



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

جامعة وهران 2 محمد بن أحمد
Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed

معهد الصيانة و الأمن الصناعي
Institut de Maintenance et de Sécurité Industrielle

Département sécurité industrielle et environnement

MÉMOIRE

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Hygiène et Sécurité industrielle
Spécialité : Sécurité Prévention Intervention

Thème

**Etude de danger dans une centrale électrique
(Sharikat Kahraba Terga S.p.a)**

SKT

Présenté et soutenu publiquement par :

CHEBIRI ILYES

et

GHAZI SOUHAIB

Devant le jury composé de :

Nom et Prénom	Grade	Etablissement	Qualité
BOUHAFS MOHAMMED	MAC	Univ d'oran 2	Président
TAHRAOUI MOHAMMED	MAA	Univ d'oran 2	Encadreur
LALAOUI MOHAMMED AMINE	MAA	Univ d'oran 2	Examineur

Année 2019/2020

Remerciement

Nous remercions tout d'abord "Allah" pour nous avoir donné la force et la volonté d'élaborer ce modeste travail.

Nos remerciements spéciaux et chaleureux à nos parents qui nous ont donné tout l'encouragement et tous les moyens pendant toute la durée de nos études.

*Nous voulons exprimer nos sincères remerciements à notre encadreur **Dr. Tahraoui M** pour son encadrement, son soutien, ses remarques pertinentes et ses conseils judicieux qui nous ont apportés et sans oublier son encouragement et son aide précieux pour finaliser notre travail (Projet de fin d'étude).*

Nos remerciements s'adressent à toutes les personnes qui ont contribuées de près ou de loin à la réalisation de ce projet.

Nous remercions aussi tous les enseignants du département de Hygiène et sécurité industrielle pour l'enseignement qu'ils nous ont inculqué au cours de notre cursus universitaire.

Dédicace

Merci "Allah" de m'avoir donné la capacité d'écrire, de réfléchir, la force d'y croire et la patience d'aller jusqu'au bout.

Je dédie ce modeste mémoire à ma chère mère (allah yarhamha).

A mes grands-parents que dieu les garde en bonne santé.

A mes bien aimés ma fiancée, mes frères, mes sœurs, mes tantes, mes neveux, mes petits cousins et toute ma famille maternelle.

A mon collègue, mon compagnon et cher binôme Ilyes.

A Khaled (Ingénieur HSE à condor) qui m'as vraiment aidé.

Je rends hommage à mes amis qui m'ont encouragé pendant cette difficile année.

Souhaib

Dédicace

Je dédie ce modeste travail

Aux personnes qui sont les plus chères à mon cœur.

A mes chers parents; que dieu les garde et les préserve

A mes grand parents

A mes chers frères IMED. CHEMSOU

A RIMEN et RASSIM

A ma cousine

A toute ma grande famille

A mes chers amis

A mon binôme Souhaib

A toutes les personnes qui d'une manière ou d'une autre, ont participées à la

réalisation de ce travail.

ILYES

Sommaire

Liste des tableaux.....	
Liste des figures.....	
Liste des abréviations	
Résumé.....	
Abstract.....	
Résumé en arabe.....	
Introduction.....	

Chapitre I : Les risques électriques

I. Introduction	1
1. Définition du risque électrique	1
2. Nature des accidents électriques	1
3. Les effets du courant électrique	2
3.1. Effets physiologiques	2
a. L'électrisation	2
b. L'électrocution.....	5
3.2. Effets sur l'environnement	5
a. Les incendies	5
b. Les explosions	6
3.3. Effets des accidents d'origine électrique sur le corps humain	6
3.4. Effets des accidents électriques selon le domaine tension	7
a. Domaine de tension en alternatif	7
b. Domaine de tension en continu	8
II. Analyse des accidents d'origine électriques	9
1. Par contact direct	9
1.1. Électrocution par ligne de contact alimentant un pont roulant	9
1.2. Travail sous tension	10
2. Par contact indirect	11
2.1. Eclairage provisoire dans un local mouillé.....	11
2.2. Electrocution dans une filature	12
3. Brûlure, incendie ou explosion d'origine électrique	13
3.1. Enlèvement d'un fusible en charge.....	13
3.2. Ouverture d'un sectionneur en charge.....	13
III. Les mesures de prévention et de protection de risque électrique	15
1. Choix des appareils de protection électrique.....	15

1.1. Sectionneurs	16
1.2. Interrupteurs	16
1.3. Disjoncteurs.....	17
1.4. Contacteurs.....	17
1.5. Coupe-circuits à fusibles	18
1.6. Relais de protection.....	18
2. Les moyens de protection contre les risques électriques	20
2.1. Protection contre les contacts directs	20
2.2. Protection contre les contacts indirects	21
2.3. Protection contre les risques de brûlures	21
3. Équipements individuels de protection et outillage de sécurité	22
3.1. Équipements de protection individuelle (EPI)	22
3.2. Outillage de sécurité.....	24
3.3. Equipement de protection collective (EPC)	27
3.4. Consignation électrique.....	27

Chapitre II : Les méthodes d'analyse des risques

I. Introduction	29
II. Objectif des méthodes d'analyse des risques	29
III. Méthodologie de l'analyse des risques	30
IV. Classification des méthodes d'analyse des risques	31
1. Méthodes quantitatives	31
2. Méthodes qualitatives	32
3. Méthodes semi-quantitatives	32
V. Différentes méthodes d'analyse des risques	33
1. Analyse préliminaire des risques (APR)	33
2. HAZOP (hazard and operability study)	34
3. Méthode “ WHAT IF? ” (Que se passe-t-il si ?)	36
4. Méthode MOSAR	37
5. Arbre de défaillances	40
6. Arbre des événements	42
7. Méthode NÉUD PAPILLON	43
8. Méthode du Diagramme Causes-Conséquences	46
9. Méthode AMDEC	47
VI. Conclusion.....	55

Chapitre III : Présentation générale de la société SKT

I.	Introduction	57
II.	Présentation de la centrale électrique	57
III.	Objectif de la centrale	59
IV.	Les composants de la centrale électrique SKT	59
4.1.	Les différentes unités de la centrale	59
	a. L'unité principale de production d'énergie électrique	59
	b. Turbine à gaz	61
	c. Alternateur	61
	d. Turbine à vapeur	62
	e. Chaudière de récupération	62
4.2.	Cycle eau vapeur	63
	a. Condenseur	64
	b. Pompes d'extraction des condensats	64
	c. Système de vide Condenseur	64
	d. Bâche alimentaire / Dégazeur	64
	e. Pompes alimentaires	65
	f. Ballon de récupération des purges à l'atmosphère	65
4.3.	Les unités auxiliaires de la centrale électrique	65
	a. La station de pompage et de filtration	65
	b. L'unité d'électro-chloration	66
	c. L'usine de dessalement	66
	d. L'unité de déminéralisation	66
	e. La station de production d'eau potable	67
	f. La station de production d'hydrogène	67
4.4.	Le système du contrôle qualité et injection chimique	68
4.5.	Poste dosage chimique	68
4.6.	Traitement des rejets de la centrale	69
	a. Station de traitement des eaux usées 40 H.E	69
	b. Séparateurs eau/huile	69
	c. Contrôle des rejets atmosphériques	69
V.	Identification des risques et accidentologie	70
	Identification des risques au sein de la centrale de Terga	70

Chapitre IV : Application d'Amdec

I.	Introduction	73
II.	Systeme étudié	73
III.	Les risques liés aux installations	73
	Analyse fonctionnelle de l'installation électrique.....	74
IV.	Les tableaux d'application de la méthode	75
V.	Résultat d'application de l'AMDEC.....	85
	5.1. Avant l'application.....	85
	5.2. Après l'application	86
VI.	Interprétation	87
VII.	Statistiques avant et après l'application de l'AMDEC	88
	7.1. Histogramme des statistiques de la criticité avant l'application de l'AMDEC	88
	7.2. Histogramme des statistiques de la criticité après l'application de l'AMDEC	88
	7.3. Histogramme de comparaison de la criticité avant et après l'application de l'AMDEC	89
VIII.	Conclusion.....	90
	Conclusion générale.....	92
	Bibliographie.....	94

Liste des tableaux

Chapitre I : Les risques électriques

Tableau 1.1 : Effets des accidents électriques selon le domaine de tension.	7
Tableau 1.2 : Choix des appareils de protection électrique.	19

Chapitre II : Les méthodes d'analyse des risques

Tableau 2.1 : Exemple de tableau de type « APR ».	34
Tableau 2.2 : Exemple de tableau pour l'HAZOP.	35
Tableau 2.3 : Légende des évènements figurant sur le modèle du nœud papillon.	44
Tableau 2.4 : Evaluation de la non-détection.	51
Tableau 2.5 : Evaluation de la fréquence.	52
Tableau 2.6 : Evaluation de la gravité.	53
Tableau 2.7 : Evaluation de la criticité.	54

Chapitre IV : Application d'Amdec

Tableau 4.1 : Amdec (Sectionneur tripolaire).	74
Tableau 4.2 : Amdec (Disjoncteur).	75
Tableau 4.3 : Amdec (Jeu de barres).	76
Tableau 4.4 : Amdec (Transformateur).	77
Tableau 4.5 : Amdec (Transformateur).	78
Tableau 4.6 : Amdec (Le primaire/Le secondaire).	79
Tableau 4.7 : Amdec (Disjoncteur).	80
Tableau 4.8 : Amdec (Mise à la terre).	81
Tableau 4.9 : Amdec (Groupe électrogène).	82
Tableau 4.10 : Amdec (Salle électrique).	83
Tableau 4.11 : Résultat d'application de L'AMDEC Avant l'application.	84
Tableau 4.12 : Résultat d'application de L'AMDEC après l'application.	85

Liste des figures

Chapitre I : Les risques électriques

Figure 1.1 : Effets du courant électrique sur l'environnement et l'être humain.....	2
Figure 1.2 : Mécanisme d'accident avec contact direct.	3
Figure 1.3 : Les différentes façons d'électrisation avec des contacts directs.	3
Figure 1.4 : Mécanisme d'accident avec contact indirect.	4
Figure 1.5 : Les différentes façons d'électrisation avec des contacts indirects.	4
Figure 1.6 : Electrocuton mortelle.	5
Figure 1.7 : Incendie d'origine électrique.	5
Figure 1.8 : Explosion d'origine électrique.	6
Figure 1.9 : Effets des accidents d'origine électrique sur le corps humain.	7
Figure 1.10 : Electrocuton par ligne de contact alimentant un pont roulant.	9
Figure 1.11 : Travail sous tension dans un sous sol.	10
Figure 1.12 : Electrocuton dans une filature.	12
Figure 1.13 : Sectionneur haute tension.	16
Figure 1.14 : Interrupteur haute tension.	16
Figure 1.15 : Disjoncteur Haute tension.	17
Figure 1.16 : Contacteur haute tension.	17
Figure 1.17 : Coupe-circuits à fusibles haute tension.	18
Figure 1.18 : Relais de protection.	19
Figure 1.19 : Protection par éloignement.	20
Figure 1.20 : Manchons et panneaux isolants sur câbles sous tension.	21
Figure 1.21 : Casque isolant.	22
Figure 1.22 : Lunette et visière anti UV.	22
Figure 1.23 : Les gants isolants.	23
Figure 1.24 : Chaussures à semelle isolante.	23
Figure 1.25 : Vêtement de protection isolant.	24
Figure 1.26 : Tapis et tabouret isolant.	24
Figure 1.27 : Perche isolante.	25
Figure 1.28 : Coffret électro secours.	25
Figure 1.29 : Vérificateur d'absence de tension (V.A.T).	26
Figure 1.30 : Equipements de protection collective.	27

Chapitre II : Les méthodes d'analyse des risques

Figure 2.1 : Processus d'analyse des risques.	30
Figure 2.2 : Typologie des méthodes d'analyse de risque.	31
Figure 2.3 : Structure générale de la méthode MOSAR.	38
Figure 2.4 : Le modèle MADS ou l'univers de danger.	39
Figure 2.5 : Les typologies de flux.	39
Figure 2.6 : Démarche pour l'élaboration d'un arbre des défaillances.	41
Figure 2.7 : Représentation de scénarios d'accident selon le modèle du nœud papillon.	43
Figure 2.8 : Principales phases d'une démarche d'AMDEC.	47
Figure 2.9 : Processus de l'AMDEC.	50

Chapitre III : Présentation de l'entreprise

Figure 3.1 : La centrale électrique.	57
Figure 3.2 : Les unités de la centrale électrique.	58
Figure 3.3 : Plan général de la centrale SKT.	59
Figure 3.4 : Schéma cycle combiné.	60
Figure 3.5 : Présentation du cycle combinée.	60
Figure 3.6 : Turbine à gaz GT 26.	61
Figure 3.7 : Alternateur.	61
Figure 3.8 : La turbine à vapeur.	62
Figure 3.9 : Chaudière de récupération.	63
Figure 3.10 : Condenseur.	64
Figure 3.11 : La station de pompage.	65

Chapitre IV : Application d'Amdec

Figure 4.1 : Analyse fonctionnelle de l'installation électrique.	74
---	----

Acronymes et abréviations

TBT : Très base tension

BTA : Base tension A

BTB : Base tension B

HTA : Haute tension A

HTB : Haute tension B

TBTS : Très base tension de sécurité

TBTP : Très base tension de protection

UV : Ultraviolet

EPI : Equipements de protection individuelle

EPC : Equipement de protection collective

VAT : Vérificateur d'absence de tension

PHA : Process Hazard Analysis (analyse des dangers du procédé)

LOPA : Layers Of Protection Analysis (analyse des couches de protection)

QRA : Quantitative Risk Analysis (analyse quantitative des risques)

APR : Analyse préliminaire des risques

HAZOP : Hazard and operability study

AMDEC : Analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité

MOSAR : Méthode organisée systémique d'analyse des risques

MADS : Méthodologie d'analyse de dysfonctionnement des systèmes

ADD : Arbre de défaillance

SKT : Shariket Kahraba Terga

TG : Turbine à gaz

TV : Turbine à vapeur

HP : Haut pression

Liste des abréviations

MP : Moyen pression

BP : Base pression

MSF : Multi-Etages Flashing

PH : Potentiel hydrogène

H.E : Equivalent habitant

FID : Détecteur à flamme ionisé

G : Gravité

F : Fréquence

D : Probabilité (facteur)

C : Criticité

Résumé

Durant ces dernières décennies, les risques industriels ont constitué un problème de maîtrise de sécurité totale, parmi ces risques on apprécie les risques électriques qui ont un facteur de gravité très important sur les travailleurs et le matériel dans l'industrie.

Le thème de notre recherche est basé sur la prévention des risques électriques au niveau du SHARIKET KAHRABA TERGA à Ain Témouchent, et ce à partir de l'application des méthodes d'analyse des risques.

Ce travail à été dans le sens à faire comprendre aux personnes concernées les risques encourus et leurs effets et d'autre part, à analyser les moyens, méthodes et attitudes à acquérir pour éviter les risques d'origine électrique et les meilleurs moyens de prévention.

Ces dernières dans le but de chercher aux causes principales qui provoquent les risques, ainsi que de les éviter ou de les diminuer.

Cela pour la sécurité et la protection des travailleurs durant les heures de travail à partir d'utiliser les lois de protection et de prévention des risques.

Abstract

During the last decades, industrial risks have been a problem of total safety control; among these risks we appreciate the electrical risks which have a very important factor of gravity on workers and equipment in industry.

The theme of our research is based on the prevention of electrical risks at the level of SHARIKET KAHRABA TERGA in Ain Témouchent, and this from the application of risk analysis methods.

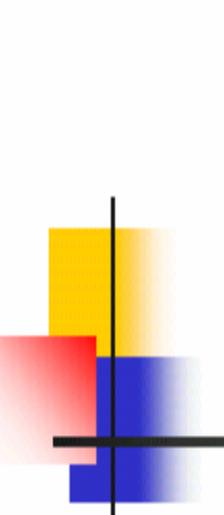
This work was aimed at making the people concerned understand the risks involved and their effects and, on the other hand, at analyzing the means, methods and attitudes to be acquired to avoid risks of electrical origin and the best means of prevention.

The latter in order to seek the main causes that cause the risks, as well as to avoid or reduce them.

This is for the safety and protection of workers during working hours starting from the use of protection and risk prevention laws.

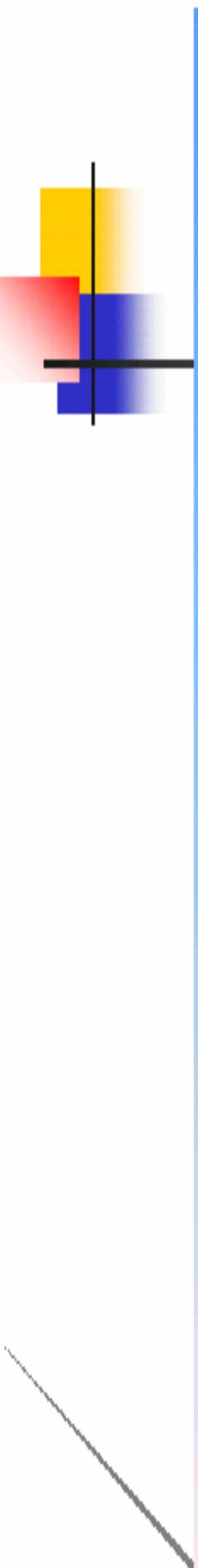
ملخص

خلال العقود الأخيرة، كانت المخاطر الصناعية مشكلة تتعلق بالتحكم الكامل في السلامة، ومن بين هذه المخاطر نقدر المخاطر الكهربائية التي لها عامل جاذبية مهم جداً على العمال والمعدات في الصناعة. يرتكز موضوع بحثنا على الوقاية من المخاطر الكهربائية على مستوى شركة كهرباء تارفة في عين تموشنت، وهذا من خلال تطبيق طرق تحليل المخاطر. كان هذا العمل يهدف إلى جعل الأشخاص المعنيين يفهمون المخاطر التي تنطوي عليها وتأثيراتها، ومن ناحية أخرى، إلى تحليل الوسائل والأساليب والمواقف التي يجب اكتسابها لتجنب مخاطر المنشأ الكهربائي وأفضل وسائل الوقاية. هذا الأخير من أجل البحث عن الأسباب الرئيسية التي تسبب المخاطر، وكذلك تجنبها أو تقليلها. وذلك من أجل سلامة العمال وحياتهم أثناء ساعات العمل، وذلك باستخدام قوانين الحماية والوقاية من المخاطر.



Introduction

générale



Introduction générale

Les activités industrielle comportent des risque qui peuvent provoqués des accidents ont des conséquences catastrophiques

Dans les industries, on insiste toujours sur la sécurité des installations car une simple erreur ou dysfonctionnement d'un système est causé à l'arrêt des plusieurs services d'une entreprise ainsi que leurs effets nocifs sur les travailleurs et beaucoup plus sur leurs santé.

Dans le cadre d'une démarche préventive, l'élimination des causes des accidents doit être un objectif majeur dans un milieu de travail. Pour atteindre cet objectif, l'enquête et l'analyse des accidents par des méthodes adéquates sont des activités importantes à réaliser car elles permettent d'identifier les causes des évènements accidentels et de recommander des mesures correctives pour les éliminer ou les contrôler à la source.

Une méthode d'analyse des risques comme Amdec est avant tout une méthode d'analyse de systèmes (systèmes au sens large composé d'éléments fonctionnels ou physiques, matériels, logiciels, humains...), statique, s'appuyant sur un raisonnement inductif (causes conséquences), pour l'étude organisé des causes, des effets des défaillances et de leur criticité. Dans ce contexte, nous avons effectué une étude générale sur la prévention des risques électriques au sein de la centrale électrique SKT

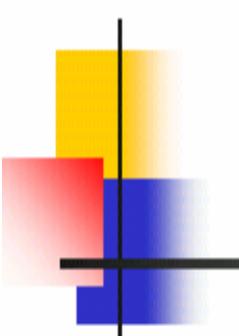
Objectif de la recherche :

Le travail présenté dans cette mémoire à pour objectif de maîtriser les risques électriques et l'amélioration de la prévention contre ces risques pour augmenter le niveau de la sécurité électrique dans l'industrie.

Organisation de la mémoire :

Pour atteindre l'objectif de cette mémoire qui est l'amélioration de la prévention contre les risques électriques et le choix des appareils de protection, notre mémoire s'articule autour des chapitres suivant :

- Chapitre 1 : intitulé "Les risques électriques"
- Chapitre 2 : intitulé "Les méthodes d'analyse des risques"
- Chapitre 3 : intitulé "Présentation générale de la société SKT"
- Chapitre 4 : intitulé "Application de la méthode Amdec"



Chapitre I

Les risques électriques



I. INTRODUCTION

L'électricité ne se voit pas, ne s'entend pas, n'a pas d'odeur mais entraîne chaque année des accidents graves par contact direct ou indirect avec des pièces nues sous-tension.

En matière d'accidents de travail, l'électricité constitue une cause relativement peu fréquente, mais elle comporte un facteur de gravité important.

Le nombre d'accident d'origine électrique est diminué par rapport aux années Soixante (dont 1/10 des accidents graves), les accidents d'origine électrique sont dix fois plus souvent mortelles que l'ensemble des accidents de travail. Les lésions occasionnées sont pour la moitié des brûlures. Et sont généralement localisées au niveau des mains, des yeux et de la tête.

1. Définition du risque électrique

Le risque électrique peut causer des lésions ou la mort par le choc électrique ou une brûlure pouvant résulter :

- d'une possibilité de **contact direct** ou **indirect** d'un salarié avec une pièce sous tension
- du seul fait de sa présence à proximité d'un équipement électrique particulièrement dans la catégorie haute tension (**travail au voisinage**)
- d'une **isolation** ne convenant pas dans les conditions d'utilisation prévues.
- d'un **phénomène électrostatique** (contact d'une personne avec des parties chargées)
- d'un **rayonnement thermique** ou des phénomènes tels que la projection de particules en fusion et les effets chimiques dus à des courts circuits, surcharges, etc.

Il peut également occasionner des chutes de personnes (ou d'objets lâchés par ces personnes), dues à l'effet de surprise provoqué par ces chocs électriques. [2]

2. Nature des accidents électriques

On peut classer les accidents d'origine électrique soit par :

- Leurs actions
- La nature du contact (direct, indirect, etc...)
- Le domaine d'activité dans lequel ils surviennent (milieu domestique : prise du courant, cordons et fiches - Milieu agricoles - L'électricité statique, la foudre – les incendies, et les explosions etc...)

3. Les effets du courant électrique

L'électricité (énergie liée au déplacement d'électrons dans un matériau conducteur) est un fluide invisible indispensable au fonctionnement des installations, des machines, etc.

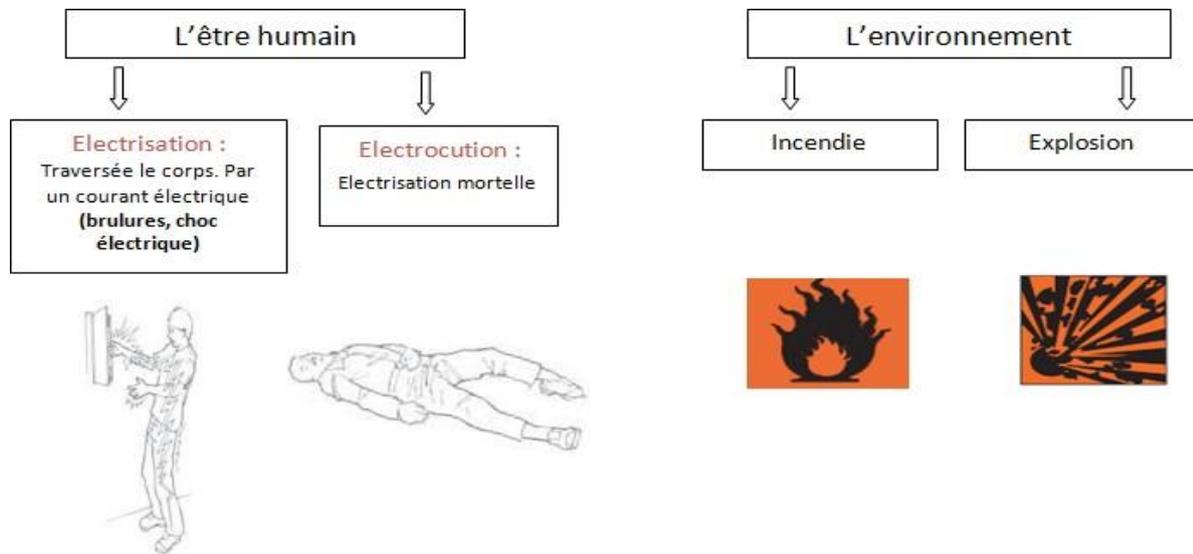


Figure 1.1 : Effets du courant électrique sur l'environnement et l'être humain

3.1. Effets physiologiques

Effets du courant électrique sur le fonctionnement de l'organisme sont :

a. L'électrisation :

L'électrisation est le passage d'un courant électrique dans le corps, ce qui peut entraîner une atteinte des tissus et des organes. Elle peut être accidentelle ou provoquée

La gravité de l'électrisation dépend de plusieurs facteurs :

- l'intensité du courant (A)
- la tension du courant
- le type de courant : alternatif ou continu
- la durée du passage de l'électricité dans le corps
- la superficie de la zone de contact avec la source électrique
- la trajectoire du courant
- l'état de la peau : normale ou calleuse, sèche ou humide (l'humidité est un facteur aggravant)
- la nature du sol (matériau isolant ou conducteur)

Types de contact :

- **Contact direct** :(électrifications les plus fréquentes) **45%** des accidents

C'est le contact des personnes avec des parties actives (phase ou neutre), ou des parties conductrices sous tension.

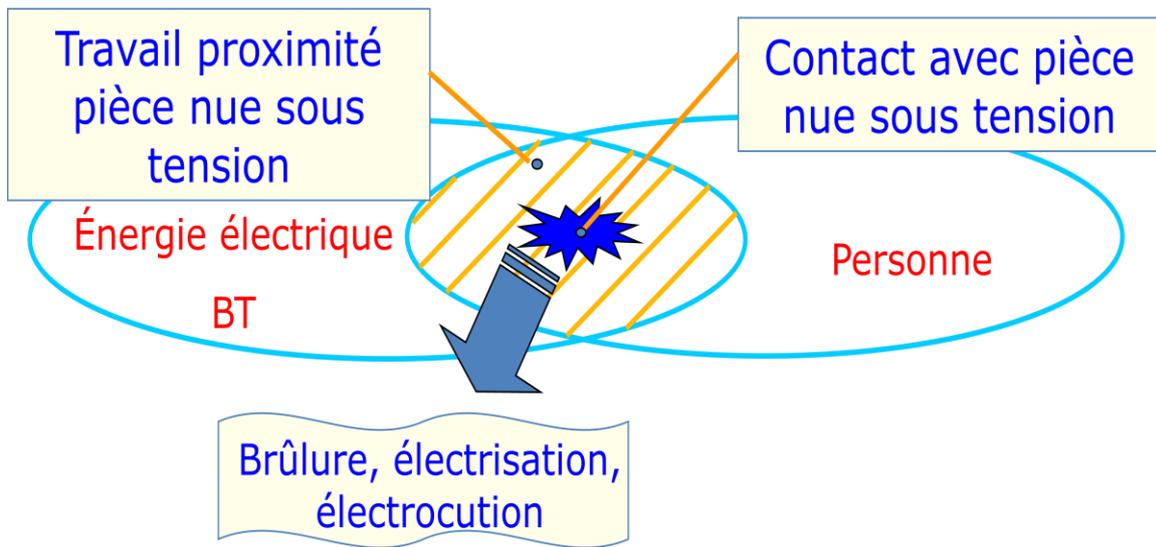


Figure 1.2 : Mécanisme d'accident avec contact direct

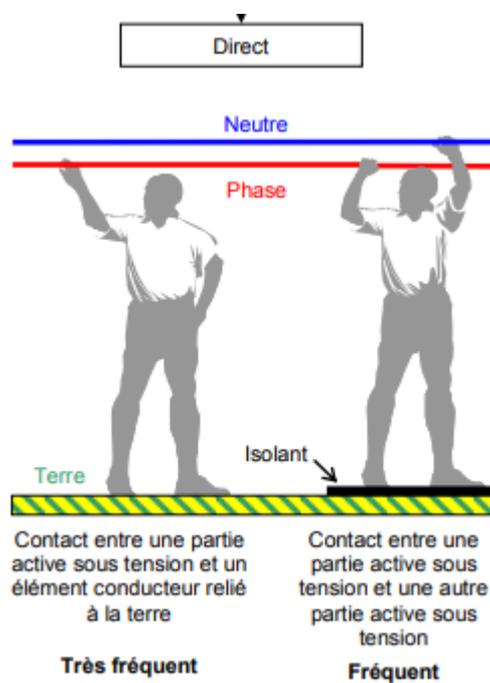


Figure 1.3 : Les différentes façons d'électrification avec des contacts directs

- **Contact indirect** : (Electrisations peu fréquentes) **20%** des accidents

C'est le contact des personnes avec des masses mises accidentellement sous tension. Cette mise sous tension accidentelle résulte de la défaillance de l'isolation d'un appareil amenant un défaut d'isolement.

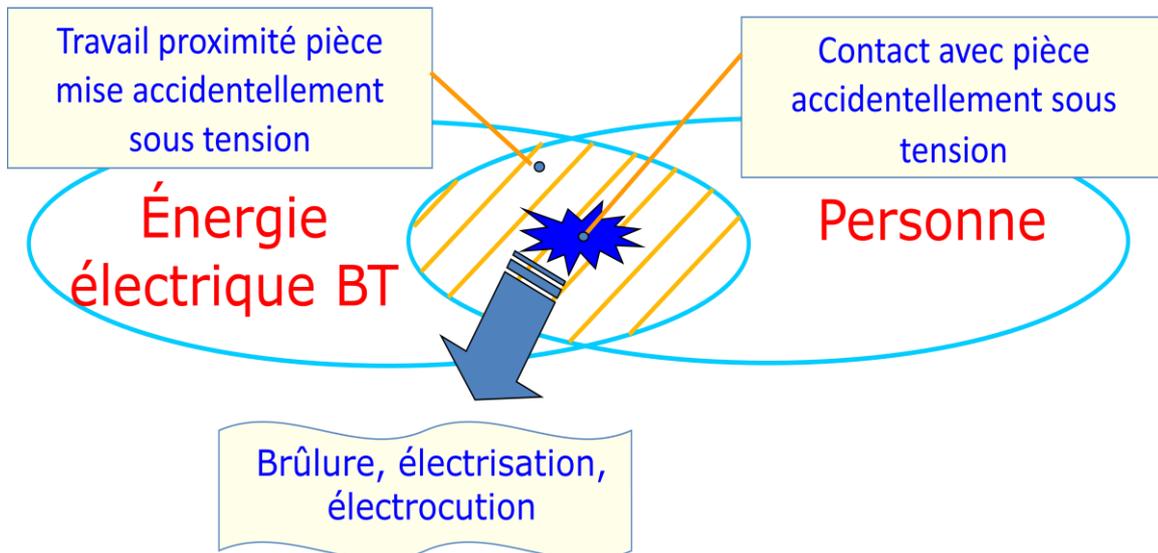


Figure 1.4 : Mécanisme d'accident avec contact indirect

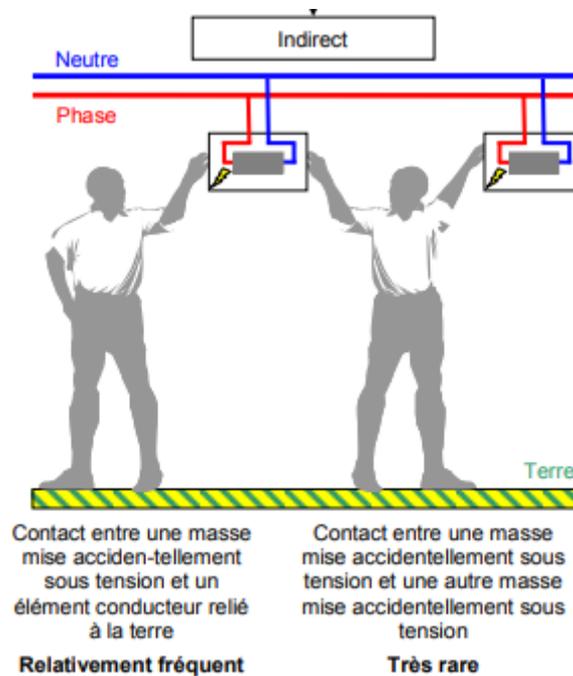


Figure 1.5 : Les différentes façons d'électrisation avec des contacts indirects

b. L'électrocution :

L'électrocution est l'action de causer une secousse généralement mortelle par le passage d'un courant électrique



Figure 1.6 : Electrocution mortelle

3.2. Effets sur l'environnement**a. Les incendies :**

30 % des incendies sont d'origine électrique. Les principales causes sont :

- l'échauffement des câbles dû à une surcharge.
- le court-circuit entraînant un arc électrique.
- un défaut d'isolement conduisant à une circulation anormale du courant entre récepteur et masse ou entre récepteur et terre.
- des contacts défectueux (de type connexion mal serrée ou oxydée) entraînant une résistance anormale et un échauffement
- la foudre.

Certains facteurs peuvent aggraver les échauffements :

- une ventilation insuffisante.
- l'accumulation de poussières ou de dépôts de graisse.
- le stockage de matériaux inflammables à proximité d'installations électriques.
- l'empilage des câbles empêchant l'évacuation de la chaleur.



Figure 1.7 : Incendie d'origine électrique

b. Les explosions :

Dans les zones à risque d'explosion, les installations électriques, aussi bien de puissance que de commande, constituent une source potentielle d'inflammation pour l'atmosphère explosible. Afin de réduire ce risque, ces installations sont réduites au strict minimum. De plus le matériel électrique utilisé dans ces zones respecte des conditions de construction, montage et fonctionnement définies dans des normes.



Figure 1.8 : Explosion d'origine électrique

3.3. Effets des accidents d'origine électrique sur le corps humain

L'action du courant électrique, selon les paramètres décrits ci-avant et également en fonction de la tension, peut entraîner les conséquences suivantes :

- **Secousse, choc électrique**, avec retour apparent à l'état antérieur (mais l'examen est nécessaire pour déterminer des suites éventuelles).
- **Asphyxie** (pouvant être mortelle).
- **Fibrillation ventriculaire** (mortelle le cas échéant).
- **Brûlures** (mortelles suivant gravité, surtout en haute tension). Les suites peuvent être diverses.
- **Cardio-vasculaires** (tachycardie, lésions vasculaires...).
- **Neurologiques** (pertes de conscience, de force musculaire...).
- **Sensorielles** (troubles de la vision, de l'audition...).
- **Rénales** (insuffisance).
- Pour **les brûlures par arc** : dermiques, oculaires (coup d'arc), électrothermiques profondes, thromboses, œdèmes, nécroses, etc....

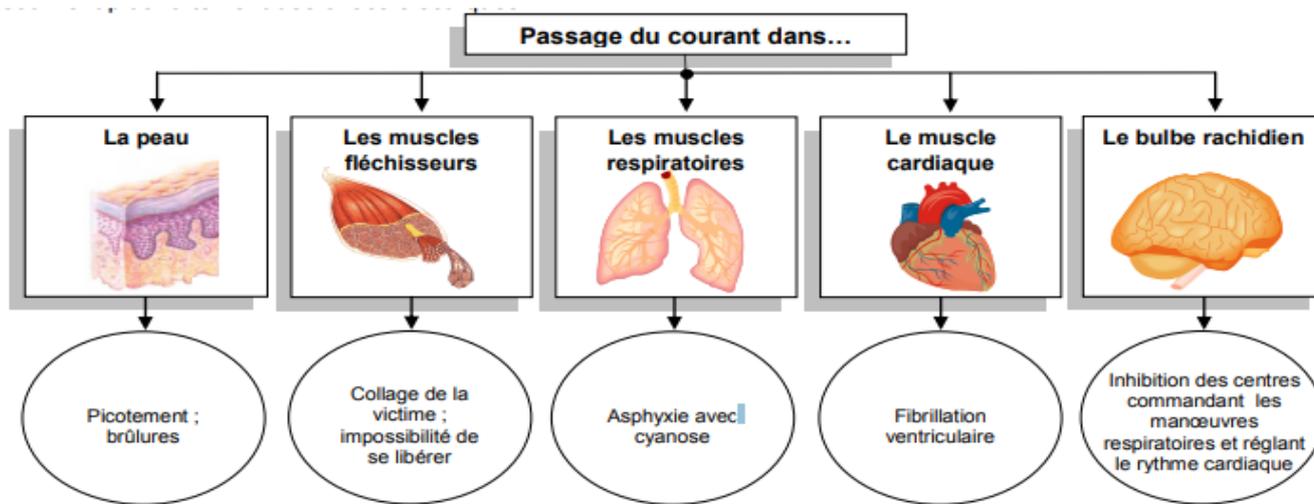


Figure 1.9 : Effets des accidents d'origine électrique sur le corps humain

3.4. Effets d'accidents électriques selon le domaine de tension

DOMAINE DE TENSION	COURANT ALTERNATIF	COURANT CONTINU
TBT	$U \leq 50$ volts	$U \leq 120$ volts
BTA	$50 < U \leq 500$ v	$120 < U \leq 750$ v
BTB	$500 < U \leq 1000$ v	$750 < U \leq 1500$ v
HTA	$1000 < U \leq 50$ kV	$1500 < U \leq 75$ kV
HTB	$U > 50$ kV	$U > 75$ kV

Tableau 1.1 : Effets des accidents électriques selon le domaine de tension

a. Domaine de tension an alternatif

- En dessous de **50 V**: absence d'accident mortel
- Entre **50 V et 500V**: grand pourcentage de fibrillation cardiaque
- Entre **500V et 1000V**: syncopes respiratoires et brûlures
- A partir de **1000V**: brûlures internes de type hémorragique (blocages des reins).

b. Domaine de tension en continu

- En dessous de 120V: absence d'accident mortel
- Entre 120V et 750V: effets d'électrolyse et brûlures par effet joules
- A partir de 750V: brûlures internes et externes. [3] [4]

II. Analyse d'accidents d'origine électriques

1. Par contact direct

1.1.Électrocution par ligne de contact alimentant un pont roulant :

Scénario de l'accident :

Un ouvrier électricien, chargé de remplacer un diabolos sur un support de ligne de contact alimentant un pont roulant en 400 V, monte sur la poutre métallique sur laquelle repose le rail de roulement du pont et veut procéder à la réparation sans couper le courant et sans gants.

Par la suite d'un faux mouvement l'une de ses mains vient en contact avec l'un des conducteurs de la ligne alors que ses pieds reposent sur la poutre.

Coincé entre la ligne de contact et la poutre, l'ouvrier est mort lorsqu'on parvient à le dégager.

Le rail de roulement du pont roulant étant à la terre, l'ouvrier a été soumis à une différence de potentiel, par contact direct main / pieds de $400 / \sqrt{3} = 230 \text{ V}$.

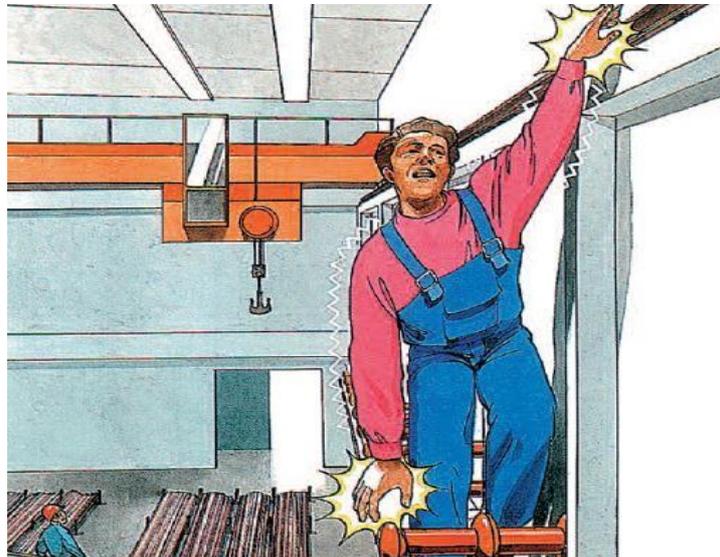


Figure 1.10 : *Electrocution par ligne de contact alimentant un pont roulant*

Cause de l'accident :

Faux mouvement (contact de la main avec un conducteur **230 V**)

Conséquence :

Morte de l'ouvrier

Enseignement :

Ce travail aurait du être effectué hors tension car aucun travail ne doit être effectué sous tension, à moins que les conditions d'exploitation ne rendent dangereuse ou impossible la mise hors tension ou si la nature du travail requiert la présence de la tension.

De plus il doit y avoir, sur l'alimentation de la ligne de contact, un dispositif de coupure omnipolaire verrouillable en position d'ouverture, permettant de travailler hors tension sans risque de remise sous tension intempestive.

1.2.Travail sous tension :

Scénario de l'accident :

Un ouvrier électricien procède, dans un sous- sol, au remplacement d'un coffret de raccordement en compagnie d'autres ouvriers de la même entreprise.

A un moment donné il touche malencontreusement une pièce sous tension. Soumis à la différence de potentiel phase / terre, il s'écroule foudroyé.



Figure 1.11 : Travail sous tension dans un sous sol

Cause de l'accident :

Contact avec une pièce sous tension.

Conséquence :

Travailleur s'écroule foudroyé.

Enseignement :

Ce travail n'aurait pas du être effectué sous tension puisque ce n'était pas indispensable.

2. Par contact indirect

2.1. Eclairage provisoire dans un local mouillé :

Scénario de l'accident :

Un ouvrier procède, dans le sous-sol d'une chaufferie, à la modification de gaines métalliques d'amenée d'air.

Par leurs différentes fixations et par le matériel électrique fixé sur ces gaines (moteurs de ventilation, clapets, vannes, etc. .), celles-ci se trouvent réunies à la terre.

L'éclairage du chantier correspondant est, par ailleurs, assuré par une ligne provisoire réalisée à l'aide d'un câble fixé çà et là aux parois et de douilles métalliques à bout de fil.

Croyant inutile de déranger un électricien, cet ouvrier, sans couper le courant, veut remplacer une des ampoules par une autre de plus forte puissance.

En touchant la douille, il tombe au sol sans connaissance ; transporté à l'infirmerie, il ne pourra être ranimé.

De l'enquête il ressort que la douille est en contact avec un conducteur sous tension et se trouve par conséquent mise accidentellement sous tension.

Cause de l'accident :

Douille en contact accidentellement avec un conducteur sous tension

Conséquence :

Chute au sol

Enseignement :

Dans les locaux mouillés (c'est le cas de ce sous-sol où circulent des gaines métalliques mises à la terre de fait), on doit utiliser :

- Soit du matériel alimenté en très basse tension de sécurité (TBTS) ou en très basse tension de protection (TBTP),
- Soit du matériel conçu pour assurer la sécurité des travailleurs.

Ainsi, cette installation aurait dû être alimentée en TBTS à partir de transformateurs de sécurité.

2.2. Electrocutation dans une filature :

Dans l'atelier de lavage d'une filature de laine, une ouvrière est victime d'une électrocution en voulant manœuvrer le levier d'une essoreuse.

La recherche des causes de cet accident fait apparaître que le conducteur de protection (terre) a été débranché et laissé en attente ; d'autre part, un des conducteurs d'alimentation, dont l'isolation est défectueuse, est en contact avec la masse métallique du bâti de la machine et l'ouvrière se trouve directement sur le sol mouillé.

Causes de l'accident :

- Le non-respect dû soit à la méconnaissance, l'oubli, etc. Au moment du montage, soit à une mauvaise surveillance et un mauvais entretien.
- Isolation des conducteurs d'alimentation défectueuse.

Conséquence de l'accident :

Electrocution mortelle

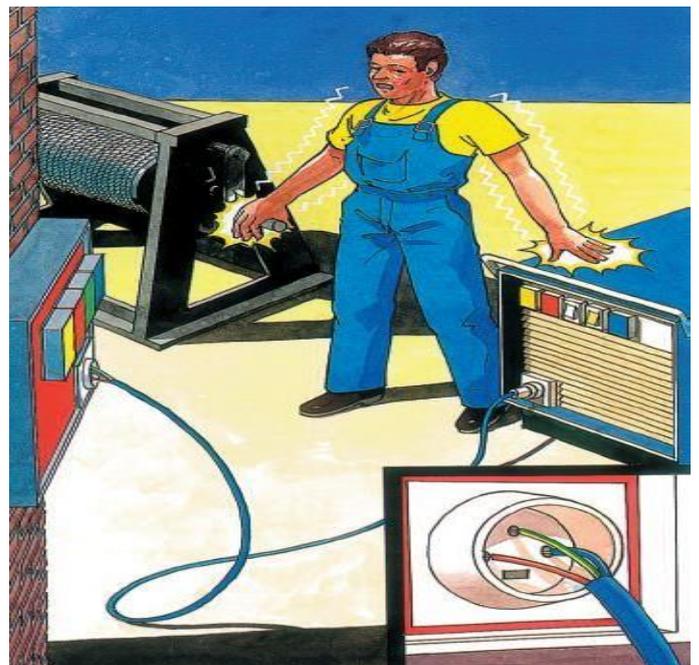


Figure 1.12 : *Electrocution dans une filature*

Enseignement :

La mise à la terre de toutes les masses du matériel et de l'appareillage qui ne sont pas alimentés en TBTS ou TBTP.

3. Brûlure, incendie ou explosion d'origine électrique

3.1. Enlèvement d'un fusible en charge :

Scénario de l'accident :

Dans un atelier, où les machines sont alimentées à partir d'une gaine préfabriquée située en hauteur, un électricien enlève, dans un coffret de dérivation situé sur une gaine, un coupe-circuit à fusible de 200 A, en charge, c'est-à-dire sans avoir, au préalable, arrêté la machine ne correspondante.

Un arc se produit et l'ouvrier est gravement brûlé aux mains et au visage.

Cause de l'accident :

Arc électrique.

Conséquence de l'accident :

Brûlure aux mains et au visage.

Enseignement :

En effet, dans ce cas, il se produit un arc d'autant plus important que le courant interrompu est intense, et cet arc peut provoquer un court-circuit au niveau de l'installation fixe. Ce court-circuit est, lui-même, d'autant plus violent qu'il se situe près du générateur.

En conséquence il ne faut jamais ouvrir (ou fermer) un circuit de charge à l'aide d'un dispositif de séparation (coupe-circuit à fusible, sectionneur)

3.2. Ouverture d'un sectionneur en charge :

Un incident mécanique s'étant produit sur un tour automatique, l'ouvrier chargé de la conduite de la machine utilise, pour arrêter celle-ci, le sectionneur général situé en tête de l'armoire de commande.

Un flash se produit à l'intérieur de l'armoire. Celle-ci étant fermée, l'utilisation ne subit aucun dommage, mais l'appareillage interne est en grande partie détruit.

Cause de l'accident :

Flash électrique.

Conséquence :

Pas de dommage mais détérioration d'une grande partie de l'appareillage.

Enseignement :

En tout premier lieu, l'ouvrier aurait dû utiliser le dispositif d'arrêt d'urgence installé sur la machine pour arrêter celle-ci mais, étant plus éloigné de la machine que de l'armoire, c'est vers celle-ci qu'il s'est dirigé.

En second lieu. Le sectionneur général, risquant d'être ouvert en charge, aurait dû, soit être équipé de contacts de pré-coupure, soit ne pas pouvoir être manœuvré de l'extérieur de l'armoire. [5]

III. Les mesures de prévention et de protection de risque électrique

1. Choix des appareils de protection électrique :

Les appareils de protection électrique sont les appareils destinés à établir ou interrompre un circuit électrique. Le choix de ces appareils de protection se fait selon leurs fonctions :

- Fonction “ isolement ”
- Fonction “ commande ”
- Fonction “ élimination de défaut ”
- Fonction “ surveillance ”

❖ Fonction “ isolement ”:

Elle consiste à Isoler ou séparer des sources de courant un circuit à vide. C’est une fonction de sécurité qui a pour but de séparer du réseau une partie d’installation afin de pouvoir y travailler sans risque.

❖ Fonction “ commande ” :

Il s’agit d’une opération volontaire, manuelle ou automatique, consistant à fermer un circuit ou à l’ouvrir dans ses conditions normales de fonctionnement,

❖ Fonction “ élimination de défaut ” :

La fonction consiste à séparer des sources une portion de circuit en situation anormale, dont les conséquences peuvent être dangereuses pour le personnel ou le matériel. Cette fonction est aussi parfois Improprement appelée “protection”. L’appareillage ne peut en effet protéger contre l’apparition d’un défaut mais doit Intervenir pour en limiter les répercussions sur les éléments du réseau restés sains.

❖ Fonction “ surveillance ” :

Cette fonction assure la surveillance des paramètres d’exploitation (tension, courant, température, ...) pour provoquer une alarme ou une ouverture du circuit. [11]

1.1. Sectionneurs :

Le sectionneur est avant tout un organe de sécurité réalisant la fonction **“isolement”**. Il peut avoir la fonction **“sélection”** d'un circuit (cas des sectionneurs d'aiguillage dans un système à deux jeux de barres par exemple)

Dans tous les cas, le sectionneur est un appareil dépourvu de pouvoir de coupure, c'est-à-dire qu'il doit être manœuvré à courant nul. Le courant doit être interrompu auparavant par un autre appareil prévu à cet effet.



Figure 1.13 : *Sectionneur haute tension*

1.2. Interrupteurs :

L'interrupteur est un appareil servant à couper ou établir un circuit parcouru par un courant de charge normal. Il réalise la fonction active **“commande”**.

Ces appareils sont utilisés en Basse et Moyenne Tensions jusqu'à 36 kV. En Haute Tension, les interrupteurs sont d'un usage très peu fréquent.



Figure 1.14 : *Interrupteur haute tension*

1.3. Disjoncteurs :

Le disjoncteur est un appareil qui sert à établir ou interrompre tout courant pouvant apparaître dans un circuit.

Le disjoncteur réalise donc les fonctions “**commande**” et “**élimination de défaut**”. Par contre, le disjoncteur n’est pas un organe de sécurité. De ce fait, si le disjoncteur est capable aussi de la fonction “**isolement**”, il ne lui est pas demandé de réaliser la garantie de non-franchissement qui est une tenue à une valeur normalisée de surtension en forme d’onde de choc.



Figure 1.15 : Disjoncteur Haute tension

1.4. Contacteurs :

Le contacteur est un appareil réalisant la fonction **commande**. Il est capable d’établir, d’interrompre et de supporter tout courant normal parcourant un circuit, y compris les courants de surcharge en service.



Figure 1.16 : Contacteur haute tension

1.5. Coupe-circuits à fusibles :

Le coupe-circuit à fusible a pour fonction **d'interrompre** des courants élevés, par la fusion d'un élément.

Un fusible ne peut remplir son rôle qu'une seule fois, il doit être remplacé après fusion.



Figure 1.17 : *Coupe-circuits à fusibles haute tension*

1.6. Relais de protection :

Les relais de protection sont des appareils qui comparent en permanence les grandeurs électriques des réseaux (courant, tension, fréquence, puissance, impédance, ...) à des valeurs prédéterminées et qui donnent automatiquement des ordres logiques lorsque la grandeur surveillée atteint la valeur de fonctionnement. L'ensemble cohérent des relais d'une installation constitue l'élément de base du système de protection de cette installation.

Le rôle des relais de protection est de détecter tout phénomène anormal pouvant se produire sur un circuit électrique, avec pour objectif, suivant leur type :

- l'élimination des défauts, afin de limiter les contraintes électriques (surintensités, surtensions) et les contraintes mécaniques auxquelles ces défauts soumettent les matériels; cette élimination est obtenue en isolant la plus petite partie possible du réseau où est apparu un défaut : c'est le rôle des relais de protection contre les défauts.
- la surveillance des grandeurs électriques du réseau pour contrôler en permanence la qualité de l'énergie fournie et assurer la protection des personnes contre les dangers de l'électricité : c'est le rôle de relais d'exploitation ou de surveillance. [11] [12]



Figure 1.18 : Relais de protection

Fonctions de l'appareillage				
Appareils de base	Fonctions réalisées			
	isolement	commande	élimination de défaut	surveillance
Sectionneurs	X			
Interrupteurs		x		
Contacteurs		x		
Disjoncteurs		x	x	
Coupe-circuits à fusibles			x	x
Relais et déclencheurs				x

Tableau 1.2 : choix des appareils de protection électrique

2. Les moyens de protection contre les risques électriques :

2.1. Protection contre les contacts directs :

Il s'agit de mettre hors de portée des personnes, tous les conducteurs habituellement sous tension :

- a. **Par éloignement** : L'éloignement doit être suffisant pour prévenir le risque d'accident par contact direct ou rapprochement à l'aide d'objets que les travailleurs manipulent ou transportent.

(Exemple : distance à respecter entre les lignes aériennes et des travaux de levage)

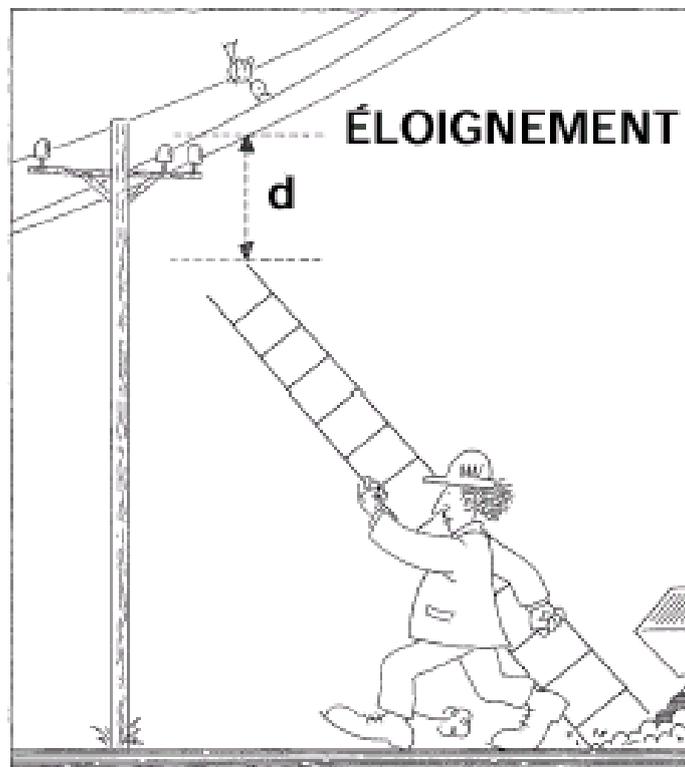


Figure 1.19 : Protection par éloignement

En intercalant un obstacle (exemple : capot, porte, ...) avec panneau d'avertissement.



b. Par isolation : (Mise en place de manchons, panneaux isolants) [12]

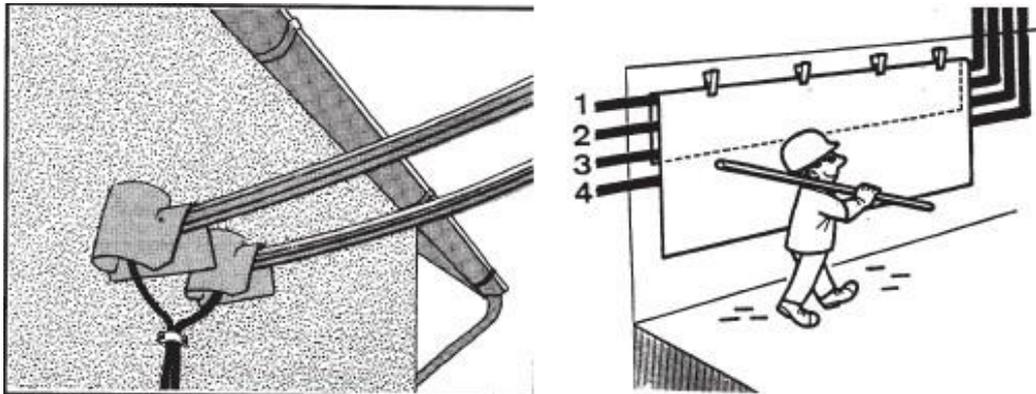


Figure 1.20 : *Manchons et panneaux isolants sur câbles sous tension*

2.2. Protection contre les contacts indirects :

a. Mise à la terre des masses des récepteurs :

Cette méthode est valable seule si la résistance de la prise de terre est faible, ce qui n'est pas toujours facile à réaliser. Cela nécessite l'adjonction d'un dispositif différentiel qui coupe automatiquement l'alimentation dès que le potentiel des masses dépasse 25 à 50 V.

b. Dispositifs de protection à courant différentiel résiduel (DR) :

Il détecte une défaillance de l'isolement de l'alimentation se traduisant par un déséquilibre des courants dans les conducteurs. Lorsque l'intensité du courant de départ qui s'écoule dans la prise de terre atteint la valeur seuil (30 mA), l'alimentation est automatiquement coupée. Associé dans un même appareil à la protection contre les surintensités, il est appelé disjoncteur différentiel

c. Protection par séparation des circuits :

Réalisée par un transformateur de sécurité équipé donc de 2 bobinages (le primaire côté distribution, le secondaire côté récepteur) et permettant ainsi de séparer les appareils électriques récepteurs de la source d'alimentation.

Ce moyen est efficace à la condition expresse qu'aucun point du circuit secondaire ne soit réuni à la terre.

2.3. Protection contre les risques de brûlures :

Pour prévenir les accidents qui entraîneront des brûlures dues à l'arc électrique et aux projections de matière en fusion, il faut :

- Protéger les circuits de mesure contre les surintensités.
- Dispositifs à haut pouvoir de coupure.
- Porter des protections individuelles telles que : lunettes ou écrans faciaux anti UV, gants isolant adaptés à la tension. [11][12][13]

3. Équipements individuels de protection et outillage de sécurité :

3.1. Équipements de protection individuelle (EPI) :

Les équipements de protection individuelle (EPI) font partie intégrante de la sécurité électrique. Ils sont définis par le code de travail comme des < dispositifs ou moyens portés par une personne en vue de la protéger contre les risques susceptibles de menacer sa santé et sa sécurité >. [14]

La personne qui effectue des travaux d'ordre électrique ou au voisinage doit être muni d'équipements assurant sa sécurité :

- **Casque en plastique** d'électricien (isolation électrique et mécanique)



Figure 1.21 : *Casque isolant*

- **Lunettes ou visière** anti UV :



Figure 1.22 : *Lunette et visière anti UV*

• gants isolants :

- Adaptés à la tension concernée par l'intervention ou les travaux.
- Vérifiés fréquemment (absence de trou, déchirure, cassure).
- Rangés dans un coffret mural marqué "gants isolants".
- En aucun cas utilisés pour effectuer des opérations de manutention.
- Recouverts de gants de protection mécanique si les travaux à effectuer entraînent des risques d'écorchure, perforation.



Figure 1.23 : Les gants isolants

• Chaussure de sécurité isolante :

- Résistance minimale de la semelle 100000 Ω
- Résistance maximale de 106 Ω pour évacuer les charges d'électricité statique.

Ces chaussures ne protègent que contre un contact corps-pied.



Figure 1.24 : Chaussures à semelle isolante

- **Les vêtements de protection isolants :**

Ces vêtements ont pour but d'isoler l'opérateur en cas de contact direct ou indirect.



Figure 1.25 : Vêtement de protection isolant

3.2. Outillage de sécurité :

- **Tabouret et tapis isolant**

L'emploi d'un tabouret ou d'un tapis isolant (en plus de gants et visière) est obligatoire pour toutes les manœuvres d'appareils de séparation HT, disjoncteur, interrupteur, sectionneur ainsi que pour l'utilisation de perche de manœuvre.

Attention :

- à la tension nominale des ouvrages.
- à la fixation des pieds et à leur propreté.



Figure 1.26 : Tapis et tabouret isolant

- **Perches isolantes**

Perche de sauvetage et perche de manœuvre (accrochage de tresses provisoires de mise à la terre par exemple) doivent être :

- appropriées à la tension d'utilisation.
- propres, sèches.
- sans fêlure, ni déchirure de l'isolant.

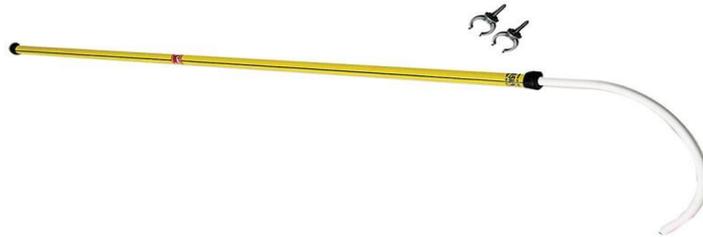


Figure 1.27 : Perche isolante

- **Matériel électro-secours :**

Il s'agit de coffrets contenant :

- un tabouret isolant.
- une perche avec, à son bout, un crochet et un indicateur de tension.
- une paire de gants isolants.
- une paire de chaussons isolants en caoutchouc.

Ils doivent être utilisés par du personnel habilité et formé, en cas d'accident (voltage < 63000 V). Ils sont implantés en sous-stations électriques.



Figure 1.28 : Coffret électro secours

- **Vérificateur d'absence de tension (V.A.T.) :**

Ce sont des matériels spéciaux, différents des voltmètres indicateurs.

Ils peuvent être du type lumineux ou sonore. Ils sont utilisés notamment au cours des opérations de consignation, préalablement à la mise à la terre et en court-circuit, pour vérifier l'absence de tension de service.



Figure 1.29 : Vérificateur d'absence de tension (V.A.T)

3.3. Equipements de protection collective (EPC) :

Par mesures de protection collective, on étend toute mesure destinée à mettre hors portée par éloignement, par obstacle ou par isolation.

Cet équipement comprend :

- L'utilisation d'écran de protection (nappe isolante, tôle mise à la terre).
- Balisage de la zone de travail. [14]



nappe isolante



Balisage de la zone de travail



Figure 1.30 : Equipements de protection collective

3.4. Consignation électrique :

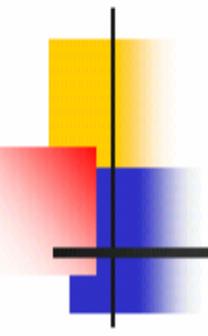
Rôle et étapes d'une consignation :

Tout travail hors tension sur une installation électrique doit être précédé d'une mise en sécurité dont la procédure s'appelle consignation.

La consignation se décompose en quatre phases :

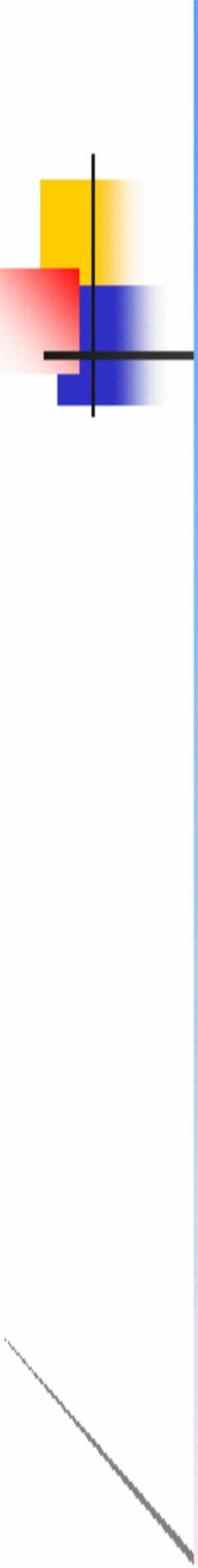
- séparation
- condamnation
- Identification
- vérification d'absence de tension

L'ensemble de ces opérations doit être inscrit sur un document, **l'attestation de consignation pour travaux**, signé par la personne responsable de la consignation, et remis à la personne chargée de la **réalisation** des travaux qui le signe "**pour accord**", avant d'ouvrir le chantier.



Chapitre II

Les méthodes d'analyse des Risques



I. INTRODUCTION

Durant ces dernières décennies, le monde a connu un accroissement technologique qui a modifié profondément les exigences en termes de sûreté de fonctionnement des systèmes qui sont devenus de plus en plus complexes. Les systèmes industriels ont connu une augmentation notable du nombre des accidents majeurs et des catastrophes telles que les incendies et les explosions occasionnant des impacts et des effets graves sur les personnes, les biens et l'environnement. Pour cela, des efforts considérables sont fournis pour maîtriser la sécurité des installations industrielles. La maîtrise de ces phénomènes est obtenue grâce à des méthodes d'analyse appelées méthodes d'analyse des risques, reposant sur un certain nombre de données et d'information sur le système analysé et son environnement ainsi que sur le phénomène étudié.

Au cours de ces dernières années, plusieurs techniques et modèles mathématiques de prévision des risques ont été développés. Citons à titre d'exemple, l'analyse des dangers du procédé (Process Hazard Analysis : PHA), l'analyse des couches de protection (Layers Of Protection Analysis : LOPA) et l'analyse quantitative des risques (Quantitative Risk Analysis : QRA). (HAZOP, AMDEC, Arbre des Causes, Arbre des Evénements...) et des modèles mathématiques des effets et de vulnérabilité. La finalité étant d'estimer les risques individuels et sociétaux et par suite appliquer les mesures qui répondent convenablement à cette estimation. Dans ce chapitre, nous présenterons les différentes méthodes d'analyse des risques utilisées couramment, leurs domaines d'application, leurs avantages et leurs inconvénients.

II. Objectif des méthodes d'analyse des risques

Les méthodes d'analyse des risques ont pour objectif de :

- a- Apprécier le niveau de dangerosité (risques et conséquences) d'une installation.
- b- Diminuer les risques techniques, pour :
 - Assurer et améliorer :
 - La protection de l'exploitant
 - La protection de l'environnement et de populations
 - La qualité de la production
 - La fiabilité de l'outil
 - Se conformer à la réglementation.
 - Faire des investissements appropriés au niveau des risques.

III. Méthodologie de l'analyse des risques

L'analyse des risques doit être structurée et appliquée de telle sorte qu'elle aide à faire une analyse par étapes, ces étapes sont illustrées dans cette figure :

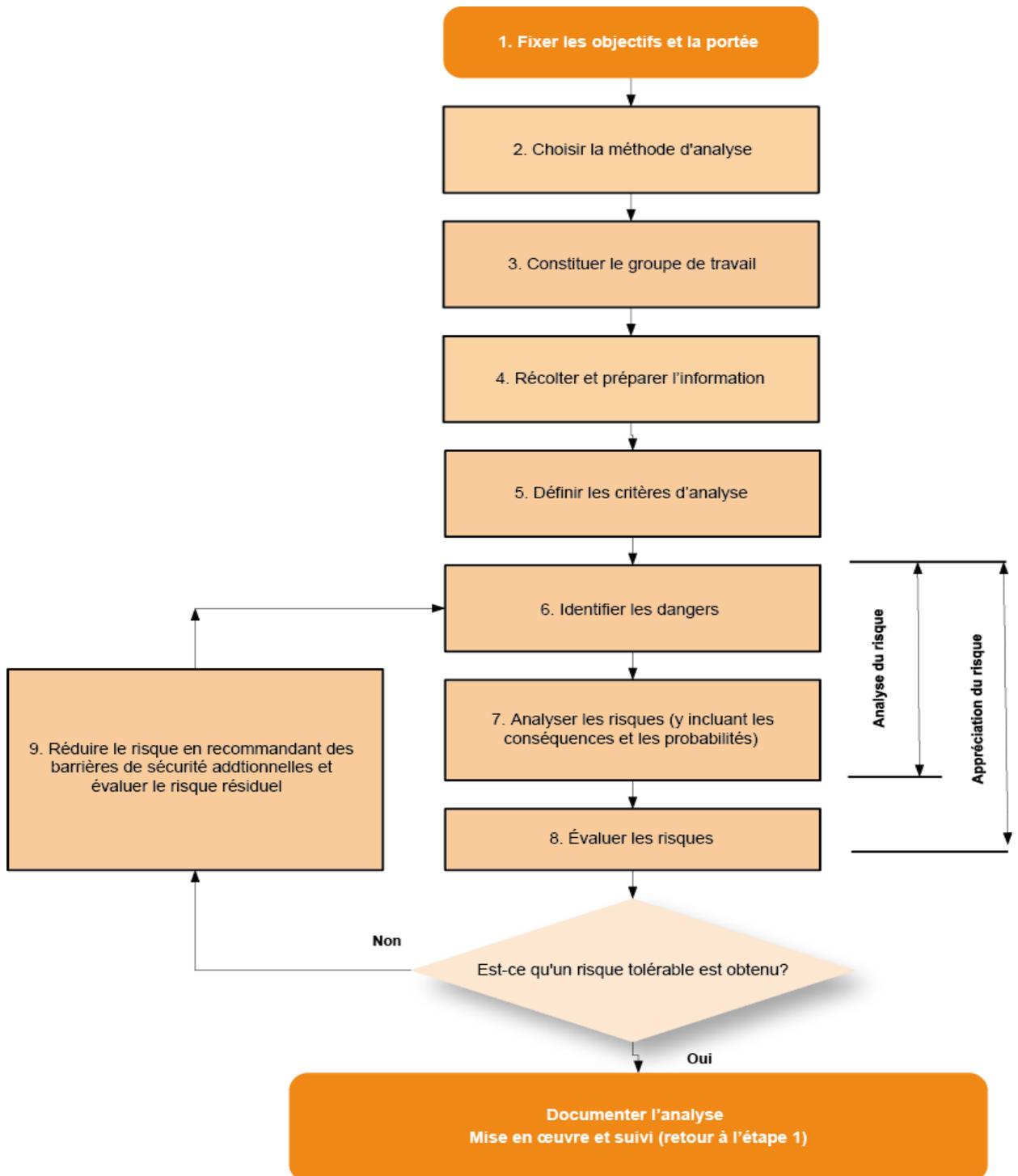


Figure 2.1 : Processus d'analyse des risques

IV. Classification des méthodes d'analyse des risques

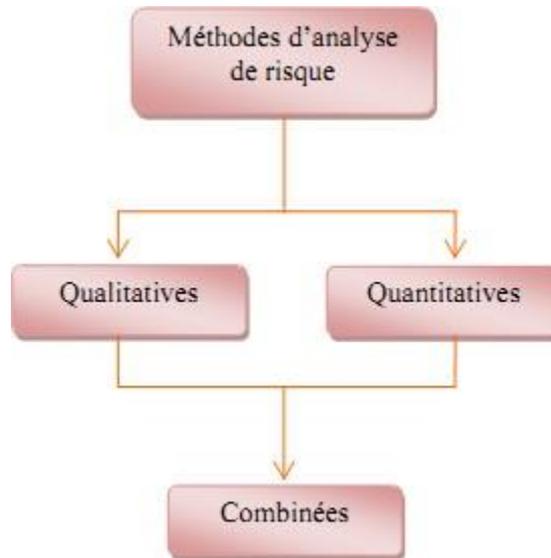


Figure 2.2 : Typologie des méthodes d'analyse de risque

1. Méthodes quantitatives

Les analyses quantitatives sont supportées par des outils mathématiques ayant pour but d'évaluer la sûreté de fonctionnement et entre autres la sécurité. Cette évaluation peut se faire par des calculs de probabilités (par exemple lors de l'estimation quantitative de la probabilité d'occurrence d'un événement redouté) ou bien par recours aux modèles différentiels probabilistes tels que les Chaines de Markov, les réseaux de pétri, les automates d'états finis, etc.

Les analyses quantitatives ont de nombreux avantages car elles permettent:

- évaluer la probabilité des composantes de la sûreté de fonctionnement.
- fixer des objectifs de sécurité.
- juger de l'acceptabilité des risques en intégrant les notions de périodicité des contrôles, la durée des situations dangereuses, la nature d'exposition, etc.
- apporter une aide précieuse pour mieux juger du besoin d'améliorer la sécurité.
- hiérarchiser les risques.
- comparer et ensuite ordonner les actions à entreprendre en engageant d'abord celles permettant de réduire significativement les risques.

- chercher de meilleures coordination et concertation en matière de sécurité entre différents opérateurs (sous systèmes interagissant) ou équipes (exploitation, maintenance, etc.).

Quoi que l'utilité des méthodes quantitatives soit indiscutable, ces dernières présentent tout de même un certain investissement en temps, en efforts et également en moyens (logiciels, matériels, financiers, etc.). Il peut s'avérer que cet investissement soit disproportionné par rapport à l'utilité des résultats attendus, le cas échéant l'analyse quantitative est court-circuitée pour laisser la place aux approximations qualitatives (statistiques, retour d'expérience, jugement d'expert, etc.)

2. Méthode qualitatives

L'analyse quantitative des risques constitue un préalable à toute autre analyse. En effet, elle permet la bonne compréhension et connaissance systématique du système étudié et de ses composants. Pour une bonne évaluation qualitative du risque, cette approche ne s'appuie pas explicitement sur des données chiffrées, mais elle se réfère à des observations pertinentes sur l'état du système et surtout sur le retour d'expérience et les jugements d'experts. Cette approche nécessite alors une très bonne connaissance des différents paramètres et causes liés au système étudié. Dans quelques études de dangers, cette approche peut être suffisante pour atteindre les objectifs voulus si elle est bien menée et justifiée.

De nombreux outils d'analyse et d'évaluation des risques à caractère qualitatif existent, parmi lesquels nous retrouvons l'APR, HAZOP, l'AMDEC, l'Arbre de Défaillance ou l'Arbre d'Evénements...

3. Méthode semi-quantitatives

L'analyse semi-quantitative des risques est une approche qui n'est ni purement qualitative ni purement quantitative. Cette démarche a pour but d'enlever l'aspect hautement subjectif de l'information utilisée dans rapproche qualitative en lui donnant plus de précision et d'exactitude, et en même temps pour assouplir et combler le manque de la robustesse des données d'approche quantitative.

De nombreux outils et méthodes d'analyse et d'évaluation à caractère semi-quantitatif ont été développés. Dans ce qui suit, on présentera une méthode parmi les plus utilisées dans l'évaluation des risques. [6]

V. Différentes méthodes d'analyse des risques

Certaines méthodes d'analyse des risques sont limitées à la seule identification des dangers alors que d'autres intègrent l'aspect analyse et évaluation. Ces différentes méthodes d'analyse des risques sont utilisables soit par un seul expert soit par un groupe d'experts selon l'objectif attendu de l'étude en cours.

1. Analyse préliminaire des risques (APR)

Définition

L'Analyse Préliminaire des Risques (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.

Objectif

- Prendre en compte le facteur sécurité dès la phase recherche et conception d'une installation.
- Envisager :
 - a priori tous les risques inhérents aux produits, procédés, équipements, implantation.
 - leurs causes et conséquences.
 - les mesures de maîtrise des risques en place et prévues.
- Estimer pour chacun des risques le niveau de risques (**P x G**) sans et avec les mesures de protection
- Répertoire les risques nécessitant une analyse complémentaire plus fine ("Scénarios critiques")

Mise en œuvre de la méthode

- Préparer des fiches Produits, Procédés, Équipements, Environnement, Antécédent.
- Établir les scénarios d'accidents.
- Regrouper sous forme d'un dossier les données recueillies et les mesures prises.
- Vérifier, Remettre à jour, Compléter ce dossier jusqu'à la fin de vie de l'installation.

Fonction ou système :						Date :	
1	2	3	4	5	6	7	8
N°	Produit ou équipement	Situation de danger	Causes	Conséquences	Sécurités existants	Propositions d'amélioration	Observations

Tableau 2.1 : Exemple de tableau de type « APR »

Intérêts :

- Indispensable pour les installations nouvelles.
- Evite les erreurs fondamentales de conception.
- Permet de mettre en évidence les risques principaux.
- Analyse qualitative, relativement facile à effectuer qui requiert un minimum de personnel.

Limite :

- Ne détecte que les risques “évidents”.
- Ne permet pas d'identifier les risques liés à la complexité des systèmes

2. HAZOP (hazard and operability study)

Définition

HAZOP est une méthode consiste à identifier les causes et les conséquences, elle est particulièrement utile pour l'examen de systèmes thermo-hydrauliques, pour lesquels des paramètres comme le débit, la température, la pression, le niveau, la concentration... sont particulièrement importants pour la sécurité de l'installation.

Objectif

- Recherche systématique des **causes possibles de dérive** de tous les paramètres de fonctionnement d'une installation.
- Mise en évidence des principaux problèmes d'exploitation et d'entretien.
- Etude des conséquences et risques éventuels liés à ces dérives.
- Proposition des mesures correctives appropriées.

Mise en œuvre de la méthode

- Constituer une équipe pluridisciplinaire.
- Préparer les documents nécessaires : plan de circulation des fluides (pcf, pid), autres documents préparatoires (éléments caractéristiques des capacités, des pompes, ...) à jour.
- Découper l'installation en systèmes géographico-fonctionnels aussi simples et homogènes que possible.
- Rechercher les causes possibles de dérive.
- Déterminer les conséquences.
- Etablir si nécessaire une semi-quantification du risque (probabilité, gravité).
- Apporter les mesures compensatoires nécessaires : prévention, détection, protection.
- Vérifier que la mesure corrective n'apporte pas de risque nouveau.

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

Tableau 2.2 : Exemple de tableau pour l'HAZOP**Intérêts :**

- Méthode systématique et qualitative qui vient en complément de l'APR. Elle permet l'examen méthodique des risques par un groupe pluridisciplinaire, de déceler les problèmes de sécurité et d'opérabilité.
- Méthode qui permet d'améliorer le niveau de sécurité des unités neuves ou existantes.
- Méthode utilisable pour gérer les modifications.

Limite :

- Méthode lourde à mettre en œuvre sur des installations complètes qui pour être efficace doit être appliquée de manière rigoureuse.
- Méthode qui ne permet pas :
 - D'être sûr d'avoir pris en compte tous les risques.
 - De traiter le cas de défaillances multiples

3. Méthode “ WHAT IF? ” (Que se passe-t-il si ?)**Définition :**

La méthode dite « What if » est une méthode dérivée de l'HAZOP. Elle suit donc globalement la même procédure et les informations présentées au paragraphe précédent pour l'HAZOP restent donc valables ici.

Objectifs :

- S'assurer en dernier recours que le plus grand nombre de risques a été pris en compte
- Examiner les aspects sécurité d'une installation en marche normale, en phases de démarrage-arrêt, en situations anormales, lors d'opération de maintenance,...

Mise en œuvre de la méthode :

- Constituer une équipe pluridisciplinaire (animateur, secrétaire, recherche, procédé, projet, fabrication, entretien, service hse, ...) Qualifiée et avec une expérience significative.
- Présenter succinctement l'installation concernée.
- Laisser libre cours aux questions de type “What if?” sans essayer de répondre en détail exemples de questions :
 - Que se passe-t-il si on se trompe de matières premières ?
 - Que se passe-t-il si la pompe s'arrête ?
 - Que se passe-t-il si l'opérateur ouvre la vanne **A** au lieu de la vanne **B** ?

À travers ces questions, les participants font part de leur préoccupation sur les événements indésirables qui pourraient survenir. Toute question peut être posée en revue **What-if** à condition qu'elle soit liée à un aspect sécurité.

Intérêts :

- Méthode simple et rapide qui permet d'avoir une vue d'ensemble des installations.
- Méthode non systématique, non structurée et non rigoureuse mais qui permet de traiter toutes les questions spontanées que peuvent se poser les participants.
- Peu consommatrice de temps.

Limite :

- Exige un suivi minutieux des réunions pour s'assurer que tous les problèmes soulevés sont résolus.
- Emergence d'idées sans aucun a priori.

4. Méthode MOSAR

Définition :

Méthode organisée systémique d'analyse des risques, est une méthode d'analyse des risques a priori, de type sûreté de fonctionnement. Elle consiste en la décomposition du système à étudier en sous-systèmes (ou sous-unités), à étudier chaque sous-système indépendamment ainsi que les interactions possibles entre ceux-ci.

Objectifs :

- Modéliser le danger comme un ensemble de processus au sens systémique du terme.
- Identifier a priori les dangers d'un élément d'installation et, par conséquent, les risques si l'on connaît les cibles, dans un contexte donné.
- Définir des barrières de prévention et de protection

Mise en œuvre de la méthode :

La méthode s'articule autour de deux visions, d'où les deux modules qui la composent (Fig2.3) :

Une vision macroscopique conduisant à un module A qui consiste à faire une analyse des risques de proximité ou analyse principale de sécurité ou analyse des risques principaux. C'est parce que les éléments qui constituent l'installation (stockages, machines, chaînes de fabrication, opérateurs) sont à proximité les uns des autres que des risques apparaissent, souvent majeurs. Ces éléments sont modélisés sous forme de systèmes ce qui va permettre d'identifier en quoi ils peuvent être sources de danger. On recherche ensuite comment ils peuvent interférer entre eux et avec leur environnement pour générer des scénarios d'accidents.

L'univers du danger est formé de deux systèmes appelés système source de danger et système cible, en interaction et immergés dans un environnement dit actif.

Les interactions entre ces deux systèmes se font sous forme de processus c'est-à-dire d'échange de flux de matière, énergie, information entre les deux systèmes, dans le temps, l'espace et la forme.

Les autres actions qui se produisent dans cet univers sont explicitées aussi sous forme de processus.

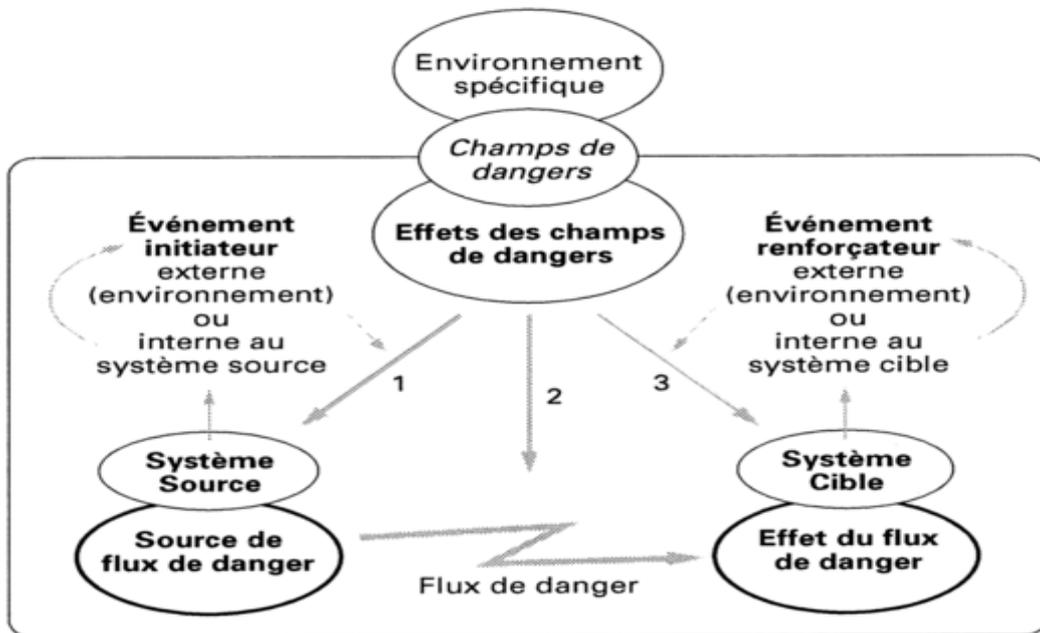


Figure 2.4 : Le modèle MADS ou l'univers de danger.

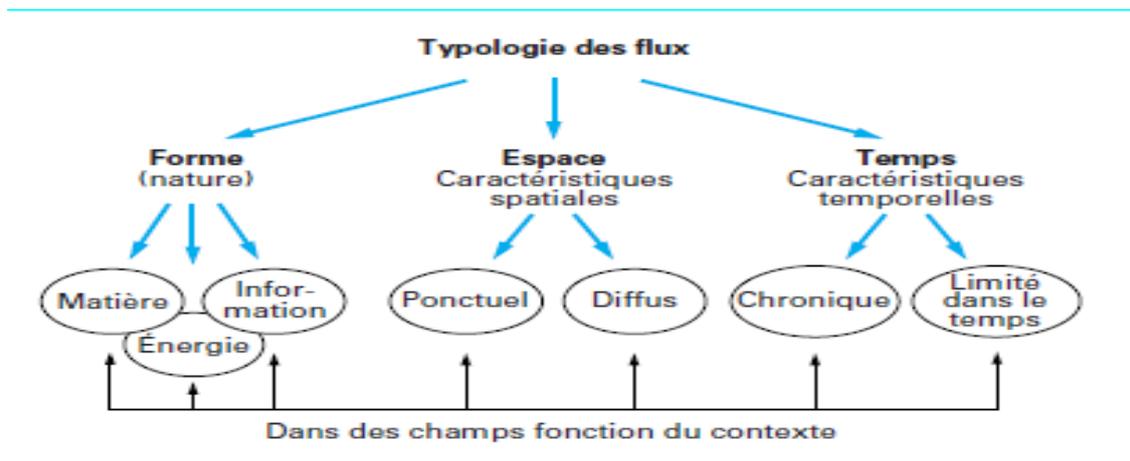


Figure 2.5 : Les typologies de flux.

5. Arbre de défaillances

Définition :

Un arbre de défaillances ou **ADD** est une technique d'ingénierie très utilisée dans les études de sécurité et de fiabilité des systèmes statiques.

Méthode appelée aussi :

- arbre de dysfonctionnements.
- arbre des défauts.

Objectifs :

- A partir d'un événement final indésirable, rechercher les combinaisons des différents événements élémentaires ou défaillances qui peuvent y conduire.
- Réduire la probabilité d'occurrence de cet événement final.

Mise en œuvre de la méthode :

- Définition de l'événement final indésirable.
- Etude du système.
- Construction de l'arbre.
- Exploitation de l'arbre :
 - Evaluation de la probabilité des événements élémentaires.
 - Calcul de la probabilité de l'événement final.
 - Mise en évidence des chemins critiques.
 - Modification de la structure de l'arbre par adjonction de barrières supplémentaires.

Elaboration 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 évènements élémentaires.

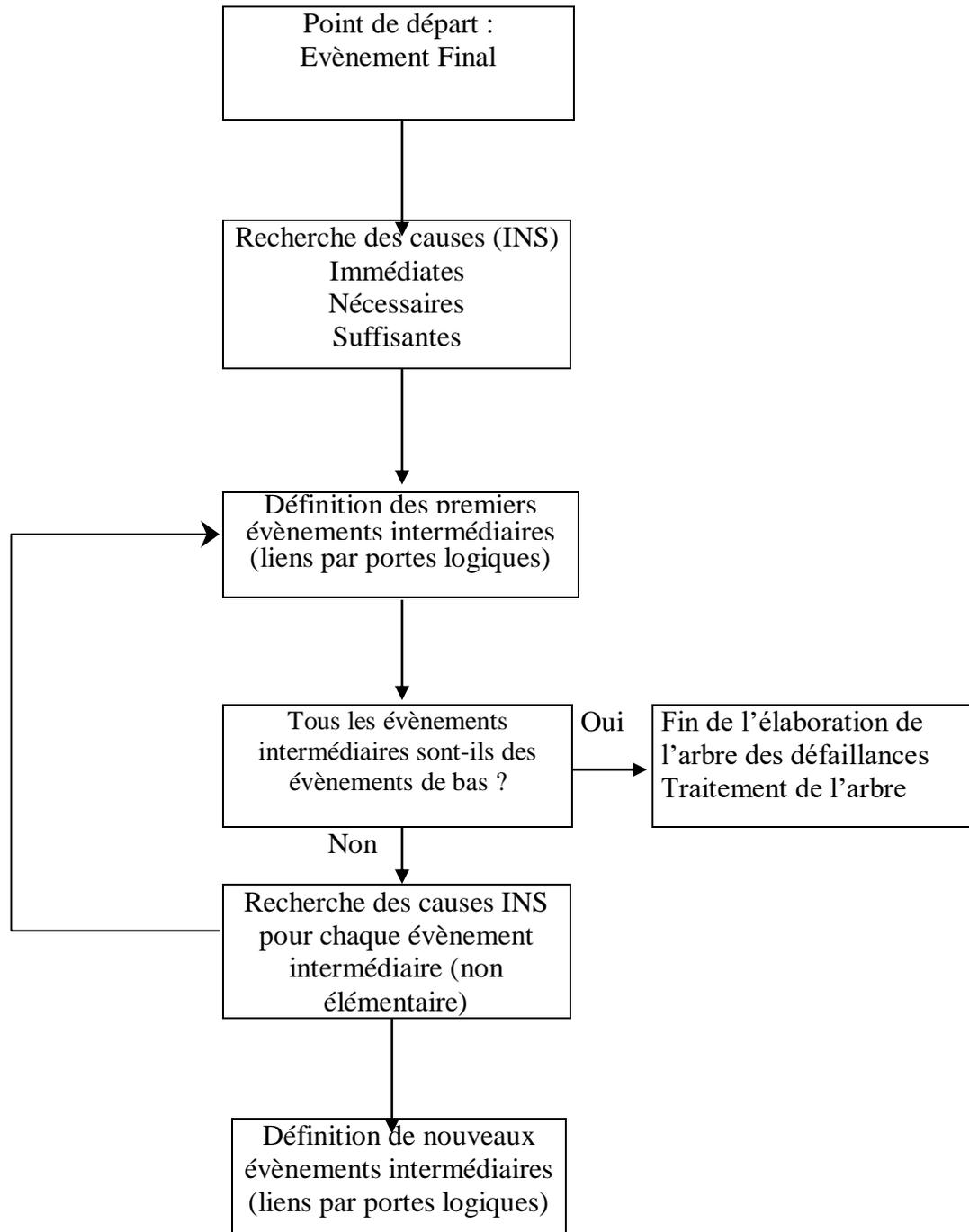


Figure 2.6 : Démarche pour l'élaboration d'un arbre des défaillances

Intérêts :

- Méthode qualitative et semi-quantitative précise qui est le travail d'une équipe pluridisciplinaire.
- Fait intervenir les combinaisons d'événements.
- Permet de déterminer les chemins critiques et facilite le choix des actions de préventions.

Limite :

- Le choix judicieux et objectif des probabilités d'occurrence est essentiel.
- Attention “aux calculs scientifiques exacts” à partir de “données fausses”.
- Peu appropriée aux phases transitoires et aux procédés discontinus.

6. Arbre des évènements

Méthode appelée aussi arbre des conséquences.

Objectifs :

- A partir d'un événement indésirable, rechercher les scénarios possibles d'évolution en événements accidentels.
- Estimer les probabilités d'occurrence de chacun des scénarios.

Mise en œuvre de la méthode :

- Définir l'événement indésirable.
- Calculer ou rechercher dans des banques de données sa probabilité d'occurrence.
- Représenter graphiquement par un arbre les scénarios chronologiques d'événements aggravants.
- Découper l'installation en sections isolables.
- Estimer (calculer) la probabilité d'occurrence des conséquences.

Intérêts :

Méthode qui permet d'envisager de manière systématique tous les déroulements possibles d'un événement indésirable.

Le positionnement de barrières de sécurité (de défense) permet de :

- Diminuer la probabilité d'occurrence de l'événement redouté.
- Limiter ses effets.

Limite :

- Volume de travail considérable pour les installations complexes : grand nombre de scénarios, d'arbres.
- Difficultés pour utiliser des probabilités d'occurrence ou des facteurs correctifs “spécifiques” à l'installation étudiée.

7. Méthode NŒUD PAPILLON

Définition :

Le « Nœud Papillon » est une approche de type arborescente largement utilisée dans les pays européens comme les Pays-Bas qui possèdent une approche probabiliste de la gestion des risques. Le Nœud Papillon est utilisé dans différents secteurs industriels par des entreprises comme SHELL qui a été à l'origine du développement de ce type d'outils.

Objectifs :

Il est de visualiser concrètement des scénarios d'accidents qui pourraient survenir en partant des causes initiales de l'accident jusqu'aux conséquences au niveau des cibles identifiées. Le « Nœud Papillon » est une approche de type arborescente largement utilisée dans les pays européens comme les Pays-Bas qui possèdent une approche probabiliste de la gestion des risques. Le Nœud Papillon est utilisé dans différents secteurs industriels par des entreprises comme SHELL qui a été à l'origine du développement de ce type d'outils.

Principe :

Le nœud papillon est un outil qui combine un arbre de défaillance et un arbre d'événements. Il peut être représenté sous la forme suivante.

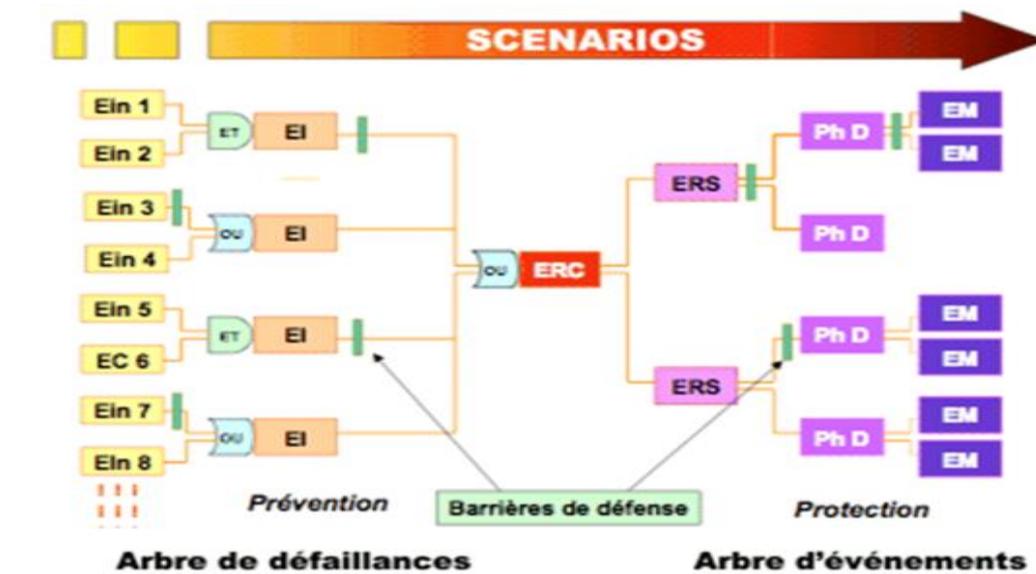


Figure 2.7 : Représentation de scénarios d'accident selon le modèle du nœud papillon

Désignation	Signification	Définition	Exemples
EIn	Événement Indésirable	Dérive ou défaillance sortant du cadre des conditions d'exploitation usuelles définies.	Le sur remplissage ou un départ d'incendie à proximité d'un équipement dangereux peuvent être des événements initiateurs
EC	Événement Courant	Événement admis survenant de façon récurrente dans la vie d'une installation.	Les actions de test, de maintenance ou la fatigue d'équipements sont généralement des événements courants.
EI	Événement Initiateur	Cause directe d'une perte de confinement ou d'intégrité physique.	La corrosion, l'érosion, les agressions mécaniques, une montée en pression sont généralement des événements initiateurs
ERC	Événement Redouté Central	Perte de confinement sur un équipement dangereux ou perte d'intégrité physique d'une substance dangereuse	Rupture, Brèche, Ruine ou Décomposition d'une substance dangereuse dans le cas d'une perte d'intégrité physique
ERS	Événement Redouté Secondaire	Conséquence directe de l'événement redouté central, l'événement redouté secondaire caractérise le terme source de l'accident	Formation d'une flaque ou d'un nuage lors d'un rejet d'une substance diphasique
Ph D	Phénomène Dangereux	Phénomène physique pouvant engendrer des dommages majeurs	Corrosion, Dispersion d'un nuage toxique
EM	Effets Majeurs	Dommages occasionnés au niveau des cibles (personnes, environnement ou biens) par les effets d'un phénomène dangereux	Effets létaux ou irréversibles sur la population Synergies d'accident
Barrières ou Mesures de Prévention		Barrières ou mesures visant à prévenir la perte de confinement ou d'intégrité physique	Peinture anticorrosion, Coupure automatique des opérations de dépotage sur détection d'un niveau très haut...
Barrières ou Mesures de Protection		Barrières ou mesures visant à limiter les conséquences de la perte de confinement ou d'intégrité physique	Vannes de sectionnement automatiques asservies à une détection (gaz, pression, débit), Moyens d'intervention...

Tableau 2.3 : Légende des événements figurant sur le modèle du nœud papillon

Le point central du Nœud Papillon, appelé ici Événement Redouté Central, désigne généralement une perte de confinement ou une perte d'intégrité physique (décomposition). La partie gauche du Nœud Papillon s'apparente alors à un arbre des défaillances s'attachant à identifier les causes de cette perte de confinement. La partie droite du Nœud Papillon s'attache quant à elle à déterminer les conséquences de cet événement redouté central tout comme le ferait un arbre d'événements.

Sur ce schéma, les barrières de sécurité sont représentées sous la forme de barres verticales pour symboliser le fait qu'elles s'opposent au développement d'un scénario d'accident.

De fait, dans cette représentation, chaque chemin conduisant d'une défaillance d'origine (événements indésirable ou courant) jusqu'à l'apparition de dommages au niveau des cibles (effets majeurs) désigne un scénario d'accident particulier pour un même événement redouté central.

Cet outil permet d'apporter une démonstration renforcée de la bonne maîtrise des risques en présentant clairement l'action de barrières de sécurité sur le déroulement d'un accident.

Déroulement :

Le Nœud Papillon s'inspirant directement des arbres des défaillances et d'évènements, il doit être élaboré avec les mêmes précautions.

S'agissant d'un outil relativement lourd à mettre en place, son utilisation est généralement réservée à des événements jugés particulièrement critiques pour lesquels un niveau élevé de démonstration de la maîtrise des risques est indispensable.

En règle générale, un Nœud Papillon est construit à la suite d'une première analyse des risques menée à l'aide d'outils plus simples comme l'APR par exemple

Avantage :

Le Nœud Papillon offre une visualisation concrète des scénarios d'accidents qui pourraient survenir en partant des causes initiales de l'accident jusqu'aux conséquences au niveau des cibles identifiées.

De ce fait, cet outil met clairement en valeur l'action des barrières de sécurité s'opposant à ces scénarios d'accidents et permet d'apporter une démonstration renforcée de la maîtrise des risques.

Limite :

Il s'agit d'un outil dont la mise en œuvre peut être particulièrement coûteuse en temps. Son utilisation doit donc être décidée pour des cas justifiant effectivement un tel niveau de détail.

[6][8][9][10]

8. Méthode du Diagramme Causes-Conséquences

Objectifs :

La méthode du Diagramme Causes-Conséquences a pour objectif de décrire les scénarios d'accident à partir d'événements initiateurs.

La méthode du diagramme causes-conséquences est une combinaison des Méthodes d'Arbre des Causes et d'Arbre des Conséquences. Lorsque le système dont on veut identifier les risques présente un aspect séquentiel fortement marqué, il est nécessaire de mettre en œuvre une méthode capable de représenter un tel comportement.

A titre d'exemple, nous allons considérer le cas d'une procédure : c'est en effet un système très séquentiel constitué d'une succession d'actions normalement prévues à l'avance. L'action n° i + 1 doit être engagée seulement si l'action n° i a été réussie, en cas d'échec de l'action n° i une action n° j doit lui succéder et ainsi de suite. Les diagrammes causes-conséquences sont très pratiques pour étudier ce genre de cas.

Mise en œuvre de la méthode :

Le point de départ est constitué par ce que l'on appelle un incident initiateur. Ensuite, à l'aide de portes « oui/non », on décrit séquentiellement pour chacune des actions à entreprendre ce qui se produit quand elle réussit et également ce qui se produit quand elle échoue. On arrête le diagramme lorsqu'on arrive à une situation stable qui peut être aussi bien un état normal du système qu'un incident ou un accident plus ou moins grave.

Les diagrammes causes-conséquences permettent donc de décrire sur un diagramme unique à la fois le déroulement normal (lorsque tout se passe bien) et le déroulement lorsque des événements dégénèrent.

Ce que nous venons de décrire ici est en fait la partie diagramme des « conséquences ». La partie diagramme des « causes » consiste à établir pour chaque porte « oui/non » le diagramme des causes conduisant à l'échec de ce que cette porte représente. Ces diagrammes des causes s'identifient en fait aux arbres de défaillances.

Intérêts et limite :

Les diagrammes causes-conséquences constituent une aide appréciable pour l'identification des scénarios constituant les risques prépondérants.

L'intérêt de ces diagrammes réside essentiellement dans le caractère presque simultané de l'analyse déductive des causes, et de l'analyse inductive des conséquences d'un même événement.

Ils sont intéressants pour l'analyse des systèmes où l'ordre dans lequel surviennent les défaillances est important ; néanmoins ils sont difficiles à utiliser pour l'analyse de systèmes complexes. [7]

9. Méthode AMDEC

Définition :

C'est une méthodologie rigoureuse visant à identifier les modes potentiels et traiter les défaillances avant qu'elles ne surviennent, avec l'intention de les éliminer et de minimiser les risques associés. Les défaillances peuvent être celles d'un objet, d'une machine, d'un service ou d'un processus quelconques. Mais en pratique les plus gros utilisateurs se retrouvent dans l'industrie manufacturière, et en particulier l'automobile et l'aéronautique.

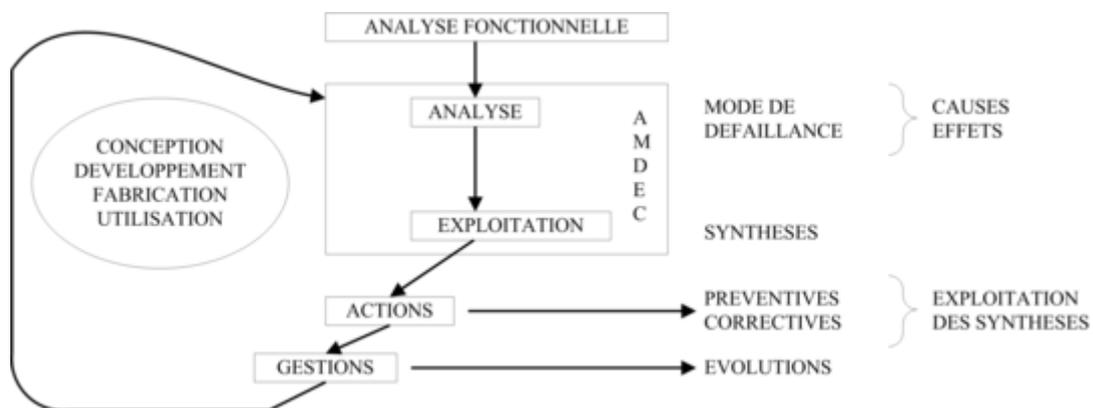


Figure2.8 : Principales phases d'une démarche d'AMDEC

Objectifs :

- Rechercher les défaillances pouvant conduire à un événement indésirable.
- Classifier ces défaillances.
- Contrôler les défaillances critiques au moyen d'actions correctives.

Types de L'AMDEC :

Il existe plusieurs types d'AMDEC, parmi les plus importants, mentionnons :

a. L'AMDEC organisation :

Elle s'applique aux différents niveaux du processus d'affaires: du premier niveau qui englobe le système de gestion le système d'information, le système production le système personnel, le système marketing et le système finance, jusqu'au dernier niveau comme l'organisation d'une tâche de travail.

b. L'AMDEC produit :

Elle est utilisée pour étudier en détail la phase de conception du produit ou d'un projet. Si le produit comprend plusieurs composants, on applique L'AMDEC- composants.

c. L'AMDEC moyen :

Elle s'applique à des machines, des outils, des équipements et appareils de mesure, des logiciels et des systèmes de transport interne.

d. L'AMDEC service :

Elle s'applique pour vérifier que la valeur ajoutée réalisée dans le service corresponde aux attentes des clients et que le processus de réalisation de service n'engendre pas de défaillances.

e. L'AMDEC sécurité :

Elle s'applique pour assurer la sécurité des opérateurs dans les procédés où il existe des risques pour ceux-ci.

Les 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 :**

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. Celles- ci sont alors mises en évidence en appliquant certains critères dont, entre autres, l'impact sur le client. La hiérarchisation des modes de défaillance par ordre décroissant, facilite la recherche et la prise d'actions prioritaires qui doivent

diminuer l'impact sur les clients ou qui élimineraient complètement les causes des défauts potentiels.

Intérêts :

- Analyse qualitative et quantitative rigoureuse et précise.
- Intègre différentes notions liées à la sécurité : maintenance, opérabilité, fiabilité.
- Démarche inverse de l'arbre des défaillances.

Limite :

- Méthode longue et fastidieuse pour systèmes complexes. Toutefois la méthode peut être arrêtée à l'analyse qualitative et porte le nom d'AMDE.
- Inadaptée pour système très informatisé.
- Ne permet pas de détecter les défaillances multiples.
- Difficultés pour déterminer "à quel niveau ?" Doit s'arrêter l'analyse.

Mise en œuvre de la méthode :

- Définir le système étudié.
- Découpage du système en sous-systèmes, assemblage, composant, etc.
- Définir les modes de défaillance.
- Définir les causes des défaillances sous l'angle de fonction et défaillances de performances.
- Définir les effets des défaillances locaux et sur le système.
- Compensations / détection.
- Gravité / probabilité / criticité (niveau de risque).
- Définir les actions correctives.

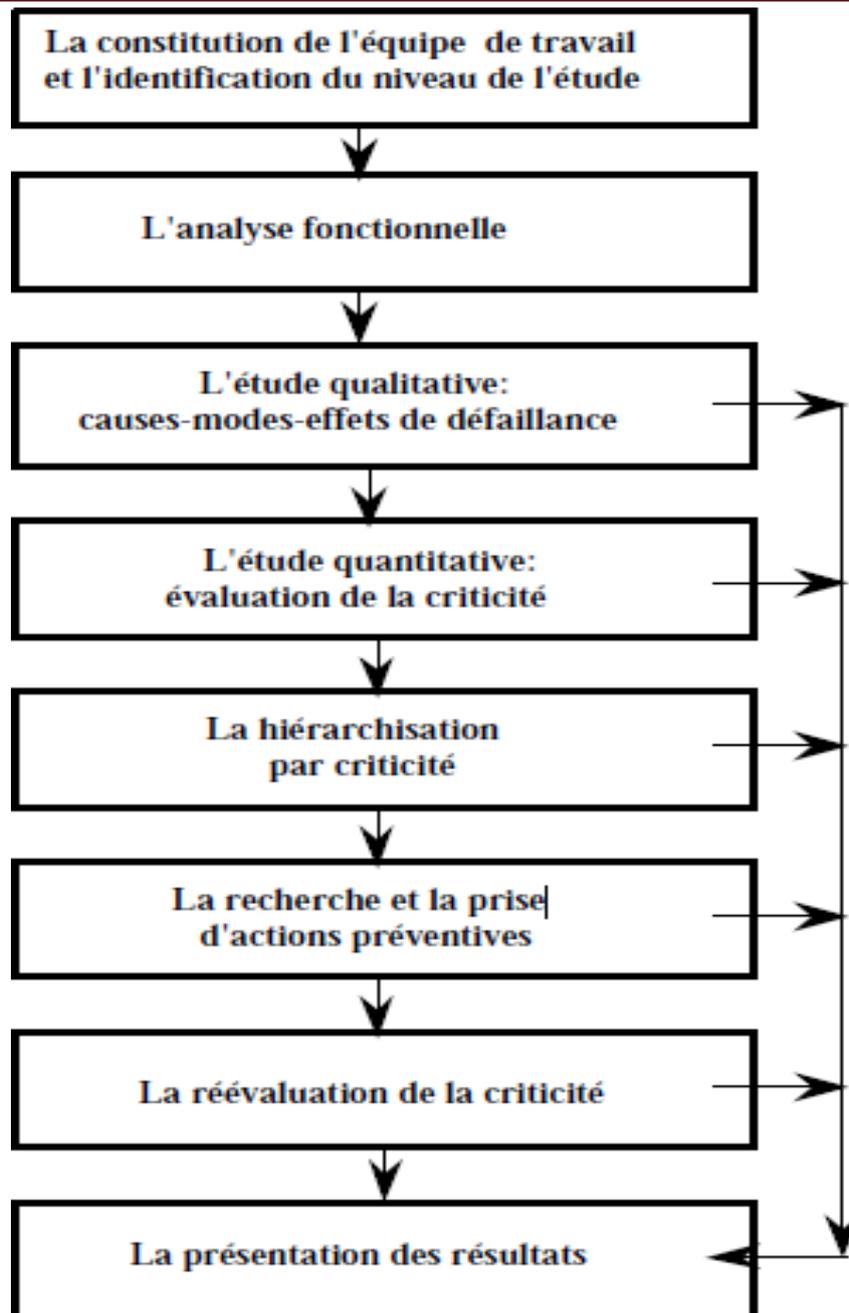


Figure 2.9 : Processus de l'AMDEC

Etude de la criticité : [8] [9] [10]

Il s'agit là de la partie quantitative de l'étude, On doit noter :

- La **gravité** des effets associés chaque mode de défaillance (on parle de facteur '**G**' ou parfois '**S**', pour l'anglais severity) ;
- La **fréquence** d'apparition de chaque mode de défaillance – elle découle des causes (on parle de facteur '**F**' ou parfois '**O**' , pour l'anglais occurrence) ;
- La **probabilité** de ne pas détecter le mode de défaillance (on parle de facteur '**D**')

L'indice de non-défectabilité (Probabilité) :

Rien n'est pire qu'une défaillance inopinée : on n'a pas pu anticiper, s'organiser; les risques d'accidents corporels sont élevés ; les temps d'arrêt induits sont élevés.

Il vaut toujours mieux détecter une cause de défaillance, sinon on détectera un effet. Si ni l'un ni l'autre ne sont possibles, mettre en place un système d'alerte (par exemple : les plaquettes de freins usées qui allument un voyant sur le tableau de bord d'une automobile).

Vous retrouverez ci-dessous une table en 4 niveaux, toujours pour les défaillances d'un moyen de production.

Facteur D		probabilité que la cause ne soit pas détectée, ou que le mode de défaillance atteigne l'utilisateur du moyen.
note	niveau de détection	
1	Détection assurée	Les dispositions prises assurent une détection totale de la cause initiale ou du mode de défaillance, permettant ainsi d'éviter l'effet le plus grave provoqué par la défaillance pendant la production.
2	Détection possible	La cause ou le mode de défaillance sont détectables, mais le risque de ne pas être perçu existe.
3	Détection difficile	La cause ou le mode de défaillance sont difficilement détectables, ou les éléments de détection sont peu exploitables.
4	non détectable	Rien ne permet de détecter la défaillance avant que l'effet ne se produise.

Tableau 2.4 : évaluation de la non-détection

L'indice de fréquence :

L'estimation de la fréquence d'une défaillance n'est pas facile - surtout lorsqu'on travaille à la conception d'un outil. On pourra s'appuyer sur des statistiques (si l'on possède un historique), sur des informations apportées par un fournisseur, ou sur une fréquence d'exposition au risque.

Vous trouverez ci-dessous une table en 4 niveaux, toujours pour les défaillances d'un moyen de production. Comme la table ci-dessus.

facteur F		fréquence d'apparition de la défaillance, ou probabilité que la cause se produise et qu'elle entraîne le mode de défaillance
note	niveau de fréquence	
1	pratiquement inexistant	défaillance pratiquement inexistante sur des installations similaires en exploitation. Au plus, 1 défaut dans la durée de vie du moyen de production.
2	rare	défaillance rarement apparue sur du matériel similaire existant en exploitation (à titre indicatif : un défaut par an) ou Composant d'une technologie nouvelle pour laquelle toutes les conditions sont théoriquement réunies pour prévenir la défaillance, mais il n'y a pas d'expérience sur du matériel réellement exploité.
3	occasionnel	défaillance apparue occasionnellement sur du matériel similaire existant en exploitation. (à titre indicatif : 1 défaut par trimestre.)
4	fréquent	défaillance apparue fréquemment sur un composant connu ou sur du matériel similaire en exploitation. (à titre indicatif : 1 défaut par mois.)

Tableau 2.5 : Evaluation de la fréquence

L'indice de gravité :

La gravité d'une défaillance peut revêtir plusieurs aspects: la sécurité de l'utilisateur, la perte de fonctionnalité.

Vous trouverez ci-dessous une table en 5 niveaux, utilisée pour les défaillances d'un moyen de production, chaque groupe de travail peut adapter à son besoin, son environnement, sa problématique.

facteur G		critères d'évaluation		
Note	niveau de gravité	Durée arrêt (min)	impact sur la qualité produit	impact sur le matériel
1	mineur	≤ 20	/	défaillance mineure, matériel intact
2	Marginal	20 à 60	/	défaillance moyenne, matériel rapidement réparable
3	Critique	60 à 240	non conformité, constatée et corrigée au poste de travail	défaillance importante,
4	catastrophique	≥ 240	non conformité détectée par le client aval, en interne	défaillance grave, dommage matériel important, matériel lentement réparable
5	Liés à la Sécurité/Qualité		Non-conformité du produit	Accident pouvant impliquer des problèmes de sécurité des personnes, en dysfonctionnement ou en intervention

Tableau 2.6 : Evaluation de la gravité

Classification des zones de risque : Criticité (C) = F*G*D

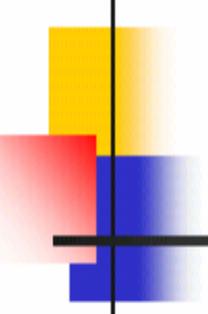
Risque	Seuil
Risque acceptable	$C \leq 12$
Risque acceptable sous contrôle	$12 < C \leq 15$
Risque indésirable	$15 < C \leq 27$
Risque inacceptable	$27 < C$

Tableau 2.7 : *Evaluation de la criticité*

VI. CONCLUSION :

Les méthodes d'analyse fonctionnelle sont indispensables pour réaliser une décomposition fonctionnelle et matérielle d'une installation industrielle en cours de conception ou en fonctionnement, et cette étape facilite la mise en application des méthodes d'analyse prévisionnelle qui permettent d'identifier les causes et les conséquences potentielles d'un événement et de mettre en lumière les barrières de sécurité qui peuvent être envisagées pour garder le bon fonctionnement des installations.

Il n'existe pas de bonne ou de mauvaise méthode, chacune possède des avantages et des inconvénients qui lui sont propres, une méthode particulière est donc généralement plus ou moins adaptée au contexte de l'installation étudiée et aux objectifs recherchés. En plus il n'existe pas de règle claire et nette justifiant pour chaque cas particulier, en fonction de critères clairs, une méthode plutôt qu'une autre.



Chapitre III

Présentation générale de la société SKT

I. INTRODUCTION

La centrale électrique est une enceinte pleine d'équipements et d'installations électriques divers qui font l'objet d'interventions de différents types par différents intervenants (exploitants, électriciens, électromécaniciens et même des agents des services généraux).

Ces interventions sont soumises à des risques dus à la nature du fonctionnement de ces installations et qui est l'électricité, et malgré les mesures considérables prises par l'entreprise à travers ses procédures pour travailler dans les meilleures conditions de sécurité, ont fait parfois des accidents qui ont nuis à la santé des travailleurs et au bon fonctionnement de ces installations.

II. Présentation de la centrale électrique

SHARIKET KAHRABA TERGA est une société par actions (SPA) : SONALGAZ 51% avec SONATRACH 49% des actions.

La centrale électrique S.K.T est située dans la partie l'Ouest de l'Algérie, à la commune d'OULED BOUDJEMAA à 25 km d'Ain Témouchent.

Le début de réalisation de la centrale était en 2008 par le Consortium ALSTOM/ORASCOM, mise en exploitation en 2012 elle contribue de 10% de la production nationale.



Figure 3. 1 : La centrale électrique

La centrale électrique à cycle combiné se compose de trois (3) unités « single shift » KA26-1. Chaque unité « single shift » se compose de :

- 01 turbine à gaz (TG) industrielle de grande puissance Alstom type 26 équipées d'un système de combustion séquentielle à pré-mélange pauvre et faible émission de NO_x . (x=1 ou 2 ou 3)
- 01 cycle eau/vapeur a triplé pression de réchauffage avec chaudière de récupération HSRG.
- 01 Turbine à vapeur (TV) composée de deux corps à triple pression de réchauffage avec corps double installé sur un plancher.
- 01 Alternateur refroidi à l'hydrogène H_2 , commun à la TG et la TV. [1]

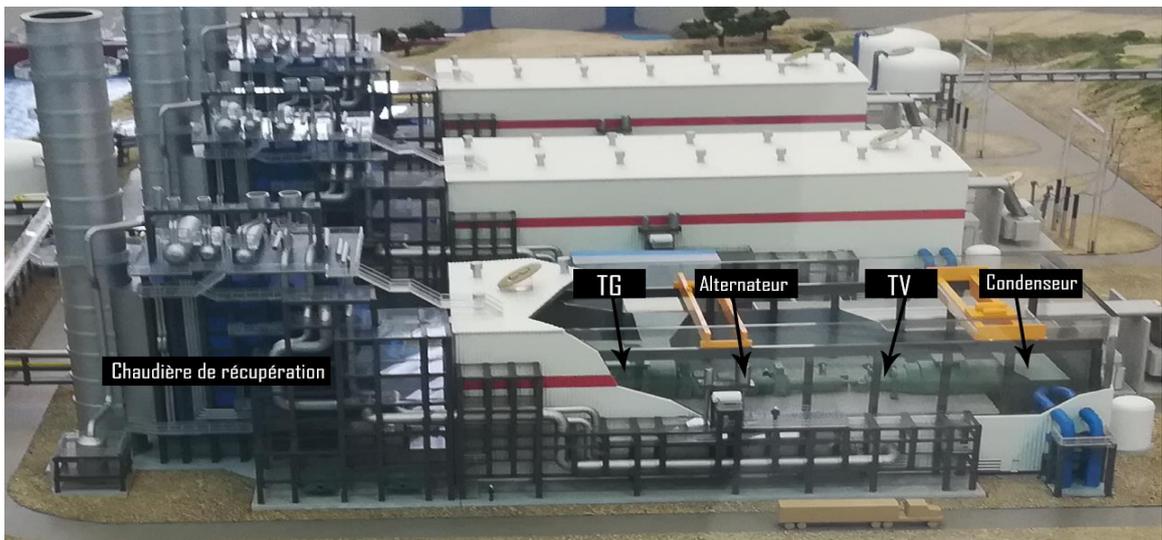


Figure 3. 2 : Les unités de la centrale électrique

III. Objectif de la centrale :

Le rôle principal de cette centrale est de produire de l'énergie électrique à partir de la combustion du gaz naturel, elle est chargée dans le cadre national alimenté avec d'autres centrales en parallèles formant un réseau interconnecté qui part de l'est à l'ouest en passant par le centre.

La centrale électrique à cycle combiné « 3 x 400 MW-KA26 » se compose de trois unités mono- arbre à cycle combiné, de type turbine à gaz GT 26 et à vapeur avec récupérateur de chaleur.



Figure 3.3 : Plan général de la centrale SKT

IV. Les composants de la centrale électriques SKT

4.1. Les différentes unités de la centrale

a. L'unité principale de production d'énergie électrique

Un cycle combiné « mono arbre » est constitué d'une seule turbine à gaz, d'une seule chaudière de récupération qui alimente une turbine à vapeur et d'un unique alternateur dimensionné pour les deux turbines.

Dans les centrales à cycle combiné, le processus de production d'électricité se déroule en deux temps :

- a) La turbine à gaz comprime l'air ambiant qui s'enflamme en présence de gaz naturel pressurisé. Dès que le mélange combustible/air se consume, les gaz chauds se détendent à travers une turbine, laquelle est reliée à un alternateur pour la production d'électricité.
- b) L'échappement de la turbine est relié à la chaudière de récupération pour la fabrication de vapeur, cette vapeur traverse une turbine à vapeur, qui entraîne un générateur qui est reliée avec la turbine à gaz, avant d'être acheminée vers le condenseur. [1]

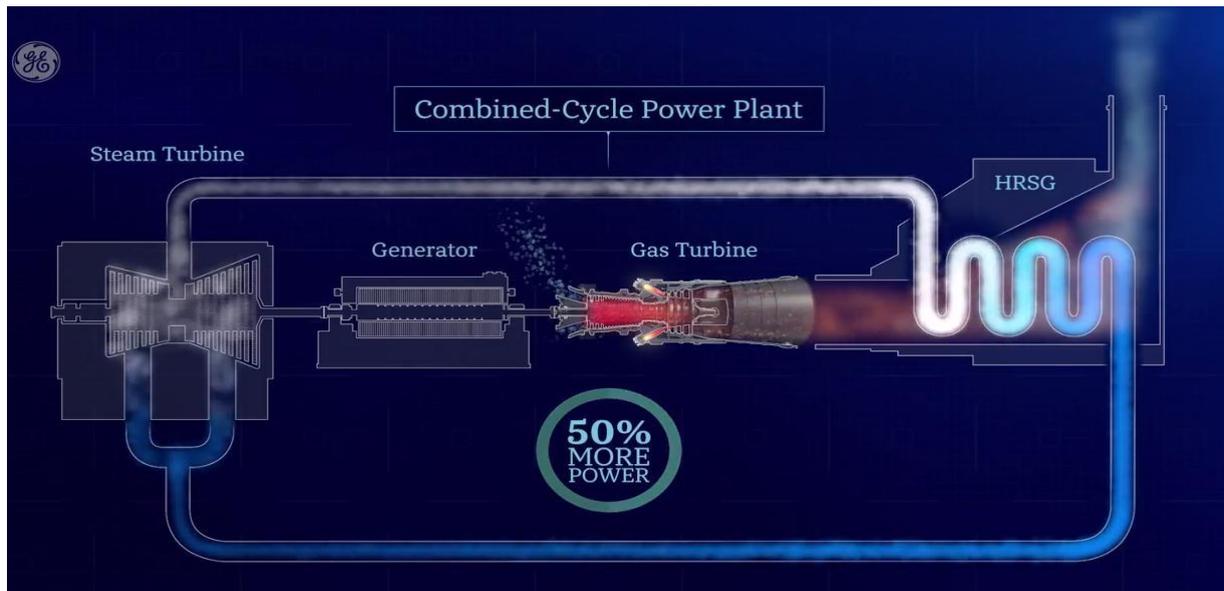


Figure 3.4 : Schéma cycle combiné

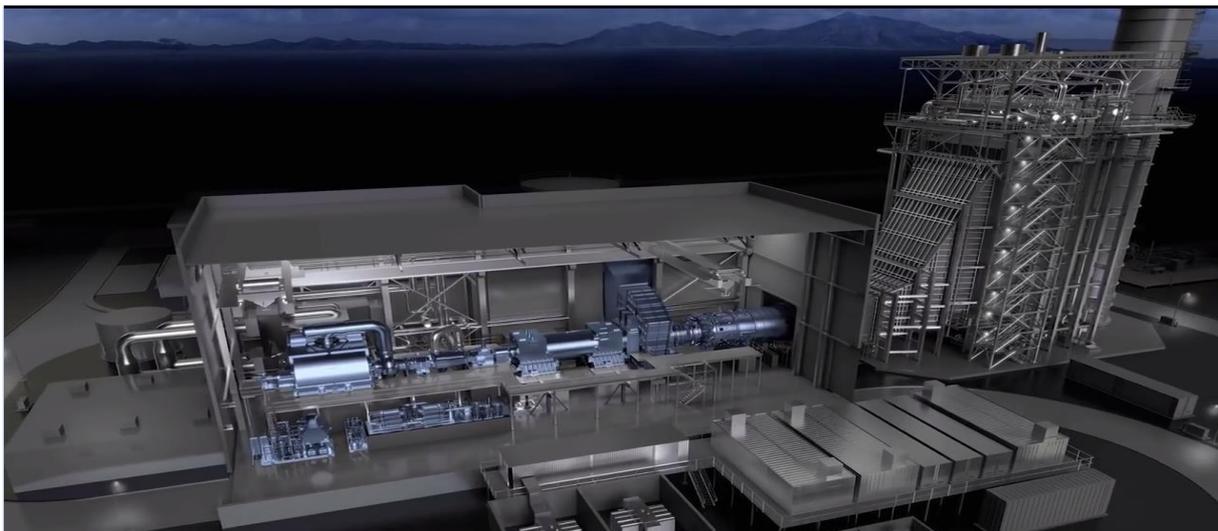


Figure 3.5 : Présentation du cycle combiné

b. Turbine à gaz

La turbine à gaz de type GT26 d'ALSTOM comprend un rotor constitué d'un étage turbine « Haute pression », de 4 étages turbine « basse pression », de 22 étages compresseur, et deux chambres de combustion annulaires (les brûleurs EV et SEV), appliquant le principe de combustion séquentielle. HP se trouve en aval des brûleurs EV et en amont des brûleurs SEV. L'air en entrée de la TG est filtré dans le bloc de prise d'air. Le rotor est couplé de façon rigide à l'arbre de l'alternateur.



Figure 3.6 : Turbine à gaz GT 26

c. Alternateur

L'alternateur ALSTOM (type 50WT21H-120) est entraîné à la fois par la turbine à gaz et par la turbine à vapeur. La puissance est produite à une tension de 20kV.

L'alternateur, à trois phases et deux pôles synchrones, est refroidi à l'hydrogène.

L'hydrogène est ensuite refroidi dans des échangeurs à eau se trouvant dans l'enceinte de l'alternateur.



Figure 3.7 : Alternateur

d. Turbine à vapeur

La Turbine à vapeur ALSTOM, possède deux corps, trois pressions, et une resurchauffe.

Le premier corps est l'étage haut pression (HP) et le deuxième corps de la turbine se compose des étages moyens pression (MP) et basse pression (BP). Le corps MP/BP est à double flux.

La vapeur vive HP, régulée par une vanne d'arrêt et une vanne de contrôle, entre dans le corps HP et se détend jusqu'à la pression de la vapeur à resurchauffer.

La vapeur à resurchauffer est mélangée avec la vapeur MP produite par la chaudière de récupération avant d'être resurchauffée dans la chaudière de récupération.

La vapeur BP entre dans la turbine à travers une vanne d'arrêt et une vanne de contrôle. La vapeur issue du corps échappement BP de la turbine est envoyée au condense



Figure 3.8 : la turbine à vapeur

e. Chaudière de récupération

La chaudière de récupération est de design horizontal. Elle fonctionne en mode de circulation naturelle pour les trois niveaux de pression BP, MP, et HP. La chaleur, contenue dans les gaz d'échappement de la turbine à gaz, sert de source de chaleur pour produire la vapeur (vapeur réchauffée, vapeur surchauffée HP, MP, et BP) Les pompes alimentaires HP/MP alimentent la chaudière de récupération.

La vapeur saturée est produite dans les évaporateurs HP, MP, et BP. La vapeur HP provient de la surchauffeur à plusieurs étages HP, la vapeur MP du resurchauffeur, via la surchauffeur MP, la vapeur BP est également surchauffée.

En sortie de la chaudière de récupération, les vapeurs HP et MP sont désurchauffées avec l'eau alimentaire extraite des économiseurs HP et MP respectivement. Une extraction en aval de l'économiseur MP alimente en eau un préchauffeur de gaz combustible afin d'augmenter sa température à l'entrée de la TG d'environ 15°C à 150°C, ceci afin d'améliorer le rendement global du cycle combiné.

Le ballon de purges chaudière recueille les purges de la chaudière de récupération et des réfrigérants d'air TG.

Les purges continues des ballons HP, MP et BP sont amené au ballon d'éclatement chaudière [1].



Figure 3.9 : Chaudière de récupération

4.2. Cycle eau vapeur

C'est la partie où circulent l'eau et la vapeur, cette partie se compose de plusieurs systèmes, elle commence par le condenseur et se termine par le même départ c'est un cycle fermé.

Pour comprendre le fonctionnement de ce circuit on va situer chaque équipement et leur fonctionnement comme suite :

a. Condenseur

L'installation est de design axial refroidi à l'eau de mer. Le condenseur est constitué de deux faisceaux double passe. Les gaz incondensables côté vapeur sont extraits de chaque faisceau de tube à l'endroit le plus froid. La vapeur condensée est envoyée dans le puits du condenseur.



Figure 3.10 : Condenseur

b. Pompes d'extraction des condensats

Les pompes principales d'extraction (2x100%) sont de type vertical.

En fonctionnement normal, une pompe est en service. Le deuxième reste en secours.

La pompe de secours est mise en marche automatiquement si la pompe en fonctionnement est défaillante ou si le contournement de la turbine vapeur est en marche à charge élevée.

c. Système de vide Condenseur

Le système d'évacuation se compose d'un éjecteur de démarrage 1x100 % et de deux éjecteurs de maintien 2x100%.

Les éjecteurs évacuent la vapeur côté condenseur pendant le démarrage et extraient les gaz non-condensables pendant le fonctionnement des réfrigérants d'air du condenseur.

La vapeur vive pour les éjecteurs est prise de la ligne de vapeur à resurchauffer et les incondensables extraits sont envoyés à l'atmosphère.

d. Bâche alimentaire / Dégazeur

Une Bâche alimentaire munie d'un dégazeur stocke l'eau alimentaire pour la chaudière de récupération, préchauffe et dégaze les condensats principaux.

En fonctionnement normal au gaz, le préchauffage de l'eau alimentaire est Effectué par la vapeur extraite du corps BP de la turbine à vapeur

e. Pompes alimentaires

Les deux (2x100%) pompes alimentaires HP de type horizontal munies d'extraction pour l'eau alimentaire MP/BP (2x100%) sont à plusieurs-étages, et possèdent des filtres à l'aspiration et des vannes de débit minimum. En fonctionnement normal, une pompe est en service.

Le deuxième reste en secours. La pompe de secours est mise en marche automatiquement en cas de défaillance de la pompe en service.

f. Ballon de récupération des purges à l'atmosphère

Le ballon de récupération des purges à l'atmosphère recueille les purges externes à la turbine à vapeur.

Après séparation la vapeur est envoyée à l'atmosphère et les condensats sont renvoyés au système de traitement des effluents.

4.3. Les unités auxiliaires de la centrale électrique**a. La station de pompage et de filtration**

Le système se compose de la tuyauterie d'amenée de l'eau de mer constitué de 05 pipes, ainsi un autre bassin de filtration avec 06 dé grilleurs et 06 filtres rotatifs pour éliminer tous les impuretés, de plus 06 pompes de transfert vers le bassin de tranquillisation.

Le système se compose aussi des trois pompes de dilution pour refroidir le rejet à une température de 25°C. [1]



Figure 3.11 : La station de pompage

b. L'unité d'électro-chloration

La production sur site d'une solution d'hypochlorite de sodium à partir d'eau de mer est réalisée par un processus électrochimique produisant une électrolyse partielle du chlorure de sodium contenu dans l'eau de mer. Il y'a trois générateur contient un transformateur du courant et un redresseur qui redresse le courant ensuite un électrolyseur. L'eau de mer passe par l'électrolyseur entre des électrodes anodiques et cathodiques alimentées en courant continu jusqu'au 2800A, avec cette valeur d'ampérage on obtient une concentration d'hypochlorite de sodium à 02g/l.

Ce produit est injecté périodiquement pour désinfecter l'eau de mer et éliminer toutes les particules présentes dans l'eau de mer. [1]

c. L'usine de dessalement

L'usine de dessalement se compose de deux unités M.S.F (Multi-Etages Flashing), ce système de dessalement utilise un éjecteur de vide pour minimiser la pression afin de baisser la température d'ébullition de l'eau (aux lieux d'évaporer l'eau à 100°C on évapore à moins que ça, jusqu'au 40°C). La vapeur est condensée dans un système de refroidissement et produire de l'eau dessalée. Le débit produit est de 40m³/h par unité, alors que la production totale de l'unité est de 960m³/h en compte l'autre unité.

L'eau dessalée est stockée dans deux bacs de stockage avec une capacité de 35 000 m³.

d. L'unité de déminéralisation

L'eau déminéralisée est produite par passage sur un lit rempli avec un mélange de résines cationiques et anioniques.

L'unité contient deux lits mélangés avec un mélange de résine cationique et anionique, le volume de résine anionique est double que la résine cationique à cause la présence des anions au niveau de l'eau de mer, alors l'eau dessalée passe à travers de lits mélangé de résine ionique, pendant leur passage l'échange se faite automatiquement et enlevé le reste des ions présentes dans l'eau dessalée ; l'unité produit l'eau déminéralisée avec un débit de 160 m³/h tout dépend les besoin de la centrale électrique.

Avec le temps la résine sera saturée elle demande la régénération acide pour la résine cationique et régénération basique pour la résine anionique.

L'eau déminéralisée est envoyée vers un système de stockage avec une capacité de 1000 m³.

e. La station de production d'eau potable

Cette unité produit de l'eau potable pour les besoins local de la centrale électrique. Cette unité contient les équipements comme suite :

- Deux pompes ramenées de l'eau dessalée.
- Un échangeur de bore pour éliminer cet élément toxique.
- Deux bouteilles de CO₂ pour dissoudre le carbonate de calcium.
- Deux lits de reminéralisations contiennent le carbonate de calcium.
- Un système de désinfection avec l'hypochlorite de sodium.
- Un système de stockage et distribution d'eau potable vers toute la centrale électrique.

L'eau dessalée passe par un lit chargé en carbonate de calcium et un skid d'injection de CO₂ Afin de dissoudre le CaCO₃, ensuite il y aura l'injection d'hypochlorite de sodium afin de désinfecter cette eau potable.

L'unité produit de l'eau potable avec un débit de 02 m³/h, l'eau produite est envoyée vers le bac de stockage.

f. La station de production d'hydrogène

Cette unité nous produit l'hydrogène à partir de l'eau déminéralisée qui passe dans un électrolyseur relié avec un redresseur et transformateur de courant électrique.

L'électrolyseur transforme l'eau déminéralisée en deux gaz O₂ oxygène et hydrogène H₂, l'oxygène est évacué vers atmosphère et l'hydrogène se conduit pour purification et compression jusqu'au 140 bar.

L'unité produit l'hydrogène avec un débit de 02 Nm³/h.

On utilise ce produit pour refroidir l'alternateur afin de limiter leur chaleur pendant la production d'énergie électrique.

4.4. Le système du contrôle qualité et injection chimique

4. 1. Le poste échantillonnage de cycle eau-vapeur

Il y'a un système de contrôle qualité pour le cycle eau-vapeur. Pour assurer une longue durée de fonctionnement de la chaudière de récupération il faut assurer un bon contrôle des paramètres physico-chimiques.

Dans ce cas le constructeur a installé un système de prendre les échantillons d'une façon continue et faire des analyses instantanées des différents endroits du cycle eau-vapeur. Le système de contrôle qualité c'est le poste échantillonnage équipé avec le différent échantillon et des analyseurs automatiques comme suite :

- Analyseur de silice
- Analyseur du sodium
- Analyseur d'oxygène
- Analyseur de la conductivité

4.5. Poste dosage chimique

Afin de minimiser le phénomène de la corrosion pour notre chaudière haute pression le constructeur a installé le poste dosage chimique contient les équipements suivants :

- Un système d'injection du carbo-hydrazine pour éliminer l'oxygène.
- Un système d'injection d'ammoniaque pour augmenter le PH jusqu'au 9.2 afin de limiter la corrosion.
- Un système d'injection du phosphate tri-sodique pour augmenter le PH au niveau de la chaudière haute pression afin limité la corrosion.

4.6. Traitement des rejets de la centrale

a. Station de traitement des eaux usées 40 H.E

Le système est une station d'épuration des eaux usées domestiques, localisée près de l'atelier. Cette installation d'épuration du type à boues activées, est conçue pour une charge dérivant de 40 H.E (équivalent habitant), sera réalisée en fibre de verre. Les eaux arrivent à la station de traitement par gravité et filtrée, il y'a l'injection de l'air afin d'améliorer la dégradation bactérienne de la matière organique, les eaux traitées sont évacuée vers le rejet et la boue récupérée se éliminer avec camion vers l'extérieur.

b. Séparateurs eau/huile

Le séparateur à hydrocarbures traite un débit de 10 l/s pour des Liquides légers de densité est inférieur à 0.85 et comprend : un compartiment filtration ; un compartiment séparateur.

Il assure le prétraitement des eaux polluées en hydrocarbures légers par coalescence sur des matériaux filtrants en polyuréthane réticulé.

c. Contrôle des rejets atmosphériques

Ce système nous permet d'analyser les rejets atmosphériques après la combustion de la turbine à gaz et donne les différents résultats comme les NO_x, SO_x, CO_x, la poussière et les différent gaz toxiques. Ce système fonctionnent avec un chromatographe de type FID (détecteur à flamme ionisé), il donne les analyses d'une façon périodique et on compare avec la norme.

Ces analyses nous permettent de connaître l'état de fonctionnement de la turbine à gaz.

V. Identification des risques et accidentologie

Risque :

Le risque est caractérisé par le couple probabilité d'occurrence et la gravité des conséquences.

Danger :

Une propriété intrinsèque qui peut compromettre la sécurité de l'environnement, des installations, et du personnel.

Les risques suivants ont été identifiés après avoir examiné la nature des travaux au sein de la centrale de Terga.

1. Risque d'explosion :

- Atmosphère explosive
- Présence de bouteilles d'acétylène

2. Risque d'incendie :

- Présence d'hydrocarbures (gaz, condensat..) et autres combustibles
- Présence de sources d'ignition-t-elle que les moteurs (grue, compresseur d'air, groupe de soudure...)
- Travaux à chaud à proximité des caniveaux et puisards
- Utilisation d'outillages non adéquats en milieu explosif
- L'électricité statique.
- Les pièces nues sous tentions.
- Echauffement et surcharge électrique.

3. Risque de toxicité :

- Pollution atmosphérique par le dégagement de fumées lors des travaux à chaud (COx, NOx...)
- Les eaux de nettoyage
- Les produits chimiques

4. Risque d'asphyxie :

- Capacités mal nettoyées / ventilées
- Travail dans un espace confiné
- Produits chimique

5. Risque de chute de personnes :

- Travaux en hauteur
- Non port d'équipements adaptés aux travaux en hauteur
- Manque de protections collectives (filets, ligne de vie...)
- Echafaudages non conforme Glissade au niveau des passerelles échafaudages)
- Désordre, présence d'obstacles sur les passages

6. Risques de chute de charge et d'objets :

- La Co-activité (Risques liés aux interférences d'activités se déroulant simultanément dans la même zone (Superposition des travaux))
- Travaux de manutention
- Outils posés aux bords des passerelles
- Port des outils dans les poches durant des travaux en hauteur
- Opération de levage
- Echafaudages non conforme
- Inexistence de balisage des zones de travail

7. Risque d'électrisation/ électrocution :

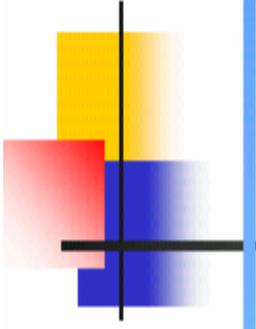
- Court-circuit Branchements de fortune et fils dénudés
- Surcharge des prises de courant Fuites à travers un isolant détérioré
- Masse au niveau des postes à souder Tension d'éclairage non adaptée lors des pénétrations)

8. Risques liés aux engins et véhicules :

- Encombrement des voies de circulation
- Choc entre véhicules
- Choc avec les installations.
- Choc avec le personnel
- Véhicules et engins vétustes et non dotés de pare flammes.
- Non-respect de règles de circulation à l'intérieur des unités.

9. Risques liés à l'environnement :

- Pollution du sol (Hydrocarbure et eaux de lavage).
- Déchets solides
- Emissions atmosphériques (CH₄, NO_x, CO, CO₂, OPACITE, poussière.....)
- Pollution marine par rejet d'eau industriel (chlore)



Chapitre IV

Application de La Méthode d'Amdec

I. INTRODUCTION :

Dans ce chapitre, on s'intéresse à mettre en pratique ce que nous avons développé dans le chapitre II. Nous choisissons la méthode AMDEC qui est une étude de base permettant l'analyse des modes de défaillance et les traiter avant qu'elles ne surviennent, avec l'intention de les éliminer ou de minimiser les risques associés. Pour assurer la sécurité des personnes et des installations, il est nécessaire que ces matériels répondent à des règles strictes et éprouvées.

II. Système étudié :

On a choisi d'étudier les dangers des installations électriques statiques destinées à transformer le courant alternatif donné en un autre courant alternatif de même fréquence, mais de tension en général différente dans la centrale électrique.

III. Les risques liés aux installations électriques :

- Incendie / Arc
- Explosion
- Court circuit
- Sur échauffement
- Panne avec des conséquences judiciaires
- Electrocutation /Electrification
- brulures

Analyse fonctionnelle de l'installation électrique

La figure ci-dessus présente la décomposition fonctionnelle de l'installation électrique étudiée :

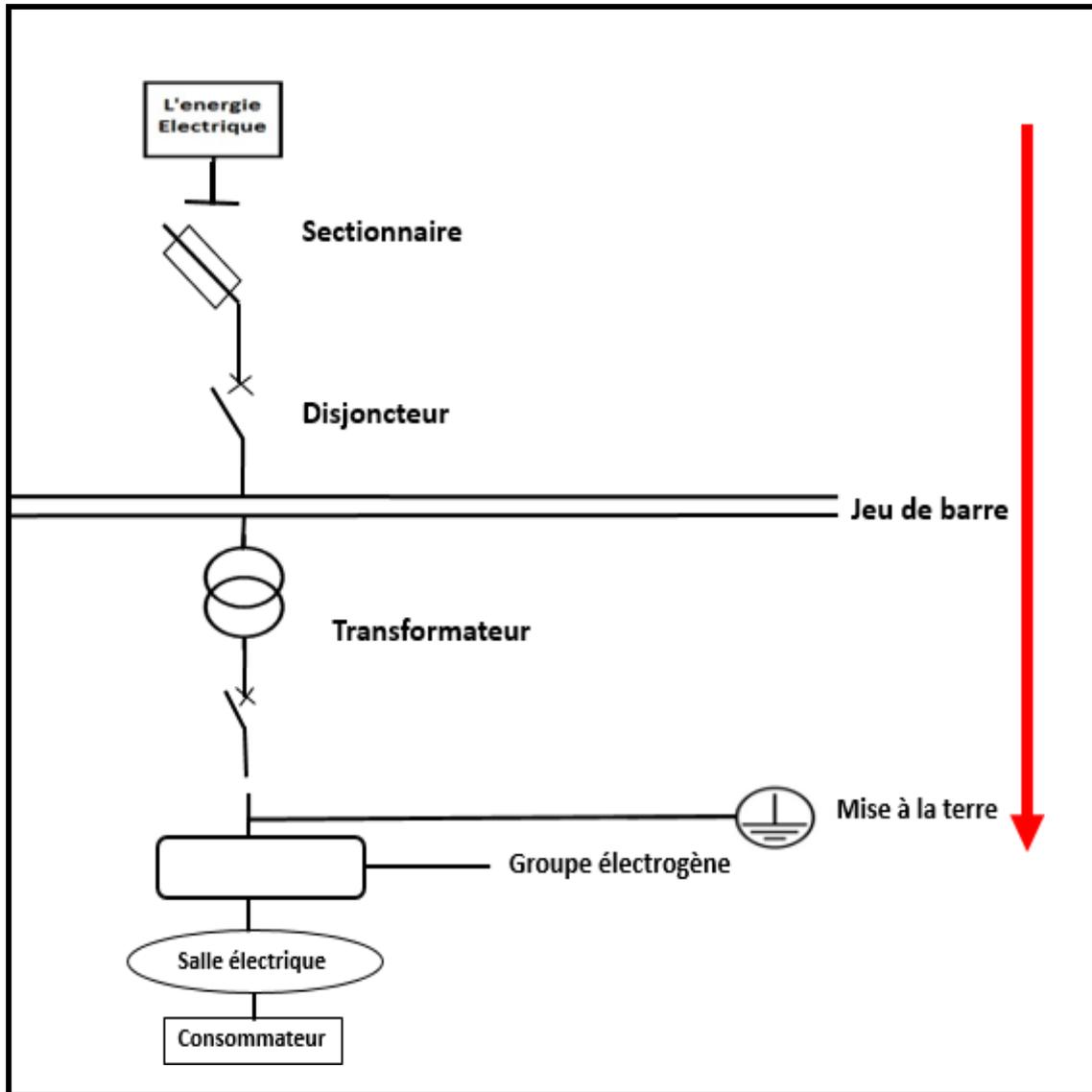


Figure 4.1 : Analyse fonctionnelle de l'installation électrique

IV. Les tableaux d'application de la méthode:

Elément	Fonction	Mode de défaillance	Causes	Effets sur le système	Détection	Indices nominaux				Actions correctives	Indices finaux			
						F	G	D	C		F	G	D	C
Sectionneur tripolaire	Ouvrir et fermer le circuit	N'ouvre pas	Blocage mécanique	-Fusible non protégé lors de son changement -Le circuit est défaillant d'un blocage ouvert.	Pendant la manœuvre	2	4	2	16	Maintenance périodique	1	4	2	8
		Ne ferme pas	L'arc électrique	Coupure électrique.		3	4	2	24	Maintenance périodique Changement les éléments isolant par des éléments conducteur anti arc Habilitation Changement du fusible	2	4	2	16

Tableau 4.1 : Analyse de modes de défaillance et leurs effets et leur criticité

Classification des zones de risque : Criticité (C) = F*G*D

Risque acceptable	$C \leq 12$
Risque acceptable sous contrôle	$12 < C \leq 15$
Risque indésirable	$15 < C \leq 27$
Risque inacceptable	$27 < C$

Interprétation :

Il ressort de cette étude que la cause de défaillance ayant la plus grosse criticité est l'arc électrique.

Les actions correctives mises en œuvre peuvent être la maintenance périodique du sectionneur, le changement des éléments isolants par des éléments conducteurs anti-arc, habilitation et le changement de fusible.

Elément	Fonction	Mode de défaillance	Causes	Effets sur le système	Détection	Indices nominaux				Actions correctives	Indices finaux			
						F	G	D	C		F	G	D	C
Disjoncteur	-Couper le circuit en cas de surcharge électrique ou d'un incident -Protection contre surcharge, court-circuit, surtension	Pas de réponse	Cause mécanique	Explosion	Détecteur de température	3	3	3	27	Programme d'entretien préventif standard	2	3	2	12
			Cause magnétique	Pas de projection de système incendie										
			Perturbation d'huile	Coupure de l'électricité en cas de court-circuit										
			Pas courant excessif	déclenche pas										

Tableau 4.2 : Analyse des modes de défaillance et leurs effets et de leurs criticités

Interprétation :

On a découvert après cette étude que les causes de défaillance sont des causes mécaniques, magnétiques, perturbation d'huile ou pas du courant excessif.

Les actions correctives mises en œuvre peuvent être la mise en place d'un programme d'entretien préventif standard.

Elément	Fonction	Mode de défaillance	Causes	Effets sur le système	Détection	Indices nominaux				Actions correctives	Indices finaux			
						F	G	D	C		F	G	D	C
Jeu de barres	Branche les lignes entre eux	le rapprochement entre eux	Echauffement Refroidissement Problème de fabrication	Une surtension lors de démarrage de transformateur	Détecteur de température	3	3	3	27	Maintenance Et vérification périodique	2	3	2	12
		Défaillance structurelle	Mécanique Magnétique	Sur Echauffement		3	3	3	27		Maintenance Et vérification périodique	2	3	2

Tableau 4.3 : Analyse des modes de défaillance et leurs effets et de leurs criticités

Interprétation :

Il ressort de cette étude que les causes de défaillance sont d'échauffement, refroidissement, problème de fabrication, cause mécanique et magnétique.

Les actions correctives mises en œuvre peuvent être la maintenance et la vérification périodique du jeu de barres.

						Indices nominaux				Actions correctives	Indices finaux			
Élément	Fonction	Mode de défaillance	Causes	Effets sur le système	Détection	F	G	D	C		F	G	D	C
Transformateur	Transforme la tension d'alimentation	Echauffement exagéré	Tension est supérieure à la normale	Explosion	Détection de fumée	3	4	4	48	Maintenance des réfrigérant	2	4	2	16
		Fuite d'huile	Cause mécanique	Incendie		3	4	3	36	Vérification des fuites	2	4	2	16

Tableau 4.4: Analyse des modes de défaillance et leurs effets et de leurs criticités

Interprétation :

On a conclu après cette étude que les cause de défaillance sont la tension est supérieure à la tension normal et cause mécanique.

Les actions correctives mises en œuvre peuvent être la maintenance des réfrigérants et vérification des fuites.

						Indices nominaux				Actions correctives	Indices finaux			
Élément	Fonction	Mode de défaillance	Causes	Effets sur le système	Détection	F	G	D	C		F	G	D	C
Transformateur	Transforme la tension d'alimentation	Courant absorbé exigé en marche	Court-circuit dans le stator	Explosion	Détection de fumée	2	4	3	24	Vérifier l'isolement entre phase et stator	1	4	2	16
		Ventilation défaillante	Cause mécanique	Sur échauffement	Détecteur de température	3	3	2	18	Maintenance mécanique	2	3	2	12

Tableau 4.5: Analyse des modes de défaillance et leurs effets et de leurs criticités

Interprétation :

On a découvert après cette étude que les causes de défaillance sont le court-circuit dans le stator et une cause mécanique.

Les actions correctives mises en œuvre peuvent être la vérification de l'isolement entre la phase et le stator et maintenance mécanique.

						Indices nominaux				Actions correctives	Indices finaux			
Élément	Fonction	Mode de défaillance	Causes	Effets sur le système	Détection	F	G	D	C		F	G	D	C
Le primaire	Circuit d'alimentation Haute tension	Le primaire endommagé	Courant trop élevé	Destruction de transformateur	Décteur de fumée	2	4	3	24	Maintenance périodique	2	4	2	16
	Le secondaire	Circuit d'utilisation Basse tension	Pas de tension au secondaire	Pas de tension au primaire		Pas d'alimentation	1	4	3		12	1	4	2

Tableau 4.6: Analyse des modes de défaillance et leurs effets et de leurs criticités

Interprétation :

Il ressort de cette étude que la cause de défaillance ayant la plus grosse criticité est le courant trop élevé. Les actions correctives mises en œuvre peuvent être la maintenance périodique du primaire et du secondaire.

						Indices nominaux				Actions correctives	Indices finaux			
Élément	Fonction	Mode de défaillance	Causes	Effets sur le système	Détection	F	G	D	C		F	G	D	C
Disjoncteur	Couper le circuit en cas de surcharge électrique ou d'un incident Protection contre surcharge, court-circuit, surtension	Pas de réponse	Pas de courant excessif	Explosion de transformateur	Détecteur de température	1	5	3	15	1	5	2	10	

Tableau 4.7: Analyse des modes de défaillance et leurs effets et de leurs criticités

Interprétation :

Il ressort après cette étude que la cause de défaillance est par du courant excessif.
Les actions correctives mises en œuvre peuvent être la mise en place d'un programme d'entretien préventif standard à propos du disjoncteur.

Élément	Fonction	Mode de défaillance	Causes	Effets sur le système	Détection	Indices nominaux				Actions correctives	Indices finaux			
						F	G	D	C		F	G	D	C
Mise à la terre	Absorption des charges statiques vers la terre	Rupture du câble	Absence de contrôle Mauvais contact Mauvais serrage Choc mécanique	Incendie	par appareil de détection ou Visuel	2	4	2	16	Vérification périodique	2	2	2	8

Tableau 4.8 : Analyse des modes de défaillance et leurs effets et de leurs criticités

Interprétation :

On a conclu après cette étude que les causes de défaillance sont l'absence du contrôle, le mauvais contact, le mauvais serrage et le choc mécanique.

Les actions correctives mises en œuvre peuvent être la vérification périodique de la mise à la terre.

						Indices nominaux				Actions correctives	Indices finaux			
Élément	Fonction	Mode de défaillance	Causes	Effets sur le système	Détection	F	G	D	C		F	G	D	C
Groupe électrogène	l'alimentation électrique du poste	Moteur ne démarre pas	Le réseau n'est pas sous tension	Incendie	Détecteur de fumée	2	4	2	16	Vérifier la tension du réseau	1	4	2	08
		Fusible ne fonctionne pas	Erreur humaine	Effet thermique		2	3	2	12	Changement de fusible	1	3	2	06
		Le générateur ne produit pas le courant	Le circuit inducteur coupe Cause mécanique	Incendie		2	3	2	18	Changement d'alternateur	1	3	2	06

Tableau 4.9 : Analyse des modes de défaillance et leurs effets et de leurs criticités

Interprétation :

On a découvert après cette étude que les cause de défaillance sont le réseau n'est pas sous tension, erreur humaine, le circuit inducteur coupe, et cause mécanique.

Les actions correctives mises en œuvre peuvent être la vérification de la tension du réseau de groupe électrogène et le changement des fusibles et le changement des alternateurs.

						Indices nominaux				Actions correctives	Indices finaux			
Élément	Fonction	Mode de défaillance	Causes	Effets sur le système	Détection	F	G	D	C		F	G	D	C
Salle électrique	Contrôle du post électrique	Surintensité	Cour circuit	Echauffement lent et progressif des parties actives	Détecteur de fumée température	3	3	2	18	Relais thermique fusible déclencheur thermique du disjoncteur	2	3	2	12
		Défaut d'isolement	Dégradation de la protection du câble	Incendie		2	4	3	24		Vérification périodique	1	4	2

Tableau 4.10 : Analyse des modes de défaillance et leurs effets et de leurs criticités

Interprétation :

Il ressort de cette étude que la cause de défaillance ayant la plus grosse criticité est la dégradation de la protection du câble. Les actions correctives mises en œuvre peuvent être la vérification périodique de la salle électrique.

V. Résultat d'application de l'AMDEC:

5.1. Avant l'application:

Elément	Mode de défaillance	Criticité
Sectionneur tripolaire	Ne s'ouvre pas	16
	Ne ferme pas	24
Disjoncteur	Pas de réponse	27
Jeu de barre	Le rapprochement entre eux	27
	Défaillance structurelle	27
Transformateur	Echauffement exagéré	48
	Fuit d'huile	36
	Courant absorber exigerez en marche	24
	Ventilation défaillante	18
Primaire	Défaut d'isolement	24
Secondaire	Pas de tension au secondaire	12
Disjoncteur	Pas de réponse	15
Mise à la terre	Rupture du câble	16
Groupe électrogène	Moteur ne démarre pas	16
	Fusible ne fonctionne pas	12
	Le générateur ne produit pas du courant	18
Salle électrique	Surintensité	18
	Défaut d'isolement	24

Tableau 4.11 : Résultat d'application de L'AMDEC Avant l'application

	Risque indésirable
	Risque acceptable sous contrôle
	Risque inacceptable

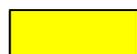
5.2. Après l'application :

Elément	Mode de défaillance	Criticité
Sectionneur tripolaire	Ne s'ouvre pas	8
	Ne ferme pas	16
Disjoncteur	Pas de réponse	12
jeu de barre	le rapprochement entre eux	12
	Défaillance structurelle	12
Transformateur	Echauffement exagéré	16
	Fuit d'huile	16
	Courant absorber exiger en marche	16
	Ventilation défailante	12
Primaire	Défaut d'isolement	16
secondaire	Pas de tension au secondaire	08
Disjoncteur	Pas de réponse	10
Mise à la terre	Rupture du câble	08
Groupe électrogène	Moteur ne démarre pas	08
	Fusible ne fonctionne pas	06
	Le générateur ne produit pas du courant	06
Salle électrique	Surintensité	12
	Défaut d'isolement	12

Tableau 4.12 : Résultat d'application de L'AMDEC après l'application



Risque acceptable



Risque acceptable sous contrôle

VI. Interprétation :

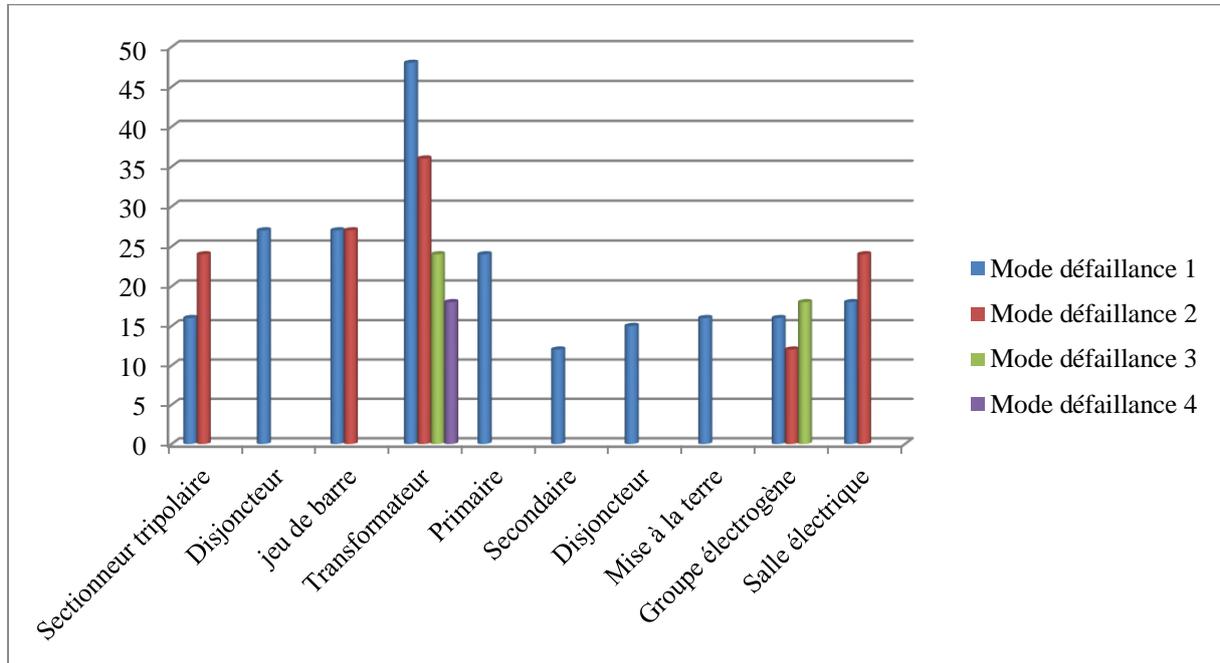
D'après l'analyse des risques du système étudié à l'aide de la méthode AMDEC on peut hiérarchiser les éléments étudiés selon leur criticité. On a choisi la valeur **15** comme seuil de criticité. Les éléments dont la criticité dépasse la valeur **15** c'est sur les éléments qu'il faut agir en priorité en engageant des actions correctives appropriés.

D'après la criticité on peut distinguer les actions prioritaires pour diminuer les défaillances de ces éléments, tel que :

- Vérification de la liaison mise à la terre.
- Vérifier les disjoncteurs.
- Vérifier les niveaux d'huile des transformateurs.
- Vérifier l'assèchement du transformateur.
- Essayage périodique des sectionneurs.
- Test périodique des groupes électrogènes.
- Contrôle thermographique de température.
- Contrôle visuel.

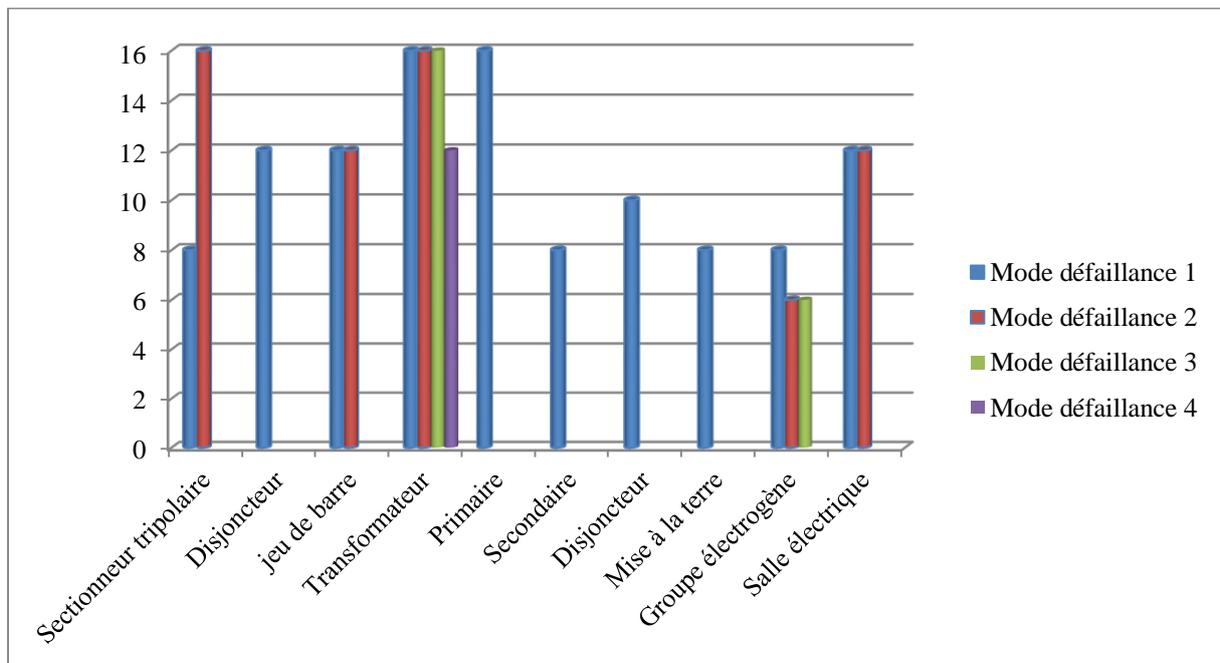
VII. Statistiques avant et après l'application de l'AMDEC :

7.1.Histogramme des statistiques de la criticité avant l'application de l'AMDEC :



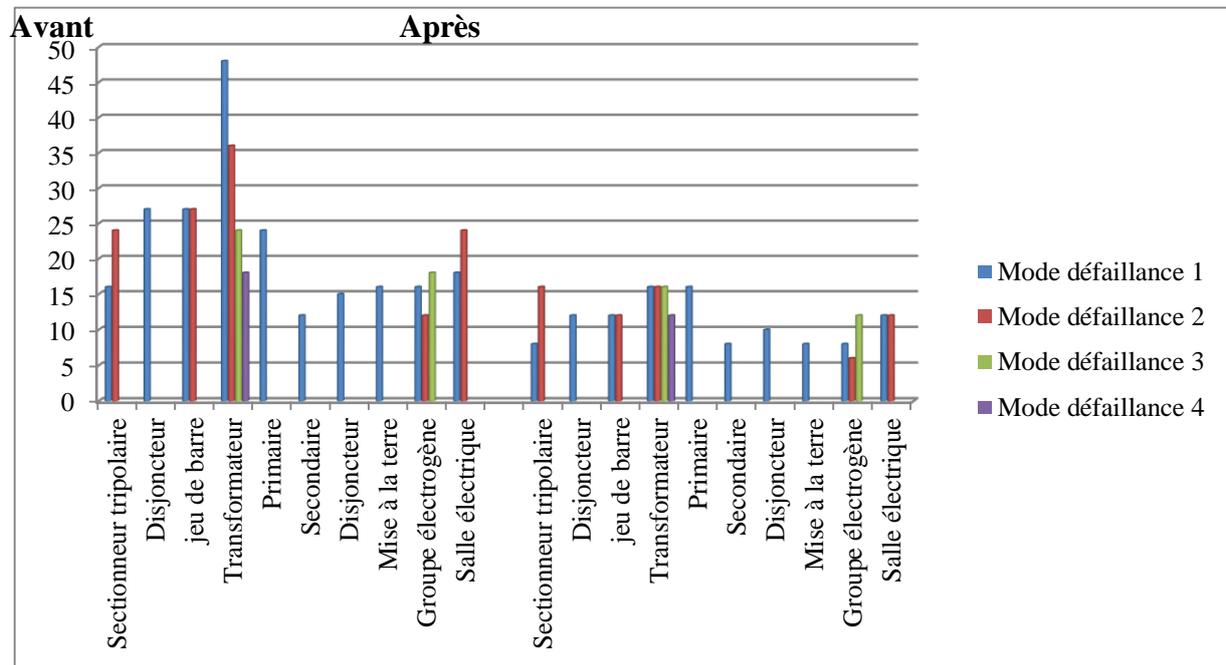
Graphique 4.1 : Histogramme des statistiques de la criticité avant l'application de l'AMDEC

7.2.Histogramme des statistiques de la criticité après l'application de l'AMDEC :



Graphique4.2 : Histogramme des statistiques de la criticité après l'application de l'AMDEC

7.3. Histogramme de comparaison de la criticité avant et après l'application de l'AMDEC :



Graphique 4.3 : Histogramme de comparaison de criticité avant et après l'application

Une fois les actions est mise en place la criticité est recalculée. Toutes ces actions permettent donc de réduire la fréquence des pannes tout en optimisant la fréquence des interventions préventives.

A la fin de cette étude, on peut sortir avec les recommandations suivantes :

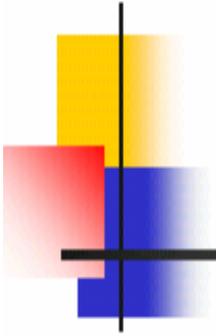
Il faut respecter les instructions de la maintenance systématique telles que les remplacements des pièces défectueuses selon les périodicités recommandées par le constructeur.

- Refaire l'étude AMDEC systématiquement.
- Former le personnel de service maintenance à l'AMDEC.
- Tenir un stock de sécurité des pièces de rechange de 1^{ère} nécessité.
- Former les techniciens maintenances sur l'équipement de faciliter la détection des anomalies.

VIII. CONCLUSION

La méthode AMDEC a pour objectifs d'analyse des défaillances et des risques prévisionnels sur un équipement ou un système afin d'améliorer sa sécurité et sa fiabilité. Elle permet de diminuer les taux des pannes et de réparation des défauts.

Les mesures que nous avons effectuées sein de la centrale électrique, ainsi que les analyses qui ont suivi sont en accord avec la théorie. Ceci est confirmé par le fait que nous avons pu déterminer l'origine des non conformités et les défauts de fonctionnement des éléments qui en sont la cause. La prévention des risques est la seule astuce pour qu'un accident ne revienne pas autre fois, ainsi que la mise en compte d'analyse des accidents avec des supérieures méthodes d'analyse et groupes de travail connaitre bien son responsabilité.



Conclusion générale

Conclusion générale

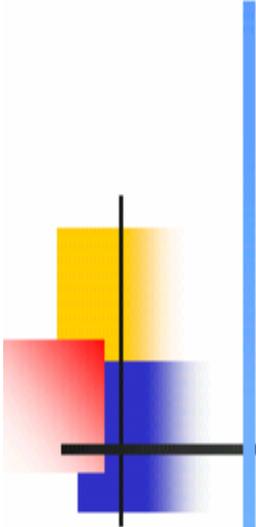
Les risques électriques liés à une non mise en sécurité des installations électriques peuvent présenter de réels dangers pour la vie des personnes et des biens matériels, car une personne soumise à une tension électrique subit, selon l'importance de celle-ci, des effets plus ou moins graves pouvant aller jusqu'à la mort.

La prévention de ces risques s'inscrit dans une démarche globale prévention fondée sur la capacité à :

- Analyser les risques.
- Définir et mettre en œuvre des mesures de prévention adaptées.

L'ensemble des risques (d'origine électrique et autres risques discernables) doit être analysé dans le cadre des opérations effectuées sur des ouvrages ou des installations électriques ou dans l'environnement de ceux-ci. Après l'analyse globale des situations à risques par l'employeur, l'analyse sur site du risque électrique est réalisée par un chargé de travaux ou par un chargé d'interventions, mais aussi par tout exécutant afin que la tâche puisse être effectuée en sécurité.

La prévention des risques électriques joue un rôle très important pour sauvegarder et garantir la sécurité des personnes, la continuité de service ou de production tout en minimisant l'influence des risques. Pour cette raison on utilise les moyens adéquats et le personnel qualifié et habilité.



Référence

bibliographique



Référence bibliographique

- [1] Document interne de Shariket Kahraba Terga.
- [2] Introduction au risque électrique. [en ligne]. (page consultée 2003)
www.inrs.fr@INRS,2003
- [3] Accident d'origine électrique. [en ligne]
<https://www.inrs.fr/risques/electriques/accidents-origine-electrique.html>
- [4] Accident d'origine électrique. [en ligne].
http://www.lyc-mandela-etampes.ac-versailles.fr/IMG/pdf/accidents_origine_electrique.pdf
- [5] Jouve. Analyse d'accident d'origine électrique[en ligne]. (page consultée 1993)
<https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%20325>
- [6] L.Zoubida(2018). Nouvelles approches des études de danger. Institut de maintenance et sécurité industrielle.
- [7] A. Talon, D. Boissier, L. Peyras. Analyse de risque[en ligne]. (Page consultée Mars 2009).
http://www.unit.eu/cours/cyber risques/etage_3_aurelie/co/Etage_3_synthese_web.htm
1
- [8] Sûreté de fonctionnement des systèmes industriels
A. VILLEMEUR, Collection de la Direction des Etudes et Recherches d'Electricité de France, n°67, Ed. Eyrolles, 1988
- [9] Sécurité des installations – méthodologie e l'analyse des risque
Union des Industries Chimiques, Document Technique DT 54
- [10] Guide lines for hazard évaluation procedures
Center for Chemical Process Safety, A merican Institute of Chemical Engineers (AIChE)

- [11] M.Mosatafa. Protection électrique [en ligne]. (page consultée 2013).
https://www.academia.edu/38768313/Cours_protection_%C3%A9lectrique
- [12] La prévention des risques électrique. [en ligne]
www.inrs.fr
- [13] Prévention des risques électrique. [en ligne]
<https://www.seton.fr/prevention-risques-electriques.html>
- [14] Prévention des risques électrique. [en ligne]
http://ww2.acpoitiers.fr/electrotechnique/IMG/pdf/prevention_des_risques_electriques.pdf