



Université Sidi Mohamed Ben Abdellah
Faculté des Sciences et Techniques de Fès
Département de Génie Mécanique



**Mémoire de projet de fin d'études pour l'obtention de la
Licence Sciences et Techniques
Spécialité : Conception et Analyse Mécanique**

Thème :

**« ETUDE ET ANALYSE DES FUITES D'HUILE DU PALIER
AMONT DU FOUR ROTATIF »**

Au sein de la société LafargeHolcim -FES

Présenté par :

- Mlle BEN JEDDI LAMYAE
- Mlle BARCHICHOU CHAIMAE

Encadré par :

- Mr. MENKAL DRISS (LAFARGEHOLCIM)
- Pr. Mr. A. EL BARKANY (FSTF)

Soutenu le 10/06/2017 devant le jury :

- Pr. Mr. A. EL BARKANY (FSTF)
- Pr. Mr. A. EL KHALFI (FSTF)

Année Universitaire : 2017-2018

DEDICACES

A mes chers parents, Aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour éternel et ma considération pour les sacrifices que vous avez consenti pour mon instruction et mon bien être. Je vous remercie pour tout le soutien et l'amour que vous me portez depuis mon enfance et j'espère que votre bénédiction m'accompagne toujours. Que ce modeste travail soit l'exaucement de vos vœux tant formulés, le fruit de vos innombrables sacrifices, bien que je ne vous en acquitte jamais assez.

A mes chers frères Salah Ed Dine et Marwan et ma chère sœur Wiame, ma famille, mes chers amis Salsabil El Hajjaji, Fouzia El Hail, Chaymae Barchichou, Kenza Berrada, Asmae Bouchareb, Fadwa Benjelloun, Mimi Houssame, Younes Nifaoui, Bouchmi Amine, et mon cher professeur Mohamed Yassine Laabid, Veuillez trouver dans ce modeste travail l'expression de mon affection.

Ben Jeddi Lamya

DEDICACES

Je dédie ce mémoire de fin d'étude

A

Ma mère :

Vous êtes la lumière de mes jours, la flamme de mon cœur, je t'adore maman.

Mon père :

Vous avez tant sacrifié pour mon bonheur, mon bien-être et ma réussite sans rien attendre en retour, j'espère que vous trouvez dans ce modeste travail l'expression de mon profond amour.

Mes frères et sœurs qui ont été toujours présent pour moi, je vous souhaite une vie pleine de succès avec beaucoup de bonheur et de joie.

Toute ma famille que dieu vous protège et vous offre santé et longue vie.

Mes chères amies Kenza Berrada, Asmae Bouchareb, Fadwa Benjelloun, Lamyae Ben Jeddi Veuillez trouver dans ce modeste travail l'expression de mon affection, je vous aime.

Mon cher ami Khalid hounaoui, merci d'avoir été toujours là pour moi.

A vous, qui êtes toujours là pour m'aider, ce travail est pour vous remercier d'avoir me conseiller et m'encourager chaque jour pour avancer.

BARCHICHOU CHAIMAE

REMERCIEMENTS

Personne ne peut nier l'importance des stages dans l'affinement des connaissances théoriques et ceci en donnant à l'étudiant l'occasion d'avoir une vision claire et nette sur le monde professionnel...

Après ALLAH ...On tient à remercier vivement notre encadrant de la FST Mr. A. ELBARKANY d'avoir mis à notre disposition ses connaissances, ses expériences, et ses précieux conseils.

Encore une fois merci bien Mr A. EL BARKANY pour vos aides, vos conseils et vos réponses précises.

On tient à exprimer nos gratitudeles les plus profondes à notre encadrant Mr. DRISS MENKAL qui n'a pas cessé de nous orienter et nous aider dans notre travail durant toute la période de stage.

Par la même occasion, nos remerciements vont aussi à Mr OMAR ERRABI, Mr NOURDINE BOURAZZAK, Mr YOUSSEF HATACH, Mr SAID MOUTAKI pour la disponibilité dont ils ont fait preuve durant le déroulement du projet.

Ma gratitude s'adresse aussi à l'ensemble du personnel de LafargeHolcim (Ras el ma Fès) qui nous ont apportés leurs aides tout au long de ce stage. Grace à leur disponibilité et leur gentillesse, on a bénéficié de tous les éléments nécessaires au bon déroulement de notre stage.

On tient à remercier nos familles pour leur encouragement, leur patience, et leur amour.

Et finalement on exprime nos vifs remerciements à toute personne ayant participé de près ou de loin au bon déroulement de ce stage et à la réalisation de ce modeste travail.

SOMMAIRE

DEDICACES	2
DEDICACES	3
REMERCIEMENTS.....	4
SOMMAIRE.....	5
LISTE DES FIGURES.....	7
LISTE DES TABLEAUX	9
INTRODUCTION GENERALE	10
CHAPITRE 1 : Présentation de la société d'accueil	11
I. Présentation et historique de HOLCIM MAROC (avant la fusion)	12
1. Présentation de HOLCIM MAROC.....	12
2. Historique de HOLCIM MAROC.....	12
3. Situation géographique.....	14
4. Implantations des usines	14
II. Présentation et historique de LAFARGE MAROC (avant la fusion)	14
1. Présentation de LAFARGE MAROC	14
2. Historique de LAFARGE MAROC	14
III. Présentation générale de LafargeHolcim usine RAS LMA FES.....	16
1. Fiche technique de l'entreprise	16
2. Organigramme de la société	16
3. Les différents services de LafargeHolcim Ras El Ma	17
IV. Généralités sur le ciment.....	18
1. Définition	18
2. Matières premières du ciment	18
3. Caractéristiques et classifications du ciment.....	19
V. Processus de fabrication du ciment.....	19
1. Préparation des matières première.....	21
2. Homogénéisation et broyage.....	21
3. Production de clinker	22
4. Mouture du ciment et expédition.....	23
5. Ensachage et expédition	23
6. La salle de contrôle	24
VI. Problématique	24
VII. Elaboration du cahier des charges.....	24
VIII. Conclusion.....	24

CHAPITRE 2 : Description du four de cuisson.....	25
I. Le four rotatif	27
1. Définition	27
2. Fonctionnement.....	27
3. Conception	29
4. Description des composants du four rotatif	32
5. Système réducteur de la vitesse de four rotatif	36
6. Transmission pignon/couronne	37
7. Le système MKM (Mechanical Kiln Monitoring System)	38
II. Conclusion.....	39
CHAPITRE 3 : Etude, analyse et amélioration d'étanchéité du palier amont	40
I. Introduction	41
II. L'étanchéité.....	41
III. Les paliers.....	41
1. Les avantages du palier à coussinet	42
2. Le dessin technique d'un palier	43
3. Description des composants du palier à coussinet.....	44
4. Système de lubrification	46
5. Maintenance des paliers lisses Polysius.....	47
IV. Etude et analyse de la défaillance	49
1. Description générale du phénomène de la fuite d'huile du palier amont du four rotatif.....	50
2. Les raisons pour lesquelles le phénomène est étudié	50
3. Identification du problème	51
4. Comprendre le fonctionnement normal du système	52
5. Fixer les objectifs	53
6. Les causes racines	53
7. Analyse des causes racines	55
8. Résolution du problème	59
Conclusion générale.....	64
BIBLIOGRAPHIE	65

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Organigramme de LafargeHolcim Fès.....	17
Figure 2 : Schéma d'obtention du ciment.....	19
Figure 3: procédés de fabrication du ciment	20
Figure 4: : L'expédition.....	23
Figure 5 : La salle de contrôle	24
Figure 6: Circuit de cuisson.....	26
Figure 7 : Le four rotatif	27
Figure 8: La conception du four rotatif [1].....	29
Figure 9: Les composants du four rotatif.....	32
Figure 10: Le bandage	33
Figure 11: La virole	34
Figure 12 : Le galet.....	34
Figure 13: Schéma du joint amont/aval [1]	35
Figure 14 : Les ventilateurs	36
Figure 15 : Système réducteur du four	37
Figure 16 : La centrale hydraulique.....	38
Figure 17 : Le système MKM.....	39
Figure 18: Le Palier à coussinet	42
Figure 19: Le dessin du palier à coussinet.....	43
Figure 20 : Les différents composants du palier.....	44
Figure 21 : Le demi coussinet.....	45
Figure 22 : Le presse-étoupe	46
Figure 23 : les joints d'étanchéité.....	46
Figure 24: La pompe hydraulique	47
Figure 25: Le type d'huile utilisé	47
Figure 26 : système de braquage	47
Figure 27 : la bride et les godets.....	48
Figure 28: Démontage pour inspection coussinet.....	48
Figure 29 : Portée incorrecte arbre sur coussinet	49
Figure 30: Portée correcte 45° à 60° centrée	49
Figure 31 : La fuite d'huile du palier.....	50
Figure 32 : appareil de mesure de vibration	55
Figure 33: mesure d'ovalité avant et après bandage pour la première station	56
Figure 34: mesure d'ovalité avant et après bandage pour la deuxième station	57

Figure 35: mesure d'ovalité avant et après bandage pour la troisième station.....	57
Figure 36 : Capteur de l'ovalisation.....	58
Figure 37 : Emplacement de l'outil.....	58
Figure 38 : Récupération d'huile.....	62
Figure 39 : Conception du bac.....	63

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Historique générale de HOLCIM-MAROC	12
Tableau 2: Historique de Lafarge Maroc.....	15
Tableau 3: Fiche technique de l'entreprise.....	16
Tableau 4 : Les services de LafargeHolcim	17
Tableau 5 : Nomenclature.....	29
Tableau 6 : La fonction principale et les fonctions contraintes	30
Tableau 7: Cahier des charges fonctionnelles	30
Tableau 8 :Les composants du système réducteur du four rotatif	37
Tableau 9 : La nomenclature du palier	44
Tableau 10 : Les caractéristiques d'huile utilisée	47
Tableau 11 : Les caractéristique du coussinet [5].....	52
Tableau 12 : La classe des boulons [6].....	52
Tableau 13 : Gamme de démontage du galet	59

INTRODUCTION GENERALE

C'est en 1899 que Polysius mit en route le premier four rotatif industriel en Europe. Depuis l'introduction du four rotatif, Polysius a installé plus de 1500 lignes de production à travers le monde. Les lignes de cuisson Polysius trouvent leur application dans les industries du ciment et des réfractaires, l'industrie chimique, l'industrie sidérurgique, et pour la préparation des minerais. Grâce à l'optimisation globale de l'installation de cuisson, les fours rotatifs sont aujourd'hui – malgré leurs débits souvent importants – beaucoup plus compacts, ce qui diminue l'investissement. Les dimensions strictement nécessaires du four sont calculées en fonction des matières premières et des combustibles utilisés, de la configuration de l'atelier, de la qualité souhaitée du clinker et du niveau de production. La géométrie optimale du four est ainsi déterminée en toute fiabilité à l'aide d'essais de laboratoire, simulations d'ordinateur et calculs techniques.

Le four rotatif est un cylindre en acier supporté par trois stations de roulement dont la station amont est motrice. La virole du four s'appuie par l'intermédiaire de bandages crantés sur les galets, qui en s'alignant automatiquement et parfaitement sur les bandages, assurent une portée optimale. Le harnais conventionnel couronne dentée/pignon n'est plus nécessaire. Le four rotatif intègre aussi les joints d'étanchéité pneumatiques d'entrée et de sortie du four, ainsi que l'auge d'entrée refroidie à l'air. Grâce au refroidisseur.

Chaque station du four rotatif est appuyée sur 2 galets et chaque galet est guidé en rotation par 2 palier, la station 3 a subi une fuite d'huile au niveau du palier amont. Dans ce cadre que s'inscrit notre projet de fin d'études, dans lequel notre objectif est d'éliminer ou réduire la fuite d'huile de ce palier.

Notre travail s'est articulé autour de trois chapitres principaux. Le premier chapitre est consacré à la présentation du contexte général du projet comporte une présentation de la société LafargeHolcim avant la fusion et après la fusion puis on va citer la procédure de fabrication du ciment commençons par le concasseur jusqu'à l'expédition. Suivi par une description technique du four rotatif de cuisson et leurs composants dans le deuxième chapitre. Le troisième chapitre met le projet dans son contexte par la présentation de la défaillance et la détermination des causes racines de cette dernière qui est la fuite d'huile du palier amont du four rotatif.

Enfin, on clôture ce travail par une conclusion générale.



***CHAPITRE 1 : Présentation de la
société d'accueil***

I. Présentation et historique de HOLCIM MAROC (avant la fusion)

1. Présentation de HOLCIM MAROC

HOLCIM est un groupe suisse fondée en 1912, il occupe la position de leader dans les produits des matériaux de construction pour un usage plus varié. Présent dans 70 pays à travers le monde, le groupe est actif dans les secteurs du ciment, des granulats, tels que le sable et graviers, ainsi que du béton, il compte 90000 employés à travers le monde. HOLCIM (Maroc) HOL : rappelle les origines du groupe (le village HOLDERBANK) et CIM : symbolise l'activité du ciment, a été créé en 1976 par l'office du développement industriel (ODI) avec le concours de la banque Islamique sous le nom de CIOR (les ciments de l'oriental). Sa première cimenterie a été construite à OUJDA et elle a démarré en 1979 avec une capacité de production de 12 millions de tonnes par ans. En 1993, HOLCIM (Maroc) a mis en services sa deuxième cimenterie à Ras El Ma dans la région de Fès, lieu de mon stage, avec une capacité de production 60000T/ans pour répondre aux besoins croissants du marché national. En outre, deux centres de broyage et de distribution ont été ouverts à Fès et à Casablanca dont la capacité totale est de 800000T/ans.

Le 15 avril 2002 CIOR devient HOLCIM (Maroc), ce changement affirme son apparence au groupe International HOLCIM, Groupe suisse leader dans le domaine de fabrication du ciment, du béton et du granulat. la nouvelle vision adoptée par la société permet de tenir ses engagements vis-à-vis de ses clients, de développer le système de formation de ses collaborations et de prendre en considération les problèmes liés à l'environnement [1].

2. Historique de HOLCIM MAROC

Les événements clés ayant marqué l'histoire de HOLCIM(MAROC) depuis sa création sont les suivants :

Tableau 1: Historique générale de HOLCIM-MAROC

1976	Création par l'Office de Développement Industriel (ODI) de la société CIOR, pour objet la réalisation d'une cimenterie dans la région d'Oujda.
1978	Mise en service de l'usine d'Oujda qui démarre avec une capacité de production de 1,2 millions de tonnes par an.
1979	Installation à Fès Doukkarat d'un centre d'ensachage de distribution d'une capacité de 500000 tonnes par an, transformé en centre de broyage en clinker en 1989.
1982	Mise en service du centre d'ensachage et de distribution d'une capacité de 350000 tonnes.
1985	Création de la société Ciments Blanc du Maroc à Casablanca.
1986	Création de la filiale Andira, dont l'activité consiste en la location du siège de HOLCIM(Maroc).
1990	Installation d'un centre de broyage à Fès RAS LMA d'une capacité de 350000 tonnes par an. Création de la société HOLCIM Béton, afin de porter le développement de l'activité BPE de HOLCIM(Maroc).
1992	Changement de dénomination de la société CIOR qui devient Ciments de l'oriental.
1993	Privatisation par voie de cession de 51% de la capitale sociale de la société Ciments de l'oriental au groupe suisse HOLCIM Ltd. et introduction en bourse. Mise en service d'une ligne complète de production de clinker à Fès RAS LMA.
1997	Installation d'une centrale à béton à Rabat et à Casablanca.
1999	Construction d'une seconde centrale à béton à Casablanca et mise en service d'une

	centrale de broyage et d'ensachage.
2000	Mise en service des installations de valorisation de combustibles des substitutions à l'usine de Fès RAS LMA, d'une troisième centrale à béton à Casablanca et d'une autre à Nador.
2001	Certification ISO 9001 et ISO 14001 de la cimenterie de Fès.
2002	Changement de l'identité visuelle : la société Ciment de l'orientale devient HOLCIM(Maroc). Absorption par HOLCIM(Maroc) des sociétés ATLACIM et la société HOLCIM.
2004	Extension de la capacité de broyage stockage du ciment à Fès RAS LMA. Acquisition de 51% de la capitale de la société ASMENT OULED ZIANE qui devient HOLCIM AOZ, la société chargée d'exploitation la cimenterie de Settat. HOLCIM(Maroc) entend à travers cette opération disposer d'une capacité de production compétitive afin de consolider sa position sur le marché du centre-ouest du Maroc. Fermeture du centre de broyage de DOKKARAT en raison du surcout qu'il génèrait du fait de son éloignement de la cimenterie de Fès Ras El Ma.
2005	Mise en service du centre d'ensachage et de distribution de Settat, comme première étape du processus de réalisation graduelle d'une cimenterie.
2006	Extension du centre de broyage de Nador (500 000 tonnes de Clinker) Création de la filiale ECOVAL, spécialisée dans le traitement des déchets industriel. Mise en service du broyage de Settat.
2007	Entrée en production de l'usine de Settat avec une capacité de production 1,7 millions de tonnes de ciments. Création de la société (Promotion H.A.S), spécialisée dans les opérations immobilières afin de promouvoir la construction durable avec des matériaux innovants, dans le cadre d'un partenariat avec des opérateurs spécialisés.
2008	Lancement du projet de doublement de l'usine de Fès pour une capacité totale de 1.2 Mt à horizon 2012. Lancement d'une émission obligatoire de 1.5 milliards de Dirhams. Certification ISO9001 et ISO 14001 du centre de Nador.
2009	Démarrage de la carrière de Skhirat qui permet de stimuler le volume des ventes de granulats (1160KT en 2009 vs.653KT en 2008). Création du premier réseau de distribution des matériaux de construction au Maroc : BATIPRO Distribution avec un réseau de plus de 100 franchisés travers le Maroc. Mise en service d'une station de traitement des déchets liquides dans l'unité de traitement de déchets industriels ECOVAL. Signature d'une convention avec le Groupe AL OMRANE pour la réalisation d'une opération de 1000 logements BOUZNKA et BENSLIMANE dont 400 logements à 140000 MAD.
2010	Certification ISO 9001 et ISO 14001 du centre de distribution de Casablanca, de la cimenterie de Settat et de la plateforme de traitement de déchets d'Ecoval à TL GARA. Recrutement de 70 nouveaux franchisés par BATIPRO dont le réseau atteint 170 points de vente à fin 2010.
2011	Implémentation d'une nouvelle organisation commerciale.
2012	Mise en service de la nouvelle capacité de production de l'usine de Fès. Le réseau de BATIPRO atteint les 215 franchisés à fin 2012.
2013	Mise en arrêt d'une de deux lignes de cuisson de l'usine d'Oujda en mai 2013 en raison d'un ralentissement de la demande au niveau national.

3. Situation géographique

La cimenterie de Ras El MA est située à 20km de l'ouest de la ville de FES à proximité de l'autoroute FES-CASABLANCA.

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

- La disponibilité des matières premières en quantité et qualité.
- La possibilité d'alimentation en eau et en énergie électrique.

La qualité des terrains de point de vue fondation et écoulement de la production et l'approvisionnement de la cimenterie.

4. Implantations des usines

Les usines HOLCIM (Maroc) sont répartis comme suit :

- **OUJDA** : cimenterie intégrée créée en 1979 et produit 1 500 000t/an.
- **FES** : usine de production de ciment à RAS EL MA réalisent d'excellents résultats en matière de productivité. Elle est automatisée grâce à un laboratoire de contrôle automatique. Centre de broyage et d'ensachage FES est approvisionné en clinker depuis l'usine de RAS EL MA.
- **CASABLANCA** : entre d'ensachage. Il reçoit du ciment par voie ferrée et assure sa distribution sur la zone Rabat -Casablanca.
- **NADOR** : un centre de broyage et d'ensachage qui utilise un nouveau procédé de fabrication appelé broyage séparé. Les produits fabriqués sont les ciments broyés à ajout de pouzzolane CPJ35.
- **BENSLIMANE** : usine avec une carrière située sur les gisements calcaires de l'oued CHERRAT, à proximité des marchés de Rabat et de Casablanca.

II. Présentation et historique de LAFARGE MAROC (avant la fusion)

1. Présentation de LAFARGE MAROC

LAFARGE Maroc, entreprise leader des matériaux de construction, s'organise autour d'une vision partagée par l'ensemble des collaborateurs sur une ambition commune avec la volonté d'atteindre l'excellence. Ainsi, en termes de maîtrise technique de la qualité des produits du ciment, l'usine de Meknès veille à tous les niveaux de la ligne de production sur la constitution du ciment et procède à des ajouts correctifs pour garantir la qualité requise par le client.

2. Historique de LAFARGE MAROC

Tableau 2: Historique de Lafarge Maroc

1928	Le 8 décembre est constituée La Société Marocaine des Ciments Lafarge.
1929	Lafarge passe un accord d'association avec Chaux et Ciments du Maroc, installée au Maroc depuis 1913. Au terme de négociations longues et ardues, menées par Charles Daher, la Société Marocaine des Ciments Lafarge détient 27 % du capital.
1930	Démarrage du premier four rotatif au Maroc (Capacité 120.000 tonnes).
1934	Installation d'un deuxième four rotatif à l'usine de Roches Noires.
1948	Mise en service d'un troisième four
1950	Création de la Société des Ciments Artificiels de Meknès
1953	Démarrage de la cimenterie, à Meknès
1955	Mise en service du quatrième four
1968	Lafarge Maroc, société de droit marocain dotée d'un capital de 100 000 DH, est constituée. Chaux et Ciments du Maroc en est le principal actionnaire.
1971	Augmentation du capital de Lafarge Maroc à 44,2 MDh. Chaux et Ciments du Maroc y participe, à hauteur de 22 Millions par apport de son usine des Roches Noires. Des investisseurs institutionnels marocains participent à l'augmentation de capital par apport de fonds. Un cinquième four est installé portant la capacité de production de l'usine à 950 000 tonnes
1981	Lafarge Maroc crée une nouvelle société, Cimenterie Nouvelle de Casablanca, (CINOUCA)
1982	Démarrage de l'usine de Bous Koura
1986	Arrêt de l'usine de Lafarge Maroc des Roches Noires
1987	Lafarge cède ses participations dans Cinouca dont elle ne garde que 2 %. Un contrat d'assistance technique continue de lier Lafarge à Cinouca
1988	Création de Readymix, joint-venture entre Redl and et le groupe KAT
1989	Première centrale à béton à Casa Ouest
1990	Lafarge fait l'acquisition de Cémentons Maroquines Association de Lafarge et de Readymix
1994	Lafarge fait l'acquisition de la cimenterie de Tanger
1995	Signature d'une convention de partenariat entre Lafarge et la SNI
1996	Filialisation des deux sociétés du Nord Création de Lafarge Ciments par fusion de Cinouca et Cadem avec introduction en bourse
1998	Acquisition de Gravel Maroc Intégration des sociétés du nord dans Lafarge Cémentons, détenue à 94 % par Lafarge Ciments
1999	Prise de contrôle de la SNI par ONA. Refonte de la Convention de partenariat pour la mettre en ligne avec la nouvelle loi sur les sociétés. Lancement du projet d'une nouvelle cimenterie à Tétouan
2000	Lancement sur le site de Bouskoura d'une unité de broyage et d'ensachage de ciment blanc
2001	Signature d'une convention d'investissement avec le Gouvernement de 2, 3 milliards de dirhams Pose de la première pierre pour le lancement de la construction de la nouvelle cimenterie de Tétouan.
Mai 2004	Inauguration de la nouvelle cimenterie de Tétouan, dont le démarrage remonte à Septembre 2003
Juin 2004	Démarrage de l'unité de chaux de Tétouan
2006	Lancement du projet d'investissement pour la modernisation de l'unité de Tanger
Septembre 2006	Inauguration de l'usine de plâtres de Safi suite à son réaménagement.
Décembre 2006	Inauguration officielle de la nouvelle ligne de production de Bouskoura
Février 2007	Signature du contrat entre Lafarge Ciments et Kawasaki pour la réalisation de la deuxième ligne de cuisson de la cimenterie de Tétouan

III. Présentation générale de LafargeHolcim usine RAS LMA FES

Située à 25 Km au sud de Fès, l'usine de Fès utilise le procédé de fabrication à voie sèche intégrale avec une capacité annuelle de 2 millions de tonnes, il comporte des ateliers de : Concassage, broyage, stockage de la farine, cuisson, stockage du clinker, broyage des Combustibles, broyage du ciment, ensachage et expédition du ciment. La cimenterie de Fès est certifiée ISO 9001 version 2008 et ISO 14001 version 2004.

1. Fiche technique de l'entreprise

Tableau 3: Fiche technique de l'entreprise

Raison sociale	LafargeHolcim Maroc
Forme juridique	Société anonyme de droit prive marocain
Date de création	1976
Activité principale	Production et commercialisation du ciment
Capacité social	421 000 000 DH
Capacité de production	2 000 000 tonne/an
Effectif	200 personnes et sous-traitants

2. Organigramme de la société

L'organisation opérationnelle de LafargeHolcim (Maroc) repose sur un comité de direction, présidé par Monsieur Dominique Drouet, dont le rôle est de coordonner l'action de l'ensemble des directions de la Société. Dans un souci d'efficience fonctionnelle l'ensemble des processus et des tâches à accomplir sont répartis en catégories associées chacune a un service.

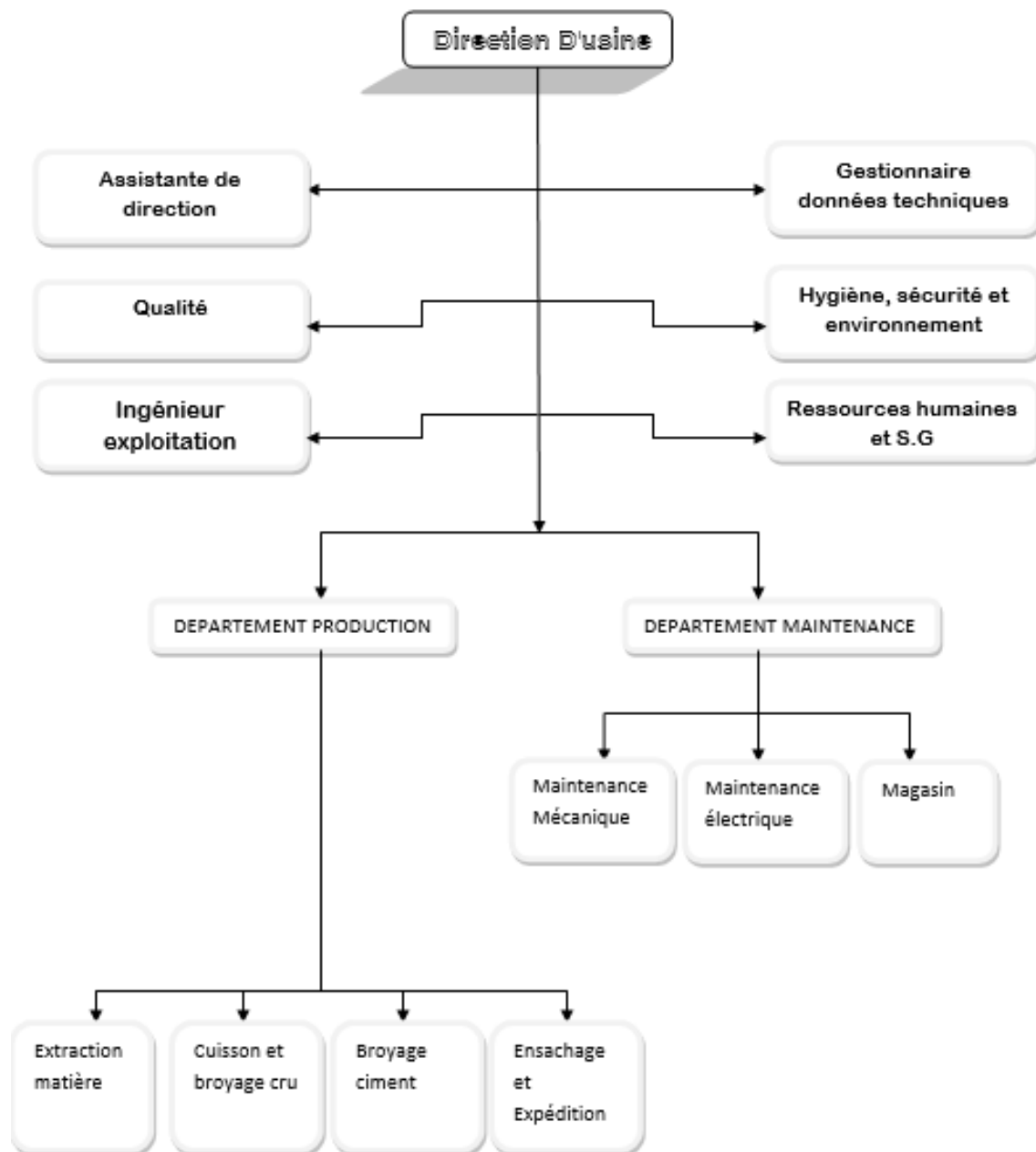


Figure 1 : Organigramme de LafargeHolcim Fès

3. Les différents services de LafargeHolcim Ras El Ma

Tableau 4 : Les services de LafargeHolcim

Service	Activité
Service contrôle et qualité	Organisation assurée par un laboratoire de qualité pour améliorer les produits et réduire les risques de mise en marche de produits défectueux.
Service sécurité et environnement	Chargée d'assurer une qualité des ciments, du béton et des granulats, répondant aux meilleurs standards internationaux.

Service exploitation	Mettre en œuvre la stratégie opérationnelle de la société y compris la gestion technique et commerciale (gestion des achats et gestion des stocks)
Service des ressources humaines	Recrutements assurance maladie, gestion des congés, paie de personnel, et la gestion de la formation.
Service production	Service d'accueil divisé en 3 secteurs : Secteur 1 et 2 : concassage, broyage et cuisson des MP pour préparer le clinker. Secteur 3 : chargé du broyage ciments et expédition.
Service maintenance	Assurer la disponibilité des machines, pour produire dans les meilleures conditions de qualité, sécurité et cout.

IV. Généralités sur le ciment

1. Définition

C'est une gangue hydraulique utilisée dans différents domaines, principalement comme matériau de construction. Il est fabriqué à partir de la cuisson, le mélange et le broyage de différentes matières premières.

Les ciments usuels sont fabriqués à partir d'un mélange de calcaire (CaCO_3) environ de 80%, de sable, de schiste et minerai de fer. Selon l'origine des matières premières, ce mélange peut être corrigé par apport de bauxite, oxyde de fer ou autres matériaux fournissant le complément d'alumine et de silice requis.

2. Matières premières du ciment

Les matières premières qui rentrent dans la fabrication du Ciment sont essentiellement de calcaire et d'argile ou de toutes matières renfermant essentiellement de la chaux (CaO), de la silice (SiO_2), de l'alumine (Al_2O_3), et de l'oxyde ferrique (Fe_2O_3).

Les matières d'ajout sont principalement :

- Le Gypse : son rôle est de régulariser le temps de prise du ciment.
- Le Calcaire : Ajout qui diminue la résistance du ciment et qui peut être remplacé par la Pouzzolane qui a les mêmes caractéristiques. C'est le composant principal du Clinker.
- Le Schiste : le gisement de schiste se situe à 20 Km de Sud-ouest de la ville Fès (Bhalil).
- Les matières de correction : Les matières de correction sont en général : le sable et les minerais de fer, elles sont ajoutées à la matière crue, leur coût est élevé car elles sont fournies par des fournisseurs étrangers.
- La Pouzzolane : une matière volcanique, et spécialement utilisée pour la fabrication de tous les types du ciment commercialisé par HOLCIM sauf pour le CPJ35.

3. Caractéristiques et classifications du ciment

La propriété essentielle des ciments en vue de leur emploi, est de donner un mélange avec l'eau sous forme d'une pâte qui va durcir. Ceci est obtenu grâce au phénomène très complexe de l'hydratation du ciment.

L'hydratation du ciment est une somme de réactions chimiques de vitesses variables entre les différents constituants du ciment et l'eau, si bien que l'on observe au bout d'un certain temps une augmentation de la consistance de la prise de ciment, puis progressivement la pâte durcit. Le durcissement est un phénomène de longue durée.

Pour essayer les ciments, on a défini conventionnellement un début de prise et une fin de prise. Mais en réalité il s'agit d'un phénomène continu. On distinguera à ce sujet des ciments à prise rapide, demi-lente, ou lente (ciments courants).

Les ciments sont classés en tenant compte de leur composition : Nous avons vu que le ciment Portland artificiel (CPA) résulte de la mouture du clinker avec un peu de gypse, mais on peut également ajouter en quantité variable d'autres matières soit inertes, soit plus au moins actives pour obtenir le ciment Portland à ajouts (CPJ), les ajouts pouvant être : la pouzzolane, la cendre volante, le calcaire, Filler siliceux, le laitier [2].

V. Processus de fabrication du ciment

Le ciment est généralement fabriqué en cuisant vers 1450°C des mélanges de calcaire, d'argile et minerai de fer. On obtient alors des nodules durs, appelés clinkers ; c'est en broyant très finement ceux-ci, additionnés d'un peu de gypse, qu'on produit le ciment. (Figure 1.2). L'obtention du ciment peut se schématiser comme suit :



Figure 2 : Schéma d'obtention du ciment

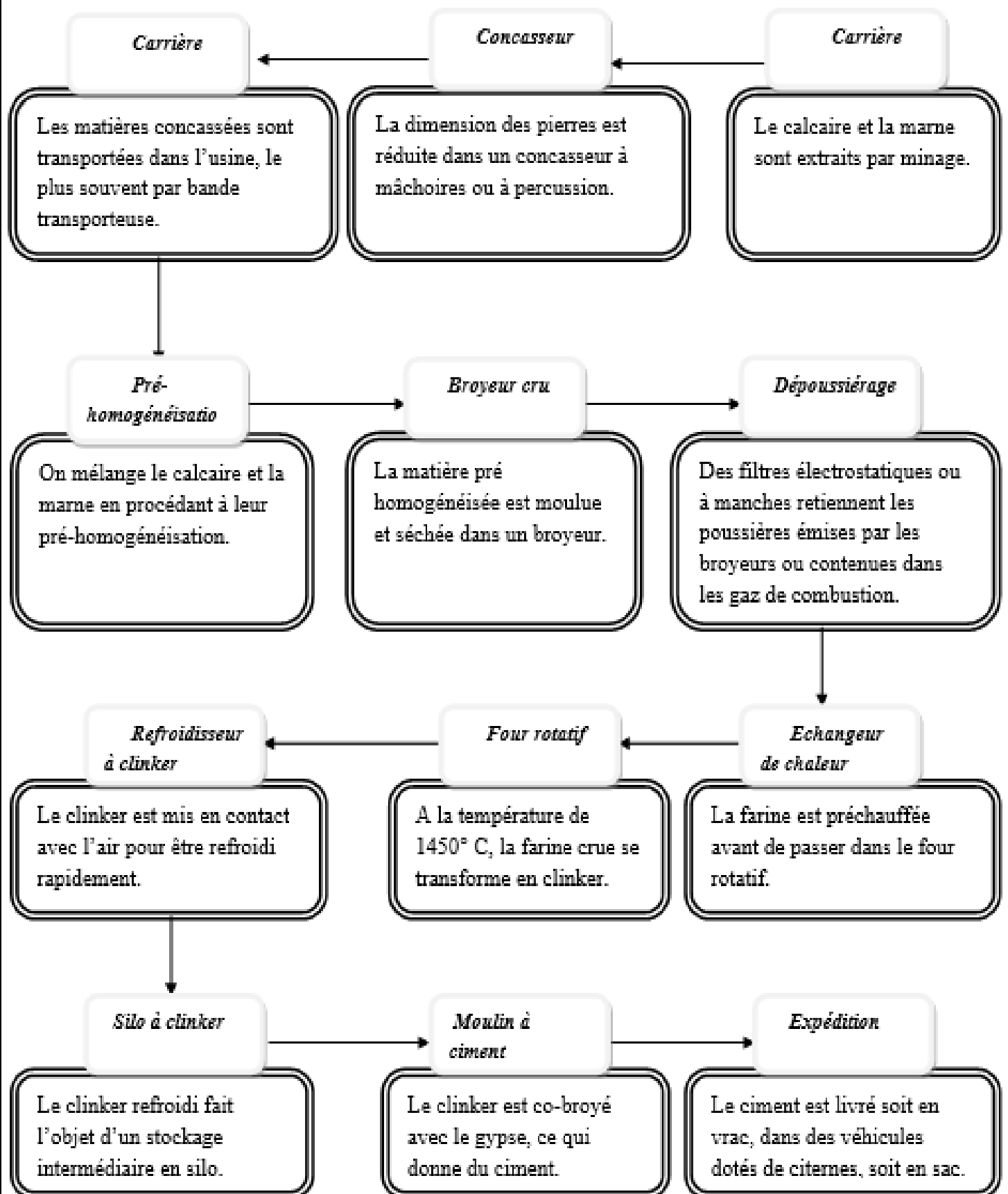


Figure 3: procédés de fabrication du ciment

1. Préparation des matières première

La carrière : La carrière en cimenterie constitue la source en matières premières qui subissent des transformations pour fabriquer le produit fini donc le ciment est fabriqué à partir de quatre composantes chimiques principales : carbonates de calcium, alumine, silice et oxyde de fer. Ces éléments se trouvent généralement dans la nature sous forme de calcaire de marnes, d'argiles, de schistes, de minerai de fer et de sable.

Constituant la matière première principale, le calcaire est extrait d'une carrière située à proximité de l'usine, sous forme de blocs de dimensions très variées, pour réduire les coûts de transport.

Les argiles, les marnes ou les schistes constituent la matière première secondaire. Celles-ci sont extraites dans des carrières situées dans les environs de l'usine.

Le minerai de fer est de sable, sont des matières de correction utilisées dans des faibles proportions, ils sont exploités dans des carrières relativement éloignées de l'usine ou livrés par des fournisseurs.

Le concasseur : En vue d'optimiser et faciliter le stockage et la manutention des matières premières, les blocs extraits au niveau de la carrière sont introduits au niveau du concasseur pour réduire leur dimension (environ 10-5cm) pour réduire la taille des blocs, le concassage consiste à soumettre les matières premières à des efforts d'impact, d'attrition, de cisaillement ou de compression. Le type de concasseur est choisi en fonction du procédé de concassage adopté par la cimenterie, de la granulométrie dis positionnelle et l'état hydrique des matières premières.

Transport des matières premières : Le transport et la manutention des matières premières est assuré par des engins mécanique (pelles mécanique, chenilles, camions bennes, etc.) et des équipements de manutention : les engins mécaniques utilisés lors des phases d'extraction et d'alimentation du concasseur et pour le transport des ajouts. Les équipements de manutention bandes, aéroglisseurs, élévateurs...) sont utilisés après l'opération de concassage pour transporter les différentes matières entre les installations de l'usine.

2. Homogénéisation et broyage

Pré homogénéisation : La pré-homogénéisation des matières premières est une opération qui consiste à assurer une composition chimique régulière du mélange des matières premières. Des échantillons du mélange des matières premières sont prélevés lors de la constitution des tas dans une station d'échantillonnage, ces échantillons sont analysés au niveau du laboratoire de l'usine. Les résultats de ces analyses permettent de définir les corrections nécessaires à apporter au mélange des matières premières, ce mélange est dénommé le cru.

Broyage cru : La matière crue est constituée d'un mélange des différentes matières et de correction dans des proportions qui sont définies suivants les valeurs des modules chimiques du cru.

En générale, la matière crue est constituée de 70% à 75% de calcaire, 20% à 25% d'argile, de marnes et de schistes et 1% à 5% de matières de corrections. Le dosage des différentes composantes est broyé et séché dans un broyeur horizontal à boulets ou vertical à galets. Cette opération de broyage permet de réduire la granulométrie du mélange.

Le séchage de la matière crue à l'intérieure du broyeur est assuré par les gaz chauds du four. Ces gaz sont ensuite dépoussiérés dans un filtre à manche puis évacués dans l'atmosphère. Le séchage permet de réduire l'humidité de la farine à moins de 1%.

A la sortie du broyeur cru, le mélange des matières broyées, appelé farine crue est stocké dans un ou plusieurs silos de stockage et d'homogénéisation.

La farine crue est ensuite acheminée vers un dispositif constitué de fours et de refroidisseurs afin d'entamer la phase de clinkérisation.

Dépoussiérage : Le transport de la farine de cru par des aéroglisteurs risque de générer des poussières. Le système de dépoussiérage consiste à éliminer les émissions des poussières par l'utilisation de filtres à manches ou d'électro filtres pour une meilleure protection de l'environnement.

À noter que le dépoussiérage n'est pas une opération spécifique à la farine, d'autres ateliers (le broyage du ciment par exemple) comportent des systèmes de dépoussiérage.

3. Production de clinker

Le clinker est un produit artificiel obtenu par la cuisson de la farine crue dans un four rotatif.

Préchauffage : Etape incontournable dans les installations de cuisson moderne (voie sèche, semi sèche et semi-humide), le préchauffage permet essentiellement de préparer la farine du point de vue chimique et thermique. Cette préparation consiste à sécher, déshydrater et décarbonater partiellement la matière crue en réutilisant une partie de l'énergie calorifique évacuée par les gaz d'exhaure du four.

La farine crue est introduite et dosée au pied de la tour de préchauffage. Par la suite, elle est manutentionnée jusqu'au haut de la tour ou elle est introduite au niveau du quatrième ou du cinquième étage.

Dans la tour de préchauffage, la farine crue avance du haut vers le bas et se mélange avec les gaz chauds du four circulant dans le sens inverse. Ce procédé permet de préchauffer la farine crue jusqu'à une température de près 800°C au pied de la tour et de provoquer la première transformation (décarbonatation partielle) de ses principaux composants chimique (carbonates, silicates, aluminates, etc....).

Quelles que soient les technologies utilisées (préchauffeurs à cyclones, grilles Lepel...), les préchauffeurs améliorent donc le rendement thermique global de l'installation de cuisson.

Four rotatif : Les systèmes des fours sont conçus en cimenterie pour répondre aux exigences chimiques du procédé durant lequel la matière crue est transformée en clinker. Le four rotatif est un cylindre en acier reposant sur des stations de roulement, il est garni intérieurement par des produits réfractaires. Durant la cuisson, le four rotatif est animé d'un mouvement de rotation, la disposition en pente du four permet le mouvement de la matière première qui est injectée de l'autre extrémité par rapport à la flamme de chauffe. Durant ce déplacement, la matière se transforme par cuisson tout en avançant de son état initial jusqu'à ce qu'elle devienne clinkérisée à la température de 1450°C.

Refroidisseur à clinker : A la sortie du four, le clinker est introduit dans un refroidisseur à grilles où il est refroidi jusqu'à une température de 120°C. Le rôle des refroidisseurs consiste à garantir la trempe du clinker pour avoir une structure minéralogique et des dimensions de cristaux favorables. Les refroidisseurs permettent aussi de baisser la température du clinker pour faciliter la manutention jusqu'aux silos de stockage. Il existe plusieurs types de refroidisseurs (refroidisseurs à grilles, refroidisseurs rotatifs, refroidisseurs planétaires...).

4. Mouture du ciment et expédition

Silo à clinker : Le clinker issu du four est stocké dans des silos qui d'une part, confèrent à l'atelier de broyage ciment (étape suivante) une autonomie de marche en cas d'arrêt intempestif du four et d'autre part, prémunissent le clinker d'une dégradation physico-chimique que causerait un stockage prolongé à l'air libre.

Broyage du ciment : Le clinker et les ajouts, qui sont des matériaux grossiers par rapport à la granulométrie du ciment, sont introduits au niveau du broyeur dans des proportions prédéfinies pour subir des efforts mécaniques de broyage et produire ainsi le ciment qui est d'une finesse inférieure à 40microns. Le dosage du clinker, du gypse et des ajouts se fait à l'entrée du broyeur par un système de dosage automatique chargé d'effectuer des tests dans le laboratoire tout au long du processus de production. L'atelier de broyage comprend le broyeur, le séparateur (qui sélectionne les particules selon leur grosseur), le dépoussiéreur du broyeur et accessoirement la presse à rouleaux.

5. Ensachage et expédition

A la sortie du broyeur, le ciment est transporté vers des silos de grandes capacités qui alimentent par la suite les ateliers d'ensachage pour les l'expéditions en sacs, ou les dispositifs de chargement et conditionnement (ensachage) en cas de livraison par sacs ou via un vrac et son chargement sur l'outil de transport (camion, train, bateau...) c'est l'interface de l'usine avec le client.

Pour les livraisons en sacs, généralement de 50kg, le chargement des camions se fait manuellement grâce à deux caris camât. Or l'extraction des différents types de ciment, généralement CPJ45 et CPA55, se fait en VRAC soit par route soit par voie ferrée.



Figure 4: : L'expédition

6. La salle de contrôle

Les cimenteries modernes sont aujourd'hui fortement automatisées. Les ordinateurs analysent en permanence les données transmises par les capteurs disposés en différents point de l'unité de production. De la salle de contrôle, 24 heures sur 24 et 7 jours sur 7, les techniciens supervisent l'ensemble des phases de la production, de la carrière jusqu'à l'ensachage.



Figure 5 : La salle de contrôle

VI. Problématique

Dans notre sujet nous allons s'intéresser au four rotatif, on va donner une présentation détaillée de chaque composant du four rotatif de cimenterie puis on va attaquer le problème de la fuite d'huile du palier amont station du four.

VII. Elaboration du cahier des charges

Le cahier des charges a pour objectif de présenter les différents composants du four rotatif et de diagnostiquer la fuite d'huile du palier afin d'éliminer la fuite d'huile pour assurer un bon fonctionnement du four et d'éliminer les risques des huiles sur le matériel (galet) et le béton.

Notre projet de fin d'études consiste à :

- ✚ Présenter le four rotatif de cimenterie.
- ✚ Présenter chaque composant du four.
- ✚ Présenter la défaillance.
- ✚ Etudier et analyser les causes de la fuite.
- ✚ Proposer des solutions pour éliminer ou minimiser la fuite.

VIII. Conclusion

Ce chapitre nous a permis de collecter toutes les informations possibles sur LafargeHolcim avant la fusion et après la fusion, ensuite de présenter la procédure de fabrication de ciment commençant par le concasseur jusqu'à l'expédition. Dans le chapitre suivant on va parler du four rotatif, son fonctionnement, ses composants et leurs fonctionnements.



***CHAPITRE 2 : Description du
four de cuisson***

La cuisson

La cuisson recouvre toutes les étapes de transformation chimique de la farine crue, jusqu'à la formation du clinker (Figure 6).

A la cuisson, les composants du mélange cru se décomposent et, en se recombinaut entre eux, ils forment de nouvelles liaisons minérales : ce sont les minéraux du clinker. L'atelier de cuisson est constitué de trois éléments principaux :

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

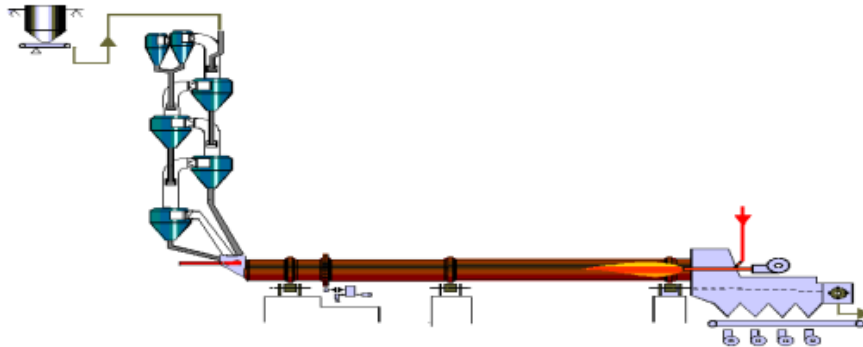


Figure 6: Circuit de cuisson

Tours à cyclone (Tour de Préchauffage)

Dans la tour, les gaz chauds sortant du four préparent la matière thermiquement et chimiquement.

Elle est munie d'un point de combustion, le précalcinateur, permettant de générer des gaz chauds directement dans le bas et diminuant par la même occasion la charge thermique du four. Grâce à ce procédé, la farine arrive 93% décarbonatée à l'entrée du four à une température avoisinant 900°C, ainsi la longueur du four peut être réduite.

La tour est constituée d'une série de cyclones avec un précalcinateur, disposés verticalement sur plusieurs étages. D'étage en étage, la farine arrive partiellement décarbonatée jusqu'à l'étage inférieur [2].

Four rotatif

C'est un cylindre en acier légèrement incliné dans lequel les matières premières vont subir plusieurs transformations physiques : dessiccation, décarbonations, calcination et clinkérisation. La matière quitte le cylindre sous forme de gros grains arrondis, les clinkers. Le charbon est insufflé sous forme pulvérulente et chemine en sens inverse de la matière première [2].

Refroidisseur :

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

Le refroidisseur a un triple rôle :

- Refroidir le clinker qui sort du four
- Récupérer le maximum de chaleur contenu dans le clinker

○ Assurer la trempe de clinker par un refroidissement énergétique et rapide
Il s'agit de la phase la plus importante du procédé de fabrication en termes de potentiels, d'émission, de qualité et de coût du produit.

I. Le four rotatif

1. Définition

Le four rotatif de cimenteries (Figure 7) présente une grande importance dans le domaine de cimenterie c'est un cylindre en acier (15 Mo 3) de 3,8 de diamètre et de 63m de longueur reposant sur des stations de roulement, il est garni intérieurement par des produits réfractaires. Ce four rotatif se compose de trois stations, la première est la station de décarbonisation, la seconde est la station de cuisson et la dernière est connue sous le nom de clinkérisation.

Ce qui caractérise le four rotatif, c'est le fait qu'il est animé d'un mouvement général, alors que dans les anciens types, le four lui-même était fixe, quelques parties mobiles seulement assurant le fonctionnement du tout. Le four rotatif peut être utilisé pour la voie sèche ou pour la voie humide, selon que la matière première est introduite sous forme de granules ou sous forme de pâte liquide. En tournant lentement sur lui-même, il provoque le cheminement de la matière à cuire de haut en bas. Son extrémité inférieure est fermée par ce qu'on appelle la tête du four, à travers laquelle le combustible (charbon ou huile) est insufflé par une tuyère. Les gaz de combustion traversent tout le four de bas en haut ; ils se refroidissent en réchauffant progressivement la matière première qui se déplace en sens inverse.



Figure 7 : Le four rotatif

2. Fonctionnement

Le fonctionnement d'un four rotatif génère de nombreux défis. Vous avez un très grand et très lourd cylindre en acier de 63m contenant une quantité importante de matériaux qui tourne au moyen d'un système d'entraînement souvent composé de deux moteurs. Cela signifie que le démarrage du four exige un couple élevé qui peut représenter deux fois et demi le couple de pleine charge. Vous devez en même temps synchroniser la vitesse et le couple des moteurs afin de ne pas endommager le mécanisme d'entraînement du four.

La transformation d'un mélange brut en clinker a ses propres exigences. Les conditions du mélange brut peuvent varier, tout comme la quantité de matériaux dans le four. Cela signifie que vous avez besoin d'un contrôle précis sur le débit des matériaux, afin que la flamme du brûleur ait

suffisamment de temps pour chauffer le mélange brut à une température suffisante pour créer un clinker de bonne qualité. Cela exige un contrôle précis de la vitesse du moteur.

Via la boîte d'entrée la matière alimentée entre au four sous l'effet de l'inclinaison et la rotation de four, la matière alimentée traverse le four en contre-courant au gaz chaud jusqu'à la sortie du four

A la sortie de la tour la farine arrive dans le four où s'effectue l'étape la plus importante de sa transformation : la clinkérisation qui commence de 1200°C à 1450°C, l'alimentation en farine est située à l'extrémité opposée du brûleur.

En théorie, cette réaction s'arrête lorsqu'il n'y a plus de chaux disponible. Mais en réalité il reste toujours de la chaux non combinée (chaux libre).

La matière sortant du four est le clinker, elle se présente sous formes des grains gris foncé, arrondi sa surface irrégulière et dont le diamètre peut aller jusqu'à 3cm.

Dans le cas des ciments gris, le clinker est refroidi, dans la plupart des cimenteries actuelles, par un refroidisseur à grilles :

- Le clinker va progresser à l'intérieur du refroidisseur grâce aux à-coups répétés des grilles sur lesquelles il repose,
- Au travers des grilles, de puissants ventilateurs vont souffler sous le clinker afin de le refroidir,
- À l'entrée ou à la sortie du refroidisseur, selon le modèle utilisé, un concasseur à un ou plusieurs rouleaux va le broyer de manière grossière.

Dans le cas du ciment blanc, plus fragile que le gris car il doit rester immaculé, un refroidisseur rotatif est inséré entre le four rotatif et le refroidisseur à grilles. Il s'agit d'un cylindre légèrement incliné qui tourne sur lui-même et à l'intérieur duquel de l'eau est pulvérisée à l'aide de multiples buses. Bien que sa composition chimique soit légèrement différente, c'est grâce au refroidisseur rotatif que le ciment peut rester blanc : en effet, son rôle est de refroidir très rapidement le clinker à sa sortie du four, avant qu'il ne soit oxydé au contact de l'air. De plus, la taille des refroidisseurs à grilles utilisés sur les lignes de ciment blanc est considérablement réduite [2].

3. Conception

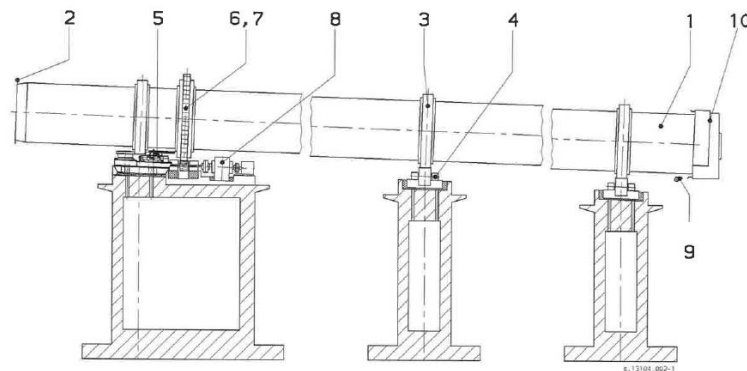


Figure 8: La conception du four rotatif [1]

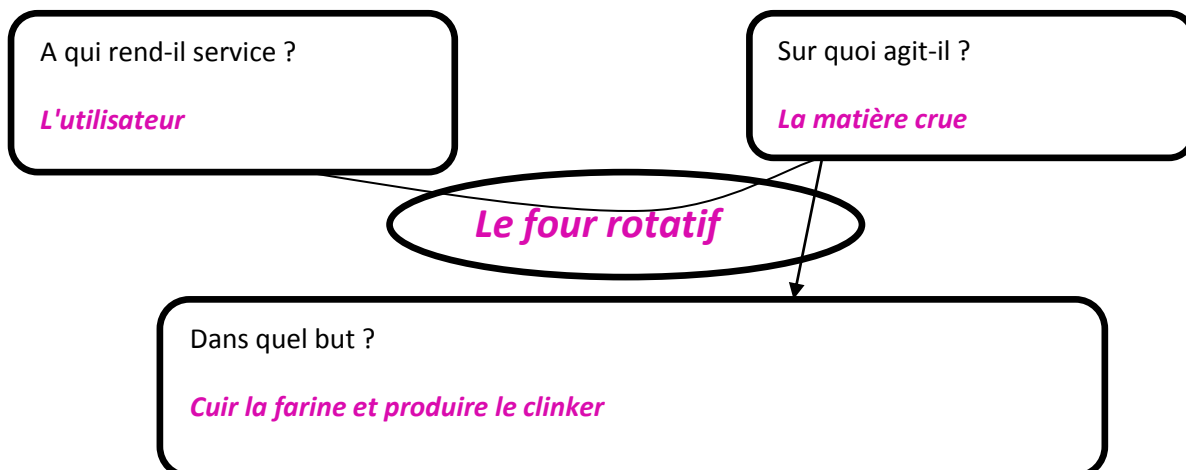
Le four rotatif comprend les éléments suivants :

Tableau 5 : Nomenclature

1	Tube du four rotatif
2	Entrée de four avec joint d'entrée (amont)
3	Bandage avec fixation
4	Stations de roulement
5	Butée hydraulique du four
6	Transmission par couronne et pignon
7	Capotage de l'ensemble couronne/pignon
8	Commande du four rotatif
9	Sortie de four avec joint de sortie (aval)
10	Capot de chauffe

Analyse fonctionnelle

❖ Bête à cornes



❖ Diagramme pieuvre

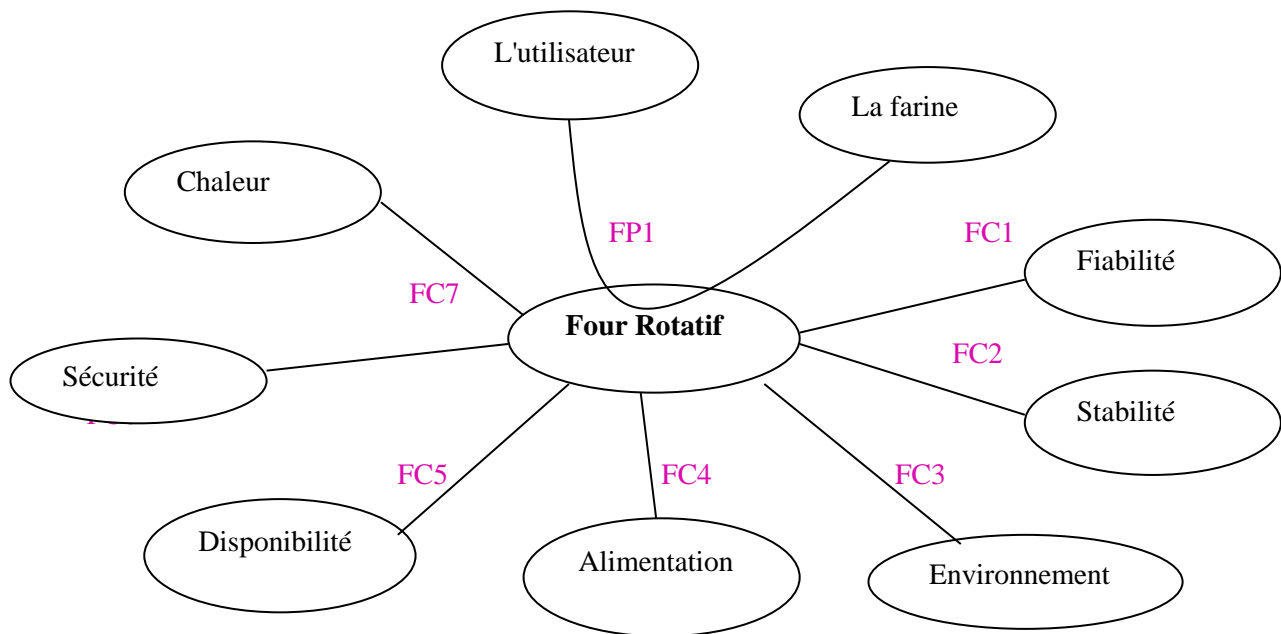


Tableau 6 : La fonction principale et les fonctions contraintes

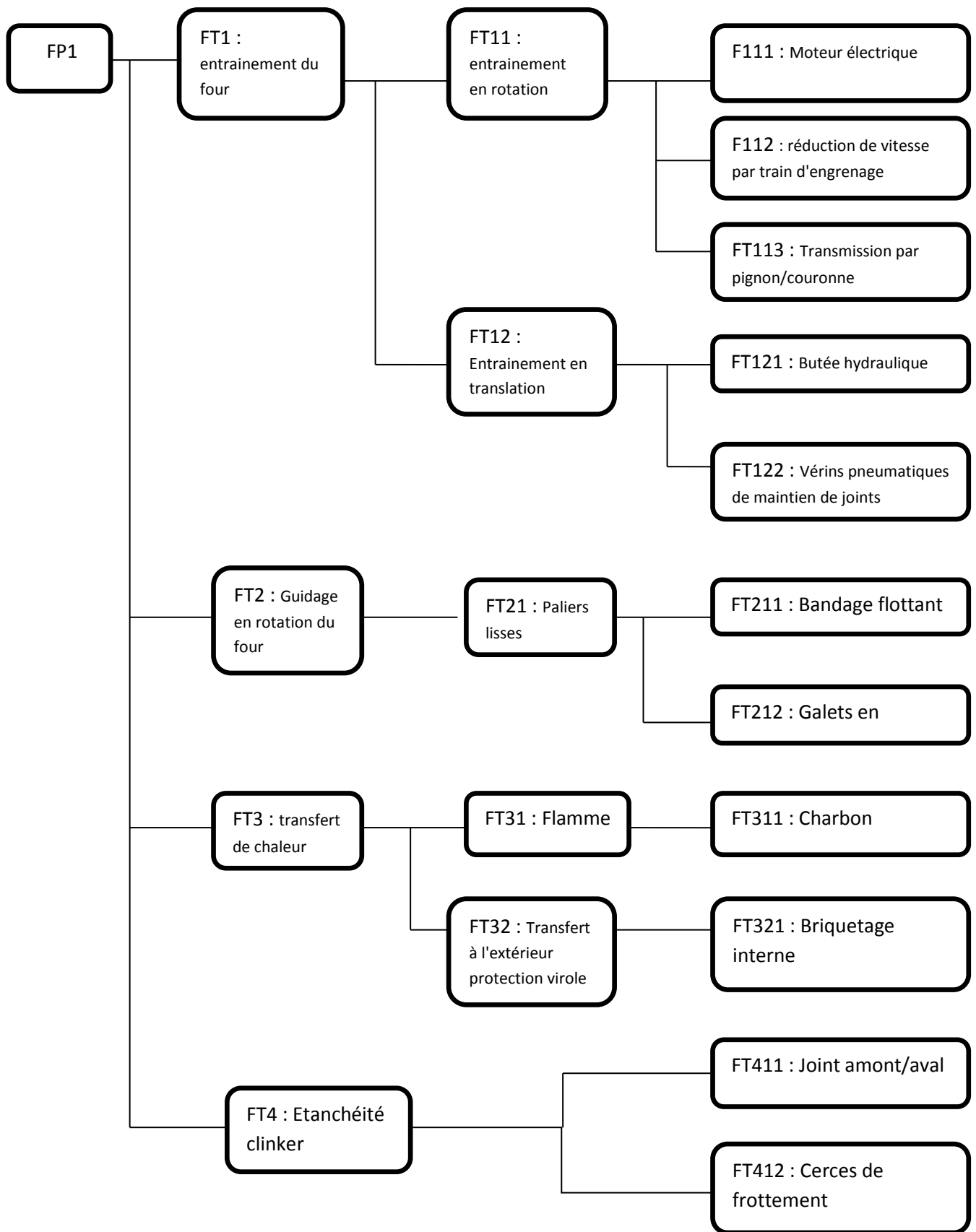
FP1	Permettre à l'utilisateur de produire le clinker
FC1	Avoir une fiabilité satisfaisante
FC2	Avoie un four stable en rotation
FC3	Minimiser le dégagement du gaz polluant
FC4	Entrainer le four par l'énergie électrique
FC5	Garantir une disponibilité élevée
FC6	Permettre un fonctionnement sûr
FC7	Produire la chaleur par combustion du charbon

❖ Cahier de charge fonctionnelle :

Tableau 7: Cahier des charges fonctionnelles

Fonction	Critère d'appréciation	Niveau d'exigence	Flexibilité
FP1	Quantité produite	2600t/j	+/-200t
FC1	Fiabilité	90%	+/-5%
FC2	Angle d'appui	30°	+/-1°
FC3	Norme iso		
FC4	Puissance	520kw	+/-5%
FC5	Disponibilité	90%	+/-5%
FC6	Nombre d'accident	0 accident /an	0
FC7	Température	1450°C	+/-50°C

❖ Diagramme des solutions technologiques :



4. Description des composants du four rotatif

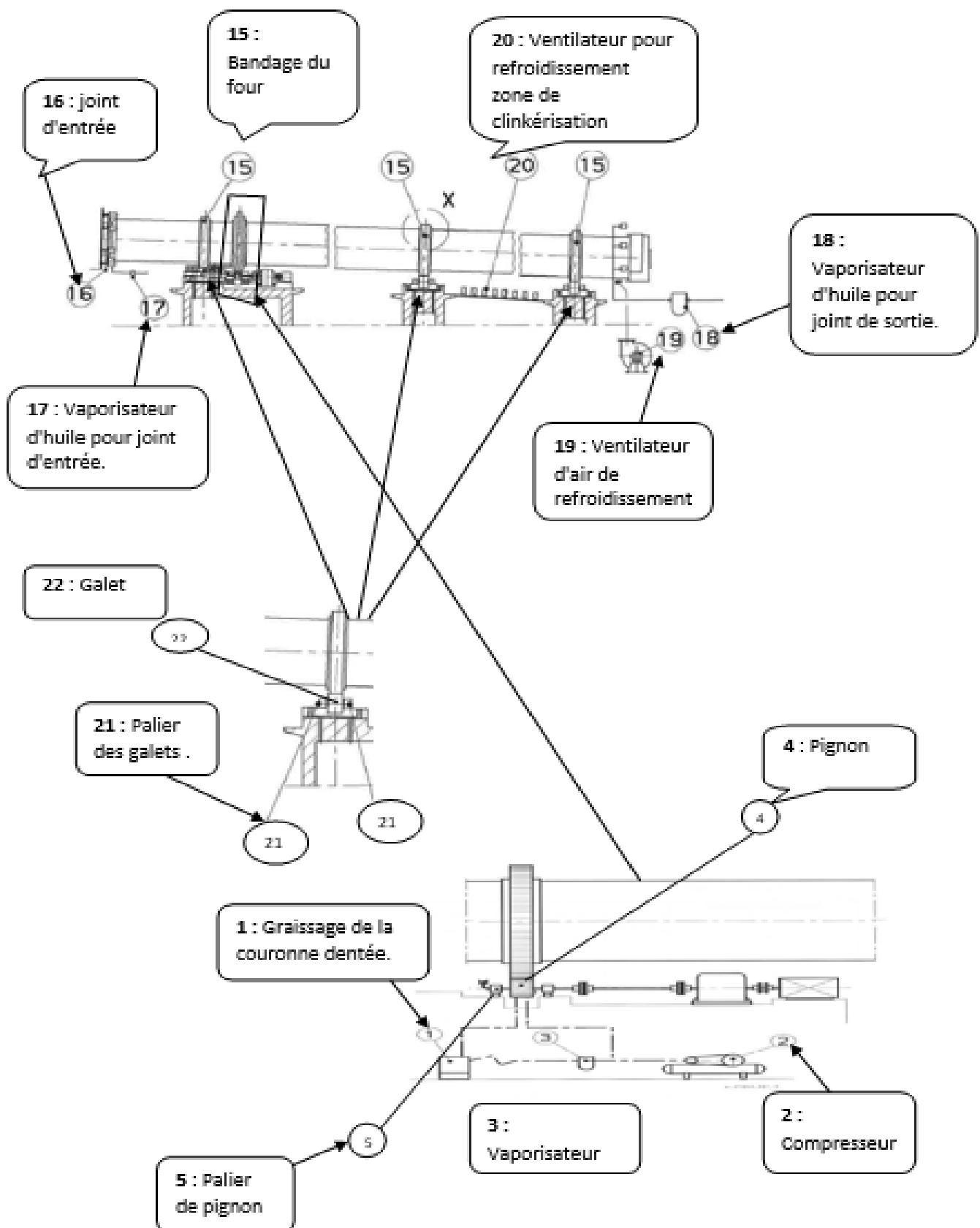


Figure 9: Les composants du four rotatif

Le bandage :

Le bandage (Figure 10) est un anneau métallique à section rectangulaire, installé sur la virole du four dans les zones des paliers, leurs nombres diffèrent d'un four à un autre selon sa conception, notre four possède trois stations de roulement et donc trois bandages.



Figure 10: Le bandage

Rôle du bandage :

Le rôle principal du bandage est de protéger la virole du four de l'usure, de minimiser le frottement entre le four et ses paliers tout en conservant la forme cylindrique de la virole pour éviter les fissurations et la détérioration des briques réfractaires.

Le bandage permet aussi de diminuer le flux de chaleur transmis de la virole aux galets supports.

La virole :

Le tube du four rotatif se compose de plusieurs viroles reliées par soudage, suivant la taille et les possibilités de transport en atelier ou sur site, et il est garni d'un revêtement réfractaire.

La virole (Figure 11) est un ensemble de tôles dont le rayon de courbure coïncide avec le rayon du four, les tôles sont soudées deux à deux tout en évitant une continuité de soudure dans la direction axiale.

La virole se compose de plusieurs tronçons de différentes tailles, ces tronçons sont assemblés par soudage et sont revêtues par des briques réfractaires. Chaque tronçon à une épaisseur spécifique pour résister aux contraintes appliquées. La température de service à l'intérieur du four croît au fur et à mesure qu'on s'éloigne de l'entrée, donc il est nécessaire de contrôler en permanence la température à l'extérieur de la virole au moyen d'un appareil de mesure approprié. De plus, il faut procéder à un contrôle visuel une fois par jour. La valeur de référence de la température maximale de la virole est de 350 °C [2].

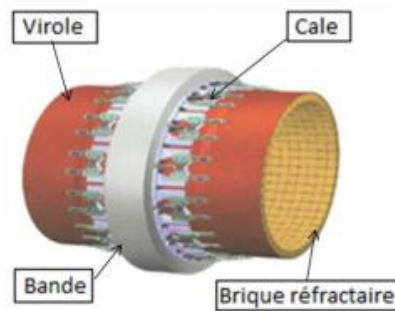


Figure 11: La virole

Les briques réfractaires

Les briques sont en matériau céramique réfractaires, pouvant résister à une température de 900°C à l'entrée du four, jusqu'à une température au voisinage de la flamme de 1450°C à la sortie du four.

Elles permettent de protéger la virole en limitant le transfert de chaleur.

Les galets

Les galets sont des formes cylindriques d'acier pleines, jouant le rôle de support du four. Ils permettent de minimiser le frottement par un faible coefficient de frottement de surface, ils sont de même nature que les bandages avec lesquels ils sont en contact, ce qui permet d'avoir une usure uniforme.

Le galet (Figure 12) est composé d'un arbre et d'un corps, l'arbre est assemblé avec le corps avec un ajustement serré, l'assemblage se fait par frettage.



Figure 12 : Le galet

La butée hydraulique

La butée hydraulique est un ensemble vérin hydraulique et butée, qui a pour but soit de garder la position axiale du four, soit de permettre la translation longitudinale du four.

La translation longitudinale du four est nécessaire pour assurer le bon fonctionnement et une bonne durée de vie des bandages et galets. Le bandage et le galet sont toujours en contact, la translation en continue du bandage par rapport au galet permet de répartir l'usure de surface et donc d'assurer un bon état de surface et un contact optimal du galet/bandage.

Les joints du four

Le four est équipé de deux joints, un joint amont à l'entrée du four, et un joint aval à sa sortie. Les joints pneumatiques d'entrée et de sortie suivent les mouvements du four, que ce soit en rotation, en déplacement radial ou axial et éliminent pratiquement toute entrée d'air faux dans la ligne de cuisson.

Les joints de four Polysius (Figure 13) sont très performants et permettent des gains de consommation calorifique. Grâce à leur conception robuste, ils ont des durées de vie très élevées avec des niveaux d'usure très faibles.

Conditions pour un joint de four :

- Empêche l'entrée d'air faux dans le four.
- Générer peu d'entretien et peu d'usure.
- Facile à entretenir.
- Installation simple et peu chère.

La qualité d'un joint dépend de la façon dont il est conforme à cette demande sous différentes conditions de fonctionnement :

- Position du four dû au mouvement axial.
- Dilatation thermique.
- Excentricité à l'extrémité de four.

Types de joints d'entrée et de sortie de four :

- Joint à segments serrés par ressort.
- Joint pneumatique.
- Joint à lamelles.
- Le four de l'usine utilise les joints pneumatiques en raison des avantages suivants :
 - La pression constante sur les éléments d'usure (cerces) réglables par la pression d'air - donc air faux réduit.
 - Pas de réajustement (manuel) du joint ce qui signifie des routines réduites d'entretien.
 - Effet d'étanchéité amélioré.

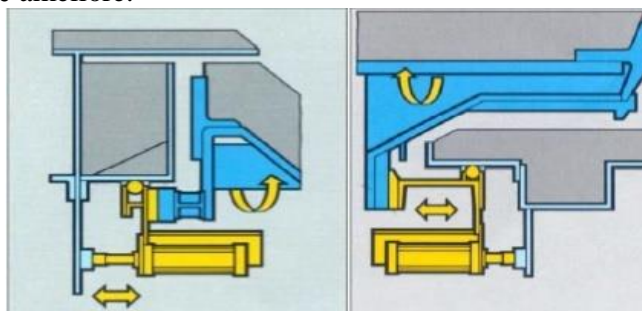


Figure 13: Schéma du joint amont/aval [1]

- Le contact entre le joint et le four se fait à travers deux parties de douze segments d'usure soudés l'une sur le four et l'autre sur le joint.
- A cause de la haute température et le frottement, ces deux parties s'usent et cause la chute des segments.
- Les cerces subissent des déformations à cause de l'énergie absorbée due aux contraintes à haute température.
- On a opté à améliorer le matériau des segments d'usure pour résoudre ce problème.

Les ventilateurs

C'est un moteur avec turbine pour refroidir les viroles.



Figure 14 : Les ventilateurs

5. Système réducteur de la vitesse de four rotatif

Le groupe principal du four

Le système réducteur du four rotatif de cimenterie de Fès (Figure 2.10) est un groupe de commande commençant par un moteur électrique qui se démarre avec une grande vitesse $GV = 993 \text{ tr/min}$ avec une puissance de 500 kw , la grande vitesse passe par un réducteur de puissance 340 kw , ce dernier réduit la grande vitesse en une petite vitesse $PV = 24,825$ avec le rapport de réduction $I=40$.

$$PV = \frac{GV}{I} = \frac{993}{40} = 24.825 \text{ tr/min}$$

Le pignon d'attaque est entraîné par cette petite vitesse qui va être transmis par suite à la couronne avec une rapport de réduction $I'=4,77$.

$$\frac{24.825}{I'} = 5.2 \longrightarrow I' = \frac{24.825}{5.2} \longrightarrow I' = 4,77$$

Le groupe de virage du four

Le groupe de virage du four est un système qui comporte un moteur, un réducteur et un système de freinage.

Le réducteur de virage lui-même comporte une roue libre qui a pour rôle de transmettre le mouvement de rotation au four lors de démarrage du groupe de virage. De même la roue libre permet une rotation libre de l'arbre de la petite vitesse du réducteur de virage lors de démarrage du groupe principale de commande du four.

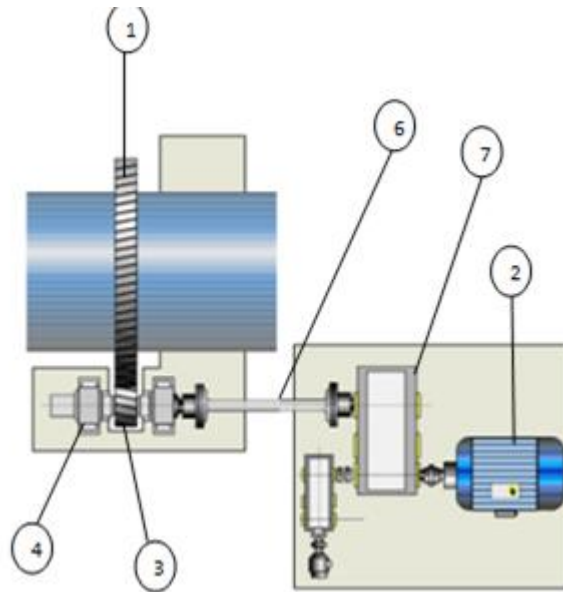


Figure 15 : Système réducteur du four

Tableau 8 : Les composants du système réducteur du four rotatif

1	Couronne
2	Moteur principal
3	Pignon d'entrainement
4	Paliers de pignon
5	Entrainement auxiliaire
6	Arbre intermédiaire/accouplement
7	Réducteur principal

6. Transmission pignon/couronne

La fonction de la transmission par couronne et pignon consiste à transmettre les couples engendrés par la commande du four dans la virole pour permettre une rotation continue.

Pour la transmission du couple nécessaire, l'ensemble couronne/pignon est réalisé sous forme de simple ou double attaque.

L'ensemble couronne /pignon équipé d'un dispositif de lubrification et protégé par un capotage contre les influences externes.

La transmission par couronne et pignon se compose des éléments suivants :

- La fixation de la couronne
- La couronne dentée
- Les pignons rigides
- Les paliers de pignons
- Les plaques d'assise

La montée et la descente du four rotatif

Le mouvement axial du four est périodique, il est composé : d'un mouvement de montée, assuré principalement par la butée qui est entraînée par le vérin hydraulique, lequel est relié à une centrale hydraulique (Figure 16), sa durée nominale est 8heures, puis d'un mouvement de descente dont la durée est 4 heures.

Le déclenchement de la pompe hydraulique permet l'accumulation de débit dans le vérin, ainsi la montée de pression dans la chambre du piston augmente la force de poussée qui est transmise par le galet de poussée au bandage du four. Le four commence à translater et le galet de poussée le suit grâce au guidage sur les deux tiges. Quand la fin de course est déclenchée, la pompe est à l'arrêt, le four commence son cycle de descente pour atteindre la fin de course de descente et relancer le cycle de nouveau.

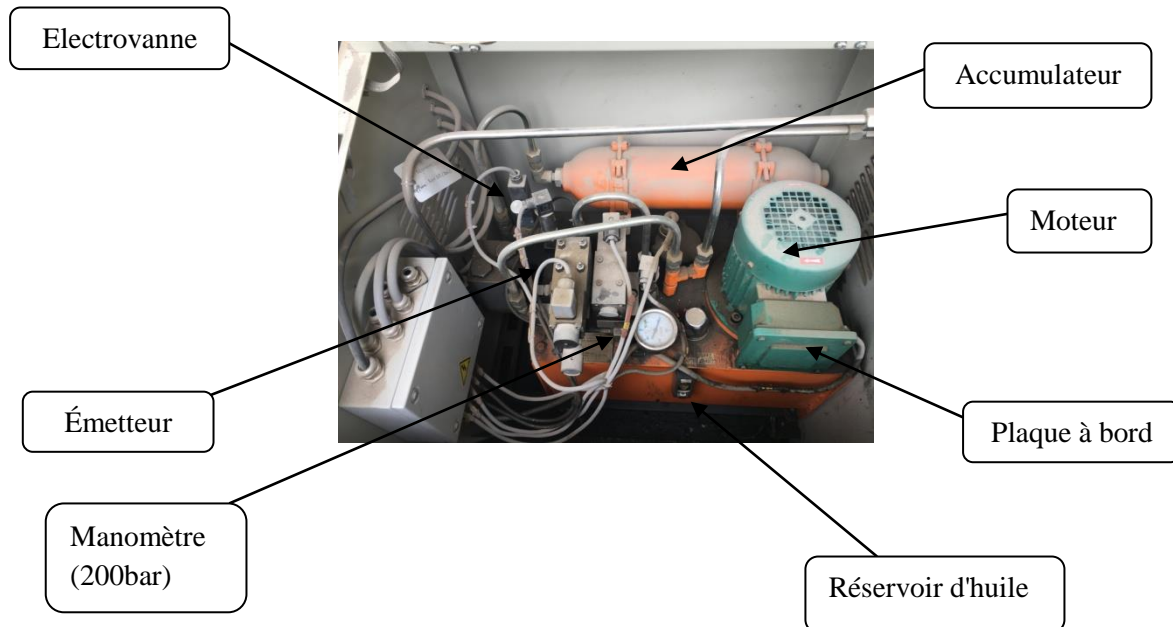


Figure 16 : La centrale hydraulique

7. Le système MKM (Mechanical Kiln Monitoring System)

Le système MKM (Figure 16) « système de la surveillance mécanique du four » permet d'avoir une mesure importante pour s'assurer des conditions de travail appropriées du four, la détection du vilebrequin de la virole du four, et Les CND (Contrôle Non Destructif) sur les axes et les galets devraient être renforcés lorsque la flexion dépasse la limite acceptable.

Le système MKM est un outil de mesure en ligne du four rotatif avec au moins deux stations pour détecter les anomalies mécaniques durant le fonctionnement. L'objectif principal est de détecter la manivelle thermique ou permanente dans la virole, le degré du glissement entre le bandage et la virole et les problèmes dans la navigation axiale du four. Les résultats sont stockés dans une carte mémoire pour pouvoir les analyser et les comparer à n'importe quel moment.

L'objectif majeur de ce système est de mesurer la manivelle du four par la mesure de la flexion de l'arbre du galet. Le système permet de mesurer :

- ❖ La vitesse du four.
- ❖ La flexion de l'arbre du galet.
- ❖ Le mouvement relatif ou le glissement entre le bandage et la virole.
- ❖ La position axiale du four [2].

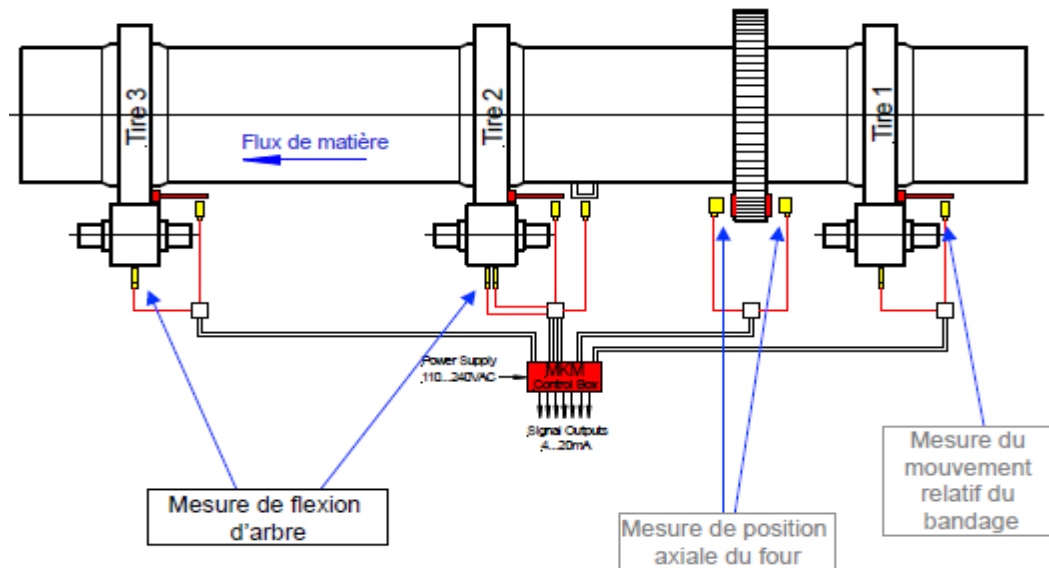
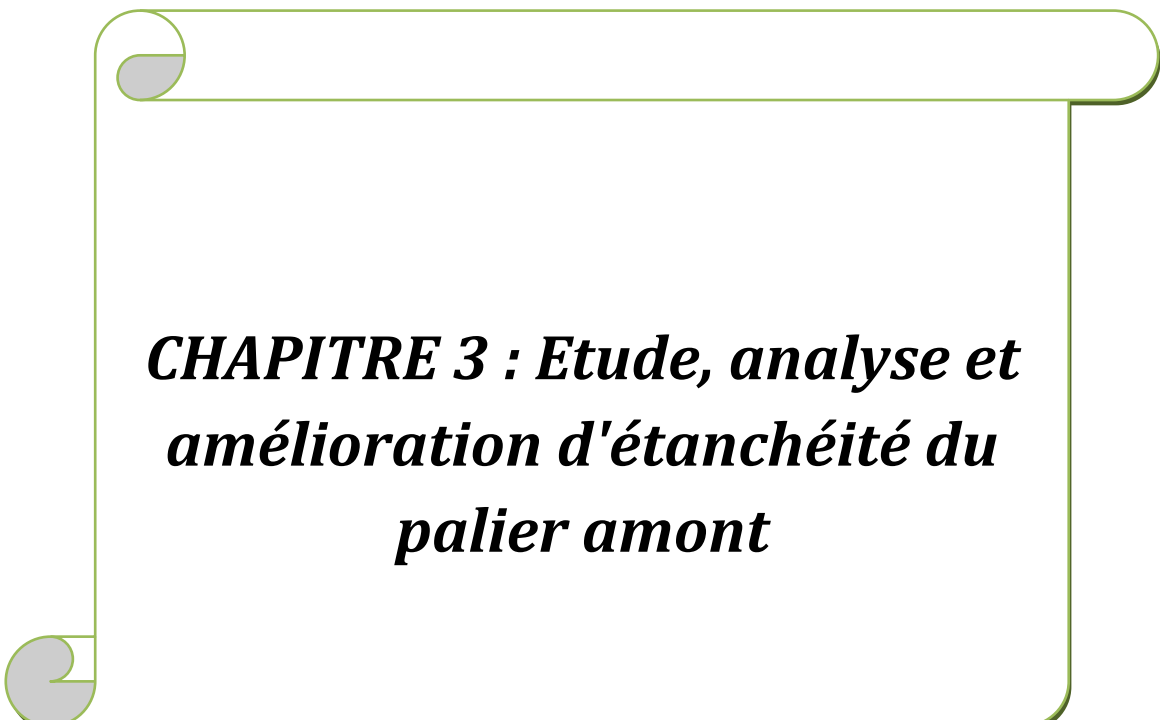


Figure 17 : Le système MKM

II. Conclusion

Ce chapitre nous a permis de connaître le four rotatif de cimenterie et nous a donné une description détaillée et une vue claire sur chaque composant de la zone cuisson.

Le prochain chapitre va nous permettre d'approfondir nos connaissances à propos des paliers, leurs maintenances puis en attaquant un problème qui est souvent présent presque dans toutes les cimenteries du monde, on parle de la fuite d'huile du palier amont station 3 du four rotatif en citons les causes racines et en proposons des solutions pour éliminer ce problème.



***CHAPITRE 3 : Etude, analyse et
amélioration d'étanchéité du
palier amont***

I. Introduction

Dans ce chapitre, on va présenter dans un premier temps les paliers du four rotatif et ses différents composants, puis on va décrire le problème de la fuite d'huile du palier amont en présentant une étude Ishikawa pour déterminer les causes racines de cette défaillance. Ensuite on va proposer des solutions et les analyser dans le cadre de la méthode A3 de résolution des problèmes.

II. L'étanchéité

Un organe assure une fonction d'étanchéité lorsqu'il empêche le passage d'un fluide d'une enceinte voisine. De tels organes, sont appelés "Joints d'étanchéité".

S'il s'agit d'empêcher l'écoulement d'un fluide d'une enceinte dans une enceinte voisine, l'étanchéité est dite simple. Si le joint d'étanchéité doit empêcher l'écoulement d'un autre fluide éventuellement contenu dans la seconde enceinte vers la première, l'étanchéité (ainsi assurée dans les deux sens) est dite double.

Si les deux parties mécaniques entre lesquelles est susceptible de se produire la fuite sont fixes l'une par rapport à l'autre, l'étanchéité est dite statique. Si ces deux parties sont en mouvement relatif l'une par rapport à l'autre, l'étanchéité est dite dynamique.

Dans notre sujet, nous allons parler de l'étanchéité dynamique, spécialement l'étanchéité d'huile dans un palier à coussinet, guidant un arbre d'un galet en rotation.

En fait, dans la pratique, on n'a affaire qu'à deux sortes de mouvements relatifs qui peuvent d'ailleurs être combinés :

- La translation linéaire (coulissement relatif d'un piston dans un cylindre).
- La rotation (rotation relative autour d'un axe commun d'un arbre dans un moyeu ou un carter) [3].

III. Les paliers

Les **paliers** sont des organes utilisés en construction mécanique pour supporter et guider, en rotation, des arbres de transmission.

Suivant l'usage désiré, ces paliers peuvent être :

- **Lisses (à coussinets)** où les arbres qui reposent sur des coussinets sont soumis au frottement de glissement entre les surfaces en contact. Les paliers lisses ont pour avantages d'être moins encombrants, moins coûteux, moins sujets à la fatigue, plus rigides et plus silencieux.
- **À roulement** où le contact s'effectue par l'intermédiaire de billes ou de *rouleaux* contenus dans des cages. On a là un phénomène de résistance au roulement (parfois appelé improprement « frottement de roulement ») qui permet une plus grande charge sur les paliers et une plus grande vitesse de rotation [2].

NB : Notre four est équipé par des paliers à coussinets car on a une faible vitesse de rotation et des charges très importants.

L'intérêt principal d'un palier à coussinet est la capacité de reprise de charge pour de faibles vitesses de rotation.



Figure 18: Le Palier à coussinet

1. Les avantages du palier à coussinet

Les paliers à coussinet proposent plusieurs avantages non négligeables vis-à-vis de nos installations :

- Montage & démontage simple et rapide.
- Excellente tolérance aux comportements de l'arbre.
- Encombrement minimum.
- Maintenance minime.
- Durée de vie en service incomparable.
- Moins sujets à la fatigue.
- Moins couteux.
- Plus rigides et plus silencieux.

❖ La nomenclature

Tableau 9 : La nomenclature du palier

1	Le corps du palier
2	Une porte visite pour la lubrification
3,15	Une porte visite pour voir l'arbre
4	La porte du palier
5,6,7	La bride
8	Le presse-étoupe
9	La bride en bronze
10	La tresse.
11	Les boulons.
12	Une plaque de freinage
13	Un voyant pour l'indication de niveau d'huile
14	Les godets
16	Une sonde de température

3. Description des composants du palier à coussinet

Le palier à coussinet est constitué de pièces indépendantes les unes des autres, l'intérêt étant de pouvoir remplacer une pièce par une autre en cas d'usure particulière et non l'ensemble complet.



Figure 20 : Les différents composants du palier

a. Les composant du système :

- Le Corps Du Palier.
- La Bride Avec Des Godet.
- Le Coussinet.
- La Demi Cerce De Coussinet.
- La Bride en Bronze.
- La Tresse.
- Le Presse-étoupe.

b. Description de chaque composant**Le coussinet**

Un coussinet est une bague cylindrique, de forme tubulaire, avec ou sans collerette, interposés entre un arbre et son logement pour faciliter le mouvement de rotation, Il se monte avec serrage dans l'alésage et l'arbre est monté glissant dans le coussinet.

Les coussinets peuvent être d'une seule pièce ou en deux parties pour faciliter le montage. La matière employée est fonction de l'usage et du prix de revient.

Le coussinet est pourvu de petites gorges où la vitesse de rotation vient « coincer » l'huile entre celui-ci et l'arbre, qui est automatiquement centré sur le palier.

Les coussinets sont réalisés à partir de différents matériaux : bronze, matières plastiques (nylon, téflon). Ils peuvent être utilisés à sec ou lubrifiés.

La demi cerce de coussinet

C'est le complémentaire du coussinet, sert à compléter le coussinet pour assurer un guidage en rotation parfait.



Figure 21 : Le demi coussinet

Le presse-étoupe

C'est une pièce qui sert à comprimer la tresse pour l'étanchéité, Les presse-étoupe, constitués par des bourrages de matériaux fibreux (étoupe, amiante) tressés ou non, serrés sur l'arbre par un blocage axial au moyen d'écrou ou de bride à boulons, ont été longtemps le dispositif le plus communément employé. Ils donnent lieu à un couple de frottement important et absorbent une puissance relativement élevée.



Figure 22 : Le presse-étoupe

La tresse et la cerce en bronze

Des organes qui assurent la fonction d'étanchéité, ils empêchent l'entrée de la poussière vers le palier, et la sortie d'huile vers l'extérieur.



Figure 23 : les joints d'étanchéité

4. Système de lubrification

La lubrification a pour objectif d'interposer un film de lubrifiant entre un corps roulant et un corps fixe.

La lubrification au niveau des palier à coussinet s'effectuait par "barbotage" (bain d'huile).

La lubrification par barbotage utilisable aux faibles vitesses, c'est la moins couteuse, L'opération s'effectue par les petits godets qui trempe dans le bain d'huile et emporte par adhérence de l'huile de la partie inférieur du palier et la renverse sur la partie supérieur (arbre).

La quantité d'huile du bain doit être suffisante et tenir compte des conditions de service (35L).

Le niveau du bain est contrôlé quotidiennement par un voyant de contrôle, une jauge et un indicateur par la salle du contrôle.

La température d'huile ne doit pas dépasser 50 °C pour cela on utilise un système de refroidissement d'huile par eau. En cas d'échauffement la température est détecté par une sonde de température ce qui nous permet d'utiliser la lubrification forcée des pompes.



Figure 24: La pompe hydraulique

L'huile utilisé dans ces paliers est une huile a base minérale (ISO-VG 460), ses performances sont dans le tableau suivant :

Tableau 10 : Les caractéristiques d'huile utilisée

Masse volumique a 15°C	0.903 Kg/m ³
Viscosité a 40°C	452.2 mm ³ /s
Viscosité a 100°C	29.9 mm ³ /s
Indice de viscosité	95
Point éclair	256 °C
Point d'écoulement	-12 °C
GFT classe	Haut



Figure 25: Le type d'huile utilisé

5. Maintenance des paliers lisses Polysius

Nettoyage régulier des stations (Particulièrement le plan de pose des paliers de galets)



Figure 26 : système de braquage

Un jeu important entre disque de butée et coussinet entraîne un manque de graissage entre le coussinet et l'arbre. Le jeu ne doit jamais être supérieur à 15mm (en neuf le jeu est de 4mm sur des arbres diamètre 500mm)

Les réglètes d'appui des savonnettes sont certainement tordues, alors il est possible de caler entre la réglète et la savonnette.



Figure 27 : la bride et les godets

Un changement des paliers est à effectuer tous les 8ans

- Démontage et contrôle du coussinet.
- Dépose des paliers.
- Contrôle et ponçage de l'arbre si nécessaire.
- Nettoyage de la semelle.
- Nettoyage de l'intérieur du palier.
- Changement des tresses d'étanchéités.
- Graissage de la semelle avant remontage.

Les figures ci-dessous montrent le démontage pour inspection des paliers et la protégée correcte et incorrecte de l'arbre du galet sur les coussinets



Figure 28: Démontage pour inspection coussinet

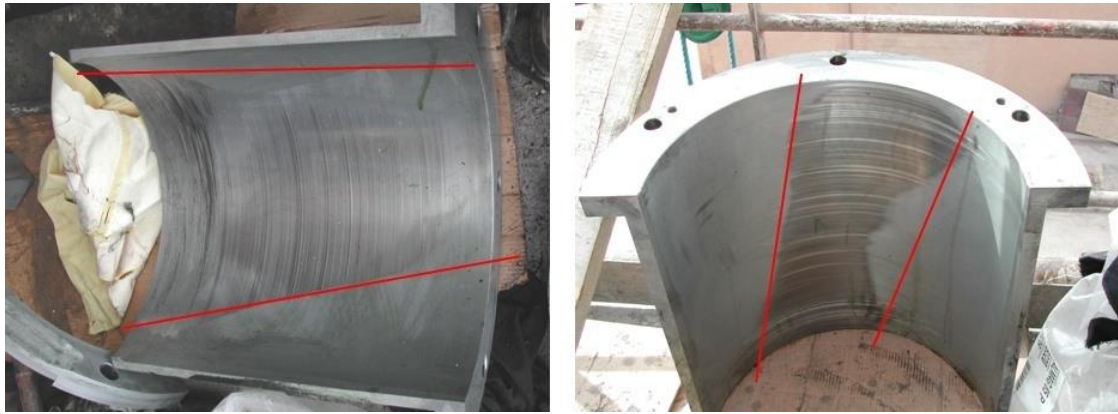


Figure 29 : Portée incorrecte arbre sur coussinet

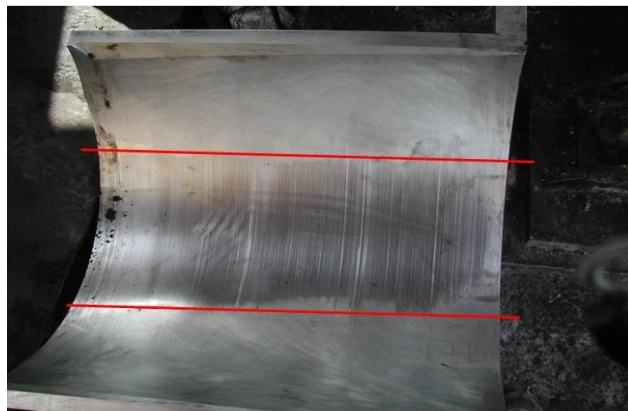


Figure 30: Portée correcte 45° à 60° centrée

IV. Etude et analyse de la défaillance

✓ Méthode de résolution des problèmes (A3)

Dans cette partie, on va appliquer la démarche A3 pour résoudre le problème de la fuite d'huile du palier.

La démarche A3 se nomme d'après le format de papier utilisé pour la documenter. C'est une méthode qui permet de résoudre un problème d'une façon bien structurée et organiser en mettant les causes racines du phénomène afin d'adopter les bonnes solutions.

Pour cette raison il faut bien savoir maîtriser les étapes suivantes :

- Étape 1 : description de la situation existante.
- Étape 2 : les raisons pour lesquelles on a étudié ce problème : pourquoi voulons-nous traiter ce problème ?
- Étape 3 : identification du problème.
- Étape 4 : comprendre le fonctionnement du système.
- Étape 5 : fixation des objectifs.
- Étape 6 : les causes racines.
- Étape 7 : analyse des causes.
- Étape 8 : les actions correctives.

1. Description générale du phénomène de la fuite d'huile du palier amont du four rotatif

Les paliers à coussinets sont des organes utilisés dans les cimenteries pour supporter et guider, en rotation, des arbres des galets.

Ces derniers sont menu d'une rotation par les bandages du four qui lui-même menu d'une rotation entraînée par un moteur électrique et un système réducteur pignon /couronne. Tous les arbres du galet sont guidés en rotation sur des coussinets et qui sont lubrifiés principalement avec un système de barbotage et des pompes forcés en cas d'un échauffement. La station 3 a subi une fuite d'huile au niveau du palier amont coté broyeur charbon.

En effet le four rotatif avant 2012 n'a pas subi aucune fuite d'huile, néanmoins une fois le dédoublement de capacité effectué et la faite de tourner à une vitesse de 5.2 tr/min (avant la vitesse est 2,3tr/min) et l'installation des pompes de recirculation d'huile station 2 et station 3, tous ces facteurs ont contribués à l'apparition des fuites d'huile. Ils sont procédés à plusieurs reprises au changement des tresses ramailons et aussi des segments en bronze sans qu'ils puissent limiter parfaitement les fuites d'huiles. Aussi il faut dire qu'il y'a une usure sur le diamètre des arbres des galets chose qui favorise aussi les fuites.



Figure 31 : La fuite d'huile du palier

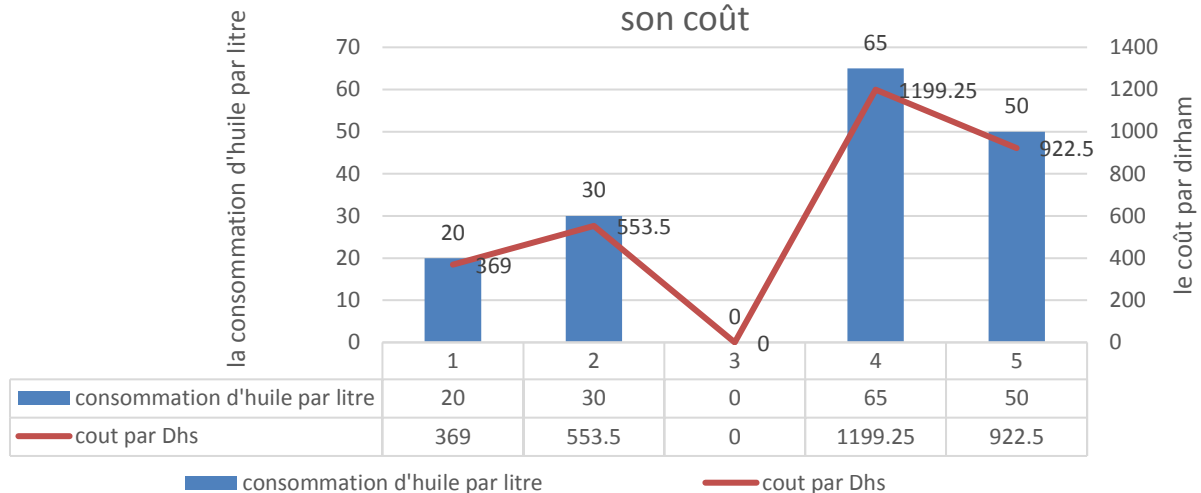
2. Les raisons pour lesquelles le phénomène est étudié

Le problème des fuites d'huile est toujours présent dans les cimenteries, ce problème-là des effets négatifs sur le béton (dégradation du béton), sur l'environnement (saleté) et un gaspillage d'huile.

Le palier amont station 3 du four consomme l'huile d'une façon expansive en cas d'échauffement et à cause de démarrage des pompes, on perd 5 litres par jour, un litre d'huile VG 460 coute 18.45 Dhs.

Le diagramme ci-dessous représente la perte d'huile de ce palier au cours de cette année.

La consommation d'huile par le palier station 3 au cours de 2017 et son coût



Selon le diagramme on voit que la société dépense presque 762 Dhs chaque mois à cause de cette fuite, or pour les autres paliers on change l'huile chaque vidange qui se fait chaque année, mais le problème le plus délicat n'est pas celui de la perte, c'est celui de la dégradation du béton à cause de cette fuite.

3. Identification du problème

Pour identifier le problème de la fuite d'huile du palier amont du four rotatif il y a plusieurs méthodes à appliquer, parmi ces méthodes on a :

❖ Méthode de QQQPC

Cette méthode sert à identifier notre problème à partir de six questions : Qui, quoi, où, quand, comment, pourquoi.

✚ Qui ?

- Le bureau des méthodes.
- L'équipe de la maintenance mécanique.

✚ Quoi ?

- Ce palier a coussinet présente actuellement une fuite d'huile lors de son fonctionnement.

✚ Où ?

- La fuite d'huile de ce palier est dans la partie où se trouve le contact entre l'arbre et la tresse.

✚ Comment ?

- La rectification de l'arbre du galet station 3 coté broyeur charbon a causé un jeu entre elle et le coussinet et le dédoublement de la vitesse de rotation du four ce qui provoque une fuite d'huile au niveau du palier amont.

✚ Quand ?

- Depuis l'utilisation d'un nouvel arbre du galet qui était déjà rectifier.

✚ Pourquoi ?

- L'augmentation du jeu entre l'arbre et le coussinet.

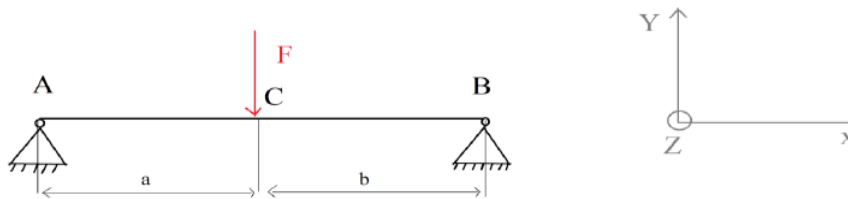
4. Comprendre le fonctionnement normal du système

Les paliers à coussinet sont en apparence très simples. Fabriqués d'un métal doux (alliage antifriction composé principalement d'étain et de plomb), ils épousent la forme de l'arbre du galet pour le guider en rotation et supportent ainsi la charge. L'arbre et le coussinet se trouvent lubrifiés de façon continue par un film d'huile (lubrification par barbotage), ce qui diminue le frottement et contribue à refroidir le palier.

Le refroidissement du palier se fait aussi à l'intérieur par un circuit d'eau.

Calculons la charge supportée par le palier (coussinet) :

Sachant que le galet de la station 3 supporte 1110 KN alors on applique la loi fondamentale de la dynamique :



$$\begin{aligned}\sum \vec{F} &= \vec{0} \\ \vec{A} + \vec{B} + \vec{F} &= \vec{0} \\ A + B - F &= 0 \\ \sum \vec{M} &= \vec{0} \\ a\vec{i} \wedge -F\vec{j} + (a+b)\vec{i} \wedge B\vec{j} &= 0 \\ -aF + (a+b)B &= 0 \\ -aF + 2aB &= 0 \\ B &= \frac{F}{2} = \frac{1110}{2} = 555 \text{ KN}\end{aligned}$$

Selon notre calcul, notre coussinet a les caractéristiques suivantes :

Tableau 11 : Les caractéristique du coussinet [5]

Pression	20 bar
Vitesse	16.22 tr/min
Coefficient de frottement f	0.02
Diamètre	400 mm
Alliage	Etain

Les joints d'étanchéité (la tresse suifée et la cerce en bronze) sont comprimé par un presse-étoupe, ce dernier est serré par des boulons classe 8.8 leurs caractéristiques sont :

Tableau 12 : La classe des boulons [6]

La classe	La limite de rupture Rm	La limite d'élasticité Re
8.8	800 MPa	640MPa

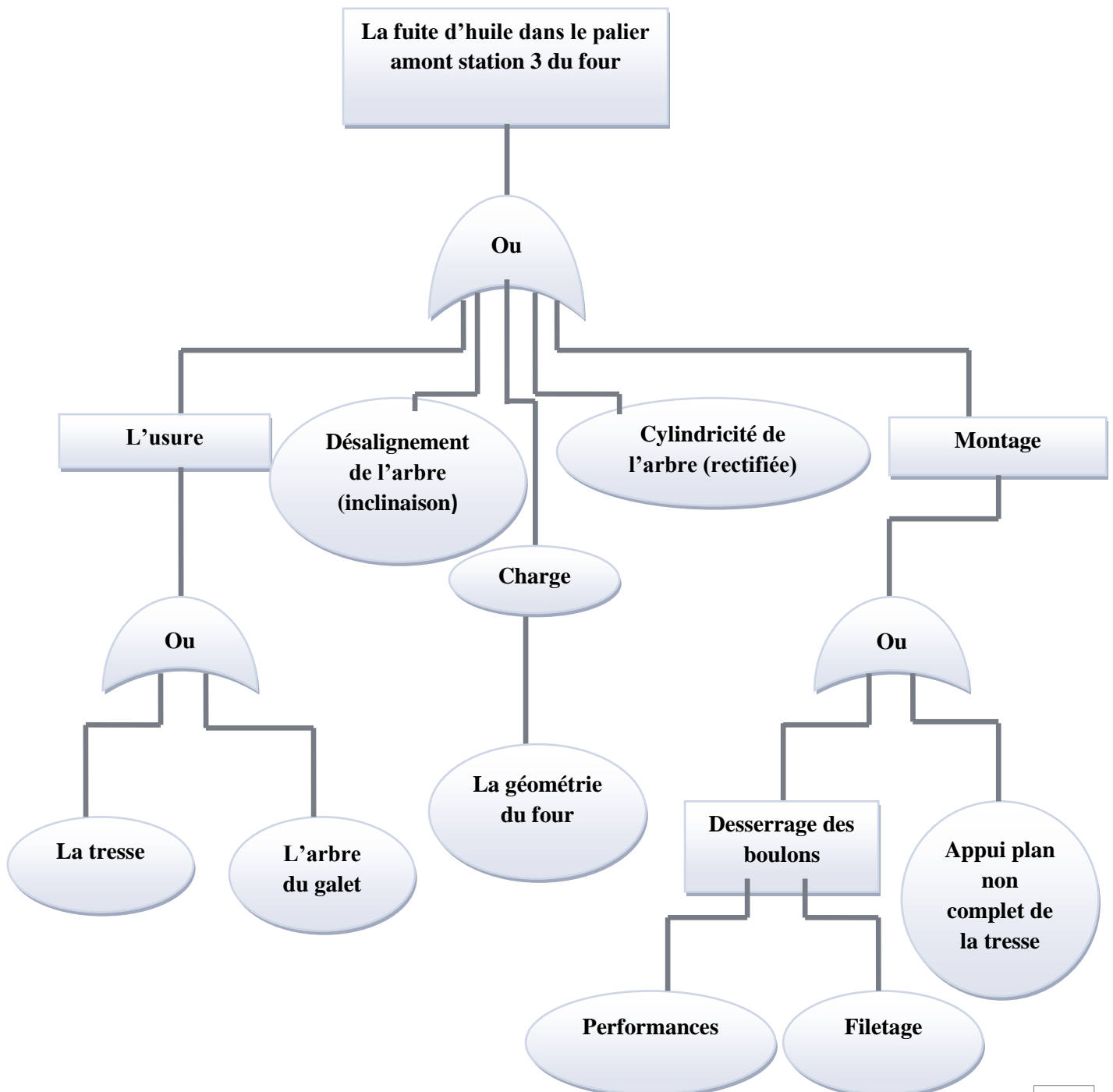
5. Fixer les objectifs

L'objectif de cette analyse est de trouver des solutions pour éliminer la fuite d'huile ou, au moins, de la minimiser afin d'éviter le gaspillage d'huile et le risque de dégradation du béton.

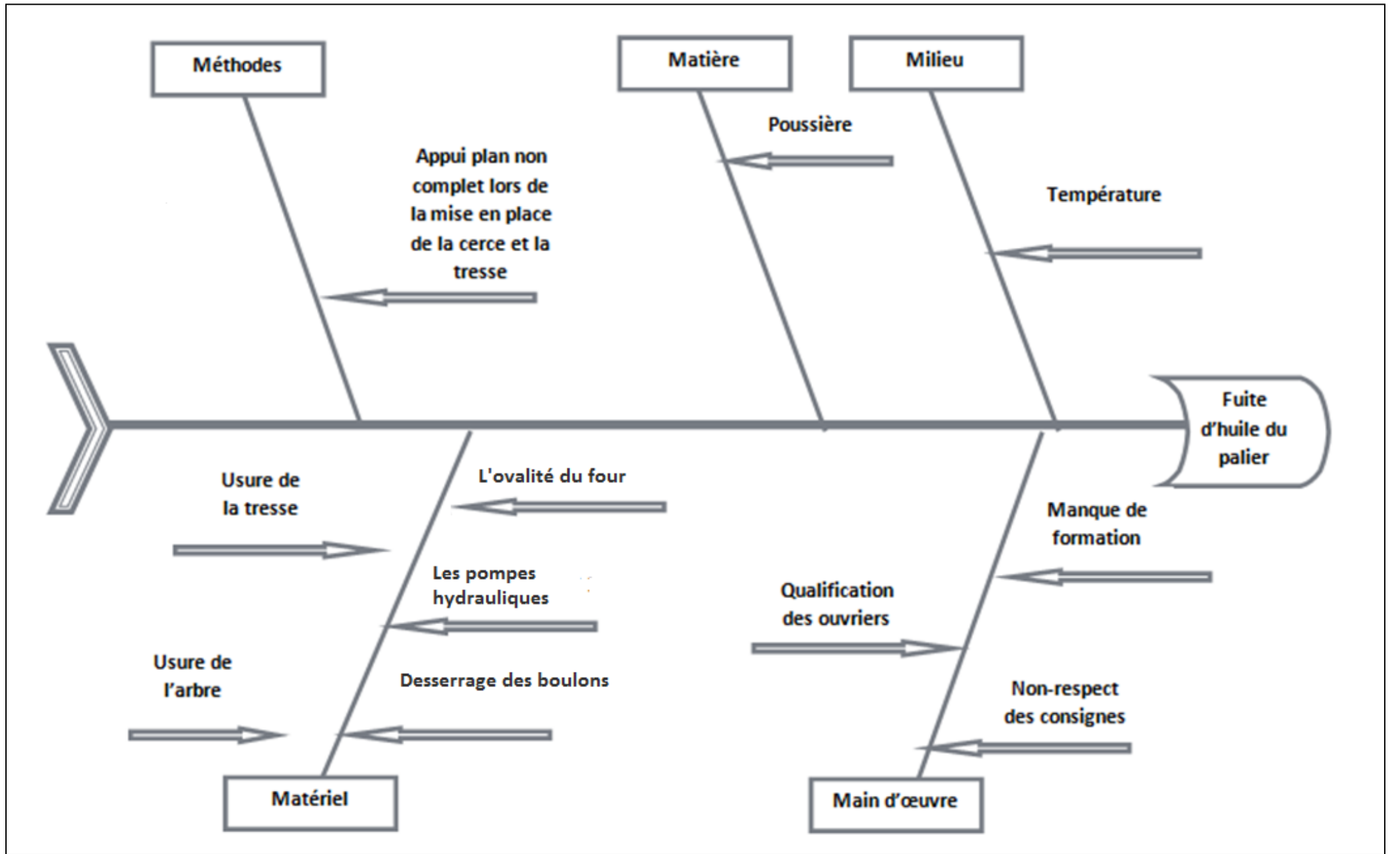
6. Les causes racines

❖ L'arbre des causes

Cet arbre nous permet de savoir les causes possibles du problème :



❖ Diagramme d'Ishikawa



7. Analyse des causes racines

Selon le diagramme Ishikawa les causes directes du problème sont :

- L'usure de la tresse.
- Le desserrage des boulons.
- L'usure et la rectification de l'arbre.
- L'ovalité du four.
- Le jeu entre coussinet et l'arbre.

On va traiter chaque cause pour identifier les causes principales de la fuite

i. L'usure de la tresse

La tresse utilisée dans notre système est une tresse d'une marque américaine de la compagnie Chesterton de dimension 16*16 cette tresse est utilisée dans tous les autres paliers et marche très bien, d'où la tresse ne cause pas un problème.

ii. Le desserrage des boulons

L'équipe de l'atelier et de la maintenance mécanique pose le desserrage des boulons comme cause principale de la fuite or après qu'on a calculé la vibration axiale et radiale du palier et après repérage d'un boulon on a trouvé que les boulons ne se desserre pas parce que la vibration est négligeable (égale à 0.9 mm/s) donc les boulons sont parfaits et on élimine cette cause.



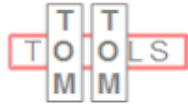
Figure 32 : appareil de mesure de vibration

iii. L'usure et la rectification de l'arbre du galet

En 2012 par effet du dédoublement de la vitesse (de 2.3 à 5.2) et de la charge du four, l'arbre du galet amont station 3 du four s'est cassé. C'est pour cela l'usine avait besoin de le changer par un galet qui était déjà en stock (20 ans de stock). Le mauvais stockage de ce galet a causé des piques dans le demi arbre du galet. L'équipe de la maintenance et l'atelier mécanique ont pris la décision de passer l'arbre du galet par le tour cette opération a été faite par une société étrangère à Casablanca accompagné d'un technicien de l'équipe mécanique de l'usine LafargeHolcim ras el ma de Fès la société a diminué le diamètre de l'arbre du galet de 1 mm d'un seul côté (coté fuite d'huile), après le montage du galet la fuite a commencé pour cela on peut poser cette cause comme la cause principale.

iv. L'ovalité du four

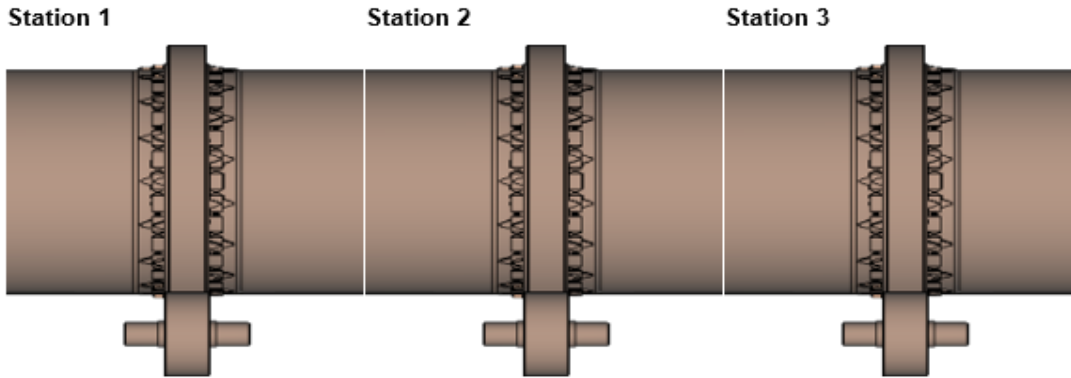
Après avoir faire des analyses Tom-tom pour le four on a déduit que la cylindricité du four n'est pas parfaite et avec l'effet vilebrequin du four on a supposé que la charge du four se peut être parmi les causes de la fuite d'huile.



TomTom-Tools
Measurement Studio

TomTom-Tools GmbH
Switzerland

Version 3.9.1.1357



Material Flow: →

Diameter: 3,80 m
T Kiln Uphill: 175 °C
T Kiln Downh.: 153 °C
T Tire: 65 °C
Rel. Mov.: -- mm/rev

Diameter: 3,80 m
T Kiln Uphill: 323 °C
T Kiln Downh.: 318 °C
T Tire: 124 °C
Rel. Mov.: -- mm/rev

Diameter: 3,80 m
T Kiln Uphill: 240 °C
T Kiln Downh.: 315 °C
T Tire: 72 °C
Rel. Mov.: -- mm/rev

	Uphill	Downhill
A	0,22%	0,27%
B	0,22%	0,24%
C	0,22%	0,26%
Avg.	0,22%	0,26%

	Uphill	Downhill
A	0,18%	0,15%
B	0,15%	0,10%
C	0,19%	0,12%
Avg.	0,18%	0,12%

	Uphill	Downhill
A	0,15%	3,70%
B	4,28%	2,37%
C	3,41%	0,20%
Avg.	2,61%	2,09%

✚ Pour la station 1

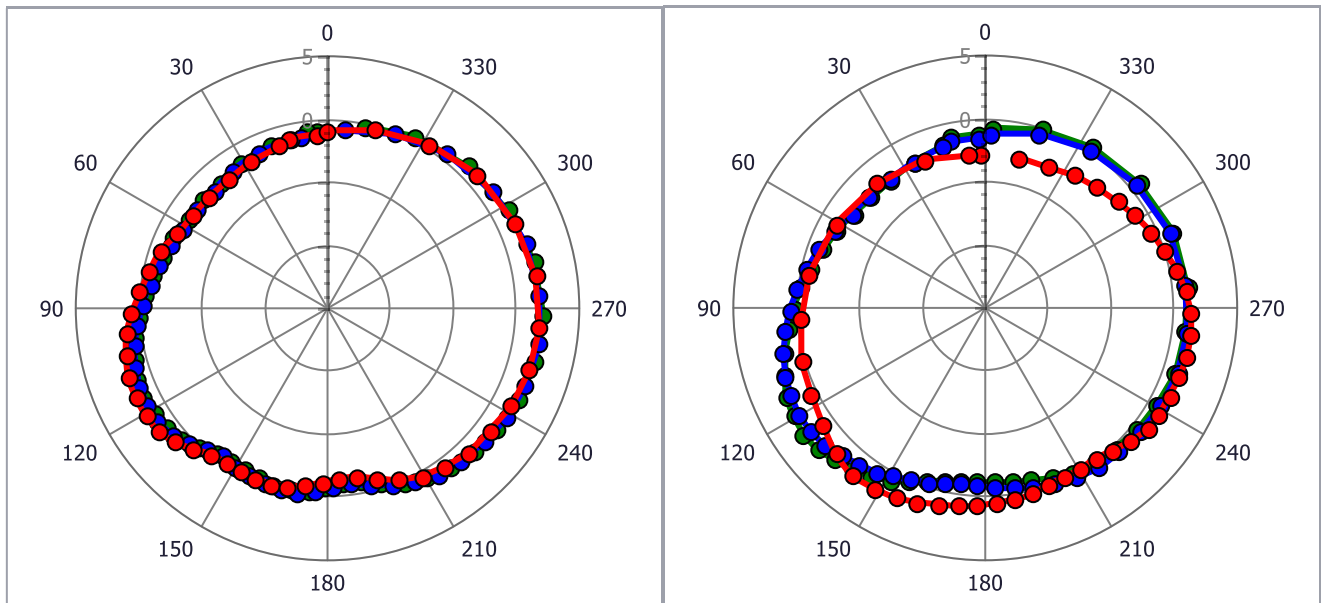


Figure 33: mesure d'ovalité avant et après bandage pour la première station

✚ Pour la station 2

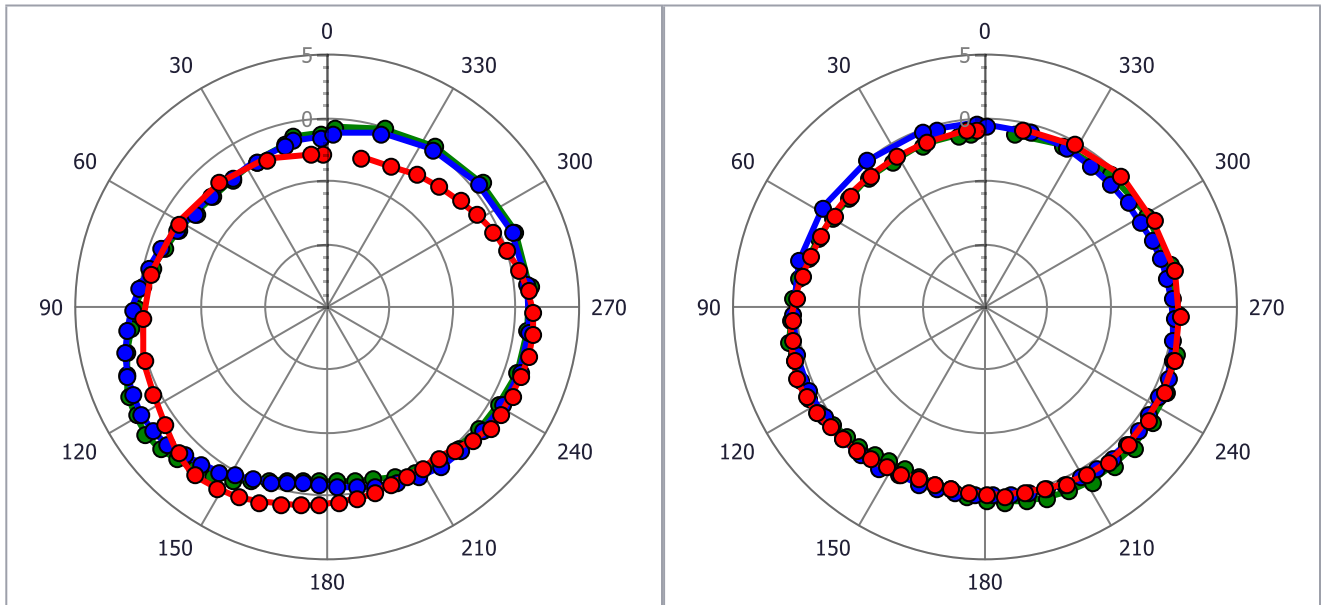


Figure 34: mesure d'ovalité avant et après bandage pour la deuxième station

✚ Pour la station 3

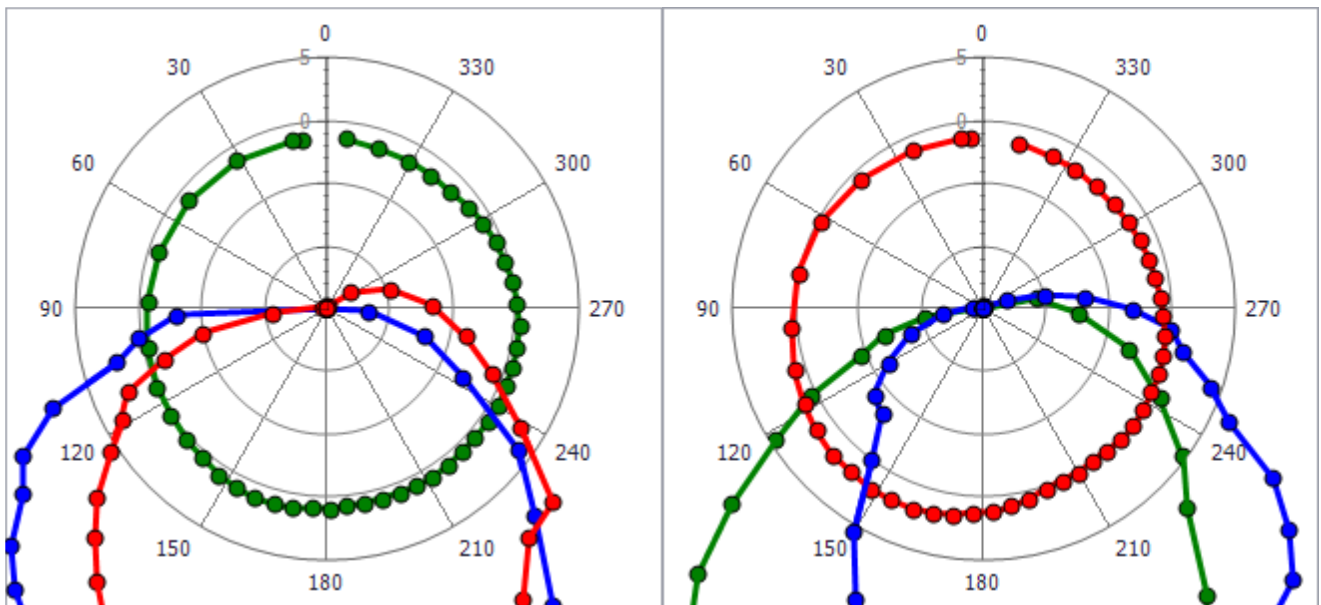


Figure 35: mesure d'ovalité avant et après bandage pour la troisième station

Principe de mesure de l'ovalité du four :

La mesure de la déformation de la virole du four se fait par un capteur magnétique, un PC portable pour l'acquisition des données. Pour prendre les mesures il est primordial de se situer à tout instant vis-à-vis du four rotatif.

Le capteur d'ovalisation est un moyen de mesure utilisé dans les fours rotatifs et qui mesure la variation de la rondeur / courbure dans la virole du four durant le fonctionnement.

Cette déformation élastique est appelée ovalisation et se trouve essentiellement au-dessous du bandage. Cette mesure donne une information sur la charge appliquée sur les briques réfractaires/ la virole du four et permet d'identifier les mesures à prendre pour augmenter la durée de vie des composants du four.

Le capteur d'ovalisation est petit et simple dans son utilisation.

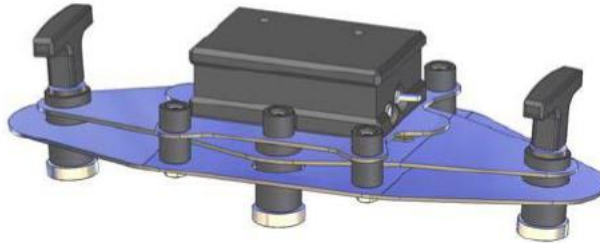


Figure 36 : Capteur de l'ovalisation

Le capteur d'ovalisation consiste sur la déviation de la plaque dont il sera attaché par des aimants sur la virole du four, près du bandage. A cause de la forte connexion magnétique, la déviation dans la plaque suivra celle dans la virole du four. Cette déviation est transformée en un signal électrique et amplifiée avant de l'envoyer à l'ordinateur via connexion Bluetooth.

Le logiciel Tom-tom-Tools Measurement Studio reçoit, enregistre et traite les valeurs du capteur d'ovalisation. Pendant la mesure, les valeurs sont affichées et calculées directement.

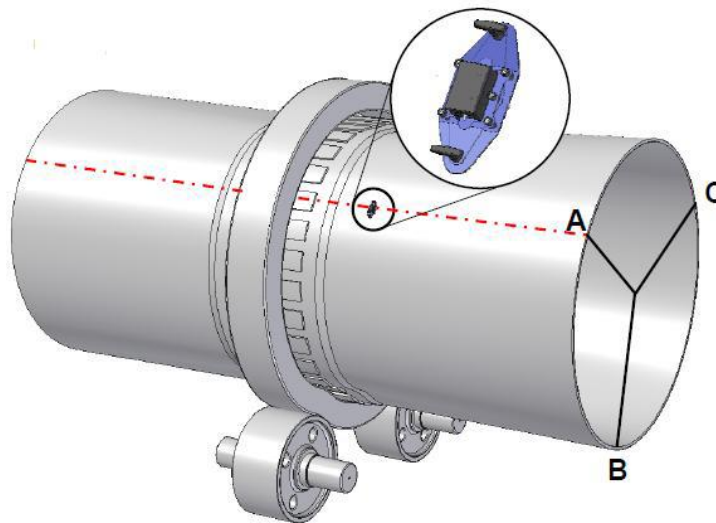


Figure 37 : Emplacement de l'outil

v. Le grand jeu entre le coussinet et l'arbre

Après la rectification de l'arbre le jeu entre ce dernier et le coussinet augmente cela provoque un guidage en rotation non parfait, ce jeu laisse une grande quantité d'huile passe par la tresse facilement.

8. Résolution du problème

Durant notre stage et selon les études qu'on a fait, on a pu trouver plusieurs solutions pour la fuite d'huile, parmi ces solutions il y a des solutions pour se débarrasser définitivement du problème et d'autres provisoires afin de minimiser le risque de la fuite.

○ Analyses des solutions

1) Changement du galet

Pour éliminer définitivement la fuite d'huile dans notre palier sans avoir des risques, on a proposé de changer le galet complètement cela va assurer un bon fonctionnement sans problèmes, pour cela on a réalisé une gamme opératoire qui représente toutes les opérations nécessaires, le temps et le coût pour le démontage, montage et l'achat du galet.

La gamme opératoire :

Tableau 13 : Gamme de démontage du galet

Operations	S/Opération	Outillage
Arrêt four.		
Soulèvement du four.		-Berceau + deux calles dimensionner. -deux vérins hydrauliques 500t chacun. -Une pompe hydraulique.
Démontage du galet station 3 avec les 2 paliers.	-Vidange des galets -Démontage du dispositif de braquage galet	-Une grue + deux élingue longueur 6m chacun avec capacité de 10t chacun. -Un palonnier de levage adapter pour levage du galet. -Deux po lifts pour maintenir la stabilité des paliers sur l'arbre du galet de chaque côté.
Soulèvement et manutention du galet.		-Une grue conforme.
Poser l'ensemble galet + paliers par terre. Stabiliser le galet et mise en position des galets par des cales en bois.		-Une grue.
Démontage des paliers qui sont montée sur le galet.	-Démontage flasque du palier. -Démontage de la bride de maintien galet et palier. -Démontage des godets de lubrification arbre et coussinet. -Démontage de la demi bride du coussinet. Démontage de la sonde de température. -Démontage des presse-étoupe tresse + les cerces.	-Une grue. -Un chariot élévateur. -Marteau 2kg et marteau 5kg. -Clé mixte 24mm. -Clé a frappé 55mm. -Clé à griffe.
Poser les deux paliers par terre sur les calles en bois.	-Démontage du coussinet.	-Chariot élévateur. -Clé à six ponts 14mm.
Contrôle des coussinets	-Préparation et grattage du coussinets	-Gabarie de contrôle pour arbre 400mm.

Après avoir nettoyer les paliers, préparer les coussinets par rapport à la portée des arbres. On passe à l'opération de montage de nouveau galet

L'opération de nouveau galet se fait par :

- Montage des coussinets sur les paliers.
- Montage du palier et du coussinet sur l'arbre du galet avec la position correcte.
- Montage du demi bride du coussinet.
- Montage de la bride de fixation avec plaque de freinage des boulons et godés de lubrification.
- Montage flasque des paliers.
- Soulever le galet légèrement à l'aide de la grue De levage conforme.
- Solidariser les paliers sur les porters des galets à l'aide des deux polifts de chaque côté.
- Soulever l'ensemble galet et paliers.
- Enduire les planes surfaces de contact galet par la molykote G (graisse).
- Mise en place de l'ensemble galet et paliers.
- Mise en place des cales de rotulation palier.
- Montage du dispositif de braquage du galet.

Réglage du galet par rapport au bandage, et de la position correcte de montage a l'aide de la pige étalonnage.

L'opération de démontage du l'ancien galet et du montage d'un nouveau galet va prendre 6jours, et 6 personnes comme équipe de travail.

Un nouveau galet plus son transport va coûter plus que 700000 Dhs.

Le changement du galet permet un arrêt du four cela veut dire un arrêt de production de clinker pour 6jours.

Le silo de stockage de clinker contient 30000t et le débit du broyeur ciment est égale a 135t/h alors dans 6jours le broyeur ciment va consommer :

$$135 \times 24 \times 6 = 19440t < 30000t$$

Donc il n'aura pas un risque d'arrêt de la production de ciment.

L'équipe de travail composé de 6 personnes qui vont travailler en continue 10h/jour pendant 6jours, d'où l'opération en général va coûter

$$Pt = 700000 + 10 \times 6 \times 380 = 722800DH$$

Avantage

Cette solution peut éliminer la fuite définitivement.

Désavantage

Le changement du galet peut causer un échauffement des paliers à cause de l'usure des autres anciens galets, et aussi on n'aura pas une portée parfaite du four (le diamètre du nouveau galet et supérieur aux diamètres des autres galets).

2) Changement du coussinet

Pour éliminer le jeu entre l'arbre et le coussinet, on a proposé d'acheter un nouveau coussinet plus large au niveau d'épaisseur.

Comme on sait, la rectification de l'arbre du galet a diminué le diamètre de l'arbre ce qui a provoqué un grand jeu entre le coussinet et l'arbre, ce dernier c'est le responsable principal de la fuite.

Notre proposition sert à utiliser un nouveau coussinet plus épais pour éviter le jeu entre l'arbre et le coussinet, d'où on a proposé d'adapter le même coussinet en ajoutant une couche mince de régule (1 mm).

✚ **Avantage** : cette proposition peut attraper le jeu entre l'arbre et le coussinet.

✚ **Désavantage** : il y a un risque de l'inclinaison de l'arbre du galet qui va causer des frottements entre le coussinet et l'arbre.

3) Changement de la tresse

Le jeu entre l'arbre et le coussinet provoque une usure énorme de la tresse.

Le contrôle de la tresse se fait normalement chaque arrêt technique (1 an), or dans notre cas, l'équipe change la tresse chaque arrêt du four (3 mois), l'usure de la tresse provoque un jeu entre le presse-étoupe qui la compresse et entre elle, donc on aura automatiquement une fuite d'huile, pour cela on a proposé d'utiliser une tresse plus résistante.

D'après notre recherche on a pu trouver une tresse qui va assurer l'étanchéité dans notre cas plus que celle qu'utilise la société :

❖ **370 – Tresse en fils de carbone haute température**

Grâce à sa construction unique en carbone et en graphite, le produit 370 de Chesterton peut être utilisé dans toute l'usine. Un fil de carbone de qualité supérieure est utilisé pour sa fabrication. Le 370 contient des particules de graphite pur, des huiles haute température et du bisulfure de molybdène qui ont un rôle de lubrifiants et d'agents de blocage durables. La tresse en fil de carbone à faible frottement présente une résistance exceptionnelle aux hautes températures dans un milieu non oxydant [4].

✚ **Avantage** : la tresse peut résister plus à l'usure dans ce cas.

✚ **Désavantage** : peut-être la tresse ne va pas garantir une étanchéité parfaite.

4) Séparation des commandes des pompes

Le galet de la station 3 du four est porté par deux paliers, les deux paliers ont un système de lubrification forcée par des pompes, en cas d'échauffement d'un des deux paliers la salle de contrôle active la pompe pour assurer la lubrification forcée dans le palier.

Lors de l'activation de la pompe la pompe de l'autre palier s'active automatiquement car les deux pompes des deux paliers ont une seule commande.

C'est pour cela on a proposé de séparer les commandes cela veut dire que chaque pompe de chaque palier doit avoir une commande indépendante.

✚ **Avantage**

Cette proposition permet de diminuer la fuite d'huile.

✚ **Désavantage**

Cette proposition n'élimine pas la fuite d'huile.

5) Utilisation d'un déflecteur

On a regardé la possibilité de mettre un déflecteur entre la cerce en bronze et la tresse mais il semble que l'espace est trop limité, alors nous avons proposé d'enlever la couche de la tresse qui s'appuie sur la cerce en bronze (on a un dédoublement de la tresse) et la remplacée par un déflecteur de diamètre 400 mm.

6) La recharge de l'arbre du galet

On a proposé, pendant l'arrêt technique, un ré usinage de l'arbre d'une façon a le rendre cylindrique, concentrique et de faible rugosité, puis une recharge d'arbre en respectant les dimensions du demi arbre de l'autre côté.

7) Solution provisoire

Comme on sait tous, l'huile a un impact négatif sur le béton (la dégradation), pour cela la société utilise des verseaux pour récupérer l'huile mais en vain.

Après notre étude et vu que la société n'est pas encore prête pour changer le galet en attendant l'arrêt technique, on a décidé de trouver une solution provisoire pour minimiser le risque de la fuite sur le béton, pour cela on a proposé au chef de la maintenance mécanique d'utiliser un bac remplie par un petit volume d'eau , tant que la densité d'huile est inférieure à celle de l'eau, l'huile va flotter simplement, avec des conduites, filtre et séparateur, on peut récupérer l'huile en bon état : on gagne les huiles jetés et on protège le béton.



Figure 38 : Récupération d'huile

Selon l'étude et le dessin qu'on a fait le bac aura les dimensions suivantes :

- ✓ La Longueur : 2010 mm
- ✓ La Largeur : 690 mm
- ✓ La hauteur : 355 mm

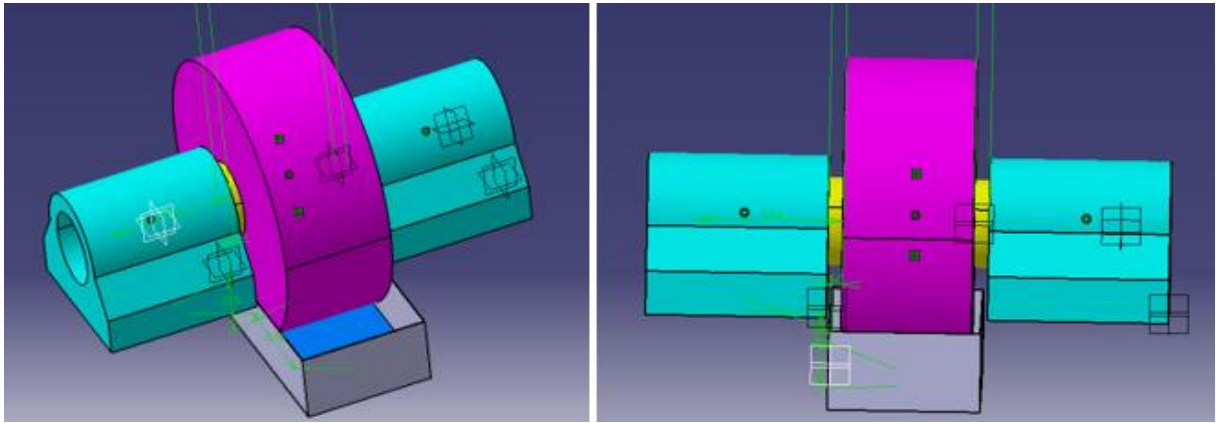
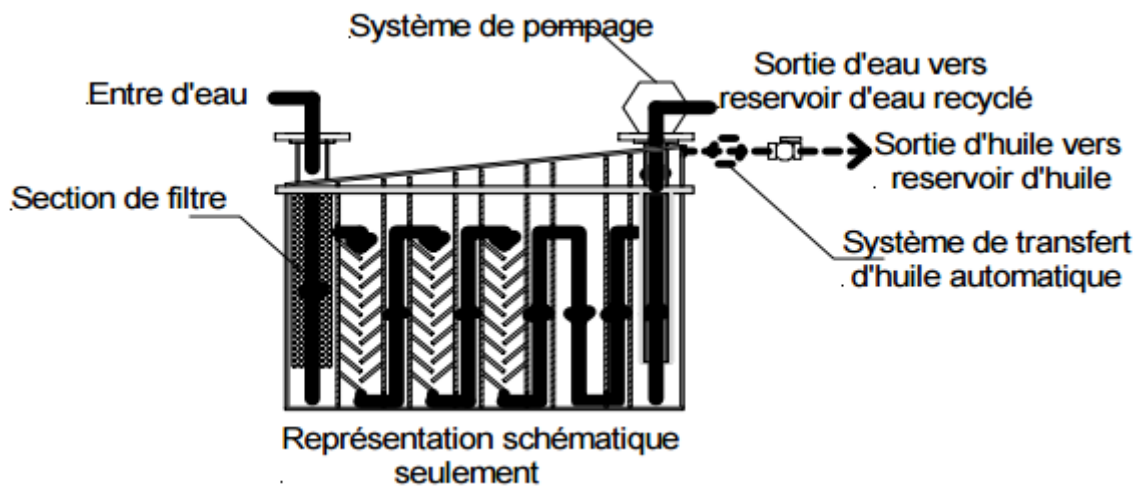


Figure 39 : Conception du bac

- Pour le matériau utilisé on a choisi de construire le bac à partir d'un acier inoxydable.
- Pour le niveau d'eau, on a trouvé que la distance qui va rester entre le galet et le bac est 145 mm d'où le niveau d'eau ne doit pas dépasser 30mm cela veut dire qu'on aura besoin de 41L comme volume d'eau.
- L'eau avec l'huile va être transporté vers le séparateur par une conduite, puis il va être traité et filtré par le séparateur, ensuite on aura de l'huile séparée qui va être transférée automatiquement à un réservoir d'huile, et de l'eau qui va sortir vers le bac.
- Selon notre recherche on a proposé le séparateur de basse HOS (Séparation avec écoulement à l'horizontal) :



- ✓ Ces séparateurs sont sur commande d'où le débit est peut être variable.
- ✓ Les dimensions peuvent être modifiées pour satisfaire les exigences de l'emplacement de l'installation [7].

Conclusion générale

Dans le but d'obtenir notre licence en Sciences et Techniques à la faculté des sciences et techniques de Fès, notre formation est couronnée par un stage obligatoire en entreprise. Ce stage a été effectué au sein de la société LAFARGEHOLCIM de Fès. C'est un groupe français-suisse occupant la position de leader dans les produits des matériaux de construction, et qui dans le cadre de son amélioration continue, a opté pour le perfectionnement de la maintenance préventive des équipements de son usine.

Le projet qui nous a été proposé, consiste à faire une étude sur le four rotatif pour connaître son fonctionnement et de quoi il se compose, afin de trouver des solutions pour un problème technique celui de la fuite d'huile d'un palier a coussinet qui se trouve dans la station 3 du four de cimenterie.

Le travail que nous avons réalisé a commencé au début temps par une présentation de la société LafargeHolcim et une description du procédé de fabrication de ciment.

Puis, nous avons passé dans le deuxième chapitre a la présentation du four rotatif, son fonctionnement, sa conception, et ses composants.

Ensuite nous avons attaqué le problème de la fuite d'huile du palier du four rotatif en utilisant la méthode de résolution des problèmes A3 :

- ✓ Étape 1 : description de la situation existante.
- ✓ Etape 2 : les raisons pour lesquelles on a étudié ce problème.
- ✓ Etape 3 : identification du problème.
- ✓ Etape 4 : comprendre le fonctionnement du système.
- ✓ Etape 5 : fixation des objectifs.
- ✓ Etape 6 : les causes racines.
- ✓ Etape 7 : analyse des causes.
- ✓ Etape 8 : les actions correctives.

Par ailleurs, ce projet était pour nous une opportunité enrichissante pour notre expérience professionnelle, aussi bien en ce qui concerne le domaine technique que l'aspect humain.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] : Holcim Group Support Ltd 2009 **07.09.09.**
- [2] : documentation LafargeHolcim.
- [3] : www.paulstraindustry.com/upload/gamme/catalogue/etancheite-dynamique-B6327B7E.pdf
- [4] : <http://www.salina.fr/-accessoires-chesterton-tresses-et-joints-d-etancheite/220-tresses-et-joints-d-etancheite.html>
- [5] : http://www.zpag.net/Tecnologies_Indistrielles/paliers_lisses.htm
- [6] : http://www.technocalcul.com/FR/resistance_meca_vis.html
- [7] : http://www.hydro-techniques.com/images/Separteur_Customeng_old.pdf