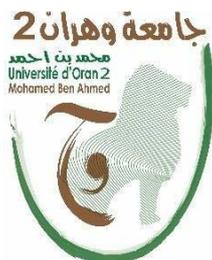


République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université d'Oran 2
Institut de Maintenance et de Sécurité Industrielle

MÉMOIRE

Pour l'obtention du diplôme de Master
En Sécurité Industrielle et Environnement

Étude RAMS d'un incinérateur des déchets dangereux.
Étude de cas de l'incinérateur SDCIM

Présenté et soutenu publiquement par :

Mme BOUZID Hadjer

Mme RACHEDI Fatima Zohra Wissem

Le 25 juin 2023

Nom et Prénoms	Grade	Établissement	Qualité
MECHKEN	MCB	IMSI	Président
GUETARNI Mohamed islam	MCB	IMSI	Encadrant
BENAIMECHE Benyoucef	Ingénieure HSE	Bureau d'études BEEVH	Co-encadrant
BENOMAR Fatima	MAA	IMSI	Examineur

2022-2023

Remerciements de Wissem :

*Tout d'abord, nous remercions notre **Dieu**, le Tout-Puissant, de nous avoir donné la santé et la volonté d'entamer et de terminer ce mémoire.*

*Je voudrais ensuite adresser mes sincères remerciements à **Mr Guetarni Islam Hadj Mohamed** pour son encadrement, son orientation et ses conseils qui nous ont permis de mener à bien ce travail.*

*Je remercie également tous **les professeurs et enseignants** de l'institut de maintenance et de sécurité industrielle qui m'ont fourni les outils nécessaires à la réussite de mes études universitaires.*

*Un remerciement spécial à l'équipe **B.E.EV.H** « le bureau d'étude environnement et hydraulique », pour leur aide et leur soutien.*

*Je remercie ensuite l'ensemble des **membres du jury** qui m'ont fait l'honneur d'étudier attentivement mon travail.*

*Je tiens également à exprimer mes sincères remerciements à ma binôme **Bouzid Hadjer**. Sa collaboration, son soutien et son travail en équipe ont été d'une grande valeur tout au long de ce projet. Sa contribution a été essentielle pour atteindre nos objectifs communs.*

*Enfin, mes remerciements s'adressent à **ma famille et mes amis**, pour leur soutien sans faille et leurs encouragements tout au long de la réalisation de ce mémoire, ainsi qu'à toutes les personnes qui nous ont aidés à réaliser ce travail.*

Remerciements de Hadjer :

*Tout d'abord nous remercions **Dieu** pour nous avoir guidés vers le Chemin de la lumière et du savoir, pour nous avoir donné le courage et la Volonté afin de pouvoir réaliser ce travail.*

*Je tiens à remercier également notre encadrant **Mr.GUETARNI Islam Hadj Mohamed** de nous avoir apportée une aide précieuse, on lui exprime notre gratitude pour sa grande disponibilité ainsi que pour sa compréhension, la qualité de son enseignement, ses conseils et son intérêt et ces encouragements.*

*Je remercie tout l'ensemble de l'université **MOHAMED BEN AHMED (ORAN 2)** précisément notre **INSTITUT DE MAINTENANCCE ET SECURITE INDUSTRIELLE** pour avoir eu la Patience de répondre à mes innombrables questions et d'être une part de la réussite de mes études universitaires.*

*Je remercie aussi l'ensemble des enseignants de département **SIE**.*

Je remercie aussi tous les membres du jury qui ont accepté de juger ce travail.

*Je remercie ma binome **RACHEDI Fatima Zohra Wissem** d'être ensemble dans ce merveilleux travail cœur et âme, d'être toujours là pour moi avec plein d'encouragement et de soutien sans oublier sa famille et leurs accueil.*

*Enfin, mes remerciements s'adressent à **ma famille** pour leur soutien sans faille et leurs encouragements tout au long de la réalisation de ce mémoire.*

***Mes Amis** ceux et celles qui nous ont apporté leur soutien et qui m'ont aidé de près ou de loin pour l'achèvement de ce projet sincère reconnaissance.*

DÉDICACES

Je tiens à dédier cet humble travail :

*À ma source de volonté, de courage mon très cher père **MOHAMMED***

*À la plus belle créature que Dieu a créée sur terre, ma tendre mère **BEN DIDA EL ABED KHEIRA
HASNIA***

*À ma grande sœur **Dounia** et sa petite famille.*

*À mon grand frère **Taher Mustapha***

*À ma jumelle : **Sara***

*À la mémoire de **ma grande mère Allah Yerahmhom,***

*À mes meilleurs amis : **Wissem, Asma, Achwak, Djihene, Maroua, Houda, Douaa, Ahlem Ines, Loubna,
Nadger, Marwa, Yacine, Hakim, Abderrezak.***

*À mes collègues de classe, Aux personnes que j'ai pu rencontrer et passer de bons moments durant ces cinq
années,*

À tous ceux qui, par un mot, m'ont donné la force de continuer

Tous ceux qui m'aiment et que j'aime.

HADJER.

DÉDICACES

Je dédie ce modeste travail

*À mes chers parents **Rachedi Abd El Hamid Et Tordjmane Bedra** qui sont la source de ma réussite,*

*À ma sœur **Amel** et mon frère **Mohamed Nadir,***

*A la mémoire de **ma grand-mère et mon grand-père Allah Yerahmhom,***

*À mes amis les plus proches : **Hadger, Djihene, Asma, Douaa, Ahlem, Sara, Imene, Chahinez, Bouchra,
Amira, Marwa, Nadjjet, Loubna, Iness, Rachid, Hakim, Yacine,***

*Au club scientifique **BASMAT-MUHANDIS,***

*À mes collègues de classe, Aux personnes que j'ai pu rencontrer et passer de bons moments durant ces cinq
années,*

*À tous les membres du personnel de l'université pour leur dévouement, leur engagement et leur contribution
inestimable à ma formation académique.*

WISSEM.

RÉSUMÉ

Ce mémoire présente une étude sur la fiabilité, la disponibilité, la maintenabilité et la sécurité (FMDS) d'un système d'incinération. L'incinération est couramment utilisée pour la gestion des déchets, mais présente des risques potentiels pour l'environnement et la santé publique. L'évaluation de la performance et de la sûreté de fonctionnement du système d'incinération est donc essentielle pour minimiser ces risques.

L'étude comprend une analyse AMDEC pour identifier les modes de défaillance les plus critiques du système, un diagramme de Pareto pour identifier les principales causes de défaillance, et une Analyse des Causes de Défaillance (ADD) pour comprendre en détail les causes racines des défaillances. Les résultats de l'étude fournissent des recommandations pratiques pour améliorer la performance et la sûreté de fonctionnement du système d'incinération, ce qui contribue à une gestion plus efficace des déchets et à une réduction des risques environnementaux et sanitaires.

Mot clés: *Incinérateur, Déchets, FMDS, AMDEC, ADD.*

ABSTRACT

This project presents a reliability, maintainability, availability, and safety (RAMS) Study. This study is applied to incinerator systems one of the commonly used waste management, however, it presents potential risks to the environment and public health. For this reason, assessing the performance and operational safety of the incineration system is therefore essential to minimize these risks.

This master project includes a presentation of the FMEA analysis to identify the system's most critical failure modes, a Pareto chart to identify the main causes of failure, and a Fault Tree Analysis (FTA) to understand in detail the root causes of failures. The results of the study provide practical recommendations for improving the performance and operational safety of the incineration system, contributing to more efficient waste management and reduced environmental and health risks.

KEYWORDS: *Incinerator, Waste, RAMS, FMECA, FTA.*

ملخص

يقدم هذا الموجز دراسة حول موثوقية نظام الحرق وإمكانية صيانتها وتوافره وسلامته FMDS. يُستخدم الحرق بشكل شائع لإدارة النفايات ولكنه يشكل مخاطر محتملة على البيئة والصحة العامة. لذلك فإن تقديم أداء وسلامة نظام الحرق ضروري لتقليل هذه المخاطر إلى أدنى حد. تضمن الدراسة تحليل لتحديد أنماط الفشل الأكثر خطورة في النظام، ومخطط باريتو لتحديد الأسباب الرئيسية للفشل، وتحليل أسباب الفشل لفهم الأسباب الجذرية للفشل بالتفصيل. تقدم نتائج الدراسات توصيات عملية لتحسين أداء وسلامة نظام الحرق والمساهمة في إدارة النفايات بشكل أكثر كفاءة والحد من المخاطر البيئية والصحية. الكلمات الرئيسية: محرقة، نفايات

LISTE DES ABRÉVIATIONS

ERSEI : **É**valuation des **R**isques **S**anitaires des **É**tudes d'**I**mpact

P.C.I : **P**ouvoir **C**alorifique **I**nférieur

DASRI : **D**échets d'**A**ctivités de **S**oins à **R**isques **I**nfectieux

MIOM : Les **M**âchefers d'**I**ncinération d'**O**rdures **M**énagères

REFIOM : **R**ésidus d'**É**puración des **F**umées d'**I**ncinération des **O**rdures **M**énagères

ARIA : **A**nalyse **R**echerche et **I**nformation sur les **A**ccidents

BARPI : **B**ureau d'**A**nalyse des **R**isques et **P**ollutions **I**ndustrielles

AFNOR : **A**ssociation **F**rançaise de **N**ORmalisation

SDCIM : Station d'incinération de déchets industriels et DASRI, de recyclage de plastique et de pneus usagés

SPA : Société Par Actions

SEP : Société Européenne de Propulsion.

CdCF : Cahier des Charges Fonctionnel.

APTE : **A**Pplication aux **T**echniques d'**E**ntreprise

ADE : **A**rbre **D**'Événement

ADD : **A**rbre **D**e **D**éfaillance

FCA : **F**ailure **C**ause **A**nalysis

AMDE : **A**nalyse des **M**odes de **D**éfaillance et de leurs **E**ffets

FMEA: **F**ailure **M**ode and **E**ffects **A**nalysis.

AMDEC : **A**nalyse des **M**odes de **D**éfaillance et de leurs **E**ffets et leurs **C**riticité

FMECA: **F**ailure **M**ode **E**ffects and **C**riticality **A**nalysis.

FDMS : **F**iabilité, **D**isponibilité, **M**aintenabilité et **S**écurité

HAZOP : **H**azard and **O**perability

APR : **A**nalyses **P**réliminaire des **R**isques

FAST : **F**onction **A**nalysis **S**ystem **T**echnique

MDT : (**M**ean **D**awn **T**ime) Durée moyenne d'indisponibilité

MTBF : (**M**ean **T**ime **B**etween **F**ailure) Durée moyenne entre deux défaillances consécutives d'une entité réparée.

MTTF : (**M**ean **T**ime **T**o **F**ailure) Durée moyenne de fonctionnement avant la première défaillance

MTTR : (**M**ean **T**ime **T**o **R**epair) Durée moyenne de réparation

MUT : (**M**ean **U**p **T**ime) Durée moyenne de fonctionnement après réparation

SDF : **S**ûreté **d**e **F**onctionnement

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.

μ **mu** : Taux de réparation constant

G : **G**ravité

D : non **D**étection

F : **F**réquence

C : **C**riticité

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS DE WISSEM :	
REMERCIEMENTS DE HADJER :	
DÉDICACES	
DÉDICACES	
LISTE DES ABRÉVIATIONS.....	
TABLE DES MATIERES.....	
TABLE DES FIGURES.....	
TABLE DES TABLEUX.....	
INTRODUCTION	1
CHAPITRE I : PRÉSENTATION ET GÉNÉRALITÉS.....	2
I. INTRODUCTION.....	2
II. DÉFINITION DES DÉCHETS	2
III. LA CLASSIFICATION DES DÉCHETS.....	3
IV. RÉGLEMENTATION ENVIRONNEMENTALE	4
V. L'INCINÉRATION.....	5
DÉFINITION	5
L'HISTORIQUE D'INCINÉRATEUR.....	5
OBJECTIF DE L'INCINÉRATION DES DÉCHETS	6
PRINCIPE DE L'INCINÉRATION.....	8
DESCRIPTION DU TYPE D'INCINÉRATEUR.....	8
DISPONIBILITÉ DE MESURES À L'ÉMISSION.....	9
PARAMÈTRES DE L'INCINÉRATION.....	10
PRODUITS DE L'INCINÉRATION.....	11
DONNÉES TECHNIQUES SUR L'INCINÉRATEUR.....	12
DESCRIPTION DE PROCÉDÉ D'INCINÉRATION	12
VI. RETOUR D'EXPÉRIENCE ET ACCIDENTOLOGIE	14
INTRODUCTION	14
TYPOLOGIE DES ACCIDENTS	14
CONSÉQUENCE DES ACCIDENTS	15
VII. CONCLUSION.....	16
CHAPITRE II : SÛRETÉ DE FONCTIONNEMENT	18
I. INTRODUCTION.....	18

II.	SÛRETÉ DE FONCTIONNEMENT	18
	POURQUOI RAMS ?	19
	COÛT DE LA SURETÉ DE FONCTIONNEMENT.....	22
	ÉTUDE DES SYSTÈMES	22
	STRUCTURE DU SYSTÈME	23
	ENTRAVE.....	24
	COMPOSANTES DE LA SDF.....	27
	MÉTRIQUES DE LA SÛRETÉ DE FONCTIONNEMENT.....	29
	DÉFAILLANCE	30
	APPROCHE DE LA FIABILITÉ PAR LES PROBABILITÉS.....	32
III.	DÉMARCHES ET MÉTHODES FONDAMENTALES D'UNE APPROCHE SDF.....	33
	MÉTHODES D'ANALYSE DE SURETÉ DE FONCTIONNEMENT.....	33
	ANALYSE FONCTIONNELLE DU SYSTÈME.....	33
	MÉTHODES D'ANALYSE PRÉVISIONNELLE DES RISQUES	34
	MÉTHODES INDUCTIVES/ DÉDUCTIVES.....	34
	MÉTHODES QUALITATIVES/ QUANTITATIVES	34
	MÉTHODES STATIQUES/ DYNAMIQUES.....	34
	LES MÉTHODES ANALYSE DYSFONCTIONNELLE	35
	HAZOP.....	35
	APR	36
	AMDE.....	36
	AMDEC.....	37
	ARBRE DES DÉFAILLANCES	39
IV.	CONCLUSION.....	41
	CHAPITRE III : PRÉSENTATION DE CAS D'ÉTUDE.....	43
I.	INTRODUCTION.....	43
II.	PRÉSENTATION	43
	IDENTIFICATION DU PROMOTEUR	43
	SITUATION ET IMPLANTATION.....	44
	AMÉNAGEMENT DE L'UNITÉ.....	45
III.	PROCÉDÉ D'INCINÉRATION	45
	PROVENANCE ET RÉCEPTION DES DÉCHETS	47
	MODALITÉ DE TRI DES DÉCHETS À INCINÉRER.....	48
	MODALITÉ DE STOCKAGE DES DÉCHETS À INCINÉRER ET LES DÉCHETS ISSUS DE L'INCINÉRATION :	

.....	49
IV. TRAITEMENT PAR INCINÉRATION.....	49
DESCRIPTION DE L'INCINÉRATEUR.....	49
CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES.....	51
LES COMPOSANTS DE SYSTÈME D'INCINÉRATION.....	52
DESCRIPTIF TECHNIQUE DE CHAQUE ÉQUIPEMENT	53
V. CONCLUSION.....	57
CHAPITRE IV : L'APPLICATION DE LA MÉTHODOLOGIE RAMS SUR L'INCINÉRATEUR	59
I. INTRODUCTION.....	59
II. DÉMARCHE DE L'ÉTUDE AMDEC	59
INITIALISATION DE L'ÉTUDE	59
ANALYSE FONCTIONNELLE (MÉTHODE FAST)	60
ANALYSE DES DÉFAILLANCES	63
ANALYSE AMDEC	64
CALCUL DE CRITICITÉ	74
ANALYSE DE DIAGRAMME DE PARETO	75
SYNTHÈSE	76
III. DÉMARCHE DE L'ÉTUDE ADD	76
ELABORATION DE L'ANALYSE PAR L'ADD	76
ANALYSE QUANTITATIVE PAR ARBRE DE DÉFAILLANCE	79
LES TABLEAUX DES DONNÉES ET DES RÉSULTATS	80
COURBES DE L'INDISPONIBILITÉ DU SYSTÈME	81
FACTEURS D'IMPORTANCES DE DIAGNOSTIC(FUSSEL-VESELY):.....	83
SYNTHÈSE.....	84
RECOMMANDATIONS SUR LES ÉQUIPEMENTS DU SYSTÈME	84
APPLICATION DES RECOMMANDATIONS SUR LE SYSTÈME.....	85
COURBES DE L'INDISPONIBILITÉ DU SYSTÈME	85
SYNTHÈSE.....	87
IV. CONCLUSION.....	87
CONCLUSION GÉNÉRALE	88
BIBLIOGRAPHIE.....	89
ANNEXE	92
ANNEXE A	93
RECENSEMENT DES ACCIDENTS SUR DES INSTALLATIONS SIMILAIRES	93

FICHES ACCIDENTOLOGIES93

TABLE DES FIGURES

Figure n°01 : Première usine allemande d'incinération (Hamburg-Hammerbrook), en 1895 [09]	6
Figure n°02 : Étapes de l'incinération des déchets ménagers [12]	8
Figure n° 03 : Four à rouleaux (à gauche) et four à gradins (à droite) [18]	12
Figure n° 04 : Typologie des accidents survenus dans des stations d'incinération de déchets [20]	15
Figure n° 05 : conséquence des accidents survenus dans des stations d'incinération de déchets [20]	16
Figure n° 06 : Modèle de cycle FMDS [22]	21
Figure n° 08 : Arbre de la SDF [21]	24
Figure n° 09. Enchaînement et propagation des erreurs [21]	24
Figure n°10 : La fiabilité décroissante avec le temps [27]	28
Figure n°11 : Métriques de la Sûreté de Fonctionnement [27]	29
Figure n°12 : Évolution du taux de défaillance au cours du temps : courbe en baignoire [27]	31
Figure n°13 : Tableau type de la méthode HAZOP [25]	36
Figure n° 14 : Élaboration de l'ADD [25]	40
Figure n° 15 : Exemple d'une ADD [25]	41
Figure n°16 : Situation et implantation du projet [28]	44
Figure n°17 : Les zones de process [28]	45
Figure n°18 : Processus d'incinération des déchets industriels et DASRI [28].....	46
Figure n°19: Modalité de tri des déchets à incinérer[28].....	48
Figure n°20 : Modalités de stockage de déchets destinés à l'incinération	49
Figure n°21: Modèle 3D de l'incinérateur [26]	50
Figure n°22: Système d'incinération [26]	50
Figure n°23 : Composition de l'équipement d'incinération [26]	52
Figure n°24 : Chargement des déchets [26]	53
Figure n°27 : le cyclone [26]	55
Figure n°28 : le laveur humide [26].....	55
Figure n°29 : dépoussiéreur [26]	56
Figure n°30 : colonne de neutralisation [26]	56
Figure n°31 : Diagramme ABC Pareto	74
Figure n°32 : Arbre de défaillance du système d'incinération par le logiciel Isograph	78
Figure n°33 : les courbes d'indisponibilité du système d'incinération par le logiciel Isograph	82
Figure n°34 : les courbes d'indisponibilité du système d'incinération par le logiciel Isograph	86

TABLE DES TABLEAUX

Tableau n°01 : les avantages et inconvénients de l'incinération [11]	7
Tableau n°02 : Classification des défaillances en fonction des effets [21].....	26
Tableau n°03 : Classification des modes de défaillance [21].....	27
Tableau n°04 : les types de l'AMDEC [24]	37
Tableau n°05 : Identification du promoteur [28].....	43
Tableau n°06 : La liste des déchets à incinérer [28].....	47
Tableau n°07 : Caractéristiques techniques de l'équipement d'incinération [26]	51
Tableau n°08 : Grille de cotation	63
Tableau n°09 : matrice de criticité	64
Tableau n°10 : Tableau AMDEC	64
Tableau n°11 : calculs de criticités cumulées.....	74
Tableau n° 12 : les données utilisées	80
Tableau n° 13 : les résultats principaux.....	81
Tableau n° 14: Facteur d'importance de système	83

INTRODUCTION

La sûreté de fonctionnement est un domaine crucial dans de nombreux secteurs d'activité tels que l'industrie, le transport, l'aérospatiale, l'énergie, la santé, etc. Elle vise à garantir la fiabilité et la sécurité des systèmes complexes, en minimisant les risques d'accidents, de pannes ou de défaillances.

Les incinérateurs sont des installations utilisées pour brûler les déchets afin de les réduire en volume et de les traiter de manière sécurisée. Ils jouent un rôle important dans la gestion des déchets dans de nombreuses régions du monde.

Il convient également de noter que l'utilisation des incinérateurs peut soulever des préoccupations environnementales et de santé publique, notamment en raison des émissions de polluants atmosphériques et de la gestion des cendres résiduelles. Il est donc important de mettre en place des réglementations strictes, des technologies de filtration appropriées et des pratiques de gestion des déchets solides intégrées pour minimiser les impacts négatifs.

Dans ce mémoire, nous nous intéressons à la sûreté de fonctionnement des systèmes industriels, et plus particulièrement à l'analyse de la fiabilité et de la disponibilité d'un incinérateur des déchets. Notre objectif est de proposer une méthode d'évaluation de la sûreté de fonctionnement qui soit adaptée aux caractéristiques et aux contraintes propres de notre système.

Dans un premier temps, nous présenterons les concepts de base de la sûreté de fonctionnement, ainsi que les différentes méthodes d'analyses existantes. Nous mettrons ensuite en évidence les spécificités de notre système, telles que la complexité des équipements, l'interaction entre les différents composants, etc.

Nous proposerons alors une méthode d'évaluation de la sûreté de fonctionnement basée sur une analyse probabiliste. Cette méthode prendra en compte les différents types de défaillances possibles.

Enfin nous appliquerons cette méthode à notre cas d'étude. Nous discuterons également les limites de cette méthode, ainsi que les perspectives d'amélioration pour une analyse plus approfondie de la sûreté de fonctionnement.

CHAPITRE I

PRÉSENTATION ET GÉNÉRALITÉS

CHAPITRE I : PRÉSENTATION ET GÉNÉRALITÉS

I. Introduction

La gestion des déchets est un enjeu majeur pour notre société moderne, où la production de déchets est en augmentation. Dans ce chapitre, nous allons aborder les différentes classifications des déchets qui permettent de déterminer leur nature, leurs origines et leurs dangers, les réglementations encadrant leurs gestions, les méthodes d'élimination par incinération qui consiste à brûler les déchets à très haute température, mais également les retours d'expérience sur les accidents liés à cette méthode d'élimination.

II. Définition des déchets :

1. Définition du dictionnaire : Un déchet est défini selon (Larousse) comme étant des :

- Débris, restes d'aliments qui sont impropres à la consommation ou à l'usage.
- Matériaux rejetés comme n'ayant pas une valeur immédiate ou laissés comme résidus d'un processus ou d'une opération. (On nomme déchets industriels ceux qui ne peuvent ni n'être admis en décharge ni être ramassés avec les ordures ménagères en raison de leur quantité ou de leur toxicité.)
- Produits incombustibles et inutiles du métabolisme des cellules vivantes, destinés soit à être rejetés (gaz carbonique, excréta, urine, sueur, urée, acide urique), soit, chez les végétaux surtout, à être accumulés à l'écart de la circulation générale (latex, oléorésines, alcaloïdes, etc.) [01].

2. Définition économique : Un déchet est défini comme étant une matière ou une entité dont la valeur économique est nulle ou négative, à un moment donné, et dans un lieu donné, pour son détenteur. Le détenteur devrait payer quelqu'un ou faire le travail lui-même pour se débarrasser de cette entité, par opposition à un bien qui a une valeur économique positive et donc c'est le consommateur qui doit payer les frais pour en avoir. Cette définition reste relative tout simplement parce que les déchets des uns peuvent devenir des biens pour d'autres personnes, et même des matières premières secondaires pour d'autres procédés.

3. Définition juridique : nous entendons, par définition juridique, deux conceptions :

- **Une conception subjective :** lorsqu'une personne a la volonté de se débarrasser d'un bien, ce dernier devient un déchet ; lorsqu'il reste dans le territoire du propriétaire, ce déchet lui appartient toujours, et lorsqu'il est déposé sur la voie publique (poubelle par exemple) il appartient à la municipalité.
- **Une conception objective :** selon cette conception, un déchet est tout objet ou tout bien qui nécessite une gestion contrôlée au profit de la santé publique et de l'environnement sans prendre en considération sa valeur économique ni la volonté de son propriétaire de le garder.

4. Définition réglementaire : Dans la réglementation algérienne, un déchet est défini selon *L'article 3 de la loi du 12 décembre 2001* relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets, comme tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation. Et plus généralement toute substance, ou produit et tout bien meuble dont le propriétaire ou le détenteur se défait, projette de se défaire, ou dont il a l'obligation de se défaire ou de l'éliminer [02].

III. La Classification des déchets :

La classification des déchets est un outil pratique qui sert à définir et optimiser leur mode de gestion soit à la source ou bien au niveau du circuit de leur production. Cependant, il existe plusieurs classifications qui dépendent des objectifs recherchés et l'intérêt des informations que nous pouvons extraire d'une classification.

- Selon l'encyclopédie « **les Techniques de l'ingénieur** » nous distinguons six groupes comme suit selon leurs origines (FCQ 1999) :

- **Déchets d'origine biologique** : ils sont définis par le fait que tout cycle de vie produit des métabolites (matière fécale, cadavre...).

- **Déchets d'origine Chimique** : ils sont définis comme tout sous-produit D d'une réaction chimique $A + B \rightarrow C + D$ que nous en n'avons pas l'usage évident et qu'il faut donc gérer.

- **Déchets d'origine technologique** : c'est les rejets inévitables des procédés de production tels que chutes, copeaux, solvants usés, emballage, etc....

- **Déchets d'origine économique** : La durabilité des produits, des objets et des machines a forcément une limite qui conduit, un jour ou l'autre à leur élimination ou leur remplacement.

- **Déchets d'origine écologique** : sont les rejets générés lors des activités de dépollution. Ces derniers nécessitent, eux même, une gestion spécifique.

- **Déchets d'origine accidentelle** : le résultat des inévitables dysfonctionnements des systèmes de production et de consommation.

- En Europe, précisément en France, les déchets sont classés selon leur provenance en 20 catégories comme décrit dans le décret n° 2002-540 du 18 avril 2002 (JO du 20 avril 2002) et codifié dans le décret du 12 octobre 2007 (JO du 16 octobre 2007) du code de l'environnement.
- En Algérie ; nous distinguons trois classes de déchets selon la description de l'article 03 et l'article 05 de la loi de 12 décembre 2001 :
 - **Déchets ménagers et assimilés** y compris les déchets encombrants : tous déchets issus de ménages ainsi que les déchets similaires provenant des activités industrielles commerciales, artisanales et autres qui, par leur nature et leur composition, sont assimilables aux déchets ménagers. Tous déchets issus des ménages, qui en raison de leur caractère volumineux, ne peuvent être collectés dans les mêmes conditions que les déchets ménagers et assimilés.

-Déchets spéciaux y compris les déchets spéciaux dangereux et les déchets des activités de soin : tous déchets issus des activités industrielles, agricoles, de soins, de services et toutes autres activités, qui en raison de leur nature et de la composition des matières qu'ils contiennent, ne peuvent être collectés, transportés et traités dans les mêmes conditions que les déchets ménagers et assimilés et les déchets inertes. Tous déchets spéciaux qui, par leurs constituants ou par les caractéristiques des matières nocives qu'ils contiennent, sont susceptibles de nuire à la santé publique et/ou à l'environnement. Tous déchets issus des activités de diagnostic, de suivi et de traitement préventif ou curatif, dans les domaines de la médecine humaine et vétérinaire.

-Déchets inertes : tous déchets provenant notamment de l'exploitation des carrières, des mines, des travaux de démolition, de construction ou de rénovation, qui ne subissent aucune modification physique, chimique ou biologique lors de leur mise en décharge, et qui ne sont pas contaminés par des substances dangereuses ou autres éléments générateurs de nuisances, susceptibles de nuire à la santé et /ou à l'environnement. [02].

IV. Réglementation environnementale :

- Décret exécutif n° 03-478 du 15 Chaoual 1424 correspondant au 9 décembre 2003 définissant les modalités de gestion des déchets d'activités de soins.
Art. 28. - Les déchets et résidus produits par les installations d'incinération doivent être éliminés conformément aux dispositions de la loi n° 2001-19 du 12 Ramadhan 1422 correspondant au 12 décembre 2001, susvisée.
- La loi n° 01-19 du 12 décembre 2001 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets, exige que les entreprises effectuent un traitement de leurs déchets solides générés par leur activité de production.
_Dans son **article 1**, cette loi expose les modalités de la gestion, de contrôle et de traitement des déchets des industries.
_Dans son **article 2**, l'opération de valorisation consiste à réemployer et à recycler ces déchets. Elle englobe aussi toute action qui a pour but d'obtenir, à partir de ces déchets, des matériaux réutilisables ou de l'énergie.
_Dans son **article 3**, définit l'Élimination des déchets : toutes les opérations de traitement thermique, physico-chimique et biologique, de mise en décharge, d'enfouissement, d'immersion et de stockage des déchets, ainsi que toutes autres opérations ne débouchant pas sur une possibilité de valorisation ou autre utilisation du déchet.
_Dans son **article 11**, La valorisation et/ou l'élimination des déchets doivent s'effectuer dans des conditions conformes aux normes de l'environnement, et ce notamment sans :
Mettre en danger la santé des personnes, des animaux et sans constituer des risques pour les ressources en eau, le sol ou l'air, ni pour la faune et la flore.
Provoquer des inconvénients par le bruit ou les odeurs.
Porter atteinte aux paysages et aux sites présentant un intérêt particulier.

- Le décret exécutif n°06-104 fixant la nomenclature des déchets y compris les déchets spéciaux, classe les déchets dans son annexe II qui détaille la liste des déchets ménagers et assimilés ainsi que les déchets inertes. L'annexe III, par contre, détaille la liste des déchets spéciaux et les déchets spéciaux dangereux [03].

V. L'Incinération

Définition

Incinérer : nom masculin, du latin incinrare : réduit en cendres.

Sigle commun : UIOM (Incinérateur d'Ordures Ménagères).

Un incinérateur est une usine de traitement qui brûle partiellement les déchets en présence d'un excès d'air. De simples fours avec cheminées pour l'extraction des fumées, on est passé à des structures de plus en plus complexes. Au fur et à mesure que les connaissances scientifiques et les réglementations évoluent, différents systèmes de traitement et de contrôle des déchets deviennent progressivement obligatoires. Dans certains cas, une petite fraction de l'énergie générée par l'incinération des déchets peut être utilisée pour produire de l'électricité ou de la chaleur [04].

L'incinération est utilisée comme un traitement pour un éventail très large de déchets. L'incinération en elle-même n'est couramment qu'une partie d'un système complexe de traitement des déchets qui, ensemble, assure une gestion d'ensemble du large éventail de déchets que la société génère [05].

Le but de l'incinération des déchets est de les traiter pour réduire leur volume, et aussi les risques qu'ils peuvent représenter, tout en captant (et donc en concentrant) ou en détruisant des substances potentiellement dangereuses qui sont, ou qui pourraient être rejetées pendant l'incinération. Les procédés d'incinération peuvent aussi être un moyen permettant la récupération du contenu énergétique, minérale ou chimique du déchet [06].

L'Historique d'incinérateur

À la fin du XIXe siècle, l'urbanisation croissante pose de réels problèmes sanitaires notamment au niveau des déchets. De plus, la révolution industrielle modifie la composition des ordures. La part des déchets biologiques est réduite ce qui rend leur exploitation agricole comme engrais beaucoup moins attractive.

Logiquement c'est au cœur de la révolution industrielle qu'est construit le premier four d'incinération d'Alfred Fryer en 1870 à Paddington. Le four est mal ventilé et l'expérience est un échec. Il faut attendre 1877 pour voir un four opérationnel à Manchester. Cette solution va

rapidement se propager avec la bénédiction des autorités. L'incinération est vue comme une solution hygiénique face aux maladies et aux rats qui prospèrent dans les déchets [07].

Cette technologie se répand d'abord en Allemagne (1892) puis dans le reste du monde (Moscou 1926, Bogota 1928). Les incinérateurs évoluent : hautes cheminées pour disperser les polluants, obturateurs pour protéger les ouvriers qui chargent les déchets à la pelle puis enfin systèmes mécaniques pour alimenter les fours par des grilles ou rotatifs dans les années 30 [08].

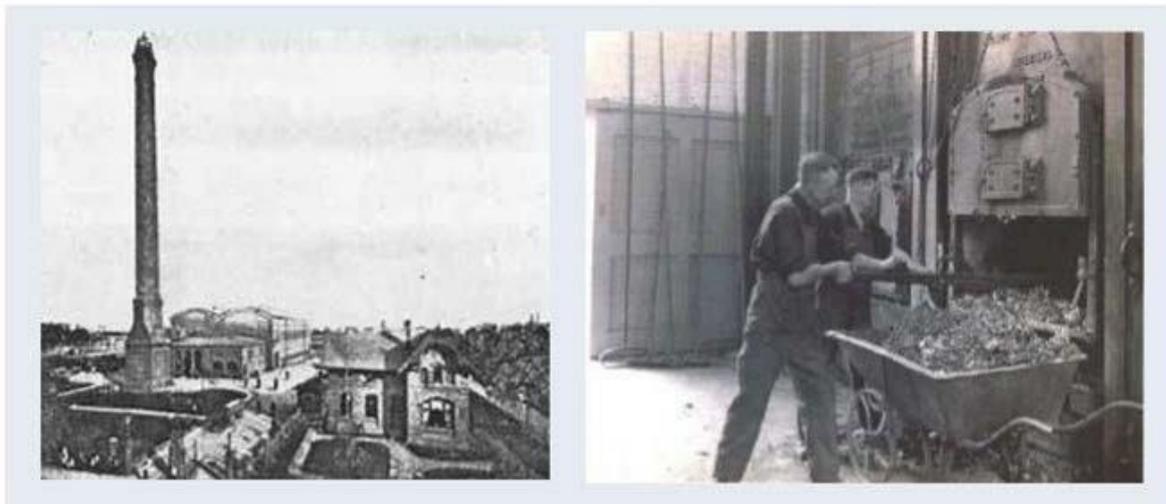


Figure n°01 : Première usine allemande d'incinération (Hamburg-Hammerbrook), en 1895 [09]

Objectif de l'incinération des déchets

L'objectif de l'incinération des déchets est de réduire leur volume et leur dangerosité en éliminant les déchets, tout en concentrant ou en éliminant les substances potentiellement dangereuses qui peuvent être libérées lors du processus de combustion.

Les processus d'incinération peuvent aussi fournir un moyen pour permettre le recyclage de l'énergie, de la teneur en minéraux et/ou éléments chimiques des déchets [10]. L'incinération est une méthode de traitement des déchets qui implique une combustion à des températures élevées allant de 850 à 1000°C, également connue sous le nom de traitement thermique. La différence entre les deux dépend de la récupération ou non d'énergie lors de la combustion. De nos jours, les incinérateurs modernes utilisent cette énergie pour produire de la chaleur et/ou de l'électricité. Grâce au traitement thermique des déchets, leur masse peut être réduite de 70% et leur volume de 90% [11].

Tableau n°01 : les avantages et inconvénients de l'incinération [11].

Avantages	Inconvénients
Réduction des volumes de déchets de 90%	Formation de cendres, de résidus polluants
Rapidité de traitement	Problème des seuils de rentabilité pour les petites unités
Pas de prétraitement (dans le cas des incinérateurs équipés de fours à grilles)	Production d'énergie électrique peu efficace dans la plupart des cas
Adaptation aux gros gisements	Investissements élevés Coûts de fonctionnement en forte croissance
Possibilité de récupérer et valoriser l'énergie	Empêche toute inflexion de la politique des déchets
Possibilité de récupérer les métaux Garantie de long terme	Oppositions sociales croissantes
Ne produit pas de méthane	

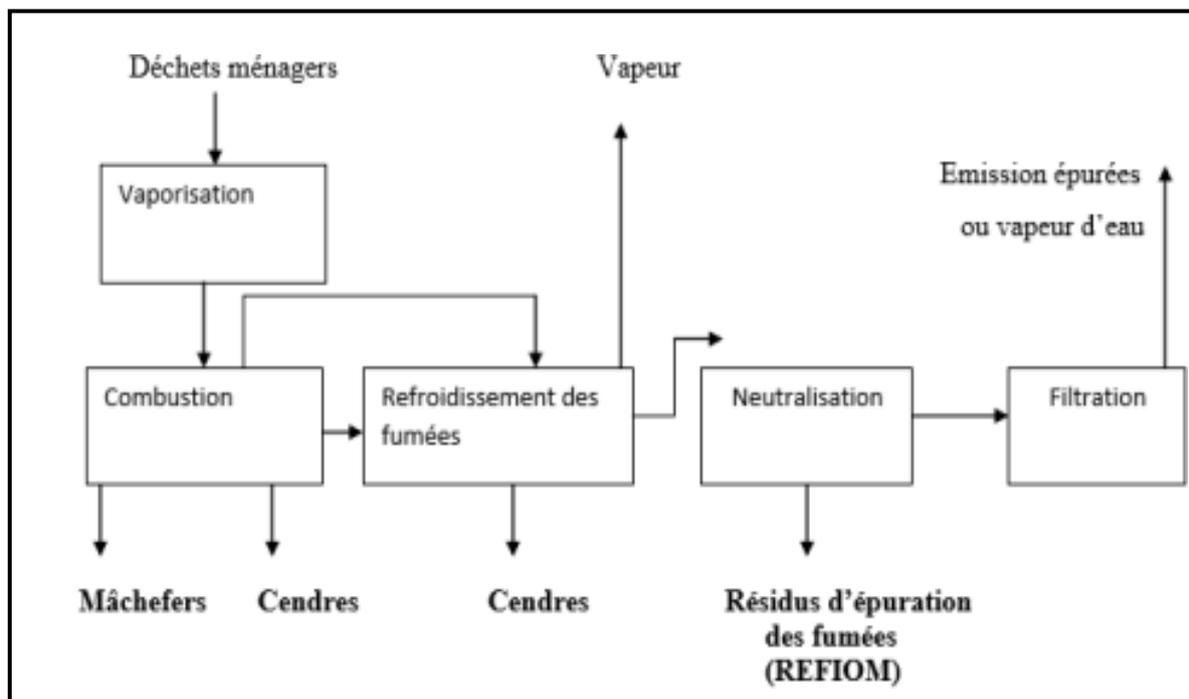


Figure n°02 : Étapes de l'incinération des déchets ménagers [12].

Principe de l'incinération :

L'incinération est un procédé technique qui utilise la décomposition thermique par oxydation à haute température (généralement 900°C ou plus) pour détruire la fraction organique des déchets et réduire leur volume. En général, les déchets combustibles ou les déchets à forte teneur en matières organiques sont considérés comme les plus appropriés pour l'incinération. Cependant, d'un point de vue technique, tout déchet contenant une fraction organique dangereuse, quelle que soit sa taille, est au moins un élément fonctionnel à l'incinération. Par exemple, d'importantes quantités d'eau contaminée sont actuellement incinérées aux États-Unis. [13]

Description du type d'incinérateur

Ceci nécessite de rassembler un certain nombre d'informations, présentées ci-dessous, qui viennent supporter la validation des signaux d'appels. Un rapprochement avec les services des installations classées est nécessaire pour mener à bien le recueil de ces données [14].

Caractéristiques de l'incinérateur

- Sa date d'ouverture et, s'il n'est plus en activité ;

- Sa date de fermeture ;
- Sa capacité horaire et annuelle en t/h et en t/an ;
- La nature des déchets incinérés ;
- Son type et l'historique de son fonctionnement (notamment les arrêts et leurs causes).

Caractéristiques techniques des fours

- Le type ;
- La date de mise en route ;
- Le nombre et la capacité de chaque four.

Caractéristiques de la combustion

- Stabilité, température....

La présence ou non de moyens techniques permettant de réduire les émissions toxiques : dépoussiérage et type, traitement des fumées et type, réduction des dioxines..., date de la mise en place des techniques de traitement ;

Disponibilité de mesures à l'émission

Les indiquer si elles existent. Cette première analyse permet de connaître précisément la réglementation à laquelle l'incinérateur est soumis, ce qui conditionne les mesures de gestion immédiates à entreprendre. Elle permet également de clarifier le contexte environnemental dans lequel se trouve l'incinérateur et de dater les émissions, facilitant ainsi la description de la durée et la nature de l'exposition (passée, actuelle, future). Schématiquement, on recense quatre types d'incinérateurs [15].

Cas d'incinérateurs récents construits sur un site vierge : Les incinérateurs construits après 1997 (date de la circulaire relative aux nouvelles installations), font l'objet d'une réglementation plus stricte concernant leurs caractéristiques techniques, leurs niveaux d'émissions pour un certain nombre de polluants et leurs modalités de contrôle. De plus, depuis août 1998, ils doivent faire l'objet d'une évaluation d'impact sanitaire. Une information adéquate de la population sur l'incinérateur, sa construction et son ERSEI (Évaluation des Risques Sanitaires des Études d'Impact) peut parfois suffire à répondre au questionnement local.

Cas d’incinérateurs construits avant 1997 et conformes avec l’arrêté de 1991 : Ces incinérateurs, dont le fonctionnement est globalement bien maîtrisé, sont susceptibles d’émettre des quantités de polluants dépassant les valeurs de la réglementation actuelle.

Cas d’incinérateurs en activité depuis longtemps (10 à 30 ans par exemple) : Qui ont été mis aux normes récemment, ou qui ont été fermés et dont le site a servi à la construction d’un nouvel incinérateur. Même si ces incinérateurs ont été mis en conformité avec les textes les plus récents (circulaire de 1997 et arrêté de 2002), on doit considérer qu’ils ont émis, dans le passé, des quantités de polluants largement supérieures à la réglementation actuelle (la réglementation a en effet fortement évolué ces dix dernières années).

Cas d’incinérateurs anciens actuellement fermés : Bien que ces incinérateurs ne soient plus en activité aujourd’hui, les interrogations sanitaires autour d’usines fermées sont légitimes car certaines substances émises par les incinérateurs ont de longues durées de vie dans l’environnement et certains effets sanitaires apparaissent après plusieurs dizaines d’années de latence (c’est le cas des dioxines et de certains métaux).

Paramètres de l’incinération

Lors de la combustion, il faut tenir compte de certains paramètres tels que les le taux d’humidité et le pouvoir calorifique. [16].

a) Humidité

Les ordures, quelles que soit leur provenance, ont une teneur en eau élevée qui influe fortement sur la combustion Supérieur à 50%, le taux d’humidité fait perdre au Déchet l’intérêt de la combustion car la chaleur fournie sera surtout employée à vaporiser l’eau.

b) Pouvoir calorifique

La connaissance du pouvoir calorifique supérieur ou inférieur est déterminante pour calcul des caractéristiques d’un four et la valorisation par incinération. Il est possible de déterminer graphiquement les valeurs du PCI en fonction de la teneur en eau et du pourcentage d’inertes, ou expérimentalement à l’aide d’une bombe calorimétrique.

c) Récupération de chaleur

L’énergie récupérée par ce procédé peut être utilisée dans [17] :

Ø L’alimentation de réseau de chauffage des hôpitaux, des entreprises industrielles ;

Ø La production d’électricité ;

Ø La production d’eau de très grande pureté par condensation des vapeurs produites.

Produits de l'incinération

La combustion des déchets produit deux catégories d'effluents :

a) Effluents gazeux : Ils sont dû à la présence des gaz contenant d'une part, des polluants minéraux tels que l'acide chlorhydrique, le fluor, l'oxyde d'azote (NO, NO₂), l'oxyde de soufre (SO₂), l'oxyde de carbone (Co, Co₂) et d'autre part des polluants organiques constitués principalement par les dioxines. Ces derniers sont des composés faisant partie des hydrocarbures aromatiques polychromés, très toxiques, ils ont un effet cancérigène. D'autres composés s'y ajoutent à savoir les hydrocarbures aromatiques polycycliques HAP, les polychlorobiphényle PCB, etc. [17]

b) Effluents solides : Ce sont les mâchefers, les cendres volantes et les résidus d'épuration des fumées [18].

Mâchefers : Les mâchefers d'incinération d'ordures ménagères (MOIM) ont l'aspect d'un solide grisâtre, très hétérogène, ils contiennent de nombreux éléments métalliques. Chaque MIOM à sa propre composition liée des ordures ménagères. Ces MIOM sont des déchets qui peuvent être considérés comme :

- Une source de matières premières minérales, métalliques ou non ;
- Un matériau de remblai ou comme sous-couche de fondation ;
- Un excellent matériau de couverture pour les décharges.

Le traitement des mâchefers comprend des opérations de manutention, de stockage temporaire, de traitement, de maturation, dans le but d'élaborer un produit valorisable en technique routière, pouvant se substituer à des granulats naturels de carrière [18].

Les mâchefers utilisés aujourd'hui en remplacement de granulats naturels n'entraînent pas d'impact environnemental significatif. Sur une production annuelle de mâchefers d'incinération d'ordures ménagères estimée à trois millions de tonnes, environ 70 % sont traités sur des installations de maturation. Les 30 % restants sont soit valorisés, soit éliminés en installation de stockage de déchets non dangereux [19].

Cendres volantes : Les cendres sont des particules sous forme de poudre grisâtre entraînées par les gaz de combustion. Les cendres volantes peuvent être utilisées comme remblai de carrière en vue de récupérer des terrains.

REFIOM : Sous le terme de REFIOM (résidus d'épuration des fumées d'incinération des ordures ménagères) est regroupé l'ensemble des résidus résultant des traitements des fumées d'incinération. Ils sont constitués d'une part de substances minérales dépourvues de nocivité (silice, calcaire), qui constituent la majeure partie de ces résidus (jusqu'à 90%), d'autre part métaux, notamment de métaux lourds. [17]

Données techniques sur l'incinérateur

L'incinérateur n'est pas seulement un four de combustion, c'est une installation industrielle complète, comprenant : le stockage des déchets entrants, l'alimentation du four, le chauffage du four, la combustion des déchets, avec apport d'oxygène, la récupération de chaleur sous forme de vapeur et d'électricité, le traitement des résidus solides (les mâchefers), le contrôle et l'élimination des pollutions.

Les conditions d'exploitation sont étroitement réglementées. Les gaz résultant de l'incinération doivent être portés à une température de 850° minimum pendant au moins deux secondes. Les installations doivent donc être munies de brûleurs auxiliaires au gaz ou au Gazole qui sert soit au démarrage du four, soit lorsque la température tombe en dessous de 850° [18].

Les installations sont de tailles extrêmement variables qui peuvent aller de 50 tonnes à plus de 1.000 tonnes par jour, soit entre 2 et 50 (voire 80) tonnes/heure. Dans le cas de ces très grands tonnages, les installations sont divisées en ligne. Chaque ligne correspondant à un four. Les évaluations les plus courantes sont données en capacité (en tonnage), par heure ou par an. Une capacité exprimée en tonnes/an est égale à la capacité en tonnes/heure x 7500 heures/an (exemple : 6 tonnes/heure = 45.000 tonnes/an).

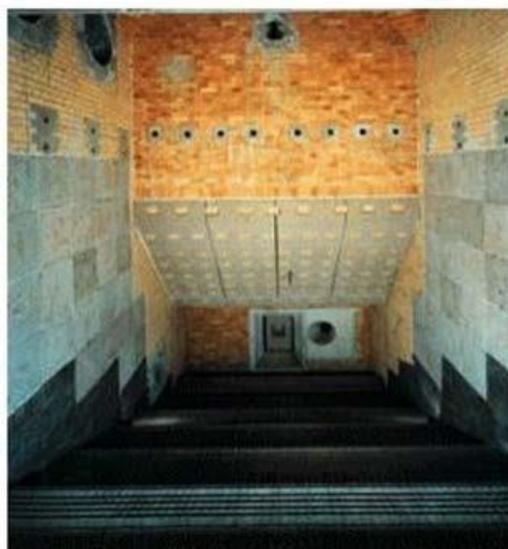
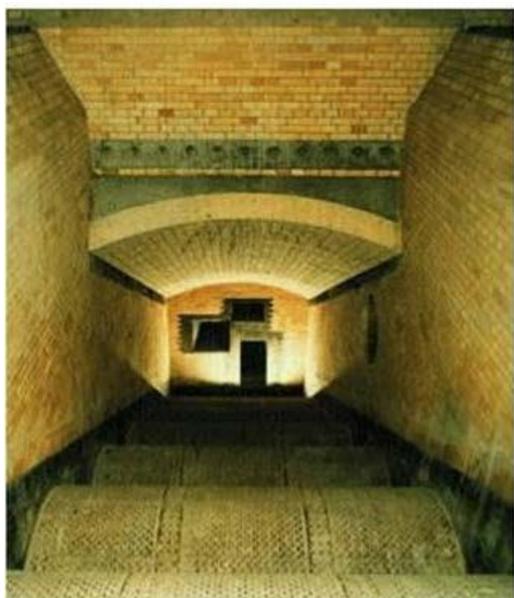


Figure n° 03 : Four à rouleaux (à gauche) et four à gradins (à droite) [18].

Description de procédé d'incinération

Le procédé d'incinération comprend les phases de stockage et de préparation des déchets pour alimentation du four, combustion, récupération et valorisation de la chaleur, traitement des fumées et évacuation et traitement des mâchefers [16].

a) Stockage et la préparation des déchets - l'alimentation du four

Les véhicules de collecte déchargent les déchets dans une fosse. Un grappin assure la répartition homogène des déchets et alimente le four. Les déchets sont déversés dans la trémie d'alimentation, puis dans la chambre de combustion, par gravité ou à l'aide d'un poussoir.

b) Combustion

Le cycle de combustion est d'environ une heure et se décompose en trois phases

- Séchage ;
- Combustion ;
- Extinction/évacuation des résidus solides (mâchefers).

La chambre de combustion comprend en général une grille qui assure l'avancement et le brassage des déchets. Les gaz du four sont brûlés totalement dans la chambre de postcombustion. Il existe différents types de four d'incinération : à grille, à rouleaux, oscillant, fixe ou à lit fluidisé.

c) Récupération et la valorisation de la chaleur

La température des fumées est abaissée de 1 000 °C à la sortie du four à 400 °C, par passage dans une chaudière. La vapeur produite au niveau de la chaudière peut ensuite faire l'objet d'une :

Valorisation thermique, par alimentation d'un réseau de chauffage urbain ou distribution à des entreprises et/ou établissements publics (rendement jusqu'à 90 %) ;

- Valorisation thermique et électrique (cogénération) (rendement jusqu'à 80 %) ;

Valorisation électrique, par transformation en électricité à l'aide d'un turboalternateur (rendement jusqu'à 35 %).

d) Traitement des fumées

À la sortie de la chaudière, les fumées contiennent des polluants qu'il faut capter : poussières, gaz acides, métaux lourds et dioxines. Une installation de traitement de fumées comporte plusieurs modules :

Le dépoussiérage, par électrofiltre et/ou filtre à manches ;

La neutralisation des gaz acides, par voie sèche, semi-humide ou humide ;

Le traitement des dioxines et furanes, par adsorption sur charbon actif par exemple ou par réduction sélective catalytique ;

Le traitement des oxydes d'azote, par réduction sélective, soit catalytique, soit non catalytique.

e) Évacuation et le traitement des résidus d'épuration des fumées

Les résidus d'épuration des fumées d'incinération de déchets comprennent :

Les cendres volantes ;

Les résidus de neutralisation des fumées ;

Les gâteaux de filtration des eaux de lavage des fumées ;

Les cendres sous chaudière.

L'incinération d'une tonne d'ordures ménagères génère entre 15 et 40 kg de résidus selon le type de traitement des fumées. Les résidus sont collectés et évacués du site pour élimination.

VI. Retour D'expérience Et Accidentologie

Introduction

La base de données A.R.I.A. (Analyse, Recherche et Information sur les Accidents) du Bureau d'Analyse des Risques et Pollutions Industrielles (BARPI), recense depuis 1992, les événements accidentels qui ont, ou qui auraient pu, porter atteinte à la santé ou à la sécurité publique, à l'agriculture, à la nature et à l'environnement.

Les accidents ont été sélectionnés dans la base de données ARIA sur la base des données suivantes :

- Type d'évènement : Installations Classées (Accidents / Incidents concernant une installation classée ou susceptible de l'être)
- « Traitement et élimination des déchets dangereux »
- Mots-clés : incinération ou incinérateur

On cite les accidents dans les installations d'incinération, éléments utiles pour la poursuite d'analyse FMDS dans ANNEXE 1.

Typologie des accidents

Les principaux types d'accidents susceptibles de survenir dans les stations d'incinération de déchets sont :

- Incendie : Les incendies représentent 76% des accidents recensés dans la base ARIA. C'est la typologie la plus rencontrée. Si l'incendie n'est pas rapidement maîtrisé, il est généralement suivi d'explosions.
- Explosion : L'explosion est présente dans 4 % des accidents étudiés et dont la cause est généralement un incendie non maîtrisé ou une cause inconnue.
- Fuite : Cette typologie représente 8 % des accidents recensés. Elle comporte des fuites de solvant et d'acide chlorhydrique, généralement suivie par des rejets dans le sol.
- Pollution : La pollution représente 12 % des accidents recensés dans la base ARIA.



Figure n° 04 : Typologie des accidents survenus dans des stations d'incinération de déchets [20]

Conséquence des accidents

Les accidents recensés ont révélé que les conséquences les plus fréquentes sont les dommages matériels (64 %) correspondant généralement à des dommages au niveau des cuves, broyeurs et des incinérateurs, principalement dans la chambre de désenfumage. La pollution est la deuxième conséquence recensée (32%) et elle correspond émanations gazeuses, à la fumée relative à la combustion des déchets et à la contamination des eaux souterraines. Pour les conséquences humaines, on dénombre 16,7% accidents parmi les accidents étudiés.

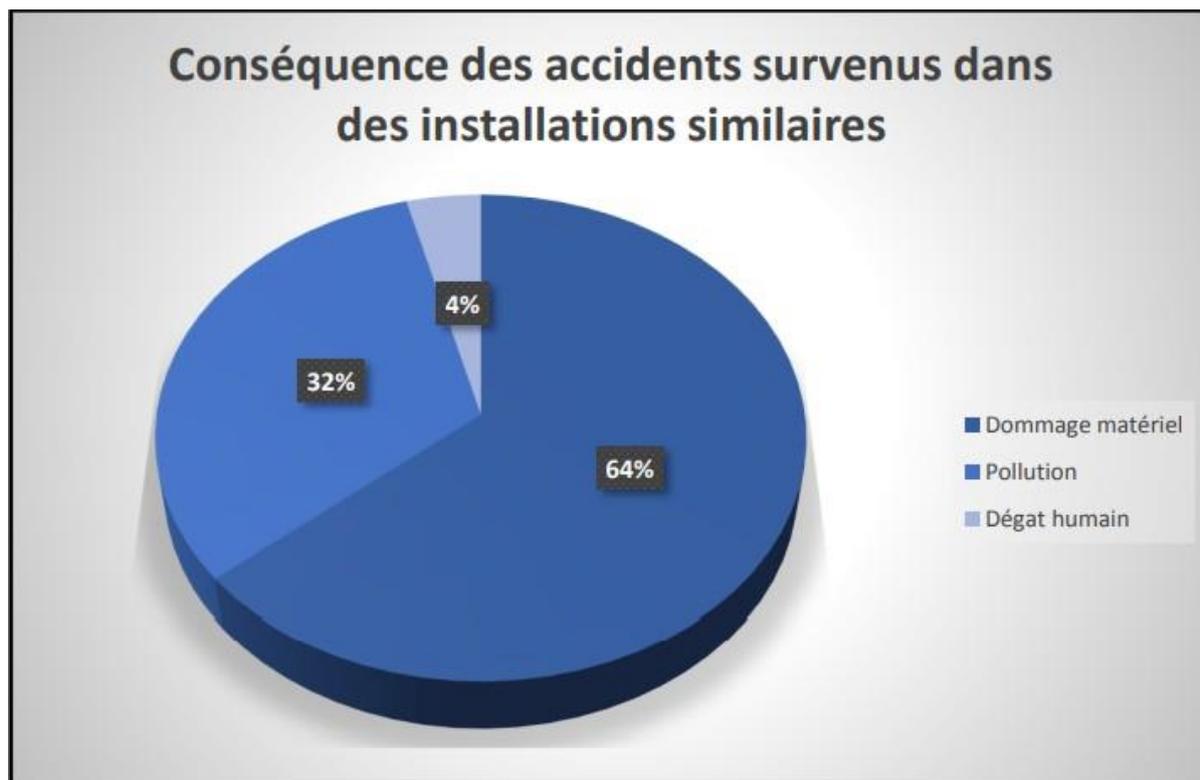


Figure n° 05 : conséquence des accidents survenus dans des stations d’incinération de déchets [20]

Les retours d’expériences du BARPI permettent de déterminer les risques principaux liés à l’activité de l’incinération. D’après l’analyse des retours d’expériences, les risques d’incendie et de pollution sont les plus significatifs. Les risques d’explosions ne représentent que 4 % des risques relevés dans l’étude statistique des accidents. Au sein de ces activités, les installations de collecte, de traitement et de régénération de déchets présentent la plus grande fréquence des accidents du secteur en proportion par rapport au nombre d’installations avec un ratio de nombre d’accidents / nombre d’installations de 26%.

Les activités de tri, transit, regroupement représentent un grand nombre d’accidents mais celui-ci reste relativement faible au regard du nombre d’installations concernées avec un ratio de 2%. Concernant le type de phénomènes dangereux constatés sur cette période de 22 ans, près de 80 % des accidents du secteur des déchets impliquent un incendie, les incendies représentent 76 % des accidents. [20]

VII. CONCLUSION

À la fin de cette partie de l’étude et d’après l’analyse de l’accidentologie et le retour d’expérience de la base des données ARIA on peut conclure que l’activité de l’incinération des déchets industriels et DASRI est une activité critique et nécessite une analyse bien détaillée de l’activité

CHAPITRE II

SÛRETÉ DE FONCTIONNEMENT

CHAPITRE II : SÛRETÉ DE FONCTIONNEMENT

I. INTRODUCTION

Tout au long de l'histoire de l'ingénierie, l'amélioration de la fiabilité a été un élément clé du développement, grâce à l'analyse des défaillances. Le principe de "tester et corriger" a été utilisé avant l'existence de procédures formelles de collecte et d'analyse des données, car les défaillances étaient généralement évidentes et conduisaient à des modifications de conception.

Cependant, au début des années 1970, les industries de transformation ont réalisé que l'apprentissage par l'erreur n'était plus acceptable en raison de la taille croissante des usines et des stocks de matières dangereuses. Des méthodes ont été développées pour identifier les dangers et évaluer les conséquences des défaillances, afin de faciliter la prise de décision lors du développement ou de la modification des installations. Les pressions externes pour identifier et quantifier les risques sont apparues plus tard.

Alors, la sûreté de fonctionnement est essentielle pour améliorer la fiabilité d'un système en identifiant et en gérant les défaillances potentielles, en réduisant les risques, en augmentant la disponibilité et en inspirant confiance aux utilisateurs. Elle contribue ainsi à garantir un fonctionnement plus fiable et sûr du système dans le temps.

II. Sûreté de fonctionnement

Selon la norme CEI 61508 [IEC 02] et AFNOR [AFN 88] : La sûreté de fonctionnement est l'aptitude d'une entité à satisfaire une ou plusieurs fonctions requises dans des conditions données. La sûreté de fonctionnement se caractérise généralement par les paramètres suivants : Fiabilité, Maintenabilité, Disponibilité et Sécurité.

On retrouve dans les initiales de ces concepts, le nom de FMDS parfois donné à la sûreté de fonctionnement. [21]

Définition 1 (Sdf) La sûreté de fonctionnement (dependability, SdF) consiste à évaluer les risques potentiels, prévoir l'occurrence des défaillances et tenter de minimiser les conséquences des situations catastrophiques lorsqu'elles se présentent. [21]

Définition 2 (Laprie96) La sûreté de fonctionnement d'un système informatique est la propriété qui permet de placer une confiance justifiée dans le service qu'il délivre. [21]

L'abréviation **RAMS** est fréquemment utilisée pour faciliter la référence à la fiabilité (**Reliability**), à la disponibilité (**Availability**), à la maintenabilité (**Maintenability**) et à la sécurité (**Safety**) intégrée

Pourquoi RAMS ?

La prédiction de la fiabilité (c'est-à-dire la modélisation) est le processus de calcul de la RAMS anticipée du système à partir des taux de défaillance supposés des composants. Elle fournit une mesure quantitative de la proximité d'une conception proposée par rapport aux objectifs de conception et permet d'établir des comparaisons entre différentes propositions de conception. Il a déjà été souligné que la prévision de la fiabilité est un calcul imprécis, mais il s'agit néanmoins d'un exercice précieux pour les raisons suivantes :

- Elle fournit une indication précoce du potentiel d'un système à répondre aux exigences de fiabilité de la conception.
- Elle permet d'évaluer les coûts du cycle de vie.
- Il permet d'établir quels composants ou domaines d'une conception contribuent à la majeure partie du manque de fiabilité.
- Elle permet de faire des compromis, par exemple entre la fiabilité, la maintenabilité et les intervalles d'essais pour atteindre une disponibilité donnée.
- Son utilisation est de plus en plus demandée dans les appels d'offres, les contrats et la sécurité-intégrité. [22]

- **Cycle de l'analyse FMDS**

La figure 06 ci-dessous montre les corrélations entre les activités correspondant à l'analyse FMDS et les phases d'un cycle de conception classique. La partie supérieure du schéma montre les étapes de spécification et de faisabilité de la conception en amont des étapes d'ingénierie conceptuelle et de conception détaillée.

Les objectifs de FMDS doivent être intégrés aux spécifications en tant qu'exigences du projet ou du contrat qui peuvent, à ce titre, inclure l'évaluation de la conception et la démonstration du fonctionnement. Ceci est particulièrement important car, à moins d'être obligatoires aux termes du contrat, les objectifs de FMDS risquent d'être vus comme un facteur de surtemps et de surcoût. Il faut en outre s'attacher définir des objectifs distincts pour chaque mode de défaillance du système puisque chacun de ces modes résulte de défaillances d'éléments distincts.

Les activités correspondant aux analyses ou études FMDS sont représentées comme suit sur la figure 06 :

_Boucle [1] : revue des calculs de faisabilité du système par rapport aux objectifs Initiaux.

_Boucle [2] : revue formelle (documentée) des prévisions de la conception préliminaire par rapport aux objectifs.

_Boucle [3] : revue formelle (documentée) de la conception détaillée par rapport aux objectifs.

_Boucle [4] : revue conceptuelle formelle (documentée) des tests, à l'issue des phases de conception et de développement, par rapport aux exigences ; permet un premier niveau (généralement limité) de démonstration effective de respect des exigences contractuelles/du projet.

_Boucle [5] : revue formelle des critères de validation (implique des tests de conformité aux exigences). Les tests sont souvent effectués avant la livraison mais devraient également l'être, sinon totalement du moins en partie, en situation d'exploitation (boucle [6]).

_Boucles [7], [8], [9] : revue en continu de la sûreté de fonctionnement en exploitation par rapport aux objectifs (améliorations subséquentes incluses). [22]

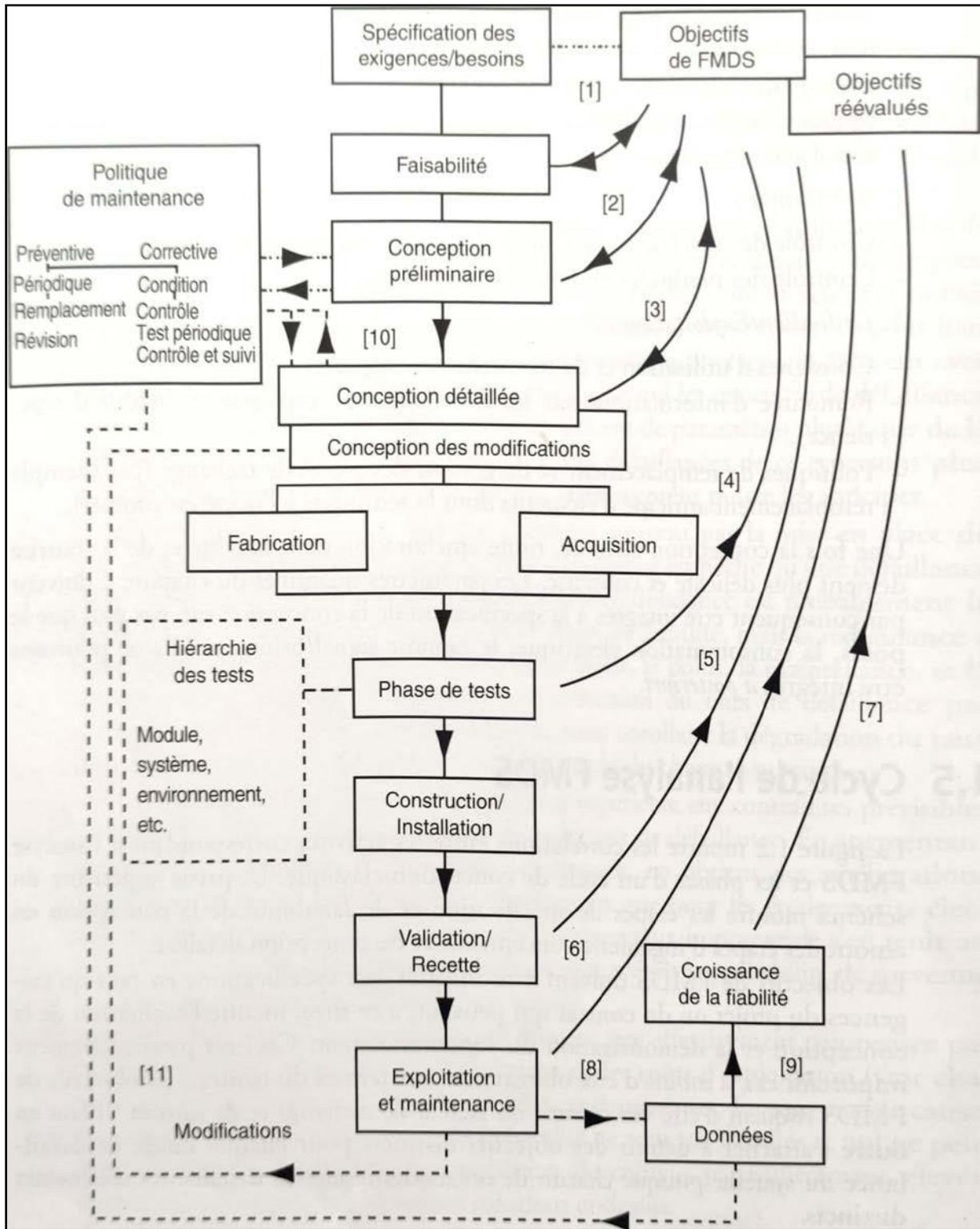


Figure n° 06 : Modèle de cycle FMDS [22]

Coût de la sûreté de fonctionnement

Le cout d'un haut niveau de sûreté de fonctionnement est très onéreux. Le concepteur doit faire des compromis entre les mécanismes de sûreté de fonctionnement nécessaires et les coûts économiques. Les systèmes qui ne sont pas sûrs, pas fiables ou pas sécurisés peuvent être rejetés par les utilisateurs. Le coût d'une défaillance peut être extrêmement élevé.

Étude des systèmes

L'objet sous étude est le système et les fonctions qu'il fournit. Il existe de nombreuses définitions de système dans le domaine des systèmes d'ingénierie. [21]

Définition 3 (Un système) : Un système peut être décrit comme un ensemble d'éléments en interaction entre eux et avec l'environnement dont le comportement dépend :

- Des comportements individuels des éléments qui le composent.
- Des règles d'interaction entre éléments (interfaces, algorithmes, protocoles).
- De l'organisation topologique des éléments (architectures).

Le fait que les sous-systèmes sont en interaction implique que le système n'est pas simplement la somme de ses composants. En toute rigueur, un système dans lequel un élément est défaillant devient un nouveau système, différent du système initial. [21]

Assurer les fonctions :

Tout système se définit par une ou plusieurs fonctions (ou missions) qu'il doit accomplir dans des conditions et dans un environnement donné. L'objet d'étude de la sûreté de fonctionnement est la fonction.

Une fonction peut être définie comme l'action d'une entité ou de l'un de ses composants exprimés en termes de finalité convient de distinguer les fonctions et la structure (ou encore architecture matérielle support).

- Fonction principale : raison d'être d'un système (pour un téléphone portable, la fonction principale est la communication entre 2 entités).
- Fonctions secondaires : fonctions assurées en plus de la fonction principale (sms, horloge, réveil, jeux ...).
- Fonctions de protection : moyens pour assurer la sécurité des biens, des personnes et environnement.
- Fonctions redondantes : plusieurs composants assurent la même fonction. [21]

Une description fonctionnelle peut généralement se faire soit par niveau soit pour un niveau donné. Une description par niveau est une arborescence hiérarchisée.

On donne l'exemple d'une description fonctionnelle d'une machine à laver dans la figure ci dessous.

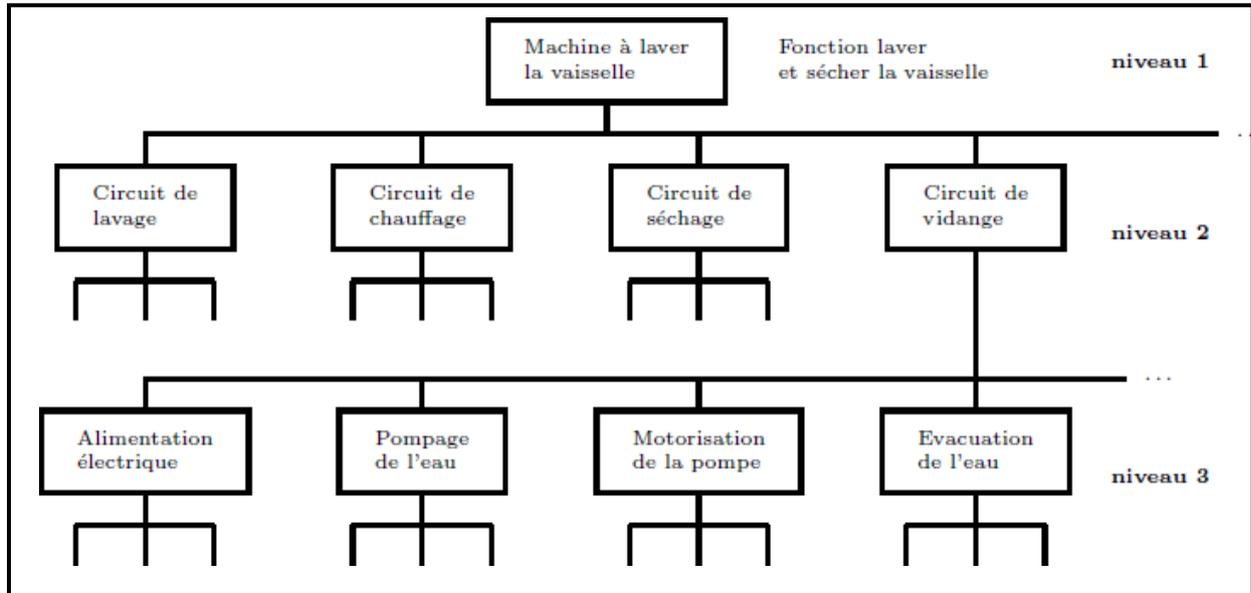


Figure n° 07 : Description fonctionnelle d'une machine à laver la vaisselle [21]

Structure du système :

Les fonctions sont réalisées par le système à partir de ses composants. La structure du système doit être prise en compte pour les analyses de sûreté de fonctionnement. Pour cela, il faut d'écrire les composants matériels, leur rôle, leurs caractéristiques et leurs performances. On peut à nouveau utiliser une description en niveau Taxonomie.

La sûreté de fonctionnement manipule un certain nombre de concepts que nous précisons dans cette partie en donnant des définitions précises. La sûreté de fonctionnement peut être vue comme étant composée des trois éléments suivants :

- Attributs : points de vue pour évaluer la sûreté de fonctionnement.
- Entraves : évènements qui peuvent affecter la sûreté de fonctionnement du système.
- Moyens : moyens pour améliorer la sûreté de fonctionnement.

Ces notions sont résumées dans la figure 08. [21]

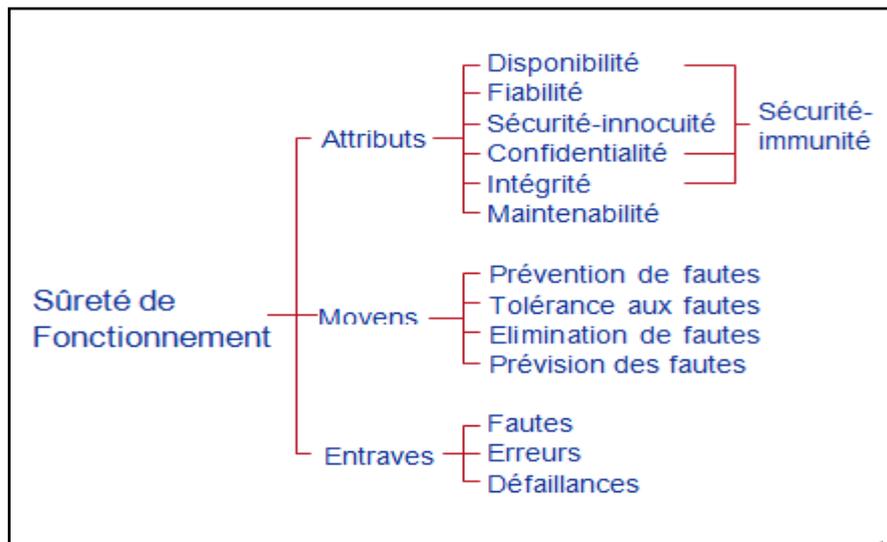


Figure n° 08 : Arbre de la SDF [21]

Entrave :

Commençons par détailler les entraves qui peuvent affecter le système et dégrader la sûreté de fonctionnement. Les entraves sont réparties en 3 notions : les fautes, les erreurs et les défaillances qui s'enchaînent comme illustré dans la figure 09. Les définitions sont récursives car la défaillance d'un composant est une faute pour le système qui le contient. [21]

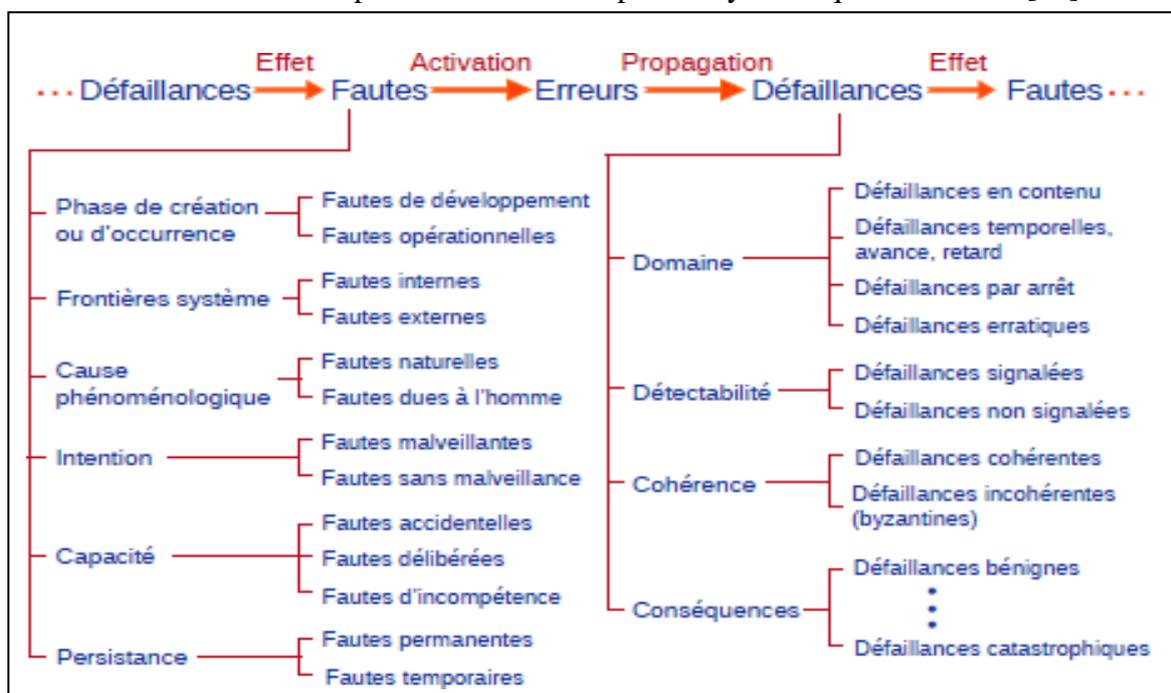


Figure n° 09. Enchaînement et propagation des erreurs [21]

Définition 4 (Faute / Fault) La cause de l'erreur est une faute (par exemple un court-circuit sur un composant, une perturbation électromagnétique ou une faute de développement logiciel). [21]

Définition 5 (Erreur / Defect) La cause de la défaillance est une erreur affectant une partie de l'état du système (par exemple, une variable erronée).[21]

Définition 6 (Défaillance / Failure) Une défaillance est la cessation de l'aptitude d'une entité à accomplir une fonction requise. [21]

Définition 7 (Panne) La panne est l'inaptitude d'une entité accomplir une mission. Une panne résulte toujours d'une défaillance.

Les défaillances dans un système peuvent avoir des effets différents. Certaines défaillances n'affectent pas directement les fonctions du système et ne nécessitent qu'une action corrective. D'autres, en revanche, affectent la disponibilité ou la sécurité. On utilise généralement une échelle de gravité des effets et on considère traditionnellement 4 catégories de défaillances. Ces catégories sont représentées dans la table 02. [21]

Tableau n°02 : Classification des défaillances en fonction des effets [21]

Défaillance mineure (minor)	Défaillance qui nuit au bon fonctionnement d'un système en causant un dommage négligeable au système ou à son environnement sans présenter de risque pour l'homme
Défaillance significative (major)	Défaillance qui nuit au bon fonctionnement sans causer de dommage notable ni présenter de risque important pour l'homme
Défaillance critique (hazardous)	Défaillance qui entraîne la perte d'une (ou des) fonction(s) essentielle(s) du système et cause des dommages importants au système en ne présentant qu'un risque négligeable de mort ou de blessure
Défaillance catastrophique (catastrophic)	Défaillance qui occasionne la perte d'une (ou des) fonction(s) essentielle(s) du système en causant des dommages importants au système ou à son environnement et/ou entraîne la mort ou des dommages corporels

Définition 8 (Mode de défaillance / Failure mode) Un mode de défaillance est l'effet par lequel une défaillance est observée. Plus, précisément, il s'agit d'un des états possibles d'une entité en panne pour une fonction requise donnée. [21]

On classe généralement les modes de défaillance en 4 catégories représentées dans la table 03.

Tableau n°03 : Classification des modes de défaillance [21]

Mode de défaillance	Explication
Fonctionnement prématuré (ou intempestif)	Fonctionne alors que ce n'est pas prévu à cet instant
Ne fonctionne pas au moment prévu	Ne démarre pas lors de la sollicitation
Ne s'arrête pas au moment prévu	Continue à fonctionner alors que ce n'est pas prévu
Défaillance en fonctionnement	

Définition 9 (Système cohérent) Un système est dit cohérent si :

- ❖ La panne de tous les composants entraîne la panne du système,
- ❖ Le fonctionnement de tous les composants entraîne le fonctionnement du système
- ❖ Lorsque le système est en panne, aucune défaillance supplémentaire ne rétablit le fonctionnement du système,
- ❖ Lorsque le système est en fonctionnement, aucune réparation n'induit la panne du système. [21]

Composantes de la SdF

Prévoir qu'un système tombe en panne fait appel à des critères probabilistes, obtenus à partir des paramètres fondamentaux de la sûreté de fonctionnement (fiabilité, disponibilité, maintenabilité et sécurité), afin de définir les objectifs attendus par un système et d'évaluer sa qualité de service attendue en vue de cibler les points critiques à améliorer.

Définition 10 (Fiabilité //Reliability) $R(t)$: La fiabilité d'une entité est la probabilité qu'elle accomplisse les fonctions requises dans des conditions données pendant une durée entre 0 et t , sachant que l'entité n'est pas en panne à l'instant 0 et ne peut fonctionner éternellement, on peut considérer que :

- ✓ $R(t)$ est une fonction non croissante variant de 0 à 1 sur $[0, +\infty[$;
- ✓ $\lim_{t \rightarrow +\infty} R(t) = 0$
- ✓ La défiabilité $F(t)$. Elle est le complément à 1 de la fiabilité, est définie comme étant : $F(t) = 1 - R(t)$.

La fiabilité est une fonction décroissante du temps (Figure n°10), de telle manière que :

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

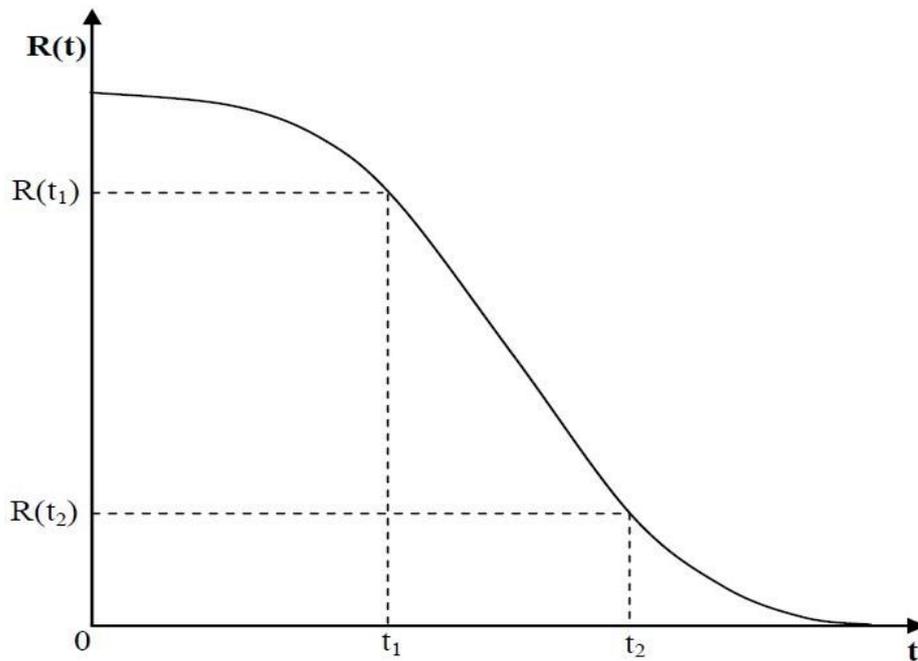


Figure n°10 : La fiabilité décroissante avec le temps [27]

Définition 11 (Disponibilité / Availability) A(t) La disponibilité est l'aptitude d'une entité à être en état d'accomplir une fonction requise dans des conditions données, un instant donné ou pendant un intervalle de temps donné, en supposant que la fourniture des moyens extérieurs nécessaires soit assurée. [21]

La disponibilité est la probabilité qu'un composant ou un système soit en fonction à un certain temps t , dans des conditions opérationnelles et environnementales bien définies, indépendamment de ses défaillances précédentes.

• L'Indisponibilité $Q(t)$ est le complément à 1 de la Disponibilité : $Q(t) = 1 - A(t)$ [23]

$$\text{Le model type de dormant : } Q(t) = \frac{\delta\delta.\lambda.(1-e^{-\lambda t}) + MTTR.\lambda.(1-e^{-\lambda t})}{\delta\delta.\lambda + MTTR.\lambda.(1-e^{-\lambda t})}$$

λ = taux de défaillance

MTTR= temps moyen de réparation

$\delta\delta$ = intervalle de test

Définition 12 (Maintenabilité / Maintainability) $M(t)$: La Maintenabilité d'une entité est la probabilité qu'elle est réparée entre 0 et t.

- ✓ $M(t)$ est une fonction non décroissante variant de 0 à 1 sur $[0, +\infty[$;
- ✓ $\lim_{t \rightarrow +\infty} M(t) = 1$.

Définition 13 (Sécurité / safety) : La sécurité est une aptitude d'une entité à éviter de faire apparaître, dans des conditions données, des évènements critiques ou catastrophiques.

Métriques de la Sûreté de Fonctionnement

Les grandeurs présentées ci-après caractérisent des durées moyennes associées à la sûreté de fonctionnement :

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

$$MTTF = \int_0^{\infty} R(t)dt$$

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

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

- ✓ MUT : durée moyenne de fonctionnement après réparation (Mean Up Time).
- ✓ MDT : durée moyenne d'indisponibilité (Mean Dawn Time). Cette durée comptabilise le temps de détection de la panne, le temps de réparation et la remise en service.
- ✓ MTBF : durée moyenne entre deux défaillances consécutives d'une entité réparée. (Mean Time Between Failure).

$$MTBF = MDT + MUT$$

Ces grandeurs sont représentées sur le diagramme de la Figure n°11

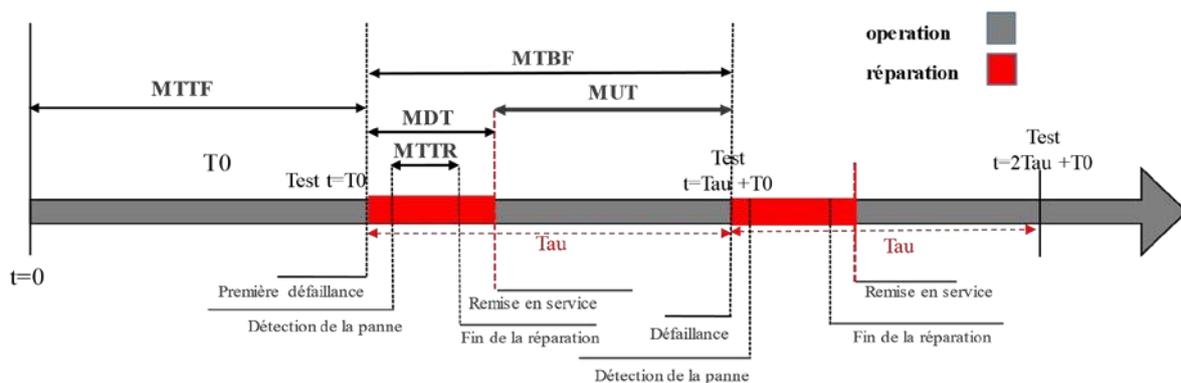


Figure n°11 : Métriques de la Sûreté de Fonctionnement [27]

Défaillance

La défaillance est la cessation de l'aptitude d'une entité à accomplir une fonction requise, c'est le passage de l'état de fonctionnement à l'état de panne. Cette cessation peut être complète (l'entité ne remplit plus sa fonction) ou partielle (la fonction est assurée dans certaines limites, on parle alors de modes dégradés). Les défaillances peuvent être momentanées (indisponibilité du composant à remplir sa fonction pendant un temps donné, le composant redevient disponible sans réparation) ou permanentes (la défaillance du composant est irréversible, une maintenance est nécessaire pour remettre le composant en service).

On distinguera sa cause (circonstances ayant entraîné la défaillance), son mécanisme (processus ayant entraîné la défaillance) et son taux $\lambda(t)$ qui représente la proportion de dispositifs qui, ayant vécu un temps t , ne sont plus en vie à $t+dt$.

Taux de défaillance $\lambda(t)$

Généralement, la probabilité de défaillance d'un composant dépend principalement de l'âge du composant. Cet âge est un taux horaire (homogène à l'inverse d'un temps) représentant la probabilité que le composant tombe en panne entre t et $t+dt$, sachant qu'il a fonctionné de 0 à t . Il est défini de la manière suivante (en appelant les probabilités P) :

$$\lambda(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{1}{\Delta t} \cdot P [\text{panne du composant entre } t \text{ et } t + \Delta t \text{ sachant qu'ellen'apas eu lieu entre } 0 \text{ et } t]$$

En termes de probabilité conditionnelles, on a :

$$\lambda(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{1}{\Delta t} \cdot \frac{P [\text{panne du composant } t \text{ et } t + \Delta t \text{ et pas de panne du composant entre } 0 \text{ et } t]}{P[\text{pas de panne du composant entre } t \text{ et } t + \Delta t]}$$

$$\lambda(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{1}{\Delta t} \cdot \frac{P[\text{panne du composant entre } t \text{ et } t + \Delta t] - P[\text{panne du composant entre } 0 \text{ et } t]}{P[\text{pas de panne du composant entre } t \text{ et } t + \Delta t]}$$

Par l'introduction de la fiabilité $R(t)$ on obtien :

$$\lambda(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{1}{\Delta t} \cdot \frac{[(1 - R(t + \Delta t)) - (1 - R(t))]}{R(t)} \rightarrow \lambda(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{1}{\Delta t} \cdot \frac{[R(t + \Delta t) - R(t)]}{\Delta t \cdot R(t)}$$

$$\lambda(t) = -\frac{1}{R(t)} \cdot \frac{dR(t)}{dt} \quad (2.3)$$

La **Figure n°12** représente l'évolution du taux de défaillance d'un composant au cours de son cycle de vie

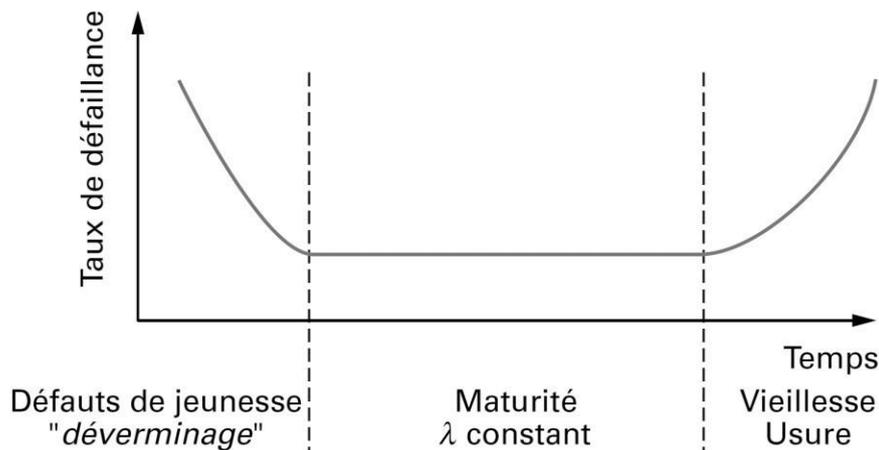


Figure n°12 : Évolution du taux de défaillance au cours du temps : courbe en baignoire [27]

Le Taux de défaillance est ainsi élevé dans la période jeunesse liées à des erreurs de conception ou de fabrication, par la suite des défaillances aléatoires relativement constant dans la durée d'utilisation et à la fin une défaillance élevée dans sa période de vieillesse suite aux fatigues et l'usure.

Taux de réparation $\mu(t)$

La probabilité de réparation d'un composant est principalement en fonction du temps écoulé depuis l'instant de défaillance. Il existe un certain délai avant que le composant puisse être réparé. Ce délai comprend le temps de détection et le temps mis pour qu'une équipe de réparation arrive sur place. Il s'y ajoute le temps de réparation proprement dit et la fin le temps de la remise en marche.

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

Par l'introduction de la maintenabilité $M(t)$ on obtient de la même manière que $\lambda(t)$:

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

Le taux de défaillance à la sollicitation

La fonction d'un composant peut s'étendre sur une durée dite de fonctionnement. Dans ce cas, les défaillances du composant sont décrites par le taux de défaillance $\lambda(t)$. Mais la fonction à assurer peut-être « ponctuelle », comme un système de protection qui agit lorsqu'un événement dangereux se déroule. Dans ce cas, c'est un taux de défaillance à la sollicitation $\lambda(t)$ qui caractérise ce type de défaillance « ponctuelle ». Il est défini comme la probabilité que le composant tombe en panne lorsqu'il est sollicité. Ce taux peut s'exprimer sous la forme d'un taux de défaillance :

$$\lambda(t) = \gamma(t) \cdot P[\text{le composant est sollicité à } t]$$

Approche de la fiabilité par les probabilités

En général, les composants d'un système font l'objet d'une période de mise en service (pour éviter les défaillances de « jeunesse ») et de maintenance préventive (pour éliminer les défaillances d'usure). Ainsi, durant la période de fonctionnement du système, l'approximation des taux constants est souvent admise. En considérant le taux de défaillance $\lambda(t) = \lambda$ et le taux de réparation $\mu(t) = \mu$ constants alors on peut écrire:

$$\begin{aligned}R(t) &= e^{-\lambda \cdot t} \\F(t) &= 1 - e^{-\lambda t} \\A(t) &= \frac{\mu}{\lambda + \mu} + \frac{\lambda}{\lambda + \mu} \cdot e^{-(\lambda + \mu) \cdot t} \\U(t) &= \frac{\lambda}{\lambda + \mu} \cdot (1 - e^{-(\lambda + \mu) \cdot t}) \\MTBF &= \frac{1}{\lambda} \\MDT &= \frac{1}{\mu}\end{aligned}$$

On calcule les valeurs asymptotiques de la disponibilité $A(\infty)$ et de l'indisponibilité $U(\infty)$:

$$A(\infty) = \frac{\mu}{\lambda + \mu} = \frac{MTBF}{MTBF + MDT} \text{ et } U(\infty) = \frac{\lambda}{\lambda + \mu} = \frac{MDT}{MTBF + MDT}$$

En considérant la définition des paramètres temporels, on remarque que la disponibilité asymptotique correspond à la proportion de temps pendant lequel l'entité est en état de fonctionner et que, de même, l'indisponibilité asymptotique correspond à la proportion du temps pendant lequel l'entité est en panne. Il est démontré que ce résultat est aussi valable lorsque les taux λ et μ ne sont pas constants.

Dans le cas où le temps moyen de réparation est négligeable par rapport au temps moyen de fonctionnement, on peut exprimer l'indisponibilité par :

$$U(\infty) = \frac{\lambda}{\mu}$$

III. Démarches et méthodes fondamentales d'une approche Sdf

Méthodes d'analyse de sûreté de fonctionnement : [21]

Une analyse prévisionnelle de sûreté de fonctionnement est un processus d'étude d'un système réel de façon à produire un modèle abstrait du système relatif à une caractéristique de sûreté de fonctionnement (fiabilité, disponibilité, maintenabilité, sécurité). Les éléments de ce modèle seront des évènements susceptibles de se produire dans le système et son environnement, tels par exemple :

- Des défaillances et des pannes des composants du système,
- Des évènements liés à l'environnement,
- Des erreurs humaines en phase d'exploitation.

Le modèle permet ainsi de représenter toutes les défaillances et les pannes des composants du système qui compromettent une des caractéristiques de SdF.

Afin d'aider l'analyste, plusieurs méthodes d'analyse ont été mises au point. Les principales sont :

III.1.1 Analyse fonctionnelle du système

Selon la norme AFNOR NF 50-151, l'analyse fonctionnelle est une démarche qui comprend la recherche, l'ordonnancement, la caractérisation, la hiérarchisation et / ou la valorisation des fonctionnalités d'un système. [23]

L'analyse fonctionnelle est utilisée au début du projet pour créer ou pour améliorer un système. Sa mise en œuvre, privilégie le travail en groupe pluridisciplinaire, ce qui catalyse les compétences et permet d'obtenir les consensus entre tous les métiers concernés.

Des méthodes issues des techniques de l'analyse de la valeur et de l'analyse fonctionnelle sont utilisables pour décrire les phases de conception et l'exploitation d'un système industriel (méthodes FAST, RELAISSE®, APTE®, SADT®...). [23]

Méthode FAST (Function Analysis System Technique) : imaginée par l'américain Charles W, elle est couramment employée en matière d'analyse de la valeur. Elle présente l'avantage d'ordonner les fonctions suivant un ordre logique ; elle contribue à la déification de l'état fonctionnel du produit et à la rédaction finale de CdCF (Cahier des Charges Fonctionnel). [23]

Méthode RELIASEP : La Société européenne de propulsion (SEP), maître d'œuvre de la propulsion du lanceur européen, a développé une méthodologie appelée « arbre fonctionnel », afin de prendre en compte les exigences de Sûreté de fonctionnement à toutes les étapes de la vie d'un produit et cela à moindre coût. Cette méthode présente l'ensemble des liaisons entre les fonctions, performances, contraintes et caractéristiques du matériel à l'aide d'une structure arborescente. [23]

Méthode SADT (Structure Analysis Design Technique) : est une méthode d'analyse et de conception des systèmes importants et complexes en facilitant la communication entre spécialistes de disciplines différentes.[23]

Méthode APTE : a été développé par Le cabinet-conseil APTE, cette méthode rassemblant un ensemble formalisé de concepts, de logiques de raisonnement et d'outils méthodologiques qui associe des approches fonctionnelle, systémique, qualitative et économique, interdisciplinaire et participative. [23]

Méthodes d'analyse prévisionnelle des risques

Méthodes inductives/ déductives

Les méthodes qui décrivent un lien de causalité partent de la cause à l'effet, on les dit inductives ou partent de l'effet pour remonter à la cause, nous appelée déductives. L'un exclut l'autre, mais une approche par une méthode inductive est judicieusement complétée par une approche déductive et réciproquement.

Exemple :

Méthodes inductives : AMDEC, chaîne de Markov.

Méthodes déductives : ADD. [23]

Méthodes qualitatives/ quantitatives

La méthode qualitative consiste à identifier les caractéristiques du système et les scénarios possibles avec une analyse qualitative. Par contre la méthode quantitative consiste à la caractérisation numérique du système à analyser.

Remarque : Il n'y a pas de recherche de quantification sans analyse qualitative. Par contre il peut y avoir analyse qualitative sans quantification.

Exemple :

Méthodes qualitatives : AMDEC, HAZOP.

Méthodes quantitatives : ADD, ADE, chaîne de Markov [23]

Méthodes statiques/ dynamiques

Les méthodes statiques permettent d'analyser le système d'un point de vue structurel. Cela est obtenu grâce au modèle mathématique booléen sous-jacent qui est un modèle statique car il ne contient pas modélisation des interrelations temporelles agissant au sein du système modélisé, contrairement aux méthodes dynamiques qui permettent la prise en compte de ses aspects.

Exemple :

Méthodes statiques : AMDEC, ADD, ADE

Méthodes dynamiques : chaîne de Markov, réseau de Bayésien dynamique. [23]

Les méthodes analyse dysfonctionnelle :

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 : [24]

HAZOP

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. [24]

Objectifs et principe :

La méthode de type HAZOP est dédiée à l'analyse des risques des systèmes thermo - hydrauliques pour lesquels il est primordial de maîtriser des paramètres comme la pression, la température, le débit...

L'HAZOP ne considère plus des modes de défaillance mais les dérives potentielles (ou déviations) des principaux paramètres liés à l'exploitation de l'installation. De ce fait, elle est centrée sur l'installation. Pour chaque partie constitutive du système examiné (ligne ou maille), la génération (conceptuelle) des dérivés est effectuée de manière systématique par la conjonction de :

- Mots guides : "pas de", "plus de", "moins de", "trop de".
- Paramètres associés au système étudié. Des paramètres couramment rencontrés concernent la T, P, le débit, la concentration, mais également le temps ou des opérations à effectuer. [25]

Déroulement :

Le déroulement d'une étude HAZOP est sensiblement similaire à celui d'une AMDE (voir figure n°13). Il convient, pour mener l'analyse, de suivre les étapes suivantes :

- Dans un premier temps, choisir une ligne ou une maille. Elle englobe généralement un équipement et ses connexions, l'ensemble réalisant une fonction dans le procédé identifiée au cours de la description fonctionnelle.
- Choisir un paramètre de fonctionnement.
- Retenir un mot-clé et étudier la dérive associée.
- Vérifier que la dérive est crédible. Si oui, passer au point 5, sinon revenir au point 3.
- Identifier les causes et les conséquences potentielles de cette dérive.
- Examiner les moyens visant à détecter cette dérive ainsi que ceux prévus pour en prévenir l'occurrence ou en limiter les effets.
- Proposer, le cas échéant, des recommandations et améliorations.

- Retenir un nouveau mot-clé pour le même paramètre et reprendre l'analyse au point 3.
- Lorsque tous les mots-clés ont été considérés, retenir un nouveau paramètre et reprendre l'analyse au point 2.
- Lorsque toutes les phases de fonctionnement ont été envisagées, retenir une nouvelle ligne et reprendre l'analyse au point 1.

Date :								
Ligne ou équipement :								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
N°	Mot clé	Paramètre	Causes	Conséquences	Détection	Sécurités existantes	Propositions d'amélioration	Observations

Figure n°13 : Tableau type de la méthode HAZOP [25]

La démarche présentée ici est globalement cohérente avec la démarche présentée dans la norme CEI 61882 « Étude de danger et d'exploitabilité (études HAZOP) _ Guide d'application ».

APR

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. [24]

L'APR est une méthode d'usage très général couramment utilisée pour l'identification des risques au stade préliminaire de la conception d'une installation ou d'un projet. En conséquence, cette méthode ne nécessite généralement pas une connaissance approfondie et détaillée de l'installation étudiée.

En ce sens, elle est particulièrement utile dans les situations suivantes :

Au stade de la conception d'une installation, lorsque la définition précise du procédé n'est pas encore effectuée. Elle fournit une première analyse de sécurité donc elle permet également de choisir les équipements les mieux adaptés.

Dans le cas d'une installation complexe existante, au niveau d'une démarche d'analyse des risques. Elle peut ainsi être complétée par une méthode de type AMDEC, HAZOP ou arbre des défaillances par exemple. [23]

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, établissement des modes de défaillance de composants et de leurs causes, étude des effets des modes de défaillance, conclusion, recommandation. [24]

AMDEC

Définition

AMDEC : Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effets et de leur Criticité 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 communes mais elle peut devenir très ardue à réaliser pour des systèmes complexes. [24]

Les deux aspects de la méthode

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. [24]

Les types de l'AMDEC [24]

Tableau n°04 : les types de l'AMDEC [24]

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 procès	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.

Le principe de la méthode

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. [24]

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 principales 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. [24]

Arbre des défaillances

Historique et domaine d'application

L'analyse par arbre des défaillances fut historiquement la première méthode mise au point en vue de procéder à un examen systématique des risques. Elle a été élaborée au début des années 1960 par la compagnie américaine Bell Téléphone et fut expérimentée pour l'évaluation de la sécurité des systèmes de tir de missiles.

Visant à déterminer l'enchaînement et les combinaisons d'évènements pouvant conduire à un événement redouté pris comme référence, l'analyse par arbre des défaillances est maintenant appliquée dans de nombreux domaines tels que l'aéronautique, le nucléaire, l'industrie chimique, ...

Elle est également utilisée pour analyser a posteriori les causes d'accidents qui se sont produits. Dans ces cas, l'événement redouté final est généralement connu car observé. On parle alors d'analyse par arbre des causes, l'objectif principal étant de déterminer les causes réelles qui ont conduit à l'accident.

Objectifs et principe

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'évènements ou combinaisons d'évènements pouvant finalement conduire à cet événement. Cette analyse permet de remonter de causes en causes jusqu'aux évènements de base susceptibles d'être à l'origine de l'événement redouté.

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 estimée.

Les liens entre les différents évènements identifiés sont réalisés grâce à des opérateurs logiques « OU » et « ET » ou des fractions « p/n » comme 2/3, 3/4, 3/5, etc.

Cette méthode utilise une représentation graphique qui permet de présenter les résultats dans une structure arborescente.

À 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 évènements de base identifiée.

L'analyse par arbre des défaillances d'un événement redouté peut se décomposer en trois étapes successives :

- Définition de l'événement redouté étudié.
- Élaboration 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. [25]

Définition de l'événement redouté

La définition de l'événement final, qui fera l'objet de l'analyse, est une étape cruciale pour la construction de l'arbre. On conçoit que plus cet événement est défini de manière précise, plus simple sera l'élaboration de l'arbre des défaillances. Par ailleurs, s'agissant d'une méthode qui peut se révéler rapidement lourde à mener, elle doit être réservée à des événements jugés particulièrement critiques.

Élaboration de l'arbre

La construction de l'arbre des défaillances vise à déterminer les enchaînements d'évènements pouvant conduire à l'événement final retenu. Cette analyse se termine lorsque toutes les causes potentielles correspondent à des événements élémentaires. L'élaboration de l'arbre des défaillances suit le déroulement suivant :

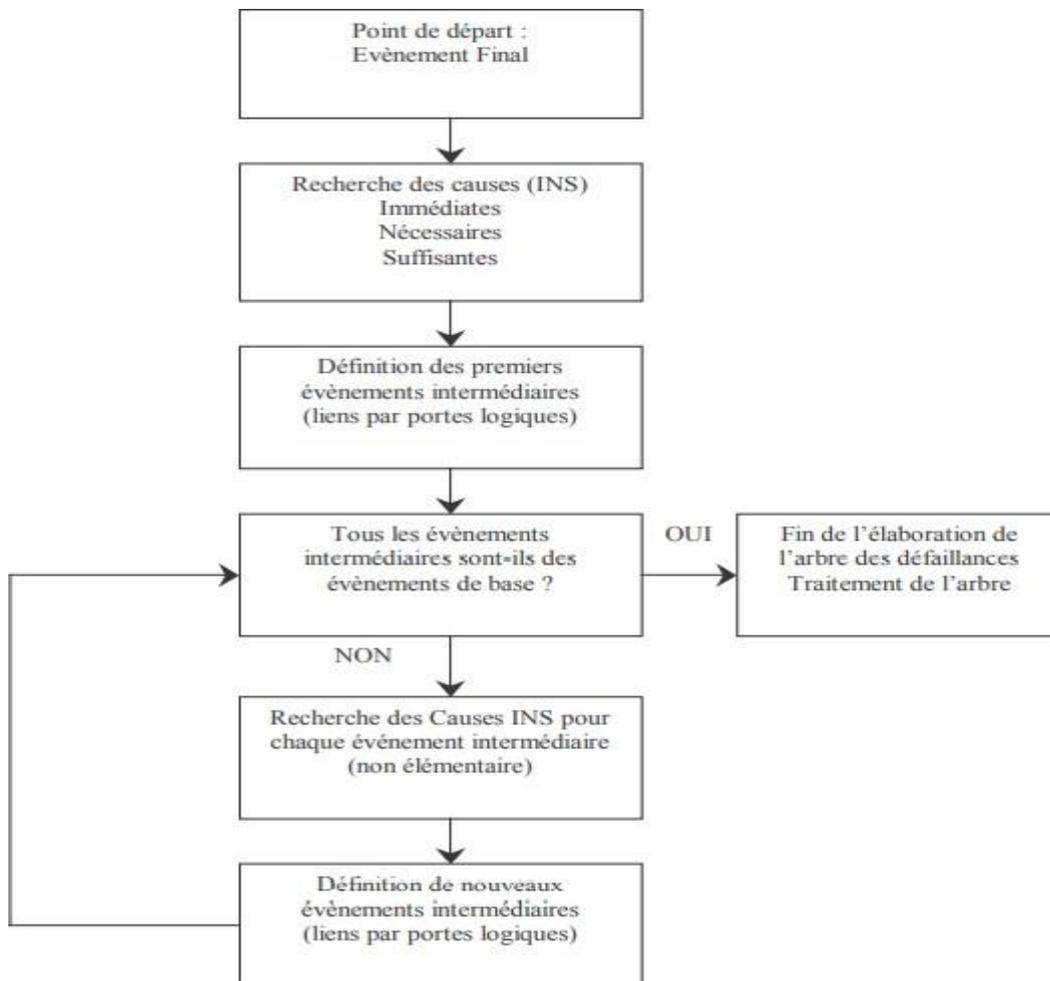


Figure n° 14 : Élaboration de l'ADD [25]

Il est nécessaire de respecter certaines règles supplémentaires à observer durant la construction de l'arbre :

- Vérifier que le système est cohérent.
- S'assurer que tous les évènements d'entrée d'une porte logique ont bien été identifiés avant d'analyser leurs causes respectives.
- Éviter de contacter directement deux portes logiques.
- Ne sélectionner que les causes antérieures à l'existence de l'évènement considéré.

L'application de ses règles aux réflexions menées au sein d'un groupe de travail conduit à la construction d'un arbre de la forme suivante :

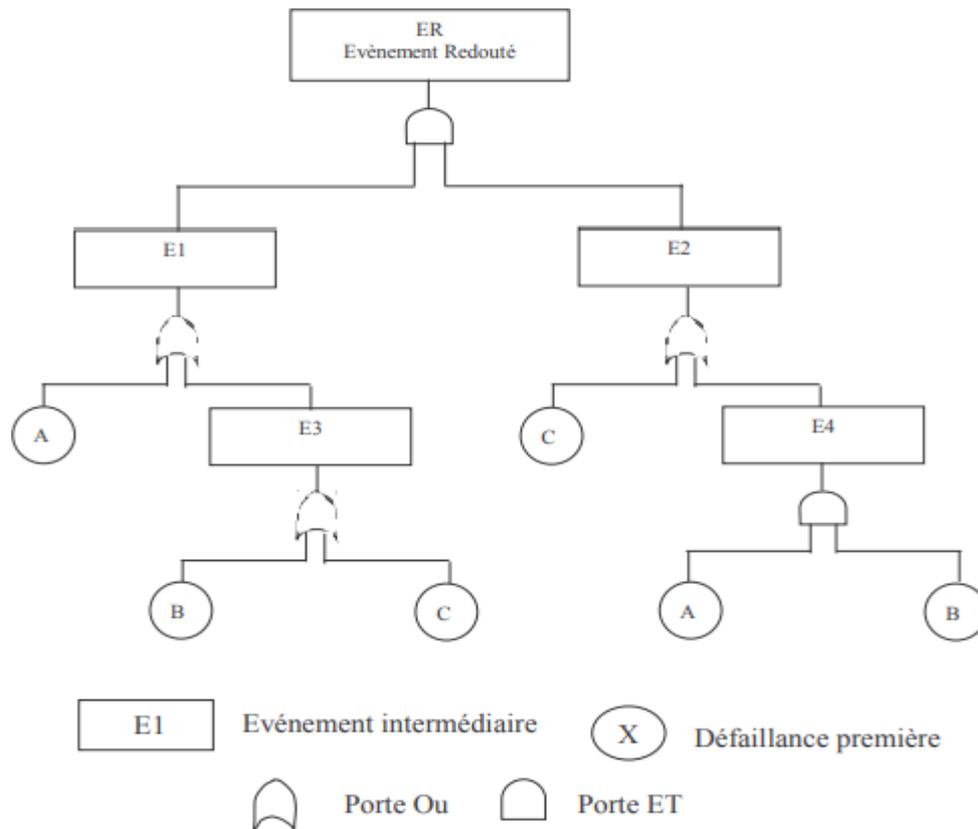


Figure n° 15 : Exemple d'une ADD [25]

IV. CONCLUSION

Dans ce chapitre, on a présenté les notions générales de la sûreté de fonctionnement. En outre on a passé par un aperçu sur les différentes méthodes utilisées pour évaluer les risques, soit qualitativement ou quantitativement. Pour notre étude, on a choisi de se concentrer sur deux méthodes : la méthode AMDEC pour une étude approfondie sur les modes de défaillance de notre système et par la suite une étude quantitative par l'utilisation de la méthode ADD.

CHAPITRE III

PRÉSENTATION DE CAS D'ÉTUDE

CHAPITRE III : PRÉSENTATION DE CAS D'ÉTUDE

I. INTRODUCTION

En fait, la région d'Oran compte peu d'incinérateur capable de traiter la charge de déchet à incinérer, générée par les diverses activités de la région. La création d'une station d'incinération, représente une solution optimale pour les problèmes rencontrés dans la région d'Oran, en matière de gestion des déchets. D'autre part, le traitement ou le dépôt inadéquat de ces déchets peut représenter un risque de contamination ou de pollution de l'environnement.

Cette partie sera consacrée à l'identification et la présentation de l'unité de Station d'incinération de déchets industriels et DASRI, de recyclage de plastique et de pneus usagés de la SDCIM SPA pour mieux comprendre l'activité du système et faciliter son analyse. [28]

II. Présentation

Identification du promoteur :

Tableau n°05 : Identification du promoteur [28]

Raison sociale :	SPA SDCIM
Statut (Privé / Public) :	Privé
Forme juridique (Physique / Moral) :	Moral / SPA (Société par actions)
Objet social / Secteur d'activité :	Station d'incinération de déchets industriels et DASRI, de recyclage de plastique et de pneus usagés
Classe :	Établissement classé en catégorie 1 (AM)
Assemblée populaire communale :	BETHIOUA
Adresse :	LOT 104, SECTION 07, PLAINE GOURIRAT, Commune et Daïra de BETHIOUA, Wilaya d'Oran 31000, Algérie.
Siège sociale :	13 Rue LAKHDAR Hafiz, Oran 31000, Algérie.
Fax :	/
E-mail :	/
Nombre d'effectif :	18 pour le démarrage, objectif : atteindre 27
Rythme de travail :	2 x 8h
Superficie totale du terrain :	114 780 m ²
Superficie du terrain à exploiter :	41 17,04 m ²

Situation et implantation

L'unité est située dans le LOT 104, SECTION 07, PLAINE GOURIRAT, Commune et Daïra de BETHIOUA, Wilaya d'Oran 31000, Algérie. L'établissement est destiné à la l'incinération de déchets industriels et DASRI, de recyclage de plastique et de pneus usagés. Elle occupe une superficie 41 317,04 m². [28]

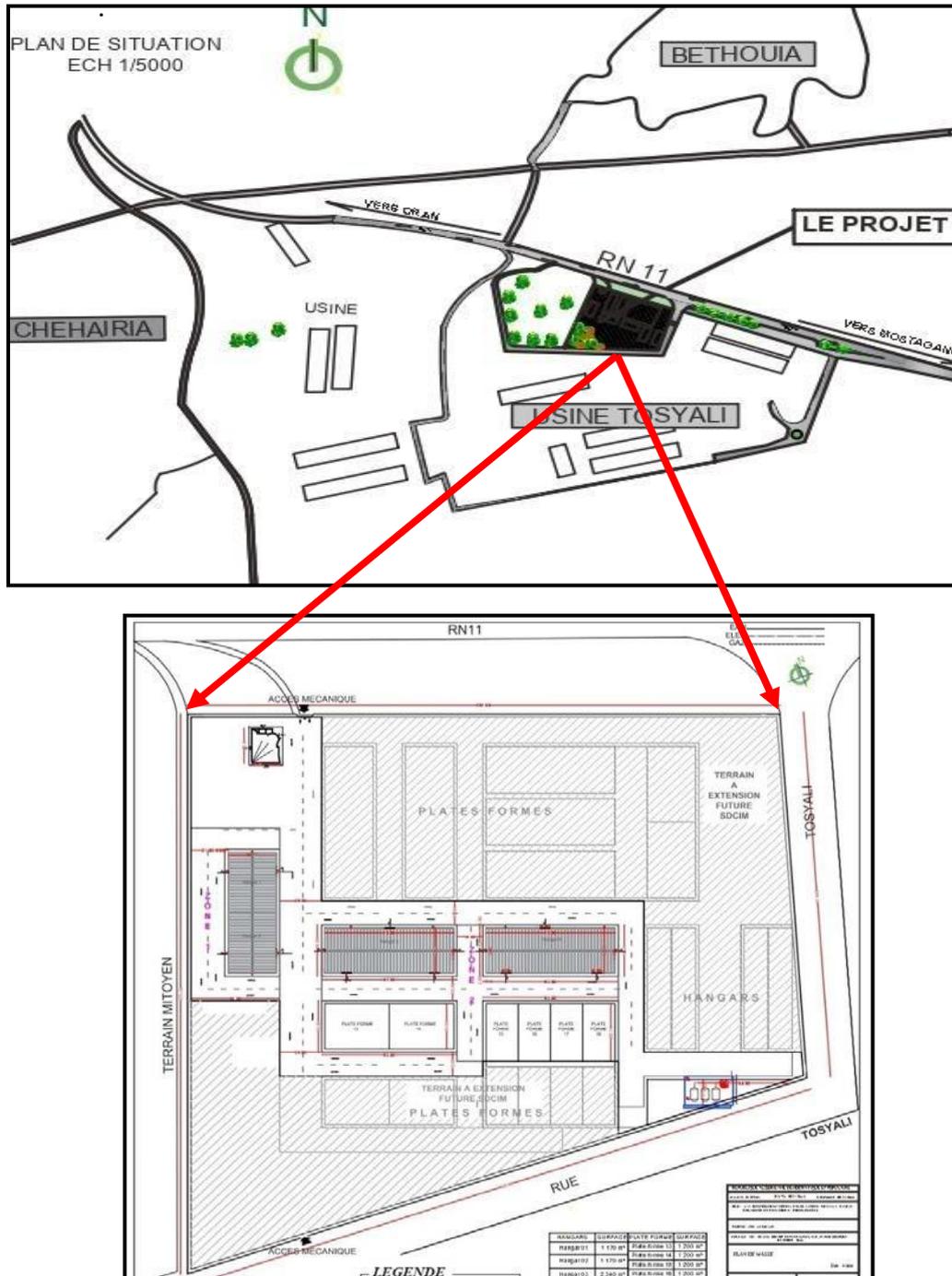


Figure n°16 : Situation et implantation du projet [28]

Aménagement de l'unité

L'aménagement de la station de SDCIM SPA est divisé en deux zones de process comme suivant :

Zone 1 : Zone d'incinération (Cette zone est clôturée avec grillage) constitué de : hangar 1 et hangar 2 ;

Zone 2 : Zone de récupération et valorisation des déchets constitué de : hangar 3, hangar 4 et 6 plateformes de stockage. [28]

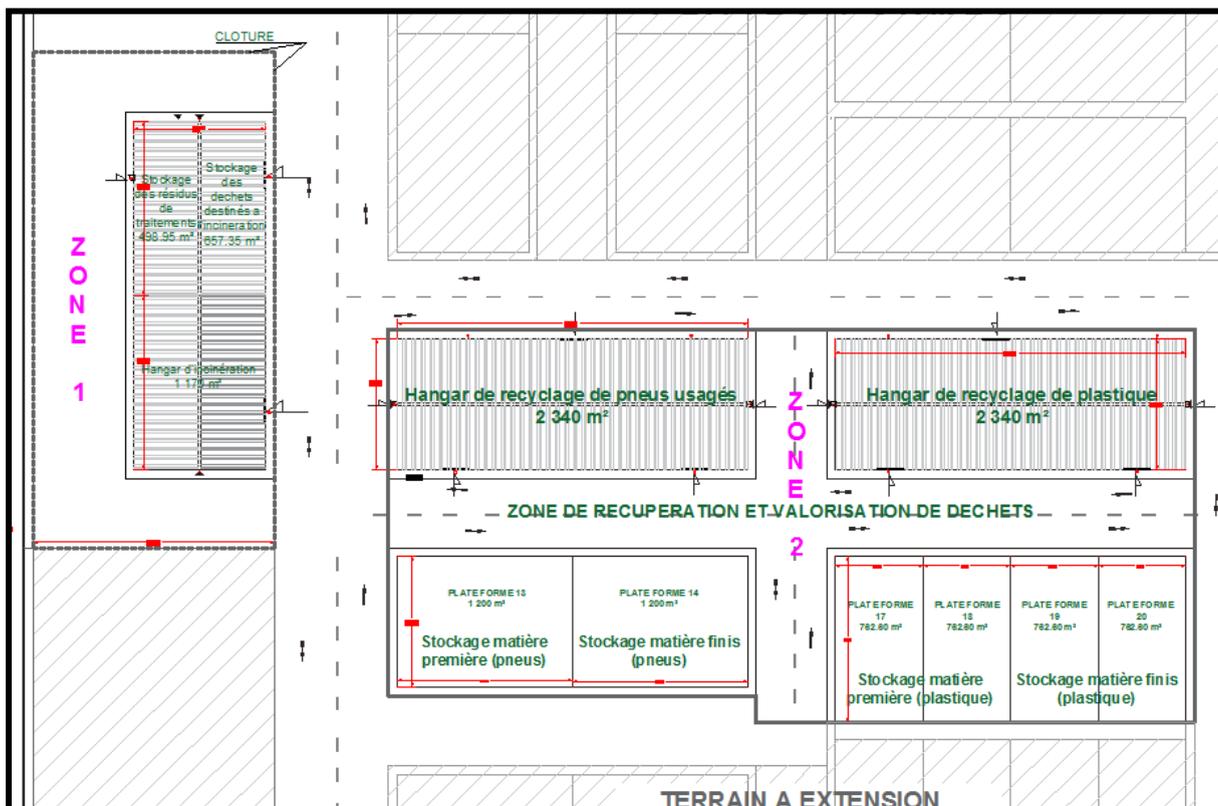


Figure n°17 : Les zones de process [28]

III. Procédé d'incinération

L'incinération des déchets industriels et DASRI dans la station de la SPA SDCIM est réalisée en passant par les étapes suivantes dont la capacité d'incinération est de 250 kg/h :

1. Réception des déchets ;
2. Tri des déchets ;
3. Stockage des déchets ;
4. Traitement par incinération ;

5. Tri des résidus de traitement ;
6. Stockage des résidus de traitement ;
7. Élimination des résidus de traitement. [28]

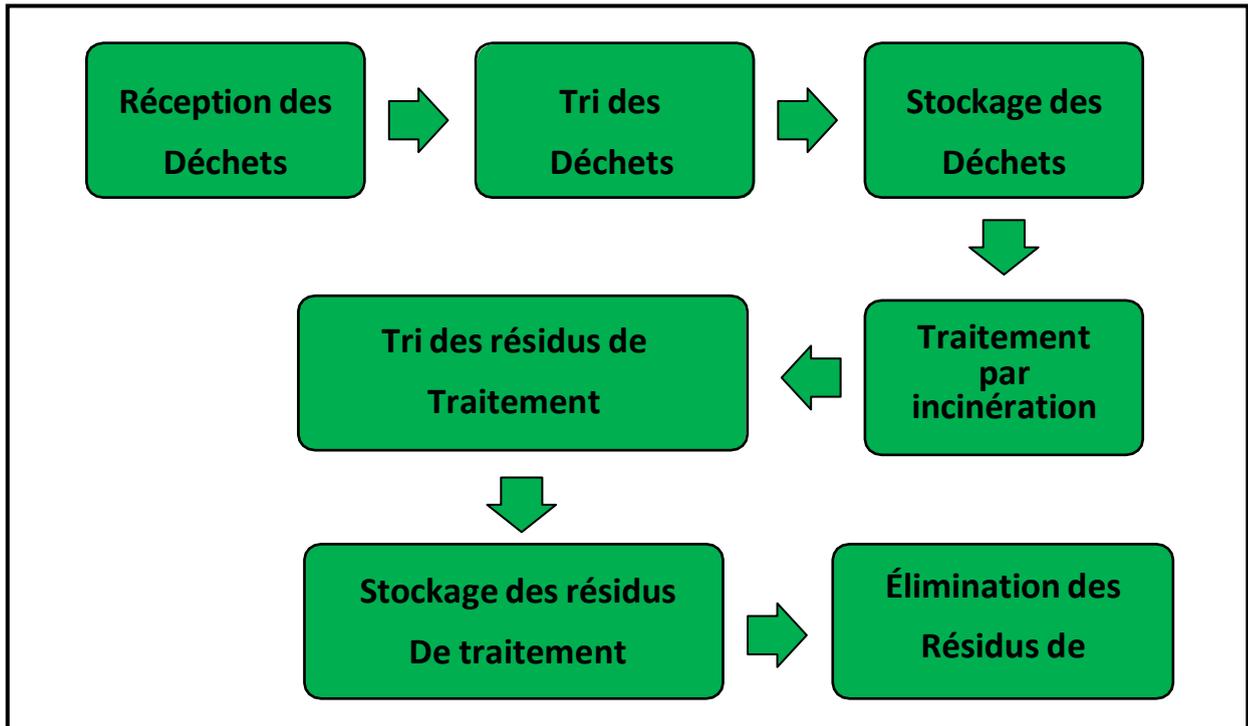


Figure n°18 : Processus d'incinération des déchets industriels et DASRI [28]

L'incinération des déchets nécessite les moyens matériels suivants :

- Une chambre froide pour le stockage des déchets de soin.
- Un coffre-fort pour le stockage des produits psychotrope (un médicament, d'une substance qui agit chimiquement sur le psychisme).
- Les engins de manutention mécaniques.
- Les bacs de stockage étanches et étiquetés.
- Les équipements de protection individuelle.
- Les équipements de protection contre l'incendie (RIA et Extincteurs).
- Les moyens de signalisation et affichage. [28]

Provenance et réception des déchets :

Les déchets qui sont stockés dans l'unité sont principalement les déchets de soin et les déchets de soins à caractère infectieux, les déchets de tabac, les déchets alimentaire et agroalimentaires, les engrais périmés, et les produits psychotropes.

La liste des déchets à incinérer : La liste des déchets destinés à l'incinération dans l'unité de SDCIM SPA est élaborée conformément au Décret exécutif n° 06-104 du 29 Moharram 1427 correspondant au 28 février 2006 fixant la nomenclature des déchets, y compris les déchets spéciaux dangereux. [28]

Tableau n°06 : La liste des déchets à incinérer [28]

Code Du Déchet	Désignation du déchet	Classe du déchet	Critère de dangerosité
2	Déchets provenant de l'agriculture, de l'horticulture, de l'aquaculture, de la sylviculture, de la chasse et de la pêche ainsi que de la préparation et de la transformation des aliments		
2.1	Déchets provenant de l'agriculture, de l'horticulture, de l'aquaculture, de la sylviculture, de la chasse et de la pêche		
2.2	Déchets provenant de la préparation et de la transformation de la viande, des poissons et autres aliments d'origine animale		
2.3	Déchets provenant de la préparation et de la transformation des fruits, des légumes, des céréales, des huiles		
	Alimentaires, du cacao, du café, du thé et du tabac, de la production de conserves, de la production de levures et d'extraits de levures, de la préparation et de la fermentation de mélasses		
2.4	Déchets de la transformation du sucre		
2.5	Déchets provenant de l'industrie des produits laitiers		
2.6	Déchets de boulangerie, pâtisserie, confiserie		
2.7	Déchets provenant de la production de boissons alcooliques et non alcooliques (sauf café, thé et cacao)		
7.5	Déchets provenant de la FFDU des produits pharmaceutiques		
15	Emballages et déchets d'emballages, absorbants, chiffons d'essuyage, matériaux filtrants et vêtements de protection non spécifiés ailleurs		

15.1	Emballages et déchets d'emballages (y compris les déchets d'emballages communaux collectés séparément)		
15.1.1	Emballages contenant des résidus de substances dangereuses ou contaminés par de tels résidus	SD	Dangereuse pour l'environnement
15.2	Absorbants, matériaux filtrants, chiffons d'essuyage et vêtements de protection		
15.2.1	Absorbants, matériaux filtrants (y compris les filtres à huile non spécifiés ailleurs), chiffons d'essuyage et vêtements de protection contaminés par des substances dangereuses	SD	Inflammable irritante Nocive
15.2.2	Absorbants, matériaux filtrants, chiffons d'essuyage et vêtements de protection autres que ceux visés à la rubrique 15.2.1	S	
18	Déchets provenant des soins médicaux ou vétérinaires et/ou de la recherche associée (sauf déchets de cuisine et de restauration ne provenant pas directement des soins médicaux)		
18.1	Déchets provenant des maternités, du diagnostic, du traitement ou de la prévention des maladies de l'homme		
18.2	Déchets provenant de la recherche, du diagnostic, du traitement ou de la prévention des maladies des animaux		

Modalité de tri des déchets à incinérer :

Les déchets à destination d'incinération doivent être triés en amont selon les prescritifs de la réglementation (décret exécutif 06-104). Cependant un tri selon la provenance et le type et la dangerosité est fait selon le schéma suivant : [28]

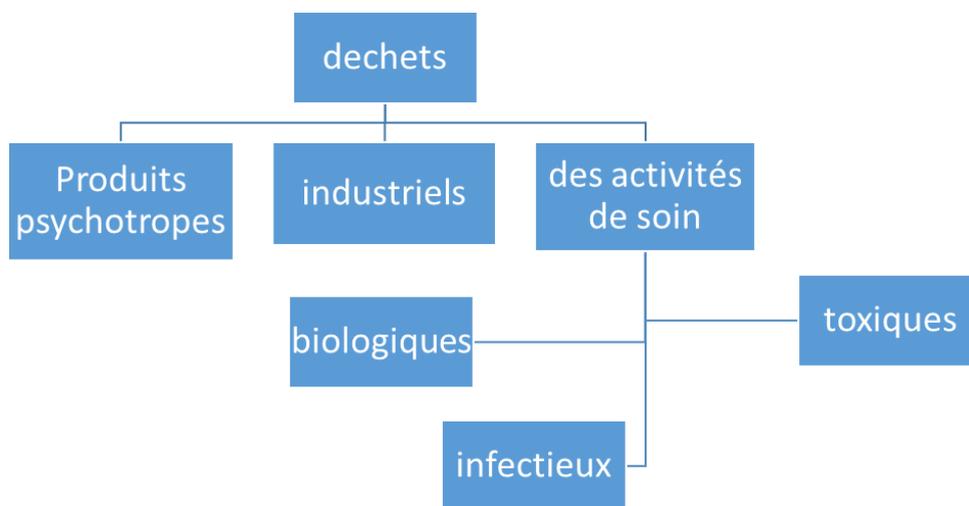


Figure n°19: Modalité de tri des déchets à incinérer[28]

Modalité de stockage des déchets à incinérer et les déchets issus de l'incinération :

Le stockage des déchets à incinérer et les déchets issus de l'incinération se fait conformément au décret exécutif 05-08 relatif aux prescriptions particulières applicables aux substances, produits ou préparations dangereuses en milieu de travail.

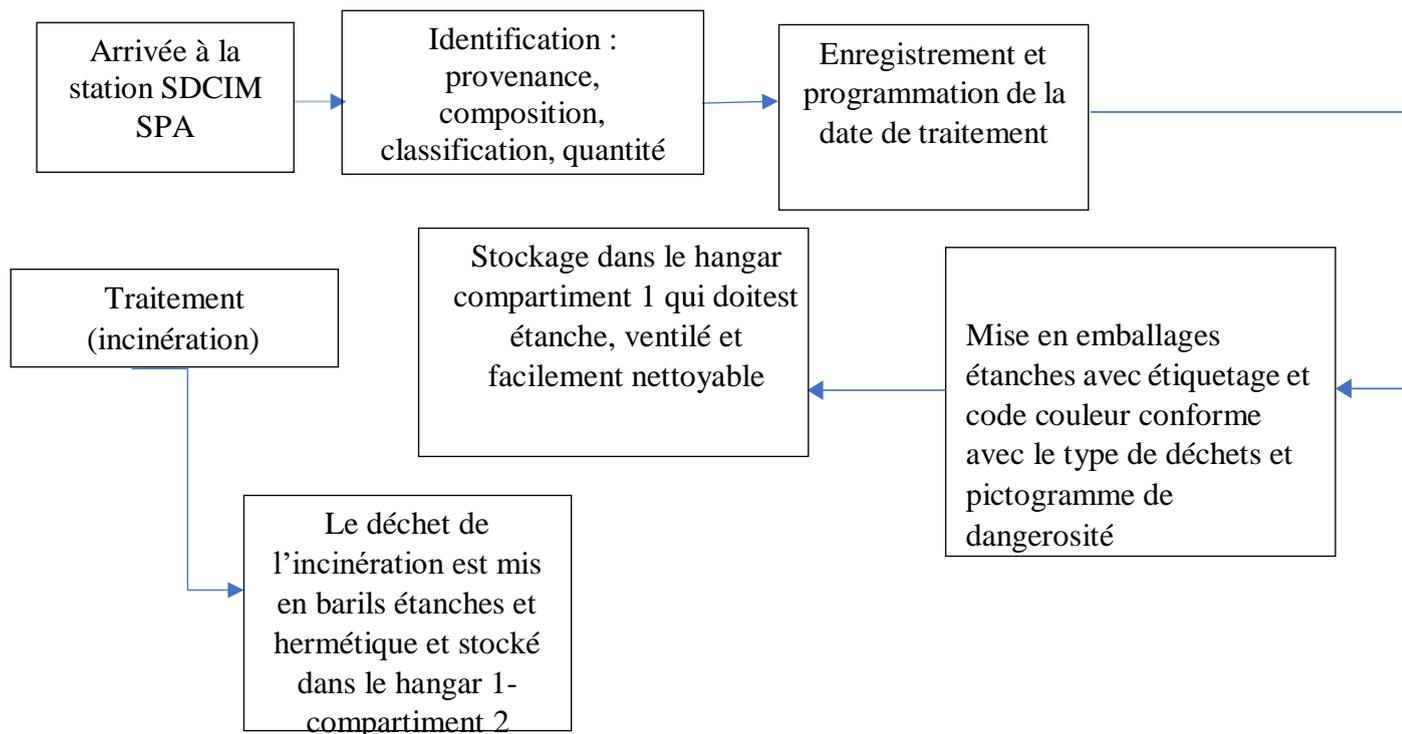


Figure n°20 : Modalités de stockage de déchets destinés à l'incinération

IV. Traitement par incinération :

Description de l'incinérateur :

L'incinération de déchets (SID) de BIOWAS INCINERATORS fait appel à la combustion comme procédé de traitement en présence d'air. La combustion est une réaction exothermique d'oxydoréduction qui permet d'éliminer les différents types de déchets d'une manière presque totale (un rendement de 97%) Le principe de ce système privilège la création d'une flamme à une température élevée (arrive jusqu'à 1200 °C) pour qu'un échange de chaleur et d'humidité s'effectue entre cette flamme et les déchets. [26]

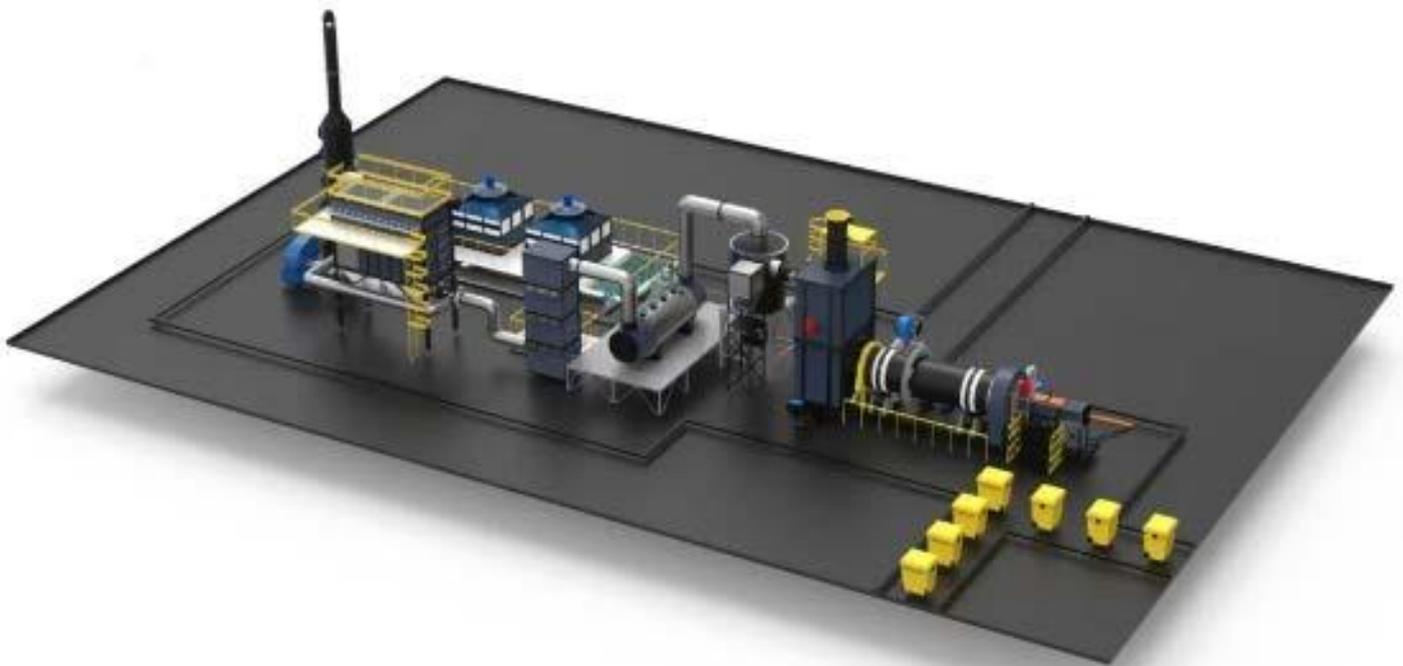


Figure n°21: Modèle 3D de l'incinérateur [26]



Figure n°22: Système d'incinération [26]

Caractéristiques techniques :

L'incinérateur rotatif des déchets industriels avec station de traitement des fumées par voie semi-humide capacité 250 Kg/h est caractérisé par : [26]

Tableau n°07 : Caractéristiques techniques de l'équipement d'incinération [26]

Désignation		Caractéristiques
Volume de chambre de combustion		04 m ³
Volume de la poste combustion		03 m ³
Nombre de brûleurs	Chambre de combustion	01
	Post combustion	01
Capacité thermique de la chambre de combustion		800 000 Kcal
Température	Chambre de combustion	> 850°C
	Post combustion	1200°C
Poids de l'incinérateur		11000 Kg
Capacité d'incinération		250 Kg/h
Temps de rétention (combustion)		02 seconds
Puissance électrique		220-380 V /50 Hz
Consommation de l'électricité		40_60 KW
P.C.I moyen des déchets		4500 Kcal/kg
Dimension de la cheminée		Diamètre 400 mm, hauteur 08 m
Dimension de la porte de chargement en mm		600 x 600
Carburant		Essence/diesel
Consommation Moyenne de comburant		40-50 m ³

les composants de système d'incinération :

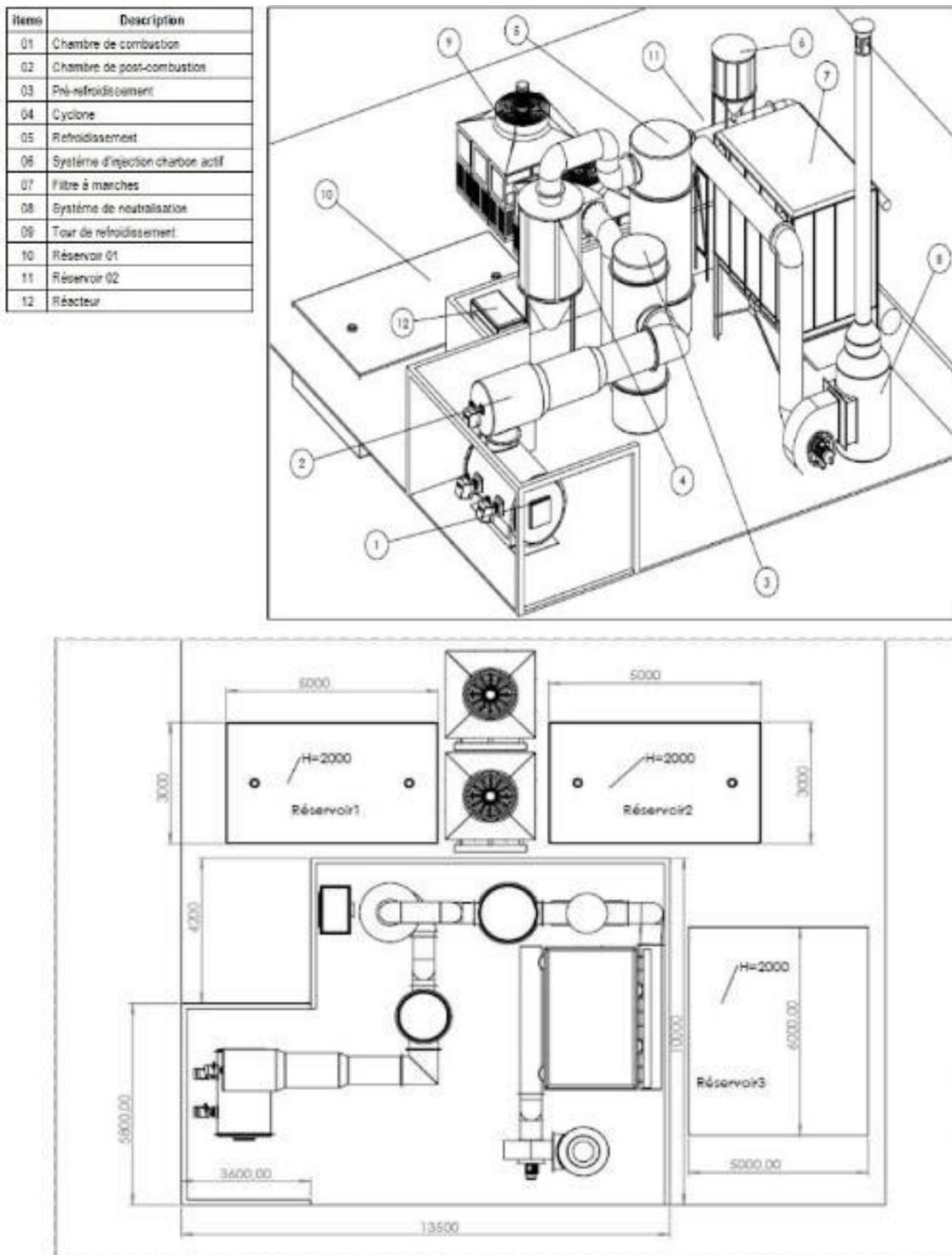


Figure n°23 : Composition de l'équipement d'incinération [26]

Descriptif technique de chaque équipement :

- Un système de chargement automatique :

Le système de chargement automatique est utilisé pour assurer le chargement des déchets dans la chambre de combustion de l'incinérateur.

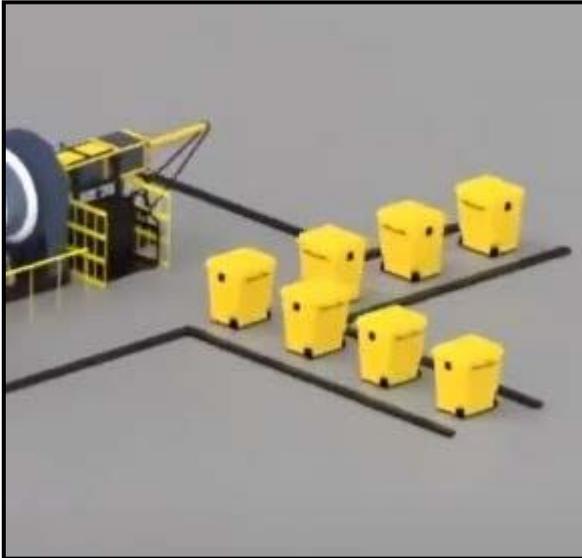


Figure n°24 : Chargement des déchets [26]

- Deux chambres de combustion :

_La première chambre Rotative permet d'incinérer les déchets pour les réduire en cendres Elle se compose des éléments suivants :

Une porte d'accès, un brûleur de combustion avec un contrôleur de température automatique, une sonde de température, un ventilateur d'air et système de rotation avec gros engrenage.

_La seconde chambre (Post-Combustion) se caractérise par un temps de séjour de 2 seconds. Elle fonctionne à l'aide d'un : brûleur avec contrôleur automatique de la température et une sonde permettant un meilleur contrôle de la température produite dans cette chambre qui peut atteindre jusqu'à 1200 C.



Figure n°25 : Chambre de combustion [26] Figure n°26 : Chambre de post combustion [26]

- **Un système de traitement des émissions :**

La station de traitement des émissions de BLOWAS MAKINA, est un procédé qui consiste à traiter les fumées générées par les opérations de fusion en captant les composantes polluantes dans les fumées. La station de traitement des émissions regroupe un ensemble des dispositifs chacun fonctionne selon une base différente en créant un système complet pour la filtration des fumées. Ce système favorise cinq étapes successives telles que :

- Le pré-refroidissement des fumées ;
- Séparation des particules solides ;
- Refroidissement des fumées ;
- Filtration de la poussières ultrafines ;
- Neutralisation des particules acides et gazeux.

- **Cyclone :**

Le cyclone est un dispositif technologique qui permet de séparer les particules de grande taille contenues dans les fumées. Ce procédé mécanique impose une rotation des fumées d'une manière rapide et s'appuie sur une force de centrifuge qui sert à réduire le mélange de particules solides dans les fumées par le contact avec les parois. Au cours de ce processus, un réactif est injecté le choix du réactif est déterminé par la nature des déchets incinérés (la chaux ou Bicarbonate de Sodium sous forme de poudre) le cyclone fonctionnel comme un neutralisant, en Injectant du carbonate de sodium ou bicarbonate de soude (qui réagit mieux à haute température) pour traiter les acides et avec l'isolation que le revêtement de béton réfractaire fournit. Il empêchera les autres équipements (installer après le cyclone) d'être endommagés et érodés.



Figure n°27 : le cyclone [26]

- Laveur Humide :

Les fumées sortantes du cyclone passent a travers un laveur humide, qui sert à abaisser la température des fumées en favorisant un procédé d'échange « eau/fumes » Simultanément à l'injection du réactif sous forme de solution (La soude caustique, la chaux sous forme de lait, l'urée). L'intérêt d'un laveur humide consiste dans le fait qu'il est adopté aux températures plus élevées et résistant aux pressions très fortes.



Figure n°28 : le laveur humide [26]

- **Le dépoussiéreur :**

Le dépoussiéreur est un système de nettoyage continu et automatique par air comprimé. Il permet d'obtenir une filtration maximale, en particulier dans le cas des poussières fines dans tous les types d'incinérateurs exigeant une amélioration de la qualité des fumées dégagées dans l'air.



Figure n°29 : dépoussiéreur [26]

- **La Colonne De Neutralisation :**

La colonne de neutralisation permet d'éliminer les composante acide et gazeuses des fumées en injectant un liquide composé de l'eau plus la soude caustique. Un système de régulation de PH automatique est utilisé pour maintenir le niveau de PH d'agent de neutralisation.



Figure n°30 : colonne de neutralisation [26]

V. CONCLUSION :

En conclusion, la présentation de l'incinérateur a mis en évidence son rôle crucial dans la gestion efficace des déchets. Cet incinérateur offre une solution technologiquement avancée pour traiter les déchets.

On a présenté ses composants et son fonctionnement, alors dans le prochain chapitre on va appliquer l'analyse sur ce système.

CHAPITRE IV

L'APPLICATION DE LA MÉTHODOLOGIE RAMS SUR L'INCINÉRATEUR

CHAPITRE IV : L'APPLICATION DE LA MÉTHODOLOGIE RAMS SUR L'INCINÉRATEUR

I. INTRODUCTION

Les analyses du système sont essentielles pour comprendre les défaillances potentielles, évaluer les risques, optimiser les ressources, planifier la maintenance et poursuivre une démarche d'amélioration continue.

Dans ce chapitre, nous explorerons plus en détail l'AMDEC et l'ADD, en expliquant leurs étapes clés et leurs applications pratiques.

II. Démarche de l'étude AMDEC :

D'après le retour d'expérience et les accidents survenue dans les installations d'incinération, Nous avons constaté que les principales causes d'accident et les problèmes au niveau de la maintenance dans l'incinérateur est le dysfonctionnement des équipements, cela nous a inciter à faire une étude AMDEC, 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. La démarche générale retenue dans ce mémoire pour cette étude comporte les étapes suivantes :

Initialisation,

Analyse **fonctionnelle**,

Analyse **AMDEC**,

Diagramme de **Pareto**,

Analyse des défaillances **ADD**,

Actions correctives menées.

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 : incinérateur
- Découpage du système en sous-système
- Définir les modes de défaillance pour chaque sous-système
- Cause de défaillance
- Effet de défaillance

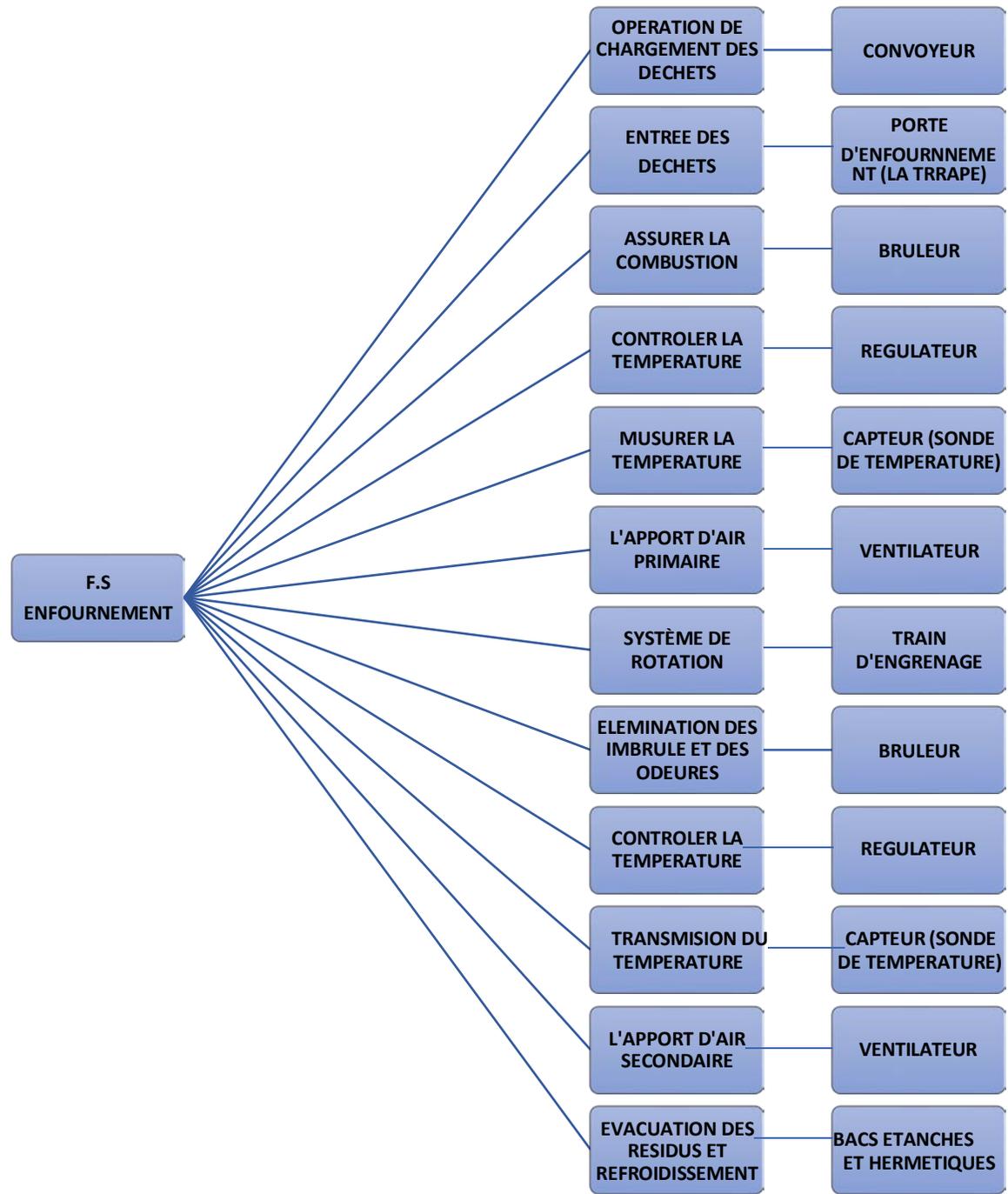
- Détection de défaillance
- Évaluer le niveau du risque « criticité » : Gravité, Probabilité, détection

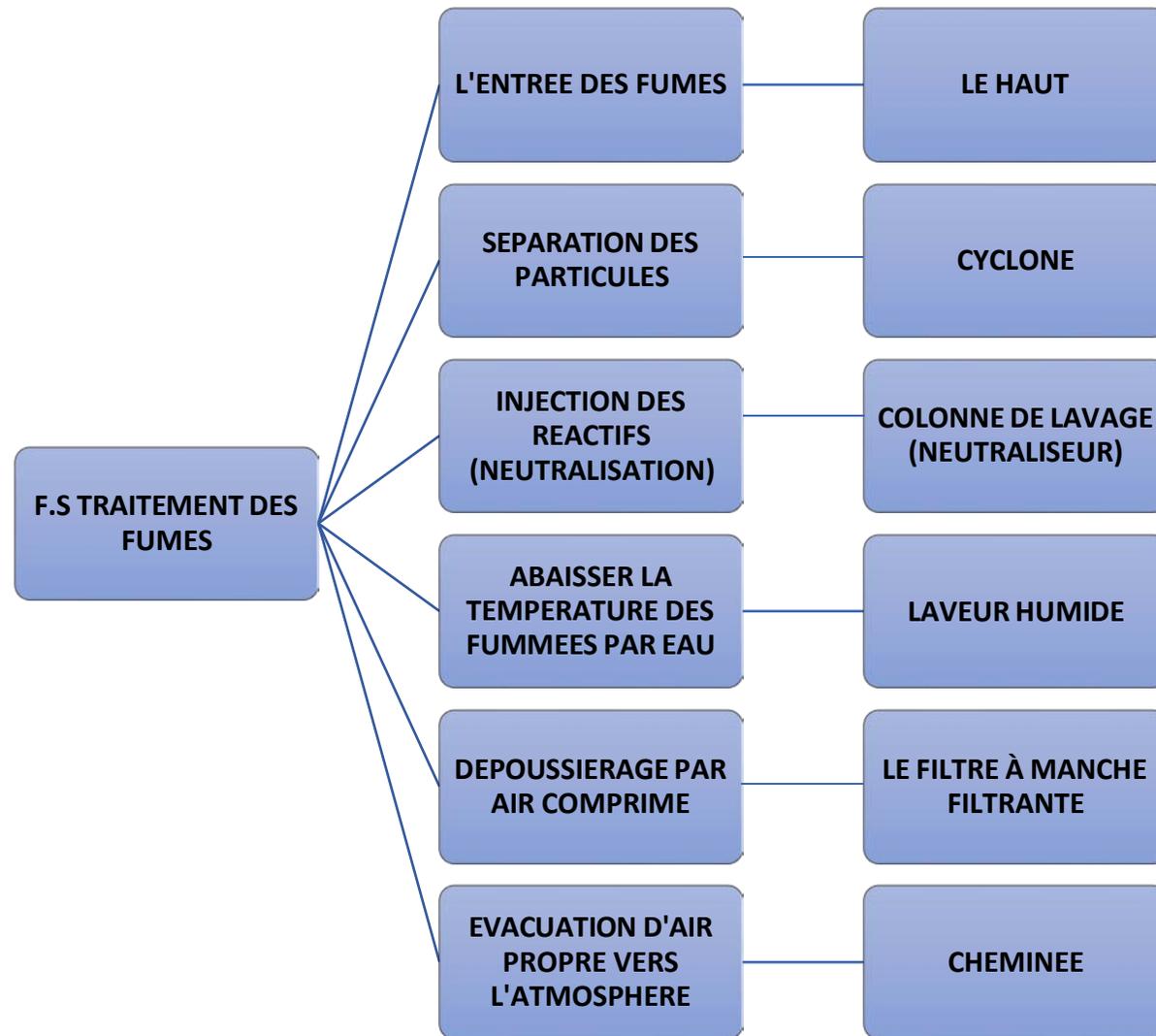
Le support de travail de cette étape est le tableau AMDEC là où on résume toutes les défaillances, leurs effets, leurs causes et les actions à engager.

Nos supports de travail dans cette étude sont :

- L'expérience des ingénieurs et du Co-encadreur ;
- Les rapports d'anomalies et d'inspection exécutés mensuellement ;
- Des retours d'expérience sur l'incinérateur.

Analyse fonctionnelle (méthode FAST) :





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. Nous allons tout d'abord définir une échelle de cotation des différents critères choisies, 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 n°08 : 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 : 1 à 3 défaillances par 10 ans
2	Défaillance possible : 1 à 3 défaillances par 5 ans
3	Défaillance fréquente : 1 à 3 défaillances par an
4	Défaillance très fréquente : 1 à 3 défaillances par trimestre
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

Tableau n°09 : matrice de criticité

[1-12[Zone 1	Risque acceptable
[12-24[Zone 2	Risque à surveiller
[24-64]	Zone 3	Risqué inacceptable

Analyse AMDEC

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

Tableau n°10 : Tableau AMDEC

Elément	Mode de défaillance	Causes	Effets	Système: Incinérateur				Action Préventive
				Criticité				
				F	G	D	C	
Convoyeur	<ul style="list-style-type: none"> -Problème de moteur -détérioration de la bande transporteuse -Problème de commande électrique 	<ul style="list-style-type: none"> -Manque de lubrification, surcharge du moteur, dysfonctionnement électrique, usure des composants -Tension inappropriée de la bande, accumulation de débris, utilisation de matériaux de mauvaise qualité -Défaillance du système de contrôle, court-circuit, mauvaise connexion électrique, surtension 	<ul style="list-style-type: none"> -Arrêt du convoyeur -Arrêt du convoyeur -Perte de contrôle du convoyeur 	2	3	1	06	<ul style="list-style-type: none"> -Planifier la maintenance régulière du moteur -Vérifier périodiquement l'état de la chaîne du convoyeur -Installer un système de surveillance et d'alerte des commandes

Trappe	-Trappe bloquée en position fermée	- Accumulation de débris ou de déchets	- Incapacité à charger ou décharger les déchets	4	2	2	16	- Nettoyer régulièrement la trappe pour éviter l'accumulation de débris
	-Trappe bloquée en position ouverte	- Dysfonctionnement du mécanisme de verrouillage	- Perte de confinement des déchets					- Inspecter et entretenir régulièrement le mécanisme de verrouillage
	- Mécanisme de commande défectueux	- Usure ou défaillance des composants	- Incapacité à ouvrir ou fermer la trappe					

<p>Brûleur</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Problème d'allumage - Encrassement des buses - Fuite de gaz de combustion 	<ul style="list-style-type: none"> - Défaillance de l'allumeur, absence d'air ou de carburant - Accumulation de résidus, qualité du carburant - Joint défectueux, fissures dans les parois 	<ul style="list-style-type: none"> - Mauvaise répartition du carburant, combustion inefficace - Incapacité à démarrer la combustion - Risque d'explosion, pollution de l'air environnant 	<p>3</p>	<p>4</p>	<p>3</p>	<p>36</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Vérification régulière de l'allumeur, maintenance préventive, approvisionnement adéquat en air et en carburant - Nettoyage régulier des buses, utilisation de carburant de qualité - Vérification régulière des joints et des parois, maintenance préventive
<p>Ventilateur</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Défaillance du moteur - Encrassement des pales 	<ul style="list-style-type: none"> - Usure du moteur, surcharge électrique - Accumulation de particules, mauvaise qualité de l'air 	<ul style="list-style-type: none"> - Absence de circulation d'air, combustion insuffisante - Réduction du débit d'air, diminution de l'efficacité de combustion 	<p>2</p>	<p>3</p>	<p>2</p>	<p>12</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Maintenance régulière du moteur, surveillance de la consommation électrique - Nettoyage régulier des pales, utilisation de systèmes de filtration appropriés

Régulateur	<ul style="list-style-type: none"> - Défaillance du système de contrôle - Panne électrique 	<ul style="list-style-type: none"> - Défaillance des capteurs, des vannes ou des systèmes de régulation - Problèmes électriques, surtension ou sous-tension 	<ul style="list-style-type: none"> - Instabilité de la combustion, fluctuations de température - Perte de contrôle du processus de combustion 	3	3	3	27	<ul style="list-style-type: none"> - Vérification régulière des composants du système de contrôle, maintenance préventive - Maintenance préventive du système électrique, protection contre les surtensions
Capteur de température	<ul style="list-style-type: none"> - Capteur mal positionné ou mal fixé - Capteur hors calibration - Capteur endommagé 	<ul style="list-style-type: none"> - Erreur humaine lors de l'installation - Usure ou défaillance interne - Chocs ou vibrations excessifs 	<ul style="list-style-type: none"> - Mesure de température incorrecte - Mesure de température inexacte - Perte de mesure de température 	3	2	3	18	<ul style="list-style-type: none"> - Vérifier l'installation du capteur et le fixer correctement - Calibrer régulièrement le capteur selon les spécifications du fabricant - Protéger le capteur contre les chocs et les vibrations

	- Capteur obstrué	- Accumulation de poussière ou de débris	- Mesure de température incorrecte					- Nettoyer périodiquement le capteur pour éviter l'obstruction
Train D'engrenage	- Usure des dents de l'engrenage - Casse de dent - Défauts de fabrication	- Lubrification inadéquate, charge excessive, matériaux de mauvaise qualité - Surcharge, défauts de fabrication, chocs, corrosion - Mauvaise qualité des matériaux, erreurs de production	- Réduction de la transmission de puissance, bruit excessif - Perte de transmission de puissance, risque de dommages supplémentaires - Usure prématurée, perte de puissance	2	3	2	12	- Utiliser un lubrifiant de haute qualité, respecter les limites de charge, utiliser des matériaux de qualité - Vérifier la charge, améliorer les processus de fabrication, protéger contre la corrosion - Mettre en place un contrôle de qualité rigoureux,

<p>Le cyclone</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Obstruction du flux d'air - Déformation structurelle - Usure des parois du cyclone 	<ul style="list-style-type: none"> - Accumulation de poussière, mauvais entretien, conception inadéquate - Chocs, vibrations excessives, corrosion - Frottement constant des particules, corrosion, abrasion 	<ul style="list-style-type: none"> - Réduction de l'efficacité de séparation, augmentation de la perte de charge - Perte d'étanchéité, réduction de l'efficacité de séparation - Fuite de particules, diminution de l'efficacité de séparation 	<p>2</p>	<p>2</p>	<p>2</p>	<p>08</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Mise en place d'un programme d'entretien régulier, nettoyage régulier, conception adéquate des entrées/sorties d'air - Renforcer la structure, installer des dispositifs d'amortissement des chocs et des vibrations, protéger contre la corrosion - Utiliser des matériaux résistants à l'abrasion, revêtement protecteur, programme d'entretien préventif
--------------------------	--	---	---	----------	----------	----------	------------------	---

Laveur Humide	<ul style="list-style-type: none"> - Dosage incorrect de la solution - Panne électrique - Obstruction des filtres - Résidus de solution de nettoyage 	<ul style="list-style-type: none"> - Erreur de dosage manuel - Défaillance de l'alimentation électrique - Encrassement des filtres - Mauvais rinçage 	<ul style="list-style-type: none"> - Nettoyage inefficace ou dommages aux composants - Arrêt complet du laveur - Diminution du débit d'eau et accumulation de saleté - Contamination des surfaces 	2	2	2	08	<ul style="list-style-type: none"> - Utiliser un système de dosage automatisé - Installer un système d'alimentation de secours - Nettoyer régulièrement les filtres
----------------------	--	--	---	---	---	---	-----------	--

<p>Dépoussiéreur</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Obstruction des filtres - Usure ou déchirure des filtres - Défaillance des systèmes de contrôle - Fuites ou bris des conduits 	<ul style="list-style-type: none"> - Accumulation excessive de poussière ou de particules - Matériaux de mauvaise qualité, abrasion - Dysfonctionnement des capteurs ou des dispositifs de régulation - Usure, corrosion ou dommages mécaniques 	<ul style="list-style-type: none"> - Réduction de l'efficacité de filtration, augmentation de la pression différentielle - Fuite de poussière, réduction de l'efficacité de filtration - Mauvaise qualité de l'épuration des fumées, non-conformité aux normes de réglementation - Émissions non contrôlées de polluants dans l'environnement, perte d'efficacité du système 	<p>3</p>	<p>3</p>	<p>2</p>	<p>18</p>	
-----------------------------	--	---	--	-----------------	-----------------	-----------------	------------------	--

<p>Neutralisateur</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Panne de la pompe de dosage. - Fuite au niveau du réservoir de neutralisation. - Défaillance de l'agitateur. - Mauvais dosage des produits chimiques. - Défaut du système de contrôle automatique. 	<ul style="list-style-type: none"> - Usure normale de la pompe de dosage. - Mauvais scellement du réservoir de neutralisation. - Défaillance du moteur de l'agitateur. - Erreur de programmation du système de dosage. - Défaillance du logiciel de contrôle automatique. 	<ul style="list-style-type: none"> - Interruption du processus de neutralisation. - Risque de contamination environnementale. - Réduction de l'efficacité du traitement des déchets. - Possibilité d'endommager l'équipement. 	<p>2</p>	<p>4</p>	<p>2</p>	<p>16</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Plan de maintenance préventive régulière pour la pompe de dosage. - Remplacement du joint d'étanchéité défectueux du réservoir de neutralisation. - Réparation ou remplacement du moteur de l'agitateur en cas de panne. - Vérification et calibrage réguliers du système de dosage. - Mise à jour ou réparation du logiciel de contrôle automatique.
------------------------------	--	--	---	-----------------	-----------------	-----------------	------------------	---

Calcul de criticité :

Après l'utilisation de l'analyse AMDEC de notre système d'incinération on va calculer les cumuls de criticité et les pourcentages de cumul et ensuite construire un diagramme ABC de Pareto afin de mettre en évidence les problèmes majeurs et d'identifier les domaines prioritaires pour l'amélioration.

Tableau n°11 : calculs de criticités cumulées

Équipement défaillant	Criticité	Cumul de criticité	Cumul du Pourcentage
Bruleur	36	36	20.33%
Régulateur	27	63	35.59%
Capteur	18	81	45.76%
Dépoussiéreur	18	99	55.92%
Trappe	16	115	64.96%
Neutralisateur	16	131	74%
Train d'engrenage	12	143	80.78%
Ventilateur	12	155	87.56%
Laveur humide	08	163	92.08%
Cyclone	08	171	96.6%
Convoyeur	06	177	100%
Totale	177		

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

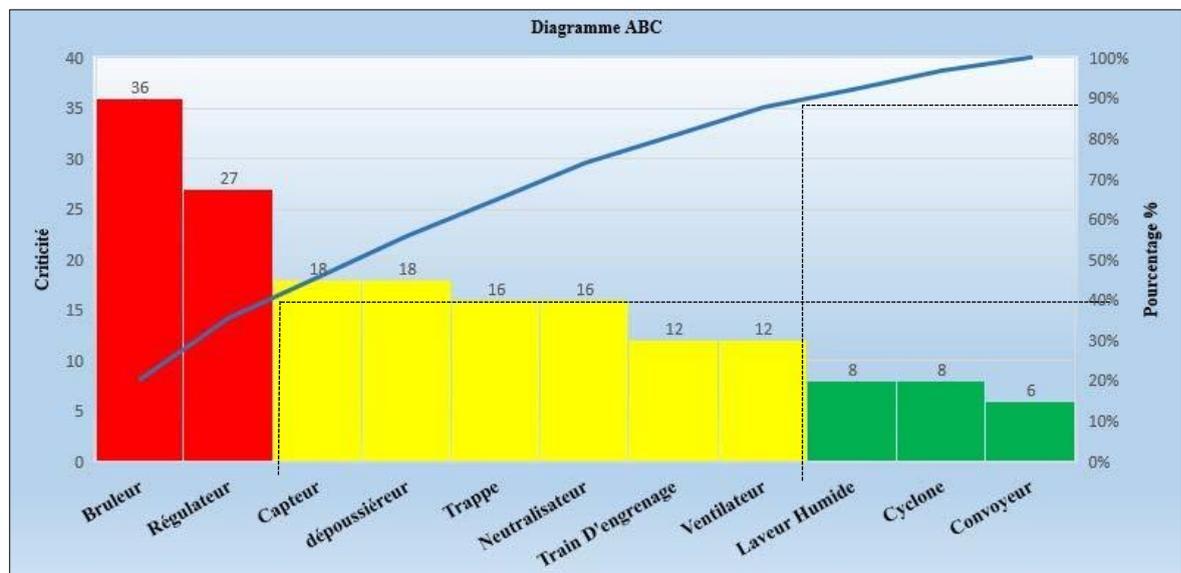


Figure n°31 : Diagramme ABC Pareto

Analyse de diagramme de Pareto :

À partir du diagramme ABC on peut déduire que 42 % de la criticité du système est représenté par les 2 premières défaillances, c'est à dire que ces 2 premières défaillances se sont les plus critiques pour le fonctionnement du système.

Zone A est 2/11 → 18 % des défaillances présentent 42% de la criticité

Zone B 6/11 → 54.5% des défaillances présentent 49% de la totalité de la criticité

Zone C 3/11 → 27.5 % des défaillances présentent 09% de la totalité de la criticité

On peut conclure que la zone (A) contribue de manière significative aux problèmes du système d'incinération. Cette catégorie doit être prise en considération pour améliorer le système. Les catégories de moindre importance (B et C) peuvent être traitées par la suite, si nécessaire.

Les Recommandations :

D'après l'analyse et le digramme de Pareto le brûleur et le régulateur sont identifiés comme des équipements critiques dans notre système, voici quelques recommandations spécifiques pour améliorer leur fiabilité et leur disponibilité :

Le Brûleur :

Inspection et nettoyage réguliers : Mettre en place un programme d'inspection et de nettoyage réguliers du brûleur pour éliminer les dépôts de suie, les obstructions et les résidus qui pourraient affecter ses performances. Suivez les recommandations du fabricant pour les procédures d'entretien spécifiques.

Calibrage du brûleur : S'assurer que le brûleur est correctement calibré pour une combustion optimale. Vérifiez et ajustez les paramètres tels que la quantité d'air et de carburant pour garantir une combustion efficace et réduire les émissions indésirables.

Surveillance des performances : Installez des capteurs pour surveiller les performances du brûleur, tels que la température de combustion, la qualité de la flamme et les émissions de gaz. Utilisez ces données pour détecter les écarts par rapport aux valeurs cibles et prendre des mesures correctives en cas de besoin.

Remplacement des pièces d'usure : Identifiez les pièces d'usure du brûleur, telles que les injecteurs, les électrodes d'allumage, les joints, et prévoyez leur remplacement périodique pour éviter les défaillances et maintenir les performances optimales du brûleur.

Le Régulateur :

Maintenance régulière : Effectuez des inspections et une maintenance régulière du régulateur conformément aux recommandations du fabricant. Nettoyez les filtres, lubrifiez les pièces mobiles et remplacez les pièces d'usure si nécessaire.

Surveillance des paramètres : Utilisez des capteurs pour surveiller les paramètres clés du régulateur, tels que la pression, le débit et la température. Mettez en place des seuils d'alarme pour détecter les anomalies et prenez des mesures correctives en cas de dépassement de ces seuils.

Réglage et calibration : Assurez-vous que le régulateur est correctement réglé et calibré pour répondre aux exigences de fonctionnement du système. Vérifiez les réglages de pression, de débit et de température pour garantir un fonctionnement optimal du système d'incinération des déchets.

Surveillance de l'usure : Surveillez l'usure des pièces internes du régulateur, telles que les diaphragmes ou les joints, et prévoyez leur remplacement régulier avant qu'ils ne provoquent des défaillances ou des perturbations dans le système.

Synthèse :

En guise de conclusion de cette analyse par AMDEC, le brûleur et le régulateur représentent dans le système les éléments avec des défaillances majeures. Dans la suite, une étude approfondie de ce système est indispensable en utilisant une méthode quantitative telle que L'ADD.

III. 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 liés aux aspects organisationnels.

Elaboration de l'analyse 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.

ANALYSE ADD

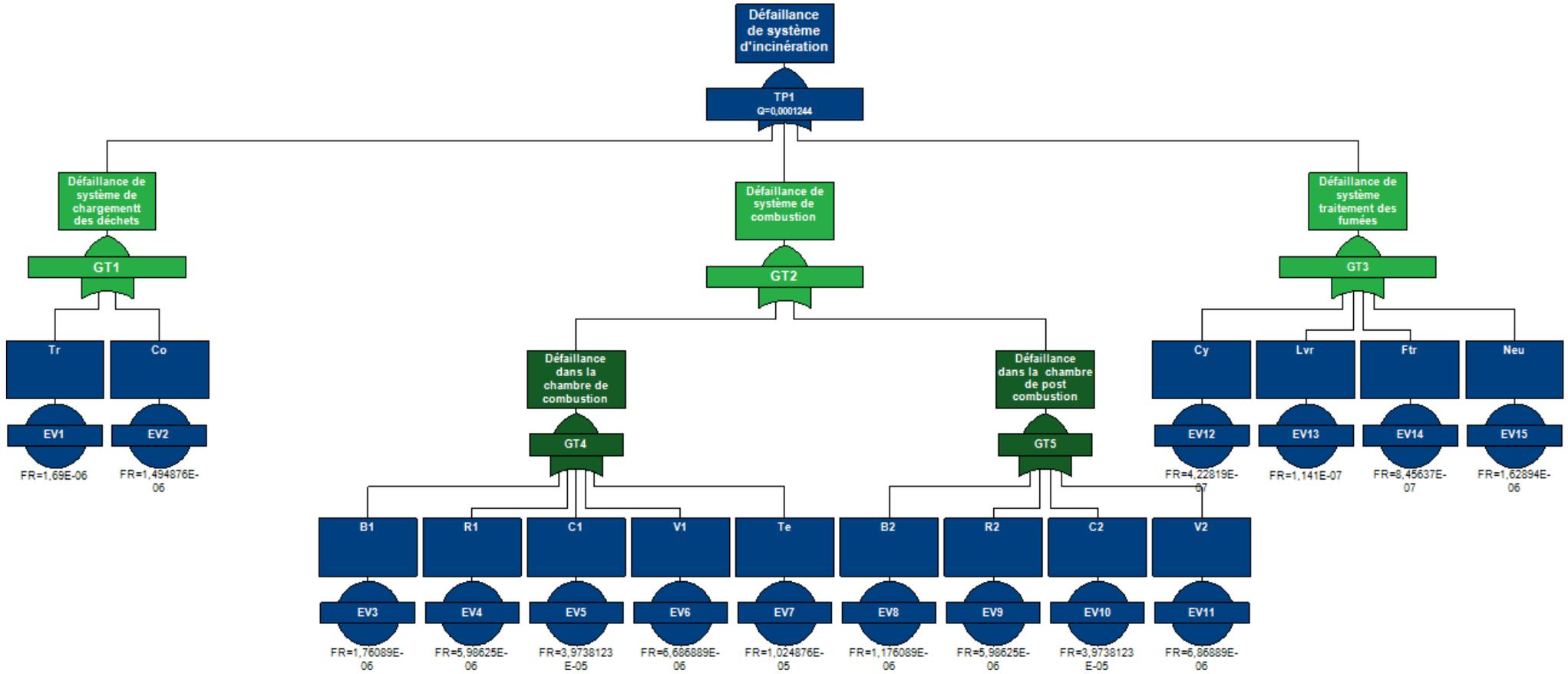


Figure n°32 : Arbre de défaillance du système d'incinération par le logiciel Isograph

TP1: DÉFAILLANCE DE SYSTÈME D'INCINÉRATION

GT1: Défaillance de système de chargement des déchets

Ev1 : trappe défailante

Ev2 :Convoyeur défailant

GT2: Défaillance de système de combustion

GT4: Défaillance dans la chambre de combustion

EV3 : Bruleur 1 défailant

EV4 : Régulateur 1 défailant

EV5 : Capteur 1 défailant

EV6 :Ventilateur 1 défailant

EV7: Train d'engrenage défailant

GT5 : Défaillance dans la chambre de post combustion.

EV8 : Bruleur 2 défailant

EV9 : Régulateur 2 défailant

EV10: Capteur 2 défailant

EV11: Ventilateur 2 défailant

GT3: Défaillance de système de traitement des fumées

EV12: Cyclone défailant

EV13: Laveur humide défailant

EV14 :Filtre à manche défailant

EV15: Neutralisateur défailant

La structure de l'arbre de défaillance représente tous les modes de défaillance des équipements composant le système connectés entre eux à travers des portes logiques, en analysant l'arbre on obtient 21 coupes .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.

Analyse quantitative par arbre de défaillance :

Afin d'établir une analyse quantitative par arbre de défaillance une large recherche des données a été établie soit par des experts qui travaillent au niveau de la station d'incinération SDCIM SPA ou bien à l'aide de la bibliothèque de logiciel Isograph et la plateforme oreda , ces données présentées dans le tableau ci-dessous (tableau n°11) 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'indisponibilité du système dans un intervalle de temps de simulation = à 87600h, le temps où l'indisponibilité converge vers la valeur asymptotique :

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

Les tableaux des données et des résultats :

Tableau n° 12 : les données utilisées

Abréviation	Composant	Taux de défaillance E-6	MTTR	Source
Tr	Trappe	1.691275	1.5	Librairie du Logiciel : Isograph Reliability Workbench 14.0
Co	Convoyeur	1.494876	1.5	Librairie du Logiciel : Isograph Reliability Workbench 14.0
B	Bruleur	1.176089	15	Librairie du Logiciel : Isograph Reliability Workbench 14.0
R	Régulateur	5.98625	3.5	Librairie du Logiciel : Isograph Reliability Workbench 14.0
C	Capteur	39.738123	2.3	Librairie du Logiciel : Isograph Reliability Workbench 14.0
V	Ventilateur	6.686889	5	Librairie du Logiciel : Isograph Reliability Workbench 14.0
Te	Train d'Engrenage	10.24876	3.75	Librairie du Logiciel : Isograph Reliability Workbench 14.0
Cy	Cyclone	0.422819	8	Librairie du Logiciel : Isograph Reliability Workbench 14.0
Lvr	Laveur Humide	0.1141	2	Oreda
Ftr	Filtre à manches	0.845637	0	Librairie du Logiciel : Isograph Reliability Workbench 14.0
Neu	Neutralisateur	1.62758	0	Oreda

Tableau n° 13 : les résultats principaux

Système et sous-système	Indisponibilité sur 87600h
TP1	1
GT1	0,2435
GT2	1
GT4	0,9965
GT5	0,991
GT3	0,2319

Les résultats résumés dans le tableaux en haut représentent les données de l'indisponibilité de chaque sous-système ainsi que du système on peut remarquer à travers les résultats que le système de combustion contribue le plus à l'indisponibilité du système et cela est dû à la fiabilité des équipements qui les composent et que le système de traitement des fumées est le plus fiable .

Courbes de l'indisponibilité du système :

La modélisation des graphes d'indisponibilité d'un système d'incinération (considérer comme non réparable) à l'aide du logiciel **Isograph Reliability** est essentielle pour évaluer la fiabilité de ce système. Cette approche permet de prendre en compte les défaillances des composants et les temps d'indisponibilité correspondants, en fournissant une visualisation claire de la performance du système.

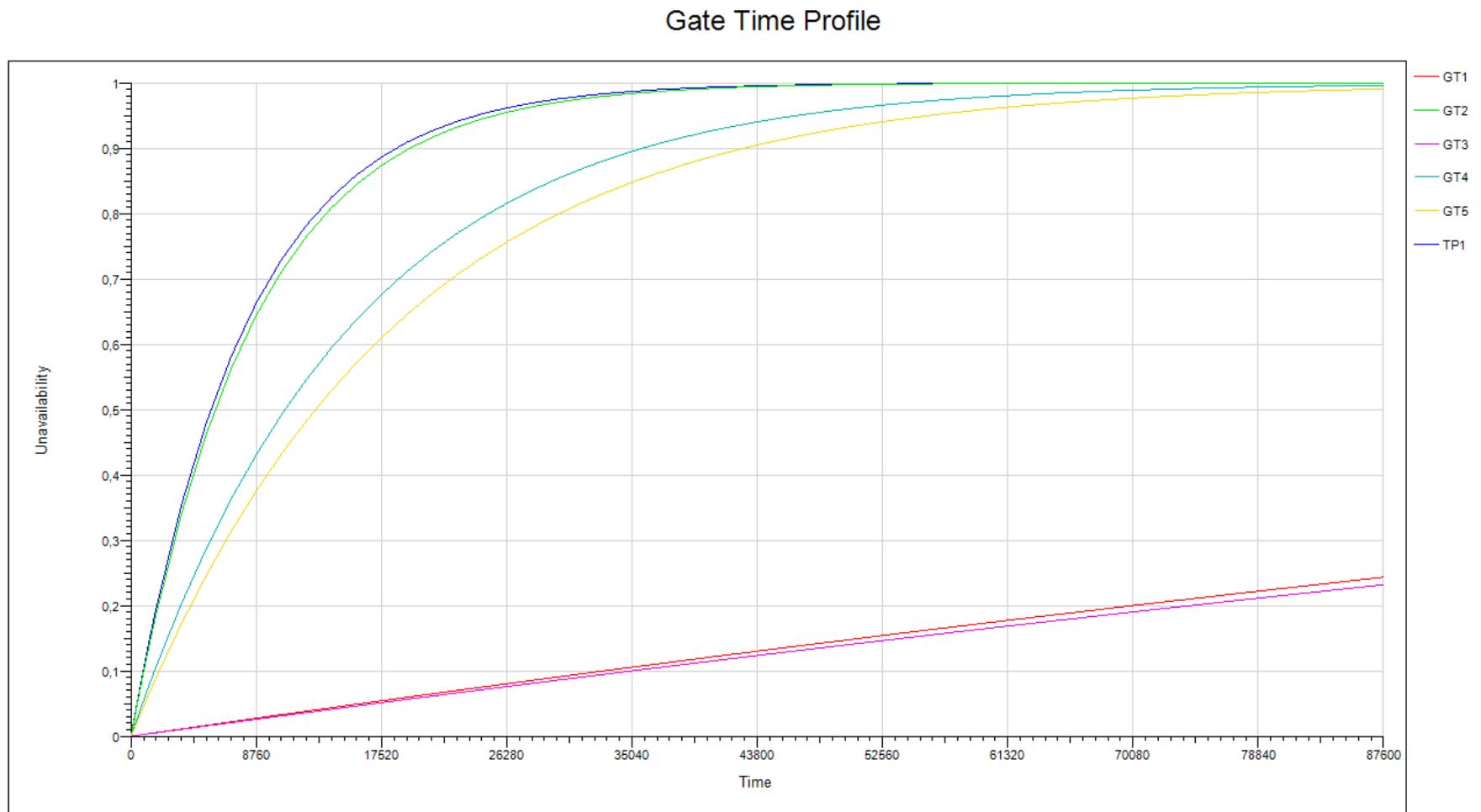


Figure n°33 : les courbes d'indisponibilité du système d'incinération par le logiciel Isograph



On remarque que l'indisponibilité de système d'incinération (unavailability) est croissante au début, après t=43800h elle devient constante vers l'indisponibilité asymptotique.

À travers les courbes présentés en haut on peut distinguer que chaque sous-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).

Facteurs d'importances de diagnostic(Fussel-Vesely):

Suite aux résultats d'indisponibilités obtenues, une étude détaillée par facteur d'importance a été requise pour un diagnostic détaillé du système afin 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.

Tableau n° 14: Facteur d'importance de système

Facteur d'importance Fussel-vesely DIF									
Système de chargement des déchets	GT1 : 0.165								
	EV1: 0.5286					EV2 :0.4714			
Système de combustion	GT2 :0.6778								
	GT4 :0.5014					GT5 :0.4986			
	EV3 :	EV4 :	EV5 :	EV6 :	EV7 :	EV8 :	EV9 :	EV10 :	EV11 :
	0.05592	0.1572	0.3792	0.1734	0.2318	0.05079	0.2117	0.5029	0.2346
Système de traitement des fumées	GT3 :0.1572								
	EV12 :0.145		EV13 :0.03967		EV14 :0.2848		EV15 :0.5305		

Synthèse :

D'après le facteur diagnostic DIF on a identifié les éléments qui influence le plus et qui provoque le dysfonctionnement du système d'incinération, soit : le système de combustion en cas de panne de l'un de ses composants : Bruleur, régulateur, capteur, ventilateur, train d'engrenage et les plus contributeur à de l'indisponibilité du système sont le ventilateur et le capteur par rapport à leurs faibles fiabilités.

Le ventilateur joue un rôle essentiel dans le système d'incinération en assurant la circulation de l'air nécessaire pour une combustion efficace des déchets. Son indisponibilité peut entraîner une diminution significative du flux d'air, ce qui peut compromettre le processus d'incinération et provoquer des dysfonctionnements.

Les capteurs sont utilisés dans le système d'incinération pour mesurer et surveiller les paramètres de la température. Ils fournissent des informations essentielles pour le contrôle et la régulation du processus d'incinération. L'indisponibilité d'un capteur peut compromettre le fonctionnement global du système.

En conclusion, le ventilateur et le capteur sont des équipements critiques dans notre système d'incinération et leur indisponibilité peut avoir un impact significatif sur le bon fonctionnement du système. Une gestion proactive de la maintenance, des inspections régulières et des mesures préventives peuvent contribuer à minimiser les temps d'arrêt liés à ces équipements, assurant ainsi une exploitation plus efficace et fiable du système d'incinération.

Recommandations sur les équipements du système :

Pour améliorer la fiabilité et la disponibilité du système d'incinération des déchets, voici quelques recommandations :

Maintenance préventive : Mettre en place un programme de maintenance préventive régulier pour toutes les composantes du système. Cela comprend l'inspection, le nettoyage et le remplacement périodique des pièces d'usure.

Formation du personnel : il faut s'assurer que le personnel chargé de l'exploitation et de la maintenance du système est correctement formé et qualifié. Ils doivent connaître les procédures d'exploitation sûres, être capables de détecter les signes de défaillance et de réagir rapidement en cas de problème.

Surveillance en temps réel : Installation d'un système de surveillance en temps réel pour

surveiller les performances du système, y compris les paramètres clés tels que la température, la pression, les niveaux de gaz, etc. Cela permettra de détecter rapidement les anomalies et de prendre des mesures correctives.

Plan d'urgence : Élaboration d'un plan d'urgence détaillé qui définit les mesures à prendre en cas d'incident ou de panne majeure. Ce plan devrait inclure des procédures de secours, des contacts d'urgence et des instructions claires pour minimiser les temps d'arrêt.

Amélioration continue : il faut adopter une approche d'amélioration continue en recueillant des données sur les performances du système, en évaluant les problèmes récurrents et en mettant en œuvre des mesures correctives pour éviter leur répétition.

Gestion des fournisseurs : établir des relations solides avec les fournisseurs de composants critiques du système. Effectuez des contrôles de qualité et des évaluations régulières pour vous assurer que les composants répondent aux normes requises.

En mettant en œuvre ces recommandations, le système devrait être en mesure d'améliorer la fiabilité et la disponibilité, réduisant ainsi les temps d'arrêt et les risques opérationnels.

Application des recommandations sur le système :

Courbes de l'indisponibilité du système :

Après avoir modélisé les graphes d'indisponibilité du système d'incinération (considérer comme non réparable) à l'aide du logiciel Isograph Reliability, nous avons obtenu un résultat indiquant que le système sera indisponible après 43800 heures de fonctionnement.

Cependant, pour évaluer la disponibilité réelle du système, nous avons utilisé le modèle de dormant en prenant en compte les temps moyens de réparation MTTR des équipements (voir tableau n12) et un intervalle de test de 4380 heures. En utilisant ces données, nous avons recalculé la disponibilité du système et tracé les courbes correspondantes.

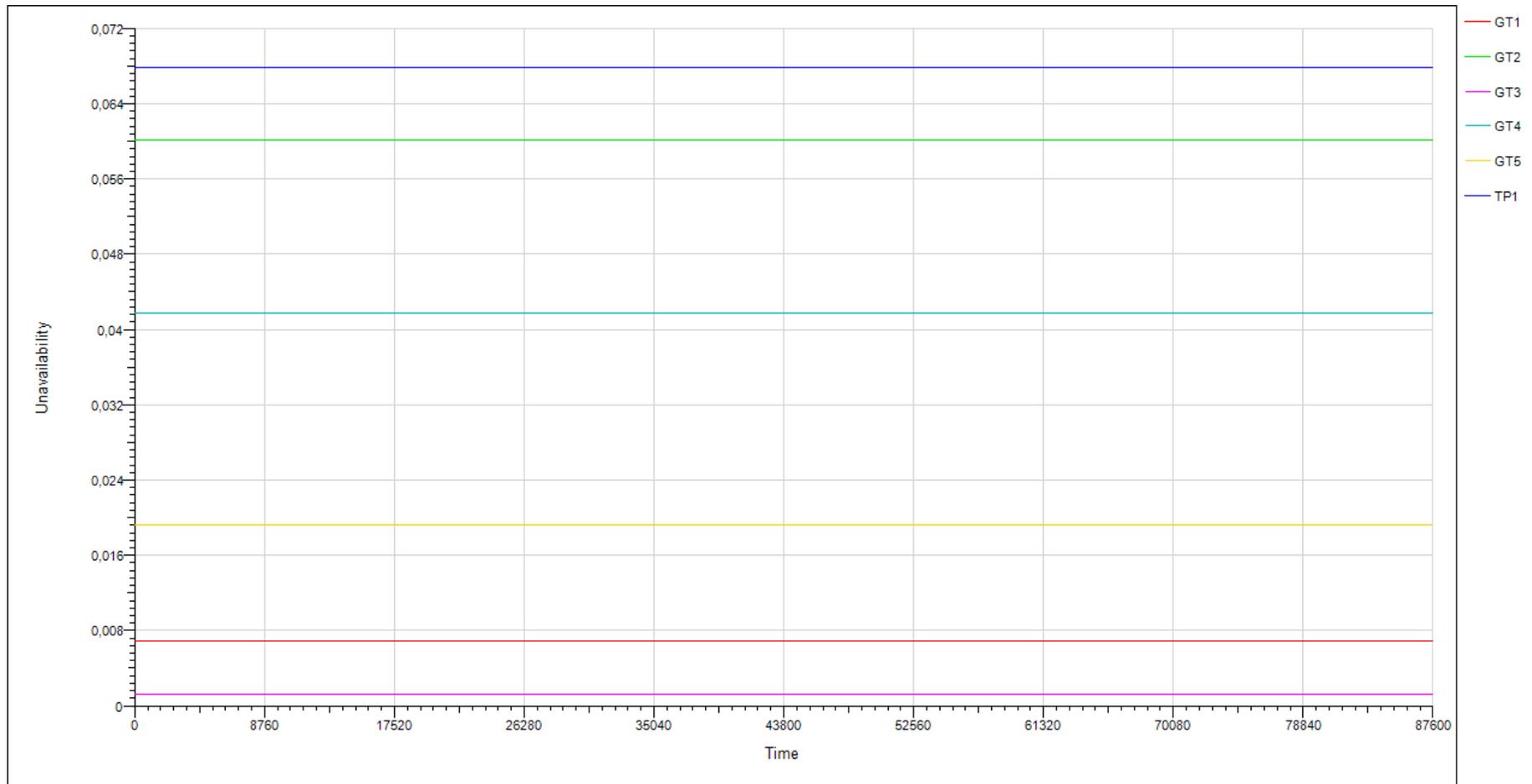


Figure n°34 : les courbes d'indisponibilité du système d'incinération par le logiciel Isograph

Synthèse :

En examinant les deux graphes, nous pouvons constater une différence significative entre la disponibilité initiale du système et sa disponibilité après les recommandations de maintenance.

Avant, le système était indisponible à 100% après 43 800 heures de fonctionnement. Cependant, après avoir pris en compte les temps moyens de réparation (MTTR) des équipements et un intervalle de test de 4380 heures, la disponibilité du système a été recalculée à 94% d'où un objectif RAMS satisfaisant.

Cela démontre l'effet positif de la maintenance corrective sur la disponibilité du système. En tenant compte des temps de réparation des équipements, le système a été capable de maintenir une disponibilité relativement élevée sur une longue période.

Il est important de noter que la disponibilité constante à 94% dans le deuxième graphe peut indiquer une performance stable du système, mais il est également essentiel de surveiller en continu les équipements et de planifier les maintenances nécessaires pour éviter une baisse de disponibilité à l'avenir.

IV. CONCLUSION

L'application de l'AMDEC et de l'ADD sur notre incinérateur a montrée des résultats très satisfaisants. Grâce à ces méthodologies d'analyse, nous avons pu identifier les potentielles défaillances du système. Ces résultats nous ont permis de proposer des recommandations pour une optimisation du système adéquate afin de réduire l'apparition d'anomalies et de pannes réplétives des différents composants de notre système et d'augmenter par la suite sa fiabilité et sa disponibilité dans le futur.

CONCLUSION GÉNÉRALE :

Ce projet de fin d'étude de master 2 sécurité industrielle et environnement avait pour but d'élaborer une étude RAMS d'un système d'incinération des déchets.

Cette étude de sûreté de fonctionnement sur l'incinérateur des déchets a été réalisée en utilisant une approche combinée d'AMDEC (Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité) et d'ADD (Arbre Des Défaillances). Cette démarche a permis une évaluation qualitative approfondie de la fiabilité et de la sûreté de fonctionnement du système.

L'analyse AMDEC a été utilisée pour identifier les différents modes de défaillance potentiels, évaluer leurs effets sur le système et déterminer leurs criticités. Cette méthode a permis de mettre en évidence les défaillances les plus critiques et de prioriser les actions correctives à prendre. Les informations recueillies lors de l'AMDEC ont fourni une compréhension approfondie des défaillances potentielles et ont permis d'élaborer des mesures préventives et correctives pour minimiser les risques associés.

Pour renforcer l'analyse RAMS, l'approche ADD a été utilisée pour modéliser les décisions et les actions à prendre en cas de défaillance. Cela a permis d'élaborer des diagrammes logiques de disponibilité du système.

Grâce à l'utilisation de l'AMDEC et de l'ADD, cette étude de sûreté de fonctionnement a fourni des informations essentielles pour améliorer la fiabilité et la sûreté de l'incinérateur des déchets. Elle a permis de prendre des mesures proactives pour prévenir les défaillances, minimiser les temps d'arrêt et optimiser les ressources.

Il est important de souligner que cette étude ne se limite pas à une évaluation ponctuelle, mais constitue un processus continu. Il est recommandé de réévaluer régulièrement les analyses AMDEC et ADD afin de prendre en compte les changements potentiels dans le système, d'actualiser les informations et d'adapter les stratégies de maintenance en conséquence.

BIBLIOGRAPHIE

- [01] : **Larousse** Dictionnaire de français
<https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/d%C3%A9chet/22142> *Consulté le 23/02/2023*
- [02] : **Derias Fatma Zohra**, Étude des caractéristiques physicochimiques et bactériologiques des composts de la ville d'Oran ;Thèse de doctorat ;Univesité d'Oran 2 ; 2021
<https://ds.univoran2.dz:8443/handle/123456789/11/browse?type=author&order=ASC&rpp=20&value=Derias%2C+Fatma+Zohra> *Consulté le 24/02/2023*
- [03] : Ghania Belkadi ; Rôle de la règlementation environnementale dans la gestion des déchets solides en Algérie : cas des entreprises agro-alimentaire de Bejaia ; Laboratoire économie et développement, Université de Bejaia, Algérie, El-Bahith Review 21/01/2021.
<https://www.asjp.cerist.dz/en/downArticle/7/21/1/171995> *Consulté le 25/02/2023*
- [04] : **KOLLER EMILIAN**, Traitement des pollutions industrielles : Eau-Air- landfills".
Chemosphere 44(1). Pp. 1-8 ; 2009 *Consulté le 26/02/2023*
- [05] : **ALOUEIMINE Sidi**, Méthodologie de caractérisation des déchets ménagers à Nouakchott: contribution à la gestion des déchets et outils d'aide à la décision. Thèse de doctorat ; Université de Limoges, Laboratoire des Sciences de l'Eau et de l'Environnement ; Mauritanie ;2006. *Consulté le 03/03/2023*
- [06] : **DIRECTIVES** ; Directives sur les meilleures techniques disponibles et les meilleures pratiques environnementales en liaison avec l'article 5 et l'annexe C de la Convention de Stockholm sur les polluants organiques persistants Genève, Suisse, Mai 2007. *Consulté le 05/03/2023*
- [07] : **J.F.M. Clark**,.The burning issue: historical reflections on municipal waste incineration - University of St Andrews;2003. *Consulté le 08/03/2023*
- [08] : **Galiléo, 2004** :Galiléo n3 De la destruction par le feu à la production d'énergie - Qu'est-ce qui fait avancer la gestion des déchets ? Veolia Propreté ; Juin 2004. *Consulté le 10/03/2023*
- [09] : [Actualité technologique et scientifique \(techno-science.net\)](#) *Consulté le 14/03/2023*
- [10] : **SELSELT ATTOU GHIZLANE IKRAM, YOUSFI MOHAMMED EL HABIB**, . La valorisation des déchets par l'incinération ;Projet de fin d'études ; Centre Universitaire Belhadj Bouchaïb d'Ain-Temouchent;2019 .
https://pmb-int.univ-temouchent.edu.dz/opac_css/doc_num.php?explnum_id=2696
Consulté le 03/04/2023
- [11] : **AINA.P**, Des déchets urbains dans les PED : Contribution à l'élaboration d'un guide méthodologique et sa val. Expertise des centres d'enfouissement idéation expérimentale. Thèse de doctorat, Université de Limoges ;2006. *Consulté le 07/04/2023*

- [12] : **OUADJENIA.F**, Caractérisation des déchets ménagers de la ville de Mostaganem pour une meilleure filière de valorisation, Magister, Université de Mostaganem. 2004. *Consulté le 15/04/2023*
- [13] : Clyde R.Dempsey et E.Timothy Oppelt ; Incineration of hazardous waste a critical review update ; Article publié par le Journal The Air & Waste, N°43 janvier 1993. <https://www.tandfonline.com/doi/epdf/10.1080/1073161X.1993.10467116?needAccess=true&role=button>. *Consulté le 17/04/2023*
- [14] : [Rapport Incinérateur-VF.qxd](#) *Consulté le 27/04/2023*
- [15] : **PHILIPPE BAJEAT ET FRANCINE BERTHIER** ; L'incinérateur et santé, Guide pour la conduite à tenir lors d'une demande locale d'investigations sanitaires autour d'un incinérateur d'ordures ménagères, Institut de veille sanitaire, 2003. *Consulté le 02/05/2023*
- [16] : **DORFMANN.R** ; Les résidus urbains, traitement et valorisation ; Lavoisier, Paris ; 1985. *Consulté le 05/05/2023*
- [17] : **OUADJENIA.F**, Caractérisation des déchets ménagers de la ville de Mostaganem pour une meilleure filière de valorisation. Magister, Université de Mostaganem ; 2004. *Consulté le 11/05/2023*
- [18] : **GILLET R** ; Traité de gestion des déchets solides et son application aux pays en voie du développement, , Copenhague, gouvernorat du grand Alger ; 1985. *Consulté le 13/05/2023*
- [19] : **TAD** Territoire, Aménagement, Environnement Étude d'impact sur l'environnement pour la réalisation du centre d'enfouissement technique intercommunal d'el Ançor, 2006. *Consulté le 16/05/2023*
- [20] : **ARIA** La base de données (Analyse, Recherche et Information sur les Accidents) <https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/> *Consulté le 16/05/2023*
- [21] : Cour SDF.pdf *Consulté le 24/05/2023*
- [22] : **Dr David J Smith** ; Reliability, Maintainability and Risk Practical methods for engineers; 1985. *Consulté le 27/05/2023*
- [23] : **MOUFFOK Hayet Fatma et RAHAL Nadia**, Elaboration d'une approche FDMS pour l'optimisation des performances d'un système de sécurité ; Projet de fin d'étude ; Université d'Oran 02 ; 2020. *Consulté le 01/06/2023*
- [24] : **BENAMMAR Fairouz ET BEDDOU Sarah**, Analyse des risques au niveau d'une cimenterie: étude de cas de dysfonctionnement du four ; Projet de fin d'étude ; Université d'Oran 02 ; 2020. *Consulté le 03/06/2023*
- [25] : **MÉMOIRE Zagaye Asmaa Mama et Ouazzane Chahinez**, Thème Elaboration d'une méthodologie d'évaluation des risques au niveau de GL3/Z ; Projet de fin d'étude ; Université d'Oran 02 ; 2020. *Consulté le 09/06/2023*
- [26] : [Home - BIOWAS INCINERATORS \(biowas-incinerators.com\)](#) *Consulté le 13/06/2023*

[27] : **M. Guetarni Islam Hadj Mohamed**, Sécurité Industrielle et Environnement Analyse Quantitative des Risques ; Thèse doctorat ; Université d'Oran 02 ; 2019 .*Consulté le 17/06/2023*

[28] : document technique de l'incinérateur BIOWAS *Consulté le 17/05/2023*.

ANNEXE

ANNEXE A

Recensement des accidents sur des installations similaires :

La base ARIA, qui ne prétend pas à l'exhaustivité, recense 237 accidents dans les installations de traitement de déchets non dangereux avant le 1^{er} janvier 2014 dont 39 accidents concernant l'activité « d'incinération ou incinérateur ».

La consultation de la Base ARIA a donc permis d'obtenir des informations concernant les accidents survenus dans le passé dans les installations d'incinération, éléments utiles pour la poursuite d'analyse FMDS.

Fiches accidentologies

Fiche accidentologie 01 N° 27721 - 01/08/2004 - 38 - LE PONT-DE-CLAIX

Traitement et élimination des déchets dangereux

Dans une usine d'incinération, un feu se déclare le dimanche vers 7 h, alors que la ligne d'incinération 1 fonctionne seule, la ligne 2 étant en arrêt pour maintenance. Dès 4h16, plusieurs éléments annoncent un dysfonctionnement sans que les opérateurs ne détectent d'anomalies : accélération du ventilateur, augmentation de la quantité d'O₂, diminution de la pression et de la température du four. À 7 h, 2 opérateurs en poste constatent lors d'une ronde la présence de flammes au-dessus du four de la ligne 1. Sous l'effet du flux thermique, le feu prend dans des bastaings servant de support aux échafaudages. Ils arrêtent en urgence l'injection des déchets sur cette ligne et lancent la procédure de refroidissement. La combustion des planches est stoppée à l'aide des extincteurs disponibles dans l'unité. Aucun gaz de combustion ne s'échappe du four grâce à la dépression maintenue dans le four (10-15 mbar) par le ventilateur d'extraction vers la ligne de traitement des effluents gazeux laissée en fonctionnement pour balayer le four 1 à réparer. Le trou formé en partie supérieure du four 1 laisse apparaître la coupe du revêtement réfractaire. L'effondrement soudain de la partie supérieure du revêtement réfractaire interne du four est dû à une dégradation des joints ciment entre les briques réfractaires. Sous l'effet de la température, l'acier a fondu et conduit au perçage localisé de l'enveloppe métallique permettant la diffusion du rayonnement aux équipements voisins. Un examen des thermographies IR semestrielles ne révèle pas de défaut au niveau du réfractaire. Cependant, la DRIRE constate que ces mesures sont réalisées sur les parties latérales alors que l'effondrement soudain ne peut se produire qu'en partie supérieure. Le 02/08, les bastaings sont enlevés. L'enveloppe métallique, le calorifuge et la protection du calorifuge doivent être réparés localement. Des équipements sont endommagés par le rayonnement thermique (instruments de mesure, câbles électriques...). L'exploitant évalue à 4 j le temps nécessaire pour effectuer les réparations. L'arrêt de la ligne endommagée étant programmée pour le 05/08, son redémarrage se fera comme prévu après 5 semaines d'arrêt de maintenance

initialement planifiées avec notamment un changement du revêtement réfractaire. Un contrôle annuel du four à l'arrêt est décidé.

Fiche accidentologie 02 N° 34973 - 31/07/2008 - 13 - ROGNAC

Traitement et élimination des déchets dangereux

Une violente explosion se produit vers 11h45 à l'intérieur de la chambre de post combustion d'un four d'une usine d'incinération de déchets industriels. L'installation en cause est composée d'un four, d'une chambre de post combustion et d'une chaudière. Ces trois éléments sont en liaison directe. Sous la violence de l'explosion les éléments de sécurité fonctionnent : ouverture des soupapes, déplacement de la face avant du four qui fait ainsi office d'évent. Cependant une trappe située en partie latérale de l'économiseur de la chaudière est arrachée et 3 ouvriers d'une entreprise extérieure sont brûlés dont un gravement. L'accident est dû au décrochage dans la chambre de post combustion d'un gros bloc de poussières porté à haute température. Celui-ci est tombé dans un garde d'eau entraînant son évaporation brutale et une importante montée en pression interne.

Fiche accidentologie 03 N° 29728 - 18/04/2005 - 974 - NC

Traitement et élimination des déchets dangereux

Dans une usine de traitement thermique de déchets animaux, un feu se déclare à la suite d'une défaillance sur un brûleur situé en post-combustion. L'installation traite et incinère les déchets animaux non recyclables (notamment ceux collectés dans le cadre du Service public d'Équarrissage), ainsi que des farines animales. Les dommages sont peu importants : toit et circuits électriques endommagés. L'entreprise arrête l'incinération pour effectuer les réparations nécessaires. La chaîne de fabrication des farines continuera à fonctionner pour la transformation des déchets crus en farines animales. Stockées dans des bennes le temps des réparations, ces dernières seront ensuite brûlées. Les farines à bas risque sont orientées vers le centre d'enfouissement de la Rivière St Etienne. La durée de l'arrêt technique de l'incinérateur n'est pas connue. Aucune pollution n'est constatée.

Fiche accidentologie 04 N° 10953 - 13/04/1997 - 62 - COURRIERES

Traitement et élimination des déchets dangereux

Pour une raison inconnue, une explosion non suivie d'un incendie détruit un four dans un centre d'incinération et de traitement de déchets industriels. Des briques réfractaires provenant de la chambre de post-combustion sont projetées. Le POI est déclenché. Les dommages sont évalués à 20 MF et les pertes d'exploitation à 25 MF. Aucun impact n'est noté sur l'environnement. L'installation a été arrêtée durant 1 mois en mars pour réparation et modification d'une chaudière de récupération de la chaleur.

Fiche accidentologie 05 N° 9423 - 17/09/1996 - 01 - SAINT-VULBAS

Traitement et élimination des déchets dangereux

Dans un centre de traitement de déchets industriels, une unité modifiée incinérant des PCB dans un four statique est en phase d'essai et surveillée en continu par 6 opérateurs. L'acide chlorhydrique (HCl) formé est piégé dans des tours de lavage-refroidissement, concentré dans

la boucle d'un Quench, et stocké dans 2 réservoirs quand la 1ère tour de lavage se vide en quelques minutes ; 8 m³ d'HCl à 20 % et à 45 °C se déversent sur le sol. L'alerte est déclenchée lors de l'arrêt en sécurité de l'unité sur niveau bas entraînant l'arrêt automatique de la pompe concernée (report d'alarme en salle de contrôle).

Les secours internes sont mobilisés ; 2 camions du centre pompent du lait de chaux qui est utilisé pour neutraliser en 10 min l'acide répandu sur le sol hors rétention, dans les caniveaux et le réseau d'égout. Les produits neutralisés sont ensuite pompés et déversés dans un bassin statique avant d'être transférés pour traitement dans un autre centre de la société.

Le nuage acide endommage la peinture de 10 voitures du personnel garées à 2,5 m de la zone de rétention sur laquelle l'acide s'est répandu.

Après examen, le réseau d'égout, les canalisations et les aires bétonnées ou enrobées endommagées seront remplacés. La nappe phréatique fait l'objet d'une surveillance particulière.

Un joint de dilatation non prévu pour résister à l'acide concentré et sans manchette antiprojection, qui aurait pu éviter une dispersion de l'acide hors de la cuvette de rétention, s'est déchiré en sortie de l'une des 2 pompes de circulation (325 m³/h).

Le procédé avait été modifié sans étude de dangers préalable suffisante ; l'utilisation d'une partie de l'ancienne installation de trempe des fumées pour la circulation d'acide à 20 % aurait en particulier dû être étudiée à cette fin : compatibilité des matériaux en particulier...