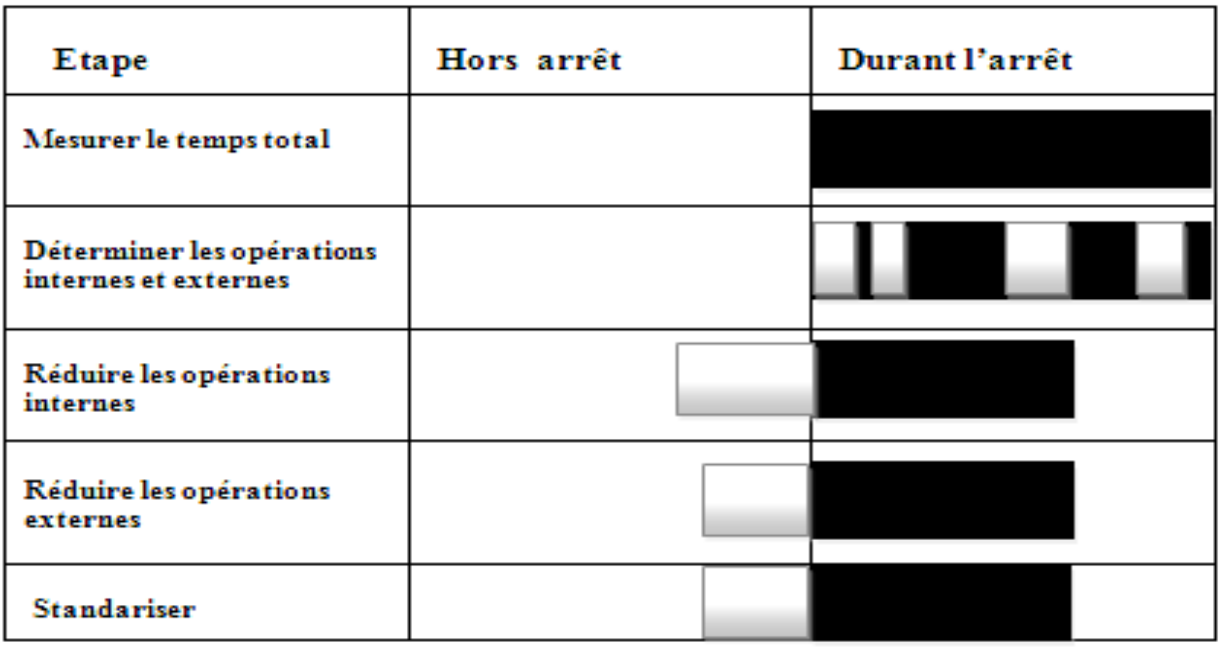


Figure 14 : Etapes de la méthode SMED

1-**Mesure du temps total**

Les opérations globales sont :

Lancement de l'arrêt alimentation: l'opérateur coupe l'alimentation du broyeur, cela se fait d'une manière instantanée Il suffit de mettre 0 sur toutes les compositions

$$T_{AA}=10s$$

Arrêt Broyeur : l'opérateur arrête le broyeur. Cette opération se fait aussi de manière instantanée mais il faut attendre 1min pour que le broyeur s'arrête.

$$T_{AB}=1min$$

Vidange : l'opérateur vidange le circuit de séparation de l'atelier broyage (Filtres, séparateurs, conduites...) vers le silo de production et cela se réalise en 9min.

$$T_v=9min$$

Basculement vers purge: l'opérateur sélectionne le silo purge, ouvre les vannes qui permettent le passage du produit vers le silo, ferme les autres vannes pour ne pas avoir des fuites. Le problème c'est que les vannes se bloquent souvent lorsque l'opérateur veut basculer vers les silos de stockage et leur maintenance nécessite beaucoup de temps.

Vu que la matière bouche le fond de la chambre, les instrumentistes doivent à chaque fois démontrer le fond de vanne, nettoyer les corps de vanne « Chambres » et vérifier la pression d'air d'alimentation des corps de vanne ce qui attarde le temps de basculement.

D'après l'annexe 1 il s'est avéré que le problème lié aux vannes prend 70% des causes du retard du temps de réglage et il faut 40 min en moyenne pour y remédier

$$T_{BP}=40min$$

Réglage Installation: l'opérateur sélectionne la qualité à produire, règle la composition chimique de la qualité à produire et enfin règle tous les débits et vitesses de l'installation. Ces opérations se font à :

$$T_{RI}= 1min40s$$

Démarrage Alimentation : l'opérateur lance l'alimentation du broyeur de manière instantanée sauf dans le cas où la trémie Clinker se trouve vide, l'opérateur doit forcément attendre un bout de temps pour son remplissage

D'après l'annexe 1 nous pouvons déduire que le remplissage du Clinker prend 25 % des causes du retards du temps de réglage et peut arriver jusqu'à 100 min .En moyenne le temps de remplissage du clinker est de :

$$T_{DA}= 80min$$

Puisque le problème du retard de remplissage du clinker arrive très rarement, nous allons le négliger dans l'application de la méthode SMED mais nous allons tout de même le traiter dans la partie réduction des opérations.

Démarrage Broyeur : l'opérateur démarre instantanément le broyeur.

$$TDB= 10s$$

Donc le temps moyen total est de :

$$T_t= T_{AA}+T_{AB}+T_v+T_{BP}+T_{RI}+ T_{DB}$$

$$T_t=10s+1min+9min+40+1min40s+10s$$

$$T_t= 52 min$$

2- Détermination des opérations internes et externes

Les opérations internes et externes de la méthode SMED sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 2: Les opérations internes et externes du temps de réglage (SMED)

Opérations internes	Opérations externes
▪ Arrêt broyeur (AB) ▪ Basculement vers purge (BP) ▪ Réglage installation (RI)	▪ Lancement de l'arrêt alimentation (AA) ▪ Vidange du circuit (VC) ▪ Démarrage Broyeur(DB) ▪ Démarrage Alimentation (DA)

Ces opérations vont s'effectuer de la manière suivante :

Broyeur en marche (qualité précédente) :l'opérateur doit lancer l'arrêt de l'alimentation puis vidanger le circuit.

Broyeur en arrêt : l'opérateur doit arrêter le broyeur, basculer vers le silo purge (silo 11) et entrer les réglages de l'installation.

Broyeur en marche (nouvelle qualité) : l'opérateur démarre le broyeur puis l'alimentation.

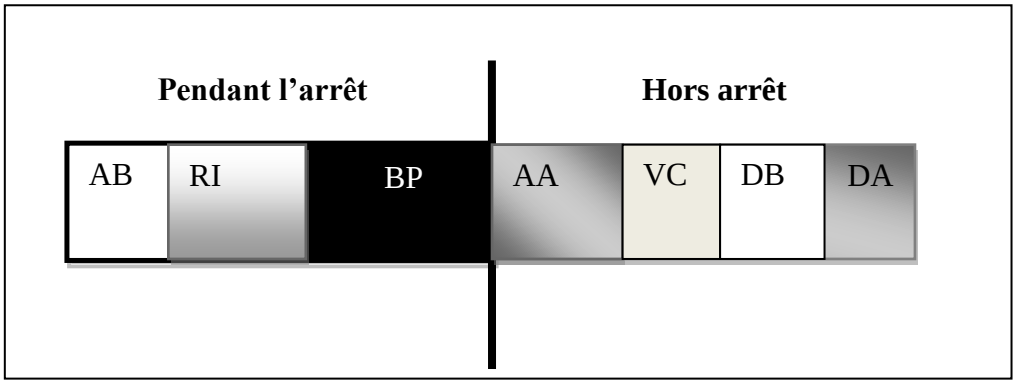


Figure 15 : Opérations internes et externes du temps de réglage

3- Réduire les opérations internes

- **Arrêt broyeur (AB), Réglage installation (RI)**

L'arrêt broyeur (AB) et le réglage installation (RI) ne prennent que $T_{AB} + T_{RI}$= 2min40s du temps total et peuvent être réduits selon la rapidité de l'opérateur.

- **Basculement vers purge (BP)**

Comme nous avons vu dans la première étape du SMED le Basculement vers le silo purge (BP) est lié aux problèmes de vannes .Donc pour réduire le temps de basculement (BP) nous devons pallier le problème des vannes.

Les vannes utilisées dans l'atelier Broyage BK4 sont de types : Marceau Amalric, généralement à opercule coulissant revêtu, commandée par vérin pneumatique.

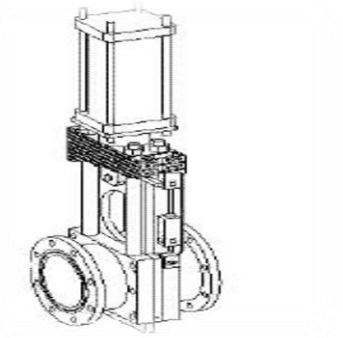


Figure 16 : Vanne Marceau Amalric

Leurs utilisation est connue dans les circuits de transport de pulvérulents (ciment, charbon, cendres volantes) et se caractérise par leurs Traitement anticorrosion et anti-adhérent.

Principe de fonctionement

Cette vanne est constituée d'une opercule (tiroir, guillotine) coulissant dans un corps étroit. L'opercule, en position de fermeture ou d'ouverture ressort du corps. Elle est coupante grâce à un chanfrein d'extrémité. Le polissage de ses faces rend plus facile sa pénétration dans le produit. En fin de fermeture, la partie inférieure de la pelle est plaquée contre le joint, ce qui assure l'étanchéité de la vanne au passage du produit.

Problèmes et Recommandations

- Présence de l'eau sur le circuit d'air d'alimentation des vannes (air humide) ;
- Colmatage de la matière sur le corps inférieur de la vanne (barrettes d'étancheité) ;
- Le positionnement des fins de courses ;
- Usure des joints d'étancheité ;
- Usure du corps de la vanne

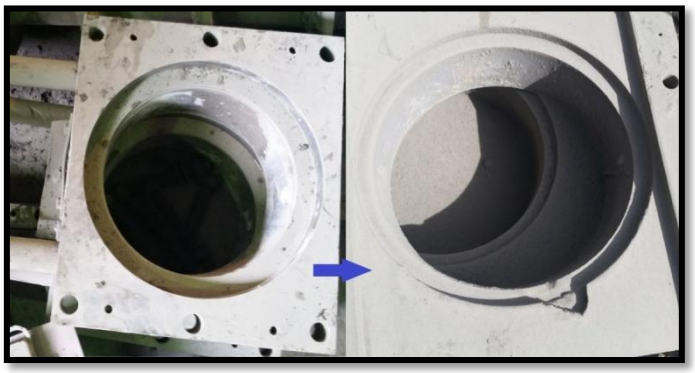


Figure 17 : Corps de vanne attaquée

Figure 18 : Usure des joints d'étanchéités

Le nœud du problème réside dans le coincement de l'opercule au moment de la fermeture ou de l'ouverture due à la présence de l'humidité dans l'air d'alimentation qui en contact avec la matière qui s'aglomére, bouche les barrettes, use les joints d'étancheité et attaque le corps des vannes

Ce problème apparait 2 fois sur 3 lors de la préparation de la purge .

Pour ce, nous recommandons de :

- Revoir la fréquence des visites en marche ;
- Revoir la fréquence d'entretien préventif à l'arret ;
- Revoir le mode opératoire des gammes préventives à l'arret ;
- Revoir le circuit d'air d'alimentation ;
- Améliorer les procédures d'interventions lors de l'apparition du problème ;
- Voir les recommandations des fournisseurs pour l'entretien préventif des vannes ;
- D'autre part nous proposons de faire une mise à niveau des vannes,il faut ramener des pièces de rechange à savoir : l'opercule et les joints d'étancheité .

Tableau 3: Prixdes pièces de rechange d'origine

Désignation	Unité	Quantité	Prix unitaire	Prix total
Joints d'étanchéité	U	2×15=30	12471.35	374140.5
Opercule	U	5	64457.36	322286.8
Montant Total en DH/H.T				696427.3
T.V.A (20%)				139285.46
Montant Total en DH/T.T.C				835712.76

Les pièces de rechanges, plus la vérification de l'air d'alimentation vont nous permettre de pallier à 90% au problème. Et avoir un temps de basculement négligeable.

4- Réduire les opérations externes

Lancement de l'arrêt alimentation (AA), Démarrage Broyeur(DB) : Le lancement de l'arrêt alimentation et le démarrage ne prennent que 20s au total et leurs réductions dépendent de la rapidité de l'opérateur.

Vidange du circuit (VC) : Il est certain que la vidange prend 9min du temps total du réglage mais nous ne pouvons pas faire moins, puisqu'il est déduit après plusieurs expériences. Démarrage Alimentation (DA) : L'alimentation du broyeur est instantané sauf dans le cas où la trémie Clinker est vide.

5- Standardiser

En s'attaquant au problème du coincement des vannes, et en gérant le remplissage du Clinker Nous allons avoir :

$$T_t = T_{AA}+T_{AB}+T_v+T_{BP}+T_{RI}+T_{DB}$$

$$T_t = 10s+1min+9min+0+1min40s+10s$$

$$T_t = 12\ min$$

6- Gestion de remplissage du clinker

Parmi les problèmes responsables du retard du temps du lancement de purge (temps de réglage), nous trouvons le retard de remplissage de la trémie clinker.

D'après l'historique des causes (annexe 1), le retard de remplissage trémie clinker de BK4 dure en moyenne 100 minutes, ce temps est très important et non négligeable pour cela nous avons fait un diagnostic sur la gestion de remplissage du clinker afin de proposer des solutions pour réduire ce problème.

Ce problème est causé soit par les pannes, soit par l'indisponibilité des équipements. Ces deux causes sont étudiées ci-dessous.

Les pannes peuvent être dues à de multiples raisons de nature mécanique telles que :

- Problèmes mécaniques du tapis TH54 (déchirure, coincement, frottement) ;
- HALL du clinker vide (lors d'un arrêt de four) ;
- Problème mécanique de l'élévateur ou bouchage ;
- Problème du transporteur métalliqueSPB½.

L'indisponibilité des équipements

Le clinker produit diffère selon le degré de cuisson et de refroidissement et donc du pourcentage de la chaux libre, les différents types du clinker sont classés par catégorie de qualité. Quant au stockage, ces mêmes produits se voient distribués systématiquement dans trois stocks différents.

- Stock 1 : Le Hall 1, dédié à la fabrication de deux types de produits : CPJ35 et CPJ45 ;
- Stock2 : Le Hall 2, est dédié à la fabrication de deux autres types de produits : CPJ55 et CPA65 ;
- Stock 3 : La Trémie secours, ce troisième et dernier stock contient un clinker dédié spécialement à la fabrication du Prise-Mer et les incuits.

Comme il l'est très clairement illustré sur le schéma ci-dessous, il en ressort après son analyse, la présence de deux transporteurs métalliques SPB 1/2 qui alimentent les trémies clinkers des 4 broyeurs représentés par (BK1, BK2, BK3, BK4), le canal en provenance du Hall 1 est lié directement aux deux élévateurs qui alimentent à leur tour ces mêmes transporteurs métalliques SPB 1/2.

Les canaux en prévenance du Hall 2 et de la trémie secours passent par la même bande TH54 et ils sont liés aux deux élévateurs qui alimentent à leur tour SPB 1/2.

Ce partage de bande est la cause d'un problème majeur, ce problème sera démontré par une mise en situation faisant office d'exemple.

Mise en situation

Prenons l'exemple de la fabrication de la qualité CPJ55 stockée dans le broyeur BK2, il faudra donc alimenter la trémie clinker correspondante à BK2…

Si dans l'immédiat et dans un besoin urgent, nous sommes contraints lancer la purge du prise-mer dans le broyeur BK4 au même moment, nous sommes dans l'obligation d'attendre le remplissage de la trémie BK2, dans l'attente de la disponibilité de la bande occupée.

Ce dysfonctionnement est malheureusement la cause du retard du lancement de la purge et joue en défaveur de l'ambition primaire de la société qu'est l'optimisation les temps des arrêts.

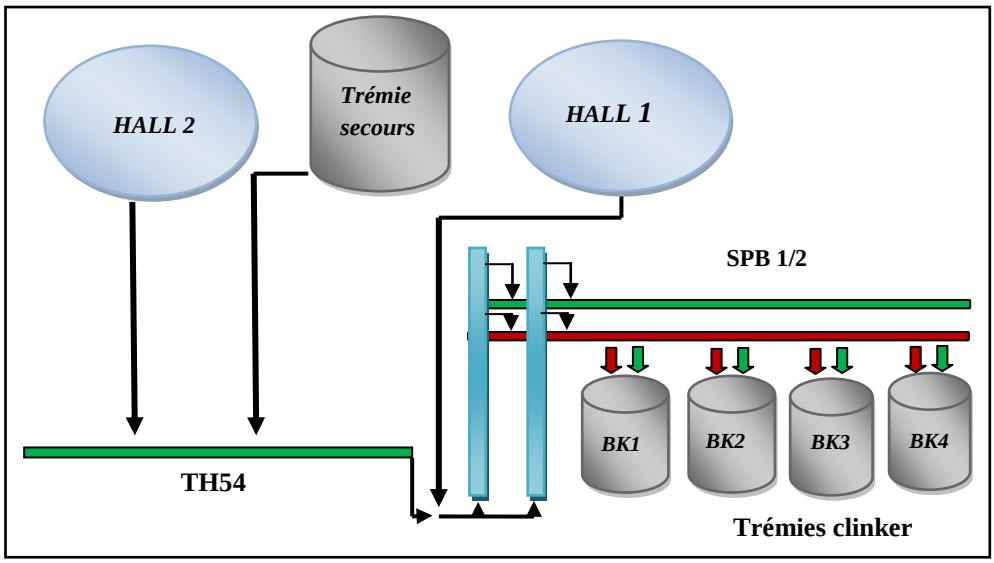


Figure 19 : Schéma de gestion de d'alimentation du clinker

Recommandations

1) Dans un premier temps, nous suggérons un renforcement de l'équipe de maintenance, pour assurer le bon fonctionnement du processus de travail.
   - La rénovation dans un cas extrême des matériels utilisés ou seulement l'amélioration de l'entretien des machines, ce point concerne encore une fois les ressources humaines mais aussi des ressources brutes de la société.
2) Introduire une deuxième bande dans le processus de fabrication, pour faire en sorte de séparer les canaux du Hall 2 et de la trémie secours, cette réflexion a été obtenue grâce à l'analyse du schéma présenté auparavant, ainsi qu'au cours de l'observation directe du processus.
3) Pour bien maîtriser la gestion de remplissage clinker, nous recommandons de réaliser une étude détaillée sur la gestion du stock du clinker.

2.3.3. Temps d'analyse

Le temps d'analyse est la durée entre l'arrêt du broyeur ayant fonctionné durant la purge et le lancement des résultats.

Ce temps est considéré comme une étape essentielle puisqu'il permet de vérifier la conformité du ciment. Le broyeur sera remis en marche au moment où le laboratoire lancera les résultats obtenus qui nous permettrons de décider si l'on doit redémarrer le broyeur vers le silo purge ou bien vers le silo de stockage.

Au cours de ce temps il existe plusieurs taches à exécuter, ainsi qu'un mode opératoire à respecter : Après l'arrêt du broyeur, un prélèvement sera établi et analysé par le service qualité et laboratoire.

Les tests qui sont réalisés pour la qualité CPA 65 sont :

- La fluorescence X pour la détermination du pourcentage de SO3
- La finesse
- Surface spécifique Blaine
- Le pourcentage de la chaux libre
- Pour les autres qualités on ajoute un dernier test pour déterminer le pourcentage des insolubles.

D'après l'historique de service qualité et laboratoire la durée de cette étape est estimée à une heure au maximum mais dans la plupart des cas, les analyses prennent plus de temps et dépasse le temps envisagé.

L'optimisation de ce temps ne fait pas partie de notre sujet, mais nous avons fait quelques propositions au service concerné afin d'améliorer la procédure suivie, il faut donc :

- Renouveler les modes opératoires d'analyse,
- Etablir une méthode d'échantillonnage automatique au lieu de la méthode manuelle
- Etudier la possibilité d'installer un Kit d'analyses à côté du broyeur BK4 pour minimiser le temps de transport d'échantillon.

Chapitre 3 : Mise en situation et proposition des solutions pour minimiser le retard des purges

3.1. Introduction

Ce chapitre sera consacré à «l'optimisation du temps de purge » qui fait l'objet de notre étude.

Pour ce faire nous allons commencer par présenter l'historique des purges, déterminer les causes principales des retards en utilisant le diagramme de Pareto, se servir de l'outil des 5pourquoi pour définir les causes racines des causes principales ,puis traiter chaque cause mis à part et trouver les solutions.

3.2. La démarche DMAIC

La démarche que nous avons décidé de suivre afin de traiter la problématique est la méthodologie DMAIC qui propose 5 étapes pour résoudre les problèmes récurrents ou les problèmes dont les causes racines ne sont pas encore identifiées.

Le principe DMAIC consiste, au travers de ces 5 étapes, de réduire petit à petit les causes possibles du problème jusqu'à pouvoir identifier la cause source et donc résoudre le problème.

Define (Définir):Définir les objectifs, il s'agit de savoir décrire le problème, donc de le comprendre.

Measure (Mesurer) : Mesurer l'ampleur du problème grâce à des outils de mesure.

Analyse (Analyser) : C'est le moment de cartographier les processus et d'identifier la ou les véritables causes du problème, les causes les plus probables.

Improve (Innover ou Améliorer) : C'est à cette phase qu'on implémente les solutions au problème pour l'éradiquer.

Control (Contrôler): Vérifier que le travail accompli fonctionne et donc que la ou les solutions mises en place sont efficaces.

3.3. Présentation du projet

3.3.1. Introduction

Les deux phases «Define » et «Measure » sont les deux premières étapes de la démarche DMAIC, nous allons donc nous intéresser dans ce chapitre à identifier clairement et formaliser le problème, à rechercher les causes racines et à valider les causes principales.

3.3.2. Le QQOQCP

Le QQOQCP est une méthode d'analyse formelle, critique et constructive basée sur Le questionnement, aide à rassembler le plus ou moins grand nombre de réponses et permet de présenter l'exposé des faits et de leurs causes de façon structurée en répondant aux questions : Qui fait Quoi ? Où ? Quand ? Comment ? Combien ? Pourquoi ?

Notre cas peut donc être décrit, selon cette méthode, comme suit :

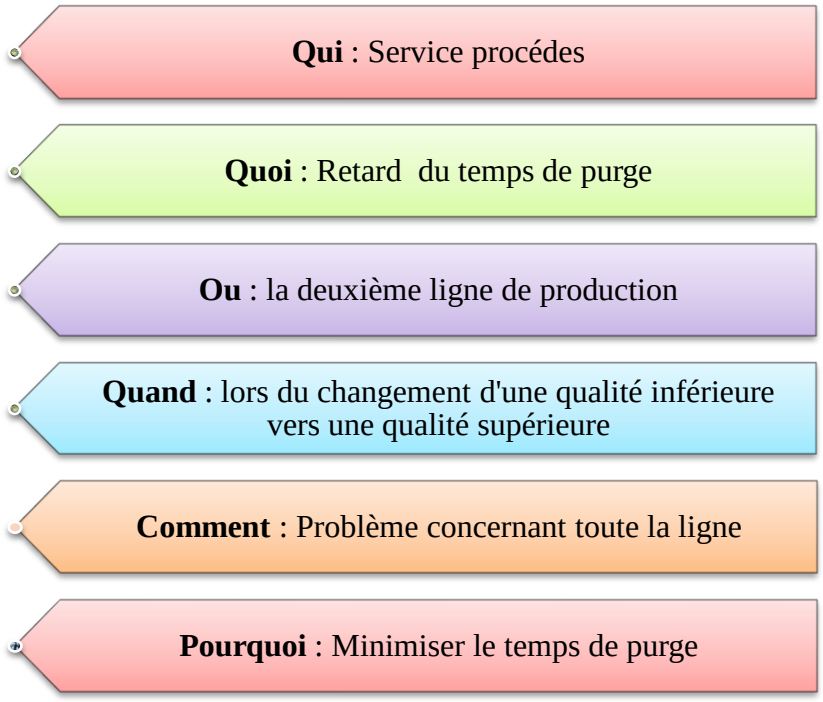


Figure 20 : Diagramme QQOQCP

3.3.3. Diagramme Pareto

3.3.3.1. Recherche des causes

Après avoir fait un suivi du temps de purge dans la durée d'une année, nous avons collecté les causes responsables du retard. Nous utiliserons des outils de traitement de données afin de justifier la problématique.

Nous nous sommes basés sur deux critères majeurs, le premier est la fréquence de chaque cause et le deuxième est la durée de la purge.

Les causes	Nombre des retards	Temps moyen (min)	Critère cumulé	%	% cumulée
CaOL élevée kk	15	170	2550	26%	26%
SO3 bas	20	124,5	2490	25%	51%
SO3 élevée	17	121,4117647	2064	21%	72%
SSB bas	4	173,75	695	7%	79%
Refus élevée	7	94,28571429	660	7%	86%
Déclenchement ventilateur tirage	3	103,3333333	310	3%	89%
Niveau purge plein	2	122,5	245	2%	92%
Défaut pressostat circuit d'huile compresseur CP16	2	72,5	145	1%	93%
Défaut fermeture vanne trémie purge	1	130	130	1%	94%
Retard sur remplissage KK	1	105	105	1%	95%
Défaut de formation godets élévateur	1	105	105	1%	97%
Changement du personnel	1	100	100	1%	98%
Perte de code de fermeture de vanne 5	1	95	95	1%	99%
CR doseur clinker; rupture bande (5 heures de travaux)	1	75	75	1%	99%
Extraction faible de la trémie purge	1	70	70	1%	100%
	60		9839		

Tableau 4: Les causes du retard du temps de purge

Après avoir regroupé les causes, leur durée et leur fréquence sur toute l'année, nous les avons classés puis nous avons calculé le cumul et enfin le pourcentage cumulé, le tout présenté dans le tableau ci-dessus, ce qui nous a mené à ce diagramme :

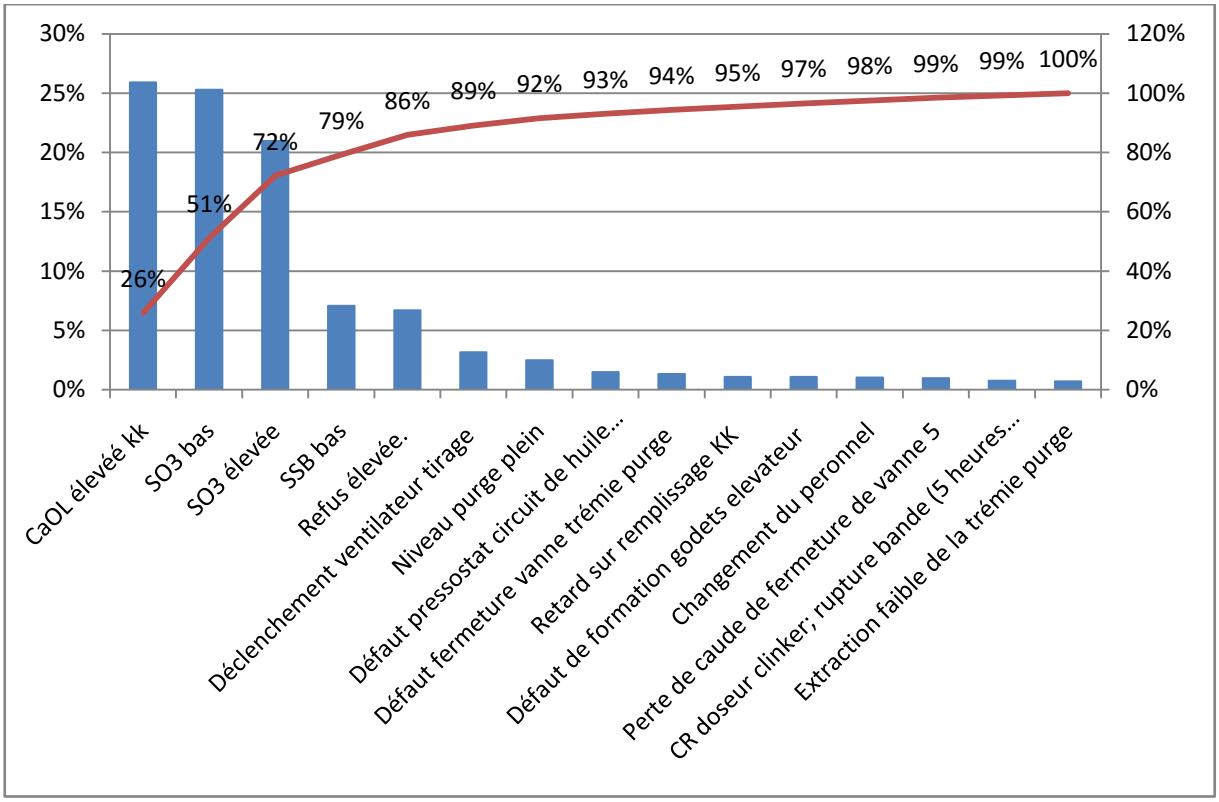


Figure 21 : Diagramme Pareto des causes du retard

3.3.3.2. Interprétation du diagramme

La phase «Analyse » est la troisième étape de la démarche DMAIC, nous allons donc analyser les résultats en utilisant des outils qualité pour maîtriser les causes responsables du retard.

Après une analyse des causes, étant parmi les 80%, nous avons conclu que les causes qui nous intéressaient étaient :

- SO_3 élevée ;
- SO_3 bas ;
- Chaux libre élevée pour le CPA 65;

Nous remarquons que le problème du retard du temps de purge vient d'une part de la qualité des constituants du ciment et d'autre part des équipements de l'atelier broyage BK4.

3.3.3.3. Présentation de causes majeures du retard

- **Le SO_3**

Parmi les constituants mineurs du ciment on trouve l'anhydride sulfurique qui provient des matières telles que le calcaire et surtout des combustibles utilisés tels que le charbon ou le fuel. Le pourcentage du trioxyde du soufre dans le clinker doit être compris entre 1 et 3,5, s'il dépasse la saturation molaire des alcalins, il y'aura une augmentation de la finesse du clinker et un accroissement de l'énergie de broyage. [3]

La figure ci-dessous représente la variation duSO_3 par rapport aux normes marocaines.

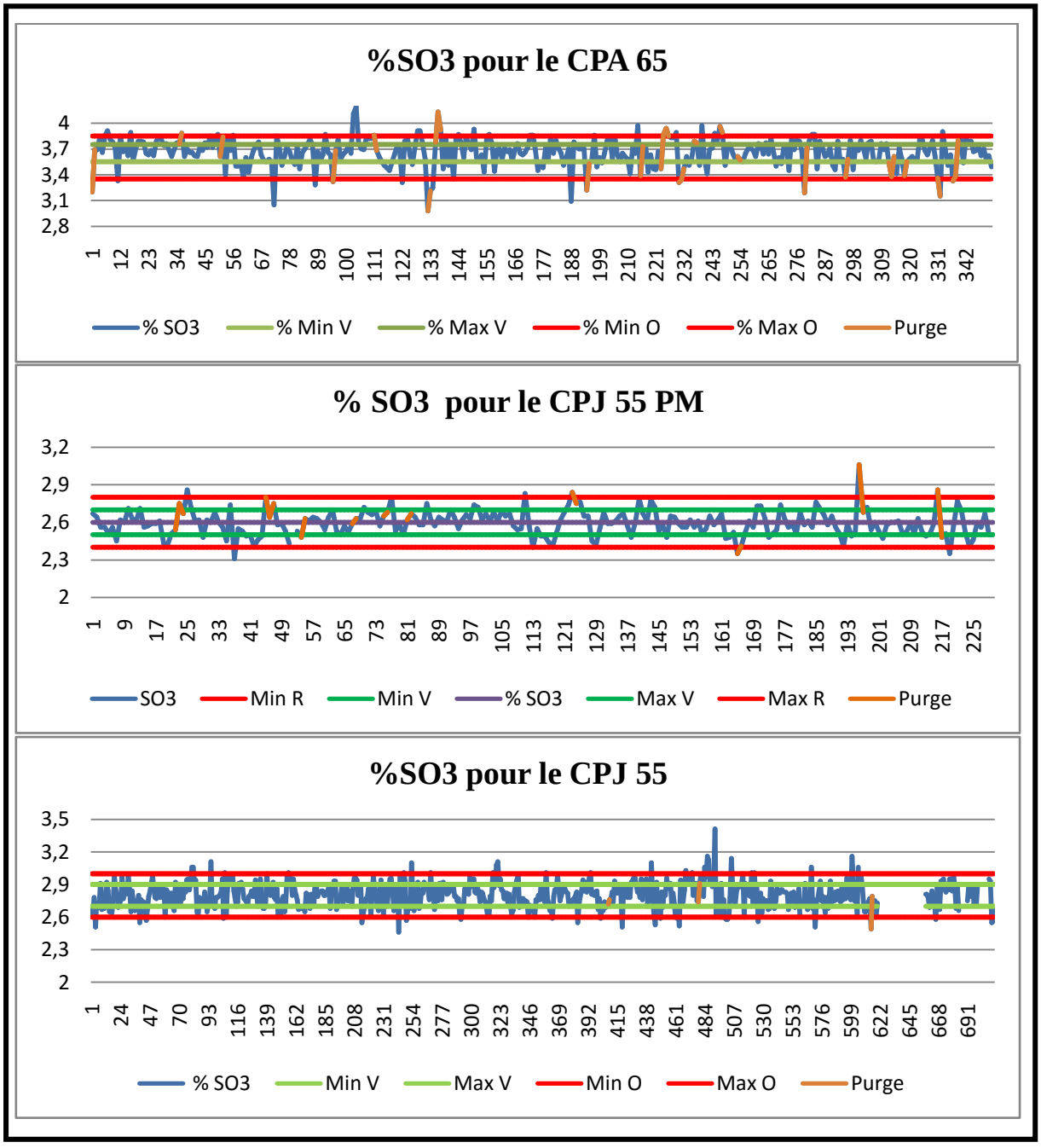


Figure 22 : Variation du pourcentage du SO_3 par rapport aux normes marocaines

Nous remarquons que pour chaque purge qui est représentée en orange, le pourcentage du SO_3 dépasse la zone verte et dépasse parfois la zone rouge, ce qui confirme que le pourcentage du SO_3 est une cause majeure du retard.

- **La chaux libre**

La chaux libre est un paramètre essentiel pour juger la qualité et le degré de cuisson du clinker. Des clinkers bien cuits résultant d'un cru bien dosé et de bonne granulométrie présentent des teneurs inférieures à 2 %. [4]

L'augmentation du taux de chaux libre du clinker diminue les temps de début et de fin de prise, en jargon cimentier on parle d'un clinker plus nerveux, comme ordre de grandeur.

La figure ci-dessous représente la variation de la chaux libre par rapport aux normes marocaines.

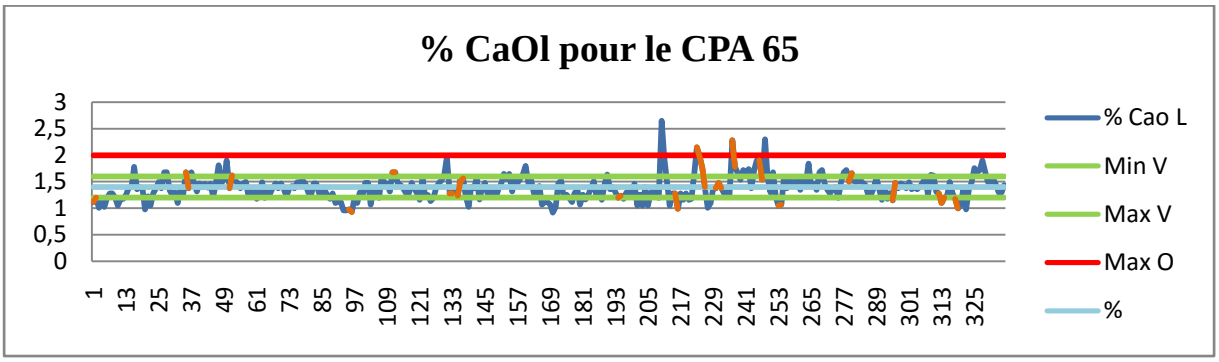


Figure 23 : Variation du pourcentage de la chaux libre par rapport à la norme marocaine

Nous remarquons tout de même que pendant la purge, le pourcentage de la chaux libre dépasse la norme marocaine pour le CPA 65 seulement. Donc la chaux libre représente à son tour un problème majeur du retard des purges.

3.3.4. Les 5 pourquoi

Pour rechercher sources du retard, on a utilisé la méthode des 5 pourquoi qui se présente comme suit :

3.3.4.1. Présentation de la méthode 5 pourquoi

Les cinq pourquoi est la base d'une méthode de résolution de problèmes proposée dans un grand nombre de systèmes de qualité.

Il s'agit de poser la question pertinente commençant par un pourquoi afin de trouver la source, la cause principale de la défaillance. Cette méthode de travail est surtout faite pour trouver la cause principale du problème rencontré.

Avec cinq questions commençant par « pourquoi », on essaie de trouver les raisons les plus importantes ayant provoqué la défaillance pour aboutir à la cause principale.

- Pour le SO_3

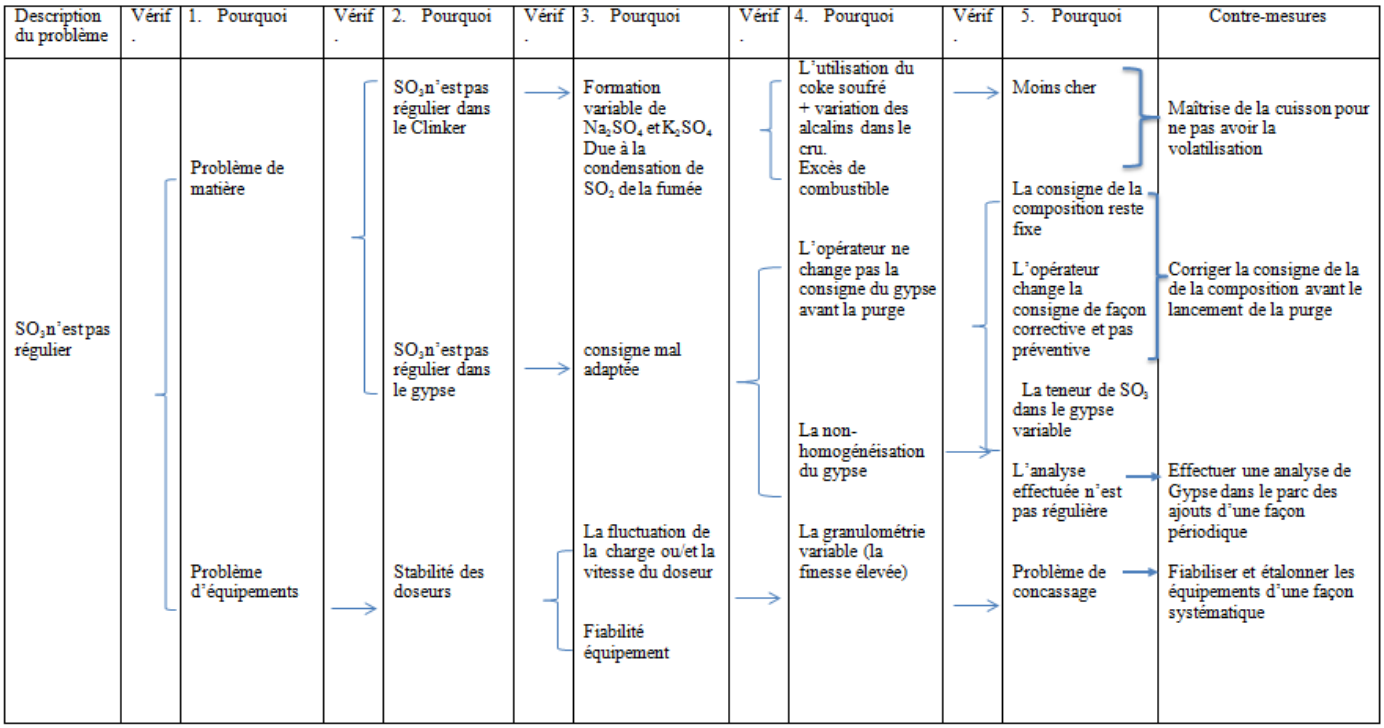


Figure 24 : Les 5 pourquoi pour le SO_3

- Pour la chaux libre

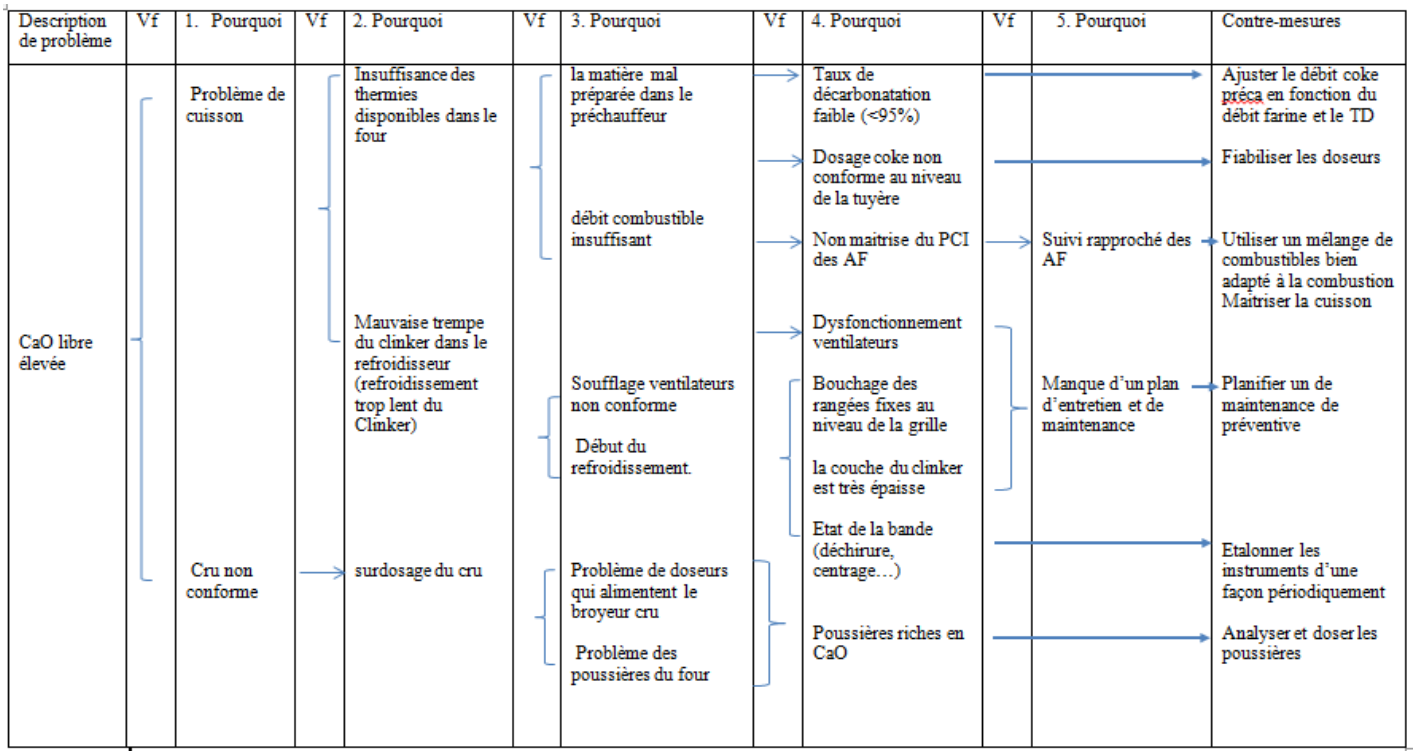


Figure 25 : Les 5 pourquoi pour la chaux libre

3.3.4.2. Interprétation des résultats

- **Pour la chaux libre**

La chaux libre est un facteur défavorable pour le développement des résistances. Une augmentation de chaux libre est un signe d'une dégradation de la qualité de cuisson ou d'un mauvais refroidissement.

Pour maîtriser la cuisson, il faut mettre en œuvre des moyens tels que :

- Un cru régulier ;
- Un refroidisseur optimisé ;
- Des combustibles bien préparés et bien dosés ;

Le cru irrégulier résulte d'un surdosage de l'un des éléments comme le schiste par exemple, ce problème vient des doseurs qui alimentent le broyeur cru qui sont soit bloqués par les blocs de la matière première soit par la fluctuation de la charge.

Un mauvais refroidissement peut être le résultat d'une hauteur de la couche qui est très importante et qui ne laisse pas le passage de l'air, ou une vitesse de grilles qui est très rapide et cause le passage rapide du clinker sans son refroidissement.

- **Pour le SO_3**

La teneur élevée en SO_3 dans le ciment est causée soit par des problèmes de matière ou des équipements.

- Clinker : Le SO_3 se colle au clinker pendant la cuisson. A une température de 800°C les fumées de combustion se condensent et on obtient la réaction suivante :

$$SO_2 + ½\ O_2 \longrightarrow SO_3$$

$$SO_3 + Na_2O \longrightarrow Na_2SO_4$$

$$SO_3 + K_2O \longrightarrow K_2SO_4$$

Donc le SO_3 non régulier résulte de la formation variable de Na_2SO_4 et K_2SO_4 due à la condensation de SO_2 de la fumée soit par l'utilisation du coke soufré et la variation des alcalins dans le cru soir par l'excès de combustible.

- Gypse : la variation du SO_3 dans le gypse revient à la diversité de la granulométrie de la charge ce qui rend le doseur instable. Le Doseur dose le poids et non pas le volume, lorsque nous avons une finesse élevée alors nous obtenons une teneur en SO_3 élevée.

La teneur du SO_3 est faible soit par défaut dans le gypse ou due à la non stabilité des doseurs dans le cas où il y a des blocs de grandes tailles ce qui implique des bouchages au niveau du doseur donc la matière ne passe pas.

3.3.4.3. Résultats

Le problème du retard du temps de purge est lié à différentes étapes du procédé telles la cuisson, le refroidissement et le broyage cuit. De ce fait nous nous sommes focalisées sur les 3 causes suivantes qui sont :

- Le problème des doseurs gypse pour gérer le pourcentage du SO_3 ;
- Le problème de gestion du clinker ;

Et nous recommandons : L'optimisation du refroidisseur, L'optimisation de l'atelier broyage et la maîtrise de la cuisson.

3.4. Traitement des causes et recherche de solution

3.4.1. Introduction

La phase «Innover» est la quatrième étape de la démarche DMAIC, après avoir cherché les causes responsables du retard, nous allons donc chercher les solutions et les recommandations pour optimiser le temps de purge.

Comme nous avons déduit dans le chapitre précédant, les causes principales du retard des purges elles sont les suivantes :

- SO_3 non régulier
- Chaux élevée pour le CPA 65

Dans ce qui suit nous allons traiter et proposer des solutions de chaque problème mis à part.

3.4.2. La teneur en chaux libre

C'est un paramètre essentiel pour le contrôle de la qualité. Afin d'avoir une bonne résistance du ciment cette teneur en chaux libre doit être la plus faible possible. La teneur de la chaux libre diffère selon le pourcentage du Clinker pour chaque qualité.

3.4.2.1. Modèle de gestion du remplissage de clinker

L'analyse de la chaux libre dans le clinker est effectuée d'une façon périodique après chaque deux heures. Suite aux exigences de la qualité de production CPA65 qui contient 95% du clinker, la teneur de la chaux libre doit être bien réglée afin de ne pas dépasser le

pourcentage désiré. Pour ce faire nous proposons une procédure qui permet de prendre la décision sur le lancement de la purge lors de la production CPA65.

3.4.2.2. Organigramme

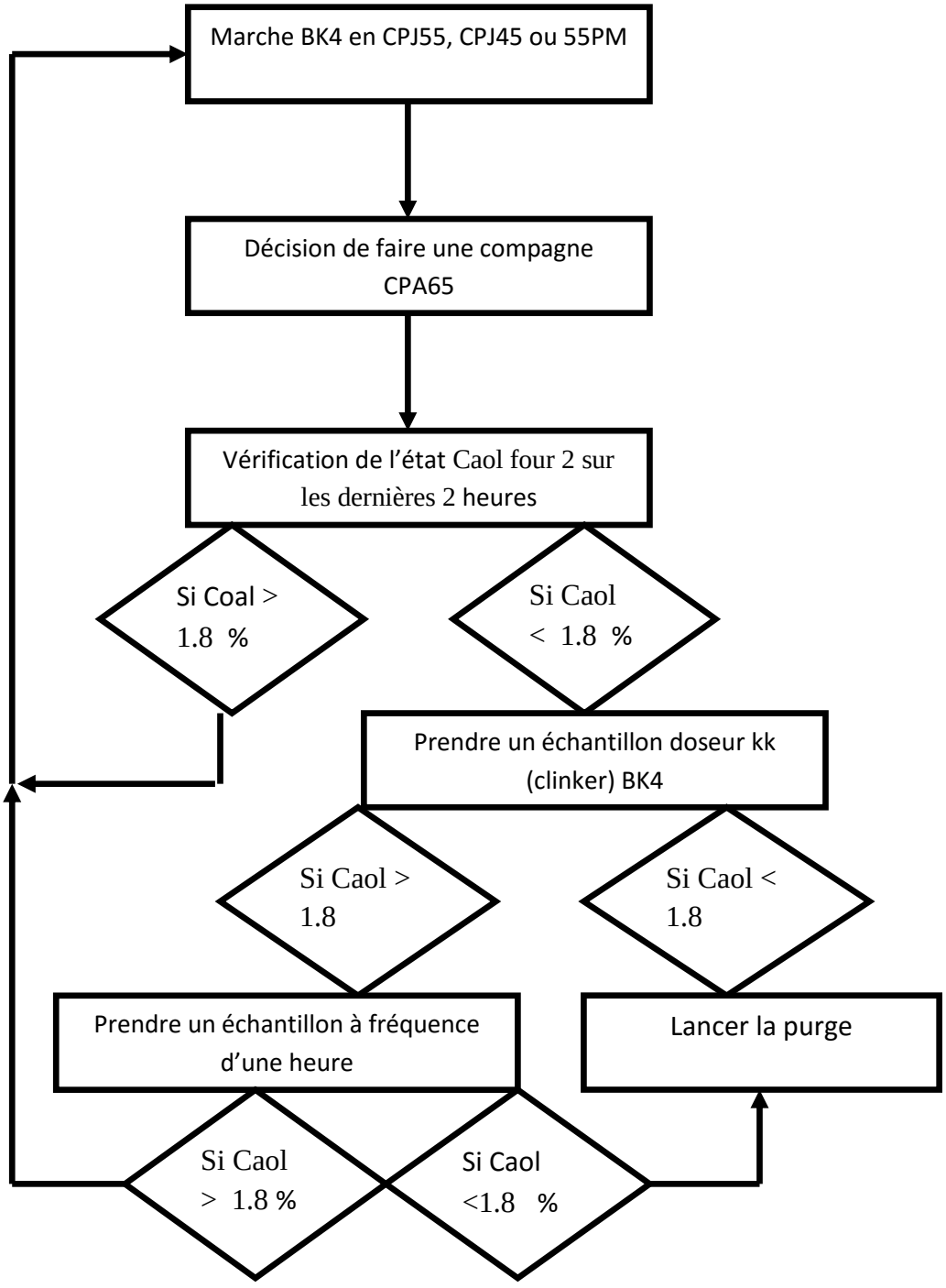


Figure 26 : Gestion du remplissage clinker

NB : Pour pouvoir avoir un bon Clinker il est recommandé de bien maitriser l'étape de cuisson.

3.4.3. La teneur en SO_3

Le problème de l'augmentation et la diminution de SO_3 dans le produit purge est due à des problèmes liés à la matière (gypse et clinker) et d'autre part au matériel autrement dit les doseurs.

3.4.3.1. Gestion du gypse

Nous avons remarqué que le gypse utilisé dans l'atelier BK4 n'est pas analysé pour vérifier la teneur en SO_3, qu'une seule fois pendant son arrivée. De plus l'opérateur règle la composition du gypse en se basant sur la dernière valeur de la même qualité produite.

Pour faire face à ce problème et pour obtenir une qualité conforme nous proposons de faire une action préventive qui permet de nous donner à l'avance le pourcentage exacte du gypse.

Le problème de l'augmentation et la diminution de SO_3 dans le gypse et dans le clinker peut être éliminé par le changement de la consigne au fur et à mesure l'analyse du gypse avant le lancement de la purge.

Cette solution sera basée sur trois volées à savoir :

- Proposer une méthode d'homogénéisation de gypse
- Proposer une méthode d'analyse de gypse périodiquement
- Donner un programme pour changer la consigne avant le lancement de la purge

- **Méthode d'homogénéisation de gypse**

Nous recommandons d'homogénéiser l'ancien gypse qui reste dans le stock et le nouveau gypse qui va arriver, pour qu'on puisse maintenir une même régularité chimique du gypse dans le stock. Cette solution vise à assurer un gypse aux caractéristiques constantes de point de vue teneur en SO3 et distribution de taille.

- **Méthode d'analyse de gypse périodiquement**

Le gypse n'est analysé pour voir ses caractéristiques physiquo-chimique qu'une seule fois pendant son arrivée, chose qu'il faut absolument changer vu que nous ignorons la teneur du SO_3 du gypse utilisé à l'entrée du broyeur.

Afin de maitriser la consigne de composition pour chaque qualité, nous proposons de faire des analyses régulières du gypse, pendant l'arrivée, et avant l'usage.

- **Gypsage optimum**

Pour un clinker donné, la recherche du niveau de sulfatage optimal est réalisée, au laboratoire, en déterminant les résistances mortier (1 – 2 – 7 – 28 jours) d'un certain nombre de ciments purs obtenus par cobroyage du clinker et du gypse, en faisant varier la quantité du gypse et en s'efforçant de maintenir constante la finesse du clinker.

La finesse des ciments augmente avec le taux de gypse introduit. Ces variations résultant de la présence du gypse dont la broyabilité est nettement plus aisée que celle du clinker.

Réalisation de l'essai :

Clinker	SO3 total ciment
100	X – 0,8
100	X – 0,6
100	X – 0,4
100	X – 0,2
100	X
100	X + 0,20
100	X + 0,40
100	X + 0,60
100	X + 0,80

Avec :

X = teneur en SO3 habituelle du ciment (pour une finesse voisine de 3500 SSB)

La comparaison des résistances des mortiers normaux élaborés à partie de ces ciments permettra de définir pour chaque échéance (1 – 2 – 7 – 28 jours) l'optimum de gypsage et par suite de choisir le niveau de sulfatage le mieux approprié au produit, tout en restant conforme aux normes en vigueur.

La recherche du niveau optimal de sulfatage est une opération longue, car elle ne peut pas être réalisée par l'addition de gypse broyé à un clinker broyé

Cette dernière méthode conduit toujours à un taux de sulfate plus élevé que celui qui sera constaté industriellement.

Il faut donc opérer par cobroyage et préparer autant de ciments qu'il y a de teneurs en SO_3 à étudier.

Déroulement de l'essai

1. Démarrer le broyeur avec les consignes normales en SO_3 et SSB
2. Une fois les consignes visées atteintes, prélever 5 kg de produit fini

3. Changer les consignes en gypse et garder la consigne SSB

4. Faire les prélèvements toutes les 30 min en changeant la consigne en SO_3

5. Garder tous les échantillons afin de réaliser les gâchages en déterminant les résistances à 1 – 2 – 7 et 28 jours.

6. Tracer la courbe pour déterminer l'optimum en gypse.

Résultat de l'essai

- **Pour le CPA 65**

La courbe représentant la variation des résistances pour 1j, 2j et 28 jours de la qualité CPA 65 sont présentées ci-dessous.

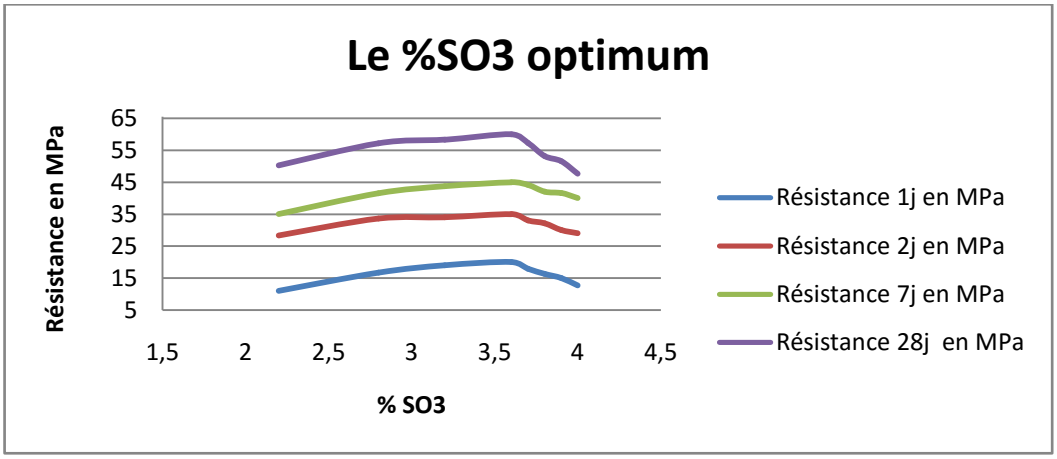


Figure 27 : Le %SO3 optimal pour le CPA 65

- **Pour le CPJ 55**

La courbe représentant la variation des résistances pour 1j, 2j et 28 jours de la qualité CPJ 55 sont présentées ci-dessous.

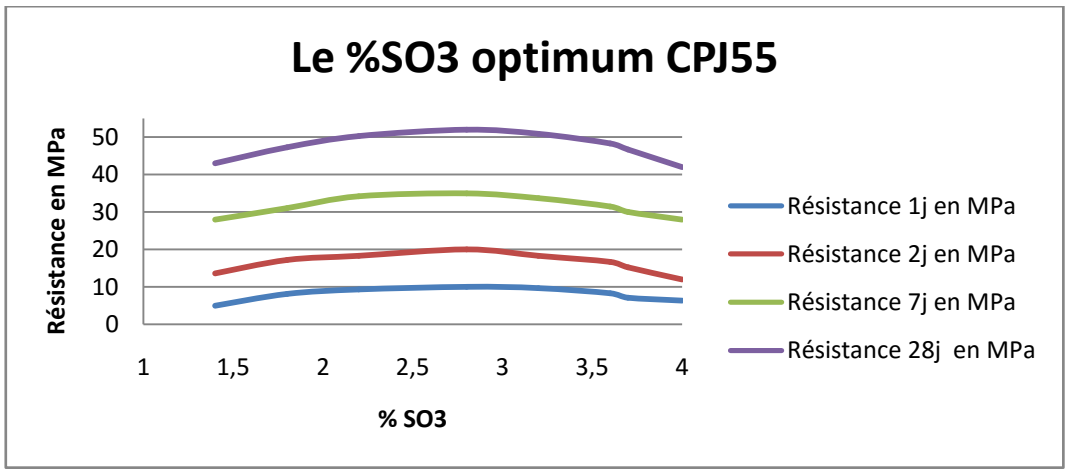


Figure 28 : Le %SO3 optimal pour le CPJ 55

- **Pour le CPJ 55 PM**

La courbe représentant la variation des résistances pour 1j, 2j et 28 jours de la qualité CPJ 55 PM sont présentées ci-dessous.

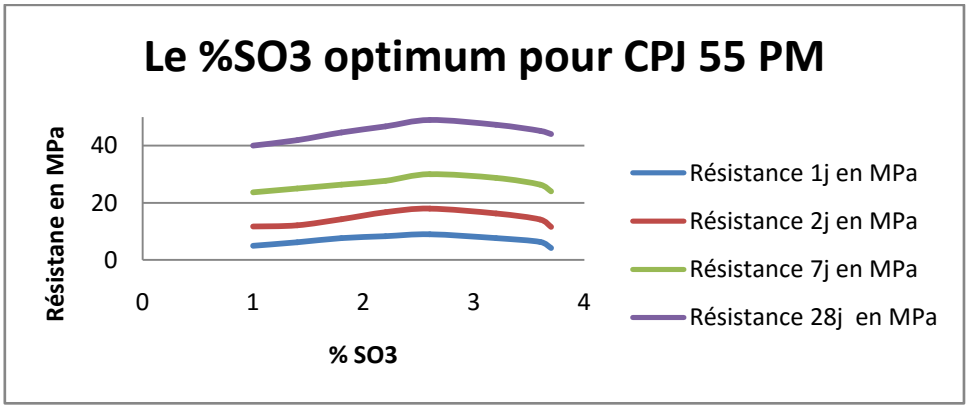


Figure 29 : Le %SO3 optimal pour le CPJ 55 PM

Interprétation des courbes

- Le pourcentage optimal du SO_3 de la qualité CPA 65 est : 3,6
- Le pourcentage optimal du SO_3 de la qualité CPJ 55 est : 2,7
- Le pourcentage optimal du SO_3 de la qualité CPJ 55 PM est : 2,6

Donc nous pouvons déduire le pourcentage optimal du gypse pour chaque qualité a l'aide de la relation suivante :

$$\%\ de\ gypse = \frac{\%\ \text{SO 3 dans le ciment}}{\%\ \text{SO 3 dans le gypse}}\ \text{x } 100$$

Donc :

- Le pourcentage optimal du gypse pour la qualité CPA 65 est : 7,7
- Le pourcentage optimal du gypse pour la qualité CPJ 55 est : 5,8
- Le pourcentage optimal du gypse pour la qualité CPJ 55 PM est : 5,6

▪ **Programme pour changer la consigne avant le lancement de la purge :**

Dans la plupart des processus industriels, il est indispensable de maitriser certains paramètres qu'elles soient physiques ou chimiques, c'est pour cela il est souvent souhaitable d'avoir recours à des programmes informatiques qui permettent de maintenir une consigne en utilisant des mesures.

Pour notre cas nous proposons un programme préventif sur C# (C-Sharpe) qui a pour objet de déterminer les compositions de réglage précisément les quantités en pourcentage de Clinker et de Gypse que l'opérateur doit faire entrer afin d'avoir la qualité de ciment voulue tout en respectant les normes de la teneurSO_3.

Bilan matière:

$$\begin{cases} G+K+V+C = 100 \\ X_{SO_3}\, G + Y_{SO_3} K = S \end{cases}$$

$$\begin{cases} K = 100-G-C-V \\ X_{SO_3}\, G + Y_{SO_3}(100-G-C-V) = S \end{cases}$$

$$\begin{cases} K = 100-G-C-V \\ G(X_{SO_3}-Y_{SO_3}) + Y_{SO_3}(100-C-V) = S \end{cases}$$

$$\begin{cases} K = 100-G-C-V \\ G = \frac{S-Y_{SO_3}(100-C-V)}{X_{SO_3}-Y_{SO_3}} \end{cases}$$

$$\begin{cases} K = \frac{S-X_{SO_3}(100-C-V)}{Y_{SO_3}-X_{SO_3}} \\ G = \frac{S-Y_{SO_3}(100-C-V)}{X_{SO_3}-Y_{SO_3}} \end{cases}$$

Avec :

G : Pourcentage du gypse dans le ciment
K : Pourcentage du Clinker dans le ciment
V : Pourcentage des cendres volantes dans le ciment
C : Pourcentage du calcaire dans le ciment
S : Pourcentage du SO_3 dans le ciment
X_{SO_3} : Pourcentage du SO_3 dans le gypse
Y_{SO_3} : Pourcentage du SO_3dans le clinker

Les normes de la teneur de SO_3 pour chaque qualité :

Qualité	**CPA65**	**CPJ55PM**	**CPJ55**
$\boldsymbol{SO_3}$	3.55 -3.75	2.50-2.70	2.70-2.90

Nous pouvons tout de même utiliser la valeur optimal de SO_3 que nous avons trouvé quand nous avons utilisé la méthode du gypsage optimum.

- **Méthodologie du programme**

Pour calculer la composition en pourcentage de chaque élément à l'entrée et changer la consigne de production avant chaque lancement de purge (CPA65, CPJPM55 ou CPJ55) nous devons se baser sur les dernières analyses du SO_3 dans le gypse et dans le clinker.

Pour faire le programme sur C# (C-Sharpe) (annexe 3) nous avons suivi la méthodologie suivante :

- Choisir la qualité qu'on souhaite produire (le programme affiche les normes de chaque qualité à respecter) ;
- Entrer la consigne souhaitée en SO_3, chaux libre, cendres volantes et calcaire manuellement ;
- Entrer les pourcentages en SO_3 dans le clinker et le Gypse (X_{SO_3}, Y_{SO_3}) ;
- Entrer le pourcentage des cendres volantes et du calcaire s'il existe ;
- Résolution et affichage du résultat de la nouvelle consigne.

- **Résultat du programme**

L'interface graphique du programme qui contrôle le pourcentage en $\mathbf{SO_3}$ est présenté ci-dessous.

Figure 30 : Interface graphique du programme

3.4.3.2. Problème des doseurs

- **Introduction**

A l'image des transporteurs à bande, les doseurs sont des éléments très importants dans la chaine de production, ils permettent de doser les quantités de Clinker, Gypse et d'Ajout qui alimentent les broyeurs crus et cuits. Dans ce rapport nous nous présenterons que l'étude du doseur Gypse sachant que toutes les défaillances sont identiques pour tous les doseurs et aussi c'est la source majeure de la fluctuation en teneur de SO_3.

- **Définition des doseurs**

Le doseur est un mécanisme destiné à alimenter la ligne de production de façon continue en matière tout en contrôlant le débit

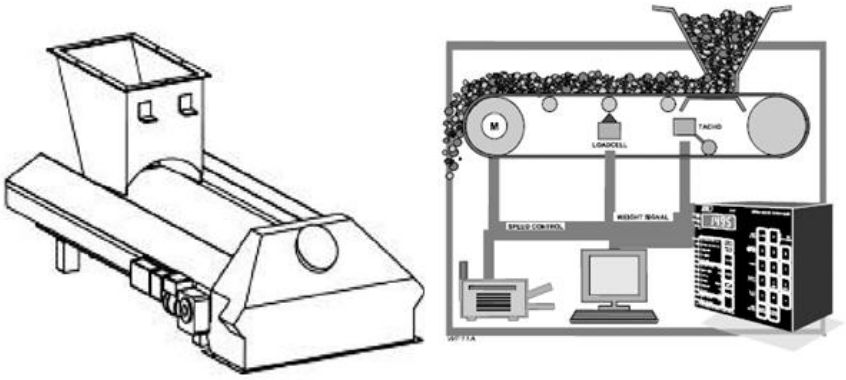
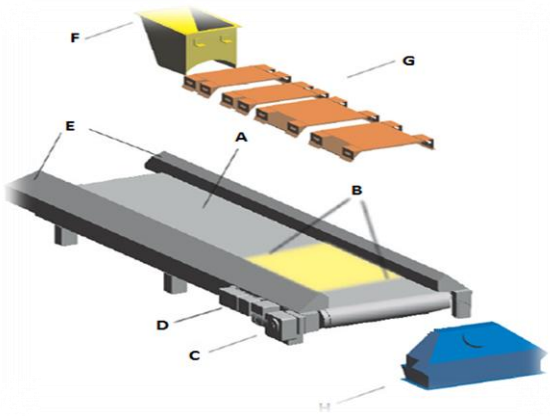


Figure 31 : Image du doseur Shenck utilisé dans l'usine

- **Les éléments du doseur (annexe 4)**

Les composantes basiques du doseur sont :

- La bande du convoyeur (A)
- Zone de pesage (B)
- Groupe d'entrainement (C)
- Système de pesage électronique (D)
- Rives de guidage matière (E)
- Trémie pour raccordement au silo (F)
- Capotage de veine (G)
- Capotage de jetée (H)



- **Fiche technique du doseur Gypse**

La fiche technique du doser gypse est présentée dans la figure ci-dessous.

Tableau 5: Fiche technique du doseur gypse

Capacité	30 T/H
Densité	0.9 – 1.4 t/m^2
Humidité	Max 4.5%
Granulométrie	Max 50 mm
Température	Max 45 °C
Puissance	0.75 KW
Réduction	1657
Couple nominal	2700Nm
Tension	400V-50Hz

- **Les problèmes rencontrés des doseurs**

La non stabilité des doseurs et précisément le doseur du Gypse vient de plusieurs causes à savoir:

- Fluctuation de la précision ;
- Problème de Trémie (blocs, fuites, usure…) ;
- État de la bande (déchirure, centrage…) ;
- Glissement des rouleaux ;
- Bruits anormaux, vibrations ;
- Jetée dans redler (blocs, remontée de poussière…) ;
- Protection en place

- **Les essais de conformité et d'étalonnage**

Ce sont des essais périodiques réalisés par le service instrumentation, dans le but de corriger la valeur de la précision des doseurs.

Pesé physique : C'est un essai qui s'effectue chaque semestre suivant le mode opératoire (annexe 5) en comparant une même quantité de matière pesée par le doseur et par une bascule externe à l'aide d'un camion.

Tarage-étalonnage : C'est un essai qui s'effectue d'une manière mensuel suivant le mode opératoire dans (annexe 5) pour but de calibrer les poseurs de chaque doseur par des poids précis.

- **Recommandation et solutions**

Pour bien maîtriser les erreurs de précision il faut planifier :

- l'essai de pesée physique quatre fois par ans au lieu de deux ;
- l'essai de tarage - étalonnage deux fois par mois au lieu de une ;
- Essayer de renouveler les modes opératoires ;
- Planifier une inspection de contrôle trois fois par mois par les agents de service procédés, de service mécanique et de service instrumentation pour contrôler l'état des doseurs.

3.5. Détermination du temps de purge optimal

3.5.1. Introduction

Nous avons établis une solution qui a pour but de trouver le temps de purge optimal et de minimiser les pertes en énergie et ciment pour chaque cas de purge.

L'idée est proposée par un expert de LAFARGE France à propos du problème de la purge. Elle est basée sur des prélèvements de produit fini dans un intervalle de temps bien déterminé pour chaque cas de purge.

3.5.2. Procédure

Pour chaque cas de purge, nous avons réalisé des prélèvements de produit fini dans chaque 5minute, et par la suite on analyse les échantillons pour trouver le temps optimal pendant lequel on atteint la composition et la finesse souhaitées. Pour que le résultat obtenu soit correcte il faut prendre seulement les cas de purge en absence de problèmes (matières et équipements) c'est-à-dire on prend juste les essais dont le temps du purge est supérieure ou égale le temps de purge hors incidents trouver dans l'historique (annexe1).

On attend jusqu'à la stabilisation du broyeur après 25 à 30 minutes et on commence les prélèvements (annexe 7).

3.5.3. Résultat

Le tableau qui suit représente les résultats obtenus et la durée qu'on peut gagner avec cette solution.

Tableau 6: Résultat des essaies pour avoir le temps de purge optimal

Qualité	Essais (min)	TP hors incidents (min)	la durée gagnée
CPJ45 --> CPJ55	45	60	15
CPJ45 --> CPA65	45	62,5	17,5
CPJ55 --> CPA65	40	54,0625	14,0625
CPJ55PM --> CPA65	50	63,33	13,33
CPJ55--> CPJ55PM	40	56,66	16,66

Nous remarquons qu'après ces essais, le temps de purge sera réduit de plus de 14 minutes mais pour que l'opérateur puisse arrêter le broyeur après ce nouveau temps il faut absolument appliquer les solutions présentées ci-dessus pour minimiser les problèmes de retard de temps de purge.

Chapitre4 : Estimation des pertes et calcul du gain de productivité

4.1. Introduction

Quels que soient la nature d'un projet, sa motivation et son degré d'élaboration, la préoccupation majeure d'un industriel à son égard consiste à savoir s'il sera rentable de le concrétiser. En d'autres termes, s'il générera des bénéfices.

Ce dernier chapitre du mémoire entre vos mains illustre, chiffres à l'appui, la rentabilité du projet où les volets éthiques et économiques se complètent pour donner une merveilleuse figure de la tendance actuelle.

Nous avons proposé une étude économique qui permet d'estimer les gains de productivités de notre projet. C'est pour cela, nous allons tout d'abord donner le coût global des pertes de l'année 2015 en KWh/t et C/K pour chaque qualité, et ensuite, nous établirons un calcul du gain pour les solutions d'optimisation du temps de purge.

4.2. Etude économique- Estimation des pertes

- **Calcule des pertes**

La purge représente une perte en KWh/t et en C/k, nous nous sommes basées sur une durée d'un an pour chiffrer ces pertes pour chaque cas.

Pour 1 heure de production pendant les heures de pointes nous avons :

$$C_e = \mathrm{C}_{\,unitaire} * Débit_{moyen} * C_{énerg\,étique}$$

Avec :

C_e : La consommation électrique en DHs

$C_{énerg\,étique}$: La consommation énergétique en KWh/t

$\mathrm{C}_{\,unitaire}$: Coût unitaire

Et les pertes en clinker sont exprimées comme suit :

$$C_{Kk} = (Débit_{moyen} * C_{\mathrm{c}})\text{qualité supérieure} - (Débit_{moyen} * C_{\mathrm{c}})\text{ qualité inférieure}$$

Avec :

C_{kk} : La perte en clinker en DHs

C_c : Le prix du ciment selon la qualité

Nous avons pour chaque qualité un débit moyen (t/h), une consommation électrique (KWh/t) et un prix du ciment en DHs et la consommation électrique diffère selon 3 tranches.

Tableau 7: Consommation électrique selon les tranches

	Horaire	Coût unitaire en DHs
Heures pleines	**07h à 17h**	**0,554**
Heures creuses	**22h à 7h**	**0,355**
Heures de pointes	**17h à 22h**	**1,074**

Tableau 8: Prix et consommation électrique selon les qualités du ciment

Qualité	Débit moyen (t/h)	Consommation électrique (KWh/t)	Prix DHs
CPJ 45	169,66	35,53	1150
CPJ 55	130,94	46,03	1200
CPJ55PM	128,07	47,5	1250
CPA 65	79,58	75,74	1350

Le cout unitaire utilisé = 0.776 DHs

CPJ 45 → CPJ55

Les pertes en KWh/t et en C/K pour le passage du CPJ 45 AU CPJ 55 sont présentées ci-dessous.

- Pour les KWH/t

Tableau 9: Pertes en KWH/t pour CPJ45-CPJ 55

Mois	Temps de purge(h)	Perte en KWh	Coût en DHs
Décembre	4,166666667	5728,625	4445,413
Septembre	1,16	1594,8492	1237,602979
Août	1,25	1718,5875	1333,6239
	Coût total	**7016,639879**	

- Pour le C/K

Tableau 10: Pertes en C/Kpour CPJ45-CPJ 55

Mois	Temps de purge(h)	Quantité ciment	Prix55 (DHs)	Prix45 (DHs)	Coût en DHS
Décembre	4,166666667	545,5833333	654700	627420,833	27279,16667
Septembre	1,16	151,8904	182268,48	174673,96	7594,52
Août	1,25	163,675	196410	188226,25	8183,75
	Coût total	**43057,43667**			

Résultat

Tableau 11: Pertes totales CPJ45-CPJ 55

Le coût en DHs des pertes KWh/t	**7016,6398**
Le coût en DHs des pertes en C/K	**43057,43667**
TP moyen en min	**79**

CPJ 45 → CPA 65

Les pertes en KWh/t et en C/K pour le passage du CPJ 45 au CPA 65 sont présentées ci-dessous

- Pour les KWH/t

Tableau 12: Pertes en KWH/tpourCPJ45-CPA 65

Mois	Temps de purge(h)	Perte en KWh	Coût en DHs
Janvier	1	3199,9118	2483,131557
Octobre	4,75	15199,58105	11794,87489
Septembre	3,25	10399,71335	8070,17756
Août	3,41	10911,69924	8467,478609
Mars	1,25	3999,88975	3103,914446
	Coût total	**33919,57707**	

- Pour le C/K

Tableau 13: Pertes en C/K pour CPJ45-CPA 65

Mois	Temps de purge(h)	Quantité ciment	Prix65 (DHs)	Prix45 (DHs)	Coût en DHS
Janvier	1	79,58	107433	91517	15916
Octobre	4,75	378,005	510306,75	434705,75	75601
Septembre	3,25	258,635	349157,25	297430,25	51727
Août	3,41	271,3678	366346,53	312072,97	54273,56
Mars	1,25	99,475	134291,25	114396,25	19895
	Coût total	**217412,56**			

Résultat

Tableau 14 : Pertes totales pour CPJ45-CPA 65

Les pertes en KWh/t	**33919,57707**
Le coût en DHs des pertes en C/K	**217412,56**
TP moyen en min	**83**

CPJ 55→ CPA 65

Les pertes en KWh/t et en C/K pour le passage du CPJ 55 au CPA65 sont présentées ci-dessous.

- Pour les KWH/t

Tableau 15: Pertes en KWH/t pour CPJ55-CPA 65

Mois	Temps de purge(h)	Perte en KWh	Coût en DHs
Février	9,25	21869,97665	16971,10188
Janvier	16,25	38420,22925	29814,0979
Décembre	13,16	31114,47489	24144,83251
Novembre	39,23	92752,34421	71975,81911
Octobre	4,5	10639,4481	8256,211726
Septembre	8,25	19505,65485	15136,38816
Août	10,16	24021,50949	18640,69136
Juillet	6	14185,9308	11008,2823
Juin	20,41	48255,80794	37446,50696
Mai	27,5	65018,8495	50454,62721
Avril	18,5	43739,9533	33942,20376
Mars	28,91	68352,54324	53041,57355
	Coût total	**370832,3364**	

- Pour le C/K

Tableau 16: Pertes en C/KpourCPJ55-CPA 65

Mois	Temps de purge(h)	Quantité ciment	Prix65 DHs	Prix 55 DHs	Coût en DHS
Février	9,25	736,115	993755,25	883338	110417,25
Janvier	16,25	1293,175	1745786,25	1551810	193976,25
Décembre	13,16	1047,2728	1413818,28	1256727,36	157090,92
Novembre	39,23	3121,9234	4214596,59	3746308,08	468288,51
Octobre	4,5	358,11	483448,5	429732	53716,5
Septembre	8,25	656,535	886322,25	787842	98480,25
Août	10,16	808,5328	1091519,28	970239,36	121279,92
Juillet	6	477,48	644598	572976	71622
Juin	20,41	1624,2278	2192707,53	1949073,36	243634,17
Mai	27,5	2188,45	2954407,5	2626140	328267,5
Avril	18,5	1472,23	1987510,5	1766676	220834,5
	Coût total	**2067607,77**			

Résultat

Tableau 17 : Pertes totales CPJ55-CPA 65

Le coût en DHs des pertes KWh/t	**370832,3364**
Le coût en DHs des pertes en C/K	**2067607,77**
TP moyen en min	**95**

CPJ 55 PM→ CPA 65

Les pertes en KWh/t et en C/K pour le passage du CPJ 55 PMau CPA65 sont présentées ci-dessous.

- Pour les KWh/t

Tableau 18: Pertes en KWH/t pour CPJ55PM-CPA 65

Mois	Temps de purge(h)	Perte en KWh	Coût en DHS (pour les H pointes)
Février	2,416666667	5431,069733	4214,510113
Décembre	0,916666667	2060,060933	1598,607284
Novembre	6,833333333	15356,81787	11916,89066
Octobre	2,833333333	6367,461067	4941,149788
Septembre	2	4494,6784	3487,870438
	Coût total	**26159,028**	

- Pour le C/K

Tableau 19:Pertes en C/k pourCPJ55PM-CPA 65

Mois	Temps de purge(h)	Quantité ciment	Prix 65 DHs	Prix PM DHs	Coût en DHS
Février	2,416666667	192,3183333	259629,75	240397,917	19231,83333
Décembre	0,916666667	72,94833333	98480,25	91185,4167	7294,833333
Novembre	6,833333333	543,7966667	734125,5	679745,833	54379,66667
Octobre	2,833333333	225,4766667	304393,5	281845,833	22547,66667
Septembre	2	159,16	214866	198950	15916
	Coût total	**119370**			

Résultat

Tableau 20:Pertes totalespourCPJ 55 PM-CPA 65

Le coût en DHs des pertes KWh/t	**26159,028**
Le coût en DHs des pertes en C/K	**119370**
TP moyen en min	**100**

CPJ 55→CPJ55PM

Les pertes en KWh/t et en C/K pour le passage du CPJ 55 au CPJ55 PM sont présentées ci-dessous.

- Pour les KWH/t

Tableau 21:Pertes en KWH/t pourCPJ 55-CPJ 55PM

Mois	Temps de purge(h)	Perte en KWh	Coût en DHs
Février	5,25	988,380225	766,9830546
Janvier	1,16	218,384964	169,4667321
Décembre	3,83	721,046907	559,5323998
Novembre	4,08	768,112632	596,0554024
Octobre	3,33	626,915457	486,4863946
Septembre	1	188,2629	146,0920104
	Coût total	**2 724,159**	

- Pour le C/K

Tableau 22:Pertes en C/k pour CPJ 55-CPJ 55PM

Mois	Temps de purge(h)	Quantité ciment	Prix PM DHs	Prix 55 DHs	Coût en DHS
Février	5,25	672,3675	840459,375	806841	33618,375
Janvier	1,16	148,5612	185701,5	178273,44	7428,06
Décembre	3,83	490,5081	613135,125	588609,72	24525,405
Novembre	4,08	522,5256	653157	627030,72	26126,28
Octobre	3,33	426,4731	533091,375	511767,72	21323,655
Septembre	1	128,07	160087,5	153684	6403,5
	Coût total	**119425,275**			

Résultat

Tableau 23:Pertes totales CPJ 55-CPJ 65

Le coût en DH des pertes KWh/t	**2 724,61599**
Le coût en DH des pertes en C/K	**119425,275**
TP moyen en min	**112**

Le coût total est alors :

Coût total = 440652,198 +2 566 873 = 3 007 525,198 DHs

Donc pendant une année de production il y avait 256h de purge qui correspond à une perte totale de 3 007525,198DHs.

4.3. Calcul des gains

4.3.1. Introduction

Dans cette partie nous allons calculer le gain de productivité qu'on peut gagner par les solutions présentés dans le troisième chapitre.

4.3.2. Gain d'optimisation de retard de temps de purge

Pour pouvoir donner une estimation du gain généré par les solutions que nous avons proposé pour optimiser le retard de temps de purge, nous avons calculé les pertes en DHs dans le cas des purges sans incident à partir des données de l'annexe 1.

- **Méthode de calcul**

Les pertes après solutions sont calculées par la règle de trois en utilisant les pertes globales.

Le gain est égal à la différence entre les pertes calculée ci-dessus et les pertes après solutions.

Le gain de productivité = les pertes – les pertes hors incidents

Le gain de productivité est représenté dans le tableau ci-dessous.

Qualité	TP réel (min)	TP réel (min) hors incidents	Pertes (DH)	Pertes hors incidents (DH)	Le gain de productivité
CPJ45 --> CPJ55	79	60	50074,0765	38030,9442	**12043,1323**
CPJ45 --> CPA65	83	62,5	251332,137	189256,127	**62076,0098**
CPJ55 --> CPA65	95	54,0625	2438440,11	1387664,93	**1050775,18**
CPJ55PM --> CPA65	100	63,33	145529,028	92163,5334	**53365,4946**
CPJ55--> CPJ55PM	112	56,66	122149,434	61794,5262	**60354,9078**
Total			3007524,78	1768910,06	**1238614,72**

- **Interprétation**

Nous remarquons qu'à partir des recommandations et des solutions nous avons pu optimiser les pertes du retard du temps de purge de 41,2%.

4.3.3. Gain d'optimisation de temps de purge

De la même façon nous avons estimé le gain de productivité de « la minimisation du temps de purge hors incidents. »

- **Méthode de calcul**

Les pertes après solutions sont calculées par la règle de trois en utilisant les pertes globales.

Le gain est égal à la différence entre les pertes hors incidents et les pertes après solutions.

Le gain de productivité = les pertes hors incidents – les pertes après solutions

Le gain de productivité est représenté dans le tableau ci-dessous.

Qualité	Essais (min)	TP réel (min) hors incidents	Pertes hors incidents (DH)	Pertes après solutions	Le gain de productivité
CPJ45 --> CPJ55	45	60	38030,9442	28523,2082	**9507,73605**
CPJ45 --> CPA65	45	62,5	189256,127	136264,411	**52991,71556**
CPJ55 --> CPA65	40	54,0625	1387664,93	1026711,62	**360953,3055**
CPJ55PM --> CPA65	50	63,33	92163,5334	72764,514	**19399,01943**
CPJ55--> CPJ55PM	40	56,66	61794,5262	43624,7979	**18169,72832**
Total			1768910,061	1307888,56	**461021,5048**

- **Interprétation**

Nous déduisons que la solution qui consiste à minimiser le temps de purge par des prélèvements permet une optimisation des pertes de 15, 3%.

Conclusion

Ce projet de fin d'études avait comme dessein essentiel d'apporter de nouvelles visions objectives ainsi que des critiques au groupe Lafarge Bouskoura au niveau d'un projet qui constitue un défi du service procédés. Le but étant de mener une étude détaillée quant à l'avancement du projet et ainsi optimiser les ressources de travail et d'améliorer les processus pour d'avantage d'efficacité et de performance.

Au terme de ce travail visant «L'optimisation du temps des purges pour la production des ciments spéciaux» au sein du Groupe Lafarge, les objectifs tracés dans notre plan de réalisations ont été atteints.

En effet, nous avons subdivisé le travail en trois grandes parties :

Dans la première partie nous avons pu optimiser le temps de réglage, « avant purge » en appliquant la méthode SMED qui nous a permise de réduire le temps de 52min à 12min seulement. En recommandant des solutions telles que les remises en état des vannes, procédures de gestion du remplissage Clinker.

Dans la deuxième partie, nous avons tout d'abord identifié et analyser les principales causes du retard des purges, puis proposé des recommandations afin d'optimiser le retard, grâce à une solution économique qui permet de gérer la production et de permettre la réduction du temps de purge de plus de 15 minutes.

Dans la troisième partie, nous avons pu voir qu'après les solutions et les recommandations d'optimisation, le retard du temps de purge permet de réduire les pertes de 3007524,78 DH à 1768910,06 DH ce qui représente 41.3% des pertes. De la même façon nous avons estimé le gain de productivité de « la minimisation du temps de purge hors incidents. »

Quant au gain, il est égal à la différence entre les pertes hors incidents et les pertes après solutions. Finalement ce qu'il en ressort c'est qu'à partir de la solution de minimisation du temps de purge par des prélèvements nous avons pu optimiser les pertes de 15, 3%.

Finalement, pour représenter en un seul point notre vision des choses et de synthétiser l'ensemble du travail accompli, notre recommandation principale et celle de faire en sorte de permettre au produit fini suite à sa purge, son basculement direct vers les silos du stockage sans quelconque arrêt du broyeur.

Référence Bibliographiques

[1] : Direction d'usine. "Rapport annuel – documents internes." *LAFARGE usine de Bouskoura*

[2] : Service BKs et Fab. "Procédures de démarrage et d'arrêt du broyeur Clinker BK4 – N° BK4-01. "*LAFARGE usine de Bouskoura(*2014)

[3] : Service Qualité et Laboratoire. "Historique des analyses de SO_3 et CaO_{libre}. "*LAFARGE usine de Bouskoura*

[4] : C. FABRE. "Notice d'instruction et de maintenance vanne – opercule – commande pneumatique." *société Marceau amalric SA(*2003)

[5] :. Norme Marocaine NM 10.1.004. "relative aux liants hydrauliques."

[6] :.Thierry LECONTE. "La pratique du SMED – Obtenir des gains importants avec le changement d'outillage rapide." *Groupe Eyrolles(*2008)

[7]: http:// www.lafarge.fr/09212004-publication_group-Principles_of_action-fr.pdf

Annexe

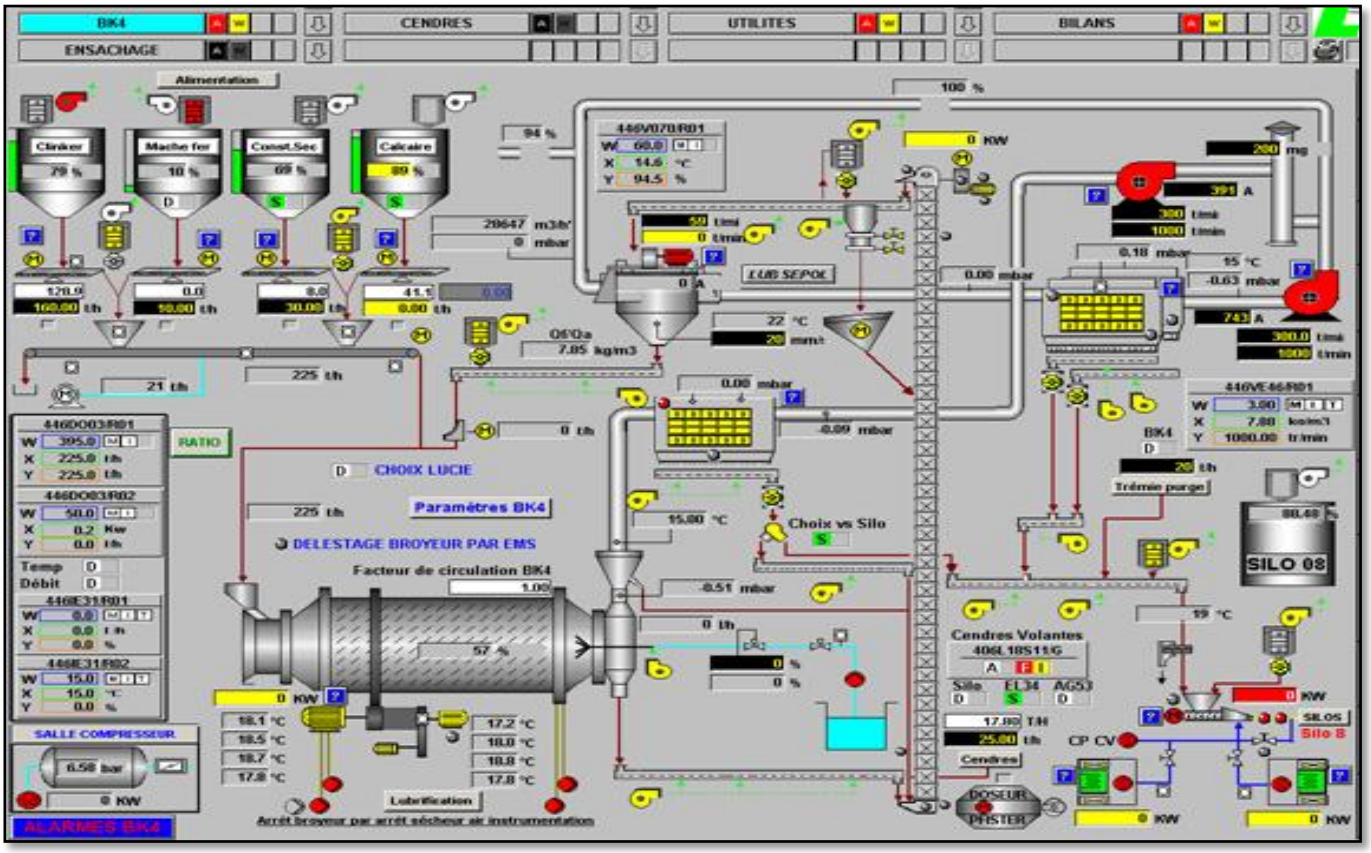
Annexe1 : Historique du temps de purge et temps de réglage

Purge				Date	Causes retard de TP	Causes retard de TR
Qualité	TR (min)	TP (min)	Débit			
55==>PM	15	180	129,858285	28/02/2016		Retard sur remplissage Clinker
55==>65	10	45	89,31581585	26/02/2016		
55==>PM	50	90	134,53845	24/02/2016	SO3 élevée démarrage retarde suite au déclenchement ventilateur tirage séparateur.	
PM==>65	100	145	85,5824555	24/02/2016	SO3 élevée + plusieurs arrêts doseur gypse (présence blocs)	Retard sur remplissage CK + défaut fermeture vanne vers tous les silos
55==>PM	45	45	134,9162482	20/02/2016		
55==>65	5	45	87,73039521	18/02/2016		
55==>65	25	125	85,75404524	15/02/2016	SO3 bas	Retard sur fermeture vanne vers tous les silos
55==>65	15	100	88,80025954	13/02/2016	défaut déclenchement ventilateur tirage séparateur + changement du personnel	
55==>65	45	55	86,95027526	10/02/2016		
55==>65	65	130	88,34274639	08/02/2016	SO3 bas + défaut fermeture vanne trémie purge	défaut fermeture VN vers silo 8 et remplissage trémie KK hall 2
55==>65	330	55	84,83968462	05/02/2016		intervention électrique sur démarreur broyeur
55==>65	35	215	95,96019455	31/01/2016	SSB très bas + SO3 bas	défaut fin de course vanne vers silo(3.4.5.6.7) +défaut fin de course vanne05
55==>65	10	55	93,19390392	28/01/2016		
55==>65	60	60	77,7331003	27/01/2016	SO3 élevée	
55==>65	35	105	69,8117879	25/01/2016	SO3 bas	Retard sur fermeture vanne vers tous les silos
55==>65	30	60	99,8710631	11/01/2016		Retard basculement suite défaut vanne silo purge et vanne vers 4, 5,6,7
55==>PM	90	70	118,9382521	05/01/2016 et 06/01/2016	extraction faible de la trémie purge	retarder pour remplissage trémie KK et sur défaut d'ouverture la vanne
55==>65	40	70	89,35557787	03/01/2016 et 04/01/206	niveau purge plein + purge sur silo3	
45==>PM	180	60	136,203327	02/01/2016		remplissage trémie KK
55 =>65	25	130	77,76146276	30/12/2015	Chaux libre doseur clinker élevée	Retard sur ouverture vanne silo purge
45 =>55		140		30/12/2015	Refus élevée.	
55 =>65	15	60	88,38879827	27/12/2015		Retard sur fermeture vannes

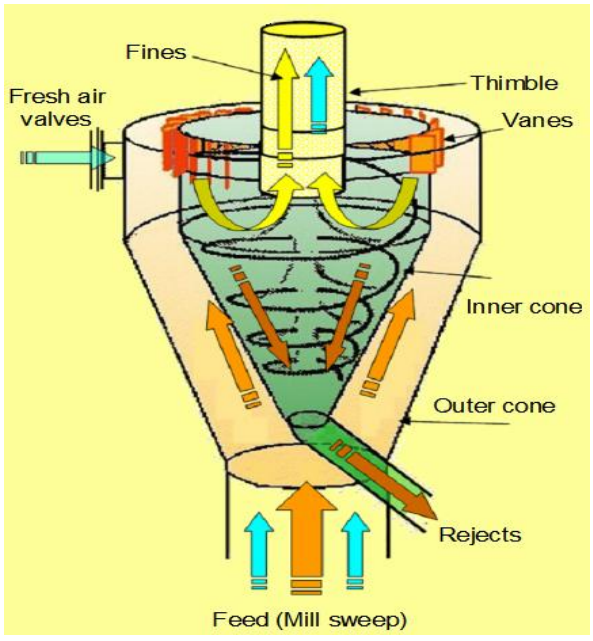
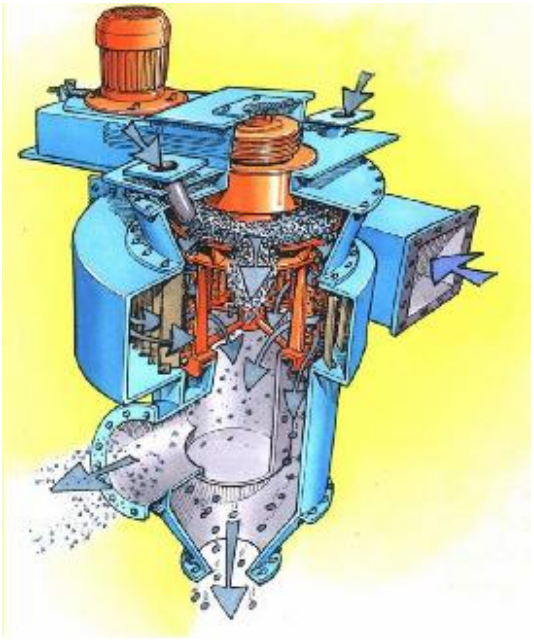
						vers silos 5/6 et 3/4/7
55 => PM	60	65	133,4784529	26/12/2015	retard sur défaut d'ouverture la vanne vers silo 5/6 (défaut répétitif)	retarder sur défaut de fermeture VN 03
55 =>65	355	60	87,77522146	24/12/2015		Retard sur coincement vanne vers silos 5/6 (intervention astreinte mécanique)
55 =>65	15	75	89,78843498	22/12/2015		Retard sur fermeture vanne vers silos 3/4/5/6/7
55 =>65	45	55	86,89606806	20/12/2015		retarder sur défaut de fermeture la vanne vers silo5/6
55 => 65	25	60	85,84903519	17/12/2015		Retard sur fermeture vanne vers silos 5/6
55 =>65	25	115	86,38303307	16/12/2015	SO_3 bas	Retard sur fermeture vanne vers silos 5/6
55 =>65	40	75	80,42465602	13/12/2015	Défaut pressostat circuit d'huile compresseur CP16	Retard sur fermeture vanne silo purge
55 => 65	70	65	85,75738447	12/12/2015	Action sur SO3	Retard sur fermeture vanne silos 5/6 + Téléphone hors service
55 => PM	55	105	134.566	06-12-2015	SO3 bas (2,35)	Retard sur fermeture vanne vers silos 5/6 + remplissage clinker
55==>65	25	130	84,83034437	27-11-2015	SO3 bas et Refus élevé	Retard sur fermeture vanne vers silos 5/6 (coincement)
55==>65	85	50	106,4244116	24-11-2015		retard suite défaut vanne vers silo 5 et 6 et vanne vers tous les silos
55==>65	70	55	89,93425397	21-11-2015		Retard sur fermeture vanne vers silo 5/6 et défaut électrique ventilateur filtre doseur clinker
55==>65	15	75	86,22304331	20-11-2015	CR doseur clinker; rupture bande (5 heures de travaux)	
65==>PM	40	55	116,038052	18-11-2015		retard suite température paliers élevés
Pm==>65	30	80	84,93367357	16-11-2015	chaux libre élevée 2,10	Défaut fermeture vanne vers silos 4/3/5/6/7
55==>65	60	50	90,56548346	13-11-2015		température palier entrée haute
55==>PM	60	50	158,3993912	12-11-2015		Remplissage clinker
55==>65	70	204	89,10553693	09-11-2015	SO_3élevée	

Annexe2 : Spécifications techniques de l'atelier BK4

1) Flow sheet de l'atelier BK4

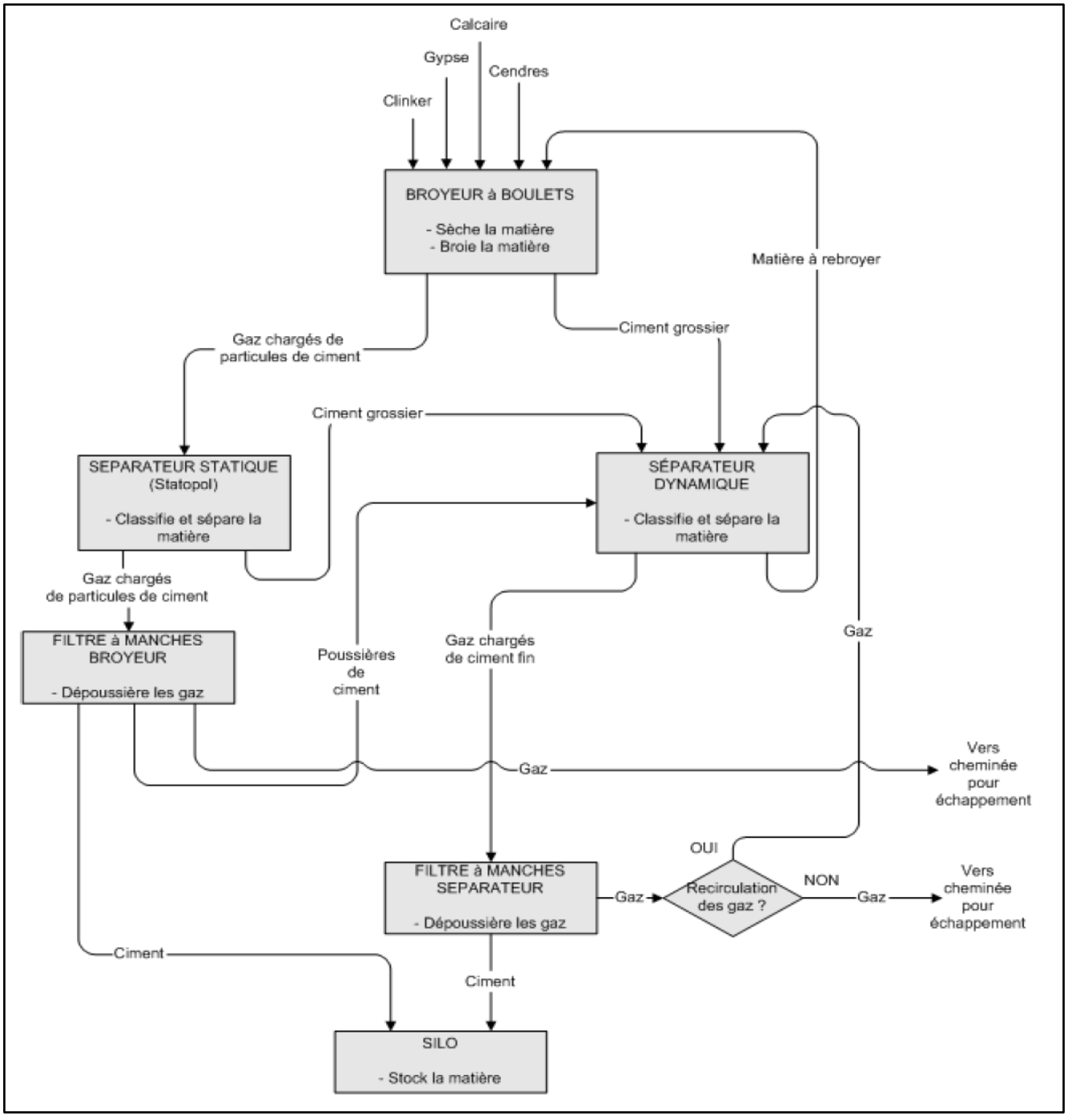


2) Les composantes de l'atelier BK4

Séparateur statique	Séparateur dynamique
	

les boulets des deux chambres	
Boulets de C1	Boulets de C2

3) Principe de fonctionnement de BK4



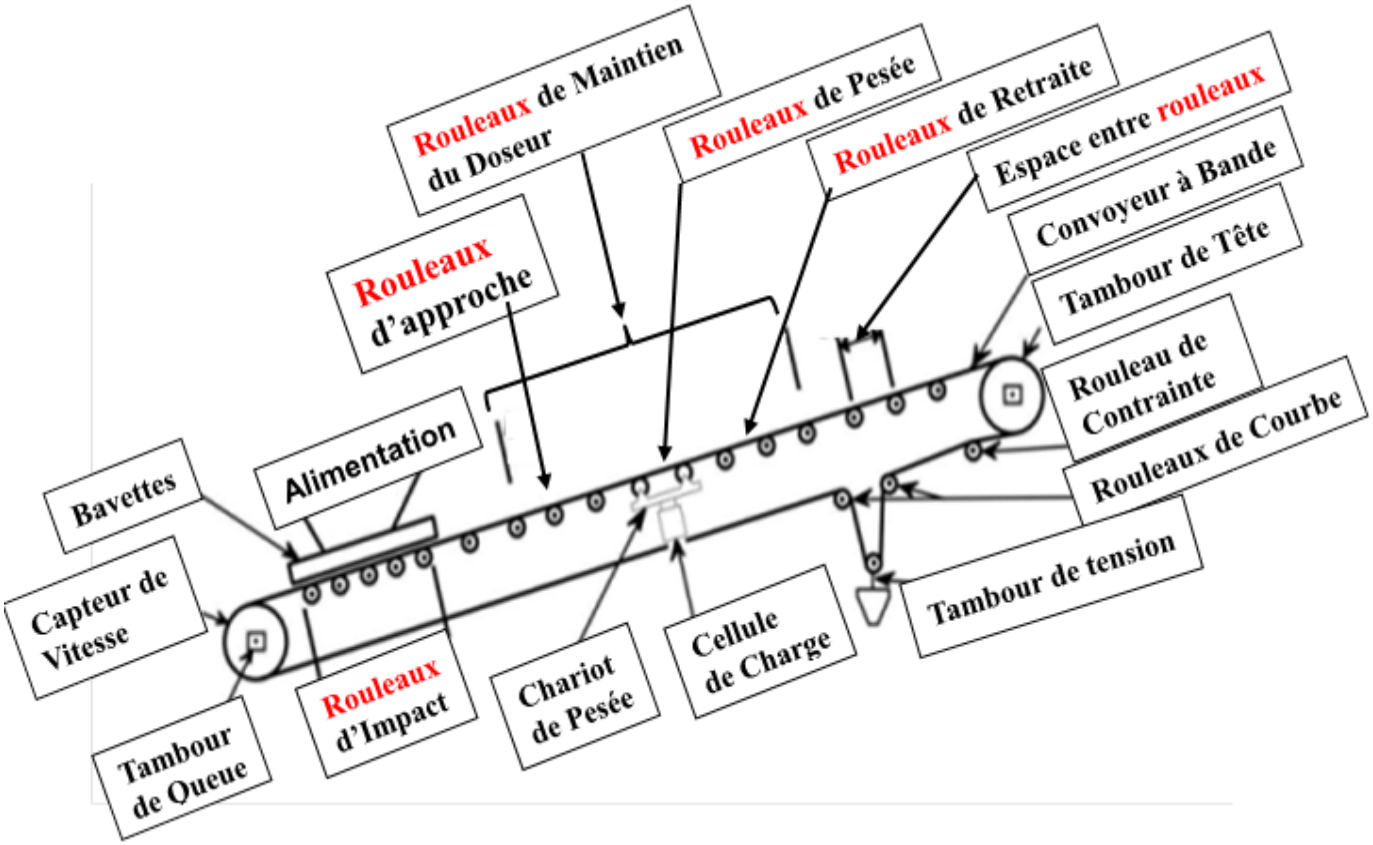
Annexe 3 : Programme de changement de la consigne sur Visuel Basic

```
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Windows.Forms;
namespace Nouaamane
{
publicpartialclassForm1 : Form
    {
public Form1()
        {
            InitializeComponent();
        }
privatevoid Form1_Load(object sender, EventArgs e)
        {

        }
privatevoid button1_Click(object sender, EventArgs e)
        {

string item = comboBox1.Text;
if (item == "CPA65")
            {
                textBox1.Text = "[3,55 ; 3,75]";
                textBox2.Text = "[2,5 ; 3]";
                textBox3.Text = "[0]";
            }
elseif (item == "CPJ55 PM")
            {
                textBox1.Text = "[2,5 ; 2,7]";
                textBox2.Text = "[15,5 ; 18,5]";
                textBox3.Text = "[0]";
            }
elseif (item == "CPJ55")
            {
                textBox1.Text = "[2,7 ; 2,9]";
                textBox2.Text = "[16,5 ; 17,5]";
                textBox3.Text = "[10 ; 20]";
            }
else
{
MessageBox.Show("Choisissez la qualité svp");
}
        }
privatevoid button2_Click(object sender, EventArgs e)
        {
if (textBox4.Text == "" || textBox5.Text == "" || textBox6.Text == "" ||
textBox7.Text == "" || textBox8.Text == "")
{
MessageBox.Show("un Champs est vide");
}
try
            {
string item = this.comboBox1.GetItemText(this.comboBox1.SelectedItem);
double x4 = double.Parse(textBox4.Text);
double x5 = double.Parse(textBox5.Text);
double x6 = double.Parse(textBox6.Text);
double x8 = double.Parse(textBox8.Text);
double x7 = double.Parse(textBox7.Text);
double V1 = (100 * (x4 - ((x8 * (100 - x5)) / 100))) / (x7 - x8);
double V2 = (100 * (x4 - ((x7 * (100 - x5)) / 100))) / (x8 - x7);
if (item == "CPJ55")
                {
```

Annexe4 : Les composants du doseur



Annexe 5: Les essais de conformité des doseurs

LAFARGE CIMENTS Usine de Bouskoura	**MODE OPERATOIRE ETALONNAGE DOSEURS PESEE PHYSIQUE**	Marque : **SCHENCK**
		Type : HF9
		Page : 1/1

ETALONNAGE AVEC MATIERE :

- Avant de remplir le camion, il faut tout d'abord mesurer sa tare sur une bascule externe (conforme)
- Préparer le by passe matière vers camion
- Mettre l'installation en local
- Appuyer sur la touche F pour accéder au mot de passe et affecter la valeur 1000
- Appuyer 2 secondes sur la touche 000
- Relever les valeurs des totalisateurs 1 et 2 puis remettre le totalisateur 1 à zéro en appuyant sur la touche 0.
- Démarrer le transporteur d'alimentation
- Introduire la consigne du fonctionnement désiré au doseur qui doit être généralement supérieure à 50 % du débit nominal
- Actionné simultanément le chronomètre et la MARCHE du doseur
- Une fois la durée de pesée est écoulée, arrêter le doseur et le chronomètre.
- Peser le camion et relever le poids net du produit.
- Calculer le coefficient de correction du débit :
  Coef. . de correction(4054) = ancienne valeur du (4054) * écart poids
  Avec : écart poids = poids pesé / poids HF9
- Introduire ce nouveau coefficient au paramètre (4054) pour corriger l'erreur en procèdent comme suit :

  - ✓ Sélectionner ETALONNAGE par les touches (+) et (-) dans le menu et appuyer sur ENTER
  - ✓ Sélectionner par (+) et (-) débit de correction (4054) et appuyer sur ENTER
  - ✓ Affecter le coefficient calculé à ce dernier paramètre.
  - ✓ Refaire un autre essai si nécessaire pour s'assurer de la correction
  - ✓ Remettre le mot de passe à 0 pour mémoriser l'étalonnage
  - ✓ Enlevé la clé.
  - ✓ Enregistrer les valeurs dans le registre d'étalonnage

Etalonnage doseurs Schenck

Conditions préliminaires :

1) Absence de matière sur le tapis du doseur.
2) Fermeture des barreaux.
3) Passer en mode operateur « OP » :
   - ✓ Appuyer sur F2 (Menu)
   - ✓ Sous « function » chercher « START KEYB. MODE »
   - ✓ Appuyer sur « enter »
4) Passer en mode volumétrique :
   - ✓ Appuyer sur F2 (Menu)
   - ✓ Sous « function » chercher « volum. Mode »
   - ✓ Appuyer sur « enter »
5) Entrer une consigne :
   - ✓ Appuyer sur F1 (Edit)
   - ✓ Entrer la valeur de la consigne du débit :

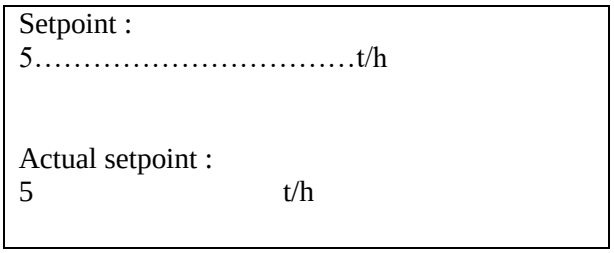
     « De préférence qu'elle soit la pleine échelle »

     Pyrrhotine : 5 T/h

     Bauxite : 10 T/h

     H.T. : 50 T/h

     Mélange : 300



6) Démarrer le doseur :
   - ✓ Appuyer sur F5 « ON »
   - ✓ Appuyer sur F2 (Menu)
   - ✓ Sous « function » chercher « calib. Function »

Tarage :

REDACTEUR	VERIFICATEUR	APPROBATEUR

- ✓ Entrer le mot de passe « ESEL »
- ✓ Chercher alors « TW : tare »
- ✓ Appuyer sur « Enter »

Déviation 0.09 % Tare : 25.08 %

Avec :
Déviation : différence par rapport au dernière étalonnage réalisé
Tare : la nouvelle valeur de la tare.

On appui alors sur « enter » pour quitter le programme du tarage.

Tarage terminé

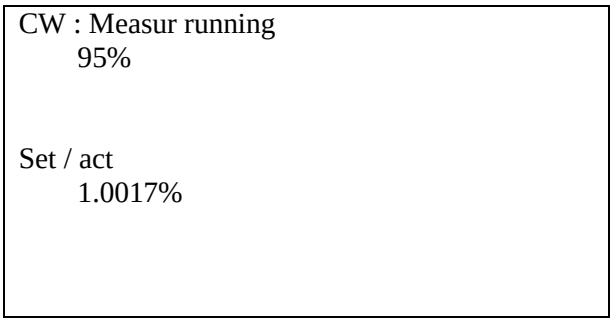
Etalonnage

Si ce n'est pas fait rentrer la valeur des poids étalons à utiliser dans le paramètre P09.03

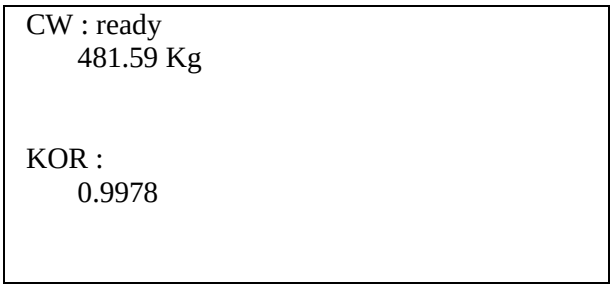
« P09.03 ⟵ 40 Kg »

- ✓ Mettre les poids étalon sur les pesons
- ✓ Appuyer sur F2 (Menu)
- ✓ Sous « function » chercher « calib. Function » et appuyer sur « enter »
- ✓ Entrer le mot de passe « ESEL »
- ✓ Chercher « CW : Weight check » et appuyer sur « enter »

REDACTEUR	VERIFICATEUR	APPROBATEUR



CW : le temps nécessaire pour un tour de bande
Set /act : le facteur de correction
Une fois le temps pour faire un tour de bande s'écoule : l'écran suivant s'affiche :



Avec :
CW : le nombre de Kg qui a passé pendant l'étalonnage
KOR : le nouveau facteur de correction

Dans le paramètre P09.01, entrer le nouveau KOR multiplier par l'ancien KOR celui qui existait sur le P09.01 :

P09.01 NV KOR* ⟵ AN KOR

REDACTEUR	VERIFICATEUR	APPROBATEUR

Annexe 6 : Rapport des prélèvements du temps de purge optimal

LAFARGE CIMENTS
Usine de Bouskoura
Sce Qualité Environnement

Rapport D'essai Analyse Stabilité Broyeur BK4

Référence de l'essai :

Demandeur :	
Essai de:	
Date et Lieu de prélèvement:	28.03.2016
Prélèvement effectué par :	
Date de l'essai:	

Moyens pour réalisation de l'essai :

I. Méthodes Utilisées:

Blene métre
Analyse FX par pastille
Alpine

Résultats de l'essai:

Ech.1	
12H50	
SiO2	20,32
AL2O3	7,17
Fe2O3	4,03
CaO	57,01
MgO	0,91
SO3	2,78
K2O	1,01
Na2O	0,31
P2O5	0,94
Mv	2,99
SSB	4447
CO2	19
CaOL	1,35

Ech.2	
12H55	
SiO2	20,95
AL2O3	6,32
Fe2O3	3,85
CaO	59,54
MgO	0,95
SO3	3,25
K2O	1,03
Na2O	0,34
P2O5	0,88
Mv	3,03
SSB	4578
CO2	19
CaOL	1,35

Ech.3	
13H00	
SiO2	20,95
AL2O3	6,32
Fe2O3	3,86
CaO	59,55
MgO	0,94
SO3	3,26
K2O	1,03
Na2O	0,34
P2O5	0,88
Mv	3,06
SSB	4460
CO2	11
CaOL	1,32

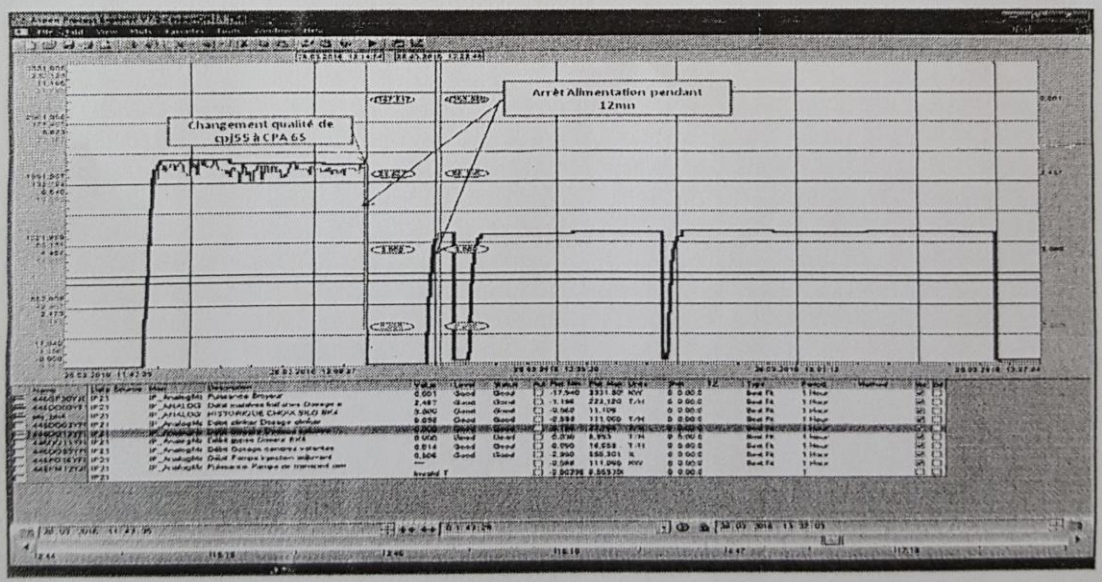
Ech.4	
13H05	
SiO2	20,58
AL2O3	5,76
Fe2O3	3,76
CaO	60,75
MgO	0,94
SO3	3,53
K2O	1,05
Na2O	0,34
P2O5	0,83
Mv	3,1
SSB	4361
CO2	7
CaOL	1,33

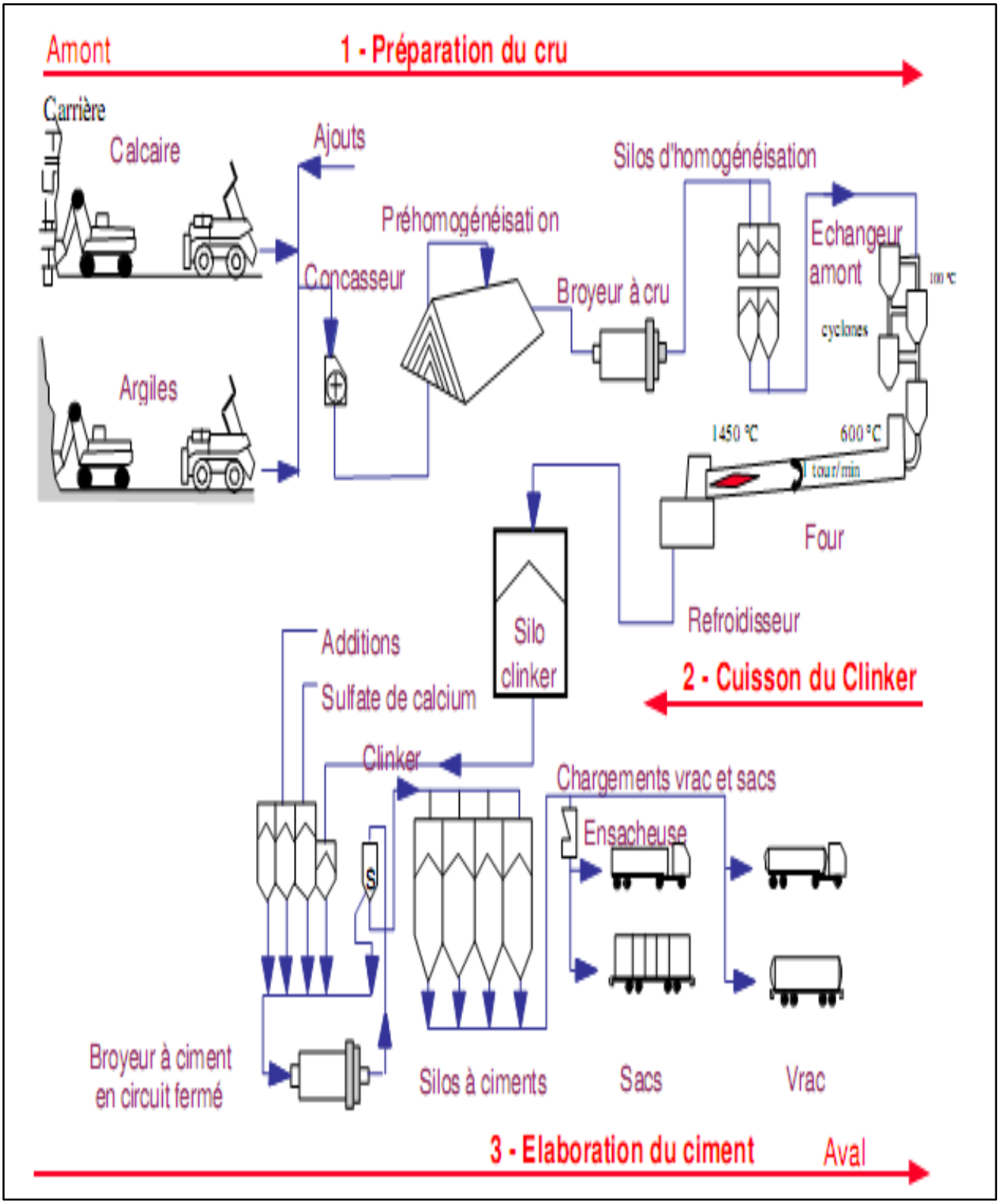
Ech.5	
13H10	
SiO2	20,78
AL2O3	5,66
Fe2O3	3,7
CaO	61,04
MgO	0,95
SO3	3,72
K2O	1,05
Na2O	0,35
P2O5	0,82
Mv	3,11
SSB	4381
CO2	4
CaOL	1,35

Ech.6	
13H15	
SiO2	20,58
AL2O3	5,46
Fe2O3	3,64
CaO	61,32
MgO	0,95
SO3	3,77
K2O	1,05
Na2O	0,34
P2O5	0,8
Mv	3,12
SSB	4276
CO2	4
CaOL	1,56

NB
** Changement Qualité de CPJ55 a CPA 65 est enregestré à12h15mn dans méme silo (silo3) sans arrét de broyeur .*

Voir la courbe



Rédiger par :	Approuver par :	du chef du Sce:	Diffusion :
A.BAJI Visa: Date: 28.03.2016	Visa: Date:		

Annexe 7 : Flowsheet du procédé général