

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire



وزارة التعليم العالي
والبحوث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la
Recherche Scientifique

Université d'Oran 2
Institut de Maintenance et de Sécurité Industrielle
Département de Maintenance en électromécanique

Mémoire de fin d'étude
Pour l'obtention du diplôme de Master
Filière : Génie Industriel
Spécialité : Maintenance-Fiabilité-Qualité
Thème

**Contribution à l'amélioration de la maintenance d'un équipement
industriel : Four rotatif de cimenterie**

Présenté et soutenu par :

Nom : Bettahar
Nom : Belghaouti

Prénom : Nasreddine
Prénom: Abdelmalek

Devant le jury composé de :

Nom et Prénom	Grade	Etablissement	Qualité
GUETARNI Islem Hadj	MCB	Université d'Oran 2	Président
METAHRI Dhiyaeddine	MCB	Université d'Oran 2	Encadrant
TITAH Mawloud	MCB	Université d'Oran 2	Examineur

Septembre 2022

Dédicaces

*Nous dédions ce modeste
travail a nos chers parents,
Pour tous leurs efforts et
leurs sacrifices.*

*A nos frères et soeurs a nos
familles*

A nos amis

*Et à toute personne qui
nous a aidés de près ou de
loin.*

Remerciement

Avant de commencer la présentation de ce rapport, nous profitons l'occasion pour remercier toute personne qui a contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Nos remerciements en particulier a METAHRI Dhiyaeddine notre encadreur, qui nous a beaucoup aidé et guidé par ses conseils, durant toute la période de ce projet de fin d'étude.

Je remercie également Mr : Bouhafis.

Je remercie toute l'équipe de L'usine Zahana, en particulier les ingénieurs de service méthode.

Nous tenons à remercier également les membres de jury, pour leurs apports pédagogiques qui constituent la base de ce travail.

SOMMAIRE

Introduction générale.....	1
----------------------------	---

Chapitre I : Généralités sur la maintenance

I.1 Introduction.....	2
I.2 Historique.....	2
I.3 Définition de la maintenance.....	3
I.4 Type (Forme) de maintenance.....	3
I.4.1 Maintenance corrective.....	3
I.4.1.1 Maintenance palliative.....	3
I.4.1.2 Maintenance curative.....	4
I.4.1.3 Les opérations de la maintenance corrective.....	4
I.4.2 Maintenance préventive.....	4
I.4.2.1 Maintenance conditionnelle.....	4
I.4.2.2 Maintenance systématique.....	4
I.4.2.3 Maintenance prévisionnelle.....	5
I.4.2.4 Opérations de la maintenance préventive.....	5
I.4.3 Maintenance améliorative.....	7
I.5 Les normes de maintenance.....	7
I.5.1 La norme de maintenance industrielle X 60-010.....	7
I.5.2 La norme de maintenance industrielle NF EN 13306.....	7
I.5.3 La norme de maintenance industrielle NF EN 15341.....	7
I.6 Objectifs de la maintenance.....	7
I.7 Rôle de la maintenance.....	8
I.8 Les niveaux de la maintenance.....	8
I.9 La sureté de fonctionnement (SDF).....	9

I.10 AMDEC (Analyse des Modes de Défaillances et de leurs Effets et de leurs Criticité).....	10
I.10.1 Introduction.....	10
I.10.2 Historique.....	10
I.10.3 AMDEC selon la norme AFNOR X 60-510.....	10
I.10.4 Réalisation d'une AMDEC.....	11
I.10.5 Cotation de la criticité.....	12
I.10.6 Les fichiers AMDEC.....	14
I.10.7 Objectifs de l'AMDEC.....	15
I.10.8 Avantages et Inconvénients de la méthode AMDEC.....	16
I.11 Conclusion.....	17

Chapitre II : Présentation de processus de fabrication du ciment.

II.1 Introduction.....	18
II.2 Présentation de l'usine ZAHANA.....	18
II.2.1 Historique.....	18
II.2.2 Organigramme de S.CI.Z	19
II.2.3 Les différents services de S.CI.Z.....	20
II.2.4 L'organigramme du service maintenance et ces missions.....	20
II.3 Processus de fabrication du ciment.....	21
II.3.1 Historique.....	21
II.3.2 Définition du ciment.....	22
II.3.3 Les matières utilisées à S.CI.Z.....	23
II.3.4 Les étapes de fabrication du ciment.....	24
II.3.4.1 Exploitation de la carrière.....	25
II.3.4.2 Le concassage.....	25
II.3.4.3 Pré-homogénéisation.....	26
II.3.4.4 Broyage cru.....	26

II.3.4.5 Homogénéisation.....	27
II.3.4.6 Cuisson.....	27
II.3.4.7 Refroidisseur.....	28
II.3.4.8 Concassage de clinker.....	29
II.3.4.9 Broyage ciment.....	30
II.3.4.10 Stockage et expédition du ciment.....	30
II.4 Conclusion.....	31

Chapitre III : Description du four rotatif de ciment

III.1 Introduction.....	32
III.2. Historique.....	32
III.3 Différents types de Fours rotatifs longs.....	33
III.4 Description et fonctionnement.....	34
III.5 Description les zones de four.....	37
III.6 Principaux éléments du four.....	37
III.7 La rotation du four.....	38
III.7 Conclusion.....	39

Chapitre IV : Mise en place de la méthode AMDEC

IV.1 Introduction.....	40
IV.2 Décomposition du système.....	40
IV.3 Tableau de criticité (cas SCIZ).....	41
IV.4 Les tableaux d'AMDEC	42-50
IV.5 Interprétation des résultats de l'analyse AMDEC.....	51
IV.6 Analyse Pareto.....	52
IV.7 Action préventives.....	54
IV.8 Conclusion.....	56
Conclusion générale.....	57
Références bibliographiques.....	58

Liste des tableaux

Chapitre 1 : Généralité sur la maintenance industrielle

Tableau I.1 :Fréquence d'apparition de la défaillance.....	11
Tableau I.2 : Gravité de la défaillance.....	11
Tableau I.3 : La non-détection.....	12
Tableau I.4 : Echelle de criticité.....	13
Tableau. I.5 : Tableau AMDEC.....	14
Tableau I.6: Les quatre questions basiques de l'AMDEC.....	14
Tableau I.7: Les réponses théoriques qu'on peut trouver dans une analyse AMDEC.....	15

Chapitre II : Présentation du processus de fabrication du ciment

Tableau II.1 : Les matières utilisées à S.CI.Z.....	20
Tableau II.2 : Différents types de ciment fabriqués par S.CI.Z.....	20-22

Chapitre IV : Mise en place de la méthode AMDEC

Tableau IV.1 Échelle de criticité.....	41
Tableau IV.2 Grille AMDEC de bruleur (élément carburant).....	42
Tableau IV.3 Grille AMDEC de bruleur (élément comburant).....	43
Tableau IV.4 Grille AMDEC de bruleur (élément carburant).....	44
Tableau IV.5 Grille AMDEC d'isolation.....	45
Tableau IV.6 Grille AMDEC d'échappement.....	46
Tableau IV.7 Grille AMDEC d'Entraînement mécanique (Entraînement en translation).....	47
Tableau IV.8 Grille AMDEC d'Entraînement mécanique (élément Rotation (principale)).....	48
Tableau IV.9 Grille AMDEC d'Entraînement mécanique (élément Rotation(Virage)).....	49
Tableau IV.10 Grille AMDEC de guidage de rotation.....	50
Tableau IV.11 L'analyse ABC (Pareto).....	52
Tableau IV.12 Actions préventives.....	55

Liste des figures

Chapitre I : Généralités sur la maintenance

Figure I.1 : Les opérations de maintenance	06
Figure I.3 : Schéma des principes de l'analyse MADE	11
Figure I.2 : Décomposition fonctionnelle d'un système.....	13

Chapitre II : Présentation du processus de fabrication du ciment

Figure II.1 : Situation géographique de S.CI.Z.....	18
Figure II.2 : L'organigramme de S.CI.Z.	19
Figure II.3: L'organigramme du service maintenance et ces missions.....	20
Figure II.4: Les étapes de fabrication du ciment.....	25
Figure II.5: Le carrière du calcaire et l'argile de l'usine Zahana.....	25
Figure II.6: Concasseur.....	26
Figure II.7: Pré-homogénéisation.....	26
Figure II.8: Broyeur horizontal à boulets.....	27
Figure II.9 : Les phases de caisson.....	28
Figure II.10: Refroidisseur.....	28
Figure II.11 : Concasseur de clinker.....	29
Figure II.12 : Broyeur du clinker.....	29
Figure II.13 : Ensachage et expédition.....	30

Chapitre III : Description du four rotatif de ciment

Figure III.1 : La taille du four à chaux de 500 t/j peut être jugée à partir du camion à gauche du four.....	31
Figure III.2 : Four rotatif à incinération équipé d'une seconde chambre de combustion verticale.....	31
Figure III.3: Four rotatif avec préchauffeur à cinq étages de cyclones et précalcinateur ..	33
Figure III.4 : Four en coupe.....	33
Figure III.5 : Flamme dégagée par le brûleur dans le four.....	34
Figure III.6 : Vue d'ensemble de la ligne de cuisson sans pré- chauffeur.....	35
Figure III.7 : Processus à l'intérieur du four.....	35

Figure III.8 : Principaux éléments du four.....	37
Figure III.9 : Le groupe d'entraînement.....	37
Figure III.10 :La butées hydrauliques et le butée mécanique.....	38

Chapitre IV : Mise en place de la méthode AMDEC

Figure IV.1: Décomposition fonctionnel du four.....	39
Figure IV.2: Diagramme de PARETO du four rotatif.....	52

« المساهمة في تحسين صيانة معدات صناعية: فرن الأسمنت الدوار »

الملخص

للصناعة موضع هام ودور كبير في الحفاظ على الاقتصاد من خلال النقل والإنتاج وتصنيع مواد الخام , وفي ظل المنافسة الشديدة في المجال الصناعي تعمل الشركات على تحسين وضعها من خلال تحليل وتحسين معداتها .
يرتكز مشروع ختام دراستنا الهندسية على الصيانة القبلية او الوقائية للفرن الدوار للإسمنت، و الذي يمثل دورا أساسيا في خط إنتاج الإسمنت.
لقد مكنا المشروع من التعرف و استيعاب تكنولوجيا الفرن الدوار ، كما مكنا من تحليل الأعطاب الموجودة و المحتملة عن طريق تقنية AMDEC، لنقوم بعد ذلك بتقليص حدتها , من اجل تحسين الموثوقية والصيانة الجيدة لضمان اداء احسن .
لقد تمكنا من تقليص حدة الأعطاب من خلال إجراءات و التي تتمثل في :
إجراءات استباقية : قمنا بدراسة عناصر الفرن الحرجة ، ودرسنا اسباب العطل و قمنا باقتراح إجراء صيانة استباقية لضمان عدم حدوث اعطاب.
كلمات مفتاحيه : AMDEC؛ لصيانة ؛ الفرن الدوار ؛ الإسمنت.

« Contribution à l'amélioration de la maintenance d'un équipement industriel : Four rotatif de cimenterie »

Résumé

Dans le domaine industriel, le monde a une grande exigence de la machine soit pour le transport, la production ou la transformation de matières premières et du moment où la concurrence est intense dans le secteur économique, la concentration des efforts est sur la maximisation de l'utilisation de machine et l'amélioration de la disponibilité.

Notre PFE s'articule autour de la maintenance préventive du four rotatif de cimenterie, lequel présente une étape essentielle pour la production du ciment.

Nous avons été amenés pendant le stage à connaître et comprendre la technologie des fours rotatifs, à analyser les défaillances existantes et probables par utilisation de la méthode AMDEC, puis à agir afin de minimiser leur criticité, pour assurer la fiabilité, maintenabilité et la disponibilité pour une bonne performance.

Nous avons diminué la criticité des pannes à travers des actions :

Des actions préventive : Nous avons étudié la conception des organes défaillants, puis nous avons agi sur les causes des pannes en proposant des changements.

Mots clés : AMDEC; Maintenance; Four rotatif; cimenterie.

« Contribution to the maintenance improvement's of an industrial equipment: Rotary cement kiln »

Abstract

In the industrial field, the world has a great requirement for machines either for the transport, the production or the transformation of raw materials and since the ongoing intense competition in the economy field, so the focus is on the maximum utilization of the industrial machines by increasing the availability of the equipment to its maximum.

Our project is about the preventive maintenance of the rotary kiln, which is essential for the production of cement.

We were being informing during the internship to explore and understand rotary kiln technology, to analyze existing and probable failures by the FMECA method, and finally to take action to minimize their criticality, to ensure the maintainability and availability for the good performance.

We have minimized the criticality of failures by taking some actions:

Preventative actions: we studied the design of failing organs, then we acted on the causes of failures by proposing some changes.

Keyword: FMECA ; Maintenance ; Rotary kiln ; Cement plant.

Introduction Générale

Au début, la maintenance était destinée à remplir essentiellement sa fonction de réparation, c'est-à-dire, remettre en fonctionnement l'équipement défaillant sans pouvoir tenir compte des autres considérations économiques, techniques, sociales et de sécurité. Dans les dernières années, surtout avec l'évolution technologique des systèmes industriels dans plusieurs domaines de l'aéronautique, du nucléaire, de la pétrochimie etc., les industriels ont réfléchi à améliorer la maintenance de leur système de production.

L'un des domaines les plus importants, le domaine du ciment, l'industrie du ciment est devenue un élément primordial dans l'économie de tous les pays du monde. Elle nécessaire à la réalisation des projets de construction dans différents domaines dont : l'industriel, l'économie, le social et culturel tout en respectant les nécessités à venir dans la conservation des ressources naturels et environnemental.

Au nombre des sociétés productrice de ciment en Algérie, existe la société des ciments de zahana dénommée « S.CI.Z ». Cette société, toujours soucieuse de faire face à la concurrence, est en recherche perpétuelle de moyens et stratégies afin d'améliorer sa production sur les plans qualité et quantité ; cela dans un environnement respectable et surtout régler les problèmes liés à sa production.

Notre travail consiste à évaluer la sûreté de fonctionnement et à mettre en place une méthode d'analyse des modes de défaillances, de leurs effets et de leurs criticité AMDEC à un four rotatif de cimenteries, qui est un équipement indispensable pour la production de ciment au sein de l'entreprise S.CI.Z dans le but d'établir un moyen de diagnostic et d'apporter des améliorations à son fonctionnement, cela peut se faire en maîtrisant les points faibles et critiques de la four rotatif sur lesquels il faut agir.

Ce travail se présentera en qua trois chapitres.

- Dans le premier chapitre nous abordons des généralités sur la maintenance
- Le deuxième chapitre on a :
 - ✓ Une présentation de la société des ciments de zahana « S.CI.Z ».
 - ✓ Une description détaillée du procédé de fabrication du ciment.
 - ✓ Une présentation de four rotatif de cimenterie sujet de notre étude.
- Dans le troisième chapitre est consacré à l'évaluation de l'application de la méthode AMDEC sur le système.

Finalement, nous terminons par une conclusion générale.

Chapitre I :

Généralités sur la maintenance industrielle

I.1 Introduction

Pour garantir le bon fonctionnement et la stabilité des équipements d'une entreprise productive, un ensemble des actions doivent être effectuées de façon périodique et bien déterminée. L'outil qui permet de nous confirmer ses actions s'appelle la maintenance et la gestion de la maintenance. Dans ce chapitre nous allons donner un aperçu général sur la maintenance industrielle et la méthode AMDEC.

I.2 historiques

Jusqu'à XIXème siècle la notion de l'entretien est la plus connue dans l'environnement industriel. Le but de l'entretien est de faire superviser l'équipement en appliquant des interventions pour assurer le nettoyage, graissage et lubrification et aussi la réparation après l'apparition d'une panne, L'idée qui se déroule dans cette période est que la conception des équipements est faite de façon extraordinaire, et que les pannes ne peuvent pas se produire, mais c'est le contraire qui arrive concernant la fiabilité des conceptions.

Au début du XXème siècle les organismes nationaux et internationaux forcer aux entreprises des contrôles et des supervisions systématiquement suivies, et cela à cause des dégâts provoqués par les pannes sur des équipements dangereux.

Aux années 1940-1945 une nouvelle approche est apparue c'est la maintenance préventive systématique qui n'était pas optimale, parmi ces applications est d'affecter des interventions à l'équipement pour remplacer des pièces qui peuvent en cours fonctionner au temps aux la notions de l'entretien est encours dominant.

Dans les années 1960-1970 c'est la période qui atteste la naissance de la maintenance basée sur les deux notions : fiabilité et maintenabilité. Les interventions par cette approche sont organisées à la base de l'historique des pannes, ainsi que les modèles statistiques. Dans cette période, la maintenance est devenue plus économique, car les entreprises alloue une partie de comptabilité pour les dépenses et les investissements pour la maintenance.

Ensuite l'apparition de la maintenance conditionnelle qui dit que l'intervention doit n'effectuer qu'après l'apparition de panne après l'analyse des équipements et que l'intervention systématique peut provoquer des anomalies qui y n'existent pas.

À partir des années 1970 l'arrivée de la maintenance productive totale, qui est une maintenance visant la maximisation de l'efficacité des équipements par la participation des exploitants dans la maintenance, particulièrement le niveau 01, et la participation de tous à travers des cercles des maintenances pour le but de l'améliorer.

Avec le développement technologique et spécialement dans le domaine d'informatique aux années 2000 et plus, des nouveaux aspects sont émergés, la GMAO (Gestion de la maintenance assistée par ordinateurs), la MAO (la maintenance assistée par ordinateur), la télémaintenance qui consiste à superviser les équipements éloignés, la naissance de la maintenance 4.0, et l'intégration de l'intelligence artificielle aux différentes applications de la maintenance.

I.3 Définition de la maintenance

La maintenance est « l'ensemble de toutes les actions techniques, administratives et de management durant le cycle de vie d'un bien, destinées à le maintenir ou à le rétablir dans un état dans lequel il peut accomplir la fonction requise » (NF EN 13306, 2010) [1].

I.4 Types de maintenance

Il existe deux formes de maintenance, la maintenance préventive et la maintenance corrective. Chaque type des deux rassemble plusieurs sous-types chacun et leur signification dans le terrain d'intervention. Dans la partie suivante, nous allons présenter toutes les formes et les sous formes de maintenance qu'on peut appliquer dans les différents systèmes.

I.4.1 Maintenance corrective (norme EN 13306)

Maintenance exécutée après détection d'une panne, elle est destinée à remettre un bien dans un état dans lequel il peut accomplir sa fonction requise. Elle est dévissée en deux types :

I.4.1.1 Maintenance palliative (X60-319/NF EN 13306)

Action de maintenance corrective destinée pour permettre à un bien d'accomplir provisoirement tout ou une partie de sa fonction requise, appelée couramment dépannage.

1.4.1.2 Maintenances curatives (X60-319/NF EN 13306)

Une action de maintenance corrective ayant pour objet de rétablir un bien dans un État spécifié pour lui permettre d'accomplir une fonction requise. Le résultat des actions réalisées doit présenter un caractère permanent.

1.4.1.3 Les opérations de la maintenance corrective

Après apparition d'une défaillance, le maintenancier doit mettre en œuvre un certain nombre d'opérations dont les définitions sont données ci-dessous. [2]

- Test : c'est-à-dire la comparaison des mesures avec une référence.
- Détection : action de déceler l'apparition d'une défaillance.
- Localisation : action conduisant à rechercher précisément les éléments par lesquels la défaillance se manifeste.
- Diagnostic : identification et analyse des causes de la défaillance.
- Dépannage, réparation : remise en état (avec ou sans modification).
- Contrôle : vérification du bon fonctionnement après intervention.
- Amélioration éventuelle : c'est-à-dire éviter la réapparition de la panne.
- Historique : mise en mémoire de l'intervention pour une exploitation ultérieure.

1.4.2 Maintenance préventive (norme FD X 60-000)

Maintenance effectuée dans l'intention de réduire la probabilité de défaillance d'un bien ou la dégradation d'un service rendu. Elle se subdivise en trois types :

1.4.2.1 Maintenance conditionnelle (norme FD X 60-000)

Maintenance préventive subordonnée à un type d'événement révélateur de l'état du bien. [3]

1.4.2.2 Maintenances systématiques (norme FD X 60-000)

Maintenance préventive effectuée selon un échancier établi, suivant le temps ou le nombre d'unités d'usage. [3]

1.4.2.3 Maintenances prévisionnelles (norme AFNOR NF X 60-000)

Maintenance préventive subordonnée à l'analyse de l'évolution surveillée de paramètres significatifs de la dégradation du bien permettant de retarder et de planifier les interventions. Elle est parfois improprement appelée maintenance prédictive. [3]

I.4.2.4 Opérations de la maintenance préventive

-Inspection : contrôle de conformité réalisé en mesurant, observant, testant ou calibrant les caractéristiques significatives d'un bien ; elle permet de relever des anomalies et d'exécuter des réglages simples ne nécessitant pas d'outillage spécifique, ni d'arrêt de la production ou des équipements (pas de démontage).

-Contrôle : vérification de la conformité à des données préétablies, suivie d'un jugement. Ce contrôle peut déboucher sur une action de maintenance corrective ou alors inclure une décision de refus, d'acceptation ou d'ajournement.

-Visite : examen détaillé et prédéterminé de tout (visite générale) ou partie (visite limitée) des différents éléments du bien et pouvant impliquer des opérations de maintenance du premier et du deuxième niveau ; il peut également déboucher sur la maintenance corrective.

-Test : comparaison des réponses d'un système par rapport à un système de référence ou à un phénomène physique significatif d'une marche correcte.

-Échange standard : remplacement d'une pièce ou d'un sous-ensemble défectueux par une pièce identique, neuve ou remise en état préalablement, conformément aux prescriptions du constructeur.

-Révision : ensemble complet d'examens et d'actions réalisées afin de maintenir le niveau de disponibilité et de sécurité d'un bien. Une révision est souvent conduite à des intervalles prescrits du temps ou après un nombre déterminé d'opérations. Une révision demande un démontage total ou partiel du bien. Le terme révision ne doit donc pas être confondu avec surveillance. Une révision est une action de maintenance de niveau 4.

Les trois premières opérations sont encore appelées « opérations de surveillance ». Elles caractérisent parfaitement la phase d'apprentissage et sont absolument nécessaires si on veut maîtriser l'évolution de l'état réel d'un bien.

On accepte donc de payer pour savoir puis pour prévenir. Elles sont effectuées de manière continue ou à intervalles prédéterminés ou non, calculés sur le temps ou sur le nombre d'unités d'usage [4].

La figure Ie.1 ci-dessous explique et résume ce que nous avons dit plus tôt.

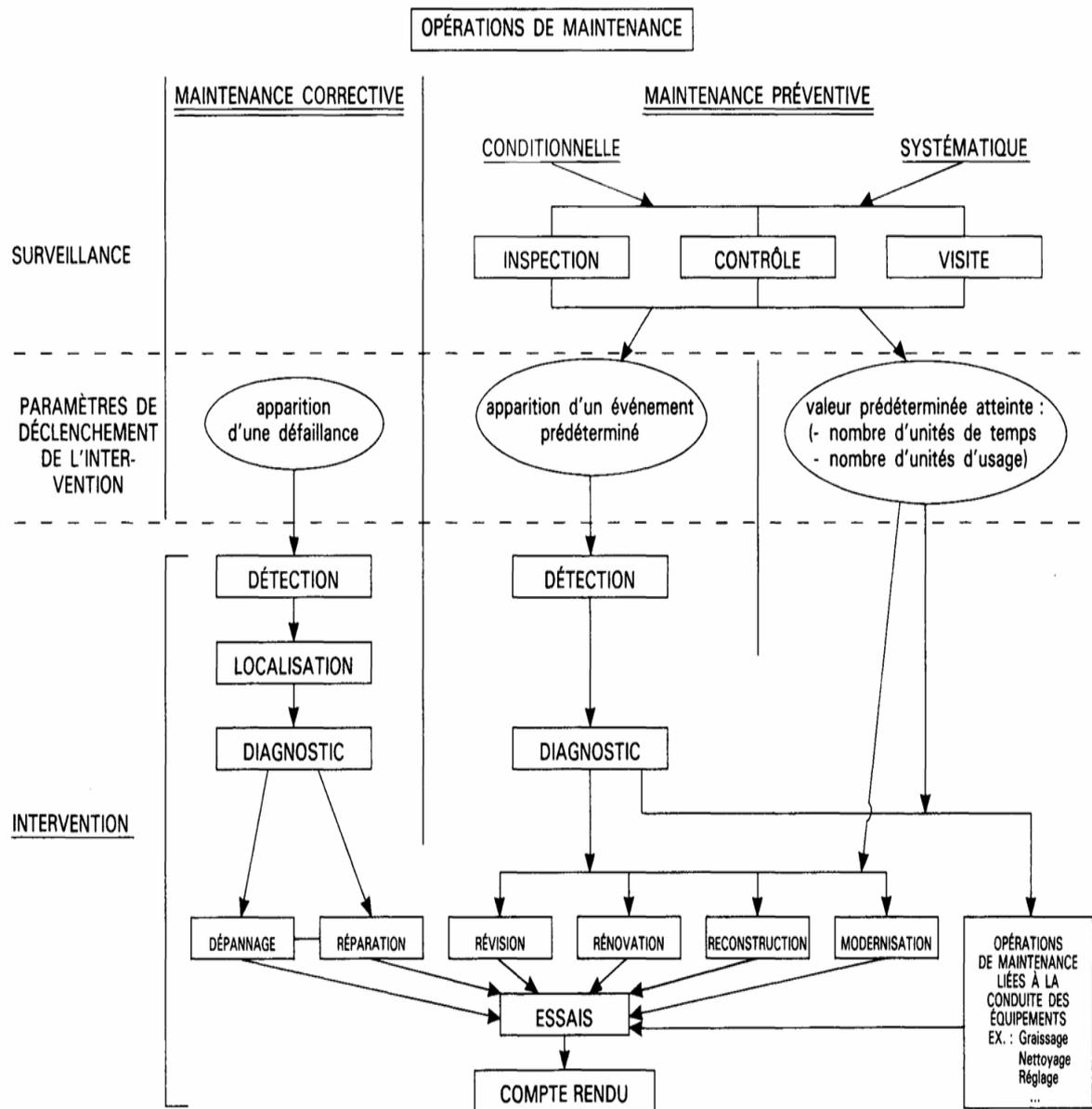


Figure I.1 : Les opérations de maintenance.

I.4.3 Maintenance améliorative (norme NF EN 13306)

Ensemble des mesures techniques, administratives et de gestion, destiné à améliorer la sûreté de fonctionnement d'un bien sans changer sa fonction requise.

I.5 Les normes de maintenance

la NF EN 13306 aborde les différentes terminologies utilisées dans la maintenance (Préventive, corrective, prédictive, etc...). Il s'agit probablement d'une des normes les plus importantes car elle décrit et donne des indications sur les opérations de maintenance à mettre en place.

I.5.1 La norme de maintenance industrielle X 60-010

Mise en place par l'AFNOR, la norme X 60-010 (1994) a pour mission de préserver autant que possible votre parc de machines, aussi bien en matière de valeur des équipements, de performance que de sécurité.

I.5.2 La norme de maintenance industrielle NF EN 13306

Cette norme s'attache quant à elle à décrire de façon détaillée les différents types de maintenance à mettre en œuvre. Reprenant les grands principes des versions précédemment publiées, elle distingue notamment 3 grandes catégories d'opérations.

I.5.3 La norme de maintenance industrielle NF EN 15341

Cette norme européenne présente quant à elle un système de gestion des indicateurs de performance clés. Elle est avant tout pensée pour vous aider à mesurer la performance de votre stratégie de maintenance en tenant compte d'un certain nombre de critères économiques, techniques et organisationnels. Son objectif est de vous permettre de bien évaluer et d'améliorer le rendement de votre parc de machines.

I.6 Objectifs de la maintenance

- Minimiser les dépenses de maintenance ;
- Assurer la maintenance dans les limites d'un budget ;
- Revoir les dépenses de maintenance en se rapportant au service exigé au taux d'utilisation et à l'âge des installations ;
- Tolérer à la discrétion du responsable de la maintenance une certaine quantité de dépenses imprévues ;

- Remplacer le bien à des périodes prédéterminées ;
- Assurer au bien des performances de haute qualité ;
- Assurer au bien un fonctionnement sûr et efficace ;
- Garder au bien une présentation suffisamment satisfaisante ;
- Obtenir de l'investissement un rendement maximum ;
- Maintenir le bien dans un état de propreté absolue. [5]

I.7 Rôles de la maintenance

La maintenance doit assurer la rentabilité des investissements matériels de l'entreprise, en maintenant le potentiel d'activités en tenant compte de la politique de maintenance définie par l'entreprise.

Objectifs essentiels :

- Réduire les durées d'immobilisation.
- Réduire les coûts des interventions.

I.8 Les niveaux de la maintenance

1° niveaux :

- réglages simples prévus par le constructeur au moyen d'organes accessibles sans aucun démontage ou ouverture de l'équipement ; échanges d'éléments consommables accessibles en toute sécurité, tels que voyants, huiles, filtres.
- Type d'intervention effectuée par l'exploitant sans outillage et à l'aide des instructions d'utilisation. [6]

2° Niveau :

- Dépannages par échange standard des éléments prévus à cet effet,
- Opérations mineures de maintenance préventive,
- Type d'intervention effectuée par un technicien habilité de qualification moyenne,
- Outillage portable défini par les instructions de maintenance,
- Pièces de rechange transportables sans délai et à proximité du lieu d'exploitation. [6]

3° niveaux :

- identification et diagnostic des pannes.
- Échanges de constituants.
- Réparations mécaniques mineures.
- Réglage et réétalonnage des mesureurs.[6]

4° niveaux :

- Travaux importants de maintenance corrective ou préventive.
- Démontage, réparation, remontage, réglage d'un système.
- Révision générale d'un équipement (exemple : compresseur).
- Remplacement d'un coffret d'équipement électrique. [6]

5° niveaux :

- Travaux de rénovation, de reconstruction ou de réparation importante.
- Révision générale d'un équipement (chaufferie d'une usine).
- Rénovation d'une ligne de production en vue d'une amélioration.
- Réparation d'un équipement suite à accident grave (exemple : dégât des eaux). [6]

I.9 La sûreté de fonctionnement (SDF)

La sûreté de fonctionnement est l'aptitude d'un système à remplir une ou plusieurs fonctions requises dans des conditions données ; elle englobe principalement quatre composantes : la fiabilité, la maintenabilité, la disponibilité et la sécurité. La connaissance de cette aptitude à remplir une ou plusieurs fonctions permet aux utilisateurs du système de placer une confiance justifiée dans le service qu'il leur assure. Par extension, la sûreté de fonctionnement désigne également l'étude de cette aptitude et peut ainsi être considérée comme la « science des défaillances et des pannes ». [7]

I.10 AMDEC (Analyse des modes de Défaillances et de leurs effets et de leurs Criticité)

I.10.1 Introduction

La méthode consiste à analyser des défaillances réelles, elle s'appuie sur l'expérience des exploitants de l'équipement étudié sur un examen des défaillances déjà constatées sur les matériels étudiés ou sur des matériels similaires. L'objectif, ici, est d'augmenter la disponibilité des matériels en agissant sur des matériels similaires. L'objectif, ici, est d'augmenter la disponibilité des matériels en agissant sur la maintenance ou en effectuant des modifications ponctuelles du matériel.

I.10.2 Historiques

AMDEC est développée tout d'abord dans le domaine militaire, puis dans le domaine de l'aéronautique, la méthode a été mise au point dans les années 1960 par la société Mc Donnell Douglas pour l'analyse de la sécurité des avions. Elle a été perfectionnée par la NASA, puis adoptée par des constructeurs d'automobiles tels que Toyota, Nissan, Ford, BMW, Peugeot, Volvo, Chrysler, etc. Bien qu'ayant subi de nombreuses critiques dues au coût et à la lourdeur de son application, elle reste une des méthodes les plus répandues et l'une des plus efficaces. Elle est en effet de plus en plus utilisée en sécurité et en maintenance sur les matériels, machines, systèmes complexes, services, logiciels, etc. [8]

I.10.3 AMDEC selon la norme AFNOR X 60-510

AMDEC est un outil d'analyse qui permet d'augmenter la notion de qualité pour des produits fabriqués ou des services rendus, et favorise la maîtrise de la fiabilité en vue de minimiser le coût global. Cette méthode sert à assurer la sûreté dans des différents domaines d'industrie (aérospatial, nucléaire, chimie). Cette méthode est utilisable pour :

- Un bien « Produit » : AMDEC produit.
- Un processus : AMDEC processus.
- Un système de production : AMDEC moyen de production. [8]

Synonymes :

En français : AMDEC : Analyse des modes de défaillance, de leur effet et de leur criticité.

En anglais : FMECA : failure mode, effets and criticality analysis.

I.1.10.4 Réalisations d'une AMDEC

Pour faire d'une réalisation d'une AMDEC d'un équipement il faut passer par les étapes suivantes :

Étape 1 : Construire le groupe de travail.

Étape 2 : Définir le périmètre de l'étude.

Étape 3 : Identifier les modes de défaillance.

Étape 4 : Identifier les effets et les causes.

Étape 5 : Évaluer les défaillances.

Étape 6 : Hiérarchiser les défaillances.

Étape 7 : Rechercher des solutions. [9]

Le schéma suivant dans la figure Ie.3 nous montre comment réaliser.

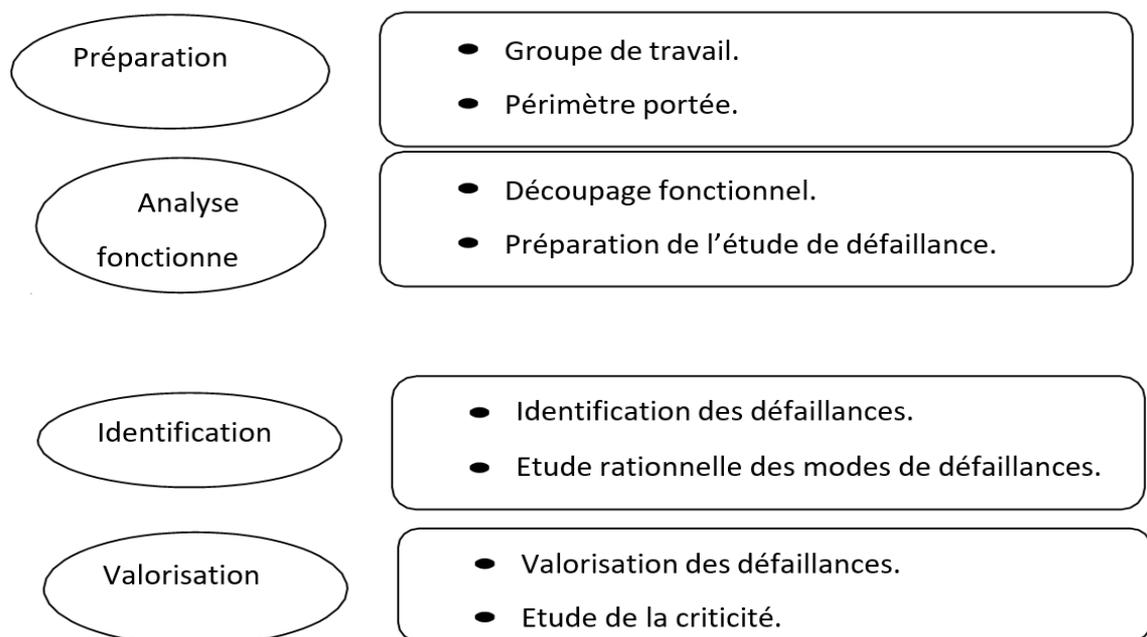


Figure I.3 : Schéma des principes de l'analyse AMDEC.

II.10.5 Cotation de la criticité

Méthode GFD de cotation de la criticité

➤ **La fréquence ou l'occurrence « F »**

On estime la période à laquelle la défaillance est susceptible de se reproduire.

Fréquence F : Probabilité d'apparition d'une cause ou d'une défaillance.	
1	Exceptionnelle : la possibilité d'une défaillance est pratiquement inexistante.
2	Rare : une défaillance occasionnelle s'est déjà produite ou pourrait se produire.
3	Certaine : il y a eu traditionnellement des défaillances dans le passé.
4	Très fréquente : il est presque certain que la défaillance se produira souvent.

Tableau I.1 : Fréquence d'apparition de la défaillance.

➤ **La gravité « G »**

Elle exprime l'importance de l'effet sur la qualité du produit (AMDEC procédé) ou sur la productivité (AMDEC machine) ou sur la sécurité (AMDEC sécurité).

Le groupe doit décider de la manière de mesurer l'effet.

Gravité G : impact des défaillances sur le produit ou l'outil de production	
1	Sans dommage : défaillance mineure ne provoquant pas d'arrêt de production, et aucune dégradation notable du matériel.
2	Moyenne : défaillance provoquant un arrêt de production, et nécessitant une petite intervention.
3	Important : défaillance provoquant un arrêt significatif, et nécessitant une intervention importante.
4	Catastrophique : défaillance provoquant un arrêt impliquant des problèmes graves.

Tableau I.2 : Gravité de la défaillance.

➤ **La non-détection**

Elle exprime l'efficacité du système permettant de détecter la défaillance.

Non détection D : probabilité de la non-perception de l'existence d'une cause ou d'une défaillance	
1	Signes avant-coureurs : l'opérateur pourra détecter facilement la défaillance
2	Peu de signe : la défaillance est décelable avec une certaine recherche.
3	Aucun signe : la recherche de la défaillance n'est pas facile.
4	Expertise nécessaire : la défaillance n'est pas décelable ou encore sa localisation nécessite une expertise approfondie.

Tableau I.3 : La non-détection.

Remarques :

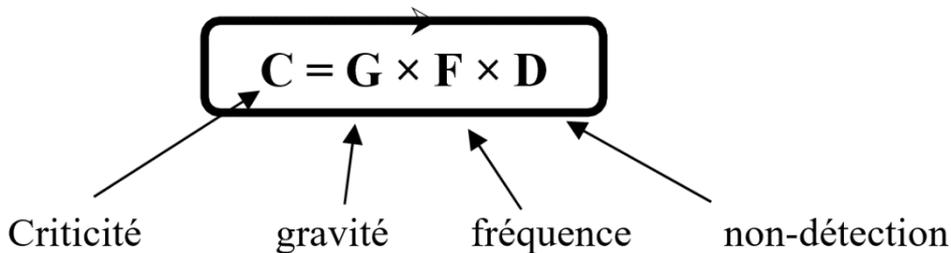
- les paramètres d'AMDEC qui sont (la fréquence, la non-détection et la gravité) sont définie par l'équipe de travail et ne sont pas limitatifs, L'équipe de travail peut ajouter des nouveaux paramètres a l'évaluation.
- La notation des paramètres est aussi définie par l'équipe de travail.

➤ **La criticité**

On évalue la criticité, parfois appelée IPR (Indice de priorité du risque), par le produit : $C = F \times G \times D$.

Plus « c'est grand, plus le mode de défaillance est critique. Lorsque les indices sont notés sur le 10, les entreprises fixent généralement une criticité maximale (sans action corrective) autour de 100.

Il est également possible d'évaluer la criticité à partir d'une matrice de criticité ; on ne fait alors intervenir que deux paramètres, F et G.



Le groupe de travail doit alors décider d'un seuil de criticité (voir le tableau I.4) [10]

C	Remarque
$C < 16$	Ne pas tenir compte.
$16 \leq C < 32$	Mise sous préventive à fréquence faible.
$32 \leq C < 36$	Mise sous préventive à fréquence élevée.
$36 \leq C < 48$	Recherche d'amélioration.
$48 \leq C < 64$	Reprendre la conception.

Tableau I.4 : Échelle de criticité.

I.10.6 Les fichiers AMDEC

On utilise l'approche matérielle (décomposition structurelle à des niveaux) Approche matérielle où systémique comme le montre la figure. I.2.

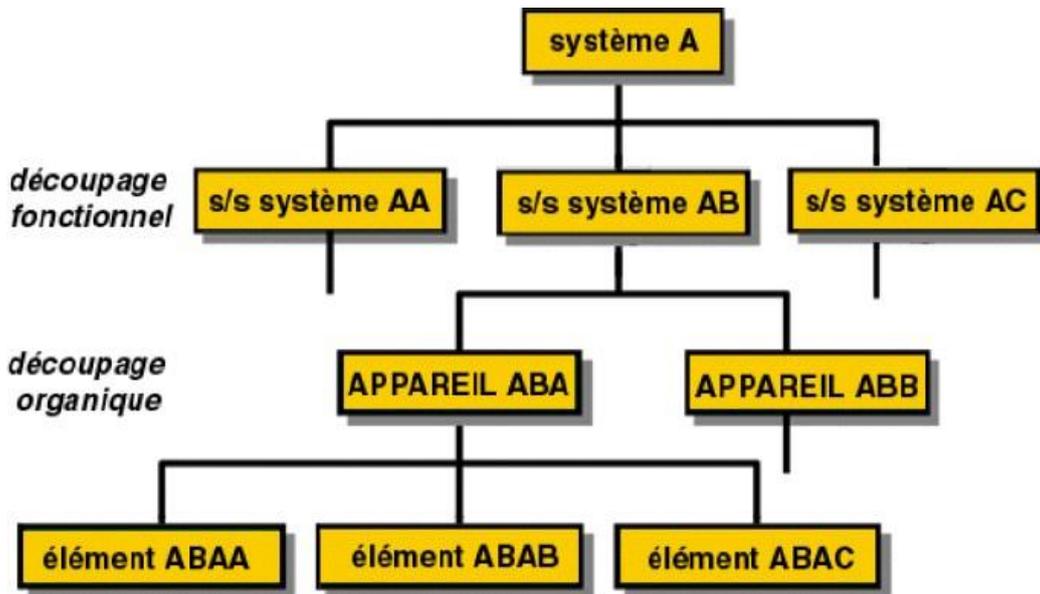


Figure I.4 : Décomposition fonctionnelle d'un système.

Le tableau I.5 s'appelle tableau d'AMDEC , il faut compléter le pour la facilité du travail :

Date de l'analyse :	AMDEC MACHINE – ANALYSE DES MODES DE DÉFAILLANCE DE LEURS EFFETS ET DE LEUR CRITICITÉ		Page :
	Système :	Sous-système :	

Élément	Fonction Requisite	Mode de défaillance	Cause de défaillance	Effet de défaillance	Détection	Criticité			
						F	D	G	C

Tableau. I.5 : Tableau AMDEC.

I.10.7 Objectifs de l'AMDEC

L'AMDEC est une technique qui conduit à l'examen critique de la conception afin de :

-évaluer et de garantir la sûreté de fonctionnement d'un moyen de production.

-Réduire les temps d'indisponibilité après défaillance : prise en compte de la maintenabilité dès la conception, amélioration de la testabilité, aide au diagnostic, amélioration de la maintenance corrective.

Voir les tableaux Is.6 et I.7 qui représentent les questions et les réponses théoriques qu'on peut trouver dans une analyse AMDEC.

Modes de défaillance potentielle	Effets possibles	Causes possibles	Plan de surveillance
Qu'est-ce qui pourrait aller mal ?	Quels pourraient être les effets ?	Quelles pourraient être les causes ?	Comment faire pour voir ça ?

Tableau I.6: les quatre questions basiques de l'AMDEC.

Modes de défaillance potentielle	Effets potentiels	Causes possibles	Surveillance & Mesures
Parmi les réponses théoriques possibles aux questions			
Non-respect des exigences : – clients – organismes – réglementaires	Interne Externe	Interne au processus Externe au processus	Indicateurs Tableaux de bord
Parmi les réponses possibles aux questions			
Objectif 1 non atteint Objectif 2 non atteint Objectif 3 dépassé	Perte d'image Impact sur processus 2 Opportunité ?	Méthodes Compétences Moyens Pilotage	Indicateur 1 Indicateur 2 Indicateur 3

Tableau I.7: Les réponses théoriques qu'on peut trouver dans une analyse AMDEC

I.10.8 Avantages et Inconvénients de la méthode AMDEC

a) Avantages de la méthode AMDEC

La maîtrise des risques à l'aide de la méthode AMDEC permet de mener des actions préventives, c'est-à-dire de résoudre les problèmes avant que ceux-ci ne se présentent. Si cette méthode est suivie tout au long du cycle de vie du produit, la production en sera améliorée et débarrassée de problèmes majeurs. [11]

b) Inconvénients de la méthode AMDEC

L'AMDEC nécessite une connaissance poussée de la question à étudier. En général, un brainstorming avec plusieurs personnes impliquées de la conception à la livraison du produit est nécessaire. Pour cela, il faut donc qu'une équipe puisse se mettre d'accord sur les modes de défaillance étudiés. Cette méthode est, de ce fait, lourde à mettre en place. [11]

I.11 Conclusions

En fin de ce chapitre, après présentation de méthodes d'analyse des défaillances et leurs démarches, cette méthode permettant de créer une étude analytique de l'état de fonctionnement de nos machines dans l'usine ZAHANA.

Chapitre II :

Présentation du processus de fabrication du ciment

II.1 introduction

Dans ce chapitre nous allons donner un aperçu sur l'organisme S.CI.Z, son organigramme, les services qui le constituent, et par la suite nous allons détailler le procédé de fabrication du ciment allant de l'exploitation de la matière première jusqu'à l'étape d'expédition.

II.2 Présentations de l'usine Zahana

La société des ciments de Zahana dénommée « S.CI.Z », filiale du groupe ERCO est implantée dans la wilaya de Mascara à proximité de la route nationale N°13 et du réseau ferroviaire reliant les villes d'Oran et de Sidi-bel-abbès. Elle est située au nord de Mascara au Sud Est d'Oran (voir la figure II.1). [13]

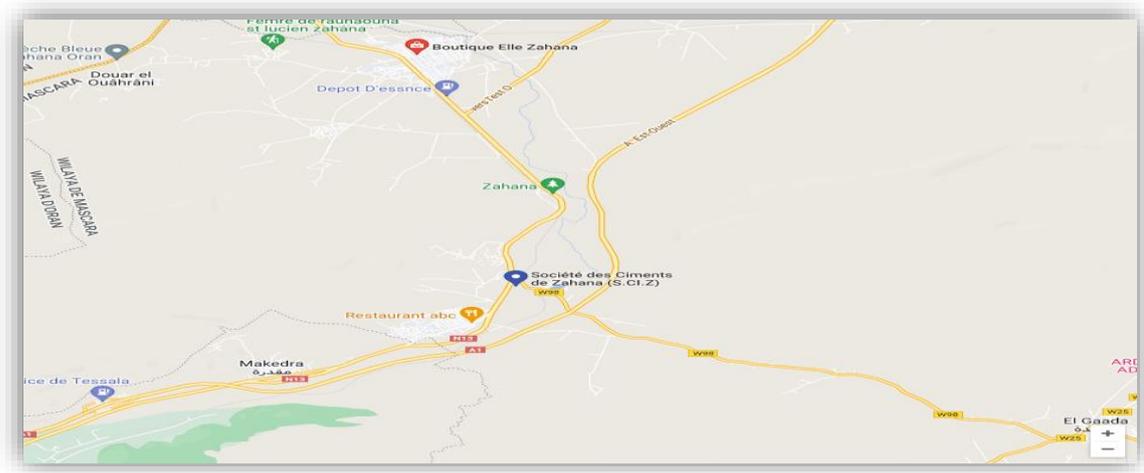


Figure II.1 : Situation géographique de S.CI.Z.

II.2.1 Historique

Les évènements clés ayant marqué l'histoire de S.CI.Z depuis sa création sont les suivants :

- Deux (02) lignes de production à voie humide de 2 x 200.000 tonnes/an de ciment LAFARGE de 1947 à 1953.
- Extension d'une ligne de production à voie sèche de 1.000.000 des tonnes/an de ciment en 1977 par la société FCB France.
- Installation d'une ligne de production à voie humide de 200.000 tonnes/an et mise en service en 1995 par la société FLS.

- Installation d'une nouvelle ligne de production de capacité contractuelle de 4500T/J de

clinker réalisation clés en main cocontractante chinoise CBMI.[13]

II.2.2 organigramme de S.CI. Z

L'usine S.CI.Z est composé de plusieurs services qui sont schématisés dans l'organigramme suivant de la figure II.2.

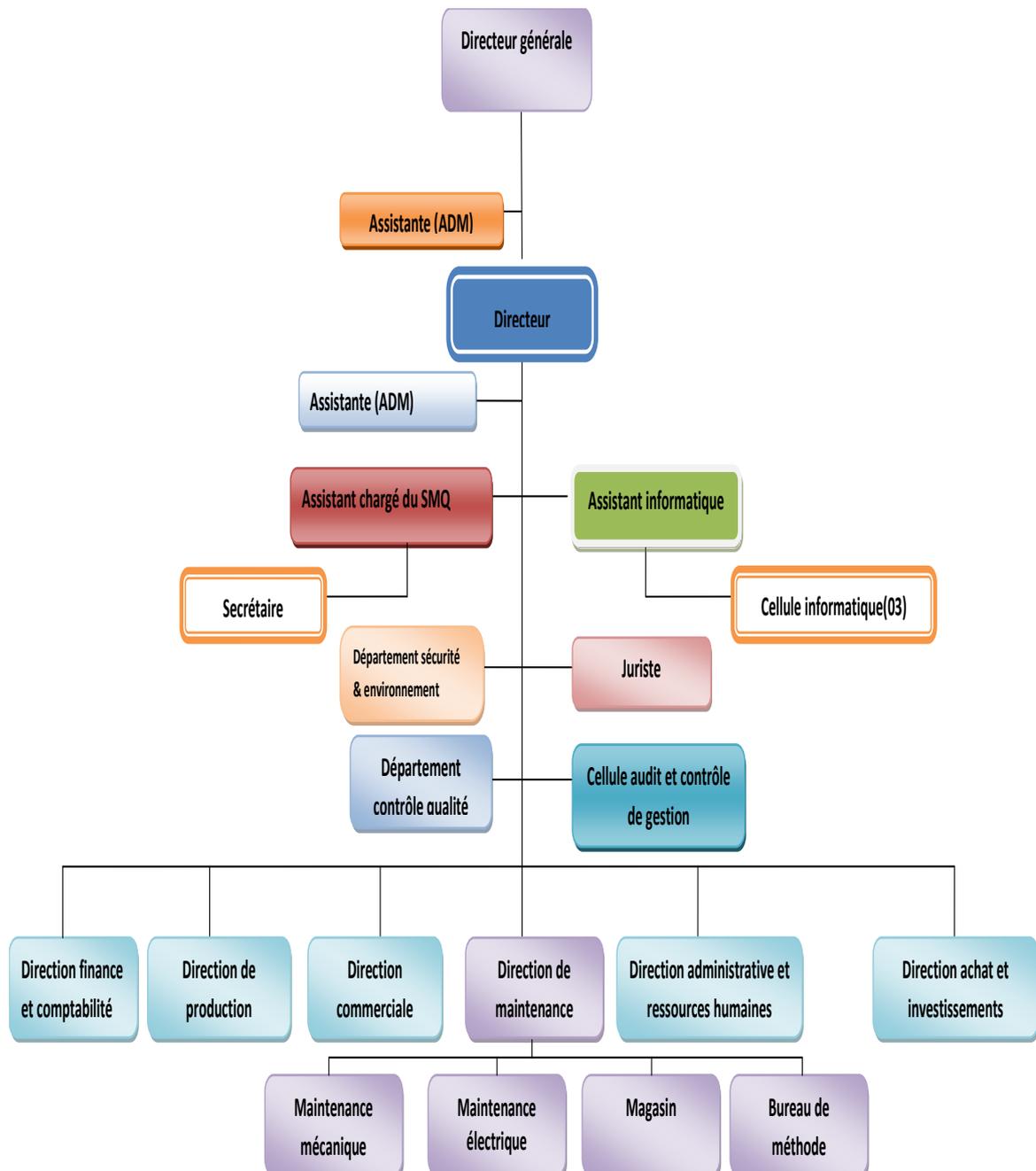


Figure II.2 : L'organigramme de S.CI.Z.

II.2.3 Les différents services de S.CI.Z

Service contrôle & qualité : Organisation assurée par un laboratoire de qualité pour améliorer les produits et réduire les risques de mise en marché des produits défectueux.

Service sécurité & environnement : Chargée d'assurer une qualité du ciment, du béton et des granulats, répondant aux meilleurs standards internationaux.

Service des ressources humaines : Recrutement, assurance maladie, gestion sociale, gestion des congés, paie de personnel, et la gestion de la formation.

Service maintenance : Assurer la disponibilité des machines, pour produire dans les meilleures conditions de qualité, sécurité et coût.

II.2.4 L'organigramme du service maintenance et ces missions

L'organigramme dans la figure II.3 représente la structure et l'organisme des missions du service de maintenance dans l'usine S.CI.Z.

DT : demande de travail ; OT : ordre de travail ; BT : bon de travail ; DA : demande d'approvisionnement ; BSM : bon de sortie de magasin.

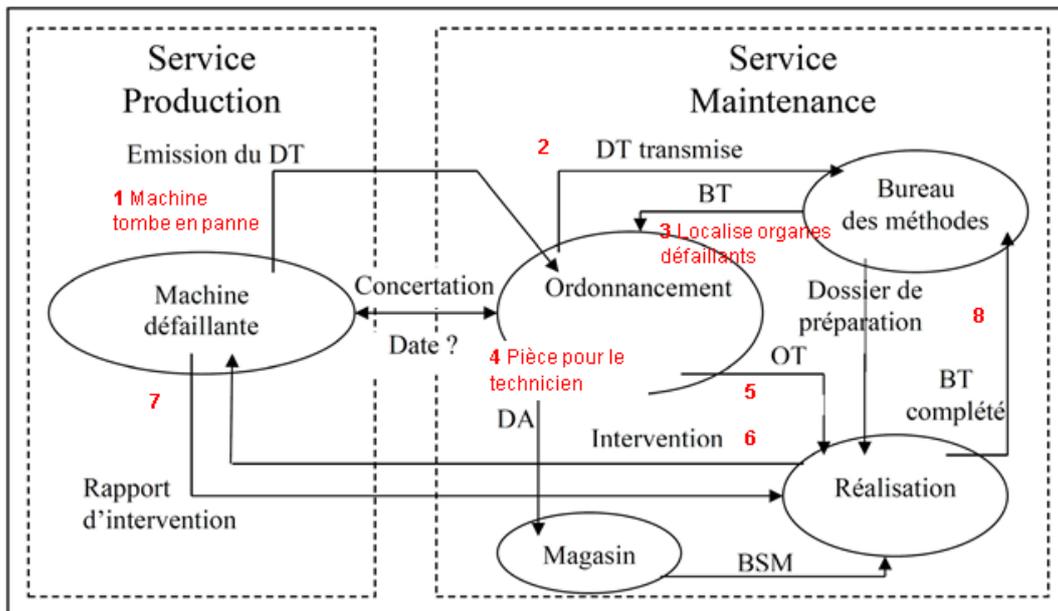


Figure II.3: L'organigramme du service maintenance et ces missions.

II.3 Processus de fabrication du ciment

II.3.1 Historique

Dans la préhistoire et au début de l'antiquité, les maçonneries étaient soit liées à l'argile, soit réalisées sans liant, comme les murs pélasgiques de Grèce ou les murs Inca. A Babylone, les maçonneries de briques étaient liées au bitume. Les Égyptiens utilisèrent pour les pyramides, notamment, un plâtre grossier produit par cuisson d'un gypse (sulfate de calcium) impur. Les Grecs furent parmi les premiers constructeurs employant la chaux obtenue par cuisson du calcaire (carbonate de chaux). Les Romains se servirent beaucoup de la chaux dans leurs constructions, mais améliorèrent ce liant dès le 1er siècle avant j. -C., en l'additionnant de pouzzolane soit naturelle comme les cendres volcaniques actives, soit artificielles comme les briques pilées. Ils obtinrent ainsi un liant hydraulique, appelé ciment romain qui est en fait intermédiaire entre une chaux et un véritable ciment. Celui-ci permit de déconstruire de grands ouvrages hydrauliques, tel le pont du Gard, ou maritimes tels les ports. Aucun progrès ne fut accompli sur les liants pendant le moyen Âge dont les principales constructions – cathédrales, châteaux... – doivent leur réussite surtout aux progrès réalisés dans l'art de tailler et d'assembler les pierres. C'est seulement au XVIIIe siècle, le procédé de cuisson s'améliorant, que des chaux hydrauliques, intermédiaires entre les chaux et les ciments, furent produites. En 1756 ; l'anglais Seaton, en mélangeant celles-ci avec des pouzzolanes, obtint un mortier aussi dur que la pierre de portland. Cette élaboration fut reprise par ses successeurs. Ainsi fut introduite progressivement dans le langage l'appellation de ciment portland.

En 1817 ; le Français Louis Vicat, étudiant scientifiquement et non plus empiriquement, comme ses prédécesseurs, les chaux hydrauliques, découvrit les principes chimiques des ciments et définissent leurs règles de fabrication. Aussi en est-il considéré comme l'inventeur.

En 1824, l'anglais Aspdin prit un brevet pour la fabrication d'un ciment de portland; mais celui-ci comportait encore beaucoup de points obscurs. C'est seulement en 1845 que l'Anglais Johnson indiqua de façon précise les règles de fabrication de ce produit. À la fin du XIXe siècle, en France, le chatelier étudia la composition chimique des divers constituants des ciments ; son œuvre fut perfectionnée et achevée par l'Américain Bogue au XXe siècle.

En 1890, on comprit l'intérêt du laitier granule ajouter au ciment, et, après 1945, celui des cendres volantes. Les ciments spéciaux sont d'invention plus récente : le ciment alumineux fut découvert par Bied, en 1908. [14]

II.3.2 Définition du ciment

Le ciment est un lien hydraulique constitué d'une poudre minérale, d'aspect grisâtre, obtenue par broyage et cuisson à 1450°C d'un mélange de calcaire et d'argile. Le produit de la cuisson, appelé clinker, forme une combinaison de chaux, de silice, d'alumine et d'oxyde ferrique. [15]

II.3.3 Les matières utilisées à S.CI.Z

Matières premières	Matériaux de correction	Matières secondaires (Ajouts)
Calcaire	Argile	Pouzzolane
Marne	Minerai de fer	Calcaires
Argile	Gypse	

Tableau II.1 : Les matières utilisées à S.CI.Z

II.3.4 Différents types de ciment

La société des ciments de Zahana fabrique essentiellement, trois types de produits, et à la demande des ciments spéciaux pour une utilisation spécifique. Ces types de ciment sont résumés dans le tableau II.2.

Norme	NA 442 : 2013	
Désignation normalisée	CIMENT PORTLAND A LA POUZZOLANE	
Identification	CEMII/A-P 42.5N	
Composition du ciment	Clinker	80 à 94%
	Pouzzolane	6 à 20%
	Constitution secondaires	0 à 5%
Caractéristiques Mécaniques	Resistances minimales garanties à 02 jours	Resistances minimales garanties à 28 jours
	10 MPa	40 MPa

Caractéristiques Physico-chimiques	La teneur en chlorures La teneur en sulfates Stabilité Temps de début de prise	$\leq 0.1\%$ $\leq 3.5\%$ $\leq 10 \text{ mm}$ $\geq 60 \text{ min}$
Dosage	A respecter en fonction des travaux à réaliser et de l'environnement dans le quel l'ouvrage est situé	
Principales utilisations	<ul style="list-style-type: none"> · Réalisation de toutes structures en bétons courants, armés ou non armés, bétons étuvés · Réalisation de travaux de maçonnerie, de dallage, confection d'enduit · Préfabrication avec ou sans traitement thermique · Réalisation de travaux routiers notamment traitement de graves, réalisation de chaussées, de pistes, ... · Bétons prêts à l'emploi · Travaux de bétonnage en grande masse, barrages.. 	
Conditionnement	<ul style="list-style-type: none"> · Sacs de 50 Kg en papier Kraft · Vrac (camions cocottes) 	

Norme	NA 442 : 2013	
Désignation normalisée	CIMENT PORTLAND A COMPOSE	
Identification	CEMII/A-M (P-L) 42.5N	
Composition du ciment	Clinker	80 à 94%
	Pouzzolane-calcaire	6 à 20%
	Constitution secondaires	0 à 5%
Caractéristiques Mécaniques	Resistances minimales garanties à 02 jours	Resistances minimales garanties à 28 jours
	10 MPa	40 MPa
Caractéristiques Physico-chimiques	La teneur en chlorures La teneur en sulfates Stabilité Temps de début de prise	$\leq 0.1\%$ $\leq 3.5\%$ $\leq 10 \text{ mm}$ $\geq 60 \text{ min}$
Dosage	A respecter en fonction des travaux à réaliser et de l'environnement dans le quel l'ouvrage est situé	
Principales utilisations	<ul style="list-style-type: none"> · Réalisation de toutes structures en bétons courants, armés ou non armés, bétons étuvés · Réalisation de travaux de maçonnerie, de dallage, confection d'enduit · Préfabrication avec ou sans traitement thermique 	

	<ul style="list-style-type: none"> · Réalisation de travaux routiers notamment traitement de graves, réalisation de chaussées, de pistes, ... · Bétons prêts à l'emploi · Travaux de bétonnage en grande masse, barrages..
Conditionnement	<ul style="list-style-type: none"> · Sacs de 50 Kg en papier Kraft · Vrac (camions cocottes)

Norme	NA 442 : 2013	
Désignation normalisée	CIMENT PORTLAND RESISTANT SULFATES	
Identification	CEMI 42.5 N-LH/SR5	
Composition du ciment	Clinker	95 à 100%
	Constituants secondaires	0 à 5%
Caractéristiques Mécaniques	Resistances minimales garanties à 02 jours	Resistances minimales garanties à 28 jours
	10 MPa	40 MPa
Caractéristiques Physico-chimiques	C3a	≤ 5%
	Perte au feu	≤ 5%
	MgO	≤ 5%
	SO3	≤ 3%
	Chlorures	≤ 0.1%
	stabilité	≤ 10 mm
	Temps de début de prise	≤ 60 min
Dosage	A respecter en fonction du béton à confectionner (armé, non armé, précontraint) et de l'environnement existant (sec, humide, faible ou fortement agressif, ...)	
Principales utilisations	Travaux pour des milieux Fortement agressifs (terrains gypseux, eaux à haute teneur en sulfates, eaux industrielles, eaux séléniteuses, ...)	
Conditionnement	<ul style="list-style-type: none"> · Sacs de 50 Kg en papier Kraft · Vrac (camions cocottes) 	

Tableau II.2 : Différents types de ciment fabriquent par S.CI.Z.

II.3.4 Les étapes de fabrication du ciment

Il existe deux lignes de productions du ciment à la cimenterie S.CI.Z, qui sont presque identiques du point de vue construction. Le type de procédé qui est utilisé à l'usine est

la voie sèche dont on fabrique un cru en sec (poudre), qui est introduit dans une tour de préchauffage de la carrière à l'ensachage. La matière première du ciment suit des étapes différentes qui sont des transformations physiques et chimiques qui sont schématisées dans l'organigramme de la figure II.4 ci-dessous, et qui résume les différentes étapes pour les deux lignes de production à l'usine S.CI.Z.[16]

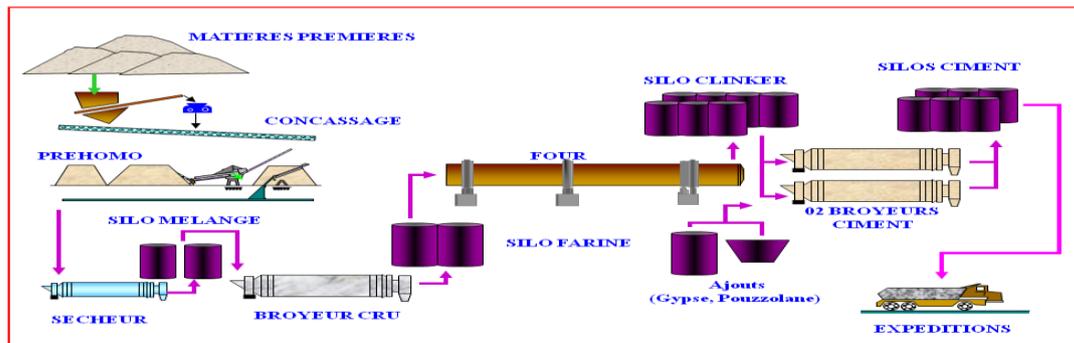


Figure II.4: les étapes de fabrication du ciment.

II.3.4.1 Exploitation de la carrière

La société des ciments de Zahana exploite une carrière proche à l'usine, qui fournit deux matières premières : le calcaire et l'argile. L'extraction de ces roches se fait par abattage à l'explosif. Il consiste à fragmenter le massif exploité à l'aide d'explosifs comme on peut le voir sur la figure II.5. [17]



Figure II.5: Le carrière du calcaire et l'argile de l'usine Zahana.

II.3.4.2 Le concassage

Le concasseur présentait dans la figure II.6, a pour rôle de réduire la taille des rochers jusqu'à un diamètre moyen de (0 à 35 mm). Au niveau du concasseur, les matières premières sont mélangées dans des proportions bien déterminées. Il s'agit du calcaire, de la marne, de l'argile, et d'oxyde de fer. Les proportions sont contrôlées par un analyseur, installé sur la ligne de transport vers le stockage de pré homogénéisation. [18]



Figure II.6: Concasseur.

II.3.4.3 Pré-homogénéisations

Pour obtenir un produit homogène (mélange très intime des constituants : calcaire ; argile, sable, minerais de fer, l'usine est équipée de deux installations de pré homogénéisation polaire (voir la figure II.7) de capacité totale d'environ 2×18000 tonnes chacune. Le tas est constitué par des couches des matières premières à l'aide d'un manège tournant avec deux navettes. [29]



Figure II.7: Pré-homogénéisation

II.3.4.4 Broyages crus

Un broyeur à galets réduit la matière première (77,5% calcaire + 18% d'argile + 3% de schiste + 1,5% de minerai de fer) à l'état de farine, ce résultat est obtenu par des galets qui écrasent les morceaux sur une assiette rotative jusqu'à ce que cette matière atteigne la finesse souhaitée. [20]

Broyeur conventionnel à boulets

Les cimenteries utilisent essentiellement des broyeurs à boulets. Ces broyeurs (voir la figure II.8) À un faible rendement, car une grande partie de l'énergie fournie est transformée en chaleur. Le reste sert à la fragmentation des matériaux, mais aussi à leur ré-agglomération. Les grains sont traités collectivement à l'intérieur du broyeur par des boulets qui opèrent par chocs. [21]



Figure II.8: Broyeurs horizontaux à boulets.

II.3.4.5 Homogénéisations

À la suite du broyage et après la séparation, les matières premières sont transformées en une poudre très fine appelée dans le jargon cimentier « farine ». Cette farine doit présenter une composition chimique aussi constante que possible. Ces matières premières sont acheminées vers des silos dans lesquelles elles sont homogénéisées. L'opération d'homogénéisation complète le processus de pré homogénéisation préalable, elle permet d'obtenir un produit de caractéristiques chimiques uniformes qui permettent la fabrication d'un clinker de qualité constante. La préparation de la matière première est maintenant achevée. [22]

II.3.4.6 Cuissons

Comme indiqué dans la figure II.9, le four est un réacteur en forme de tube rotatif incliné de 5%. Le chauffage est assuré par une flamme au charbon installée à l'autre extrémité du four. La farine entrant dans le four à 1000°C environ est chauffée jusqu'à la température de frittage ou clinkérisation 1450°C. Dès lors les minéraux qu'elle contient, réagissent pour donner de nouvelles combinaisons minéralogiques principalement des silicates et des aluminates de calcium : le clinker. [23]

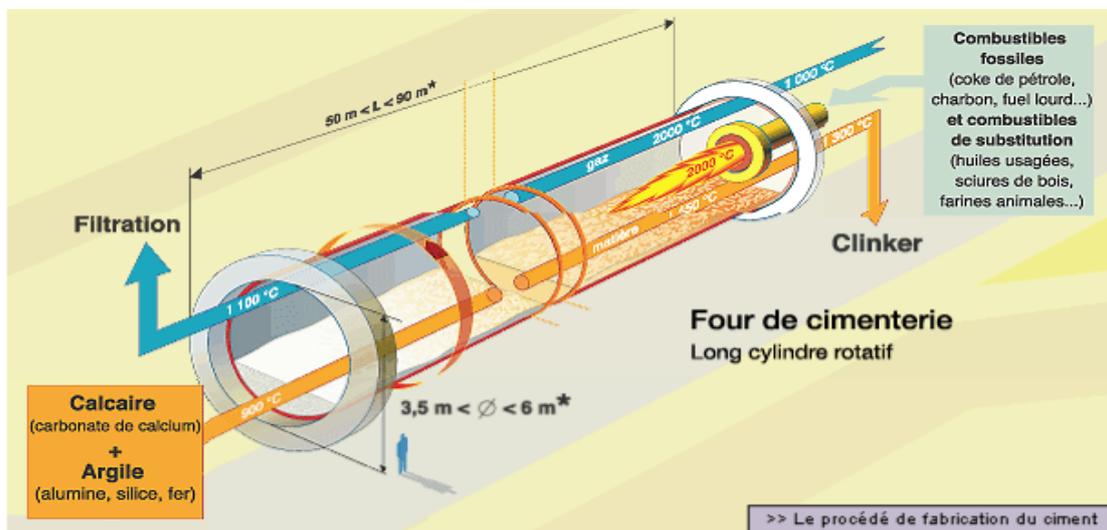


Figure II.9 : Les phases de cuisson.

II.3.4.7 Refroidisseur

Le clinker sortant du four passe sur la grille vibrante du refroidisseur (voir la figure II.10), où il est trempé rapidement par l'air froid soufflé par le bas de la grille. Ce processus permet la récupération de la chaleur du clinker. L'air chaud généré est réintroduit dans le four pour aider à la combustion. [24]

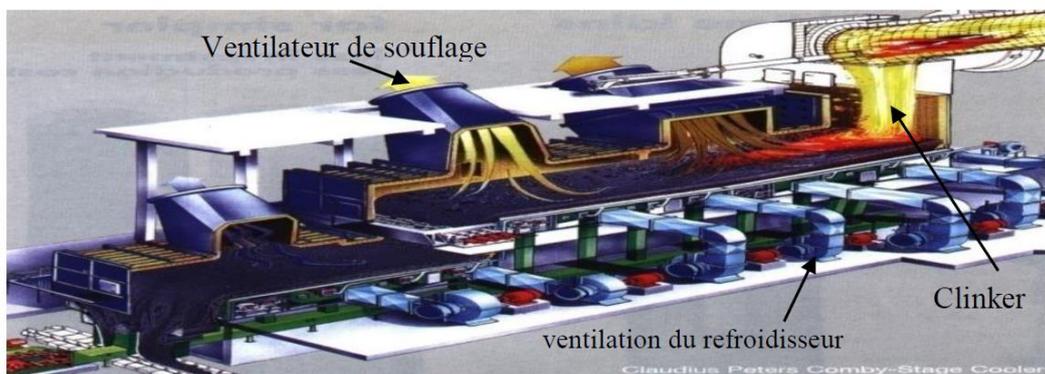


Figure II.10: Refroidisseur.

II.3.4.8 Concassages de clinker

Le clinker sortant du refroidisseur, passe directement au concasseur de clinker (voir la figure II.11), et seul le clinker grossier est concassé, puis transporté au hangar au silo du stockage. [25]



Figure II.11 : Concasseur de clinker.

II.3.4.9 Broyages ciment

Le clinker reçu après le refroidissement et concassage est ensuite broyé en additionnant le gypse avec des quantités différentes selon les qualités du ciment désirées (CPJ 35, CPJ 45 et CPA 55). Ce type de broyeur qui permet le broyage du clinker en ajoutant des ajouts s'appelle broyeur ciment (voir la figure II.12). [26]

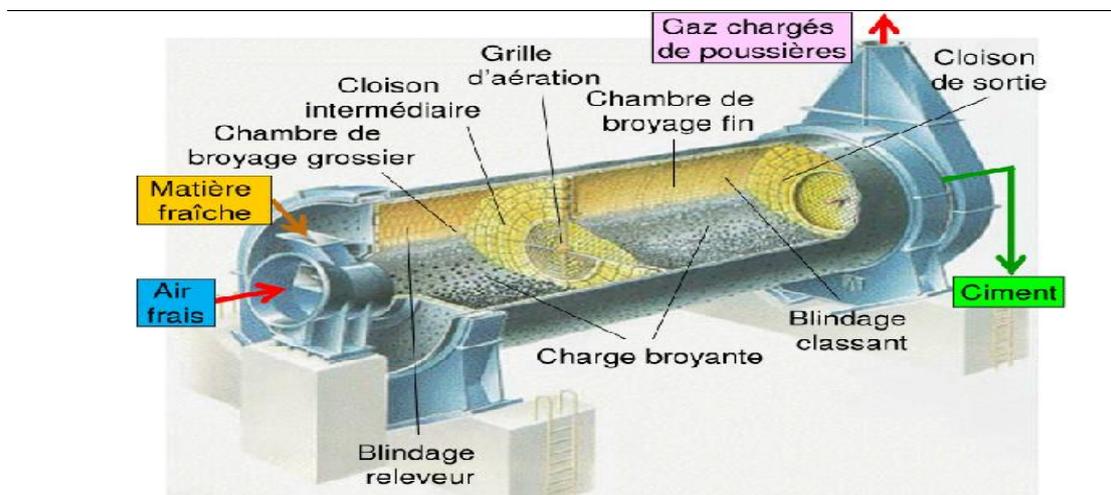


Figure II.12 : Broyeur du clinker.

II.3.4.10 Stockages et expédition du ciment

Le produit fini est ensaché par une ensacheuse pour être expédié et satisfaire la demande incessante en ciment de toute la région.

A. Stockage du ciment

Après sa fabrication, le ciment est acheminé, par voies pneumatiques ou mécaniques, vers des silos de stockage dont la capacité est de plusieurs milliers de tonnes.

B. Expédition

Après la zone de broyage du ciment, il existe plusieurs silos de stockage du ciment de 15000 tonnes jusqu'à 60000 tonnes (voir la figure II.13).

L'extraction se fait :

- 1-par bouches de remplissage pour vente en vrac sur camion-citerne
- 2-Par aéroglisseur vers l'atelier de remplissage sac de 50 kg
- 3-Via 4 élévateurs vers 4 cribles afin de séparer les déchets , 4 trémies alimentent 4 machines de remplissage de 10 becs (fournisseur haver et boecker)alimentent 06 autos PACS automatiques et deux manuelles pour le chargement sur camion.[27]

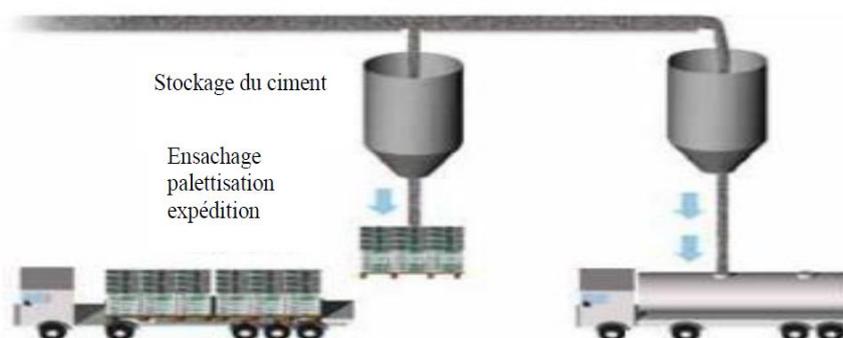


Figure II.13 : Ensachage et expédition.

II.4 Conclusions

Dans ce chapitre on a fait une présentation de S.C.I.Z, son organigramme, les services qui le constituent, avec une étude bibliographique démontrée que le ciment est un mélange de calcaire et d'argile multi minéral complexe utilisé de manière quasi universelle dans la formulation des bétons.

Chapitre III :

Description du four rotatif de ciment

III.1 Introduction

Dans ce chapitre nous allons présenter le four rotatif de cimenterie, car c'est l'organe le très important dans le processus de fabrication du ciment, et qui représente le sujet de notre étude. Puis nous allons détailler l'ensemble de ces organes qui le constituent ainsi que, leurs rôles et leurs spécificités.

III.2 Historique

Les fours rotatifs se retrouvent dans beaucoup de processus qui comportent le traitement de solides. Ceux-ci incluent le séchage, l'incinération, le mélange, le chauffage, le refroidissement, l'humidification, la calcination, la réduction, l'agglomération et la réaction gaz-solide. Une des plus importantes utilisations industrielles est la production du ciment. Les fours à ciment peuvent être très grands. Bien que ce ne soit pas un four à ciment, le figure.III.1 montre un four à chaux de 500 t/j. Une autre application importante des fours rotative est l'incinération des déchets. Les fours rotatifs sont populaires pour ce rôle en raison de leur flexibilité. Ils peuvent manipuler une grande variété de matériaux d'alimentation, avec des valeurs calorifiques variables, le déplacement des solides de rebut jusqu'à la sortie ne présente aucun problème. Typiquement, les incinérateurs de déchets dangereux fonctionnent avec des lits relativement profonds et ont une chambre de combustion secondaire après le four rotatif pour améliorer la combustion hétérogène des déchets. Un exemple d'un incinérateur de déchets dangereux est montré dans la figure III.1.[28]



Figure III.2 : Four rotatif à incinération équipé d'une seconde chambre de combustion verticale.



Figure III.1 : La taille du four à chaux de 500 t/j Peut-être jugée à partir du camion à gauche du four.

Chapitre III : Description du four rotatif de ciment

Les fours rotatifs sont, dans l'industrie de processus, parmi les unités dont le fonctionnement est bien établi mais qui reste pourtant parmi les moins compris; ils peuvent être employés pour 3 raisons distinctes: chauffage, réaction et séchage de matériaux solides, et dans beaucoup de cas, ils sont employés pour réaliser une combinaison de ces objectifs. Dans la conception des fours, il y a quatre aspects importants à considérer d'un point de vue de technologie de processus, à savoir le transfert thermique, l'écoulement des matériaux solides granulaires à travers le four, le transfert de masse gaz-solide et les réactions. Le transfert thermique est le plus important parmi ces aspects, parce que dans beaucoup de cas, c'est le transfert thermique qui limite la performance du four rotatif et ceci est reflété par le nombre de papiers publiés sur les modèles de transfert thermique dans des fours. [29]

III.3 Différents types de Fours rotatifs longs

Il existe principalement trois types de four rotatif longs :

a. Fours rotatifs avec préchauffeurs

Les fours rotatifs avec préchauffeurs ont un rapport longueur/diamètre caractéristique compris entre 55,0 à 85 m. de longueur, diamètre : de 3,0 à 6,0 m et une inclinaison de 2,5 à 3,5 %. Ces fours se différencient selon la technique utilisée des préchauffeurs à grilles ou des préchauffeurs avec matière en suspension dans les gaz :

- Technologie des préchauffeurs à grilles (fours Lepol).
- Technologie des préchauffeurs à cyclones avec matière en suspension dans les gaz
- Technologie des préchauffeurs droits
- Technologie du préchauffeur à quatre étages de cyclones. [29]

b. Fours rotatifs avec préchauffeur et précalcinateur

La technique de la précalcination est à la disposition des industriels du ciment depuis 1970 environ. Dans ce procédé, la chauffe se fait en deux points. La combustion primaire du combustible a lieu dans le foyer du four ; une chauffe secondaire se déroule dans une chambre de combustion spéciale située entre le four rotatif et le préchauffeur. Dans un four à précalcinateur type, 60 % de la totalité du combustible peut être brûlé dans cette zone. Cette énergie sert principalement à calciner le cru qui est déjà presque entièrement cuit quand il entre dans le four. De l'air chaud du refroidisseur est utilisé pour la combustion dans le calcinateur. La matière est à 870°C environ à la sortie du calcinateur.

La figure III.3 illustre l'application de ce procédé pour le four avec préchauffeur à cyclones et précalcinateur. La précalcination augmente la capacité de production de clinker des fours rotatifs [30].



Figure III.3: Four rotatif avec préchauffeur à cinq étages de cyclones et précalcinateur.

c. Refroidisseurs à clinker

Le refroidisseur à clinker fait partie intégrante du four et a une influence déterminante sur les performances et l'économie de l'installation de préparation à hautes températures. Sa fonction est double : récupérer le maximum de chaleur dans le clinker chaud (1450°C) pour la recycler dans le procédé et abaisser la température du clinker à un niveau compatible avec le bon fonctionnement des équipements avale .

La chaleur est récupérée en préchauffant l'air utilisé pour la combustion principale et la combustion secondaire au plus près de la limite thermodynamique. Ceci est rendu difficile par les températures élevées, le très haut pouvoir abrasif du clinker et la granulométrie très variée. En refroidissant le clinker rapidement, on fige sa composition minéralogique ce qui augmente son aptitude au broyage et optimise la réactivité du ciment [30].

III.4 Description et fonctionnement

Le four rotatif est le centre du processus de cuisson, il représente l'organe le plus sollicité thermiquement, il inclut la totalité des réactions, qu'elles soient endothermiques ou exothermique, il inclut encore des échanges thermiques énormes, des apports d'énergie de grandes capacités et de grandes déperditions ; la compréhension de tous ces phénomènes conduit à une meilleure conduite du four.

Le four rotatif est décrit comme étant un cylindre en acier de chaudière (E26.1), animé d'une vitesse de rotation variable pouvant atteindre 2 tr/mn. Ce tube appelé aussi virole est réalisée en construction chaudronnerie, repose par l'intermédiaire de bandages, au nombre de trois, sur des galets, il est revêtu à l'intérieur de briques réfractaires et présente une inclinaison de 3% dans le sens de l'écoulement de la matière, cette inclinaison combinée avec la rotation

Chapitre III : Description du four rotatif de ciment

fait que la matière puisse progresser, par gravité, vers le brûleur (voir la figure III.4). La longueur du four peut atteindre les 90 mètres, son diamètre varie entre 5,4 et 5,7 mètres.

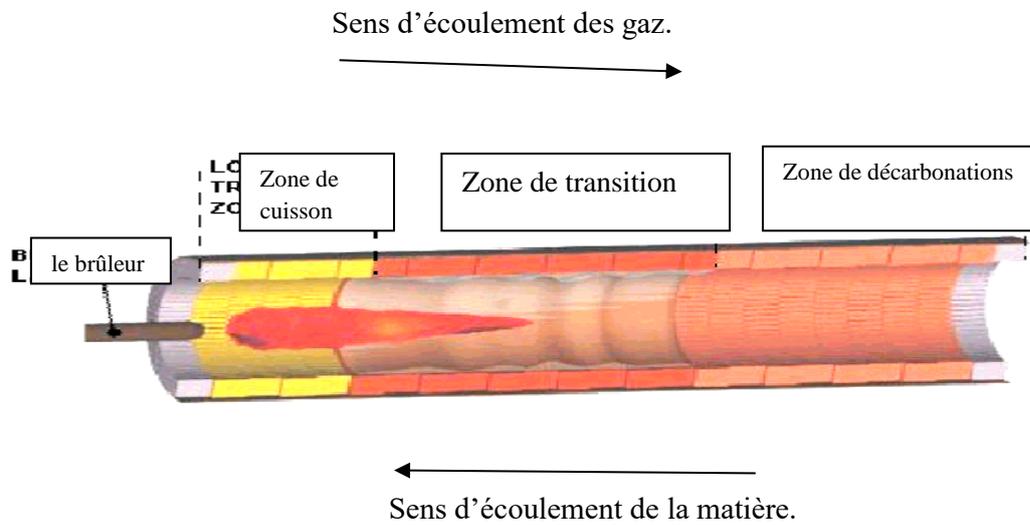


Figure III.4 : Four en coupe.

Le brûleur, élément principal de chauffe, dégage une flamme (voir la figure III.5) atteignant parfois les 2000°C, elle est issue, dans notre cas, de la combustion du gaz naturel.

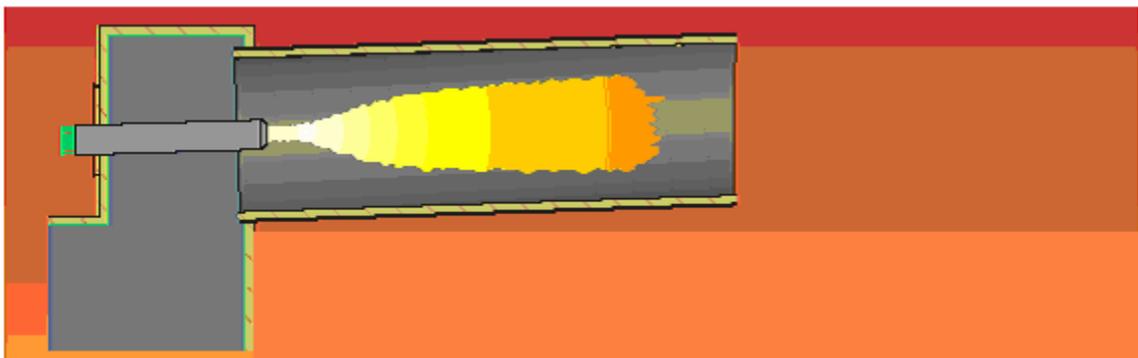


Figure III.5 : Flamme dégagée par le brûleur dans le four.

En amont, la liaison entre le four et le préchauffeur (voir la figure III.6), est réalisée par le biais de la boîte à fumée qui est une gaine en chaudronnerie, revêtue intérieurement de matériaux réfractaires. En aval, il est relié avec le refroidisseur par le capot de chauffe, réalisé aussi en chaudronnerie, il est revêtu intérieurement de matériaux réfractaires.

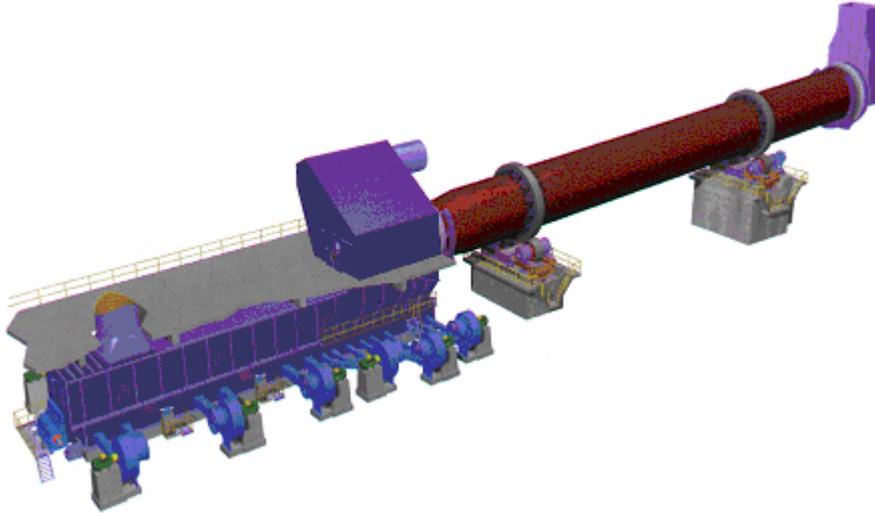


Figure III.6 : Vue d'ensemble de la ligne de cuisson sans pré-chauffeur.

Les dimensions du four, diamètre et longueur, sont déterminées par le constructeur en fonction de la capacité de production en clinker prévue, ainsi que du débit et de la vitesse des gaz de combustion (air secondaire). En régime établi, le four est le siège d'un équilibre entre deux flux: un flux calorifique des fumées de combustion d'aval en amont fourni par la combustion des gaz et le débit d'air secondaire, arrivant du refroidisseur déjà chaud. Un flux de matières granulaires, d'amont en aval qui forme dans le four un lit de matière appelée talus, arrivant du préchauffeur partiellement décarbonaté, avec une température de l'ordre de 800 °C à 900 °C et devant atteindre la température de clinkerisation à quelques mètres de la sortie du four

(voir IE figure III.7).

Le temps de séjour de la matière dans le four est estimé, pour une température d'entrée de matière de 810 °C, un taux de décarbonatation de 35 % et une vitesse de rotation du four de 1,9 tr/mn, à environ 52 minutes.[29]

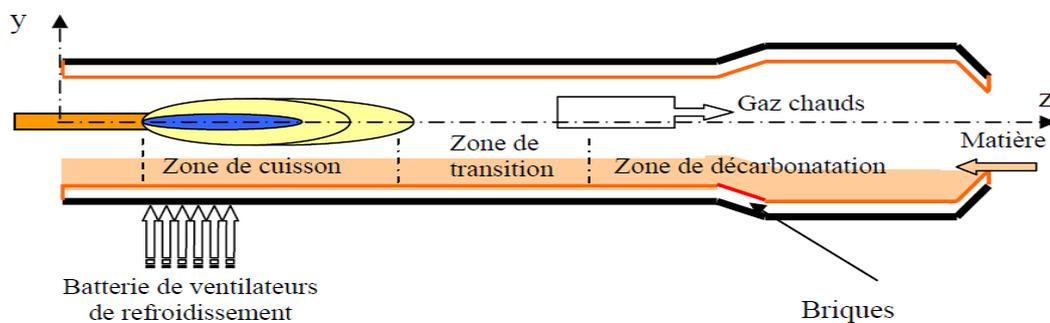


Figure III.7 : Processus à l'intérieur du four.

III.5 Description les zones de four

Le four rotatif il est composé trois zones à différentes températures (Figure III.7) :

a- La décarbonatation

La première zone c'est la zone de décarbonatation. Les carbonates de calcium (presque 80% du cru) sont décomposé par l'action de la chaleur avec élimination du dioxyde de carbone. Cette réaction se produit théoriquement à 900°C. Elle aboutit à la formation d'oxyde de calcium : $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$

Dans la pratique, du fait de la présence des oxydes SiO_2 , Al_2O_3 et Fe_2O_3 , cette réaction a lieu vers 850°C. Cette étape est la plus polluante du fait du dégagement important de dioxyde de carbone

b- La phase de transition

La deuxième zone est la formation de produits intermédiaires entre 1250°C et 1300°C. Ce sont des réactions solide-solide entre le CaO et les oxydes qui conduisent à la formation de CS et de C2S.

c- La clinkerisation

La troisième zone à partir de 1320°C, une phase liquide apparaît, constituée d'un mélange C3A et C4AF fondus. Enfin, entre 1250 et 1450°C, l'alite où C3S se forme. La chaux CaO et le C2S baignant dans la phase liquide se combine pour donner l'alite : $\text{CaO} + \text{C}_2\text{S} \rightarrow \text{C}_3\text{S}$
Cette réaction se fait à très hautes températures et donc, consomme beaucoup d'énergie. Elle est essentiellement une réaction de cristallisation.

III.6 Principaux éléments du four

Le four est composé de plusieurs éléments qui sont schématisées dans la figure III.8 ;

1-Virole

2-Stations 1

3-Station 2

4-Station 3

5-Groupe d'entraînement

6-Couronne dentée et pignon

7-Joint amont

8-Joint aval

9-Butées hydrauliques

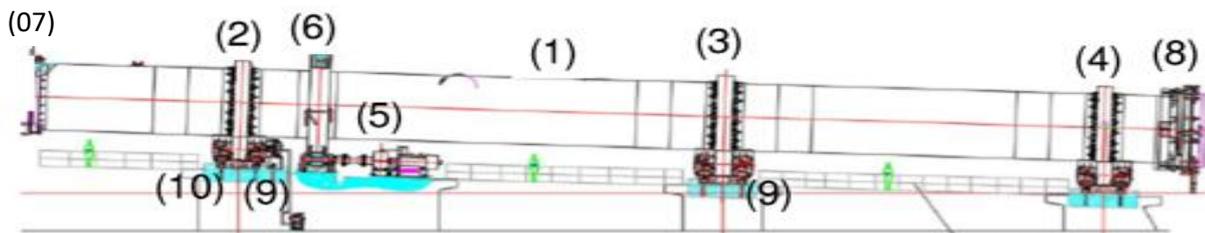


Figure III.8 : Principaux éléments du four.

La virole (1) constitue le principal élément du four.

Elle est constituée de tôles d'acier de différentes épaisseurs qui ont été roulées et soudées et est insérée dans trois bandages glissants (ou libres ou flottants) qui sont supportés chacun par deux galets, l'ensemble formant trois stations de roulement du four.

La virole est protégée contre la chaleur des gaz chauds circulant dans le four, par un garnissage en briques réfractaires et par le croûtage de la matière.

Des plaques d'usure sont interposées entre la virole et les bandages pour éviter leur usure en cas de glissement et assurer une bonne adhérence entre les bandages et la virole. [30]

III.7 La rotation du four

Un groupe d'entraînement principal (5) (voir la figure III.9) comprenant : un moteur électrique AC, un réducteur, une rallonge.

Un groupe de virage, deux dispositifs de freinage et d'embrayage et un groupe de secours.

Une couronne dentée entraînée est un pignon (6).

La couronne dentée (6) est fixée sur la virole, à l'aval de la station 1 (2), par des raidisseurs inclinés, ce qui permet d'absorber les vibrations et les déformations de la virole.

Le groupe de virage permet de virer le four à faible vitesse en cas d'arrêt pour éviter la déformation de la virole, de chauffe et pendant les travaux. [30]

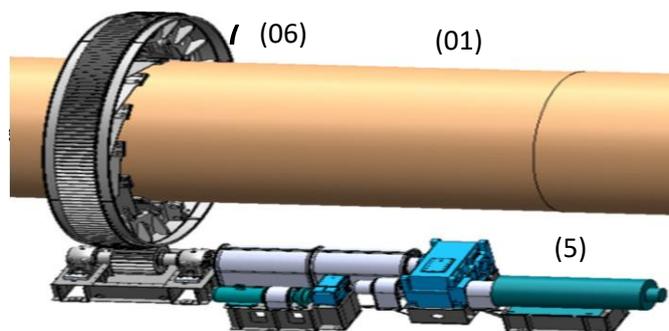


Figure III.9 : Le groupe d'entraînement.

Le virage du four peut être assuré également par un groupe de secours en cas de coupure de l'alimentation électrique.

Pendant sa marche, le four descend sous l'effet de sa rotation et de son inclinaison.

Pour cela, deux butées hydrauliques (9) sont installées à l'aval des bandages des stations 1 et 2 pour faire remonter le four (voir la figure III.10).

De même, une butée mécanique fixe (10) de sécurité est installée à l'amont du bandage de la station 1 (2) pour bloquer la montée du four en cas de poussée anormale suite à une défaillance des butées hydrauliques.[30]

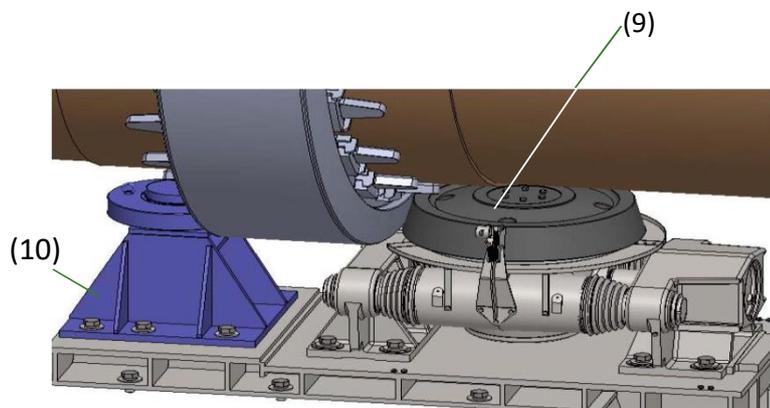


Figure III.10 : La butées hydrauliques et le butée mécanique.

L'étanchéité entre le four rotatif et le préchauffeur et le refroidisseur, deux installations fixes, est assurée respectivement par le joint amont (7) et le joint aval (8). [30]

III.8 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons effectué une description du four rotatif avec une enquête préliminaire qui nous a permis de connaître leur fonctionnement.

Chapitre IV :

Mise en place de la méthode AMDEC

IV.1 Introduction

Le four rotatif de cimenteries présente une grande importance dans le domaine de cimenterie, les défaillances freinent sa marche normale et entraînent des pertes de production. Pour remédier à ces problèmes, nous avons entamé ce projet qui vise l'amélioration de l'existant et la mise en place d'une maintenance préventive pour enfin améliorer la détectabilité des pannes critiques, parmi les outils et techniques de prévention des problèmes potentiels, la méthode AMDEC s'avère une méthode très efficace. Cette technique a pour but d'étudier, d'identifier et de prévenir ou au moins de réduire les risques de défaillance d'un système, d'un processus ou d'un produit.

IV.2 Décomposition du système

L'AMDEC est une méthode de réflexion créative qui repose essentiellement sur la décomposition fonctionnelle du système en éléments simples jusqu'au niveau des composants les plus élémentaires. D'après l'orientation de l'équipe d'usine ZAHANA et chef département du service méthode et monsieur l'encadreur nous avons fait le schéma présenter dans la figure IV.1, qui nous ont aidés dans notre travail. On a décomposé le système en sous-systèmes. Chaque sous-système est décomposé jusqu'aux organes les plus élémentaires.

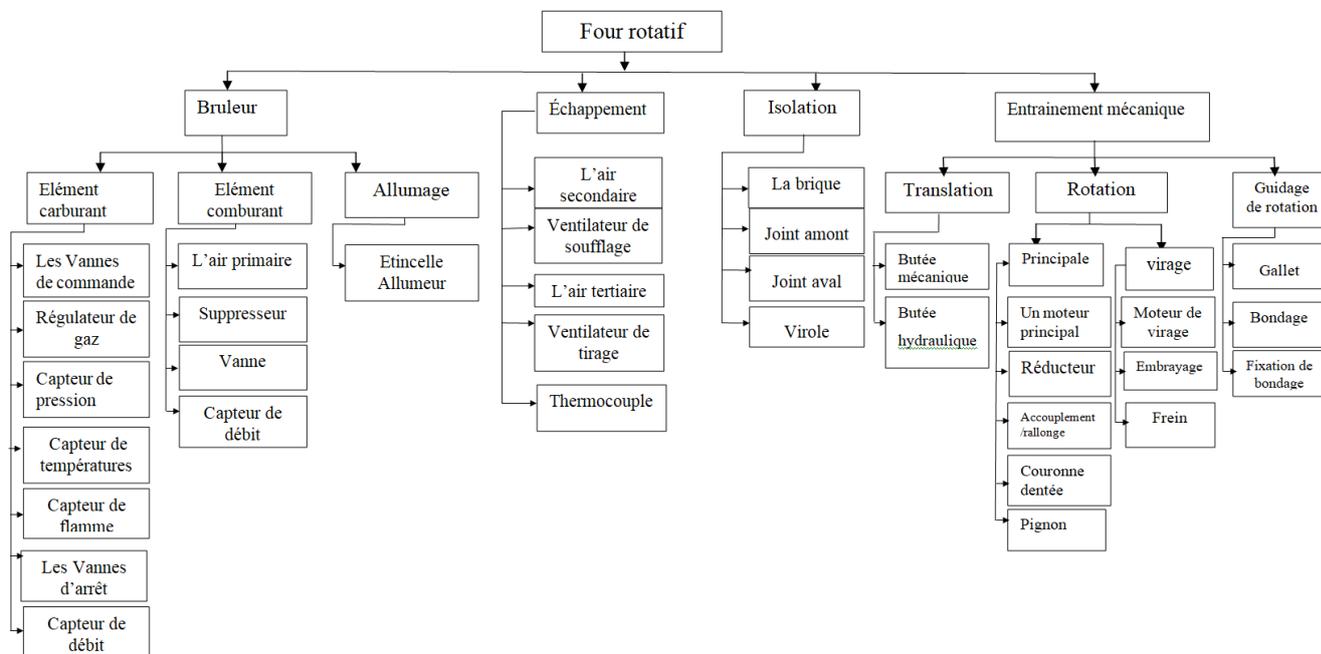


Figure IV.1: Décomposition fonctionnel du four.

IV.3 Tableau de criticité (cas SCIZ)

Nous avons pris une échelle spéciale pour la nouvelle ligne de production au niveau de l'usine de Zahana, comme indiqué dans le tableau IV.1 ci-dessous. Car c'est une ligne nouvellement installée (en 2018) qui n'a pas subi beaucoup de défaillance, mais ça n'empêche pas d'évaluer la criticité des défaillances potentielles de cette ligne de production (en particulier le four).

C	Remarque
$C < 3$	Ne pas tenir compte.
$3 \leq C < 6$	Mise sous préventive à fréquence faible.
$6 \leq C < 16$	Mise sous préventive à fréquence élevée.

Tableau IV.1 : Échelle de criticité.

IV.4 Les tableaux d'AMDEC

Après avoir défini la décomposition structurelle et fonctionnelle de système du four rotatif, nous allons maintenant appliquer l'AMDEC pour chaque élément de ce système, qui nous permettra de trouver les pannes et défaillances critiques, les analyser, puis proposer des solutions à mettre en place, en se basant sur la documentation technique du four délivré par le constructeur, et l'historique des pannes des éléments du four depuis l'année 2017, pendant laquelle le four a subi certains changements (vitesse de rotation plus importante et débit de production deux fois plus important).

L'échelle de cotation des différents critères choisis, à savoir : la fréquence, la détectabilité et la gravité des défaillances sont déjà présentés dans le chapitre 1.

IV.4.1 Bruleur

IV.4.1.1/Carburant

Date de l'analyse: 08/05/2022	AMDEC MACHINE – ANALYSE DES MODES DE DÉFAILLANCE DE LEURS EFFETS ET DE LEUR CRITICITÉ					Page :1/3			
	Système : Four rotatif		Sous-système 1:Bruleur (Elément carburant)						
Élément	Fonction	Mode de défaillance	Cause de la défaillance	Effet de la défaillance	Détection	Criticité			
						F	D	G	C
Les Vanes de commande	Commander l'ouverture et fermeture de la vanne a gaz	- Colmatage	-La pollution du gaz La diminution de la pression	- Arrête d'allumage	Capteur de pression	1	1	1	1
Régulateur de gaz (pneumatique)	Réglage de débit de gaz	- Bouchage	- La pollution de l'air comprimé	-Arrête d'allumage	Capteur de débit	1	1	1	1
Capture de pression	Mesurer la pression de gaz	-Cassé	- La dérive ou défaillance d'électronique	-Arrête d'allumage	Salle de contrôle	1	1	1	1
Capture de températures	Mesurer la température et envoyer le signal directement ou indirectement	-Cassé	La dérive ou défaillance d'électronique	-Arrête d'allumage	Salle de contrôle	1	1	1	1
Capture de flamme	La surveillance de flamme (présence flamme)	-Cassé	Mauvais cuisson La présence de poussier	-Arrête de bruleur	Salle de contrôle et Visuel	2	1	1	2
Les Vannes d'arrêt	Fermer le gaz en arrêt prolonge	-Cassé	Casse du bras manuel	-Arrête de bruleur	Visuel et débit de gaz	1	1	1	1
Capteur de débit	Mesurer le débit du gaz	-Cassé	La dérive ou défaillance d'électronique et la pollution	-Arrête d'allumage	Salle de contrôle et Visuel	1	1	1	1

Tableau IV.2 : Grille AMDEC de bruleur (élément carburant).

IV.4.1.2 Comburant

Date de l'analyse: 09/05/2022	AMDEC MACHINE – ANALYSE DES MODES DE DÉFAILLANCE DE LEURS EFFETS ET DE LEUR CRITICITÉ					Page :2/3			
	Système: Four rotatif		Sous-système 1 :Bruleur (Elément comburant "L'air primaire")						
Élément	Fonction	Mode de défaillance	Cause de la défaillance	Effet de la défaillance	Détection	Criticité			
						F	D	G	C
Suppresseur	Commander la vanne	- Cassé	- La pollution de l'air	-Arête d'allumage	Salle de contrôle et visuel	1	1	1	1
Vanne	Régler le débit d'air	- Cassé	-Casse le bras manuel	-Arête d'allumage	- Visuel	1	1	1	1
Capture de débit	Mesurer le débit d'air	-Cassé	- La dérive ou défaillance d'électronique et la pollution	-Arête d'allumage	Salle de contrôle et visuel	1	1	1	1

Tableau IV.3 :Grille AMDEC de bruleur (élément comburant).

IV.4.1.3 Allumage

Date de l'analyse: 10/05/2022	AMDEC MACHINE – ANALYSE DES MODES DE DÉFAILLANCE DE LEURS EFFETS ET DE LEUR CRITICITÉ					Page :3/3			
	Système : Four rotatif		Sous-système 1:Bruleur (Allumage)						
Élément	Fonction	Mode de défaillance	Cause de la défaillance	Effet de la défaillance	Détection	Criticité			
						F	D	G	C
Étincelle allumeur	Pour allumage du bruleur	- Bouchage	-La poussière	Ne fait pas l'allumage	Capture de flamme	2	1	1	2

Tableau IV.4 : Grille AMDEC de bruleur (élément carburant).

IV.4.2.Isolation

Date de l'analyse: 12/05/2022	AMDEC MACHINE – ANALYSE DES MODES DE DÉFAILLANCE DE LEURS EFFETS ET DE LEUR CRITICITÉ					Page :1/1			
	Système : Four rotatif		Sous-système: Isolation						
Élément	Fonction	Mode de défaillance	Cause de la défaillance	Effet de la défaillance	Détection	Criticité			
						F	D	G	C
La brique	- Protéger le virole	-Chute des briques	-Ovalisation. -Déformation de la virole. -Choc thermique	-Apparition de points chauds. -Effet vilebrequin	-Le scanner	2	2	4	16
Joint amont	L'étanchéité entre le four rotatif et le refroidisseur	Etanchéité insuffisante	- Cordon d'étanchéité	-Entrée d'air atmosphérique dans le four.	-Visuel (sale de contrôle)	1	3	2	12
Joint aval	L'étanchéité entre le four rotatif et le préchauffeur	-Etanchéité insuffisante	-Pression insuffisante -Problème de circuit d'air comprimé	- Entrée d'air atmosphérique dans le four.	- Visuel (sale de contrôle)	1	3	2	12
Virole	Isolation entre la partie inter et la partie externe du four	-Déformation	-Température non uniforme -chute des briques	-Fissure galet -Flexion arbre galet -Charge excessive sur galet -Chute/fissuration des briques.	- Visuel (sale de contrôle)	1	1	4	4

Tableau IV.5 :Grille AMDEC d'isolation.

IV.4.3 Echappement

Date de l'analyse: 12/05/2022	AMDEC MACHINE – ANALYSE DES MODES DE DÉFAILLANCE DE LEURS EFFETS ET DE LEUR CRITICITÉ					Page : 1/1			
	Système : Four rotatif		Sous-système: Échappement						
Élément	Fonction	Mode de défaillance	Cause de la défaillance	Effet de la défaillance	Détection	Criticité			
						F	D	G	C
Ventilateur de soufflage	Refroidissement par trompe du clincker.	- Usure turbine - Déformation turbine	- Mesure de sécurité hors service - Matière abrasive - Durée de vie de roulement - Mauvais graissage	Arrêt de production	Visuel Bruit vibration	1	1	4	4
Ventilateur de tirage	-Tirage d'air chaud venant de tour l'échange de chaleur	- Usure turbine - Déformation turbine	- Passage d'air chaud qui dépasse le seuil de la turbine - Mesure de sécurité hors service - Matière abrasive - Durée de vie de roulement - Mauvais graissage	- Arrêt de production	Visuel Bruit - vibration	1	1	4	4
Thermocouple	Mesurer la température dans endroits très élevés.	Brulant et coupure	- La température très élevés	- Ne pas assurer la mesure de température d'échappement	- Salle de contrôle et visuel	3	1	1	3

Tableau IV.6 :Grille AMDEC d'échappement.

IV.4.4. Entrainement mécanique

IV.4.4.1 Monte décente

Date de l'analyse: 12/04/2018	AMDEC MACHINE – ANALYSE DES MODES DE DÉFAILLANCE DE LEURS EFFETS ET DE LEUR CRITICITÉ					Page :1/3			
	Système :Four rotatif		Sous-système 1:Entraînement en translation						
Élément	Fonction	Mode de défaillance	Cause de la défaillance	Effet de la défaillance	Détection	Criticité			
						F	D	G	C
Butée mécanique	Limitation de la course de la translation	- Blocage	- Détérioration de roulement - Absence graissage	translation excessive	- Visuel	1	4	2	8
Butée hydraulique	Favorisé la translation	- Echauffement - Blocage - Fuit de vérin hydraulique	- Manque de graissage - Détérioration des roulements - Détérioration kit de joint	Changement de la position du four	- Visuel	2	2	3	12

Tableau IV.7 : Grille AMDEC d'Entraînement mécanique (Entraînement en translation).

IV.4.4.2.1 Rotation (principale)

Date de l'analyse: 16/04/2022	AMDEC MACHINE – ANALYSE DES MODES DE DÉFAILLANCE DE LEURS EFFETS ET DE LEUR CRITICITÉ					Page :2/3			
	Système : Four rotatif		Sous-système 1: rotation (principale)						
Élément	Fonction	Mode de défaillance	Cause de la défaillance	Effet de la défaillance	Détection	Criticité			
						F	D	G	C
Un moteur principal	-Entrainement réducteur	- Echauffement - Variation de puissance	-Mauvaise isolation statorique -Dur mécanique	Vitesse de rotation du four faible -Diminution de production -Risque de colmatage.	Visuel (sale de contrôle)	1	1	4	4
Réducteur	-Réduction vitesse de rotation -Entrainement pignon	- Echauffement -vibration Fuite d'huile	- Usure pignon -Détérioration roulement -Mauvais graissage	Arrêt de production	- Visuel (Analyse vibratoire)	2	2	4	16
Accouplement /rallonge	-Entrainement	- Vibration - cassure	- Usure tampon - mauvais alignement	- Arrêt de production	-Visuel	1	4	4	16
Couronne dentée	-L'entraînement de la virole	- Vibration - Cassure - Desserrage boulon fixation	- Mauvais graissage - Cassure denture - Alignement de four	-Arrêt du four Perte de production	-Visuel	1	1	4	4
Pignon	-Entrainement couronne dentée	-Vibration -Cassure -Usure	- Mauvais graissage -Détérioration roulement -Cassure des dentures	- Perte de production	-Visuel	1	4	4	16

Tableau IV.8 :Grille AMDEC d'Entrainement mécanique (élément Rotation (principale)).

IV.4.4.2 Rotation (virage)

Date de l'analyse: 17/05/2022	AMDEC MACHINE – ANALYSE DES MODES DE DÉFAILLANCE DE LEURS EFFETS ET DE LEUR CRITICITÉ					Page :2/3			
	Système :Four rotatif		Sous-système 1:Rotation (virage)						
Élément	Fonction	Mode de défaillance	Cause de la défaillance	Effet de la défaillance	Détection	Criticité			
						F	D	G	C
Moteur de virage	Entrainement de virage	- Echauffement - Variation de puissance	- Mauvaise isolation statorique - Dur mécanique	Risque déformation de virole	-Visuel	2	1	3	6
Embrayage	Couplage de rotation dans un seul sens	- Blocage	- Alignement - Desserrage fixation	Risque déformation de virole	- Visuel	1	4	3	12
Frein	- Freinage et positionnement de virole	-Usure de la mâchoire	-Durée de vie	- Difficulté de positionnement de virole	-Visuel	1	4	2	8

Tableau IV.9 :Grille AMDEC d'Entrainement mécanique (élément Rotation(Virage)).

IV.4.4.3 Guidage de rotation

Date de l'analyse: 19/05/2022	AMDEC MACHINE – ANALYSE DES MODES DE DÉFAILLANCE DE LEURS EFFETS ET DE LEUR CRITICITÉ					Page :3/3			
	Système :Four rotatif		Sous-système 1:Guidage de rotation						
Élément	Fonction	Mode de défaillance	Cause de la défaillance	Effet de la défaillance	Détection	Criticité			
						F	D	G	C
Gallet	-Assise de virole -Favorisé la rotation	- Echauffement des paliers - Usure	- Lubrification insuffisante d'huile et l'eau - Empêche la monte décente - Alignement axe de four et axe gallet	Pert de production (diminution de vitesse de rotation four)	-Visuel	4	1	4	16
Bandage	-Assure entrainement de virole	- Maillage - Glissement élève - Voilage	- Alignement axe de four et axe gallet -Usure des cale sous bandage(jeu de sommé)	Chute des briques	- Visuel	3	1	4	12

Tableau IV.10 :Grille AMDEC de guidage de rotation.

IV.5 Interprétation des résultats de l'analyse AMDEC

Ce travail a montré la faisabilité de conduire une méthode d'analyse dysfonctionnelle. Cette approche est basée sur l'analyse AMDEC. La mise en œuvre d'une telle démarche montre sa contribution dans la réduction des défaillances. En effet elle permet :

- De définir les exigences de sûreté de fonctionnement de manière précise.
- D'identifier les fonctions critiques pour le système.
- De définir la politique de maintenance pour le système et ses composants.

La criticité des conséquences de différentes fonctions critiques du four a été appréciée selon des échelles de probabilité et de gravité. Au niveau de la fiabilité du système, nous avons identifié les composants sur lesquels une attention particulière doit être portée.

L'exemple traité dans le cadre de ce travail a été développé suivant une méthode logique et structurée. Elle a permis de mieux maîtriser le système étudié tout en identifiant les maillons faibles.

Les éléments dont la criticité est supérieure ou égale à 6 sont les éléments qu'il faut agir en priorité en engageant des recommandations appropriées.

IV.6 Analyse Pareto

Dans cette analyse, les organes sont classés en ordre décroissant selon leur criticité. Le pourcentage et le pourcentage cumulé de la criticité de chaque organe sont déterminés par la suite. Le tableau IV.10 suivant présente les organes de four rotatif et leurs criticités correspondantes.

	L'élément	Criticité	% Criticité	%Cumulés	Classifications
1	Gallet	16	8,2902%	8,2902%	8,2902%
2	Réducteur	16	8,2902%	16,5803%	16,5803%
3	Accouplement /rallonge	16	8,2902%	24,8705%	24,8705%
4	Pignon	16	8,2902%	33,1606%	33,1606%
5	La brique	12	6,2176%	39,3782%	39,3782%
6	Joint amont	12	6,2176%	45,5959%	45,5959%
7	Joint aval	12	6,2176%	51,8135%	51,8135%
8	butéhydraulique	12	6,2176%	58,0311%	58,0311%
9	Embrayage	12	6,2176%	64,2487%	64,2487%
10	Bandage	12	6,2176%	70,4663%	70,4663%
11	Frein	8	4,1451%	74,6114%	74,6114%
12	Butémécanique	8	4,1451%	78,7565%	78,7565%
13	Le moteur de virage	6	3,1088%	81,8653%	81,8653%
14	Le moteur principale	6	3,1088%	84,9741%	84,9741%
15	Ventilateur de tirage	4	2,0725%	87,0466%	87,0466%
16	Ventilateur de soufflage	4	2,0725%	89,1192%	89,1192%
17	Virole	4	2,0725%	91,1917%	91,1917%
18	Capture de flame	4	2,0725%	93,2642%	93,2642%
19	Thermocouple	3	1,5544%	94,8187%	94,8187%
20	Étincelle allumeur	2	1,0363%	95,8549%	95,8549%
21	Les Vanes de commande	1	0,5181%	96,3731%	96,3731%
22	Régulateur de gaz (pneumatique)	1	0,5181%	96,8912%	96,8912%
23	Capteur de pression	1	0,5181%	97,4093%	97,4093%
24	Capture de températures	1	0,5181%	97,9275%	97,9275%
25	Les Vanes d'arrêt	1	0,5181%	98,4456%	98,4456%
26	Capture de débit	1	0,5181%	98,9637%	98,9637%
27	Suppresseur	1	0,5181%	99,4819%	99,4819%
28	vane	1	0,5181%	100%	100%
	Totale	193	100		

Tableau IV.11 L'analyse ABC (Pareto).

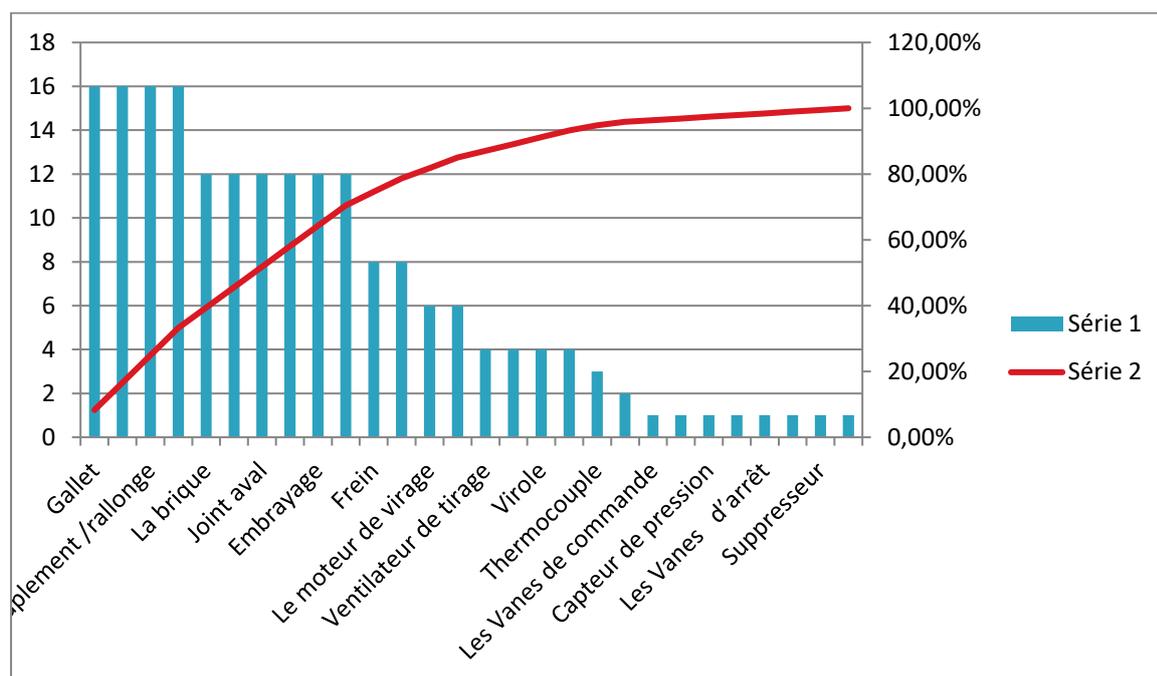


Figure IV.2: Diagramme de PARETO du four rotatif.

Le diagramme de Pareto schématisé dans la figure IV.2 permet de répartir les éléments du système étudié en trois classes :

La classe A : représentant les éléments les plus critiques ($C \geq 6$), cette classe représente presque 60% du cumul de criticité. Les organes constituant cette classe sont :

- Gallet
- Réducteur
- Accouplement /rallonge
- Pignon
- La brique
- Joint amont
- Joint aval
- Butée Hydraulique
- Embrayage
- Bandage
- Frein
- Butée mécanique

-Le moteur de virage

-Le moteur principale

La classe B : représentant les éléments à criticité moyenne ($3 \leq C < 6$), cette classe représente presque 20% du cumulé de criticité. Les organes constituant cette classe sont :

-Ventilateur de tirage

-Ventilateur de soufflage

-Virole

-Capteur de flamme

-Thermocouple

La classe C : représentant les éléments les moins critiques ($C < 3$), cette classe représente presque 20% du cumulé de criticité. Les organes constituant cette classe sont :

-Étincelle allumeur

-Les vannes de commande

-Régulateur de gaz (pneumatique)

-Capteur de pression

-Capteur de températures

-Les vannes d'arrêt

-Capteur de débit

-Suppresseur

-Vanne

IV.7 Action préventives

Après l'analyse AMDEC, PARETO et l'interprétation des résultats, nous allons présenter des solutions et des recommandations pour les composants critiques du four, afin de réduire l'occurrence élevée, ce qui conduit à une criticité réduite.

Le tableau IV.11 suivant présente les solutions proposées qui ont été élaborées à l'aide de la documentation technique du constructeur et le retour d'expérience du personnel de l'usine S.C.I.Z:

Elément	Actions préventives
Gallet	<ul style="list-style-type: none"> -Vérifier et améliorer le graissage, qualité d'huile, refroidissement des roulements -Vérifier et régler les positions des galets, vérifier et réduire la pression de la butée hydraulique. -Vérifier l'alignement et le braquage des galets et corriger si nécessaire. -Vérifier et nettoyer le circuit de graissage et de refroidissement d'huile. -Vérifier la qualité et la propreté de l'huile, respecter le plan de graissage.
Réducteur	<ul style="list-style-type: none"> -Nettoyage et changement d'huile, -Remplacer le mobile du réducteur.
Accouplement /rallonge	<ul style="list-style-type: none"> -Vérifier l'alignement et améliorer le graissage, qualité d'huile.
Pignon	<ul style="list-style-type: none"> -Vérifier les alignements et les corriger si nécessaire. - Serrer les boulons desserrés et remplacer les boulons manquants.
La brique	<ul style="list-style-type: none"> -Utiliser des briques de bonne qualité. -Remplacer les briques tombées.
Joint amont	<ul style="list-style-type: none"> -Vérifier le joint amont et remplacer les éléments défectueux. - Vérifier et régler le joint amont.
Joint aval	<ul style="list-style-type: none"> -Régler le tendeur à ressort et augmenter la force de tension. -Remplacée le joint la mélaire (aval).
Butée hydraulique	<ul style="list-style-type: none"> -Suivi de la pression de la pompe.
Bandage	<ul style="list-style-type: none"> -Régler le jeu, nettoyer les impuretés et refroidir l'espace entre le bandage et les plats. -Vérifier et régler les positions galet. -Réduire les charges radiales et graisser entre les plats sous bandage et le bandage.
Butée mécanique	<ul style="list-style-type: none"> -Vérifier et améliorer le graissage, qualité d'huile, refroidissement des roulements.
Frein	<ul style="list-style-type: none"> - Vérifier et améliorer le graissage, qualité d'huile.
Le moteur principal de virage	<ul style="list-style-type: none"> -Vérifier le système de lubrification. -Vérifier les aubes de stator.

Tableau IV.12: Actions préventives.

IV.8 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons entamé la partie essentielle de notre étude, ce qui veut dire, remplir les tableaux AMDEC et finir le travail par les résultats de l'analyse dont nous avons effectué sur le système de four rotatif de la cimenterie, et mentionner les recommandations possibles pour les défaillances critiques que nous avons trouvées.

Conclusion générale

Ce travail qui sanctionne la fin e notre cursus à l'IMSI nous essentiellement permis de mettre en pratique les différentes théories reçues lors des divers cours. Aussi, nous a-t-il permis de maîtriser les notions de maintenance et d'en découvrir d'autres techniques. Le rôle principal d'un service de maintenance est de maintenir les capacités opérationnelles des moyens de production, ainsi que leurs valeurs patrimoniales.

Ce sujet nous a permis d'approfondir nos connaissances dans le domaine de cimenterie, notamment, le four rotatif de cimenteries.

Ainsi, nous avons pu appliquer nos diverses connaissances pédagogiques en mettant en œuvre nos compétences d'analyse et relationnelles dans l'étude des problématiques de maintenance, d'étude et de conception.

Notre étude a commencé par l'application de la méthode AMDEC, selon l'historique des pannes durant les dernières(05) cinquantaines pour identifier les sous-systèmes les plus affectés, déterminer les composants les plus onéreux du four en particulier et la production en général.

Après l'application de la méthodeAMDEC, nous utilisant la méthode Pareto qui nous a permis de préciser les actions préventive de chaque classe de criticités.

les zones en classer comme suivants :

A la fin Dans notre travail, nous avons été impliqués dans la maintenance du four et l'implantation de nouvelles techniques de suivi conditionnel, et nous avons proposé des actions préventives et améliorative principalement liées au fonctionnement du système defour rotatif, pour éviter le dysfonctionnement dans le futur.

Mais ce qui est plus important c'est que nous avons appris, grâce à ce projet la méthodologie de recherche fructueuse avec un esprit critique. En revanche, notre projet reste ouvert aux améliorations.

Le travail réalisé ouvre la voie à plusieurs perspectives, que nous listons brièvement ci-dessous :

- Application des actions correctives sur terrain pour voir la nouvelle criticité.
- Application de la méthode AMDEC sur les autres équipements de l'usine.

Références bibliographiques

- [1] BENAICHA «Analyse des stratégies de maintenance des systèmes de production industrielle.» thèse de doctorat des Sciences et de la Technologie USTO Oran.
- [2] <http://tpmattitude.fr/methodes.html> (consulté le 20/05/2022).
- [3] HAMAIDA Mohamed , « el Habib Mise en place d'un système de maintenance Etude de cas : Société MOULINS HAMAMAT » ; Mémoire de Master, École Supérieure en Sciences Appliquées de Tlemcen-ESSAT , 2021.
- [4] intersection Le magazine Schneider Electric de l'enseignement technologique et professionnel novembre 2004.
- [5] Jean Faucher (Auteur) Assurez la qualité et la sûreté de fonctionnement de vos produits, équipements et procédés Paru en juin 2009 Etude.
- [6] Eniet-Cameroun, Cours Stratégie de maintenance type de maintenance, France,2017.
- [7] Lehziel Mustafa Et Baga Mohammed, « La détection et la maintenance des capteurs dans le groupe électrogène Volvo » ; Mémoire de Master, Université de Ghardaïa, 2021.
- [8] <http://chaqual.free.fr/outils/amdec/histoireamdec.html> (consulté le 10/06/2022).
- [9] Dr. B. Maghni, Cours Maintenance Industriel Université-Ourgla 2017.
- [10] <https://www.rocdacier.com/amdec-methode-detudes-des-defaillances-dun-produit-en-cours> (consulté le 15/06/2022).
- [11] FRANÇOISMONCHY « La fonction maintenance : Formation à la gestion de la maintenance. Industrielle »2^e édition masson.1997.
- [12] Jean Faucher (Auteur) Assurez la qualité et la sûreté de fonctionnement de vos produits, équipements et procédés Paru en juin 2009 Etude.
- [13] <https://www.zahanacement.com/presentation> (consulté le 20/06/2022).
- [14] : FICHES TECHNIQUES TOME 1 « Les constituants des bétons et des mortiers ». <https://www.infociments.fr/ciments/les-constituants-des-betons-et-des-mortiers> (consulté le 25/06/2022).
- [15] CEMBUREAU, Association Européenne du Ciment, 1999 Le changement climatique, publication par CEMBUREAU, N° Editeur : D/1998/5457, Bruxelles.
- [16] Ben inak Chouaib Amine, « processus de fabrication du ciment, et gestion des poussières » ; Mémoire fin étude, Université Badji Mokhtar Annaba, 2014.

Références bibliographiques

- [17] DJAIDJA Samir, « valorisation du laitier granulé algérien dans les matériaux de construction : recherche bibliographique » ; Mémoire de Master, Université Mohamed Boudiaf - M'sila, 2021.
- [18] Hamrit Abdelbasset Et Darfalou Abderrazaq, « Influence du rapport E/C sur la durabilité des ciments et mortier à base de laitier exposés aux milieux agressifs » ; Mémoire de Master , Université Mohamed Boudiaf - M'sila, 2021.
- [19] Karima MOUSSI, « Modélisation d'un four rotatif à ciment : Cas de l'unité de Sour El-Ghozlane » ; Mémoire de Magistère, Université Des Sciences Et De La Technologie Houari Boumediene, 2007.
- [20] Merzougui Ishak , « Improve clinker reactivity - impact on cement performance » ; Mémoire de Master , Université Mohamed Khider de Biskra , 2020.
- [21] Moumene Sara Et Athamnia Ghania, « Ciment Et Cimenteries En Algérie : Production Et Normalisation » ; Mémoire de Master, Université de Guelma , 2013.
- [22] CHEKKAF Zakariya et GHEZOUANI Moustafa, « Étude, analyse et synthèse d'un convoyeur A BANDES (CAS SCIBS Beni saf » ; Mémoire de Master, Université Aboubakr Belkaïd de Tlemcen, 2018.
- [23] SEYIKPE S. Hermas, « Etude Des Combustibles Alternatifs Utilises En Industrie Cimentiere : Cas De La Scb-Lafarge D'onigbolo » ; Mémoire de Master, Université D'abomey-Calavi (Uac) BENIN, 2021.
- [24] YAROU BONI, « Efficacité du refroidissement du Clinker :Bilan thermique, Impact des actions implémentées à l'arrêt du four de l'année 2017 et perspectives 2018/2019 » ; Mémoire de Master , Université D'abomey-Calavi (Uac) BENIN , 2018.
- [25] Megueddem Mohammed-Yazid , « Étude et automatisation de la station d'huile de la cimenterie SPA BISKRIA » ; Mémoire de Master , Université Mohamed Khider de Biskra , 2020.
- [26] GHERMAOUI Amina, « Effets de certains métaux sur les propriétés physico des mortiers de ciment de Béni pouzzolan » ; Mémoire de Master, Université Aboubakr Belkaïd de Tlemcen, 2015.
- [27] BERKATI Sarah et MEZANI Cherifa, « Évaluation des impacts environnementaux de la cimenterie de Sour El-Ghozlane » ; Mémoire de Master , Université Akli Mohand Oulhadj – Bouira , 2017.
- [28] Noui Samira « étude numérique de la combustion des gaz dans un four de cimenterie » Mémoire de Magistère, Université de Batna.
- [29] Yassine DEMAGH « modélisation et simulation des transferts de matière dans les fours de cimenterie » thèse de doctorat université de Batna 2013.
- [30] CBMI Construction, Formation SCIZ Réalisée et animée par : Mohammed AYADI Consultant Sénior – ASER Novembre 2018.