



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة وهران 2 محمد بن أحمد
Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed
معهد الصيانة و الأمن الصناعي
Institut de Maintenance et de Sécurité Industrielle

Département de Sécurité Industrielle ET Environnement

MÉMOIRE

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Sécurité industrielle

Spécialité : Sécurité industrielle et environnement

Thème

**Analyse des risques au niveau d'une cimenterie:
étude de cas de dysfonctionnement du four**

Présenté et soutenu par:

BENAMMAR Fairouz

ET

BEDDOU Sarah

Devant le jury composé de:

Nom et Prénom	Grade	Etablissement	Qualité
Mme AISSANI Nassima	MCA	Université d'Oran 2	Président
Mr GUETARNI Islam Hadj Mohamed	MAB	Université d'Oran 2	Encadreur
Mme SERAT Fatima Zohra	MAB	Université d'Oran 2	Examinateur

Année 2019/2020

Remerciements

Ce présent mémoire qui marque la fin de notre cycle de formation de professionnalisation n'a pu aboutir que grâce à la conjugaison des efforts de plusieurs personnes.

Qu'il soit permis d'exprimer notre profonde gratitude à tous ceux qui nous ont encouragé à poursuivre nos objectifs, ceux qui nous ont accompagné dans ce parcours, depuis le début de notre travail jusqu'au terme du présent mémoire.

Nous souhaitons remercier chaleureusement notre encadreur, Mr. GUITARNI, pour sa présence et son investissement pour la direction de ce mémoire qui nous a permis de nous approfondir sur le sujet traité.

Nous adressons nos plus sincères remerciements à Dr BENAMMAR Hadjer, pour ces précieux conseils, sa rigueur scientifique, ainsi que le temps qu'elle nous a consacré malgré ses grandes occupations pour évaluer ce travail.

Nos remerciements s'adressent également aux membres du jury Mme AISSANI Nassima et Mme SERAT Fatima Zohra, de nous honorer de leur présence durant cette audience.

Nous remercions très vivement l'ensemble du personnel du département de sécurité et de production, qui nous a accueillis au sein de LAFARGEHolcim pour leurs encouragements et leurs aides.

Nous ne pouvons achever ce mémoire sans remercier toutes les personnes ayant contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce travail.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail,

A ma petite famille qui m'a toujours poussé et motivé dans ma vie et m'a doté d'une éducation digne, son amour a fait de moi ce que je suis aujourd'hui ;

Particulièrement à mes parents, ceci est ma profonde gratitude pour votre éternel amour et pour le goût à l'effort qu'ils ont suscité en moi, que ce mémoire soit le meilleur cadeau que je puisse t'offrir.

A ma deuxième maman, ma seule sœur Hadjer et mes supporteurs frères Safi Eddine et Youcef qui m'avez toujours soutenu et encouragé durant toute la période de formation.

Enfin ma reconnaissance va à mon binôme Sarah et mes chers amis, pour leurs conseils et encouragements...

Fairouze

Je dédie ce modeste travail

A mes chers parents;

Pour leurs soutiens, leurs patiences, leurs encouragements durant mon parcours scolaire vous avez su m'inculquer le sens de la responsabilité, de l'optimisme et de la confiance en soi face aux difficultés de la vie. Vos conseils ont toujours guidé mes pas vers la réussite. Votre patience sans fin, votre compréhension et votre encouragement sont pour moi le soutien indispensable que vous avez toujours su m'apporter. Que Dieu le tout puissant vous préserve, vous accorde la santé, le bonheur, la tranquillité de l'esprit et vous protège de tout mal.

A mon frère et sœur;

Source de joie et de bonheur, je vous souhaite tout ce qu'il ya de meilleur.

A toute ma famille;

Source d'espoir et de motivation, je vous remercie pour vos encouragements et vous souhaite bonheur, santé prospérité à vous et vos enfants.

A tous mes amis;

Tout particulièrement Ikram, Pour leurs encouragements et pour l'ambiance agréable tout au long de mon cursus universitaire, je vous souhaite tout le bonheur du monde

A Fairouz;

Chère amie avant d'être Binôme, je te remercie pour ton amitié et ton aide que dieu te protège.

Sarah

Résumé

Ce Projet de Fin d'Etude intitulé "Analyse des Risques au niveau d'une cimenterie: étude de cas de dysfonctionnement du four" fait l'objet d'une analyse approfondie des risques au niveau du four rotatif de la cimenterie LCO ce qui présente l'élément essentiel pour la production du ciment.

Dans ce mémoire, nous avons établi une analyse des risques sur le four rotatif de la cimenterie LCO en utilisant une analyse fonctionnelle du système, une étude qualitative d'analyse des modes de défaillance de leurs effets et de leur criticité AMDEC et la méthode ABC pour hiérarchisation des défaillances afin d'élaborer un plan de maintenance efficace, nous avons par la suite procédé à une analyse quantitative des risques par la méthode Arbre de Défaillance AdD où cette méthode nous a permis d'identifier tous les défaillances de l'équipement le plus critique de notre système "brûleur" et évaluer les contributions relatives des différents composants du système au risque global par les facteurs d'importances, en prenant en considération le retour d'expérience dans l'exploitation des données historiques réelles disponibles qui sont des demandes de travaux de maintenance ou inspections effectuées sur le four rotatif depuis son installation sur site.

Les résultats de cette étude nous ont permis de proposer des recommandations solides d'amélioration et un plan de maintenance préventive qui correspondent à la réalité pratique au niveau de l'entreprise.

Les mots clés: four rotatif, analyse fonctionnelle, analyse quantitative et qualitative des risques, AMDEC, méthode ABC, AdD, plan de maintenance préventive.

Abstract

This master project entitled "Risk analysis at a cement plant: case study of oven malfunction" is the subject of an in-depth risk analysis at the rotary kiln of the LCO cement plant, which presents the most essential element for the production of cement.

In this master thesis, we have established analysis of the risks present on the rotary kiln of the LCO cement plant using a functional analysis of the system, qualitative study such as Failure Modes and their Effects and Criticality Analysis « FMECA » and the ABC method for prioritization of failures to develop an efficient maintenance plan, after that we have carried out a quantitative risk approach by using Fault Tree Analysis « FTA » where this method allowed us to identify all the failures of the most critical equipment in our studied system "burner" and to evaluate the relative contributions of the different components of the system to the global risk by the factors of importance, by taking into consideration return of experience in exploiting actual historical data available which are maintenance work and inspection requests made on the rotary kiln since it was installed on site.

The results of this study allowed us to propose solid recommendations for findings and propose recommendations for improvement and a preventive maintenance plan that are in line with practical reality at the company.

Key words: rotary kiln, a functional analysis, quantitative and qualitative analysis, FMECA, Pareto method, FTA, preventive maintenance plan.

ملخص

مشروع نهاية الدراسة هذا بعنوان "تحليل المخاطر على مستوى مصنع الإسمنت: دراسة حالة عطل في الفرن" هو موضوع تحليل المخاطر المتعمق على مستوى الفرن الدوار لمصنع الأسمنت LCO ، والذي يعرض العنصر الأساسي لإنتاج الأسمنت.

في هذه الأطروحة ، حددنا المخاطر على الفرن الدوار لمصنع الأسمنت LCO باستخدام دراسة نوعية لتحليل أنماط الفشل في آثارها وخطورتها AMDEC ، ثم انتقلنا إلى التحليل الكمي للمخاطر من خلال شجرة خطأ ADD حيث سمحت لنا هذه الطرق بتحديد جميع حالات فشل المعدات الأكثر أهمية لنظام "الموقد" وتقييم المساهمات النسبية لمكونات النظام المختلفة في المخاطر بشكل عام من قبل عوامل الأهمية ، مع الأخذ في الاعتبار ردود فعل الخبرة في استغلال البيانات التاريخية الحقيقية المتاحة والتي هي طلبات أعمال الصيانة أو عمليات التفتيش التي تتم على الفرن الدوار منذ تركيبه في الموقع.

سمحت لنا نتائج هذه الدراسة بتقديم توصيات قوية للتحسين وخطة صيانة وقائية تتوافق مع الواقع العملي على مستوى الشركة.

الكلمات الرئيسية: الفرن الدوار، تحليل المخاطر الكمية والنوعية، FMEA، ADD، خطة الصيانة الوقائية.

Sommaire

N°	Titre	Page
	Liste des figures	01
	Liste des tableaux	03
	Liste des abréviations	04
	Nomenclature	05
	Glossaire	06
	Introduction générale	09
Chapitre I : généralité sur la fabrication du ciment		
I	Présentation de la cimenterie	11
I.1	Historique	11
I.2	Localisation	11
I.3	Mission de LafargeHolcim	12
I.4	Organisation de l'usine	12
II	Fabrication du ciment	15
II.1	Le ciment	15
II.2	Les étapes de fabrication du ciment	16
III	Conclusion	21
Chapitre II : Four rotatif de cimenterie		
I	Le four	22
I.1	Historique sur l'évolution de four	22
I.2	Le principe de fonctionnement du four	23
I.3	Classification des fours	24
I.4	Les différents types du four industriels	24
II	four rotatif de cimenterie (étude de cas de la cimenterie LCO)	25
II.1	Les fonctions principales du four rotatif sont	26
II.2	les différentes zones du four	26
II.3	Les composants du four	27
III	Conclusion	34
Chapitre III : Revue de littérature des méthodes utilisées		
I	Concepts et définitions	35
I.1	Danger	35
I.2	Risque	35
I.3	Défaillance	35
I.4	Dysfonctionnement	35
II	Sûreté de fonctionnement	35
II.1	Historique	35
II.2	Définition	36
II.2.1	Fiabilité	36
II.2.2	Disponibilité	37
II.2.3	Maintenabilité	38
II.2.4	La sécurité	38
II.3	Métriques de la sûreté de fonctionnement	38
II.4	Le but de la sûreté de fonctionnement	39
III	Méthodes d'analyse	39
III.1	HAZOP	39
III.2	APR	39

III.3	AMDE	40
III.4	AMDEC	40
III.5	Add	43
III.6	Avantages et limites de la méthode AMDEC et AdD	48
IV	Conclusion	49
Chapitre IV : la mise en œuvre de L'AMDEC et ADD		
I	Démarche de l'étude AMDEC	50
I.1	Initialisation de l'étude	50
I.2	Analyse fonctionnelle	51
I.3	Analyse des défaillances	52
I.4	Analyse AMDEC	53
I.5	Synthèse	57
I.6	Actions de maintenance préventive du four	58
II	Démarche de l'étude AdD	58
II.1	Elaboration de l'analyse des risques par l'AdD	58
II.2	Le système de brûleur	59
II.3	Analyse AdD	60
II.4	Les calculs	61
II.5	Synthèse	67
III	Conclusion	67
Conclusion générale		68
Bibliographie		70
Annexe		73

Liste des figures

N°	Figures	Intitulés	Pages
Chapitre I : généralités sur la fabrication du ciment			
01	Figure I.1	la carte géographique de LCO	17
02	Figure I.2	l'organigramme de l'entreprise LCO	18
03	Figure I.3	l'organigramme du département de santé et sécurité de LCO	19
04	Figure I.4	panneau d'instruction dans l'usine.	20
05	Figure I.5	pancartes utilisées pour la validation des échafaudages	21
06	Figure I.6	l'extraction des matières premières	22
07	Figure I.7	l'homogénéisation des constituants de ciment.	23
08	Figure I.8	le four " l'étape de clinkerisation "	23
09	Figure I.9	refroidisseur à grilles	24
10	Figure I.10	broyeur à boulets.	25
11	Figure I.11	le ciment chargé en vrac et dans des sacs	25
12	Figure I.12	les étapes de fabrication du ciment	26
Chapitre II : le four rotatif de cimenterie			
13	Figure II.1	Four de bouteille.	28
14	Figure II.2	Four à chaux de 1906	29
15	Figure II.3	Principe de four à gueulard	30
16	Figure II.4	Four rotatif long: ligne sèche	31
17	Figure II.5	Four à 3 appuis	32
18	Figure II.6	Différentes zones du Four	33
19	Figure II.7	composants du four	33
20	Figure II.8	le bandage flottant	34
21	Figure II.9	le bandage cranté	35

22	Figure II.10	Bandage flottant	35
23	Figure II.11	Butée hydraulique	36
24	Figure II.12	Les composantes de la butée hydraulique	37
25	Figure II.13	Joint amont	37
26	Figure II.14	Joint aval	38
27	Figure II.15	Plaque nose-ring	38
28	Figure II.16	Le pignon et la couronne	38
29	Figure II.16	l'installation du bruleur	39
30	Figure II.17	les composants du bruleur	39
Chapitre III : Revue des méthodes utilisées			
31	Figure III.1	la fiabilité décroissante avec le temps	43
32	Figure III.2	Métriques de la sûreté de fonctionnement	44
33	Figure III.3	Structure de l'Arbre de défaillance	51
34	Figure III.4	Les éléments de base de l'AdD	52
Chapitre IV: La mise en œuvre de l'AMDEC et ADD			
35	Figure IV.1	L'analyse fonctionnelle du four de cimenterie	55
36	Figure IV.2	Diagramme ABC des criticités	60
37	Figure IV.3	Système de brûleur	63
38	Figure IV.4	Analyse de l'AdD	64
39	Figure IV.5	L'infiabilité du brûleur	66
40	Figure IV.6	L'indisponibilité de la ligne d'alimentation	66
41	Figure IV.7	L'indisponibilité du système ESD	67
42	Figure IV.8	L'indisponibilité du système des brûleurs	67
43	Figure IV.9	L'indisponibilité du système PSV	68
44	Figure IV.10	L'indisponibilité de la ligne secondaire	68
45	Figure IV.11	L'indisponibilité de la ligne principale	69
46	Figure IV.12	L'indisponibilité du système de détection	69

47	Figure IV.13	L'indisponibilité du système MBV	69
48	Figure IV.14	L'indisponibilité du brûleur	70
Annexe			
47	Figure V.1	Nouvelle porte supérieure	77
48	Figure V.2	Propriété de l'événement initial	78
49	Figure V.3	Arbre de Défaillance du brûleur	78
50	Figure V.4	MTTR et le taux de défaillance	79
51	Figure V.5	Effectuer une analyse	79
52	Figure V.6	Les résultats	80
53	Figure V.7	Le graphe	80

Liste des tableaux

N	Tableau	Intitulés	Page
Chapitre III : Revue des méthodes utilisées			
1	Tableau III.1	Les types d'AMDEC	46
2	Tableau III.2	Les modes de défaillance	48
3	Tableau III.3	Tableau AMDEC	48
4	Tableau III.4	Avantages et limites de la méthode AMDEC et AdD	53
Chapitre IV: La mise en œuvre de l'AMDEC et ADD			
5	Tableau IV.1	Grille de cotation	56
6	Tableau IV.2	Matrice de criticité	57
7	Tableau IV.3	Tableau AMDEC	57
8	Tableau IV.4	Criticités cumulées	59
9	Tableau IV.5	des actions correctives du four	60
10	Tableau IV.6	Le tableau actuel des actions de maintenance préventive du four	61
11	Tableau IV.7	Les données utilisées	65
12	Tableau IV.8	Les résultats principaux	66
13	Tableau IV.9	Les facteurs d'importance	71

Abréviations/Acronymes

LCO: LafargeHolcim Ciment Oggaz.

APR: Analyse Préliminaire de Risque.

HAZOP: HAZard and OPerability.

AMDE: Analyse des Modes de Défaillances de leurs Effets.

AMDEC: Analyse des Modes de Défaillances de leurs Effets et de leur Criticité.

ADD: Arbre de Défaillance.

ISO: International Organization for Standardization.

CEI: Commission électrotechnique international.

MTTR: Mean Time To Repair (Durée moyenne de réparation).

MTTF: Mean Time To Failure (Durée moyenne de fonctionnement avant la première défaillance).

MTBF: Mean Time Between Failure (Durée moyenne entre deux défaillances consécutives d'une entité réparée).

MDT: Mean Dawn Time (Durée moyenne d'indisponibilité).

MUT: Mean Up Time (Durée moyenne de fonctionnement après réparation).

FMEA: Failure Mode and Effects Analysis.

FMECA: Failure Mode Effects and Criticality Analysis.

SDF: Sûreté de fonctionnement.

FDMS: Fiabilité, Disponibilité, Maintenabilité, Sécurité.

AFNOR: Association Française de NORmalisation.

NASA: National Aeronautics and Space Administration.

ICI: Imperial Chemical Industries.

APP: Analyse Par arbre de Panne.

MIF: Facteur d'Importance Marginale.
FIB: Facteur d'Importance probabilistes.
CIF: Facteur d'Importance Critique.
DIF: Facteur d'Importance de Diagnostic Fussel-Vesely.
RAW / RIF : facteur d'augmentation de risque
RRW / RDF: facteur de diminution de risque
CM: Coupe Minimale.
RDM : résistance des matériaux

Nomenclature

A(t): Availability, Disponibilité dépendant du temps t .
M(t): Maintainability, Maintenabilité dépendant du temps t
R(t): Reliability, Fiabilité dépendant du temps t
F(t): Défiabilité dépendant du temps t
f(t): La densité de probabilité
 λ (lambda): Taux de défaillance constant.
 λ (t): Taux de défaillance instantané.
R: Risque.
P: Probabilité d'occurrence.
G: Gravité.
 μ (mu): Taux de réparation (inverse de la MTTR)
 γ (gamma): Probabilité à la sollicitation.
 γ (t): Taux de défaillance à la sollicitation instantanée.
t: Temps de mission.
D: Détection.
C: Criticité.
F: Fréquence.

Glossaire

Clinker: Produit de la cuisson des constituants principaux du ciment, à la sortie du four, mais avant broyage.

Clinkerisation: Ensemble des réactions physico-chimiques à hautes températures conduisant à la formation du clinker.

Calcination: c'est l'action de calciner, transformation en chaux par chauffage

SDF: La sûreté de fonctionnement est l'aptitude d'une entité à satisfaire une ou plusieurs fonctions requises dans des conditions données.

Système: Ensemble d'éléments discrets en interaction entre eux.

Accident majeur: événement (émission, incendie ou explosion) d'importance majeure qui résulte de développements incontrôlés survenus au cours de l'exploitation d'un établissement couvert par la présente directive, et qui entraîne pour la santé humaine, à l'intérieur ou à l'extérieur de l'établissement, et/ou pour l'environnement un danger grave, immédiat ou différé, et qui fait intervenir une ou plusieurs substances dangereuses.

Environnement: L'ensemble à un moment donné, des agents physiques, chimiques et biologiques et des facteurs sociaux susceptibles d'avoir un effet direct ou indirect, immédiat ou à terme, sur les organismes vivants et les activités humaines.

Panne: État d'une entité inapte à accomplir une fonction requise, dans des conditions données d'utilisation.

Composant: Un composant est une partie d'un système (matériels ou événements).

Défaillance: Cessation de l'aptitude d'une unité fonctionnelle à accomplir une fonction requise. Une défaillance est un passage d'un état à un autre, par opposition à une panne qui est un état.

Fiabilité: Aptitude d'une entité à accomplir une fonction requise, dans des conditions données, pendant une durée donnée.

Maintenabilité: être rapidement dépanné.

Disponibilité: La disponibilité d'une entité est la probabilité qu'elle accomplisse les fonctions requises dans des conditions données et à un instant donné. Le système peut avoir été réparé dans le passé.

Sécurité: La sécurité est une aptitude d'une entité à éviter de faire apparaître, dans des conditions données, des événements critiques ou catastrophiques.

Taux de défaillance: C'est la probabilité pour que le système soit défaillant, cette définition s'applique pour tout type d'éléments (système, sous-système, composant).

Taux de réparation: Temps pendant lequel les opérations de maintenance corrective sont effectivement réalisées sur l'entité, tous les temps annexes étant exclus.

MTTR: Mean Time To Repair, soit le temps moyen jusqu'à la réparation

MTTF: Mean Time To Fail, Durée cumulée des temps de fonctionnement d'une entité depuis l'instant de sa première mise en service jusqu'à l'apparition de la première panne.

Maintenance: Ensemble des actions permettant de maintenir ou de rétablir une entité dans un état spécifié ou en mesure d'assurer un service déterminé.

Méthodes Inductives: de bas en haut « bottom to top », partent des causes des défaillances et remontent jusqu'aux conséquences que l'on souhaite éviter.

Méthodes déductives: de haut en bas « top to bottom », on part de l'évènement indésirable et on recherche toutes les causes susceptibles d'entraîner cet évènement.

Action corrective: des mesures prises pour éliminer la cause d'une non-conformité détectée.

Action palliative: action sur un bien en vue de le remettre provisoirement en état de fonctionnement

Aspect: concerne un élément d'une activité, d'un produit ou d'un service de l'entreprise pouvant avoir un effet positif ou négatif sur l'environnement ou la sécurité.

Impact: est l'effet généré sur l'environnement ou la sécurité par une activité, produit ou service de l'entreprise (aspect).

Phénomène dangereux: Cause capable de provoquer une lésion physique ou une atteinte à la santé. L'expression phénomène dangereux est parfois remplacée par le mot danger. Un phénomène dangereux (ou un danger) est toujours à l'origine d'un risque.

Evènement redouté/indésirable/sommet: Accident, incident ou dysfonctionnement dont les conséquences sont ou auraient pu être dommageables pour les patients, les professionnels, les visiteurs ou les biens.

Evènement élémentaire: On appelle évènement une partie de l'ensemble des issues d'une expérience aléatoire. L'évènement est dit élémentaire s'il ne correspond qu'à une seule et unique issue.

Coupe: ensemble d'évènement entraînant l'évènement indésirable.

Coupe minimale: la petite combinaison d'évènements entraînant l'évènement indésirable.

Evènement intermédiaire: Les événements intermédiaires sont des événements moins globaux que l'évènement sommet. Une fois ces événements définis, ils seront liés à

l'événement sommet via un connecteur logique. Ces événements intermédiaires peuvent être, à leur tour, redéfinis par d'autres événements intermédiaires plus détaillés.

Introduction générale

L'industrie du ciment est l'un des secteurs les plus importants qui contribuent à l'économie de l'Etat, que ce soit en termes de produits manufacturés ou en termes d'emploi de main-d'œuvre, elle occupe une place prépondérante dans les économies de toutes les nations. Elle est un élément nécessaire pour la réalisation des projets de construction dans les domaines industriels, économiques, sociaux et culturels tout en répondant aux exigences futures de la conservation des ressources naturelles et la protection de l'environnement.

En Algérie, la production du ciment qui oscille actuellement entre 25 et 30 millions de tonnes, atteindra les 40 millions de tonnes par an en 2020. Cette production est basée sur deux raisons essentielles:

- a) Répondre à la demande croissante des consommateurs de cette matière dans notre pays en augmentant la production annuelle des cimenteries par l'apport des ajouts inertes.
- b) Exploitation et l'utilisation des matières premières et déchets industriels non exploités au para-avant.

La production du ciment passe par plusieurs étapes commençant par l'extraction, ensuite homogénéisation, cuisson, refroidissement, broyage du clinker et enfin expédition du ciment.

La phase de cuisson se fait principalement dans un four rotatif qui représente l'équipement le plus important dans le domaine de cimenterie, ainsi que l'équipement où les défaillances les plus critiques s'observent entraînant des pertes de production considérables.

A cet effet il est important d'établir une analyse des risques sur un four rotatif de la cimenterie d'où ce projet de fin d'étude de master en Sécurité Industrielle et Environnement, représente une étude de cas de dysfonctionnement d'un four dans la cimenterie LCO. On a commencé notre étude par une analyse fonctionnelle pour mieux comprendre le fonctionnement de notre équipement après en procédant à une analyse semi-quantitative **AMDEC** pour lister toutes les causes potentielles de défaut ou de défaillance qui peuvent survenir et par la suite on a établi une démarche d'éliminer et/ou minimiser ces potentiels risques en se basant sur la méthode ABC pour hiérarchisation des défaillances les plus critiques afin d'élaborer d'un plan de maintenance préventive efficace selon le modèle Pareto. Et ensuite, une modélisation des défaillances probables des différents composants du système "brûleur" sera réalisée par une analyse quantitative AdD.

A partir de l'analyse par AdD les coupes minimales seront déterminées par ailleurs les probabilités d'indisponibilité et de l'infirmité du système brûleurs et de tous ces sous-systèmes seront calculées pour une éventuelle décision sur l'optimisation du système en se basant aussi sur la contribution de chaque composant sur l'indisponibilité du système en utilisant les facteurs d'importance probabiliste de diagnostic.

Ce mémoire est organisé comme suit:

Introduction générale

Le 1^{er} Chapitre intitulé "Généralités sur la fabrication du Ciment", a pour objectif de présenter Lafarge Ciment Oggaz (LCO), de déterminer ses missions, son organisation et ses différents départements, enfin une description des six étapes par les quelles le procédés détaillées de la fabrication du ciment passe.

Le 2^{ème} Chapitre intitulé "Four rotatif de cimenterie", nous allons d'abord présenter le four qui est le sujet de notre étude, après son fonctionnement et ses différents types, enfin l'ensemble des composants qui le constituent, leurs rôles et leurs spécificités.

Le 3^{ème} Chapitre intitulé "Revue de littérature sur les méthodes d'analyse du risque", a pour objectif de présenter le cadre global de ce mémoire. Dans un premier temps, nous commençons d'abord par présenter quelques concepts et définitions fondamentaux liés à la démarche d'analyse des risques industriels, puis on définit la sûreté de fonctionnement et ses notions "Fiabilité, disponibilité, maintenabilité et sécurité", enfin on va aborder quelques méthodes d'analyse de risque.

Le 4^{ème} Chapitre intitulé "La mise en œuvre de l'AMDEC et ADD", nous allons d'abord faire une matrice de risque, ensuite nous examinons en détail la méthode AMDEC, et la méthode AdD pour identifier les évènements élémentaires de l'évènement redouté et proposer des solutions adéquate pour l'optimisation du système et réduire la criticité des potentiels défaillances qui peuvent survenir au niveau du four.

Chapitre I

Généralités sur la fabrication du ciment

Dans ce chapitre un aperçu sur

L'organisme Lafarge HOLCIM OGGAZ est présenté, à savoir la localisation de la cimenterie, son organigramme

Son service de sécurité et par la suite son fonctionnement, le procédé détaillé de fabrication, allant de

L'exploitation de la matière première jusqu'à

l'étape d'expédition

Chapitre I: Généralités sur la fabrication du ciment

I. Présentation de la cimenterie :

L'usine LCO (Lafarge Ciment Oggaz) est composée de deux lignes séparées (la ligne de ciment gris et une autre du ciment blanc). La capacité de la ligne blanche est 1500t/jour c'est-à-dire il produit annuellement 550.000 tonnes de ciment blanc. La capacité de la ligne grise est 6250t/jour c'est-à-dire il produit annuellement 2800.000 tonnes de ciment gris.

La ligne blanche est composée de l'ensemble de équipements : concasseur, broyeur de sable, broyeur de farine cru, four et broyeur de ciment blanc. La ligne grise est composée de 4 équipements : concasseur, broyeur de farine cru, four et deux broyeurs de ciment gris.

La vente de ciment blanc se fait en sacs de 50Kg ,25Kg, 8Kg de 1.5 tonnes et en vrac. Pour le ciment gris la vente se fait seulement en sac et en vrac, le total des employeurs est environ de 450 salariés, et 1000 agents travail chez prêtantaine.

I.1 Historique:

Lafarge est un groupe français de matériaux de construction, leader mondial dans son secteur.

La société produit et vend dans le monde entier principalement du ciment, des granulats et du béton prêt à l'emploi. Lafarge a développé des ciments spéciaux et des bétons innovants de renommée internationale.

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

Dès 1864, le site livre 110 000 tonnes de chaux pour le Canal de Suez. C'est le premier chantier d'envergure internationale pour l'entreprise [1]

I.2 Localisation:

La cimenterie Lafarge d'Oggaz est l'une des branches de la société française Lafarge Holcim dans le monde. Le site de l'usine est situé dans le nord-est de la wilaya (province) de Mascara, plus précisément dans la commune d'Oggaz, à 5 km à l'ouest de Sig, à 3 km au sud de la RN 4 et la route Alger-Ligne de chemin de fer Oran, et à environ 50 km au sud-est d'Oran.



Figure I.1 : la carte géographique de LCO.

Chapitre I: Généralités sur la fabrication du ciment

I.3 Mission de LafargeHolcim:

La cimenterie Lafarge a pour mission de produire du ciment avec ses 2 types (gris et blanc), puis elle les vend dans le marché Algérien ; Récemment, l'usine a commencé à exporter vers certains pays africains.

I.4 Organisation de l'usine:

La cimenterie Lafarge est gérée suivant un organigramme bien déterminé de façon à bien maîtriser les tâches, il est composé d'une direction générale, d'une autre de ressources humains, d'un département de sûreté et des autres départements, comme le montre l'organigramme suivant:

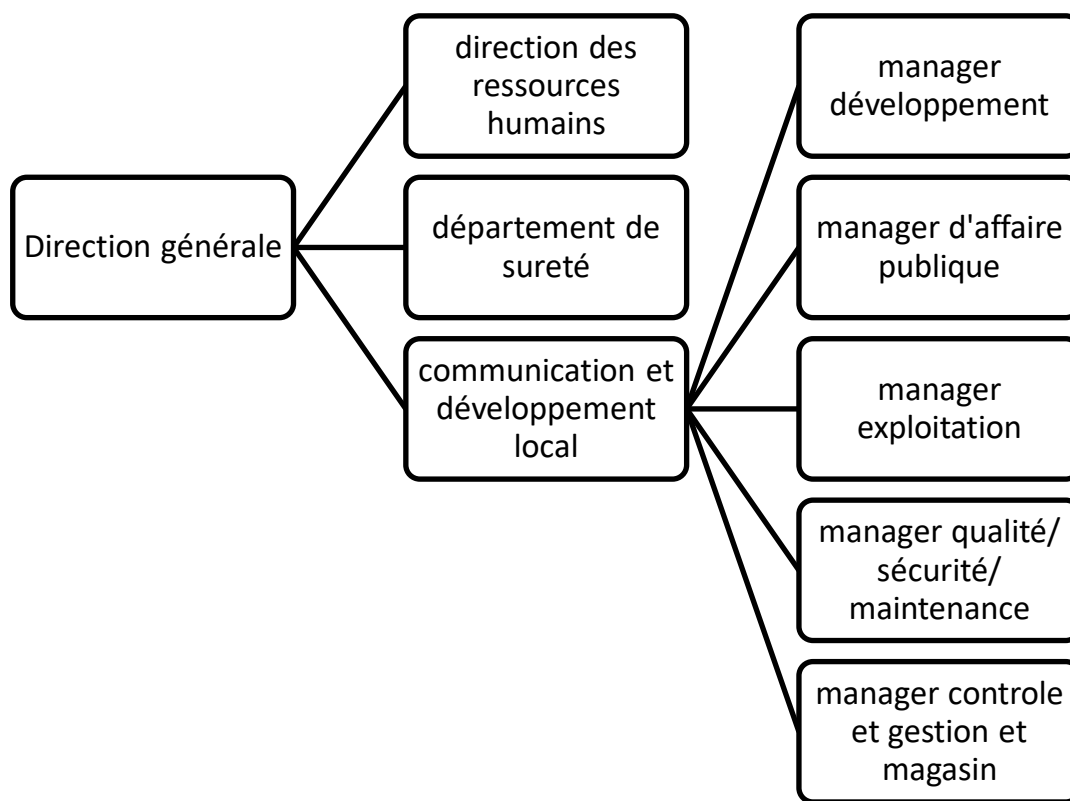


Figure I.2 :l'organigramme de l'entreprise LCO

I.1.1/ Département de sécurité:

Dans un lieu de travail qui se spécialise en production du ciment le problème de sécurité du personnel, des installations et des équipements est confié aux différents départements liés entre eux avec leurs fonctions et leurs préoccupations qui sont importantes à étudier, notamment le département sécurité qui est brièvement composé d'une direction générale, d'un service de prévention et intervention, et d'un système de mangement des soutirant, comme le montre l'organigramme suivant:

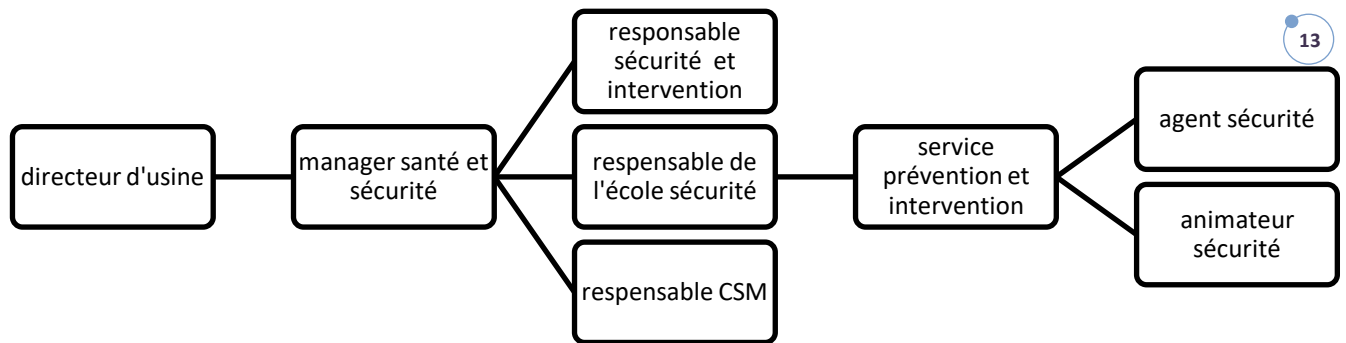


Figure I. 3: l'organigramme du département de santé et sécurité de LCO

On s'intéresse de cet organigramme au service le plus actif concernant le domaine de sécurité, lequel:

I.1.2/ Service prévention et intervention : Le rôle de ce service consiste à faire face et résoudre tous types d'incidents et d'accidents, en mobilisant les moyens humains et matériels adéquats pour chaque intervention suivant la classification du danger.

Ce service est constitué des animateurs, des agents, et d'une école de sécurité, à savoir leurs rôles:

➤ **Agents sécurité:**

C'est les moyens humains, composé des agents d'intervention qui agissent directement lors d'un danger, ils ont besoins du matériel muni de camion de lutte contre l'incendie, extincteurs, ambulances, système de détection.

Ils sont chargés de :

- Supprimer l'un des trois éléments du triangle de feu (combustible, carburant, énergie d'activation) ;
- Intervenir en cas d'accident/ incident en évacuant les victimes ;
- Faire des rondes d'inspections des installations de production ;

Chapitre I: Généralités sur la fabrication du ciment

- Participer à la formation au feu ;
- Inspecter en permanence les équipements fixes et mobiles de sécurité ;
- Contrôler et Assurer la maintenance des équipements fixes en collaboration avec l'école de sécurité ;
- Gérer les produits extincteurs (poudre, émulseurs, CO₂);
- Assurer la disponibilité de tous les véhicules d'intervention ;

Leurs numéros d'urgence ont 215 ou 0770140347.



Figure I.4: panneau d'instruction dans l'usine.

➤ **Animateurs sécurité**

Les inspecteurs et ingénieurs de sécurité seront d'une expérience éprouvée, chacun suivant son affectation, ont la charge de valider les matériaux "échafaudages", d'inspecter les installations, de délivrer des permis de travail "à chaud, des espaces confinés et de travail en hauteur, d'accès engins" et de les surveiller en permanence pour être à l'affût du risque.

Ils peuvent par moment être formateurs, analystes des risques et des causes d'accidents.

Ils sont des observateurs attentifs des nuisances et de l'hygiène industrielle, ils proposent toutes les mesures d'améliorations qu'ils jugent utiles en se référant toujours aux normes.

Ils sont chargés de :

- Délivrer des permis de travail, aussi faire des briefings quotidiennement.
- Etablir les rapports d'accidents avec ou sans arrêt.
- Eliminer les sources d'accidents.
- Faire le suivi et le contrôle des travaux et veiller à l'hygiène de la zone.
- vérifier et valider les échafaudages.



Figure I.5: pancartes utilisées pour la validation des échafaudages.

➤ Ecole de sécurité

C'est le service le plus actif au domaine de la sécurité, ces missions.

- L'assurance des EPI « Equipements de protection individuel » ;
- L'assurance d'une formation permanente aux travailleurs vis-à-vis le risque ;
- L'assurance d'une formation d'induction pour les visiteurs et les nouveaux recrutés ;
- programmer des simulations d'intervention aux travailleurs.

En se basant sur les 5 règles pour assurer la sécurité publique, ils sont les suivant :

1. J'évalue et je contrôle les risques avant toute tâche ;
2. Je n'effectue une tâche que si j'y suis autorisé ;
3. Je ne contourné ou n'altère jamais les dispositifs de protection et je porte toujours les EPI requis ;
4. Je ne travaille pas sous l'influence de l'alcool ou de drogues ;
5. Je signale tous les incidents ;

En résumé, on peut dire que tous ces services coopèrent pour faire face aux différents risques.

II. Fabrication du ciment

II.1 Le Ciment [2]

Un ciment artificiel est un produit provenant de la cuisson de mélanges artificiels de matières premières (de silice, d'alumine, de carbonate de chaux), sur lesquels l'eau n'a aucune action, ou qu'une action très lente avant la trituration, et qui, réduits en poudre mécaniquement, font prise sous l'action de l'eau, dans un délai qui varie selon leur proportion. Le ciment est le produit que l'on obtient en réduisant en poudre un clinker.

Le clinker est un constituant, qui résulte de la cuisson d'un mélange composé d'environ 80 % de calcaire (qui apporte le calcium) et de 20 % de matériaux aluminosilicates (notamment les argiles qui apportent le silicium, l'aluminium et le fer). La « farine » ou le «

Chapitre I: Généralités sur la fabrication du ciment

cru » est formée du mélange de poudre de calcaire et d'argile. La clinkerisation est une cuisson se fait à une température d'environ 1450 °C qui explique la forte consommation énergétique de ce processus.

On constate deux types clinkers pour obtenir de deux types de ciments différents le gris et le blanc.

II.2 Les étapes de fabrication du ciment

La fabrication de ciment soit blanc ou gris passe par des étapes :

- Extraction et concassage ;
- Homogénéisation ;
- Cuisson ;
- Refroidissement ;
- Broyage de (clinker + gypse) dans un broyeur pour obtenir le ciment.

II.2.1 Extraction

L'extraction consiste à extraire les matières premières vierges (comme le calcaire « 75 à 80 % » et l'argile « 20 à 25 % ») à partir de carrières. Ces matières premières sont extraites des parois rocheuses par abattage à l'explosif ou à la pelle mécanique. La roche est acheminée par des tombereaux, (dumpers), ou des bandes transporteuses vers un atelier de concassage. Les matières premières doivent être échantillonnées, dosées et mélangées de façon à obtenir une composition régulière dans le temps. La prise d'échantillons en continu permet de déterminer la quantité des différents ajouts nécessaires (oxyde de fer, alumine et silice). [3]



Figure I.6 : l'extraction des matières premières.

II.2.2 Homogénéisation

La phase d'homogénéisation consiste à créer un mélange homogène. Cette opération peut être réalisée : soit dans un hall où on obtient le mélange homogène en disposant la matière en couches horizontales superposées, puis en la reprenant verticalement à l'aide d'une roue-pelle ; soit dans un silo vertical par brassage par air comprimé



Figure I.7 : l'homogénéisation des constituants de ciment.

II.2.3 Cuisson [4]

Le cru va suivre différentes étapes de transformation lors de sa lente progression dans le four, vers la partie basse, à la rencontre de la flamme. Cette source de chaleur est alimentée au gaz naturel, ou encore en partie avec des combustibles de substitution provenant d'autres industries, tels que le coke de pétrole, les pneus usagés, les farines animales, les huiles usagées.

La température nécessaire à la clinkerisation est de l'ordre de $1\ 450^{\circ}\text{C}$. L'énergie consommée situe entre 3 200 et 4 200 kJ par tonne de clinker, qui est le produit semi fini obtenu à la fin du cycle de cuisson. Il se présente sous forme de granules grises. À la sortie du four, le clinker doit être refroidi et broyé avant d'être entreposé dans des silos.

Le clinker est le résultat d'un ensemble de réactions physico-chimiques progressives (clinkerisation) permettant :

- La décarbonatation du carbonate de calcium (donnant la chaux vive) ;
- La scission de l'argile en silice et alumine ;
- La combinaison de la silice et de l'alumine avec la chaux pour former des silicates et des aluminates de calcium.



Figure I.8 : le four " l'étape de clinkerisation".

Chapitre I: Généralités sur la fabrication du ciment

II.2.4 Refroidissement [5]

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

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

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



Figure I.9 : refroidisseur à grilles.

II.2.5 Broyage du clinker

Le ciment doit être finement broyé pour obtenir le ciment qui réagira au contact de l'eau. Les broyeurs à ciment sont des cylindres tournants. Les corps broyant sont constitués de boulets d'acier et de "cylpeds" qui, par chocs, font éclater les grains de clinker et progressivement, amènent le ciment à l'état de fine farine, ne comportant que très peu de grains supérieurs à 80 μ m.

L'alimentation des tubes broyeurs est faite en continue. Des distributeurs automatiques assurent un dosage défini et constant des éléments qui doivent entrer dans la composition du ciment fini : clinker + gypse (5 à 7% destiné à assurer la régularité de la prise) +

Chapitre I: Généralités sur la fabrication du ciment

éventuellement des produits d'addition (laitier de haut-fourneau, cendres volantes, calcaire, fumée de silice) .

Le broyage du ciment s'effectue à l'aide de deux circuits de mouture équipée chacun d'un broyeur à deux compartiments, à attaque centrale, travaillant en circuit fermé avec un séparateur dynamique à cyclones extérieurs. Le dépoussiérage du circuit est assuré par un filtre à manche pour chaque atelier. A la suite du broyeur, le ciment est transporté mécaniquement ou pneumatiquement vers les silos ou il est stocké en attente d'expédition [6].



Figure I.10 : broyeur à boulets.

II.2.6 Expédition du ciment

Le ciment est stocké dans deux silos d'une capacité unitaire de 10.000 tonnes, correspondant à une capacité de stockage de plus de deux semaines. L'alimentation des silos est prévue pour être réalisée au choix par l'un ou l'autre des deux broyeurs à ciment.

En fin, pour être livré, le ciment est soit ensaché dans des sacs avec différents poids , soit chargé en vrac.



Figure I.11 : le ciment chargé en vrac et dans des sacs.

Chapitre I: Généralités sur la fabrication du ciment

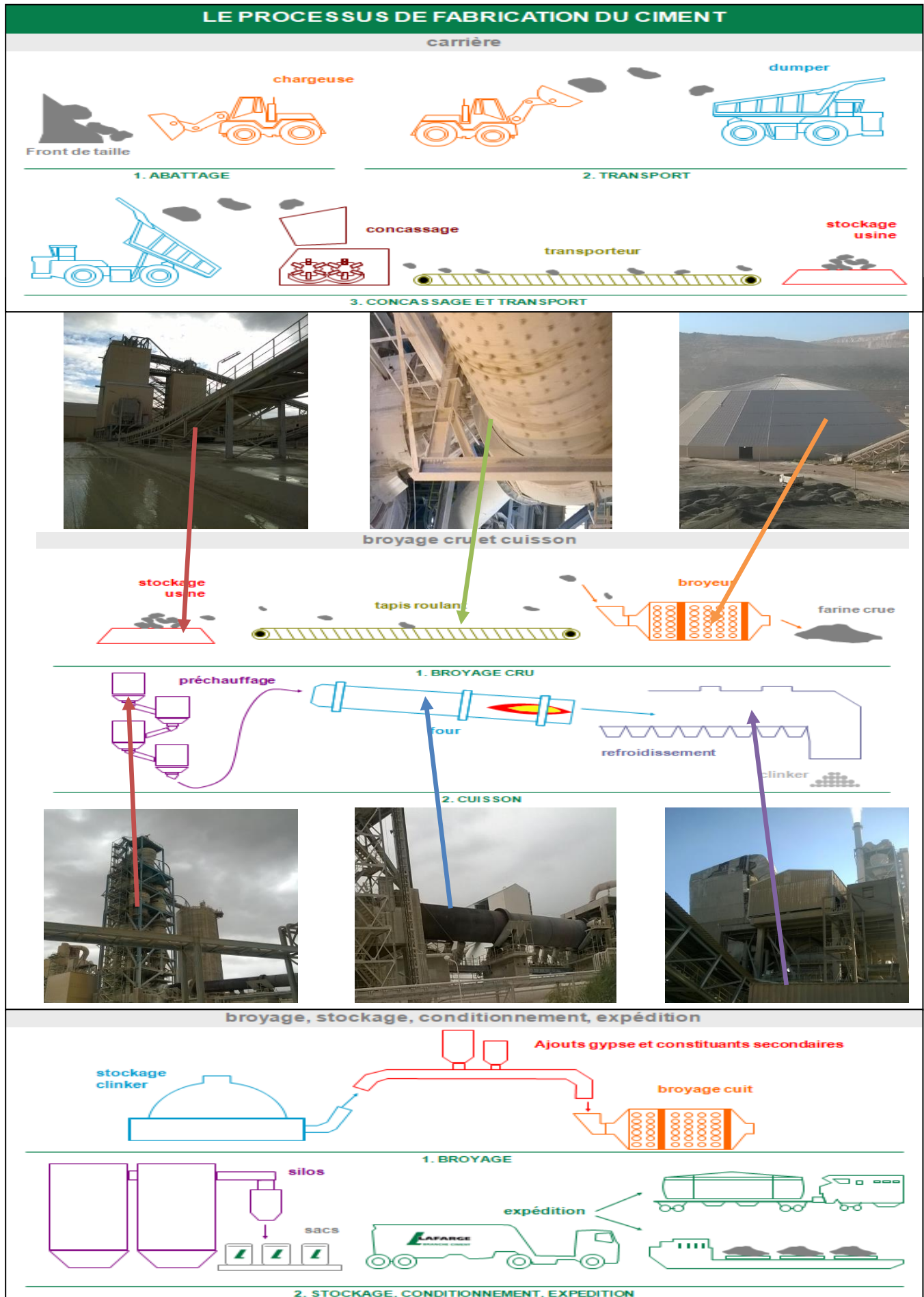


Figure I.12 : les étapes de fabrication du ciment.

Chapitre I: Généralités sur la fabrication du ciment

III. Conclusion

La Cimenterie représente une grande industrie qui emploie une main-d'œuvre importante et manipule plusieurs chaînes de production complexes pour mieux maîtriser les risques présents dans cette industrie. Que ce soit leurs natures, il est important de mieux maîtriser l'industrie, sa composition et sur tout son fonctionnement et d'avoir un aperçu général sur sa composition matérielle d'où l'objectif du prochain chapitre et de voir en détail le système le plus important dans la cimenterie, le four rotatif.

Chapitre II

Four rotatif de ciment

Vu que le four rotatif est parmi les machines clés de l'usine LCO, Dans le présent chapitre nous allons présenter le four rotatif de cimenterie sujet de notre étude puis nous allons détailler l'ensemble des éléments qui le constituent ainsi que, leurs rôles et leurs spécificités.

Four rotatif du ciment

I. Le four

Un four est une enceinte maçonnée ou un appareil, mené d'un système de chauffage puissant, qui transforme, par la chaleur, les produits et les objets. En cuisine, il permet de cuire des aliments. Dans un processus de production d'objet, le four permet de réaliser le traitement d'objets par la chaleur : poteries, céramiques, verres, métaux...

Un four est un outil utilisé pour élever la température à une limite déterminée, afin de transformer un produit. Il peut être :

- Un équipement destiné uniquement au chauffage (exemple : réchauffage de l'acier avant déformation plastique, réchauffage de pétrole brut avant distillation) ;
- Un véritable réacteur dans lequel on élabore les produits (exemple : four de fusion, de verre, four de vapocraquage de la pétrochimie).

Il s'intègre généralement dans une ligne de production complexe. On trouve des fours dans un très grand nombre d'activités industrielles, ce qui les rend une approche globale assez délicate. La présence des fours spécifiques dans l'industrie notamment:

- Les fours de l'industrie sidérurgique ;
- Les fours de traitement thermique des métaux ;
- Les fours de raffinage et de l'industrie chimique ;
- Les fours de cimenterie ;
- Les fours de l'industrie verrière ;
- Les fours des industries céramiques et des produits réfractaires. [7]

I.1 Historique sur l'évolution de four [8]:

Depuis la plus haute antiquité, l'homme a cuit la pierre calcaire ou le gypse pour l'utiliser ensuite comme liant dans les constructions. Cette cuisson s'est faite dans des fours qui étaient de simples cuves.

Les Romains perfectionnent le procédé en remplaçant le calcaire, contenant de l'argile donnait après cuisson un liant hydraulique. L'année 1756 où Laucien SMEATION démontre que l'hydraulicité provient de l'argile dans le mélange qu'il cuisait à feu modéré dans des fours "BOUTEILLE" voir la figure II.1.

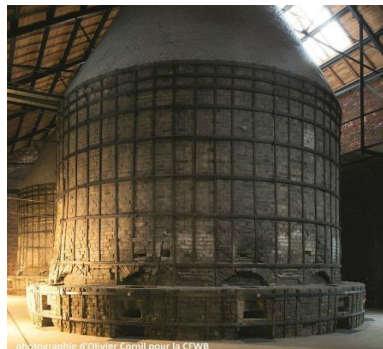


Figure II.1 : Four de bouteille.

Four rotatif du ciment

Plus tard ASPDIN en 1824 et JOHNSON en 1844 perfectionnèrent la technique de leur confrère "SMEATION" ; il créa des fours où il s'efforça de rattraper une partie de la chaleur qui s'échappait dans les fumées pour sécher et préchauffer la matière à cuire et a fait passer les fumées sous des plateaux contenant la pâte à sécher, mais ces fours ont un inconvénient de discontinus et de faible production et consommaient beaucoup d'énergie.



Figure II.2 : Four à chaux de 1906

En 1885 l'anglais RANSOME construit le premier four rotatif, sa longueur était de 05 mètres avec un diamètre de 0.45 m, chauffé au gaz, mais il ne put jamais le faire marcher, fusion très poussée, et le collage formait un bouchon sur le revêtement [9].

Et c'est en 1953 qu'une nouvelle invention a vu le jour pour réduire la consommation thermique des fours. Il s'agit des fours HUMBILDT avec préchauffeurs à suspension gazeuse [10].

Dans ce type de four, les gaz chauds provenant de l'aval du four transmettent leur chaleur à une farine qui descend dans une série de cyclones disposés l'un au-dessus de l'autre à l'amont du four appelé four à 04 étages.

I.2 Le principe de fonctionnement du four:

L'objet à traiter y est enfermé pour être soumis à une source de chaleur provenant de l'intérieur ou de l'extérieur du four voir la figure II.3. La chaleur à l'intérieur du four peut être répartie par circulation forcée de l'air,

Par convection naturelle, par conduction thermique ou par rayonnement (infrarouge, microondes, etc.) [11].

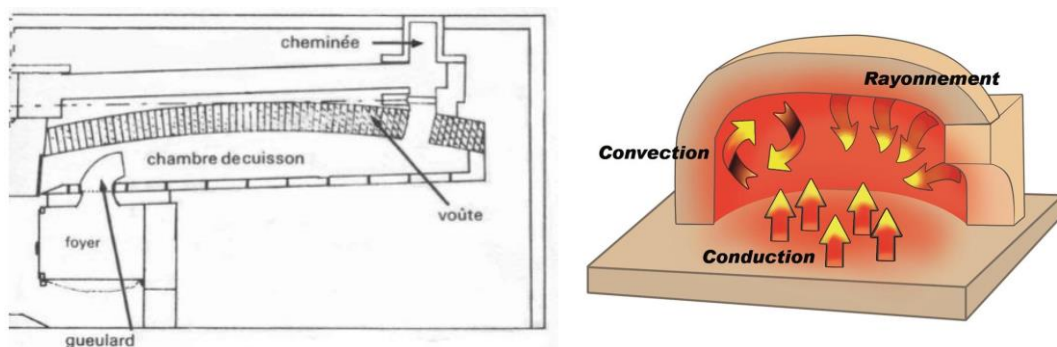


Figure II.3 : Principe de four à gueulard

Four rotatif du ciment

La source d'énergie pour fournir la chaleur du four peut être :

Un combustible (bois, gaz naturel...) ; L'électricité dans des résistances ; Des micro-ondes, avec l'électricité ; et Le rayonnement solaire (four solaire).

I.3 Classification des fours:

Toute classification est arbitraire, elle est toutefois utile dans la mesure où elle permet de retrouver des caractéristiques communes à des équipements très différents à la première vue.

24

Nous proposons ici quatre classifications, en fonction [12]:

- De la manutention du produit : fours continus ou discontinus ;
- Du procédé de chauffage : direct ou indirect ;
- Du niveau de température ;
- Du combustible.

I.4 Les différents types du four industriels;

I.4.1 Four à chaleur tournante:

Le four à chaleur tournante est constitué d'un petit ventilateur placé sur la paroi du fond. On parle ici de convection non pas naturelle, mais forcée puisque la chaleur est diffusée dans le four grâce à ce petit ventilateur.

Le four à chaleur tournante existe au gaz ou à l'électricité. Il peut être de deux types [13]:

- A chaleur brassée lorsque les résistances électriques ou les brûleurs à gaz sont placés dans la partie haute « la voûte » et dans la partie basse du four « la sole » comme sur un four traditionnel ;
- A chaleur pulsée lorsqu'en plus des résistances ou des brûleurs placés dans la voûte et dans la sole, une résistance circulaire est placée sur la paroi du fond, qui permet une cuisson plus rapide des aliments.

I.4.2 Les fours à calcination:

Les fours à calcination sont des fours industriels employés dans la fabrication de la chaux, du ciment ou du plâtre. C'est aussi un appareil de laboratoire visant à réaliser les opérations de calcination.

La cuisson des différents liants (chaux, ciment ou plâtre) se fait en continu dans [14]:

- **Des fours verticaux à chauffage direct** : ce sont des fours à calcination par stratification dans lesquels les matières premières et le combustible sont placés par couches alternatives. La méthode a comme désavantage que la matière première est éventuellement corrompue par le contact du combustible.

Four rotatif du ciment

- **Des fours verticaux à chauffage indirect** : ce sont des fours à calcination dans lesquels les matières premières sont dans un compartiment séparé du combustible. La méthode est énergivore et tend à être remplacée.
- **Les fours rotatifs à chauffage direct**, plus efficaces, sont des cylindres en acier légèrement inclinés dans lesquels les matières premières vont subir plusieurs transformations physiques : dessiccation, décarbonatation et calcination, clinkerisation. La matière quitte le cylindre sous forme de gros grains arrondis, les clinkers. Le charbon est insufflé sous forme pulvérulente et chemine en sens inverse de la matière première.



Figure II.4 : Four rotatif long: ligne sèche

- **Les fours rotatifs à chauffage indirect**, le même que le précédent, mais le foyer est placé à l'extérieur et la chaleur insufflée dans le cylindre. Les fours électriques sont employés pour certains ciments comme le ciment alumineux.

II. four rotatif de cimenterie (étude de cas de la cimenterie LCO):

Un four rotatif de cimenterie a pour rôle de produire le Clinker, qui est à la base du ciment

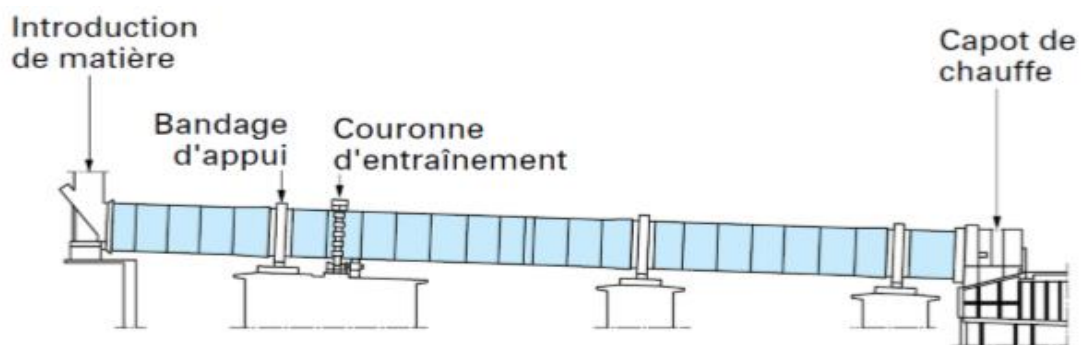


Figure II.5: Four à 3 appuis

La matière est introduite par l'amont du four, après être chauffée à 900°C par les gaz chauds du four, la rotation du four et sa pente (3,5%) permet à la matière de se mouvoir vers la sortie

Four rotatif du ciment

du four, à travers laquelle une flamme de 1450°C assure le chauffage du four et la cuisson du clinker [15].

Le four de LCO possède trois paliers, sur lesquels il s'appuie par le billet du bandage.

Chaque palier est constitué de deux galets cylindriques, et chaque galet est supporté par deux paliers contenant chacun un coussinet.

Le four est entraîné en rotation par un moteur et réducteur, agissant sur un pignon engrainé avec la couronne d'entraînement.

II.1 Les fonctions principales du four rotatif sont :

- Obtenir décarbonatation finale de la farine chaude ;
- Cuisson de la matière ;
- Assurer la bonne combustion du carbone ;
- Permettre le transfert thermique (gaz/solide) ;
- Transporter la matière.

II.2 les différentes zones du four:

Le four rotatif est constitué par différentes zones comme le montre la figure II.6:

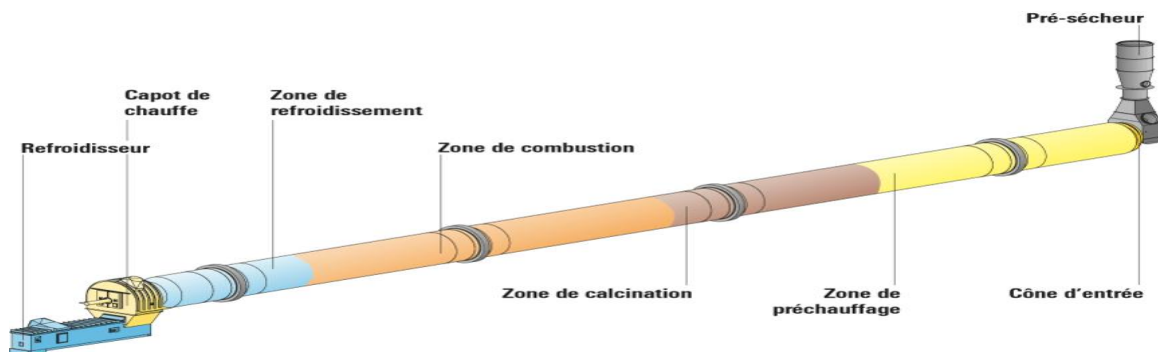


Figure II.6: Différentes zones du Four

II.2.1 Zone de préchauffage

Cette zone sert au séchage de la matière à cuire à des températures entre 600 et 900 °C. Des briques de chamotte présentant une faible conductibilité thermique y sont utilisées. [16]

II.2.2 Zone de calcination

La calcination (désacidification) de la matière à cuire a lieu dans cette zone. La calcination est effectuée jusqu'à environ 98 % dans cette zone. La température y est d'environ 1100 °C. Les produits doivent présenter des propriétés équilibrées en termes de réfractarité, de résistance à

Four rotatif du ciment

l'abrasion et de faible conductibilité thermique. [17]

II.2.3 Zone de combustion

Dans la zone de combustion, la calcination complète a lieu à des températures situées entre 1100 et 1450 °C. Étant donné que cette zone est exposée à la sollicitation thermique maximale, des produits à haute réfractarité et à bonne résistance thermochimique y sont mis en œuvre. Les sollicitations dans cette zone peuvent être en contradiction avec l'exigence de conductibilité thermique faible. [18]

II.2.4 Zone de refroidissement

La matière est cuite dans le four a La température est d'environ 1000 °C. [19]

II.3 les composants du four

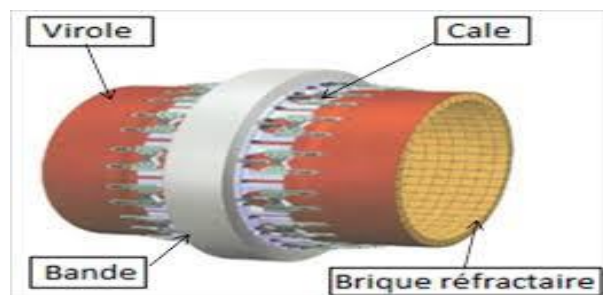


Figure II.7: composants du four

II.3.1 Le bandage : Le bandage est un anneau métallique à section rectangulaire, installé sur la virole du four dans les zones des paliers, leurs nombres diffèrent d'un four à un autre selon sa conception, notre four de la cimenterie LCO possède trois station de roulement et donc trois bandages.

II.3.1.1 Rôle du bandage:

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

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

II.3.1.2 Conception des bandages:

Le diamètre intérieur du bandage est légèrement supérieur au diamètre extérieur de la virole du four, ceci permet un jeu fonctionnel. En effet, la dilatation thermique du four est supérieure à celle du bandage du fait de la différence de température et la nature du matériau, elle se répercute sur l'évolution du jeu entre virole et bandage, ainsi, un jeu faible présente un risque

Four rotatif du ciment

potentiel de déformation à chaud, de même, un jeu très important permet à la virole de se déformer et perdre de sa qualité et celle des briques internes.

Il existe deux types de bandage [20]:

1. **Le bandage flottant** : la virole du four repose sur le diamètre intérieur du bandage par l'intermédiaire de platines de calage, il en découle que les forces d'appui sont appliquées selon le rayon de la virole. Il doit être assez rigide pour limiter l'ovalisation de la virole.

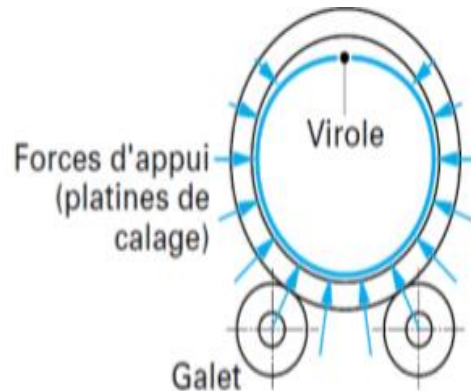


Figure II.8 : le bandage flottant

2. **Le bandage cranté** : La virole du four et le bandage sont positionnés de manière quasi concentrique, l'effort d'appui est tangentiel à la circonférence du four, et s'appuie sur les dents taillées à l'intérieur du bandage cranté. La limitation d'ovalisation pour ce type de bandage est plus efficace que le cas du bandage flottant, par contre le coût est plus élevé d'environ 40% du bandage flottant.

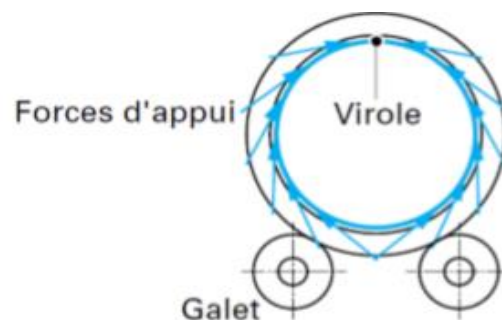


Figure II.9 : le bandage cranté

Notre four est équipé par des bandages flottants, leur fixation axiale est réalisée par des cerces ou anneaux de poussée des deux côtés du bandage s'appuyant sur des taquets (bloc) d'arrêts soudés sur la virole du four.

Four rotatif du ciment

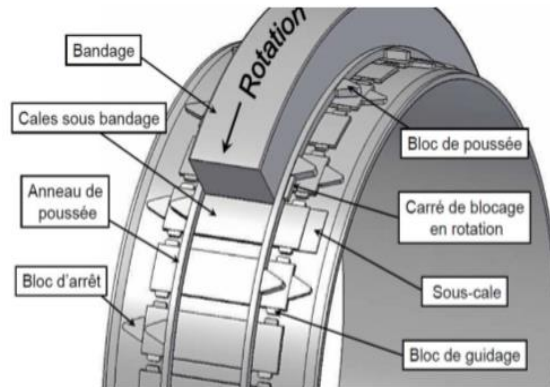


Figure II.10: Bandage flottant

II.3.2 La virole : La virole est un ensemble de tôles dont le rayon de courbure coïncide avec le rayon du four, les tôles en acier sont soudées deux à deux tout en évitant une continuité de soudure dans la direction axiale.

II.3.2.1 Virole courante : épaisseur de 20mm

II.3.2.2 Virole intermédiaire : épaisseur de 30mm ou 40mm

II.3.2.3 Virole sous bandage : épaisseur 60mm

La durée de vie de la virole est généralement entre 20 ans à 30 ans, mais la mauvaise tenue en corrosion peut entraîner des changements de viroles en quelques années. La virole de sortie du four est plus sollicitée thermiquement et peut conduire à des changements tous les 5ans.

II.3.3 Les briques réfractaires [21] : Les briques sont en matériau céramique réfractaires, pouvant résister à une température de 900°C à l'entrée du four, jusqu'à une température au voisinage de la flamme de 1450°C à la sortie du four.

Elles permettent de protéger la virole en limitant le transfert de chaleur, et préserver l'efficacité énergétique en diminuant les pertes de chaleur.

II.3.4 Les galets : Les galets sont des formes cylindriques d'acier pleines, jouant le rôle de support du four.

Ils permettent de minimiser le frottement par un faible coefficient de frottement de surface, ils sont de même nature que les bandages avec lesquels ils sont en contact, ce qui permet d'avoir une usure uniforme.

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

Le galet est soutenu par deux palier, sur lequel est interposé un coussinet ou bague de frottement, le contact est constamment lubrifié par bain d'huile, qui est refroidie par un système de refroidissement à eau.

Four rotatif du ciment

II.3.5 La butée hydraulique:

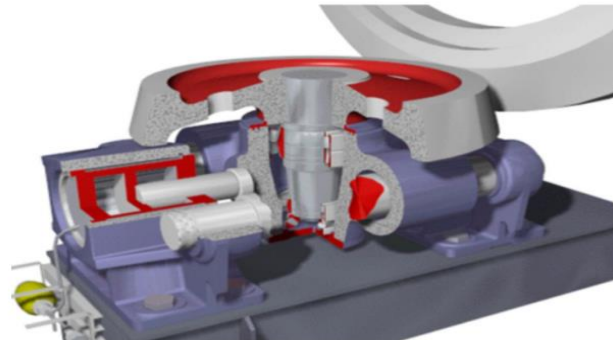


Figure II.11: Butée hydraulique

La butée hydraulique est un ensemble vérin hydraulique et butée, qui a pour but soit de garder la position axiale du four, soit de permettre la translation longitudinale du four qui est nécessaire pour assurer le bon fonctionnement et une bonne durée de vie des bandages et galets, ces derniers sont toujours en contact, la translation en continue du bandage par rapport au galet permet de répartir l'usure de surface et donc d'assurer un bon état de surface et un contact optimal du galet/bandage.

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

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

II.3.5.1 Les composantes de la butée:

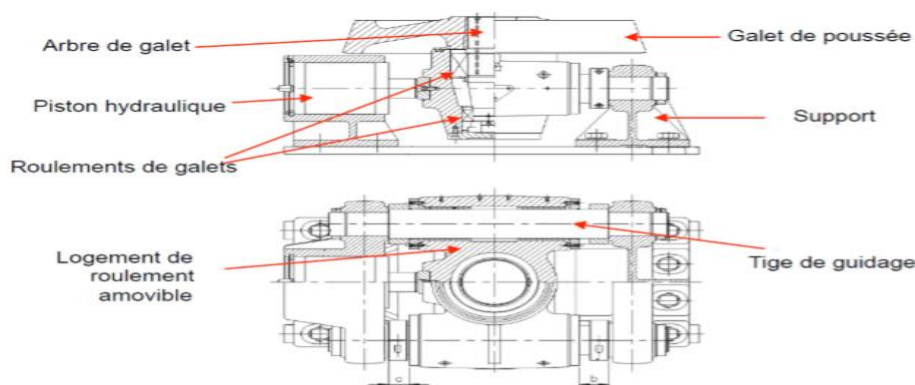


Figure II.12: Les composantes de la butée hydraulique

Four rotatif du ciment

II.3.6 Les joints du four [21] : Le four est équipé de deux joints, un joint amont à l'entrée du four, et un joint aval à sa sortie.

Le rôle principal des joints du four est d'assurer l'étanchéité du four face à l'entrée d'air faux, qui peut entraîner des problèmes de qualité de la matière à cuire.

II.3.6.1 Joint amont: L'alimentation en matière première se fait à partir de la partie fixe.

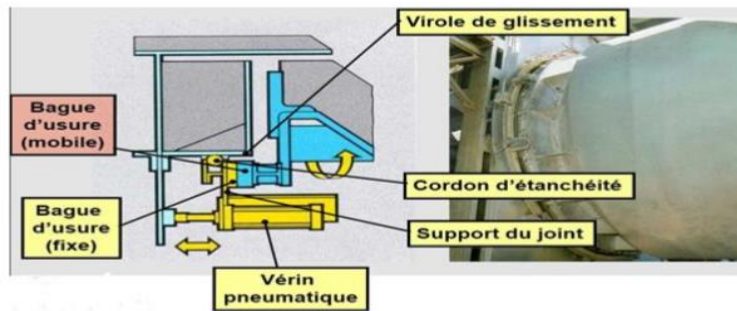


Figure II.13 : Joint amont

II.3.6.2 Joint aval: Pendant la rotation du four, les vérins pneumatiques permettent d'assurer le contact entre les deux parties du joint, le contact se fait entre des cerces de frottement.

Le joint n'est pas supposé éliminer les fuites de matière de cuisson, mais de permettre l'étanchéité face à l'entrée d'air faux (air froid) par le biais du cordon d'étanchéité et le contact permanent.

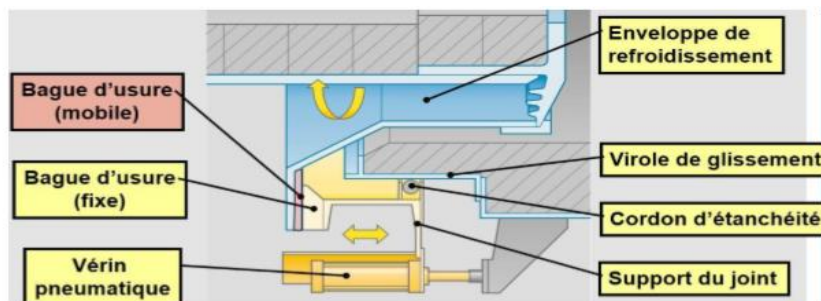


Figure II.14 : Joint aval

II.3.7 Les plaques nose-ring: Dans la sortie du four, la température de matière atteint 1450°C, il s'avère nécessaire de protéger la virole, et d'assurer le maintien axial des briques à cause de leur poids et la dilatation thermique.

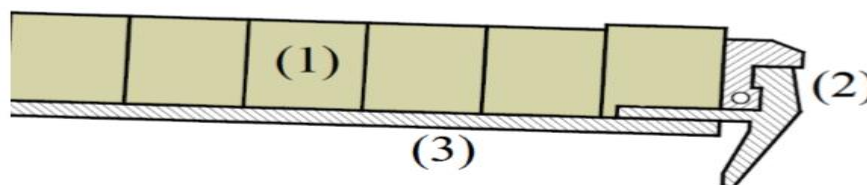


Figure II.15: Plaque nose-ring

Four rotatif du ciment

(1) : les briques de la sortie du four

(2) : Plaque nose-ring

(3) : Virole de sortie du four

Des anneaux de retenues des briques sont associés aux plaques nose-ring pour encaisser la poussée axiale des briques.

32

II.3.8 Pignon / couronne:

Le four est entraîné par un ou des pignons s'engrenant dans une couronne dentée boulonnée sur la virole du four.



Figure II.16: le pignon et la couronne

II.3.9 Le brûleur (La tuyère)

Le brûleur est un tube cylindrique long d'environ 8m, pour un diamètre de 50cm dans lequel vont transiter deux éléments pour produire une flamme : le comburant et le carburant qui est généralement dans l'industrie cimentière algérienne et spécifiquement dans LCO le gaz naturel [22]. Il fonctionne dans un four rotatif comme un injecteur, L'air secondaire est aspiré du refroidisseur dans le four de telle façon que la flamme dégagée se concentre autour de ligne centrale du four.

Le brûleur est situé à l'aval du four, il traverse le capot de chauffe, son extrémité est située de 0 à 1m en amont du n'ose-ring [23]

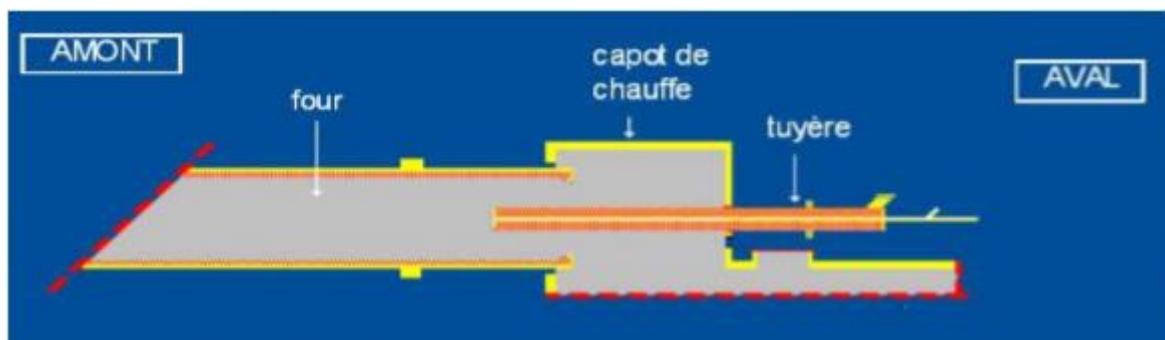


Figure II.17: l'installation du brûleur

Four rotatif du ciment

II.3.9.1 les composants du bruleur [24]:

Les tuyères sont constituées de plusieurs circuits concentriques transportent l'air primaire et le(s) combustible(s). L'air primaire est réparti généralement en deux circuits :

- Un circuit d'air « axial » injectant l'air dans l'axe de la tuyère
- Un circuit d'air « rotationnel » injectant l'air en partie « radialement » grâce à une rosace dont les aubes sont inclinées à environ 20°

Les combustibles sont amenés par d'autres circuits :

- Soit annulaires pour les combustibles solides (charbon)
- Soit au centre de la tuyère pour les gaz, les liquides ou les solides pulvérulents (sciures...) ce sont les "jacket tube".

On trouve aussi au centre un « moyeu » central de relativement gros diamètre, qui a pour fonction d'accrocher la flamme en créant une zone morte de recirculation.

Un canon à air peut être installé au-dessus de la tuyère, sa fonction est détruire les concrétions et amas de matière accumulés qui pourraient dépasser du nez et transformer la flamme.

La tuyère est protégée des hautes températures par une gaine de béton réfractaire.

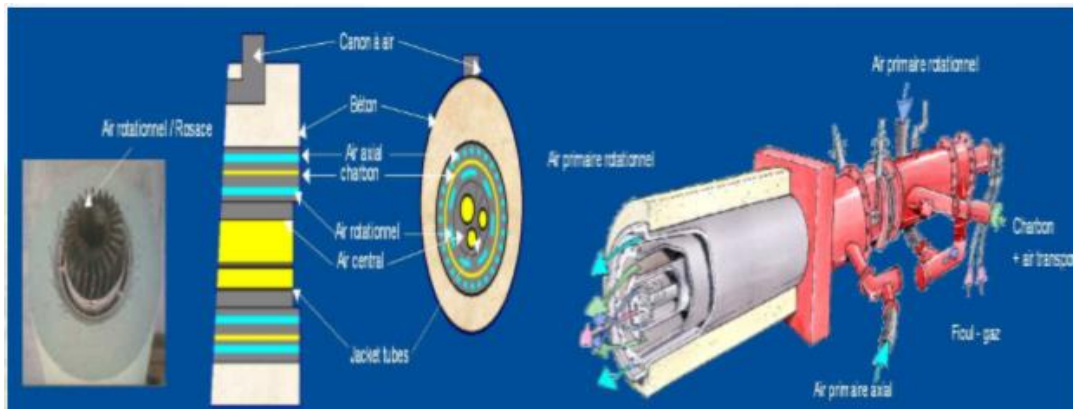


Figure II.18: les composants du bruleur

III. Conclusion

Il ya une diversité de fours dans l'industrie du ciment et chaque fours a ces propres caractéristiques, le four étudié lors de ce projet de fin d'étude est un four rotatif à chauffage direct qui a été choisi suite au lieu de stage ainsi que le fait qu'il est conçu d'une technologie complexe d'où l'étude de sa fiabilité permet l'assurance total de la sécurité pour l'être humain, les installations et l'environnement

Chapitre III

Revue de littérature sur les méthodes d'analyse du risque

Au cours de ces dernières années, plusieurs techniques de prévision des risques ont été développés, citons à titre d'exemples, l'analyse préliminaire des risques (APR), HAZard and OPerability studies (HAZOP), l'analyse de modes de défaillance de leurs effets (AMDE), l'analyse de modes de défaillance de leurs effets et leurs criticités (AMDEC), l'arbre de défaillance (ADD).

Dans ce chapitre, nous allons dans un premier temps présenter quelques concepts et définitions liées au risque et à la sûreté de fonctionnement et après nous allons mettre en évidence son objectif ensuite nous allons aborder quelques méthodes d'analyse des risques, en décrivant brièvement leurs principes de déroulement et les méthodes AMDEC et ADD feront l'objet d'une présentation détaillée.

Chapitre III: Revue de littérature sur les méthodes d'analyse du risque

I. Concepts et définitions

Bien que les concepts liés à l'analyse des risques soient bien définis par plusieurs auteurs, textes réglementaires et normes. Il nous a paru utile de répondre quelques notions fondamentales apparaissant dans toute démarche d'analyse des risques.

I.1 Notion de danger [25]

Le terme "danger" est défini comme une propriété intrinsèque d'une substance dangereuse ou d'une situation physique de pouvoir provoquer des dommages pour la santé humaine et/ou l'environnement [ISO/CEI 51,1999].

On définit le danger comme étant un état ou une situation comportant une potentialité de dommages inacceptables. C'est la situation d'un système où sont réunis tous les facteurs pouvant conduire à la réalisation d'un accident potentiel.

I.2 Notion de risque [26]

Le risque est défini comme une mesure d'un danger associant une mesure de l'occurrence d'un événement indésirable et une mesure de ses effets ou conséquences [Villemeur, 1988].

$$R=P*G$$

P: Probabilité d'occurrence qui signifie la possibilité qu'un événement indésirable ou un incident se produise, qu'il soit défini, mesuré ou déterminé objectivement ou subjectivement, qualitativement ou quantitativement, et décrit en termes généraux ou mathématiques.

G: Gravité.

I.3 La défaillance:

La non fiabilité, C'est la cessation d'une aptitude d'un système à accomplir une fonction requise, c'est aussi le passage de l'état de fonctionnement à l'état de panne.

I.4 Le dysfonctionnement:

Est le mauvais fonctionnement d'un système.

II. Sûreté de fonctionnement:

II.1 historique [27]

La sûreté de fonctionnement est apparue comme une nécessité au cours du XX^{ème}, notamment avec la révolution industrielle. Le terme dependability est apparu dans une publicité sur des moteurs Dodge Brothers dans les années 1930. L'objectif de la sûreté de fonctionnement est d'atteindre le Graal de la conception de système : zéro accident, zéro arrêt, zéro défaut (et même zéro maintenance). Pour pouvoir y arriver, il faudrait tester toutes les

Chapitre III: Revue de littérature sur les méthodes d'analyse du risque

utilisations possibles d'un produit pendant une grande période ce qui est impensable dans le contexte industriel voire même impossible à réaliser tout court. La sûreté de fonctionnement est un domaine d'activité qui propose des moyens pour augmenter la fiabilité et la sûreté des systèmes dans des délais et avec des coûts raisonnables.

II.2 Définition:

La sûreté de fonctionnement est souvent appelée **la science des défaillances (SDF)**, elle inclut leur connaissance, leur évaluation, leur prévision, leur mesure et leur maîtrise. Il s'agit d'un domaine transverse qui nécessite une connaissance globale du système comme les conditions d'utilisation, les risques extérieurs, les architectures fonctionnelles et matérielles, la structure et fatigue des matériaux, elle regroupe quatre notions:

La fiabilité, la maintenabilité, la disponibilité et la sécurité (**FDMS**).

II.2.1 Fiabilité [28]

La fiabilité caractérise l'aptitude d'un système ou d'un matériel à accomplir une fonction requise dans des conditions données pendant un intervalle de temps donné. Elle a sans doute pris son développement depuis la dernière guerre mondiale.

Elle a pour fondements mathématiques la statistique et le calcul des probabilités qui sont nécessaires à la compréhension et à l'analyse des données de fiabilité.

La fiabilité se traduit par « *Reliability* » et se note souvent $R(t)$.

La fiabilité d'un groupe d'éléments à un instant t est donc la probabilité de fonctionnement sans défaillance pendant la période $[0, t]$, donc la probabilité que l'instant de la première défaillance X soit supérieur à t :

$$R(t) = P(X > t).$$

Il existe plusieurs lois de probabilité qui sont utilisées en fiabilité comme la loi binomiale, la loi poisson, la loi Weibull, la loi exponentielle, la loi normale et la loi log-Normale.

La loi exponentielle a de nombreuses applications dans plusieurs domaines. C'est une loi simple, très utilisée en fiabilité.

Une variable aléatoire T est de loi exponentielle de paramètre $\lambda > 0$, notée $\exp(\lambda)$, si et seulement si sa fonction de répartition est :

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t}$$

II.2.1.1 La fiabilité est $R(t) = 1 - F(t)$ d'où;

$$R(t) = e^{-\lambda t}$$

Chapitre III: Revue de littérature sur les méthodes d'analyse du risque

II.2.1.2 Le taux de défaillance $\lambda(t)$:

Est la probabilité de subir une défaillance à l'instant t pour un dispositif ayant vécu jusqu'à l'instant t .

$$\lambda(t) = \frac{\text{nombre de défectueux sur un intervalle de temps}}{\text{nombre de survivants au début de la période X intervalle de temps}}$$

37

II.2.1.3 Le taux de réparation $\mu(t)$:

$$\mu(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{1}{\Delta t} P [\text{composant est réparé entre } t \text{ et } t + \Delta t \text{ sachant qu'il était en panne entre } 0 \text{ et } t]$$

Et on obtient :

$$\mu(t) = \frac{1}{1-M(t)} \frac{dM(t)}{dt}$$

La fiabilité est une fonction décroissante du temps, de telle manière que:

$$R(t_1) > R(t_2) \text{ si } t_1 < t_2.$$

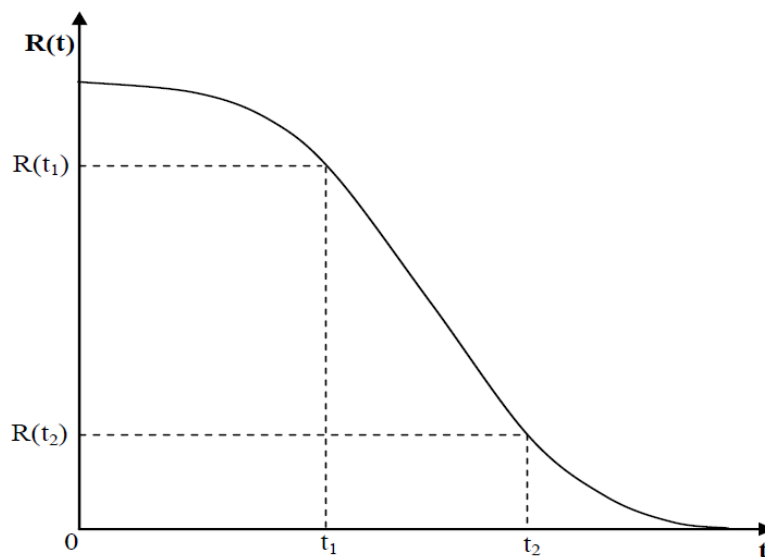


Figure III. 1: la fiabilité décroissante avec le temps

II.2.2 La disponibilité [29]

La disponibilité est l'aptitude d'un système à être en état d'accomplir une fonction requise dans des conditions données, à un instant donné ou durant un intervalle de temps donné, en supposant que la fourniture des moyens extérieurs est assurée.

La disponibilité se traduit par « *Availability* » et se note souvent $A(t)$.

Chapitre III: Revue de littérature sur les méthodes d'analyse du risque

Dans le cas d'un composant non réparable, la disponibilité et la fiabilité se confondent : $F(t) \sim R(t)$ dans le cas contraire : $A(t) \geq R(t)$. L'indisponibilité $U(t)$ est le complément à 1 de la disponibilité, est définie comme étant : $U(t) = 1 - F(t)$.

II.2.3 La maintenabilité [30]

La maintenabilité est l'aptitude d'un bien à être maintenu ou rétabli dans un état où il peut accomplir une fonction requise, lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions données, en utilisant des procédures et des moyens prescrits.

Maintenabilité = être rapidement dépanné

La maintenabilité se traduit en anglais par «**Maintainability**,» et se note souvent $M(t)$.

II.2.4 La sécurité [31]

La sécurité est l'ensemble des méthodes ayant pour objet de supprimer, ou du moins minimiser, les conséquences des défaillances ou des incidents, dont un dispositif ou une installation peuvent être l'objet, conséquences qui ont un effet destructif sur le personnel, le matériel ou l'environnement ou de l'un ou de l'autre.

II.3 Métriques de la sûreté de fonctionnement [32]

MTTF: durée moyenne de fonctionnement avant la première défaillance (Mean Time To Failure).

$$\text{MTTF} = \int_0^{+\infty} R(t) dt = \int_0^{+\infty} \exp(-\lambda t) dt = 1/\lambda$$

MTTR: durée moyenne de réparation (Mean Time To Repair).

$$\text{MTTR} = \int_0^{\infty} (1 - M(t)) dt$$

MDT: durée moyenne d'indisponibilité (Mean DAWN Time).

MUT: durée moyenne de fonctionnement après réparation (Mean Up Time).

MTBF: durée moyenne entre deux défaillances consécutives d'une entité réparée. (Mean Time Between Failure).

$$\text{MTBF} = \text{MDT} + \text{MUT}$$

Chapitre III: Revue de littérature sur les méthodes d'analyse du risque

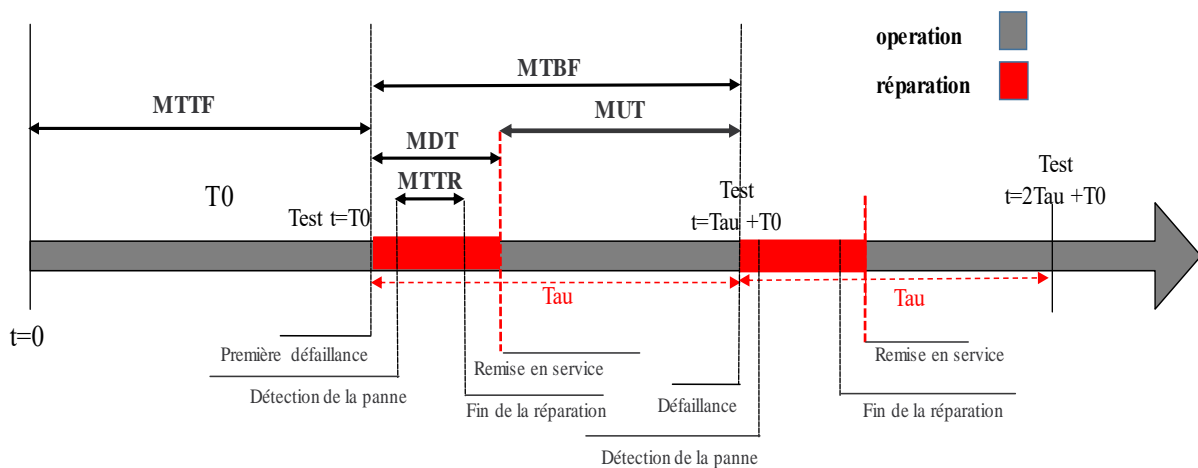


Figure III.2: Métriques de la sûreté de fonctionnement.

II.4 Le but de la sûreté de fonctionnement

Le but de la sûreté de fonctionnement : mesurer la qualité de service délivré par un système, de manière à ce que l'utilisateur ait en lui une confiance justifiée.

Cette confiance justifiée s'obtient à travers une analyse qualitative et quantitative des différentes propriétés du service délivré par le système, mesurée par les grandeurs probabilistes associées : fiabilité, maintenabilité, disponibilité, sécurité.

III. Méthodes d'analyse:

Dans cette partie nous allons décrire brièvement les principales méthodes utilisées dans une démarche d'analyse des risques. Ces méthodes seront classées dans trois principales catégories : méthodes qualitatives, méthodes semi-quantitatives et méthodes quantitatives.

Le but de l'analyse du risque est l'utilisation des informations disponibles pour un système afin d'identifier les phénomènes dangereux et estimer les risques;

Pour mieux mener une analyse des risques, plusieurs méthodes ont été mises au point. Les principales et les plus utilisées sont:

III.1 HAZOP [33]

HAZard and OPerability studies introduite par la société imperial chemical industries (ICI), recommandée pour l'analyse des risques dans tout projet d'implantation d'unité industrielle ou extension d'installations existantes. Cette méthode est applicable à tous les processus dont le fonctionnement peut être décrit de manière exhaustive, précise et rigoureuse.

Chapitre III: Revue de littérature sur les méthodes d'analyse du risque

III.2 APR [34]

L'Analyse préliminaire de risques est une méthode couramment utilisée dans le domaine de l'analyse des risques. Il s'agit d'une méthode inductive, systématique et assez simple à mettre en œuvre.

III.3 AMDE:

Cette méthode (FMEA pour Failure Mode and Effects Analysis) est une des premières méthodes systématiques développée au début des années 60 en aéronautique, a été depuis, généralisée à de nombreux domaines de l'industrie. Elle est inductive et permet l'étude systématique des causes et des effets des défaillances (modes de défaillance et effets) qui affectent les composants d'un système. La méthode comprend cinq étapes et se caractérise par une présentation sous forme de tableaux qui sont très souvent spécifiques à un secteur industriel concerné permettant d'analyser les défaillances.

Définition du système, de ses fonctions et de ses composants,

Etablissement des modes de défaillance de composants et de leurs causes,

Etude des effets des modes de défaillance,

Conclusion, recommandation.

III.4 AMDEC:

III.4.1 Définition

AMDEC : **A**nalyse des **M**odes de **D**éfaillances, de leurs **E**ffets et de leur **C**riticité ou, en anglais, FMECA.

L'AFNOR (Association Française de NORmalisation) définit l'**AMDEC** comme étant : Une méthode inductive qui permet de réaliser une analyse qualitative et quantitative de la fiabilité ou de la sécurité d'un système.

Elle a pour but d'évaluer l'impact ou la criticité de chacun des modes de défaillance sur la fiabilité, la maintenabilité, la disponibilité et la sécurité d'un système. Elle consiste à recenser les modes de défaillances, d'en évaluer les effets sur l'ensemble des fonctions du système et d'en analyser les causes.

Elle est particulièrement efficace pour l'étude des défaillances simples. Elle est relativement exhaustive et elle permet d'identifier les défaillances de causes commune mais elle peut devenir très ardue à réaliser pour des systèmes complexes.

III.4.2 Historique et utilisation:

L'AMDE ou Analyse des Modes de Défaillances est traduit de l'anglais « Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) » provient d'études de la NASA en 1963. La méthode fut ensuite

Chapitre III: Revue de littérature sur les méthodes d'analyse du risque

appliquée à l'industrie automobile et aéronautique, qui y ajoutèrent le concept de criticité des risques, modifiant la méthode sous sa forme courante, l'AMDEC ou « Analyse des modes de défaillances et de leur criticité ».

Les mots relatifs à l'AMDEC sont :

- **Fréquence (F)** : Fréquence d'apparition de la défaillance : elle doit représenter la probabilité d'apparition du mode de défaillance résultat d'une cause.
- **Détection (D)** : Fréquence de non détection de la défaillance : elle doit représenter la probabilité de ne pas détecter la cause ou le mode de défaillance avant que l'effet survient.
- **Gravité (G)** : Gravité des effets de la défaillance : la gravité représente la sévérité relative à l'effet de la défaillance.
- **Criticité (C)** : Elle est exprimée par l'indice de priorité risque.

III.4.3 Les deux aspects de la méthode [35]

L'aspect qualitatif : l'aspect qualitatif de l'étude consiste à recenser les défaillances potentielles des fonctions du système étudié. De rechercher et d'identifier les causes des défaillances et d'en connaître les effets qui peuvent affecter les clients, les utilisateurs et l'environnement interne ou externe.

L'aspect quantitatif : consiste à estimer le risque associé à la défaillance potentielle. Le but de cette estimation est l'identification et la hiérarchisation des défaillances potentielles.

III.4.4 Les types de l'AMDEC [36]

Tableau III. 1 : les types de l'AMDEC.

Types d'AMDEC	Le rôle
AMDEC fonctionnelle	Analyse des défaillances et de ses causes à l'étape de la conception.
AMDEC produit	Analyse les demandes des clients en termes de fiabilité.
AMDEC process	Analyse des risques liés aux défaillances d'un produit.
AMDEC moyen de production	Analyse les risques liés aux défaillances de la chaîne de production.
AMDEC flux	Analyse les risques liés à l'approvisionnement, le temps de réaction et de correction et leurs coûts.

Chapitre III: Revue de littérature sur les méthodes d'analyse du risque

III.4.5 Le principe de la méthode [37]

La méthode d'analyse AMDEC s'applique aussi bien à la conception d'un nouveau produit, à la mise au point d'un procédé de fabrication ou encore d'un processus pour en identifier les points de défaillances susceptibles de pénaliser la performance.

III.4.6 Le déroulement de l'AMDEC:

La méthode se déroule en 5 temps majeurs:

1/Initialisation:

C'est la préparation.

2/Analyse fonctionnelle:

Le but de l'analyse fonctionnelle est de déterminer d'une manière assez complète les fonctions principale d'un produit, les fonctions contraintes, et les fonctions élémentaires.

- Les fonctions principales : sont les fonctions pour lesquelles le système a été conçu, donc pour satisfaire les besoins de l'utilisateur.
- Les fonctions contraintes : répond aux interrelations avec le milieu extérieur.
- Les fonctions élémentaires : assurent les fonctions principales, ce sont les fonctions des différents composants élémentaires du système.

3/Analyse de défaillance:

Valorisation des défaillances potentielles et étude de la criticité, en tenant compte de la gravité, la probabilité d'occurrence et la capacité de détection.

4/Analyse AMDEC:

C'est-à-dire remplir le tableau AMDEC.

5/Actions correctives:

Identification des actions palliatives et correctives.

III.4.7 Les modes de défaillance:

Tableau III. 2: les modes de défaillance.

1 Défaillance structurelle (rupture)	18 Mise en marche erronée
2 Blocages physiques ou coincement	19 Ne s'arrête pas
3 Vibrations	20 Ne démarre pas
4 Ne reste pas en position	21 Ne commute pas
5 Ne s'ouvre pas	22 Fonctionnement prématuré
6 Ne se ferme pas	23 Fonctionnement après le délai prévu

Chapitre III: Revue de littérature sur les méthodes d'analyse du risque

7 Défaillance en position ouverte	24 Entrée erronée (augmentation)
8 Défaillance en position fermée	25 Entrée erronée (diminution)
9 Fuite interne	26 Sortie erronée (augmentation)
10 Fuite externe	27 Sortie erronée (diminution)
11 Dépasse la limite supérieure tolérée	28 Perte de l'entrée
12 Dépasse la limite inférieure tolérée	29 Perte de la sortie
13 Fonctionnement intempestif	30 Court-circuit (électrique)
14 Fonctionnement intermittent	31 Circuit ouvert (électrique)
15 Fonctionnement irrégulier	32 Fuite électrique
16 Indication erronée	33 Autres défaillances exceptionnelles selon les caractéristiques du système, les conditions de fonctionnement, les contraintes opérationnelles.
17 Ecoulement réduit	

III.4.8 Tableau général de l'AMDEC:

Tableau III. 3: tableau AMDEC

Date de l'analyse	AMDEC MACHINE-ANALYSE DES MODES DE DEFAILLANCE DE LEURS EFFETS ET DE LEUR CRITICITE					Système				Page
Elément	Fonction	Mode de défaillance	Cause de la défaillance	Effet de la défaillance	Détection	Criticité				Action corrective
						F	G	D	C	

III.5 ADD:

III.5.1 Définition [38]

Arbre de défaillance, méthode d'analyse déductive basée sur la réalisation d'une arborescence qui permet d'identifier les combinaisons de défaillances ou de causes amenant à la réalisation d'un événement redouté (ou indésirable).

III.5.2 Objectif

Un arbre de défaillance représente de façon synthétique l'ensemble des combinaisons d'événements qui peuvent conduire à une défaillance;

Chapitre III: Revue de littérature sur les méthodes d'analyse du risque

Construire un arbre de défaillance revient à répondre à la question: comment telle défaillance peut-elle arriver? Ou quels sont les scénarios (enchaînements d'événements) possibles qui peuvent aboutir à cette défaillance?

En anglais cette méthode est appelée Fault tree method.

III.5.3 Le principe de la méthode ADD [39]

44

L'analyse par arbre de défaillances est une méthode de type déductif. En effet, il s'agit, à partir d'un événement redouté défini a priori, de déterminer les enchaînements d'événements ou combinaisons d'événements pouvant finalement conduire à cet événement. Cette analyse permet de remonter de causes en causes jusqu'aux événements de base susceptibles d'être à l'origine de l'événement redouté. Les événements de base correspondent généralement à des:

- Évènements élémentaires qui sont suffisamment connus et décrits par ailleurs pour qu'il ne soit pas utile d'en rechercher les causes. Ainsi, leur probabilité d'occurrence est également connue.
- Évènements ne pouvant être considérés comme élémentaires mais dont les causes ne seront pas développées faute d'intérêt,
- Évènements dont les causes seront développés ultérieurement au gré d'une nouvelle analyse par exemple,
- Évènements survenant normalement et de manière récurrente dans le fonctionnement du procédé ou de l'installation.
- Quelle que soit la nature des éléments de base identifiés, l'analyse par arbre des défaillances est fondée sur les principes suivants :
 - Ces évènements sont indépendants,
 - Ils ne seront pas décomposés en éléments plus simples faute de renseignements, d'intérêt ou bien parce que cela est impossible,
 - Leur fréquence ou leur probabilité d'occurrence peut être évaluée.

Ainsi, l'analyse par arbre des défaillances permet d'identifier les successions et les combinaisons d'événements qui conduisent des événements de base jusqu'à l'événement indésirable retenu. Les liens entre les différents événements identifiés sont réalisés grâce à des portes logiques (de type « ET » et « OU » par exemple). Cette méthode utilise une symbolique graphique particulière qui permet de présenter les résultats dans une structure arborescente. A l'aide de règles mathématiques et statistiques, il est alors théoriquement possible d'évaluer la probabilité d'occurrence de l'événement final à partir des probabilités des événements de base identifiés. L'analyse par arbre des défaillances d'un événement redouté peut se décomposer en trois étapes successives :

- Définition de l'événement redouté étudié,
- Elaboration de l'arbre,
- Exploitation de l'arbre.

Il convient d'ajouter à ces étapes, une étape préliminaire de connaissance du système. Nous verrons que cette dernière est primordiale pour mener l'analyse et qu'elle nécessite le plus souvent une connaissance préalable des risques.

Chapitre III: Revue de littérature sur les méthodes d'analyse du risque

III.5.4 Démarche:

La méthode de l'arbre de défaillance comprend une partie qualitative, qui correspond à la construction de l'arbre et la recherche des coupes minimales, et une partie quantitative qui vise à évaluer les probabilités d'occurrence au niveau des événements élémentaires, des coupes minimale et au niveau de la défaillance.

On nomme **une coupe minimale (CM)** un ensemble d'événements de base ou conditions nécessaires ou suffisantes à produire l'événement sommet.

III.5.5 Facteurs d'importance [40]

Les facteurs d'importance sont des indicateurs calculés pour chaque événement de base d'un arbre de défaillance. Ces indicateurs visent à évaluer les contributions relatives des différents composants du système au risque global.

La littérature traite principalement cinq différents facteurs d'importance:

III.5.5.1 Facteur d'Importance Marginale (MIF) parfois appelé facteur de Birnbaum:

Le facteur d'importance probabiliste Marginale est le 1^{er} facteur d'importance proposé par Z.W. Birnbaum en 1968, ce facteur dépend de la structure de l'arbre de défaillance et de la fiabilité des autres composants. Il est noté $MIF(s,e)$ et défini comme suit:

$$MIF = \frac{\partial p(s)}{\partial p(e)}$$

III.5.5.2 Facteur d'Importance Critique (CIF):

Ce facteur est la probabilité pour qu'un événement de base e soit défaillant et critique sachant que le système global est défaillant.

Il est défini comme suit:

$$CIF = \frac{p(e)}{p(s)} MIF(s, e)$$

III.5.5.3 Facteur d'Importance de Diagnostic (DIF) aussi appelé facteur de Fussel-Vesely:

Le facteur d'importance de diagnostic, notée $DIF(S,e)$, est définie comme suit.

$$DIF(s,e) = p(e|s) = \frac{p(s|e)p(e)}{p(s)}$$

Le $DIF(S,e)$ est la probabilité pour que le composant e soit en panne sachant que le système est en panne. Ce facteur tient son nom de son utilité dans le diagnostic des causes de défaillance d'un système.

Enfin signalons que ce facteur représente la part des coupes dans lesquelles apparaît au moins une fois l'événement de base e , il indique alors le gain en disponibilité que l'on peut attendre sur le système global, résultant d'une fiabilisation totale de e .

Chapitre III: Revue de littérature sur les méthodes d'analyse du risque

Cet indicateur est notamment précieux dans la phase de conception d'un système, là où des modifications fonctionnelles et/ou de design importantes peuvent intervenir, et faire varier le risque associé à un système dans d'importantes proportions.

III.5.5.4 Facteur d'Augmentation du risque (RAW ou RIF):

Il montre dans quelles proportions augmente le risque associé à un système quand la défiabilité de l'événement de base e est portée à 1.

$$RAW = \frac{p(s|e)}{p(s)}$$

III.5.5.5 Facteur de Diminution du Risque (RRW ou RDF):

Il représente la diminution maximale du risque, il peut être approché en augmentant la fiabilité du composant.

$$RRW = \frac{p(s)}{p(s|e^c)}$$

III.5.6 Structure de l'Arbre de défaillance:

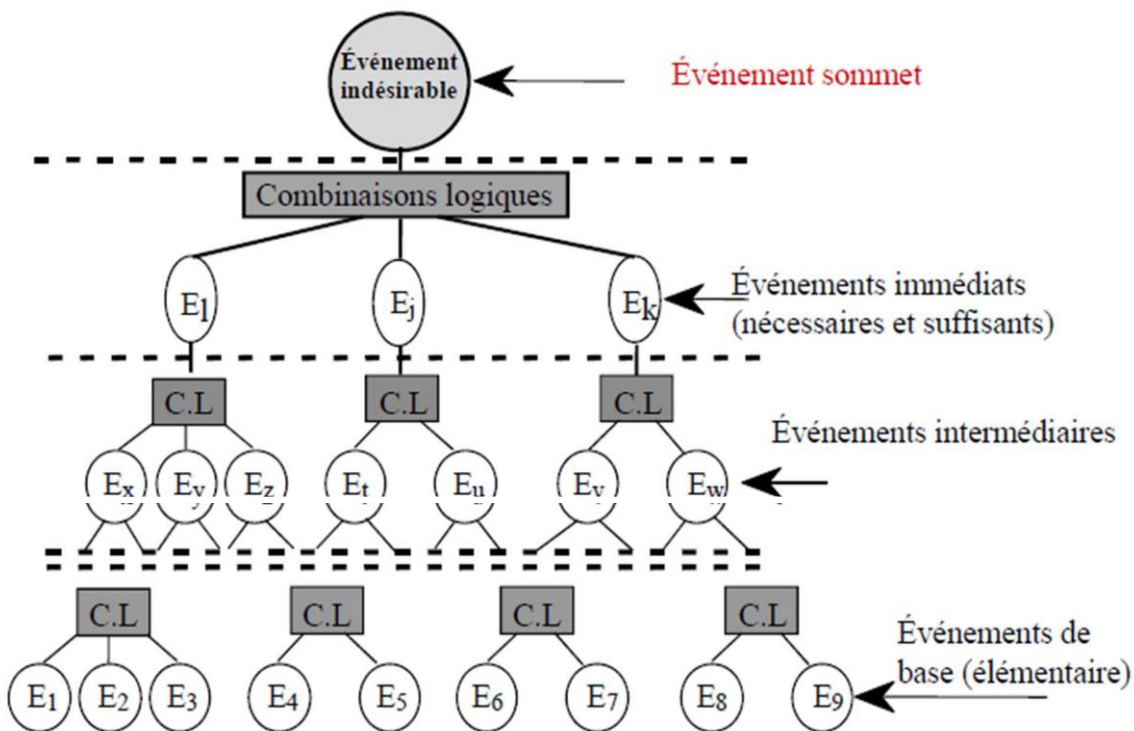
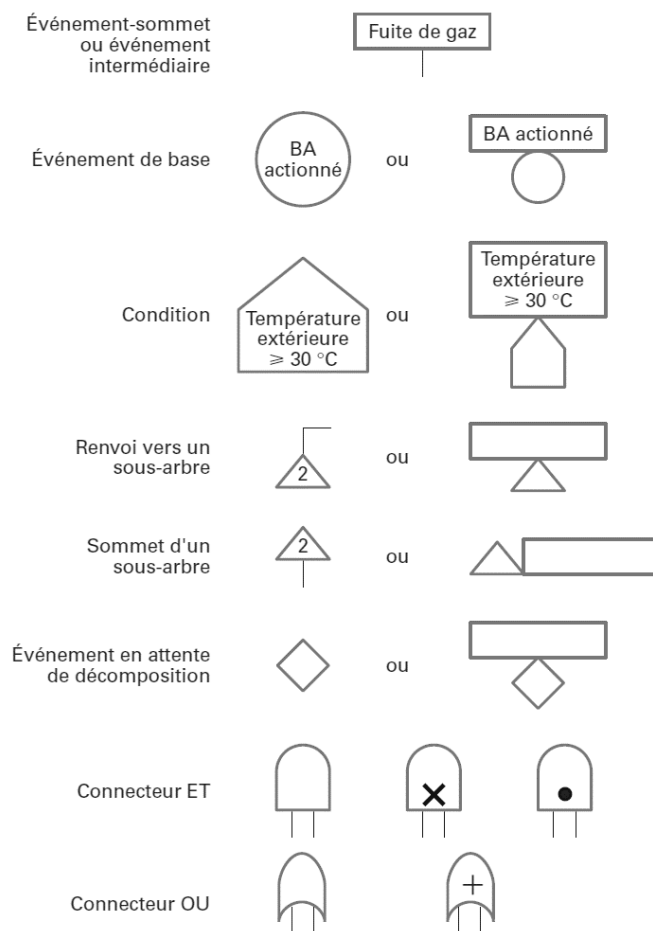


Figure III. 2: Structure de l'arbre de défaillance

III.5.6.1 Les éléments de base pour construire l'Add :

Chapitre III: Revue de littérature sur les méthodes d'analyse du risque



III.5.7 Construction de l'arbre:

Un arbre de défaillance est généralement présenté de haut en bas. La ligne la plus haute, ou sommet de l'arbre, comporte uniquement la défaillance (ou événement redouté ou encore événement non souhaité) que l'on cherche à analyser. Chaque ligne détaille la ligne supérieure en présentant la combinaison ou les combinaisons susceptibles de produire l'événement de la ligne supérieure auquel elles sont rattachées. Ces relations sont présentées par des liens logiques OU ou ET.

La première étape consiste à définir l'événement sommet, c'est-à-dire la défaillance, de façon explicite et précise afin que l'arbre construit réponde bien aux attentes de l'étude.

La deuxième étape consiste à décrire l'ensemble des événements, par des combinaisons logiques (conjonction ou disjonction), pouvant engendrer l'événement sommet. Il apparaîtra donc des événements moins globaux que l'événement sommet, que l'on nommera événements intermédiaires, et un connecteur logique qui les relie à l'événement sommet.

Les étapes suivantes consistent à décrire successivement l'ensemble des lignes permettant d'expliquer les lignes supérieures (par des événements et des connecteurs logiques) jusqu'à avoir écrit l'ensemble des causes connues. Il s'agit de répéter la deuxième étape jusqu'à l'obtention des événements de base qui sont des événements qui ne se décomposent plus en événements plus fins.

Chapitre III: Revue de littérature sur les méthodes d'analyse du risque

III.6 Avantages et limites de la méthode AMDEC et AdD

Tableau IV.9 : Avantages et limites de la méthode AMDEC et AdD

Méthodes	Les avantages	Les limites
AMDEC	<p>Un outil incontournable d'analyse et d'évaluation de défaillances simples susceptibles de conduire à des défaillances globales au niveau système et aussi d'études de moyens adaptés permettant de limiter leurs effets et prévenir leurs occurrences.</p> <p>Les résultats de l'AMDEC sont spécifiquement détaillés et notamment en ce qui concerne la propagation des défaillances et leurs conséquences.</p> <p>Il peut accompagner quasiment tout le cycle de vie du développement d'un système : conception, validation, test, etc.</p>	<p>Est très difficile à maîtriser, compte tenu du volume important d'informations à traiter et l'impossibilité de décrire des défaillances multiples.</p> <p>L'analyse est complétée par d'autres méthodes telles que les arbres de défaillances. La méthode ne produit pas de façon exhaustive les modes communs et n'évalue pas systématiquement les combinaisons de pannes</p>
AdD	<p>Étude prioritaire des défaillances relatives à des événements redoutés dont la gravité de production est plus significative. Elle permet de considérer des combinaisons d'évènements pouvant conduire à un événement redouté.</p> <p>Un autre point fort essentiel est la lisibilité à travers la représentation graphique des combinaisons de causes aboutissant à des défaillances.</p> <p>Les coupes minimales représentent des résultats synthétiques qui montrent directement les criticités des composants.</p> <p>L'analyse peut prendre en compte les défaillances</p>	<p>La méthode exige une parfaite connaissance des scénarios événementiels et donc du fonctionnement du système et de son interaction avec son environnement.</p> <p>Cette méthode est efficace pour analyser de petits systèmes. L'analyse d'un système complexe nécessiterait sa décomposition en plusieurs sous-systèmes. Néanmoins, la dernière décennie a vu paraître plusieurs logiciels offrant, entre autres, des fonctionnalités d'aide et d'assistance pour la conception graphique, la recherche systématique des coupes minimales et la</p>

Chapitre III: Revue de littérature sur les méthodes d'analyse du risque

	multiples et de cause commune.	propagation des probabilités.
--	--------------------------------	-------------------------------

IV. Conclusion

Ce chapitre a fait l'objet de présenter les notions générales sur la sûreté de fonctionnement ainsi que le concept risque afin de mieux déterminer l'objectif de notre étude par la suite on a présenté d'une manière générale les méthodes d'analyse des risques que ce soit, méthodes qualitatives ou bien quantitatives. Et comme méthode à retenir pour notre étude : la méthode AMDEC pour l'analyse semi-quantitative et la méthode ADD pour l'analyse quantitative.

Chapitre IV

L'application des méthodes AMDEC et AdD

Dans ce chapitre, nous allons étudier les modes de défaillances liés aux composants du four, leurs effets et leur criticité en détaillant les modes de défaillances critiques et les solutions envisageables dans le but de diminuer leur criticité. En outre, nous allons appliquer la méthode AdD sur l'organe le plus critique dans le four "bruleur"

I. Démarche de l'étude AMDEC

Les équipements du four rotatif de la cimenterie posent actuellement des sérieux problèmes au niveau de la maintenance. Dans le but d'analyser tous les modes de défaillance possibles de ces équipements et de remonter aux sources d'anomalies susceptibles de conduire à ces modes de défaillances, ainsi pour faciliter le diagnostic et aider par la suite à définir un plan d'action, nous proposons de faire une étude AMDEC moyens. La démarche générale retenue dans ce mémoire pour cette étude comporte les étapes suivantes :

1. Initialisation,
2. Analyse fonctionnelle,
3. Analyse des défaillances,
4. Analyse AMDEC,
5. Diagramme de pareto,
6. Actions correctives menées.

I.1 Initialisation de l'étude

La préparation de l'analyse doit permettre de cerner le périmètre de l'étude et de déterminer les objectifs associés à l'analyse. La méthodologie de la mise en œuvre de l'AMDEC consiste à:

- Définir le système : four rotatif
- Découpage du système en sous-système
- Définir les modes de défaillance pour chaque sous-système
- Cause de défaillance
- Effet de défaillance
- Détection de défaillance
- Evaluer le niveau du risque « criticité » : Gravité, Probabilité, détection

Le support de travail de cette étape est le tableau AMDEC IV.3 là où on résume toutes les défaillances, leurs effets, leurs causes et les actions à engager.

Nos supports de travail dans cette étude sont:

- L'expérience du personnel du département sécurité;
- Les rapports d'anomalies et d'inspection exécutés mensuellement;
- Des retours d'expérience sur le four rotatif.

I.2 Analyse fonctionnelle

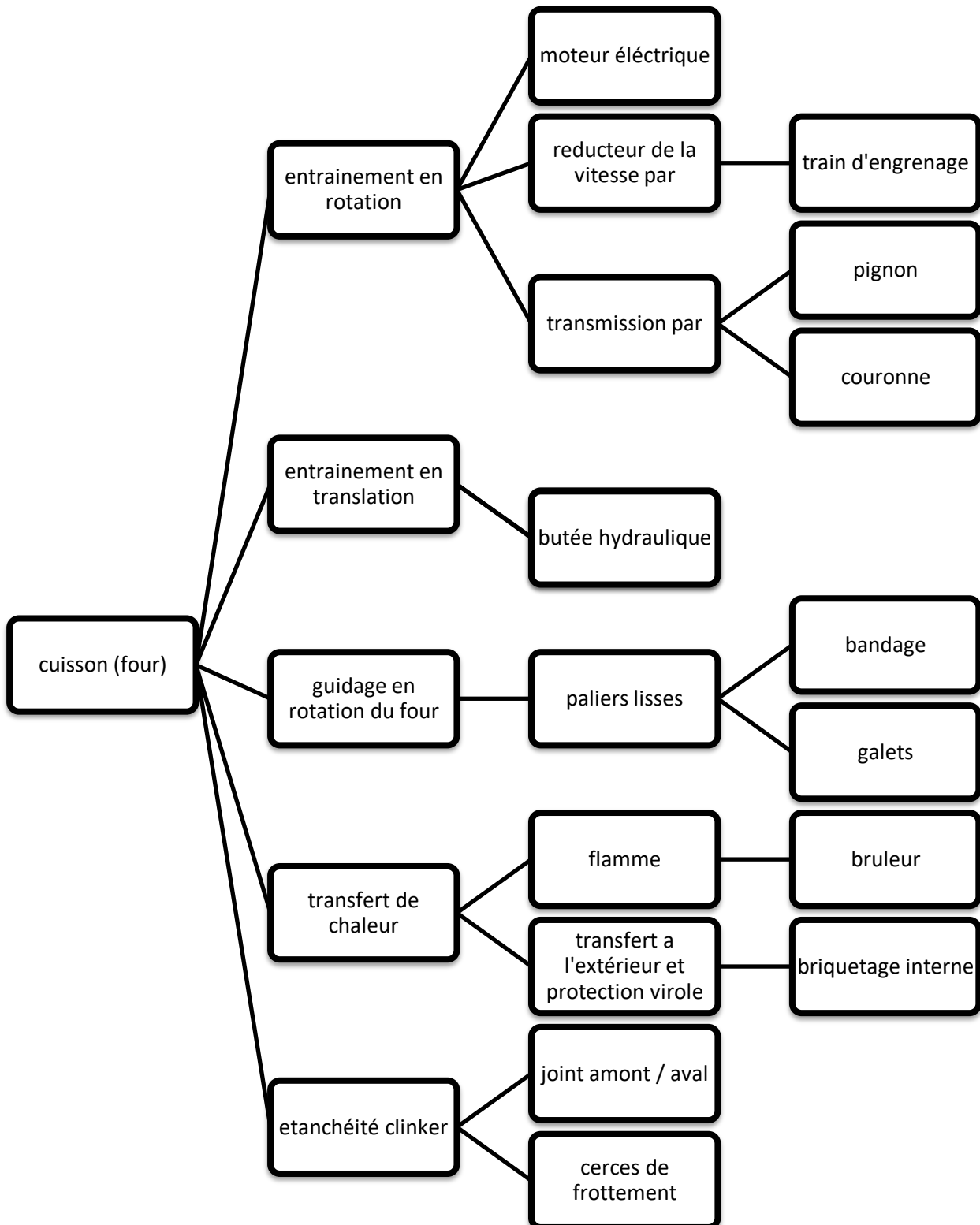


Figure IV.1 : L'analyse fonctionnelle du four de cimenterie

Chapitre IV: L'application des méthodes AMDEC et Add

I.3 Analyse des défaillances

L'analyse AMDEC nous permettra de trouver les pannes et défaillances critiques, les analyser, puis proposer des solutions à mettre en place, en se basant sur l'historique des pannes potentielles des éléments du four de cimenterie. Nous allons tout d'abord définir une échelle de cotation des différents critères choisis, à savoir : la fréquence "F", la détectabilité "D" et la gravité des défaillances "G", alors que l'indice de criticité "C" est calculé pour chaque défaillance, à partir de la combinaison de ces trois critères, par la multiplication de leurs notes respectives : $C = G \times F \times D$

Chacun de ces critères sera évalué avec une cotation établie sur 4 niveaux, pour le critère de fréquence, de non-détection et de la gravité. Le tableau ci-dessous présente le barème de cotation de la criticité utilisée:

Tableau IV.1: Grille de cotation

Indice de Gravité	Critère G
1	Défaillance mineure : Arrêt de production inférieur à 2 minutes
2	Défaillance significative : Arrêt de production de 2 à 20 minutes, au report possible d'intervention
3	Défaillance moyenne : Arrêt de production de 20 à 60 minutes
4	Défaillance majeure : Arrêt de production de 1 à 2 heures
Indice de Fréquence	Critère F
1	Défaillance rare: Moins d'une défaillance par an
2	Défaillance possible : Moins d'une défaillance par trimestre
3	Défaillance fréquente : Moins d'une défaillance par semaine
4	Défaillance très fréquente : Plusieurs défaillances par semaine
Indice de la non-Détection	Critère D
1	Visuelle à coup
2	Visuelle après l'action de l'opérateur
3	Difficilement détectable
4	Détection impossible

Chapitre IV: L'application des méthodes AMDEC et Add

Tableau IV.2: matrice de criticité

G					
	1	2	3	4	D
F					
1	1	2	3	4	1
2	4	8	12	16	2
3	9	18	27	36	3
4	16	32	48	64	4

	Zone 1	Risque acceptable
	Zone 2	Risque a surveiller
	Zone 3	Risqué inacceptable

I.4 Analyse AMDEC

Cette partie consiste à remplir les tableaux AMDEC, en suivant les instructions dues nous avons citées dans le chapitre.

Tableau IV.3: Tableau AMDEC

Elément	Mode de défaillance	Causes	Effets	Système: four rotatif				Page
				Criticité				
				F	G	D	C	
Moteur électrique	- moteur brulé - couple insuffisant - vieillissement du moteur	- incident extérieur - faible alimentation électrique - charge excessive - matériel et pièce de rechange de mauvaise qualité - problème de réglage	- perte d'argent pour le remplacement d'équipement - pas d'alimentation - pas de production (arrêt de l'usine) - pas de commande - la réputation de l'industrie - vitesse de rotation faible	2	3	2	12	-Graissage des roulements -Nettoyage semestrielle du ventilateur de refroidissement du moteur - rebobinage du moteur -mettre le moteur sous un abri
Réducteur	- rupture -Usure des dentsures	-Dépôt de sédiments - température d'huile élevée - Lubrification insuffisante -Diminution de	-arrêt de cuisson -Mauvais rendement en puissance du réducteur -Diminution du rendement en	3	1	2	6	-Contrôle régulier de la température de l'huile -Analyse des huiles - lubrification

Chapitre IV: L'application des méthodes AMDEC et Add

		la viscosité d'huile	puissance					régulier des engrenages
Pignon / couronne	Usure des dentures	-Désalignement denture pignon/couronne -Lubrification insuffisante -Entraxe déréglé - vibration	-Rendement en puissance diminué -Résistance affaiblie des dentures -Durée de vie diminuée	3	2	1	6	-Analyse des huiles - contrôle des dentures pendant l'arrêt -
Bandage	-Fissuration -Usure des plaques de compensation -Usure des cerces du bandage -Rupture des blocs de poussée	- Oscillation du bandage -Mauvais contact bandage/galet -Cylindricité intérieure du bandage incorrect -Frottement	-Pression surfacique excessive -Augmentation du jeu -Oscillation plus importante -détachement du bandage -Rupture du bandage	1	3	3	9	-Contôle des plaques pendant l'arrêt du four -Contrôle régulier pendant l'arrêt du four -Contrôle des cerces pendant l'arrêt du four
Virole	Déformation - Fissure - Boulons desserrés	- fatigue du métal - déformation du four -température non uniforme -chute des briques -croûtage	-fuite matière -Fissure galet -flexion arbre galet -charge excessive sur galet -chute/fissuration des briques.	2	3	3	18	-Contrôle de la déformation du four -Contrôle régulier pendant l'arrêt du four -suivi régulier de la température de la virole -Contrôle de l'alignement du four
Les briques	-Usure des briques	-Choc thermique -Déformation de la virole	-Apparition de points chauds -Chute des briques	3	2	2	12	- Contrôle régulier de la virole - contrôle des briques pendant l'arrêt du four - Changement des briques après chaque usure
Galet	-usure -fissure	-Mauvais montage	-arrêt de cuisson -Mauvaise	2	2	4	16	-Vérification RDM de

Chapitre IV: L'application des méthodes AMDEC et Add

	-cassure - Ecaillage - Echauffement -Vibration - Détérioration des joints du galet - Température élevée au palier	-Lubrification inadaptée -Corrosion liée au contact -Infiltration des impuretés « « charbon -Fatigue -Matière abrasive -Température virole élevée	transmission de mouvement -blocage de galet -Réduction de la durée de vie du four					l'arbre du galet - contrôle de déformation de la virole -Contrôle de la déformation du four -Suivi régulier de la température des paliers des galets
Butée hydraulique	-Rupture des vis -blocage	-Fatigue des vis -Surpression -Surcharge du four -Pressostat défaillant -Alignement du four incorrect	-Perte de maintien en position de la butée -Risque de détachement brusque du four -Risque de rupture des vis à long terme -Usure des bandages et galets à long terme	3	2	1	6	-Changement du diamètre des vis -suivi de la pression de la pompe -Contrôle de l'alignement du four
Joint amont / aval	Etanchéité insuffisante	- Usure des cerces -Cordon d'étanchéité -Problème de circuit d'air comprimé -Pression insuffisante -Problème dans le vérin	-Entrée de l'air faux dans le four -Ouverture du joint	2	2	2	8	-suivi régulier de la pression des vérins - changement de matériau des cerces -changement régulier des joints
Plaques nose-ring	Usure des plaques	Abrasion à haute température à cause du flux du clinker	Mauvais maintien des briques réfractaires	3	2	4	24	Changement de conception des plaques nose-ring
Bruleur	- blocage - corrosion - fuite dans les tuyauteries de gaz	- air humide - haute pression - détérioration : flexibles, connexions	- arrêt complet du processus de cuisson - incendie - explosion - perte d'énergie	3	4	3	36	-système de refroidissement adéquat - soudage

Chapitre IV: L'application des méthodes AMDEC et Add

I. 5 Calcul de criticité

Tableau IV.4: Criticités cumulées

N° de défaillance	Criticité	Cumul de criticité	Cumul du Pourcentage
1	36	36	23,53
2	24	60	15,69
3	18	78	11,76
4	16	94	10,46
5	12	106	7,84
6	12	118	7,84
7	9	127	5,88
8	8	135	5,23
9	6	141	3,92
10	6	147	3,92
11	6	153	3,92
Totale	153	-	100

Suite à ce tableau nous allons tracer le diagramme de pareto "diagramme ABC":

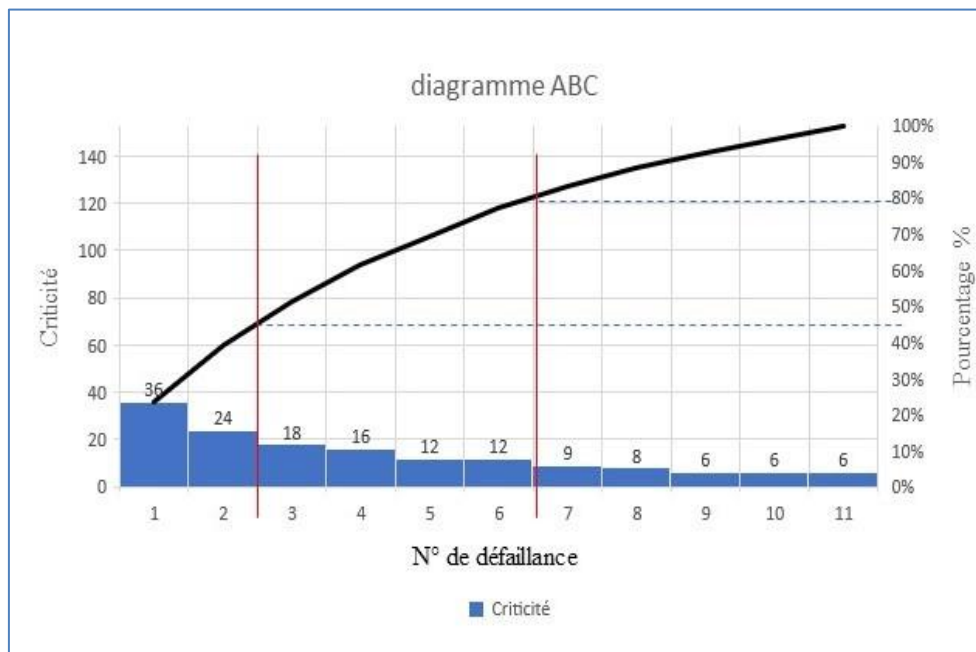


Figure IV.2: Diagramme ABC des criticités

A partir du diagramme ABC on peut déduire que 45 % de la criticité du système sur la quel est il faut intervenir est représenté par les 2 1ères défaillances, c'est a dire que ces 2 1ères défaillances se sont les plus critiques pour le fonctionnement du système

Zone A est 2/11 → 18 % des défaillances présente 45% de la criticité

Chapitre IV: L'application des méthodes AMDEC et Add

Zone B 4/11 → 36.5% des défaillances présente 35% de la totalité de la criticité

Zone C 5/11 → 45.5 % des défaillances présente 20% de la totalité de la criticité

Alors on conclut que les défaillances les plus critiques qui nécessite une maintenance rapide sont 1, 2 correspondant aux équipements suivants : bruleur et les plaques nose-ring.

I. 6 Synthèse

A partir du tableau AMDEC ci-dessus, on a pu hiérarchiser les modes de défaillances des pannes pertinentes selon leurs criticités, nous avons fixé des niveaux de criticité indiquant les actions correctives à adopter dans le tableau suivant :

Tableau IV.5: Tableau des actions correctives du four

Niveau de criticité	Organes	Action corrective
Criticité entre $1 \leq C < 12$	-Moteur électrique -réducteur -pignon -couronne -bandage -butée hydraulique -joint amont -joint aval	aucune modification de conception maintenance préventive régulière
Criticité entre $12 \leq C < 18$	-Briques -galet -virole	-Amélioration des performances de l'élément -maintenance préventive systématique.
Criticité entre $18 \leq C < 64$	-plaques nose – ring -Bruleur	- Révision de la conception des sous ensembles et choix des éléments pour surveillance particulière maintenance - Remise en cause complète de la conception et les composants du système.

Dans ce tableau, on voit que la criticité des systèmes suivants” moteur électrique, réducteur, couronne, bandage, butée hydraulique, joint amont, joint aval, briques, galets, virole ” est faible, ce qui veut dire qu'ils nécessitent seulement une maintenance préventive régulière.

En ce qui concerne les plaques nose – ring, sa défaillance est due à la dégradation d'une phase. Donc on propose une maintenance préventive conditionnelle.

Chapitre IV: L'application des méthodes AMDEC et Add

I. 7 Actions de maintenance préventive du four

Tableau IV.6: Le tableau actuel des actions de maintenance préventive du four

Composant	Operations
Bandage	Système pour détecter le glissement du bandage
Virole	Le contrôle d'ovalité
Briques	- Changement périodique des briques réfractaires. - diminué sa criticité, mais une étude d'ordre process pourrait offrir des solutions efficace à ce problème
Galets	diminuer la probabilité de défaillance en augmentant le diamètre de l'arbre
butée hydraulique	minimiser la probabilité de rupture des vis, ainsi, de performer la fiabilité de la buté par le changement de conception (diamètre des vis plus grand)
Joints	augmentera la durée de vie des plaques et résisteront mieux à l'usure
plaques nose – ring	augmentera la durée de vie des plaques et résisteront mieux à l'usure

En guise de conclusion de cette analyse le bruleur représente le système avec des défaillances majeures. Dans la suite une étude approfondie de ce système est indispensable en utilisant une méthode quantitative telle qu'Add.

II Démarche de l'étude Add

La méthode consiste en une représentation graphique des multiples causes d'un événement dangereux. Elle permet de visualiser les relations entre les défaillances d'équipement, les erreurs humaines et les facteurs environnementaux qui peuvent conduire à des accidents. On peut donc éventuellement y inclure des facteurs reliés aux aspects organisationnels.

II.1 Elaboration de l'analyse des risques par l'Add:

L'analyse passe par les étapes suivantes:

La première étape: consiste à définir l'événement sommet, c'est-à-dire la défaillance, de façon explicite et précise afin que l'arbre construit réponde bien aux attentes de l'étude.

La deuxième étape: consiste à décrire l'ensemble des événements, par des combinaisons logiques (conjonction ou disjonction), pouvant engendrer l'événement sommet. Il apparaîtra donc des événements moins globaux que l'événement sommet, que l'on nommera événements intermédiaires, et un connecteur logique qui les relie à l'événement sommet.

Les étapes suivantes: consistent à décrire successivement l'ensemble des lignes permettant d'expliquer les lignes supérieures (par des événements et des connecteurs logiques) jusqu'à avoir écrit l'ensemble des causes connues. Il s'agit de répéter la deuxième étape jusqu'à l'obtention des événements de base qui sont des événements qui ne se décompose plus en événements plus fins.

II.2 Description du système brûleur:

On considère le système de brûleur représenté graphiquement dans la figure IV.3. L'objectif de ce système est de produire de la flamme pour le four à l'aide d'un brûleur alimenté à partir d'un système à gaz (fuel gaz) "qui est supposé en fonctionnement normal dans notre cas", en provenant du système d'alimentation le gaz passe par deux lignes, la ligne d'alimentation principale pour allumer le brûleur principale et une ligne secondaire pour allumer le brûleur de secoure.

Chaque ligne est dotée de plusieurs vannes de sectionnement de régulation et des ESD "vanne d'arrêt d'urgence" afin de sécuriser l'installation ainsi que des détecteurs de gaz et de flamme.

L'installation est commandée par un système de management de brûleur (burner management system).

Les deux brûleurs sont considérés non défaillant lors de la simulation.

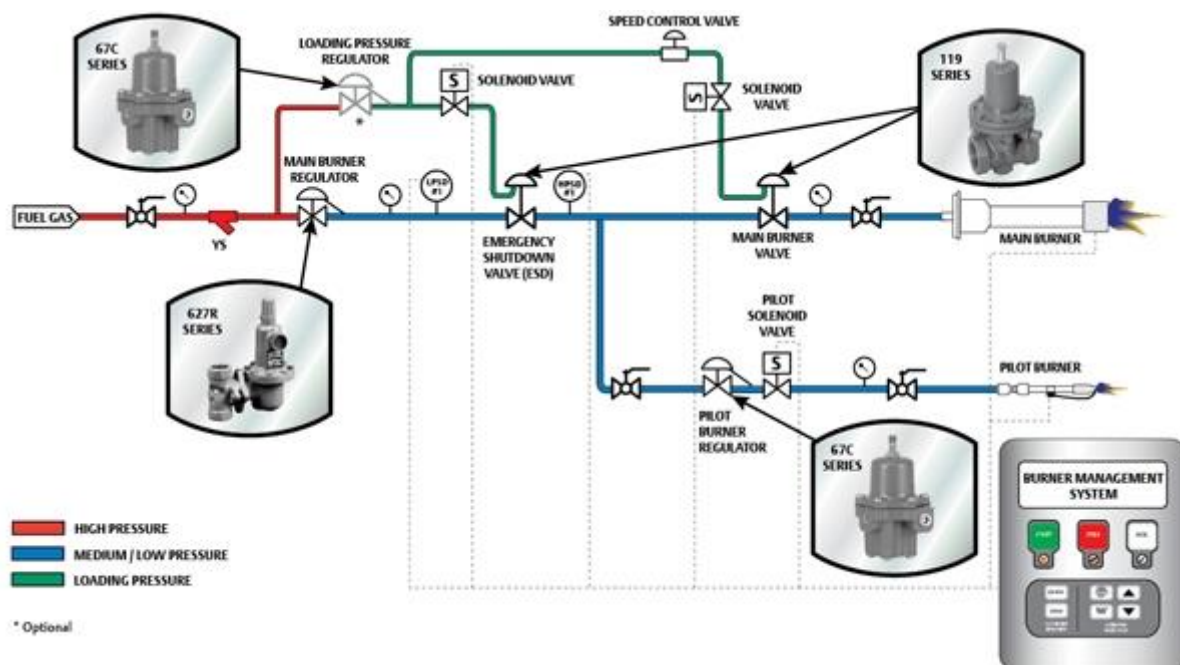


Figure IV.3: Système de brûleur

II.3 Analyse Add

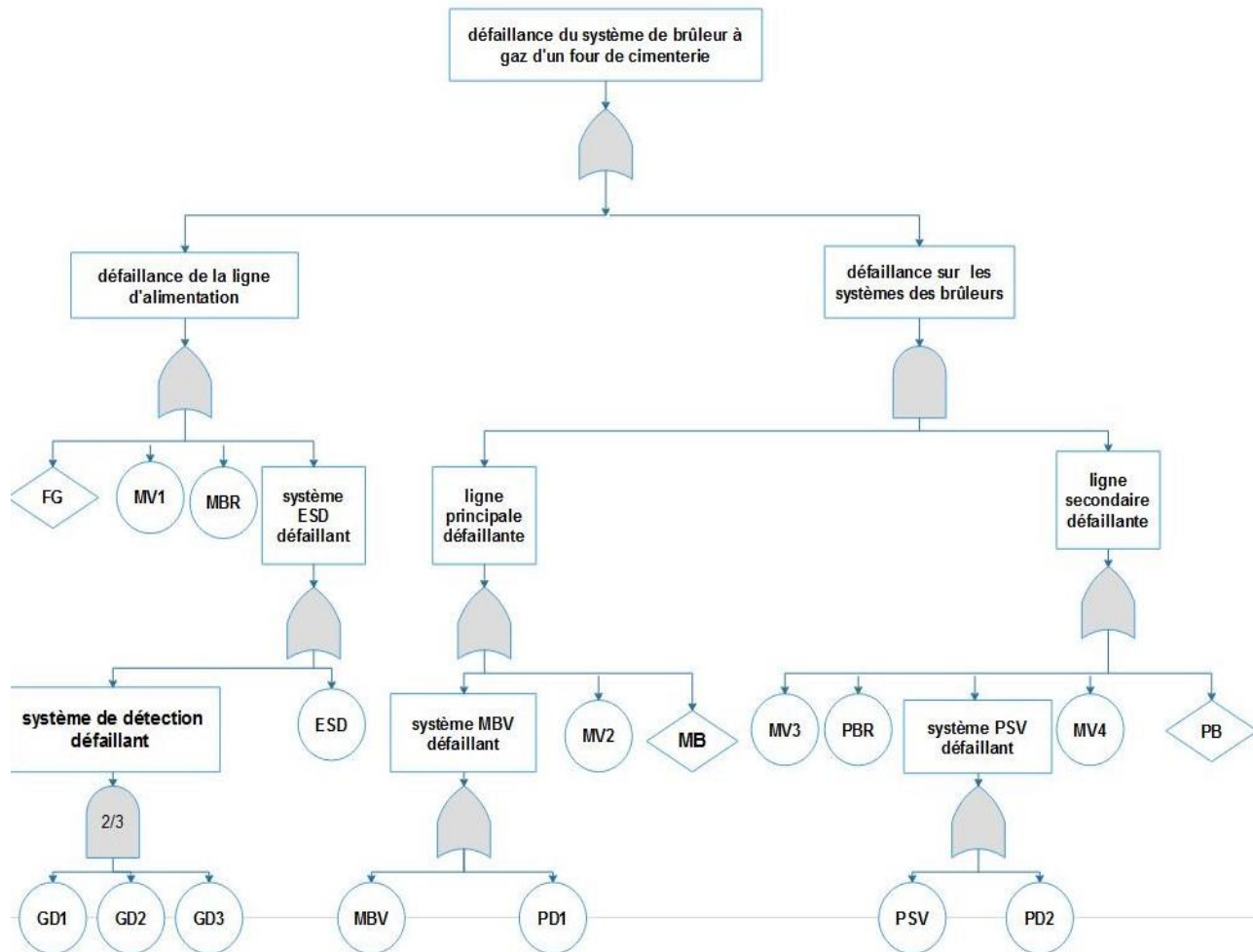


Figure IV.4 : Arbre de défaillance du système de brûleur d'un four de cimenterie

FG: système d'alimentation en gaz défaillant.

MV1: vanne manuelle 1 bloquée fermée.

MV2: vanne manuelle 2 bloquée fermée.

MV3: vanne manuelle 3 bloquée fermée.

MV4: vanne manuelle 4 bloquée fermée.

MBR: vanne de régulation principale bloquée fermée.

ESD: vanne d'arrêt d'urgence bloquée fermée.

DP1/DP2: détecteurs de pression défaillants.

Chapitre IV: L'application des méthodes AMDEC et AdD

DG1/DG2/DG3: détecteurs de gaz défaillants.

MBV: vanne de brûleur principale bloquée fermée.

PBR: vanne de régulation brûleur pilote bloquée fermée.

MB: brûleur principale défaillant.

PB: brûleur pilote défaillant.

PSV: vanne secondaire de pilote bloquée fermée.

La structure de l'arbre de défaillance représente tous les modes de défaillance des équipements composant le système de brûleur connectés entre eux à travers des portes logiques, en analysant l'arbre on obtient 29 coupes minimales où 24 coupes minimales sont d'ordre 2 avec 4 coupes d'ordre 1 et 1 d'ordre 3. Ces coupes doivent être prises en considération pour qu'elles ne soient pas les principaux composants qui contribuent le plus à l'indisponibilité du système.

II.4 Analyse quantitative par arbre de défaillance

Afin d'établir une analyse quantitative par arbre de défaillance une large recherche des données a été faite à partir des experts qui travaillent au niveau de la cimenterie (voir tableau IV.7), ces données présentées dans le tableau ci-dessous qui représente le taux de défaillance, le temps moyen de réparation MTTR ou bien des probabilités d'occurrence nous ont permis d'obtenir les probabilités de l'infirmité et de l'indisponibilité du système dans un intervalle de temps de simulation = à 200h, le temps où l'indisponibilité converge vers la valeur asymptotique :

$$\lambda / \lambda + \mu$$

II.4.1 tableau des résultats principaux

Tableau IV.7: les données utilisées

	MV1 MV2 MV3 MV4	MBR	GD1 GD2	MBV	PD1 PD2	PSV	PBR	ESD
Taux de défaillance	3,05 E-06	5,51 E-06	6,4 E-07	5,51 E-06	4,2 E-07	5,51 E-06	5,51 E-06	5,51 E-06
MTTR	17	27	4,2	27	5	27	27	27

Chapitre IV: L'application des méthodes AMDEC et AdD

Tableau IV.8: les résultats principaux

Equipements	Infiabilité	Indisponibilité	Indisponibilité moyenne
Brûleur	0,0003493	0,002812	0,0003038
2/3 système de détection	6,526 E-15	1,341 E-13	6,526 E-15
Ligne d'alimentation	0,0003491	0,00281	0,0003037
Ligne principale	0,0002845	0,001794	0,0002175
Ligne secondaire	0,0004849	0,003502	0,000393
Système ESD	0,0001487	0,001101	0,0001282
Système MBV	0,0002326	0,001185	0,0001702
Système PSV	0,0002326	0,001185	0,0001702
Système des brûleurs	1,379 E-7	1,468 E-6	9,224 E-8

Les résultats résumés dans le tableau en haut représentent les données d'infiabilité ainsi que de l'indisponibilité de chaque sous système ainsi que du système on peut remarquer à travers les résultats que la ligne d'alimentation principale et secondaire sont les sous systèmes qui contribuent le plus à l'indisponibilité du système et cela est dû à la fiabilité des équipements qui composent ces deux sous systèmes et que le sous système de détection est le plus fiable parce qu'il travaille avec un système de vote de deux détecteurs sur trois.

On a utilisé la loi exponentielle et la loi constante en fiabilité.

III.4.2 Les courbes "L'indisponibilité, et l'infiabilité" du système

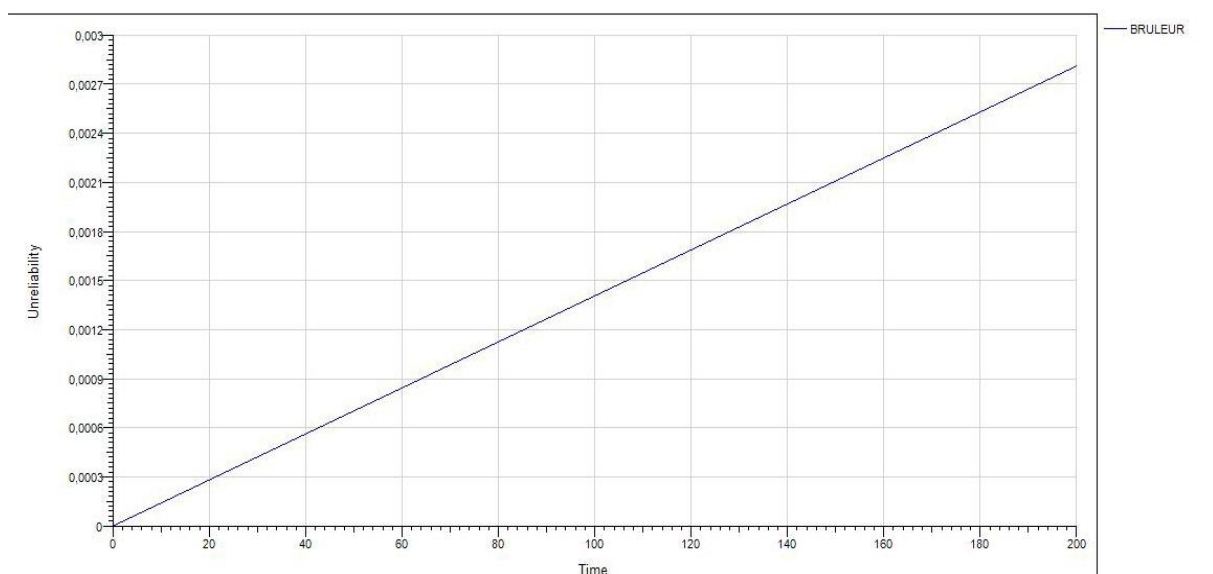


Figure IV.5: courbe de l'infiabilité du Brûleur.

Chapitre IV: L'application des méthodes AMDEC et Add

On remarque que l'infiabilité (Unreliability) est strictement croissante avec le temps, et cela est du parce que chaque système sa fiabilité diminue après l'utilisation même si le système est réparable.

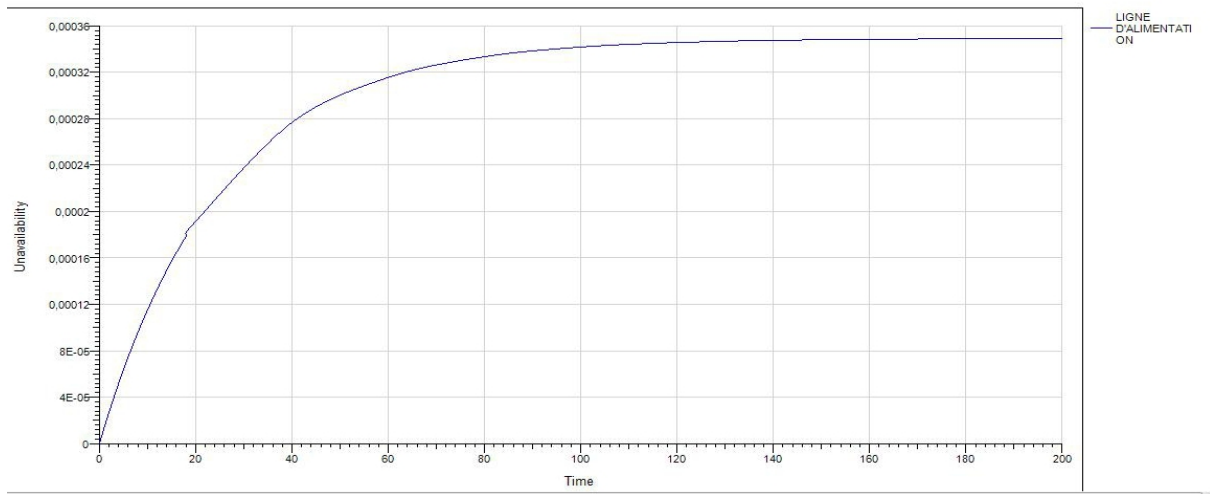


Figure IV.6: courbe de l'indisponibilité de la ligne d'alimentation.

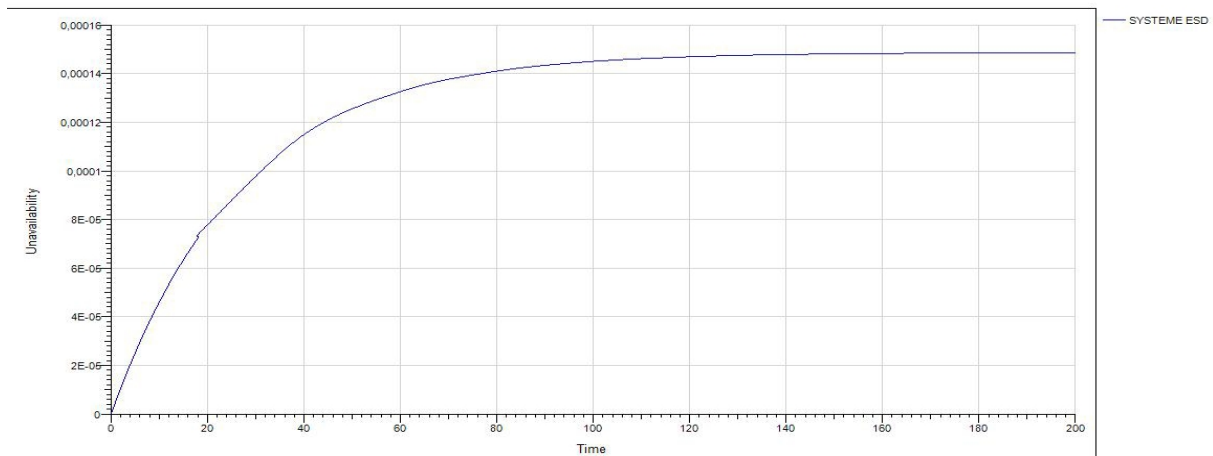


Figure IV.7: courbe de l'indisponibilité du système ESD.

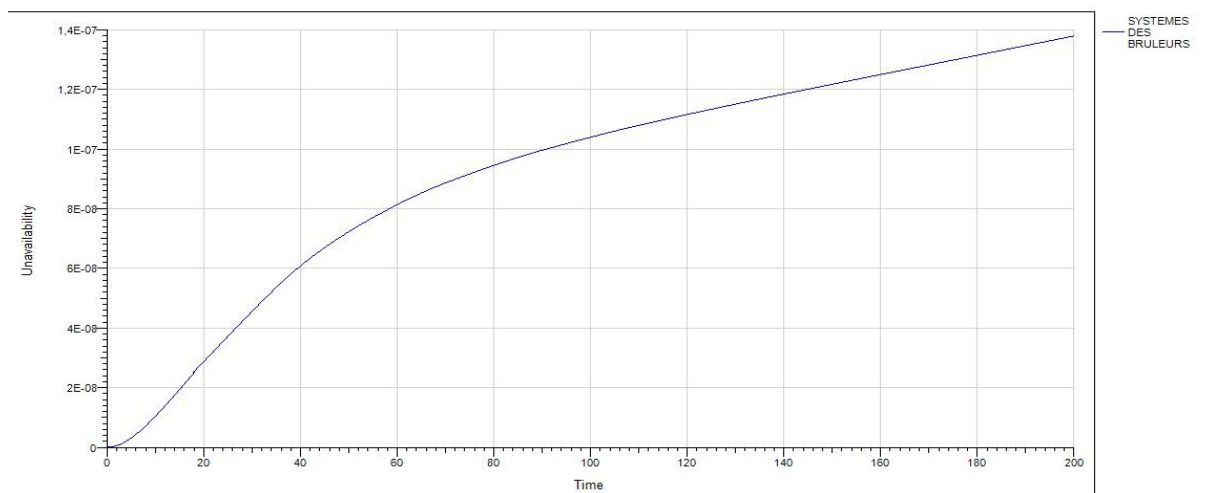


Figure IV.8: courbe de l'indisponibilité du système des brûleurs.

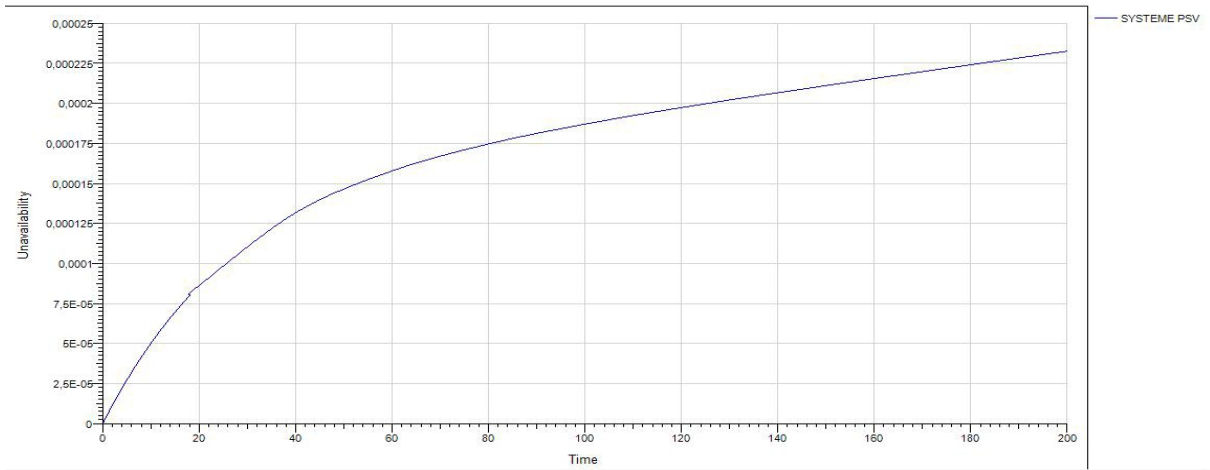


Figure IV.9: courbe de l'indisponibilité du système PSV.

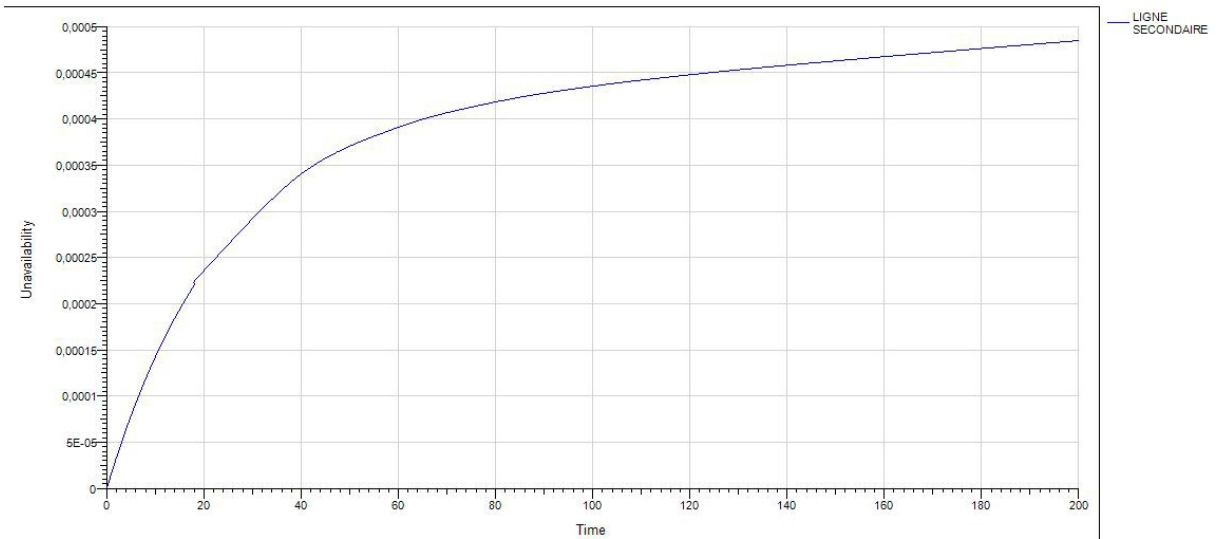


Figure IV.10: courbe de l'indisponibilité de la ligne secondaire.

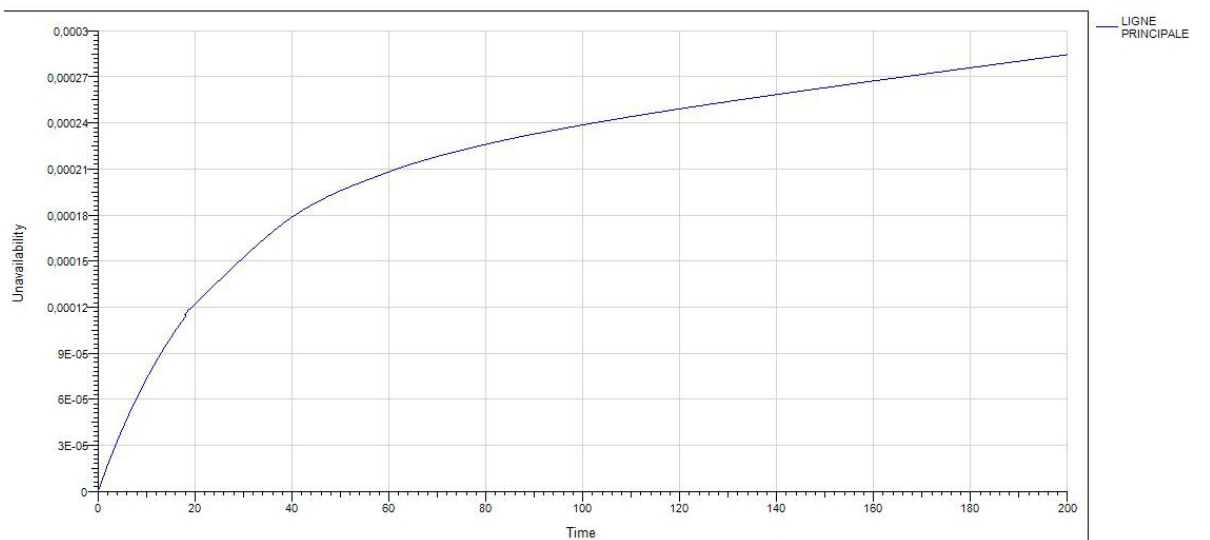


Figure IV.11: courbe de l'indisponibilité de la ligne principale.

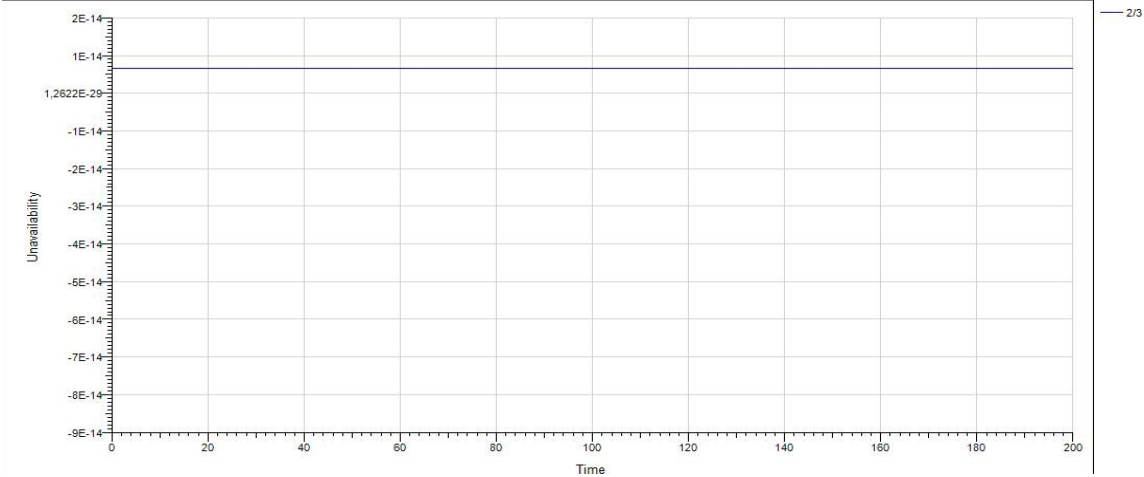


Figure IV.12: courbe de l'indisponibilité du système de détection.

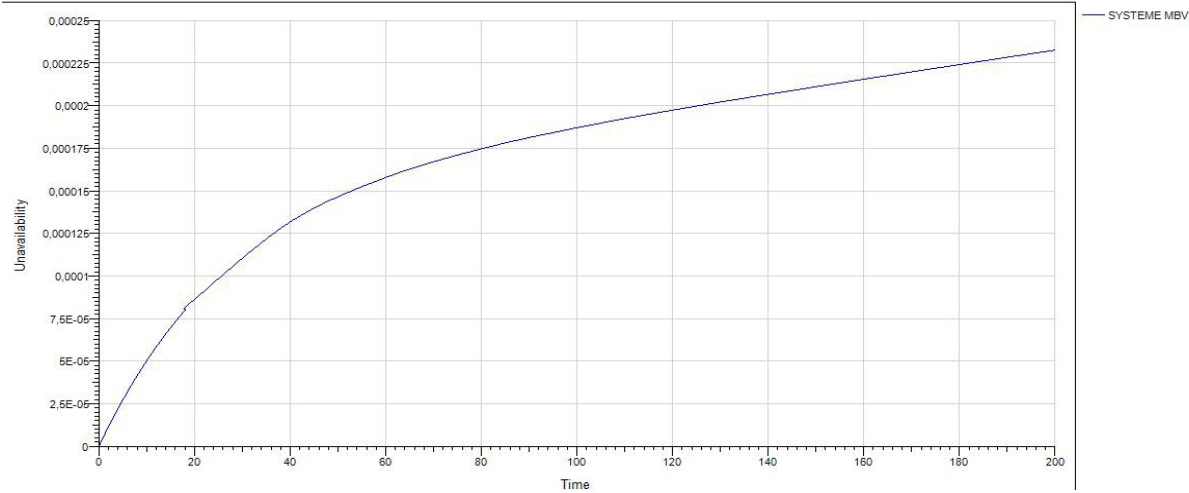


Figure IV.13: courbe de l'indisponibilité du système MBV.

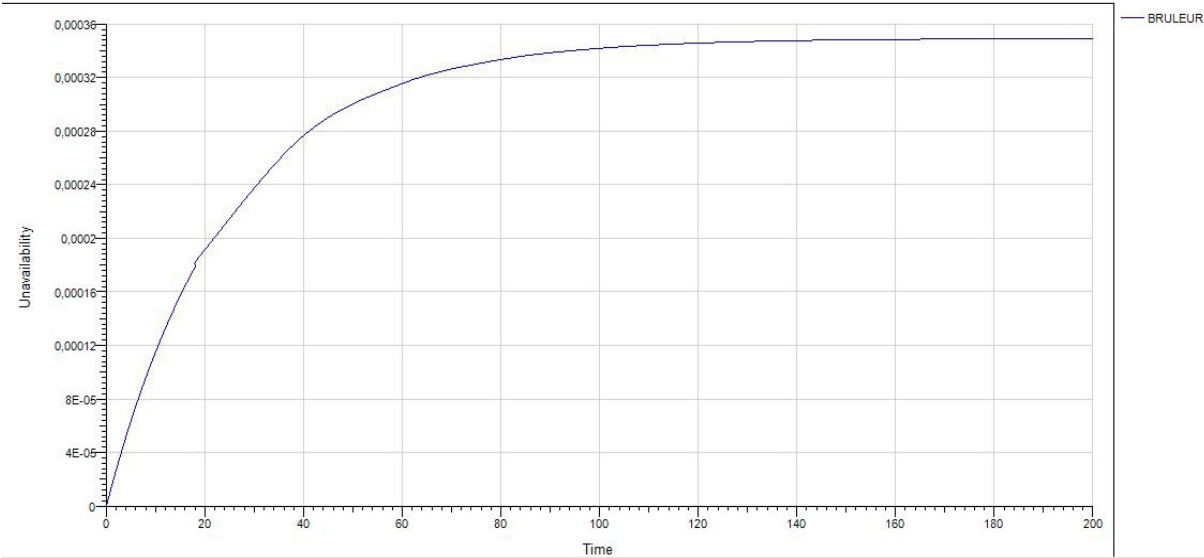


Figure IV.14: courbe de l'indisponibilité du brûleur.

Chapitre IV: L'application des méthodes AMDEC et Add

On remarque que l'indisponibilité du brûleur (unavailability) est croissante au début, après $t=140h$ elle devient constante vers l'indisponibilité asymptotique.

A travers les courbes présentés en haut on peut distinguer que chaque système représente une indisponibilité croissante dans le temps jusqu'à un seuil où l'indisponibilité devient constante et cette valeur représente l'indisponibilité à l'infini (valeur asymptotique) cette intervalle où l'indisponibilité deviens constante est dû suite à la maintenance que reçoit chaque équipement durant son fonctionnement après la détection de la panne par contre même si les équipements sont maintenus, la fiabilité continue de diminuer parce que la fiabilité ne dépend pas de la maintenance par rapport à l'indisponibilité.

II.4.3 Facteur d'importance de diagnostic DIF Fussel-Vesely:

Suite aux résultats d'indisponibilités obtenues, une étude détaillée par facteur d'importance a été requise pour un diagnostic détaillé du système et de voir quel équipement soit en panne sachant que le système est en panne, ce facteur nous a permis de voir par chaque coupe minimale les équipements qui tombent en panne si le système est en panne, autrement dit les équipements du système sont liés au système de détection confirme une fausse présence de gaz, le système brûleur devient indisponible suite à la fermeture des vannes d'arrêt d'urgence ESD d'où on constate que si le DIF des détecteurs est de 1, le système est indisponible on peut voir aussi que dans le système ESD même si le système de détection fonctionne correctement mais si les DIF des ESD représente 1 le système devient indisponible.

Tableau IV.9: Facteur d'importance DIF

Facteur d'importance Fussel-vesely DIF				
Brûleur	Ligne d'alimentation: 0,9996		Système des brûleurs: 0,000395	
2/3 système de détection	GD1: 1		GD2: 1	GD3: 1
Ligne d'alimentation	Système ESD: 0,4258	MBR: 0,4258	MV1: 0,1485	FG : 0
Ligne principale	Système MBV: 0,8178		MV2: 0,1822	MB: 0
Ligne secondaire	Système PSV: 0,4797	PBR: 0,3065	MV4: 0,1069	MV3: 0,1069 PB: 0
Système ESD	ESD: 1		2/3* : 4,39 E-11	
Système MBV	MBV: 0,639		PD1: 0,361	
Système PSV	PSV: 0,639		PD2: 0,361	
Système des brûleurs	Ligne secondaire : 1		Ligne principale: 1	

II.5 Synthèse

L'analyse par facteur d'importance probabiliste joue un rôle très important pour prendre les décisions adéquates notamment sur l'optimisation des performances du design. Par contre, c'est toute une procédure de calcul de tous les équipements du système. Certains équipements présentent un très haut niveau de fiabilité mais leurs défaillances peuvent aussi être néfastes sur la disponibilité du système.

D'après le facteur diagnostic DIF on a identifié les éléments les plus influents du système, qui sont : la ligne d'alimentation principale qui provoque le dysfonctionnement du système en cas de panne de l'un de ses composants ; et les trois détecteurs (GD1, GD2, GD3) qui peut causer la fermeture de la vanne ESD.

III. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons établi dans une première partie une analyse fonctionnelle du fours rotatif qui nous a permis de mieux comprendre le fonctionnement de notre système étudié d'où nous facilité a mieux identifie les défaillance qui peuvent être un potentiel danger pour le fonctionnement du four, ensuite nous avent préparer une grille d'évaluation de la criticité en 3 dimension (Fréquence x Gravité x Détection) de 5X5 niveaux avant d'avoir présenté la démarche de la méthode d'AMDEC qui nous a permis d'analyser les différents risques de façon systématique et définir les modes de défaillances ainsi les causes et les effets des composants du four au niveau de la cimenterie. En déterminant la zone de chaque défaillance selon la matrice de criticité présentée précédemment.

Ensuite, nous avons hiérarchisé les défaillances les plus critiques pour le fonctionnement du système en utilisant le diagramme de Pareto, ce qui nous a permis de définir les interventions nécessaires par ordre de priorité et les actions correctives recommandés de chaque élément du système selon un plan d'intervention préventive prédéfinie.

Dans une deuxième partie, nous avons fait appel à la méthode AdD pour renforcer la pertinence de notre analyse et étudier le sous-système le plus critique qui est le brûleur dans le cadre de son infaillibilité, et indisponibilité, des coupes minimales et des facteurs d'importances ont été déterminés afin de déterminer les éléments les plus influents du système.

Ces méthodes nous ont permis de proposer quelques recommandations pour une optimisation du système adéquate afin de réduire l'apparition d'anomalies et de pannes réplétives des différents composants du four et enfin d'augmenter par la suite sa fiabilité et sa disponibilité dans le futur.

Conclusion générale

Ce projet de fin d'étude de master sécurité industrielle et environnement a fait l'objet de présenter l'industrie de la cimenterie avec ces différents procédés et équipements, une description des différents types de fours installés dans la cimenterie et surtout le four rotatif.

Une définition sur le concept de la sûreté de fonctionnement ainsi que une description détaillée de toutes les méthodes d'analyse des risques qualitative et quantitative a été établie.

L'application de ces différentes méthodes sur un cas pratique d'un four rotatif de la cimenterie LCO a montré que le four est considéré comme le système le plus critique dans la fabrication du ciment, alors que sa défaillance entraîne un arrêt de la production ; ces études nous poussent à analyser les risques qui en résultent en utilisant la méthode semi-quantitative AMDEC pour déterminer les modes de défaillance des composants et de sélectionner les plus indésirables pour le fonctionnement du système concerné en vue de minimiser les défaillances probables rencontrées et augmenter la disponibilité du four en proposant des actions préventives.

Cette étude a été réalisée sur les anomalies les plus récurrentes du four rotatif de LCO à partir d'un retour d'expérience établi à partir des demandes de travaux « DT » et demandes d'inspection « DI » autrement dit l'ensemble d'action de maintenance préventive et correctives effectuées sur cet élément depuis son installation sur site.

L'analyse AMDEC nous a permis de relever les problèmes critiques afin de diminuer leur criticité. Nous avons traité les 8 problèmes critiques à savoir :

- Bandage: Système de détection du glissement du bandage;
- Virole: Le contrôle d'ovalité;
- Briques: diminué sa criticité, mais une étude d'ordre process pourrait offrir des solutions efficaces à ce problème;
- Galets: diminuer la probabilité de défaillance en augmentant le diamètre de l'arbre;
- butée hydraulique: minimiser la probabilité de rupture des vis, ainsi, de performer la fiabilité de la butée par le changement de conception (diamètre des vis plus grand);
- Joints: augmentera la durée de vie des plaques et résisteront mieux à l'usure;

À l'issue de cette analyse, et en vue de ce qu'on a constaté lors du déroulement de notre étude, qui avait pour but de quantifier et qualifier les effets des défaillances enregistrées sur les composants du four, pour en fin influencer sa sûreté de fonctionnement à travers les méthodes utilisées : AMDEC et AdD, et vu les contraintes rencontrées au cours du diagnostic sur les données techniques relatives aux fours, nous suggérons les points suivants:

- Développer et améliorer les enregistrements des actions de maintenances préventives et correctives, les détailler plus et les hiérarchiser.
- Elaboration des check-lists pour les rapports d'anomalie, les rapports de test pour standardiser le langage du personnel concerné pour faciliter la compréhension

Conclusion générale

d'anomalies et de pouvoir réaliser des économies importantes en termes d'heures de travail perdues.

- Mettre en place le processus de gestion du four conçu auprès du département de sécurité.
- Éviter le suivi des diagnostics à l'aide d'un stylo et d'une feuille de papier car il expose l'usine aux risques associés à la perte de données, la saisie des notes manuscrites dans la base de données de gestion des équipements peut être à l'origine d'inexactitudes, ce qui empêche l'usine d'établir des tendances précises sur l'état des équipements.
- Favoriser la maintenance préventive vu son importance en matière de :
 1. Réduire les coûts d'énergie pour les équipements;
 2. Réduire les temps d'arrêt imprévus;
 3. Réduire les coûts de pièces de rechange;
 4. Réduire l'inventaire de pièces de rechange;
 5. Augmenter la productivité du personnel d'entretien ;
- Créer une interface de communication conviviale pour que l'outil soit exploité et alimenté par l'ensemble du personnel concerné de la maintenance préventive ou corrective.
- Et enfin le point le plus important le four doit avoir la même priorité que la gestion de la production et la gestion de la qualité.

Bibliographie

Bibliographie

[1] <http://musee-moutiers.over-blog.com/2015/07/1-usine-des-ciments-electrofondus-lafarge-de-moutiers.html>

[2] KHOUAN, F.LEBDIRI, Z. «Caractérisation et utilisation de poussières de four de Ciment CKD dans la Stabilisation/Solidification des déchets de l'unit B.C.R BourdjMenaïel Boumerdès».2016

[3] Etapes de la fabrication de ciment, clé5d8828.

[4] HADDAOUI Sabah, « mise en place de la maintenance conditionnelle et améliorative du four rotatif de Holcim Ras El Ma », Maroc, 2015.

[5] BOUKHADRA Zouaoui, « étude et programmation d'une sonde de prélèvement de gaz d'échappement à l'aide d'un automate programmable S7-30 », 2018

[6] EL BAY Hafsa , EL BEQAL Asmae, « Implantation de la démarche TPM au niveau de l'atelier de broyage BK5 », Maroc, 24 Juin 2015.

[7] <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/energies-th4/chaudieres-et-fours-industriels-42209210/fours-industriels-be8842/>, visité 15 avril 2020

[8] isidore jacubowiez, « four industriel, technique d'ingénieur », 10 janvier 1998.

[9] David Degener, « Revue d'Histoire littéraire de la France », 1996.

[10] SCHAEFER H. « Studienreform in der Deutschen Medizin 1953-1959, Medizinische Ausbildung », 1998.

[11] J. Perron, R.T. Bui, « Fours rotatifs, The Canadian Journal of Chemical Engineering, Volume 72 », 1994.

[12] Ferrero Jean-François, « Contribution à l'étude du frottement sec sous faible déplacement: application au four rotatif », Travaux Universitaires - Thèse nouveau doctorat, 1996.

[13] TROYANKIN YU. V., « Méthode d'évaluation de l'effet économique de l'isolation thermique des éléments des fours industriels». 1987.

[14] Y. Bamberger, « Quelles solutions des industriels peuvent-ils apporter aux problèmes énergétiques, Revue de l'Énergie ».

[15] HADDAOUI Sabah, même ouvrage

[16] <https://www.refra.com/fr/Cellulose-et-papier-Applications/>

Bibliographie

- [17] LAAZAAR Kaoutar, « L'optimisation de l'énergie thermique dans le four de la cimenterie Holcim-Fès », Maroc, 2016.
- [18] AOURABI Sarra, « optimisation des pertes d'énergie thermique par les parois au niveau de la ligne de cuisson du four 2 », Maroc, 2015.
- [19] CHENITI Souhil, « influence de la substitution du ciment par la poussière de four de cimenterie (CKD) avec l'ajout des fibres métalliques », 2018
- [20] Robert BASTIER, Alexandre BOCAN, Bernard GILBERT et Alain REGNAULT, « Techniques de l'ingénieur »,
- [21] Documentation LafargeHolcim
- [22] NIAL Mohamed, « caractérisation des paramètres de stabilisation d'une flamme d'un brûleur industriel : application aux fours de cimenteries »,
- [23] BOUBAAYA Hassen, KHAREF Hocine, « caractérisation des paramètres de combustion d'un four industriel : cas de cimenterie de Hammam Dhalaa à M'sila », Algérie, 2017.
- [24] El FADILI ismail, « optimisation des paramètres de la tuyère », Maroc, 2010.
- [25] SELLAMI ILYAS, « Analyse quantitative des risques industriels, Apport des techniques floues et possibilistes », Algérie, 2013.
- [26] SELLAMI ILYAS « même ouvrage ».
- [27] <https://www.onera.fr/sites/default/files/u490/cours.pdf>
- [28] .Ahmed BELLAOUAR, M. A. Salima BELLEUMI, « polycopi FMD », Algérie, 2013.
- [29] Ahmed BELLAOUAR. M. A. Salima BELLEUMI, « même ouvrage ».
- [30] .Ahmed BELLAOUAR. M. A. Salima BELLEUMI, « même ouvrage ».
- [31] <https://cyberzoide.developpez.com/securite/methodes-analyse-risques>
- [32] BOUCHIBA Islam, « Evaluation de dysfonctionnement d'un système par approche bayésienne: cas du système ferroviaire », Maroc, 2013.
- [33] <https://www.academia.edu>
- [34] <https://www.nord.gouv.fr>

Bibliographie

[35] ALI BENNACER Zohra, «étude de fiabilité du poste à poudre ANSUL», Algérie, 2018.

[36] <https://qualite.ooreka.fr/comprendre/amdec>

[37] CHAFAI mahfoud said, « reliability assessment and improvement of the electrical, control and instrumentation systems of a cement plant baking process using FMECA», 2009

[38] <https://www.techniques-ingenieur.fr>

[39] GUETARNI Islam Hadj Mohamed, « Analyse Quantitative des Risques : Application sur les Bacs de Stockage», 2019

[40] https://www.arbre-analyste.fr/doc/doku.php/theorie:facteurs_importance

Annexe

Présentation du logiciel Isograph Reliability Workbench

Isograph a été fondée en 1986, il est maintenant l'une des entreprises leaders dans le développement et la fourniture de Logiciels de fiabilité, disponibilité, maintenabilité et sécurité.

Reliability Workbench intégrant FaultTree +est le logiciel leader pour l'analyse de la fiabilité et de la sécurité des systèmes. Il est largement utilisé dans des industries telles que l'aérospatiale, défense, chemin de fer, automobile, pétrole et gaz et énergie nucléaire.

Objectif d'utilisation

Reliability Workbench est intégré pour effectuer des prévisions de fiabilité, d'allocation et de croissance, prédiction de maintenabilité, AMDEC, schéma fonctionnel de fiabilité, analyse d'arbre de défaillances, analyse d'arbre d'évènements.

Réalisation de l'Arbre de Défaillance

Afin de réaliser notre Arbre de Défaillance , il est nécessaire de passer par les étapes suivantes, comme le montrent les figures ci-dessous :

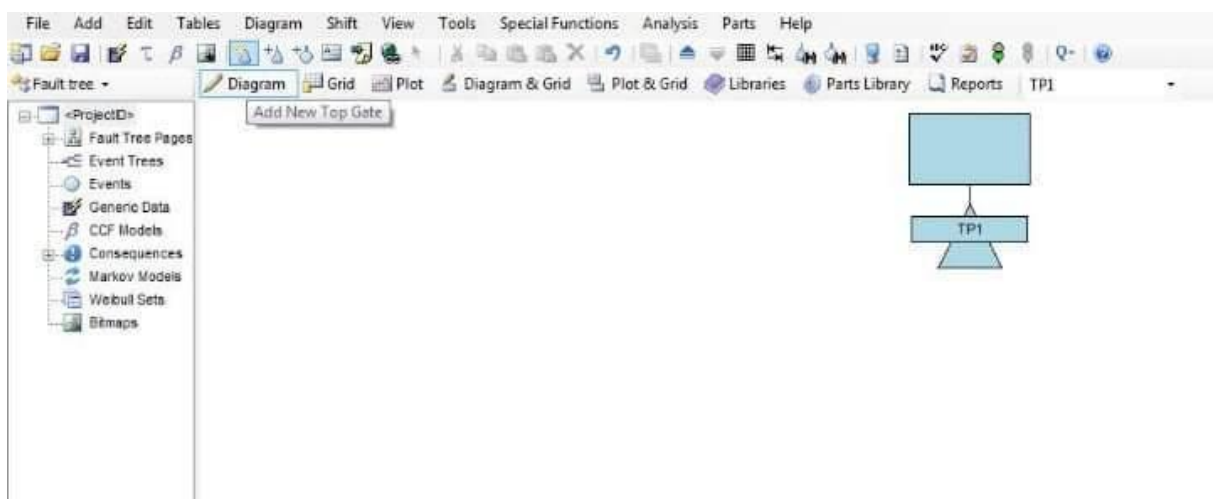


Figure V.1: nouvelle porte supérieure

Annexe

Après avoir ajouté tous les événements et les portes logiques, par un on double-clique sur l'événement afin de préciser ses propriétés « description, type, model de défaillance... »

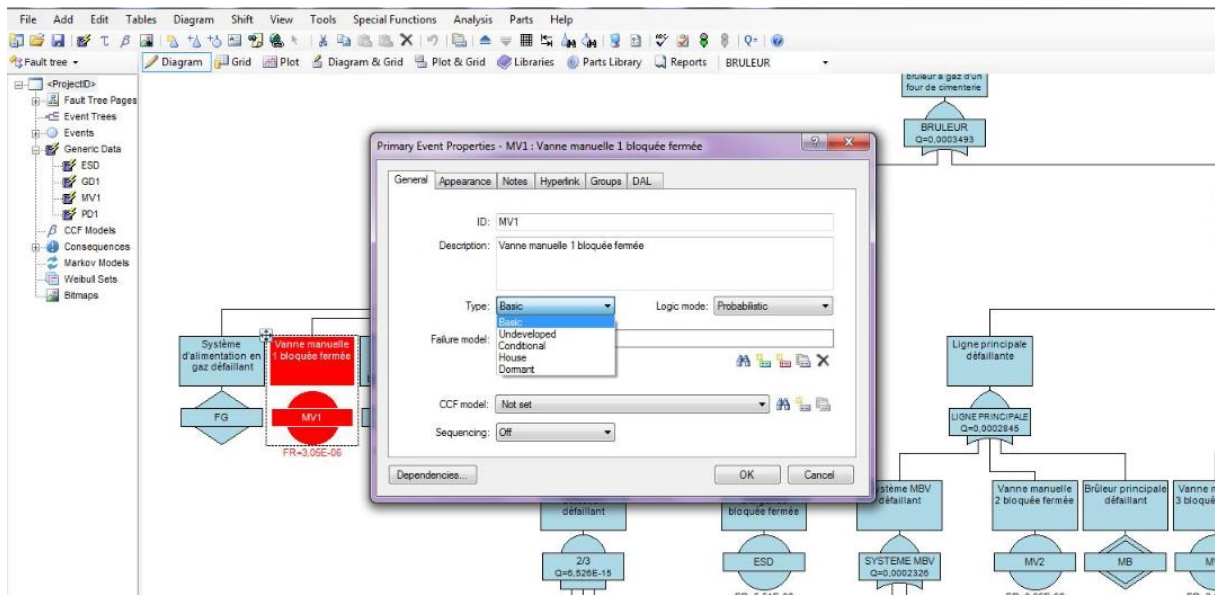
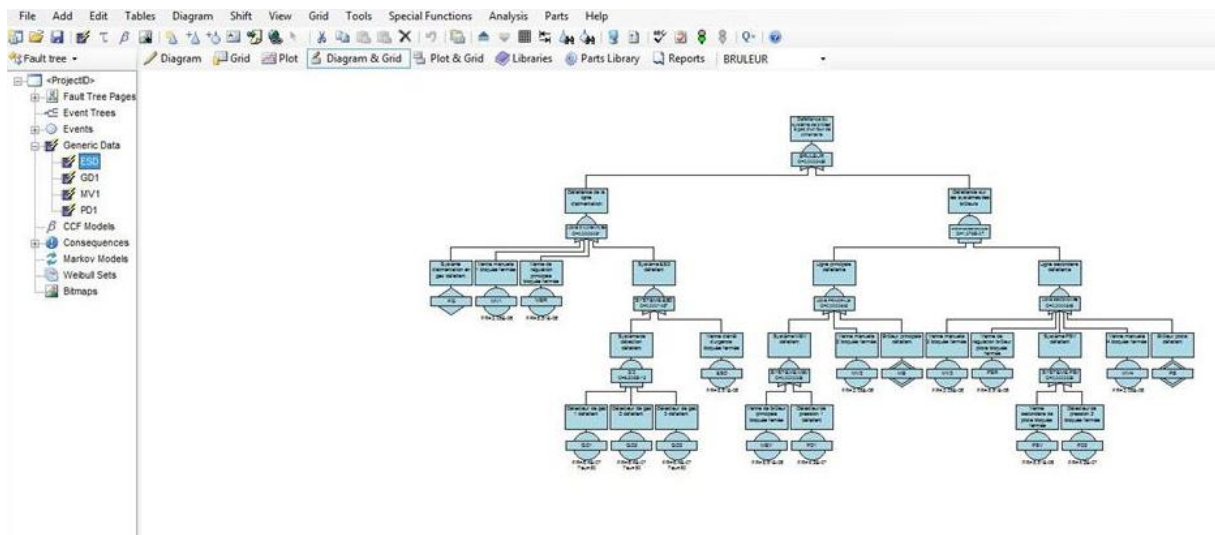


Figure V.2: propriétés de l'événement initial

La figure en bas montre l'Arbre de Défaillance du système étudié : bruleur.



Après avoir fini de dessiner l'arbre, on clique une fois sur l'événement et la fenêtre montrée dans la figure 4 apparaît, puis on entre les valeurs dont on a besoin dans nos calculs, qui sont : MTTR et le taux de défaillance.

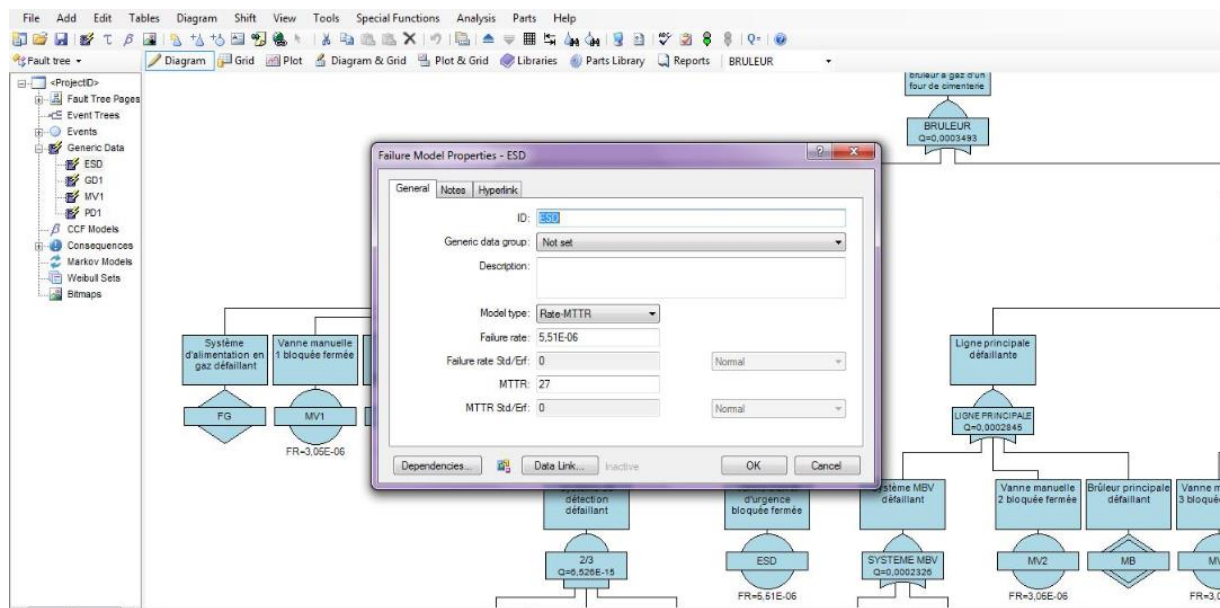


Figure V.4: MTTR et le taux de défaillance

Puis on clique sur: effectuer une analyse « perform analysis », afin de finaliser la réalisation de l'arbre et l'insertion de valeurs.

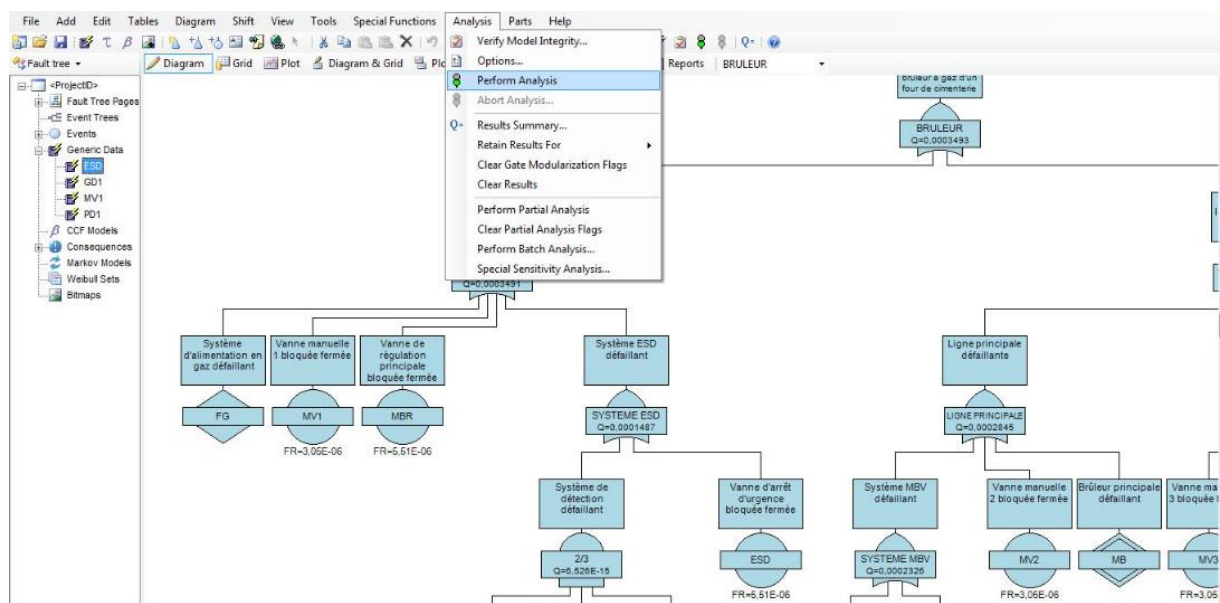


Figure V.5: effectuer une analyse

Après avoir effectué l'analyse on clique sur : résumé des résultats « results summary », afin d'obtenir tous les résultats souhaités, tels que : infaillibilité, indisponibilité, les facteurs d'importance et autres résultats.

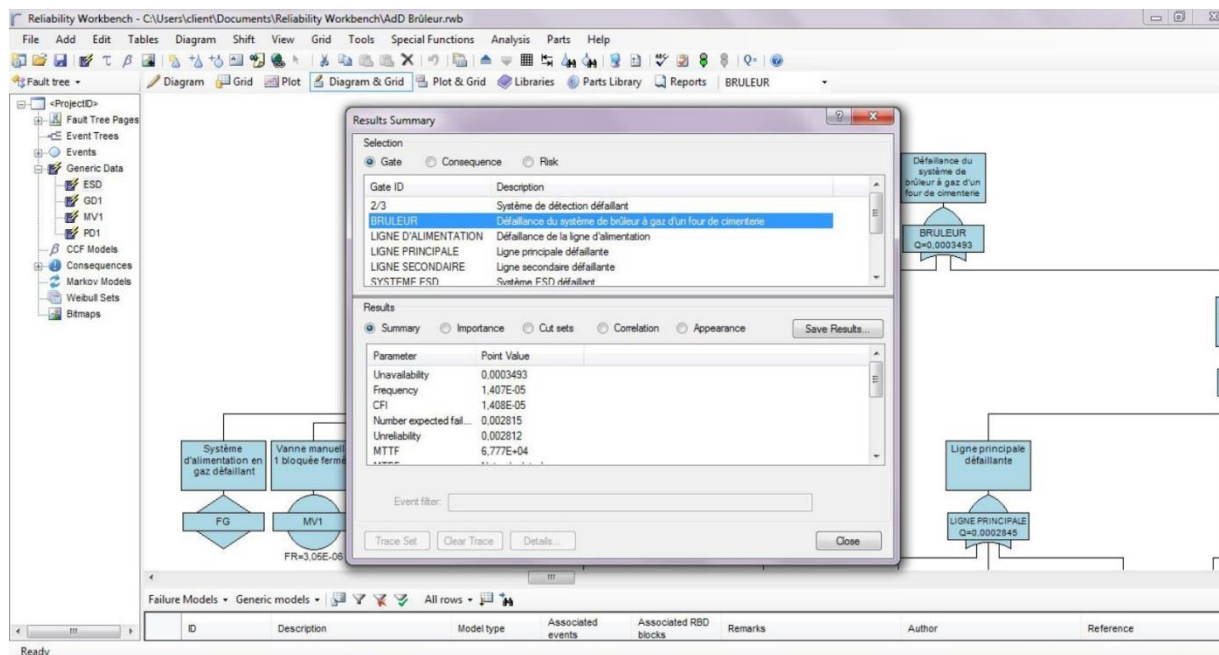


Figure V.6: Les résultats

Puis on clique sur: tracé et grille « plot & grid », afin d'obtenir les graphes d'infiabilité, d'indisponibilité, des facteurs d'importance et d'autres résultats.

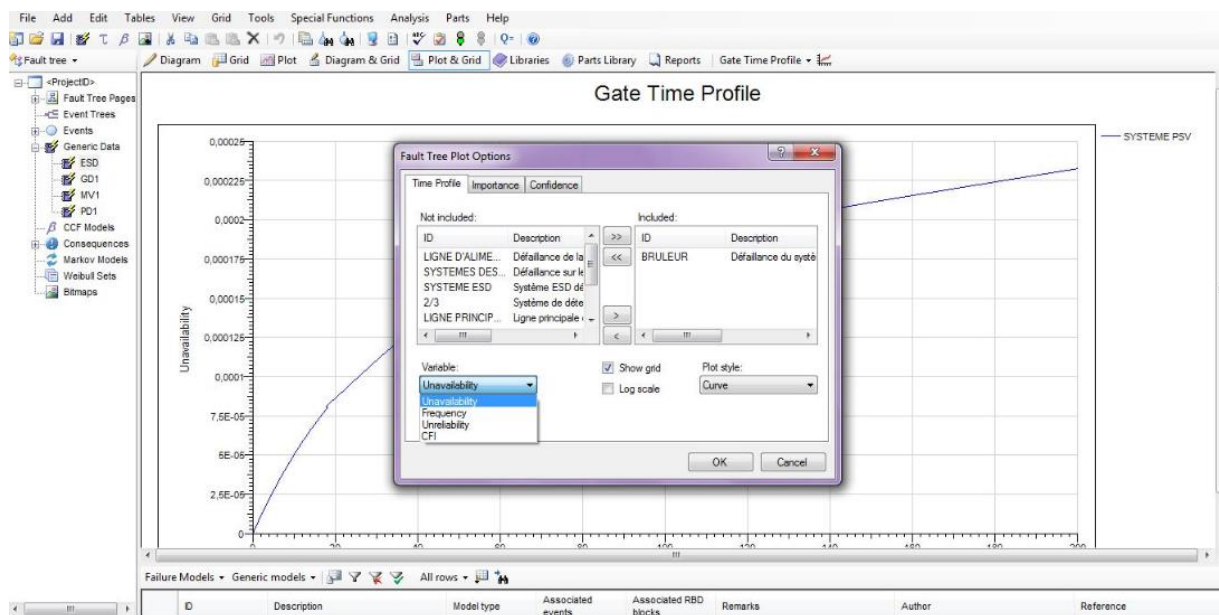


Figure V.7: Le graphe