

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Ibn Khaldoun de Tiaret

Faculté des Sciences Appliquées

Département de Génie Mécanique



MÉMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour l'obtention du Diplôme de Master

Domaine : Sciences et Technologie

Filière : Electromécanique

Parcours : Master

Spécialité : Maintenance Industrielle

Thème

Identification des dangers dans une
entreprise industrielle par l'application
de la méthode HAZOP

Préparés par :

HAMMOU Abdelkader Mohamed Amine
AIS Sif Eddine

Soutenu publiquement le : 19 / 06 / 2024, devant le jury composé de :

M. DEBBIH Senouci	Maître Assistant "A" (Univ. Ibn Khaldoun)	Président
M. BENAMMAR Badr	Maître Assistant "A" (Univ. Ibn Khaldoun)	Examineur
Mme. MAKHFI Souad	Maître de Conférences "A" (Univ. Ibn Khaldoun)	Examineur
M. ATHMANI Houari	Maître Assistant "A" (Univ. Ibn Khaldoun)	Encadrant

Année universitaire : 2023 – 2024

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Dédicace

À nos vénérés pères, piliers inébranlables de nos existences

À nos tendres mères, flambeaux illuminant notre parcours

À nos sœurs et frères, compagnons fidèles sur le chemin de la vie

Et à nos chers amis, âmes bienveillantes qui égayent nos jours

Du plus profond de notre cœur, nous vous exprimons notre gratitude infinie pour votre présence constante et votre soutien indéfectible. C'est avec impatience et une joie immense que nous envisageons l'avenir, un avenir radieux jalonné de défis et de réussites que nous gravirons ensemble, main dans la main.

Remerciements

Avant tout, nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à Allah, le Tout-Puissant, qui nous a accordés la santé et la détermination nécessaires pour mener à bien ce travail de recherche.

Nos premiers remerciements s'adressent à notre directeur de mémoire, Monsieur ATHMANI Houari, Maître Assistant "A" à l'université Ibn Khaldoun de Tiaret. Son soutien exceptionnel, sa patience et ses précieux conseils ont été déterminants dans l'élaboration de ce mémoire. Nous lui sommes infiniment reconnaissants pour son encadrement hors pair.

Nous tenons également à remercier chaleureusement les membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à ce travail, en particulier Monsieur DEBBIH Khaled, Maître Assistant "A" à l'université Ibn Khaldoun de Tiaret, qui a accepté de présider le jury. Nous sommes également reconnaissants à Monsieur BENAMMAR Badr, Maître Assistant "A", et Madame MAKHFI Souad, Maître de Conférences "A" à l'université Ibn Khaldoun - Tiaret, qui nous ont fait l'honneur d'être les examinateurs de ce mémoire.

Nous exprimons notre profonde gratitude à nos chers professeurs, dont le soutien, les précieux enseignements et l'inspiration constante ont joué un rôle essentiel dans notre parcours universitaire. Sans eux, nous n'aurions pas pu atteindre ce stade.

Enfin, nous tenons à remercier de tout cœur nos familles et amis pour leur soutien et leurs encouragements indéfectibles tout au long de cette expérience. Leur amour, leur compréhension et leur présence ont été une source inestimable de motivation et de force.

Nous sommes également reconnaissants à toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce mémoire.

Sommaire

Liste des abréviations.....	I
Liste des figures	III
Liste des tableaux.....	IV
Introduction générale	1

Chapitre I : Généralités sur les risques industriels

I.1. Introduction	2
I.2. Notion de base	2
I.2.1. Notion de dommage.....	2
I.2.2. Notion de danger	2
I.2.3. Notion de risques	2
I.2.4. Notion d'accident	2
I.2.5. Notion de sécurité.....	3
I.2.6. Notion d'hygiène	3
I.3. Risques industriels.....	3
I.3.1. Définition.....	3
I.3.2. Classification des risque industriels	3
I.3.2.1. Nature du danger	4
I.3.2.2. Gravité des conséquences	4
I.3.2.3. Fréquence d'occurrence	4
I.3.3. Les Causes des Risques Industriels	4
I.3.3.1. Classification des Causes.....	5
I.3.3.1.1. Facteurs Techniques	5
I.3.3.1.2. Facteurs Humains	5
I.3.3.1.3. Facteurs Exogènes	5
I.3.4. Exemples	5
I.3.5. Les effets des risques industriels	6

I.3.5.1. Effets mécaniques	6
I.3.5.2. Effets thermiques	6
I.3.5.3. Effets toxiques	7
I.3.5.4. Exemples d'effets combinés.....	7
I.4. Typologies des risques industriels.....	7
I.4.1. Risques Chimiques	7
I.4.1.1. Définition.....	7
I.4.1.2. Modalités d'exposition.....	8
I.4.1.3. Moyens de prévention	8
I.4.2. Risques Physiques	8
I.4.2.1. Définition.....	8
I.4.2.2. Modalités d'exposition.....	8
I.4.2.3. Moyens de prévention	8
I.4.3. Risques Biologiques	9
I.4.3.1. Définition.....	9
I.4.3.2. Modalités d'exposition.....	9
I.4.3.3. Moyens de prévention	9
I.4.4. Risques Mécaniques	9
I.4.4.1. Définition.....	9
I.4.4.2. Modalités d'exposition.....	10
I.4.4.3. Moyens de prévention	10
I.4.5. Risques Électriques.....	10
I.4.5.1. Définition.....	10
I.4.5.2. Modalités d'exposition.....	10
I.4.5.3. Moyens de prévention	10
I.4.6. Risques Incendie et Explosion.....	11
I.4.6.1. Définition.....	11

I.4.6.2. Modalités d'exposition.....	11
I.4.6.3. Moyens de prévention	11
I.4.7. AUTRES RISQUES	11
I.5. Les installations industrielles les plus risquent.....	12
I.5.1. Facteurs de risque	12
I.5.2. Exemples d'installations à haut risque.....	12
I.6. Évaluation et gestion des risques.....	13
I.6.1. Évaluation des risques	13
I.6.2. Navigation dans le paysage dynamique de la gestion des risques.....	13
I.6.3. Considérations supplémentaires	14
I.6.4. Définition de la gestion du risque.....	14
I.6.5. Les avantages de la gestion du risque.....	15
I.7. Conclusion	16

Chapitre II : Méthodes d'analyse des risques

II.1. Introduction	17
II.2. Méthodes d'analyse des risques	17
II.2.1. Typologie des méthodes d'analyse des risques	17
II.2.1.1. Considérations supplémentaires.....	19
II.2.2. Présentation des principales méthodes d'analyse des risques a priori.....	19
II.2.3. Méthode APR.....	20
II.2.3.1. Objectifs de l'APR.....	20
II.2.3.2. Déroulement de l'APR.....	21
II.2.3.3. Avantages de l'APR.....	21
II.2.3.4. Limites de l'APR	21
II.2.3.5. Exemple d'application de l'APR.....	22
II.2.4. Méthode HAZID	22
II.2.4.1. Fonctionnement de l'HAZID :.....	22

II.2.4.2. Avantages de l'HAZID	23
II.2.4.3. Limites de l'HAZID.....	24
II.2.4.4. Exemple d'application de l'HAZID	24
II.2.5. Méthode ADR	24
II.2.5.1. Objectifs clés de l'ADR.....	24
II.2.5.2. Déroulement structuré de l'ADR.....	25
II.2.5.3. Avantages indéniables de l'ADR.....	25
II.2.5.4. Limites à prendre en compte	26
II.2.6. Méthode AMDEC	26
II.2.6.1. Fonctionnement de l'AMDEC.....	26
II.2.6.2. Avantages de l'AMDEC	27
II.2.6.3. Limites de l'AMDEC.....	28
II.2.7. Méthode LOPA	28
II.2.7.1. Objectifs de l'analyse LOPA	28
II.2.7.2. Fonctionnement de l'analyse LOPA.....	28
II.2.7.3. Avantages de l'analyse LOPA.....	29
II.2.7.4. Limites de l'analyse LOPA.....	30
II.2.8. Méthode QRA	30
II.2.8.1. Applications du QRA	30
II.2.8.2. Fonctionnement du QRA	30
II.2.8.3. Avantages du QRA.....	31
II.2.8.4. Limites du QRA	31
II.2.9. Méthode HAZOP	32
II.2.9.1. Historique	32
II.2.9.2. Types de HAZOP	32
II.2.9.3. Objectif de la méthode HAZOP	33
II.2.9.4. Principe.....	33

II.2.9.5. Etapes de la méthode HAZOP	33
II.2.9.6. Déroulement d'une étude HAZOP.....	34
II.2.9.7. Mots-clés ou mots guides.....	36
II.2.9.8. Paramètres de fonctionnement	37
II.2.9.9. Avantages et inconvénients.....	37
II.2.9.10. Applications de HAZOP	38
II.3. Choix de la méthode d'analyse des risques appropriée	38
II.3.1. Introduction	38
II.3.2. Critères de choix de la méthode d'analyse des risques.....	39
II.3.3. Comparaison des méthodes d'analyse des risques.....	39
II.4. Pourquoi la méthode HAZOP est particulièrement adaptée aux installations industrielles ?.....	40
II.5. Conclusion.....	41

Chapitre III : Étude de cas

III.1. Objectif	42
III.2. Présentation de l'entreprise ENTPL-unité de Tiaret.....	42
III.2.1. Historique.....	42
III.2.2. Infrastructure.....	42
III.2.3. Bordures.....	42
III.2.4. Carte d'identification	43
III.2.5. Equipement	43
III.2.6. Production	43
III.2.6.1. Matières premières et consommables	43
III.2.6.2. Gamme de production.....	45
III.2.7. Identification du poste de travail.....	46
III.2.7.1. Définition	46
III.2.7.2. Les équipements de système.....	46

III.2.7.2.1. Installation de décapage	46
III.2.7.2.2. Installation de tréfilage	46
III.2.7.2.3. Installation de galvanisation	47
III.3. Application de la méthode HAZOP	48
III.3.1. Présentation du logiciel HAZOP Manager/HAZOP+.....	48
III.3.2. Etude d'HAZOP.....	50
III.4. Analyse et discussion de résultats.....	67
III.4.1. Discussion	67
III.5. Conclusion	69
Conclusion générale.....	70
Références bibliographiques.....	V

Liste des abréviations

ADR	Analyse Détaillée des Risques
AMDE	Analyse des Modes de Défaillance et de leurs Effets
AMDEC	Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité
APR	Analyse Préliminaire des Risques
ENTPL	Entreprise Nationale de Transformation des Produits Longs
EPI	Équipements de Protection Individuelle
EQR	Évaluation Quantitative des Risques
ETB	Entreprise de Travaux Bâtiments
EVG	Constructeur des machines et des installations pour la production de treillis soudés et pour le traitement du fer à béton
FMEA	Failure Modes and Effects Analysis
HAZID	HAZard IDentification Study
HAZOP	Hazard and Operability Study
ICI	Impérial Chemical Industries
IEC	International Electrotechnical Commission
IEC 61882	Études de danger et d'exploitabilité (études HAZOP) - Guide d'application
IPLs	Independent Protection Layers
IPR	Indice de Priorité du Risque
ISO	International Standard Organisation
ISO 27005	Norme internationale concernant la sécurité de l'information basé sur le risque
LOPA	Layer of Protection Analysis
MMR	Matrix de Melzer et Rath
P&ID	Piping & Instrumentation Diagram
PFD	Probability of Failure on Demand
pH	potentiel Hydrogène
PHA	Process Hazard Analysis
PMP	Programme de Maintenance Préventive
QRA	Quantitative Risk Assessment
SAFOP	SAFe Operation Study
SAPRI	Société Algérienne de Réalisation de Projets Industriels
SIDER	Entreprise sidérurgique algérienne

SNS	Société Nationale de Sidérurgie
SOTREFIT	SOciete de TREFillage TIARET
SPA	Société Par Action
WYSIWYG	What You See Is What You Get

Liste des figures

Figure I.1. Schéma de la chaîne causale d'un accident	2
Figure I.2. Classification des risque industriels	3
Figure I.3. Les causes des risques industriels	4
Figure I.4. Illustration des risques industriels et leurs effets [5].....	6
Figure I.5. Panneaux de risques chimiques [6]	8
Figure I.6. Panneaux de risque physique [6].....	8
Figure I.7. Panneau de risque biologique [6].....	9
Figure I.8. Panneau de risque mécanique [6].....	9
Figure I.9. Panneau de risque électrique [6]	10
Figure I.10. Panneaux de risque d'incendie et d'explosion [6].....	11
Figure I.11. Processus de gestion des risques selon ISO 27005	13
Figure I.12. La gestion intelligente des risques [8].....	15
Figure II.1. Indice de priorité du risque (IPR) [15].....	27
Figure III.1. Photo ENTPL-unité de Tiaret [22]	44
Figure III.2. Image satellite de L'ENTPL Unité de Tiaret [22].....	44
Figure III.3. Plan de Découpage [22].....	45
Figure III.4 Interface HAZOP+ [23].....	49

Liste des tableaux

Tableau II.1. Les méthodes courantes d'analyse des risques en fonction des critères	18
Tableau II.2. Matrice de criticité (MMR) [11]	22
Tableau II.3. Tableau identification des dangers HAZID [13].....	24
Tableau II.4. Mots-clés fondamentaux et leur signification dans l'analyse HAZOP [22]	36
Tableau II.5. Tableau HAZOP [22]	38
Tableau II.6. Comparaison des méthodes d'analyse des risques.....	39
Tableau III.1. Gamme de production [23]	45
Tableau III.2. Tableau HAZOP de l'installation décapage	51
Tableau III.3. Tableau HAZOP de l'installation tréfilage.....	57
Tableau III.4. Tableau HAZOP de l'installation galvanisation.....	62

Introduction générale

Introduction générale

Dans le cadre de l'évolution industrielle, la gestion des risques est devenue une priorité absolue pour les entreprises, en particulier les industries à haut risque. Afin de garantir la sécurité des travailleurs et de l'environnement, il est essentiel de mettre en place des systèmes et des procédures efficaces pour identifier, évaluer et contrôler les dangers et les risques potentiels.

Ce projet de fin d'études se concentre sur l'analyse et la gestion des dangers dans un site industriel en appliquant la méthode HAZOP (Hazard and Operability). Cette méthode systématique, reconnue pour son efficacité, permet d'identifier, d'évaluer et de traiter les risques liés aux procédés industriels.

Dans un premier temps, nous effectuerons une recherche bibliographique approfondie sur les risques industriels, en examinant les principaux types de dangers, leurs causes ainsi que les conséquences potentielles. Nous explorerons également les différentes approches et techniques utilisées pour gérer les risques, en mettant l'accent sur la méthode HAZOP.

Dans un deuxième temps, nous présenterons brièvement les méthodes d'analyse des risques ainsi que la méthode HAZOP en détail, en expliquant ses étapes, ses principes fondamentaux et ses avantages. Nous examinerons les différents éléments à prendre en compte lors de l'application de la méthode HAZOP, tels que les limites du système, les écarts possibles et les conséquences potentielles. Nous comparerons également la méthode HAZOP aux autres méthodes d'analyse.

Enfin, nous appliquerons la méthode HAZOP à un cas concret dans l'entreprise industrielle ENTPL. Cette étude de cas nous permettra de démontrer l'utilité et l'efficacité de la méthode HAZOP dans l'identification, l'évaluation et le traitement des risques industriels. Nous proposerons des solutions et des recommandations pour réduire les risques et améliorer la sécurité au sein de l'entreprise.

*Chapitre I : Généralités sur
les risques industriels*

I.1. Introduction

Les risques industriels constituent en effet une préoccupation majeure des entreprises et pouvoirs publics. Elles pourraient avoir des conséquences néfastes sur le capital humain, l'écosystème et l'économie dans son ensemble. Il est donc important de mettre en place des mécanismes de sécurité appropriés et de limiter les risques, même si ceux-ci ne peuvent être éliminés. Pour atteindre cet objectif, il est important de comprendre d'abord l'origine de ces risques, d'évaluer leur ampleur et de proposer des mesures de contrôle efficaces.

I.2. Notion de base

I.2.1. Notion de dommage

Le Dommage fait référence à toute conséquence négative, qu'elle soit physique, sanitaire, financière ou environnementale. Cela peut inclure des blessures, des maladies, des pertes financières ou des dommages à l'environnement [1].

I.2.2. Notion de danger

Le danger est une source potentielle de dommage. Il peut s'agir de tout ce qui a le potentiel de causer des dommages, comme une machine dangereuse, une substance dangereuse ou une situation dangereuse [1].

I.2.3. Notion de risques

Le risque est l'effet de l'incertitude sur les objectifs. Il s'agit de la possibilité que quelque chose de négatif se produise et cause des dommages. Le risque est mesuré par la probabilité que le dommage se produise et par la gravité des dommages potentiels [1].

I.2.4. Notion d'accident

Un accident est un événement, généralement non souhaité, aléatoire et fortuit, qui apparaît ponctuellement dans l'espace et dans le temps, à la suite d'une ou plusieurs causes, et qui entraîne des dommages vis-à-vis des personnes, des biens ou de l'environnement [2].

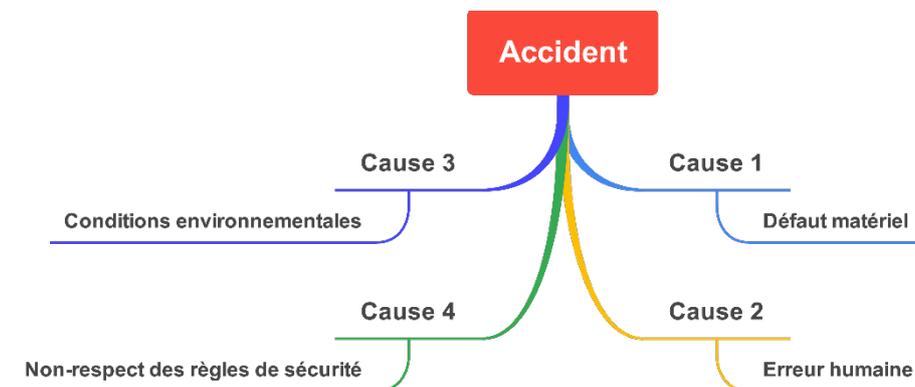


Figure I.1. Schéma de la chaîne causale d'un accident

I.2.5. Notion de sécurité

La sécurité est un état caractérisé par un risque d'accident minimisé et des efforts continus pour maintenir cet état. Elle englobe divers processus et pratiques visant à prévenir les accidents et à protéger les personnes et les biens dans un contexte spécifique [3].

I.2.6. Notion d'hygiène

L'hygiène industrielle est la science et la pratique de l'identification, de l'évaluation et du contrôle des risques sur le lieu de travail qui peuvent nuire à la santé et au bien-être des travailleurs. Cette définition s'inspire de la référence fournie sur l'hygiène et l'adapte au contexte spécifique des milieux industriels [4].

I.3. Risques industriels

I.3.1. Définition

Les risques industriels comprennent les dangers qui peuvent survenir dans l'environnement industriel et avoir des effets néfastes sur les personnes, les biens, l'environnement et les activités opérationnelles. En comprenant parfaitement la signification et les caractéristiques inhérentes des risques industriels, les collectivités peuvent mettre en œuvre des mesures proactives de gestion des risques dans le cadre de leurs plans d'action pour garantir la sécurité au travail, promouvoir le bien-être des travailleurs et réduire les impacts négatifs sur l'écologie et les entreprises.

I.3.2. Classification des risque industriels

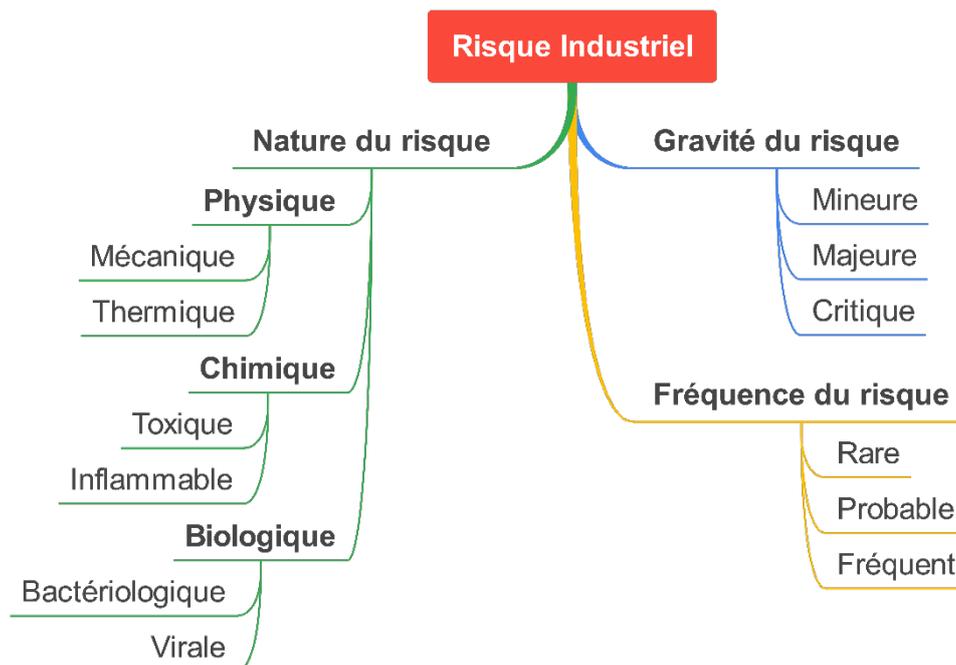


Figure I.2. Classification des risque industriels

I.3.2.1. Nature du danger

- **Risques physiques** : liés aux machines, installations électriques, etc.
- **Risques chimiques** : liés aux substances dangereuses utilisées ou produites.
- **Risques biologiques** : liés aux micro-organismes et agents pathogènes.
- **Risques psychosociaux** : liés au stress, à la fatigue, etc.

I.3.2.2. Gravité des conséquences

- **Majeurs** : Catastrophes, décès multiples.
- **Importants** : Blessures graves, dommages importants.
- **Mineurs** : Blessures légères, dommages limités.

I.3.2.3. Fréquence d'occurrence

- **Fréquents** : Incidents réguliers.
- **Occasionnels** : Incidents rares.
- **Exceptionnels** : Incidents très rares.

I.3.3. Les Causes des Risques Industriels

Les accidents industriels, bien que souvent tragiques, ne sont pas nécessairement fortuits. En réalité, ils découlent généralement d'une combinaison de facteurs, dont la compréhension est essentielle pour prévenir de futures catastrophes.

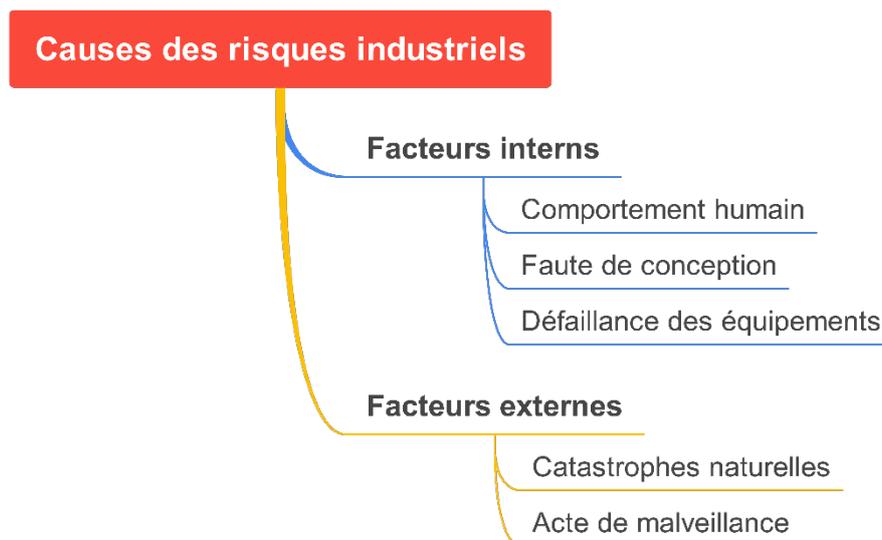


Figure I.3. Les causes des risques industriels

I.3.3.1. Classification des Causes

Pour mieux appréhender les causes des risques industriels, il est utile de les classer en plusieurs catégories :

I.3.3.1.1. Facteurs Techniques

- **Défaillances des équipements** : Vieillesse, usure, défauts de conception ou de fabrication, maintenance inadéquate, erreurs d'installation ou d'utilisation.
- **Environnement de travail** : Conditions dangereuses, exposition à des substances nocives, installations non conformes aux normes de sécurité.
- **Processus industriels** : Procédés défectueux, utilisation de produits dangereux, absence de contrôles adéquats, gestion des risques insuffisante.

I.3.3.1.2. Facteurs Humains

- **Erreurs humaines** : Négligence, manque de formation, fatigue, inattention, non-respect des procédures, prise de décision inappropriée.
- **Comportements à risque** : Non-respect des consignes de sécurité, imprudence, prise de raccourcis, actes délibérés de sabotage ou de vandalisme.
- **Facteurs organisationnels** : Culture de sécurité déficiente, communication insuffisante, manque de supervision, insuffisance de formation et d'information des travailleurs.

I.3.3.1.3. Facteurs Exogènes

- **Catastrophes naturelles** : Tremblements de terre, inondations, incendies, explosions, tempêtes.
- **Erreurs de conception** : Défauts inhérents à la conception des installations ou des produits, non-prise en compte des risques potentiels.
- **Facteurs économiques** : Pression pour réduire les coûts, optimisation excessive des processus, négligence de la maintenance.

I.3.4. Exemples

- **Explosion d'une usine chimique** : Défaillance d'une valve de sécurité, maintenance insuffisante, formation inadéquate des opérateurs.
- **Accident de chantier** : Erreur humaine lors de la manipulation d'une grue, non-respect des procédures de sécurité.
- **Pollution environnementale** : Déversement accidentel de produits chimiques, défaillance des systèmes de traitement des eaux usées.

I.3.5. Les effets des risques industriels

Les conséquences varient en fonction de la nature, de la gravité et de localisation de l'accident. Les effets sont classés selon trois typologies, qui peuvent se combiner.



Figure I.4. Illustration des risques industriels et leurs effets [5]

I.3.5.1. Effets mécaniques

Les défaillances d'équipements, les erreurs de manipulation, les explosions et les effondrements de structures peuvent entraîner des effets mécaniques directs et indirects :

- **Blessures par impact et perforation** causées par des objets projetés, des chutes de matériaux, des écrasements ou des collisions.
- **Fractures, entorses et luxations** suite à des chutes, des heurts ou des efforts violents.
- **Amputations traumatiques** causées par des machines et des outils dangereux.
- **Surdité et troubles de l'équilibre** dus à des explosions ou à une exposition prolongée à des niveaux sonores élevés.

I.3.5.2. Effets thermiques

Les incendies, les explosions, les défaillances de systèmes de refroidissement et les expositions à des températures extrêmes peuvent provoquer des effets thermiques :

- **Brûlures cutanées** de gravité variable selon la durée et l'intensité de l'exposition à la chaleur.

- **Coup de chaleur et hyperthermie** pouvant entraîner des défaillances organiques et même la mort en cas d'exposition prolongée à des environnements chauds et humides.
- **Hypothermie** causée par une exposition prolongée au froid extrême.

I.3.5.3. Effets toxiques

La manipulation de produits chimiques dangereux, les fuites accidentelles, les incendies et les explosions peuvent entraîner des expositions à des substances toxiques :

- **Intoxications aiguës et chroniques** pouvant affecter différents organes et systèmes du corps en fonction de la nature et de la dose des substances toxiques.
- **Cancers professionnels** liés à l'exposition prolongée à des substances cancérigènes.
- **Maladies respiratoires** causées par l'inhalation de poussières, de fumées, de gaz et de vapeurs toxiques.
- **Troubles dermatologiques** tels que des irritations, des allergies et des cancers cutanés dus au contact avec des substances chimiques nocives.

I.3.5.4. Exemples d'effets combinés

- Une explosion dans une usine chimique peut entraîner simultanément des **effets mécaniques** (blessures par éclats, projections), des **effets thermiques** (brûlures) et des **effets toxiques** (exposition à des substances chimiques).
- Un incendie dans un bâtiment peut provoquer des **effets thermiques** (brûlures, inhalation de fumées) et des **effets toxiques** (intoxication au monoxyde de carbone).

I.4. Typologies des risques industriels

La gestion des risques industriels est un élément crucial pour la sécurité des travailleurs, la protection de l'environnement et la pérennité des organisations. La connaissance approfondie des différentes typologies de risques et de leurs caractéristiques spécifiques est essentielle pour mettre en place des mesures de prévention et de protection adéquates.

I.4.1. Risques Chimiques

I.4.1.1. Définition

Liés à l'utilisation, la manipulation ou la présence de produits chimiques dangereux pouvant entraîner des intoxications, des brûlures, des explosions, etc.



Figure I.5. Panneaux de risques chimiques [6]

I.4.1.2. Modalités d'exposition

- Inhalation de vapeurs, de gaz ou de poussières toxiques.
- Contact cutané avec des substances chimiques dangereuses.
- Ingestion accidentelle de produits chimiques.

I.4.1.3. Moyens de prévention

- Substitution des produits chimiques dangereux par des alternatives moins toxiques.
- Mise en place de mesures de confinement et de ventilation adéquates.
- Port d'équipements de protection individuelle (EPI) adaptés aux risques encourus.
- Formation et sensibilisation des travailleurs aux dangers des produits chimiques.

I.4.2. Risques Physiques

I.4.2.1. Définition

Englobant les risques liés à l'exposition à des températures extrêmes, à des radiations ionisantes, à des bruits excessifs, à des vibrations, etc.



Figure I.6. Panneaux de risque physique [6]

I.4.2.2. Modalités d'exposition

- Contact direct avec des sources de chaleur ou de froid intenses.
- Exposition prolongée à des niveaux sonores élevés.
- Exposition aux vibrations générées par des machines et des outils.

I.4.2.3. Moyens de prévention

- Mise en place de mesures de protection contre les sources de chaleur et de froid.

- Isolation des sources de bruit et utilisation d'équipements de protection auditive.
- Réduction des vibrations à la source et utilisation d'outils ergonomiques.
- Surveillance et contrôle des niveaux d'exposition aux agents physiques.

I.4.3. Risques Biologiques

I.4.3.1. Définition

Associés à la présence de micro-organismes pathogènes dans les environnements de travail, susceptibles de provoquer des infections ou des maladies.



Figure I.7. Panneau de risque biologique [6]

I.4.3.2. Modalités d'exposition

- Contact direct avec des animaux infectés ou des produits d'origine animale.
- Inhalation de bioaérosols contaminés.
- Contact cutané avec des micro-organismes pathogènes.

I.4.3.3. Moyens de prévention

- Mise en place de mesures d'hygiène et de salubrité strictes.
- Vaccination des travailleurs contre les maladies infectieuses.
- Utilisation d'équipements de protection individuelle adaptés aux risques biologiques.
- Formation et sensibilisation des travailleurs aux risques biologiques.

I.4.4. Risques Mécaniques

I.4.4.1. Définition

Résultant de l'utilisation d'équipements et de machines, notamment des risques de coupure, d'écrasement, de choc, etc.



Figure I.8. Panneau de risque mécanique [6]

I.4.4.2. Modalités d'exposition

- Contact direct avec des machines en mouvement.
- Utilisation d'outils dangereux.
- Chutes de hauteur ou d'objets.

I.4.4.3. Moyens de prévention

- Mise en place de protections mécaniques sur les machines et les outils.
- Utilisation d'équipements de protection individuelle adaptés aux risques mécaniques.
- Formation et sensibilisation des travailleurs aux risques mécaniques.
- Mise en place de procédures de sécurité pour l'utilisation des machines et des outils.

I.4.5. Risques Électriques

I.4.5.1. Définition

Liés à l'utilisation de l'électricité, incluant les risques d'électrocution, d'incendie, de court-circuit, etc.



Figure I.9. Panneau de risque électrique [6]

I.4.5.2. Modalités d'exposition

- Contact direct avec des conducteurs électriques sous tension.
- Défauts d'installation électrique.
- Utilisation d'appareils électriques défectueux.

I.4.5.3. Moyens de prévention

- Mise en place d'une installation électrique conforme aux normes de sécurité.
- Utilisation d'équipements électriques de classe appropriée.
- Formation et sensibilisation des travailleurs aux risques électriques.
- Mise en place de procédures de sécurité pour l'utilisation des installations électriques.

I.4.6. Risques Incendie et Explosion

I.4.6.1. Définition

Résultant de la présence de sources d'inflammation ou de produits inflammables, pouvant provoquer des incendies ou des explosions.



Figure I.10. Panneaux de risque d'incendie et d'explosion [6]

I.4.6.2. Modalités d'exposition

- Contact avec des flammes ou des surfaces chaudes.
- Présence de substances inflammables ou explosives.
- Défauts de sécurité incendie.

I.4.6.3. Moyens de prévention

- Mise en place de mesures de prévention incendie et d'explosion.
- Formation et sensibilisation des travailleurs aux risques d'incendie et d'explosion.
- Mise en place de procédures d'évacuation et d'intervention en cas d'incendie.

I.4.7. AUTRES RISQUES

Afin de compléter la liste ci-dessus, il convient d'en citer encore quelques-uns. Il s'agit notamment de risques liés :

- ✓ À manutentions mécaniques
- ✓ À organisation du travail (Coactivité, horaires ...)
- ✓ À l'utilisation de laser
- ✓ À l'utilisation de liquides cryogéniques et de gaz
- ✓ À la plongée
- ✓ À l'hygiène
- ✓ À l'organisation du travail
- ✓ À l'intervention d'une entreprise extérieure
- ✓ Au tabac, à l'alcool et aux drogues
- ✓ Aux différentes formes de harcèlement

I.5. Les installations industrielles les plus risquent

Certaines installations industrielles présentent des risques accrus pour la sécurité des travailleurs, l'environnement et les populations environnantes. Identifier ces installations et les dangers spécifiques qu'elles présentent est crucial pour la mise en place de mesures de prévention et de protection adéquates.

I.5.1. Facteurs de risque

Plusieurs facteurs contribuent au niveau de risque d'une installation industrielle :

- **Type d'activité** : Les industries qui manipulent des substances dangereuses, génèrent des déchets toxiques, ou opèrent avec des machines et des équipements à haut risque sont intrinsèquement plus dangereuses.
- **Taille et complexité de l'installation** : Les installations plus grandes et plus complexes peuvent comporter un plus grand nombre de dangers potentiels et des difficultés accrues en matière de gestion des risques.
- **Âge et état de l'installation** : Les installations vieillissantes peuvent présenter des défaillances et des défauts de conception qui augmentent les risques d'accidents.
- **Localisation** : Les installations situées dans des zones à risques naturels accrus, comme les zones sismiques ou inondables, peuvent être plus vulnérables aux accidents.
- **Facteurs humains** : Le manque de formation, la négligence, et des pratiques de travail dangereuses peuvent également contribuer à l'augmentation des risques.

I.5.2. Exemples d'installations à haut risque

- **Industries chimiques** : Production et manipulation de substances chimiques dangereuses, risques d'explosions, d'incendies, et de rejets toxiques.
- **Raffineries de pétrole et usines de gaz** : Stockage et traitement de produits inflammables et explosifs, risques d'incendies, d'explosions, et de pollution.
- **Centrales nucléaires** : Production d'énergie nucléaire, risques de accidents radiologiques et de contamination de l'environnement.
- **Industries métallurgiques** : Production et transformation de métaux, risques d'accidents thermiques, d'explosions, et de pollution atmosphérique.
- **Mines et carrières** : Extraction de minéraux et de matériaux de construction, risques d'effondrements, d'inondations, et d'accidents liés aux machines.

I.6. Évaluation et gestion des risques

I.6.1. Évaluation des risques

Il est essentiel d'évaluer régulièrement les risques dans les installations industrielles et de mettre en place des mesures de prévention et de protection adéquates. Cela implique :

- **Identification des dangers** : Déterminer les sources potentielles de risques dans l'installation.
- **Évaluation des risques** : Analyser la probabilité et la gravité des accidents potentiels.
- **Mise en place de mesures de prévention** : Implémenter des solutions techniques et organisationnelles pour réduire les risques.
- **Formation et sensibilisation des travailleurs** : Informer et former les travailleurs sur les risques et les procédures de sécurité.
- **Surveillance et contrôle** : Mettre en place un système de surveillance et de contrôle des risques.

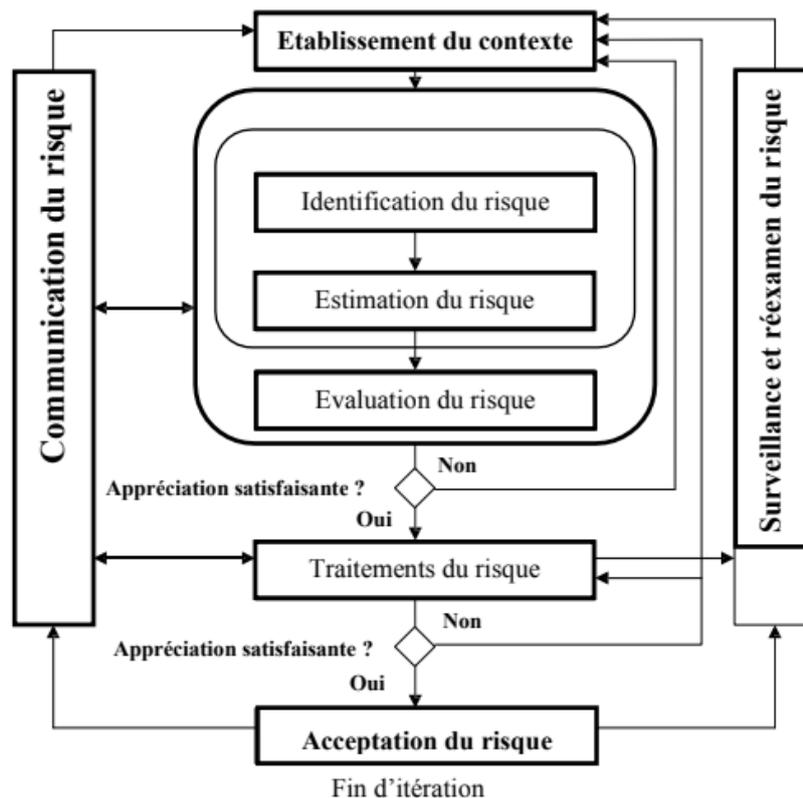


Figure I.11. Processus de gestion des risques selon ISO 27005

I.6.2. Navigation dans le paysage dynamique de la gestion des risques

La gestion des risques est devenue un domaine en croissance rapide, caractérisé par une diversité de définitions, de perspectives et d'approches de mise en œuvre. Pour naviguer efficacement dans ce paysage dynamique, un cadre structuré est essentiel, englobant :

- **Établir un langage commun** : Définir la terminologie clé pour assurer une communication claire et cohérente entre les parties prenantes.
- **Tracer le parcours de la gestion des risques** : Décrire les étapes de mise en œuvre d'un processus de gestion des risques, de l'identification à l'évaluation et à l'atténuation.
- **Structurer l'organisation de la gestion des risques** : Établir les rôles, les responsabilités et les structures d'information pour assurer une coordination et une surveillance efficaces des activités de gestion des risques.
- **Aligner la gestion des risques sur les objectifs organisationnels** : Définir clairement les objectifs de la gestion des risques, en soulignant son rôle dans le soutien des objectifs stratégiques et l'amélioration des performances organisationnelles.

Au cœur de sa démarche, la gestion des risques vise à guider les organisations vers la réalisation ou le dépassement de leurs objectifs grâce à une approche proactive d'identification et de traitement des opportunités et des risques. En évaluant soigneusement les événements, les actions et les développements potentiels qui pourraient entraver le progrès d'une organisation, la gestion des risques permet aux entreprises de prendre des décisions éclairées qui garantissent leur réussite [7].

I.6.3. Considérations supplémentaires

- **Adopter une perspective holistique** : Intégrer la gestion des risques dans tous les aspects des opérations de l'organisation, en favorisant une culture de la gestion des risques à tous les niveaux de l'organisation.
- **Promouvoir l'amélioration continue** : Revoir et mettre à jour régulièrement les pratiques de gestion des risques pour s'adapter à l'évolution de l'environnement commercial et aux nouveaux risques.
- **Favoriser la collaboration et la communication** : Encourager la communication ouverte et la collaboration entre les parties prenantes pour s'assurer que les informations issues de la gestion des risques soient efficacement partagées et utilisées.

En adoptant ces principes et en mettant en œuvre un cadre de gestion des risques solide, les organisations peuvent naviguer dans les complexités du paysage commercial moderne avec plus de confiance, de résilience et de succès.

I.6.4. Définition de la gestion du risque

La gestion du risque est un processus coordonné visant à orienter et à piloter une organisation face aux risques potentiels. Elle englobe quatre étapes clés :

- **Évaluation du risque** : Identifier et analyser les risques potentiels auxquels l'organisation est confrontée.
- **Traitement du risque** : Mettre en œuvre des mesures pour réduire ou éliminer les risques identifiés.
- **Acceptation du risque** : Accepter certains risques qui ne peuvent être éliminés ou réduits à un coût raisonnable.
- **Communication relative au risque** : Informer les parties prenantes des risques identifiés et des mesures prises pour les gérer [7].



Figure I.12. La gestion intelligente des risques [8]

I.6.5. Les avantages de la gestion du risque

On peut limiter les avantages de la gestion des risques aux points suivants :

- ✓ Amélioration de la marge de manœuvre de l'entreprise ;
- ✓ Identification et gestion des risques et des opportunités à l'échelle de toute l'entreprise ;
- ✓ Détection précoce (système d'alarme précoce), minimisation et maîtrise des dangers et des risques ;
- ✓ Prévention des impondérables en entreprise et minimisation des pertes ;
- ✓ Assurer l'avenir à long terme ;
- ✓ Survie de l'organisation ;
- ✓ Optimiser la mise de capital et assurer la capacité de rendement à long terme ;
- ✓ Identifier et saisir les opportunités pour l'entreprise ;
- ✓ Contrôle du risque pour mieux profiter des opportunités ;
- ✓ Améliorer la communication ainsi que la gestion des risques et des opportunités.

I.7. Conclusion

En conclusion, ce chapitre a permis de cerner les différents aspects du concept de "risque" afin d'établir une base solide pour les chapitres suivants. En explorant les définitions du risque dans diverses disciplines, ses typologies, ses causes et ses effets dans le contexte industriel, nous avons acquis une compréhension approfondie de ce concept crucial.

*Chapitre II : Méthodes
d'analyse des risques*

II.1. Introduction

Ce chapitre se penche sur les différentes méthodes d'analyse des risques, un outil essentiel pour toute organisation soucieuse de sa sécurité et de son efficacité. Un risque se définit comme la combinaison de la probabilité d'un événement indésirable et de ses conséquences négatives. L'analyse des risques permet d'identifier ces événements potentiels, d'évaluer leur gravité et leur probabilité d'occurrence, et de mettre en place des mesures préventives pour les atténuer.

II.2. Méthodes d'analyse des risques

Les analyses peuvent être globales, générales ou très détaillées. Il est également possible de les classer en fonction de la précision des critères d'analyse de probabilité d'occurrence et de gravité des conséquences :

- Les analyses de risques qualitatives : les notions de probabilité d'occurrence et de gravité des conséquences sont appréciées de façon qualitative ;
- Les analyses de risques semi-quantitatives : les notions de probabilité d'occurrence et de gravité des conséquences sont appréciées en fonction d'échelles prédéfinies ;
- Les analyses de risques quantitatives : ici, la probabilité d'occurrence et la gravité des conséquences sont calculées.

II.2.1. Typologie des méthodes d'analyse des risques

Il existe deux grandes catégories de méthodes d'analyse des risques :

- **Les méthodes a priori** : Ces méthodes permettent d'anticiper les risques avant qu'ils ne surviennent. Elles s'appuient sur des hypothèses et des scénarios pour identifier les dangers potentiels et leurs conséquences.
- **Les méthodes a posteriori** : Ces méthodes analysent les incidents et accidents déjà survenus afin d'en comprendre les causes et d'empêcher leur répétition [9].

Tableau II.1. Les méthodes courantes d'analyse des risques en fonction des critères

Méthode	Objectif	Phase du cycle de vie du projet	Niveau de détail	Ressources requises
APR (Analyse Préliminaire des Risques)	Identification des dangers	Début de la conception	Faible	Modérées- Animateur expérimenté, connaissances de base du projet
HAZID (HAZard Identification Study - Étude d'Identification des Dangers)	Identification des dangers	Conception	Modéré	Élevées - Équipe d'experts possédant des connaissances diverses du système
ADR (Analyse Détaillée des Risques - Detailed Risk Analysis)	Identifier, évaluer et hiérarchiser les risques tout au long du cycle de vie du projet.	Toutes les phases	Élevé	Élevées - Équipe d'experts possédant des connaissances en analyse, du temps et des ressources
AMDEC (Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité)	Évaluation des risques associés aux défaillances des composants	Conception	Élevé	Élevées - Équipe d'ingénieurs possédant des connaissances du système et des compétences en analyse de données
LOPA (Layer of Protection Analysis - Analyse des Couches de Protection)	Évaluation de l'adéquation des protections existantes	Conception et exploitation	Modéré	Modérées - Équipe possédant des connaissances sur les processus et les mesures de protection

QRA (Quantitative Risk Assessment - Évaluation Quantitative des Risques)	Évaluation de la probabilité et des conséquences des événements	Toutes les phases	Élevé	Très élevées - Analystes qualifiés, données historiques, logiciels de modélisation des risques
HAZOP (Hazard and Operability Study - Étude de Dangerosité et d'Exploitabilité)	Identification des dangers, évaluation des risques et recommandation de mesures de protection	Conception et exploitation	Élevé	Très élevées - Équipe d'animateurs expérimentés et d'experts en la matière

II.2.1.1. Considérations supplémentaires

- **Basé sur la menace vs. Basé sur la vulnérabilité** : Certaines méthodes se concentrent sur l'identification des menaces (par exemple, HAZID), tandis que d'autres se concentrent sur les vulnérabilités du système (par exemple, AMDEC).
- **Qualitative vs. Quantitative** : Les méthodes qualitatives utilisent des jugements subjectifs (par exemple, HAZOP), tandis que les méthodes quantitatives s'appuient sur des données et des calculs (par exemple, QRA).
- **Normes spécifiques de l'industrie** : Certaines industries peuvent avoir des méthodologies d'analyse des risques spécifiques qu'elles recommandent ou exigent.

II.2.2. Présentation des principales méthodes d'analyse des risques a priori

- **AMDEC (Analyse des Modes de Défaillance, des Effets et de la Criticité)** : Cette méthode permet d'identifier les différents modes de défaillance d'un système, d'évaluer leurs effets et leur criticité (gravité et probabilité d'occurrence).
- **AMDE (Analyse des Modes de Défaillance et de leurs Effets)** : Similaire à l'AMDEC, l'AMDE se concentre uniquement sur l'identification des modes de défaillance et leurs effets.
- **APR (Analyse Préliminaire des Risques)** : Cette méthode simple et rapide permet d'identifier les dangers potentiels d'un projet ou d'une activité et d'évaluer leur niveau de risque.

- **HAZOP (Hazard and Operability study)** : Utilisée principalement dans l'industrie chimique et pétrolière, cette méthode analyse les dangers potentiels liés aux déviations des conditions de fonctionnement normales.
- **HAZID (Hazard Identification)** : Un processus systématique visant à identifier les dangers potentiels associés à un système, un projet ou une activité. Il vise à reconnaître les sources potentielles de dommages ou de danger avant qu'elles ne conduisent à des incidents ou accidents.
- **ADR (Analyse Détaillée des Risques)** : Un terme plus large englobant diverses méthodes d'identification, d'analyse et d'évaluation des risques associés à un système, un projet ou une activité. Il implique l'évaluation de la probabilité et des conséquences des dangers potentiels.
- **LOPA (Layer of Protection Analysis)** : Une méthode semi-quantitative d'évaluation des risques qui se concentre sur l'analyse de l'efficacité des mesures de sécurité et des couches de protection indépendantes (IPLs) conçues pour prévenir ou atténuer les dangers potentiels.
- **QRA (Quantitative Risk Assessment)** : Une méthode complète d'évaluation des risques qui utilise des modèles mathématiques et des techniques statistiques pour quantifier la probabilité et les conséquences des accidents potentiels.

II.2.3. Méthode APR

L'Analyse Préliminaire des Risques (APR) est une méthode d'analyse qualitative des risques couramment utilisée dans divers domaines, notamment l'industrie, la construction et le transport. Elle permet d'identifier, d'évaluer et de traiter les dangers potentiels liés à une activité ou à un projet [10].

II.2.3.1. Objectifs de l'APR

L'APR vise à atteindre les objectifs suivants :

- Identifier les dangers potentiels : L'APR permet de découvrir tous les dangers possibles liés à l'activité ou au projet, y compris ceux qui ne sont pas évidents ou qui pourraient être négligés.
- Evaluer les risques : Chaque danger identifié est évalué en fonction de sa probabilité d'occurrence et de la gravité de ses conséquences potentielles.
- Proposer des mesures de prévention et de mitigation des risques : Des mesures adéquates sont proposées pour réduire la probabilité d'occurrence des dangers ou pour limiter les conséquences de leur réalisation [10].

II.2.3.2. Déroulement de l'APR

L'analyse préliminaire des risques se déroule généralement en plusieurs étapes :

1. **Identification des dangers** : Cette étape consiste à identifier tous les dangers potentiels liés à l'activité ou au projet. Cela peut se faire à l'aide de différentes techniques, telles que le brainstorming, l'analyse de documents et l'observation du terrain.
2. **Evaluation des risques** : Pour chaque danger identifié, il est nécessaire d'évaluer sa probabilité d'occurrence et la gravité de ses conséquences potentielles. Cette évaluation peut être réalisée à l'aide de matrices de risques ou d'autres outils d'évaluation des risques.
3. **Proposition de mesures de prévention et de mitigation des risques** : Pour chaque danger identifié et évalué, il est nécessaire de proposer des mesures adéquates pour réduire la probabilité d'occurrence du danger ou pour limiter les conséquences de sa réalisation.
4. **Documentation de l'APR** : Les résultats de l'APR doivent être documentés dans un rapport qui comprend la liste des dangers identifiés, l'évaluation des risques et les mesures de prévention et de mitigation proposées [10].

II.2.3.3. Avantages de l'APR

L'APR présente plusieurs avantages, notamment :

- **Simplicité et facilité d'utilisation** : L'APR est une méthode simple et facile à utiliser qui peut être mise en œuvre par des personnes ayant des connaissances techniques limitées.
- **Adaptabilité** : L'APR peut être adaptée à des activités et à des projets de toutes tailles et de tous types.
- **Flexibilité** : L'APR peut être réalisée à différents stades d'un projet, de la phase de conception à la phase d'exploitation.
- **Efficacité** : L'APR permet d'identifier les dangers potentiels à un stade précoce du projet, ce qui permet de mettre en place des mesures de prévention et de mitigation des risques à moindre coût.

II.2.3.4. Limites de l'APR

L'APR présente également certaines limites, notamment :

- **Analyse qualitative** : L'APR est une analyse qualitative, ce qui signifie qu'elle ne permet pas de quantifier précisément les risques.

- **Subjectivité** : L'évaluation des risques peut être subjective et dépendre de l'expérience et du jugement des personnes qui réalisent l'APR.
- **Nécessité d'expertise** : L'analyse des résultats de l'APR peut nécessiter l'expertise de spécialistes en sécurité des risques.

II.2.3.5. Exemple d'application de l'APR

L'APR peut être appliquée à une large gamme d'activités et de projets. Voici un exemple d'application de l'APR à la maintenance d'une machine :

1. Identification des dangers :

- Risque de chute de pièces lors du démontage de la machine.
- Risque de coincement des doigts lors de l'utilisation d'outils.
- Risque d'exposition à des produits chimiques dangereux.
- Risque d'incendie électrique.

2. Evaluation des risques :

Tableau II.2. Matrice de criticité (MMR) [11]

Probabilité / Gravité	E Événement possible mais extrêmement peu probable	D Événement très improbable	C Événement improbable	B Événement probable	A Événement courant
Désastreux	MMR 2	Risque élevé	Risque élevé	Risque élevé	Risque élevé
Catastrophique	MMR 1	MMR 2	Risque élevé	Risque élevé	Risque élevé
Important	MMR 1	MMR 1	MMR 2	Risque élevé	Risque élevé
Sérieux	Risque moindre	Risque moindre	MMR 1	MMR 2	Risque élevé
Modérée	Risque moindre	Risque moindre	Risque moindre	Risque moindre	MMR 1

II.2.4. Méthode HAZID

L'HAZID (Hazard Identification) est une méthode structurée et systématique d'identification des dangers potentiels associés à un système industriel, qu'il s'agisse d'une usine chimique, d'une raffinerie de pétrole ou d'une centrale électrique. Son objectif principal est de détecter les dangers inhérents aux processus, aux équipements, aux matières premières et aux activités de maintenance, afin de mettre en place des mesures de prévention et de mitigation adéquates [12].

II.2.4.1. Fonctionnement de l'HAZID :

L'HAZID se déroule généralement en plusieurs étapes clés :

1. Préparation :

- Constitution d'une équipe pluridisciplinaire composée d'ingénieurs de process, d'opérateurs, de spécialistes de la sécurité et d'autres experts en fonction du système étudié.
- Collecte et examen attentifs des informations relatives au système, y compris les diagrammes de tuyauterie et instrumentation (P&ID), les modes opératoires et les analyses de sécurité des tâches.

2. Étude systématique :

- L'équipe d'HAZID examine chaque étape du processus, en se posant des questions guides telles que :
 - Quelles sont les déviations possibles de l'exploitation normale ? (Par exemple, variation de température, pression excessive)
 - Quelles sont les conséquences potentielles de ces déviations ? (Par exemple, fuite de produit, incendie, explosion)
- Différents scénarios d'accident sont ainsi explorés de manière systématique.

3. Évaluation des risques et propositions de solutions :

- Pour chaque danger identifié, l'équipe évalue sa probabilité d'occurrence et la gravité de ses conséquences potentielles.
- Sur la base de cette évaluation, l'équipe propose des mesures de prévention et de mitigation appropriées pour réduire le risque. Ces mesures peuvent inclure des modifications de conception, des dispositifs de sécurité supplémentaires, des procédures d'exploitation révisées ou des formations spécifiques pour le personnel.

4. Documentation des résultats :

- Un rapport d'HAZID est rédigé et conservé. Ce rapport documente les dangers identifiés, les scénarios d'accident examinés, les évaluations des risques et les mesures de prévention et de mitigation proposées [12].

II.2.4.2. Avantages de l'HAZID

- **Approche systématique** : L'HAZID permet d'identifier de manière exhaustive les dangers potentiels, même ceux qui ne sont pas évidents à première vue.
- **Détection précoce** : L'HAZID est généralement réalisée au stade de la conception ou de la modification d'un système, permettant de prendre en compte les questions de sécurité dès le début du projet et d'éviter des modifications coûteuses ultérieurement.

- **Participation d'une équipe pluridisciplinaire** : L'expertise et les points de vue de différents acteurs contribuent à une analyse plus complète et plus approfondie des risques.
- **Amélioration de la sécurité des processus** : En identifiant et en traitant les dangers potentiels, l'HAZID permet d'améliorer la sécurité globale des systèmes industriels.

II.2.4.3. Limites de l'HAZID

- **Dépendance de l'équipe** : La qualité des résultats de l'HAZID dépend fortement de la compétence et de l'expérience de l'équipe d'étude.
- **Limites des questions guides** : Les questions guides utilisées peuvent ne pas couvrir tous les scénarios d'accident possibles.
- **Complexité des systèmes modernes** : L'analyse des systèmes industriels complexes peut être un processus long et fastidieux.

II.2.4.4. Exemple d'application de l'HAZID

Tableau II.3. Tableau identification des dangers HAZID [13]

N°	Systèmes / Unités	Mot Guide	Causes	Scénarios potentiels Conséquences	Action / contrôles	Commentaires	N° Action
1							
2							
3							
4							
5							
6							

II.2.5. Méthode ADR

L'Analyse Détaillée des Risques (ADR) s'inscrit comme une étape complémentaire essentielle à l'Analyse Préliminaire des Risques (APR). Elle permet d'approfondir l'évaluation des dangers identifiés lors de l'APR et de définir des mesures de prévention et de mitigation plus précises et opérationnelles [14].

II.2.5.1. Objectifs clés de l'ADR

L'ADR vise à :

- **Comprendre les mécanismes d'accidents** : L'ADR décortique les causes profondes des dangers identifiés lors de l'APR, en analysant les interactions entre les différents éléments du système (humains, machines, environnement).

- **Évaluer précisément les risques** : L'ADR s'appuie sur des méthodes quantitatives et qualitatives pour affiner l'évaluation de la probabilité d'occurrence d'un accident et de la gravité de ses conséquences potentielles.
- **Définir des mesures de prévention et de mitigation ciblées** : L'ADR propose des solutions concrètes et réalisables pour réduire le niveau de risque, en tenant compte des contraintes techniques, économiques et organisationnelles [14].

II.2.5.2. Déroulement structuré de l'ADR

L'ADR se déroule de manière méthodique pour garantir une analyse rigoureuse et approfondie :

- **Identification des dangers critiques** : L'ADR se concentre sur les dangers identifiés lors de l'APR qui présentent un niveau de risque élevé ou des conséquences potentiellement graves.
- **Analyse des causes** : Pour chaque danger critique, l'ADR utilise des techniques telles que l'arbre des causes ou l'analyse morphologique pour identifier les causes profondes et les facteurs contributifs à son occurrence.
- **Évaluation détaillée des risques** : L'ADR utilise des méthodes quantitatives (ex : analyse des modes de défaillance et des effets des défaillances - AMDE) et qualitatives (ex : matrices de risques) pour affiner l'évaluation de la probabilité d'occurrence d'un accident et de la gravité de ses conséquences potentielles.
- **Définition des mesures de prévention et de mitigation** : L'ADR propose des mesures de prévention et de mitigation adéquates pour réduire le niveau de risque, en tenant compte de la hiérarchie de la prévention (élimination du danger, substitution, protection collective, protection individuelle).
- **Planification de la mise en œuvre** : L'ADR définit un plan de mise en œuvre des mesures de prévention et de mitigation, précisant les responsabilités, les échéances et les ressources nécessaires [14].

II.2.5.3. Avantages indéniables de l'ADR

L'ADR apporte des avantages considérables à la gestion des risques :

- **Amélioration de la compréhension des risques** : L'ADR permet de comprendre les mécanismes d'accidents et les facteurs contributifs, facilitant la prise de décision éclairée.

- **Évaluation plus précise des risques** : L'utilisation de méthodes quantitatives et qualitatives permet d'affiner l'évaluation des risques et de prioriser les actions à entreprendre.
- **Mesures de prévention et de mitigation ciblées** : L'ADR propose des solutions concrètes et adaptées à chaque danger critique, optimisant l'efficacité des actions préventives.
- **Communication améliorée** : L'ADR favorise une communication claire et transparente sur les risques et les mesures de prévention, impliquant l'ensemble des parties prenantes.

II.2.5.4. Limites à prendre en compte

L'ADR présente certaines limites qui doivent être considérées :

- **Exigence en temps et ressources** : L'ADR est un processus plus long et plus approfondi que l'APR, nécessitant davantage de temps et de ressources.
- **Expertise nécessaire** : L'ADR requiert une certaine expertise en matière d'analyse des risques et des méthodes d'évaluation des risques.
- **Évolutions futures** : L'ADR doit être régulièrement mise à jour pour tenir compte des changements dans le système et des nouvelles connaissances sur les risques.

II.2.6. Méthode AMDEC

L'Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité (AMDEC) est une méthode structurée et rigoureuse utilisée pour identifier, analyser et hiérarchiser les défaillances potentielles d'un système ou d'un composant. Son objectif principal est de contribuer à la conception et à la réalisation de systèmes plus fiables et plus sûrs [15].

II.2.6.1. Fonctionnement de l'AMDEC

L'AMDEC se déroule en plusieurs étapes clés :

1. **Définition du système et du périmètre d'analyse** : Le système ou le composant à analyser est clairement défini, ainsi que les limites de l'étude.
2. **Décomposition du système** : Le système est décomposé en ses éléments constitutifs (sous-systèmes, composants, pièces).
3. **Identification des défaillances pour chaque élément** : Pour chaque élément du système, on identifie les modes de défaillance potentiels.
4. **Analyse des effets de chaque défaillance** : Pour chaque mode de défaillance, on analyse les effets qu'il peut avoir sur le fonctionnement du système et sur son environnement.

5. **Évaluation de la gravité des effets** : La gravité de chaque effet est évaluée selon une échelle prédéfinie (ex : mineure, modérée, majeure, critique).
6. **Estimation de la probabilité d'occurrence de chaque défaillance** : La probabilité d'occurrence de chaque mode de défaillance est estimée selon une échelle prédéfinie (ex : faible, moyenne, élevée).
7. **Calcul du niveau de criticité de chaque défaillance** : Le niveau de criticité de chaque défaillance est calculé en multipliant la gravité des effets par la probabilité d'occurrence.
8. **Priorisation des actions** : Les défaillances sont classées par ordre de criticité décroissante, permettant de prioriser les actions à entreprendre pour les éliminer ou les réduire.
9. **Définition des actions préventives et correctives** : Pour chaque défaillance critique, des actions préventives ou correctives sont définies pour réduire son niveau de criticité.
10. **Documentation des résultats** : Un rapport d'AMDEC est rédigé et conservé. Ce rapport documente les défaillances identifiées, les analyses des effets, les évaluations de criticité, les actions préventives et correctives définies [15].

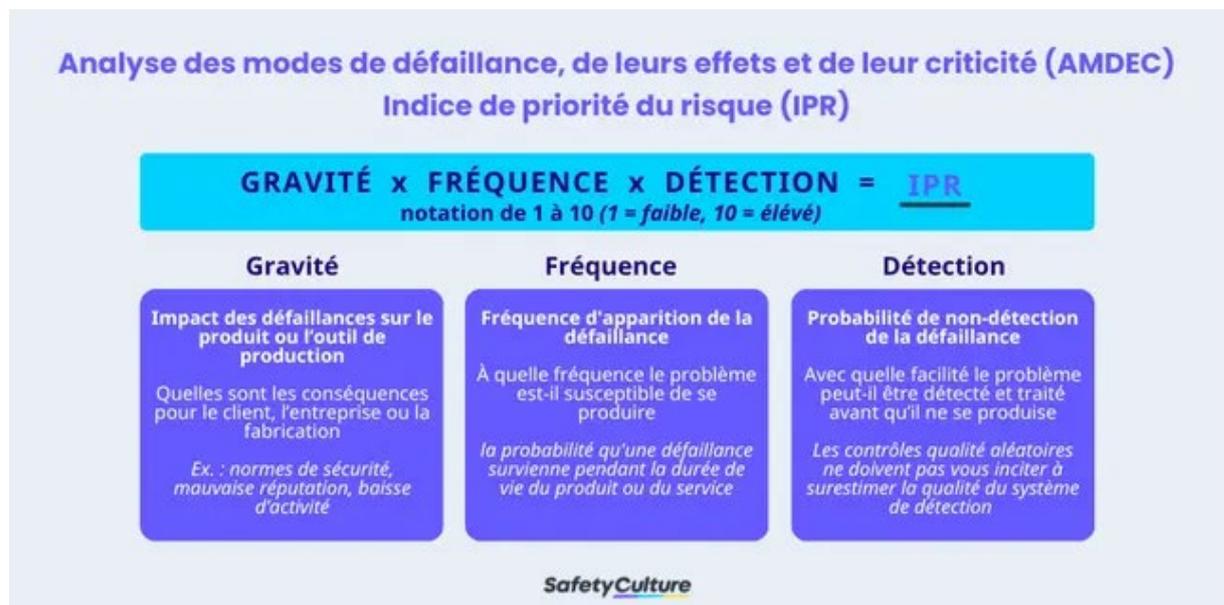


Figure II.13. Indice de priorité du risque (IPR) [16]

II.2.6.2. Avantages de l'AMDEC

L'AMDEC offre de nombreux avantages pour la fiabilité et la sécurité des systèmes :

- **Identification précoce des défaillances** : L'AMDEC permet d'identifier les défaillances potentielles dès les phases de conception, évitant ainsi des problèmes coûteux à corriger ultérieurement.

- **Amélioration de la fiabilité des systèmes** : En s'attaquant aux défaillances les plus critiques, l'AMDEC contribue à fiabiliser les systèmes et à réduire le risque de défaillances en service.
- **Réduction des coûts de maintenance** : Une meilleure fiabilité des systèmes se traduit par une réduction des coûts de maintenance et des interventions correctives.
- **Amélioration de la sécurité des personnes et des biens** : L'AMDEC permet de limiter le risque d'accidents et d'incidents liés à des défaillances du système.

II.2.6.3. Limites de l'AMDEC

Comme toute méthode d'analyse, l'AMDEC présente certaines limites :

- **Qualité de l'analyse dépend de l'équipe** : La qualité des résultats de l'AMDEC dépend fortement de la compétence et de l'expérience de l'équipe d'analyse.
- **Limites des données disponibles** : L'estimation de la probabilité d'occurrence des défaillances peut être difficile, surtout en l'absence de données suffisantes.
- **Processus itératif** : L'AMDEC est un processus itératif qui doit être régulièrement mis à jour pour tenir compte des évolutions du système et des nouvelles connaissances sur les défaillances.

II.2.7. Méthode LOPA

L'analyse LOPA (Layer Of Protection Analysis) est une méthode semi-quantitative utilisée pour évaluer l'efficacité des barrières de sécurité mises en place pour prévenir les accidents de procédé dans l'industrie chimique et d'autres secteurs à risques [17].

II.2.7.1. Objectifs de l'analyse LOPA

L'analyse LOPA vise à répondre à des questions clés telles que :

- Les barrières de sécurité existantes sont-elles suffisantes pour réduire le risque à un niveau acceptable ?
- Combien de barrières indépendantes sont nécessaires pour atteindre un niveau de sécurité adéquat ?
- Quelle est la contribution individuelle de chaque barrière à la réduction du risque ?

II.2.7.2. Fonctionnement de l'analyse LOPA

L'analyse LOPA se déroule généralement en plusieurs étapes :

1. **Définition du scénario d'accident** : L'équipe d'analyse identifie un scénario d'accident potentiel, en tenant compte des dangers et des événements initiateurs (défaillances d'équipements, erreurs humaines, etc.).
2. **Identification des barrières de sécurité existantes** : Toutes les barrières de sécurité en place qui contribuent à prévenir ou à atténuer l'accident sont identifiées. Ces barrières peuvent être techniques (alarmes, dispositifs de sécurité), organisationnelles (procédures de travail) ou humaines (compétences du personnel).
3. **Évaluation de l'efficacité de chaque barrière** : Pour chaque barrière identifiée, on évalue son taux de défaillance sur demande (PFD), qui représente la probabilité qu'elle ne parvienne pas à remplir sa fonction de sécurité lors d'un événement initiateur.
4. **Calcul du niveau de risque sans barrières** : On estime la fréquence attendue de l'événement initiateur et la gravité des conséquences potentielles de l'accident si aucune barrière n'était présente.
5. **Calcul du niveau de risque résiduel** : En tenant compte de l'efficacité des barrières (PFD), on calcule le niveau de risque résiduel, c'est-à-dire la fréquence attendue et la gravité des conséquences de l'accident après prise en compte des barrières de sécurité [17].

II.2.7.3. Avantages de l'analyse LOPA

L'analyse LOPA présente des avantages significatifs pour la gestion des risques de procédé :

- **Méthode simple et flexible** : LOPA est une méthode relativement simple à mettre en œuvre et peut être adaptée à une large gamme de scénarios d'accident.
- **Évaluation de l'efficacité des barrières** : LOPA permet d'évaluer l'efficacité individuelle et collective des barrières de sécurité existantes.
- **Prise de décision éclairée** : L'analyse LOPA aide à identifier les points faibles dans la stratégie de sécurité et à prendre des décisions éclairées pour améliorer la protection contre les accidents.
- **Optimisation des ressources** : LOPA permet d'optimiser l'allocation des ressources pour la sécurité en se concentrant sur les barrières qui présentent le plus grand impact sur la réduction du risque.

II.2.7.4. Limites de l'analyse LOPA

LOPA a également certaines limites à prendre en compte :

- **Méthode semi-quantitative** : L'analyse LOPA repose sur des estimations et des jugements d'experts, ce qui peut conduire à des variations dans les résultats.
- **Dépendance de l'équipe d'analyse** : La qualité des résultats de l'analyse LOPA dépend fortement de la compétence et de l'expérience de l'équipe d'analyse.
- **Difficulté pour les systèmes complexes** : L'analyse de scénarios d'accident impliquant des systèmes complexes peut être difficile et exige une attention particulière.

II.2.8. Méthode QRA

Le Quantitative Risk Assessment (QRA), également appelé Évaluation Quantitative des Risques (EQR) en français, est une méthodologie formelle et systématique qui vise à estimer de manière quantitative la probabilité d'occurrence et les conséquences potentielles d'événements indésirables [18].

II.2.8.1. Applications du QRA

Le QRA trouve son application dans de nombreux domaines, notamment :

- Industries à haut risque (chimie, nucléaire, pétrochimie) pour évaluer les risques d'accidents majeurs et optimiser les mesures de sécurité.
- Industries de production pour analyser les risques liés aux défaillances d'équipements et assurer la continuité de l'activité.
- Infrastructures critiques (ponts, barrages) pour garantir leur fiabilité et leur résistance aux aléas naturels.
- Développement de nouveaux produits pour identifier les dangers potentiels et prendre des mesures préventives dès la conception.

II.2.8.2. Fonctionnement du QRA

Le QRA se déroule généralement en plusieurs étapes clés :

1. **Identification des dangers** : Tous les dangers potentiels associés au système étudié sont identifiés, en tenant compte des facteurs techniques, humains et organisationnels.
2. **Analyse des scénarios d'accident** : Différents scénarios d'accident possibles sont développés, en analysant les causes initiales et les séquences d'événements qui pourraient conduire à un accident.

3. **Analyse des fréquences d'occurrence** : Pour chaque scénario d'accident, on utilise des méthodes statistiques et des données historiques pour estimer la probabilité qu'il se produise.
4. **Analyse des conséquences** : Les conséquences potentielles de chaque accident sont évaluées en termes de dommages matériels, humains et environnementaux. Des modèles informatiques sophistiqués peuvent être utilisés pour simuler les effets d'un accident.
5. **Calcul du risque** : Le risque associé à chaque scénario d'accident est calculé en multipliant la probabilité d'occurrence par la gravité des conséquences.
6. **Évaluation du risque global** : L'ensemble des risques identifiés et calculés est analysé pour évaluer le risque global associé au système étudié.
7. **Prise de décision** : Sur la base des résultats du QRA, des décisions sont prises pour réduire le risque à un niveau acceptable. Cela peut impliquer la mise en œuvre de mesures de prévention et de mitigation supplémentaires [18].

II.2.8.3. Avantages du QRA

Le QRA présente des avantages indéniables pour la gestion des risques :

- **Objectivité et quantification** : Le QRA permet d'obtenir une estimation objective et chiffrée du risque, facilitant la prise de décision basée sur des données tangibles.
- **Comparaison des risques** : Le QRA permet de comparer les risques associés à différents scénarios d'accident et de prioriser les actions correctives.
- **Optimisation des ressources** : Le QRA permet d'allouer les ressources de manière plus efficace pour la gestion des risques, en se concentrant sur les dangers qui présentent le risque le plus élevé.
- **Amélioration de la communication** : Le QRA facilite la communication sur les risques auprès des différentes parties prenantes (direction, personnel, autorités) en utilisant un langage commun et des données chiffrées.

II.2.8.4. Limites du QRA

Malgré ses avantages, le QRA a également des limites à considérer :

- **Coût et complexité** : La réalisation d'un QRA complet peut être coûteuse et exige une expertise technique importante.
- **Disponibilité des données** : L'analyse des fréquences d'occurrence nécessite des données historiques fiables, qui peuvent ne pas toujours être disponibles.

- **Incertitude des modèles** : Les modèles informatiques utilisés pour simuler les conséquences d'un accident comportent une part d'incertitude.
- **Difficulté pour les systèmes complexes** : L'analyse des risques pour les systèmes complexes et interdépendants peut être particulièrement difficile.

II.2.9. Méthode HAZOP

HAZOP est l'acronyme de "Hazard and Operability Study". C'est une méthode d'analyse des risques processuelle utilisée pour identifier et évaluer les dangers potentiels liés à l'exploitation d'une installation industrielle. Elle se base sur l'examen systématique de chaque élément du process et l'application de mots-clés pour dévier des conditions normales d'opération et explorer les conséquences possibles [19].

II.2.9.1. Historique

L'analyse HAZOP a été formalisée en tant que technique d'analyse par l'Institute of Chemical Industry (ICI) au Royaume-Uni au début des années 1970 pour évaluer les risques de sécurité dans les usines de traitement chimique. L'analyse HAZOP a été développée et améliorée par la suite et des logiciels commerciaux sont disponibles pour faciliter le processus d'analyse HAZOP.

Bien que la technique d'analyse HAZOP ait été initialement développée et utilisée uniquement par ICI, elle est devenue plus largement utilisée dans l'industrie chimique après la catastrophe de Flixborough, au cours de laquelle l'explosion d'une usine chimique a tué 28 personnes, dont beaucoup étaient des résidents vivant à proximité. Grâce à l'échange général d'idées et de personnel, la méthodologie a ensuite été adoptée par l'industrie pétrolière, qui présente un potentiel similaire de catastrophes majeures. Les industries de l'alimentation et de l'eau ont suivi, où les risques potentiels sont aussi importants, mais d'une nature différente, les préoccupations étant davantage liées à la contamination qu'aux explosions ou aux rejets de produits chimiques [19].

II.2.9.2. Types de HAZOP

- HAZOP de processus :

La technique HAZOP a été développée à l'origine pour évaluer les installations et les systèmes de production.

- HAZOP humain :

Une "famille" de HAZOPs spécialisés. Plus axée sur les erreurs humaines que sur les défaillances techniques.

- Procédure HAZOP :

Examen des procédures ou des séquences opérationnelles Parfois appelé SAFOP – SAFE
Operation Study (étude des opérations SAFE)

- HAZOP logiciel :

Identification des erreurs possibles dans le développement d'un logiciel [20].

II.2.9.3. Objectif de la méthode HAZOP

- Identifier tous les écarts par rapport à la manière dont un système est censé fonctionner, leurs causes et tous les dangers et problèmes d'opérabilité associés à ces écarts.
- Décider si des actions sont nécessaires pour maîtriser les dangers et/ou les problèmes d'exploitabilité et, dans l'affirmative, identifier les moyens de résoudre les problèmes.
- Identifier les cas où une décision ne peut être prise immédiatement et décider des informations ou des actions nécessaires.
- Veiller à ce que les actions décidées fassent l'objet d'un suivi.
- Sensibiliser l'opérateur aux dangers et aux problèmes d'opérabilité [20].

II.2.9.4. Principe

1. Décomposer le process en nœuds (sections homogènes).
2. Pour chaque nœud, identifier les paramètres clés et leurs valeurs nominales.
3. Appliquer des mots-clés pour dévier des conditions nominales (e.g. "plus de", "moins de", "pas de").
4. Pour chaque déviation, identifier les causes possibles, les conséquences et les mesures de protection existantes.
5. Evaluer le risque et proposer des actions d'amélioration si nécessaire [21].

II.2.9.5. Etapes de la méthode HAZOP

1. Préparation :

- Définir le périmètre de l'étude et constituer l'équipe HAZOP.
- Collecter les informations nécessaires (e.g. P&ID, description du process).

Les informations suivantes doivent être disponibles pour servir de base à l'étude HAZOP

:

- ✓ Diagrammes de flux de processus
- ✓ Diagrammes de tuyauterie et d'instrumentation (P&ID)
- ✓ Diagrammes d'implantation
- ✓ Fiches de données de sécurité
- ✓ Instructions d'exploitation provisoires

- ✓ Bilans thermiques et de matières
- ✓ Fiches techniques des équipements procédures de démarrage et d'arrêt d'urgence [22]

2. Déroulement de l'étude HAZOP :

- Analyser chaque nœud du process en utilisant les mots-clés.
- Identifier les déviations, causes, conséquences et mesures de protection.
- Evaluer le risque et proposer des actions d'amélioration.

3. Documentation :

- Rédiger un rapport HAZOP documentant les résultats de l'étude.
- Suivi et mise en œuvre des actions d'amélioration.

II.2.9.6. Déroulement d'une étude HAZOP

Une étude HAZOP est généralement réalisée par une équipe pluridisciplinaire composée d'experts dans différents domaines, tels que l'ingénierie, la chimie et la sécurité. L'étude se déroule en plusieurs étapes :

1. Découpage du système en sections (par exemple, réacteur, stockage)

On commence par diviser le système en sections plus petites et gérables. Ces sections peuvent être des équipements individuels (par exemple, pompe, réservoir), des pipelines ou des zones fonctionnelles (par exemple, alimentation en matières premières, réaction, distillation).

2. Choix d'un nœud d'étude (par exemple, conduite, cuve, pompe, instruction d'exploitation)

À l'intérieur de chaque section, on sélectionne un nœud d'étude spécifique. Il peut s'agir d'un équipement (par exemple, pompe), d'un pipeline, d'un instrument ou d'une étape d'une procédure d'exploitation.

3. Description de l'intention de conception (ce que le nœud d'étude est censé faire)

On définit clairement l'objectif du nœud d'étude dans le processus global. Par exemple, l'intention de conception d'une pompe pourrait être de transférer un liquide à un débit et une pression spécifiques.

4. Sélection d'un paramètre de procédé (par exemple, débit, pression, température)

On choisit un paramètre de procédé pertinent pour le nœud d'étude. Ce paramètre peut être le débit, la pression, la température, le niveau de liquide, etc.

5. Application d'un mot-guide

On applique un mot-guide standard pour identifier les déviations possibles du paramètre de procédé par rapport à son intention de conception. Voici quelques exemples de mots-guides :

- **Pas** : Le paramètre est absent.
- **Moins** : Le paramètre est inférieur à la valeur attendue.
- **Plus** : Le paramètre est supérieur à la valeur attendue.
- **Avant** : Le paramètre se produit avant le moment prévu.
- **Après** : Le paramètre se produit après le moment prévu.
- **Comme autre chose** : Le paramètre est incorrect qualitativement.

6. Détermination des causes

Pour chaque combinaison de mot-guide et paramètre de procédé, on réfléchit aux causes possibles de la déviation. Ces causes peuvent être des défaillances d'équipement, des erreurs humaines, des variations de matières premières, etc.

7. Évaluation des conséquences/problèmes

On analyse ensuite les conséquences potentielles de la déviation sur la sécurité, la santé, l'environnement, la qualité du produit, la production et les coûts.

8. Recommandation d'action : Quoi ? Quand ? Qui ?

Sur la base de l'évaluation des risques, on propose des actions correctives pour prévenir ou atténuer les déviations et leurs conséquences. Ces actions peuvent inclure des modifications de conception, des systèmes d'alarme, des procédures d'exploitation améliorées, une formation supplémentaire du personnel, etc.

9. Enregistrement des informations

Toutes les informations relatives au HAZOP, y compris le système divisé en sections, les nœuds d'étude, les paramètres de procédé, les mots-guides, les causes, les conséquences et les actions recommandées, doivent être documentées de manière claire et concise.

10. Répétition de la procédure (à partir de l'étape 2)

On répète les étapes 2 à 9 pour chaque nœud d'étude dans chaque section du système.

En suivant ces étapes systématiquement, le HAZOP permet d'identifier les dangers et les problèmes d'exploitabilité potentiels et de mettre en place des mesures correctives pour assurer un fonctionnement sûr et efficace du système [22].

II.2.9.7. Mots-clés ou mots guides

1. Déviations de paramètres :

Tableau II.4. Mots-clés fondamentaux et leur signification dans l'analyse HAZOP [22]

Signification du mot	Guide
Non (pas, aucun)	Aucune des intentions de conception n'est atteinte
Plus (plus, plus haut)	Augmentation quantitative d'un paramètre
Moins (moins de, plus bas)	Diminution quantitative d'un paramètre
Ainsi que (plus que)	Une activité supplémentaire se produit
Partie de	Seule une partie de l'intention de conception est réalisée
Inverse	L'opposé logique de l'intention de conception se produit
Autre que (autre)	Remplacement complet
Où d'autre	Applicable aux flux, transferts, sources et destinations
Avant après	L'étape est hors séquence
Tôt/tard	Le timing est différent
Plus rapide/plus lent	L'étape est faite/pas faite au bon timing

2. Déviations d'état :

- Début : Démarrage d'un process ou d'une opération.
- Arrêt : Arrêt d'un process ou d'une opération.
- Attente : Interruption temporaire d'un process ou d'une opération.
- Transition : Changement de mode de fonctionnement (e.g. montée en puissance, arrêt d'urgence) [22].

3. Déviations d'équipement :

- Défaillance : Dysfonctionnement d'un équipement.
- Mauvais fonctionnement : Fonctionnement incorrect d'un équipement.
- Déviation : Écart par rapport au fonctionnement normal d'un équipement.
- Interaction : Interférence entre deux équipements ou plus [22].

4. Conséquences :

- Dommages : Dégradation d'un équipement ou d'une installation.
- Blessures : Atteintes corporelles.
- Pollution : Contamination de l'environnement.
- Pertes économiques : Interruption de la production, coûts de réparation [22].

II.2.9.8. Paramètres de fonctionnement

Lors de l'analyse de la sécurité d'une installation, il est crucial de sélectionner les paramètres de fonctionnement qui peuvent avoir une incidence sur la sécurité.

- Débit • Composition • pH • Pression • Ajout • Séquence • Température • Séparation • Signal
- Mélange • Temps • Démarrage/arrêt • Agitation • Phase • Fonctionnement • Transfert
- Vitesse • Maintenance • Niveau • Granulométrie • Utilités • Viscosité • Mesure
- Communication • Réaction • Contrôle [22]

Quelques exemples de combinaisons de mots-guides et de paramètres :

Mot-guide + Paramètre → Déviation

- **PAS D'ÉCOULEMENT**

Mauvais chemin d'écoulement - blocage - plaque de glissement incorrecte - vanne de retour mal fermée - rupture de conduite - fuite importante - défaillance de l'équipement - pression différentielle incorrecte - isolation erronée.

- **PLUS DE DÉBIT**

Augmentation de la capacité de pompage - augmentation de la pression d'aspiration - réduction de la hauteur de refoulement - augmentation de la densité du fluide - fuites des tubes de l'échangeur - connexion croisée des systèmes - défauts de contrôle [20].

II.2.9.9. Avantages et inconvénients

- ✓ **Avantages :**

- Méthode systématique et rigoureuse.
- Permet d'identifier un large éventail de dangers potentiels.
- Favorise la réflexion collective et l'apprentissage.
- Améliore la sécurité et la fiabilité du process.
- Étude multidisciplinaire.
- Utilise l'expérience opérationnelle.
- Couvre les aspects de sécurité et les aspects opérationnels.
- Des solutions aux problèmes identifiés peuvent être indiquées.
- Prend en compte les procédures opérationnelles.

- Couvre les erreurs humaines [20]
- ✓ **Inconvénients :**
 - Méthode peut être fastidieuse et chronophage.
 - Nécessite une équipe compétente et expérimentée.
 - Difficulté à identifier les défaillances rares ou complexes.

II.2.9.10. Applications de HAZOP

A l'origine, l'étude HAZOP était une technique développée pour les systèmes impliquant le traitement d'un fluide ou autre flux de matière dans les industries de transformation. De nos jours, il s'agit d'un élément clé pour la gestion de la sécurité des processus. Cependant, son domaine d'application n'a cessé de s'étendre au cours des dernières années, et la technique HAZOP s'applique aujourd'hui, par exemple :

- aux applications logicielles, y compris les systèmes électroniques programmables ;
- aux systèmes assurant le déplacement des personnes par différents modes, tels que le transport routier, ferroviaire et aérien ;
- à l'examen de différentes séquences et procédures d'exploitation ;
- à l'évaluation des procédures administratives dans différentes industries ;
- à l'évaluation de systèmes spécifiques, par exemple les dispositifs médicaux ;
- au développement de logiciels et de codes ;
- à l'évaluation des modifications organisationnelles proposées et à la définition des mécanismes permettant de les réaliser ;
- à l'essai et à l'amélioration des projets de contrats et d'autres documents juridiques ;
- à l'essai et à l'amélioration des documents, notamment des instructions et procédures pour les activités critiques [22].

Tableau II.5. Tableau HAZOP [22]

No.	Mot guide	Paramètre	Déviaton	Causes possibles	Conséquences	Sauvegardes	Commentaires	Actions requises

II.3. Choix de la méthode d'analyse des risques appropriée

II.3.1. Introduction

Le choix de la méthode d'analyse des risques appropriée est crucial pour la sécurité et l'efficacité d'une installation industrielle. Chaque méthode présente des avantages et des inconvénients spécifiques, et la sélection de la méthode la plus adaptée dépend de plusieurs

facteurs, tels que la complexité de l'installation, les types de risques potentiels, les ressources disponibles et les exigences réglementaires.

II.3.2. Critères de choix de la méthode d'analyse des risques

Le choix de la méthode d'analyse des risques la plus appropriée pour une installation industrielle doit s'appuyer sur une évaluation des critères suivants :

- **La complexité de l'installation** : Les méthodes qualitatives comme l'HAZOP et l'APR sont généralement plus adaptées aux installations simples, tandis que les méthodes quantitatives comme la LOPA et la QRA sont mieux adaptées aux installations complexes.
- **Les types de risques potentiels** : L'HAZOP est particulièrement utile pour identifier les dangers liés aux déviations des conditions de fonctionnement normales, tandis que l'AMDEC est mieux adaptée pour l'analyse de défaillances de composants.
- **Les ressources disponibles** : Les méthodes qualitatives nécessitent généralement moins de ressources en temps et en personnel que les méthodes quantitatives.
- **Les exigences réglementaires** : Certaines réglementations peuvent exiger l'utilisation de méthodes spécifiques d'analyse des risques.

II.3.3. Comparaison des méthodes d'analyse des risques

Tableau II.6. Comparaison des méthodes d'analyse des risques

Méthode	Description	Avantages	Inconvénients
HAZOP	Analyse qualitative des dangers liés aux déviations des conditions de fonctionnement normales	Permet d'identifier une large gamme de dangers potentiels	Nécessite une expertise et une connaissance approfondie de l'installation
HAZID	Identification qualitative des dangers potentiels	Simple et rapide à mettre en œuvre	Ne fournit pas d'analyse approfondie des dangers
AMDEC	Analyse qualitative et quantitative des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité	Permet de prioriser les risques et de cibler les actions de prévention	Peut être longue et fastidieuse à mettre en œuvre
ADR	Analyse documentaire des risques	Utile pour les installations existantes ou pour des projets où l'accès direct à l'installation est limité	Ne permet pas d'identifier tous les dangers potentiels

II.4. Pourquoi la méthode HAZOP est particulièrement adaptée aux installations industrielles ?

La méthode HAZOP (Hazard and Operability Study) s'impose comme un outil particulièrement adapté aux installations industrielles en raison de ses caractéristiques uniques qui correspondent aux exigences spécifiques de ce type d'environnement. Parmi les avantages majeurs de l'HAZOP pour les installations industrielles, on peut citer :

- **Approche systématique et structurée** : L'HAZOP suit une méthodologie rigoureuse et structurée, décomposant l'installation en éléments et paramètres clés, permettant une analyse approfondie et exhaustive des risques potentiels.
- **Flexibilité et adaptabilité** : La méthode HAZOP s'adapte aisément à la complexité et à la diversité des installations industrielles, pouvant être appliquée à des systèmes de production variés, des raffineries aux centrales électriques.
- **Focalisation sur les déviations** : L'HAZOP se concentre sur les déviations par rapport aux conditions normales de fonctionnement, permettant d'identifier des risques souvent négligés par d'autres approches.
- **Participation multidisciplinaire** : L'HAZOP encourage la participation d'experts de divers domaines, favorisant une analyse pluridisciplinaire et une compréhension plus complète des risques.
- **Identification précoce des risques** : L'HAZOP permet d'identifier les risques potentiels dès les phases de conception et d'ingénierie, réduisant ainsi les coûts de modification ultérieurs et améliorant la sécurité globale de l'installation.
- **Promotion d'une culture de la sécurité** : L'HAZOP favorise une culture de la sécurité en encourageant le dialogue ouvert et la réflexion critique sur les risques potentiels.
- **Outil d'amélioration continue** : L'HAZOP peut être utilisée de manière récurrente pour évaluer et améliorer continuellement la gestion des risques dans les installations industrielles.

En plus de ces avantages, la méthode HAZOP s'avère particulièrement utile pour les installations industrielles en raison de sa capacité à :

- ✓ Gérer les incertitudes et les imprévus inhérents aux environnements industriels complexes.
- ✓ Prendre en compte les interactions entre les différents éléments d'une installation industrielle.

- ✓ Identifier les risques liés aux facteurs humains, tels que les erreurs d'exploitation ou les défaillances de communication.
- ✓ Évaluer l'efficacité des mesures de sécurité existantes et identifier des besoins d'amélioration.
- ✓ Contribuer à la conformité aux réglementations et normes de sécurité en vigueur.

Compte tenu de ces atouts, la méthode HAZOP s'impose comme un outil indispensable pour la gestion des risques dans les installations industrielles, permettant d'améliorer la sécurité, la fiabilité et l'efficacité globale des opérations.

II.5. Conclusion

Le choix de la méthode d'analyse des risques la plus appropriée dépend de divers facteurs, tels que la nature du système ou de l'activité, les objectifs de l'analyse, les ressources disponibles et les compétences des analystes. Il n'existe pas de méthode universelle applicable à toutes les situations.

Le chapitre II a présenté un éventail de méthodes d'analyse des risques couramment utilisées, chacune avec ses propres forces et faiblesses. La sélection de la méthode la plus adaptée nécessite une évaluation minutieuse des besoins et des contraintes spécifiques de chaque cas.

Chapitre III : Étude de cas

III.1. Objectif

L'objectif principal de ce projet de fin de cycle est d'identifier les dangers potentiels présents dans l'entreprise ENTPL à Tiaret en appliquant la méthode HAZOP. Cette analyse systématique permettra de déceler les écarts par rapport au fonctionnement normal et aux intentions de conception pouvant mener à des situations accidentelles.

En identifiant ces déviations et leurs conséquences, on pourra mettre en place des actions correctives et des mesures de prévention adaptées afin de minimiser les risques d'accidents et de garantir la sécurité du personnel, la protection de l'environnement et la pérennité de l'entreprise.

III.2. Présentation de l'entreprise ENTPL-unité de Tiaret

III.2.1. Historique

L'Entreprise nationale de transformation des produits longs – ENTPL – est une entreprise publique à caractère économique.

L'ENTPL a été créée en 1983, suite à la restructuration de la société nationale de sidérurgie –SNS-.

L'ENTPL est passée à l'autonomie financière en 1989 suite à la promulgation du décret 88-01, portant autonomie des entreprises publiques.

Les missions allouées à l'ENTPL, lui confèrent la production, la transformation, la recherche, la promotion et la commercialisation des produits longs et dérivés en acier doux.

L'ENTPL a fait l'objet d'une restructuration au plan de l'organisation, avec la création des filiales.

SOTREFIT, filiale de l'ENTPL, a été créée le 30 juin 1998 en tant que société par actions – SPA – avec un capital social de 685.000.000.00 DA [23].

III.2.2. Infrastructure

SOTREFIT dispose du patrimoine immobilier suivant :

- ✓ Superficie totale : 249 400 m²
- ✓ Surface couverte : 56 882 m²

III.2.3. Bordures

- ✓ Est : terrain vague
- ✓ Sud-est : SAPRI
- ✓ Nord : site privé – Sobat-groupe ETB
- ✓ Sud-ouest : terrain agricole

- ✓ Sud : dépôt SIDER

III.2.4. Carte d'identification

- ✓ Origine : Algérienne
- ✓ Raison Sociale : UNITE DE TREFILAGE TIARET
- ✓ Statut juridique : SOCIETE PAR ACTIONS
- ✓ Capital Social : 685,000,000.00 DA
- ✓ Adresse : BP 264, ZONE INDUSTRIELLE ZAAROURA / 14000-TIARET
- ✓ TEL : +213 (46) 22-02-92
- ✓ FAX : +213 (46) 22-02-89
- ✓ E-mail : sotrefit.tiaret@yahoo.com [23]

III.2.5. Equipement

Le potentiel industriel et la plupart des équipements de production ainsi que les installations connexes ont été mis en place avec l'assistance du constructeur DANIELI ENGINEERING et EVG

- ✓ Installation de décapage
- ✓ Machines de tréfilage
- ✓ Fours de recuit
- ✓ Lignes de galvanisation-cuivrage
- ✓ Machines de treillis soudés
- ✓ Machines de panneaux 3D
- ✓ Station de traitement des eaux de rejet
- ✓ Laboratoire qualité
- ✓ Réseaux énergie d'eau
- ✓ Installations d'utilités [23]

III.2.6. Production

III.2.6.1. Matières premières et consommables

Le fil machine de diamètre \emptyset : 06 représente la matière de base pour la fabrication de tous les produits, commercialisés par ENTPL unité de Tiaret.

Le fonctionnement des procédés de fabrication fait appel aux produits consommables suivants :

- ✓ Fil machine
- ✓ Acide sulfurique
- ✓ Acide chlorhydrique

- ✓ Chaux
- ✓ Savon de tréfilage
- ✓ Filières
- ✓ Borax
- ✓ Sel double de fluxage
- ✓ Zinc en lingots
- ✓ Plomb en lingots
- ✓ Sulfate de cuivre
- ✓ Soude caustique
- ✓ Plaque de polystyrène
- ✓ Charbon de bois
- ✓ Fibre céramique
- ✓ Vermiculite [23]



Figure III.14. Photo ENTPL-unité de Tiaret [23]

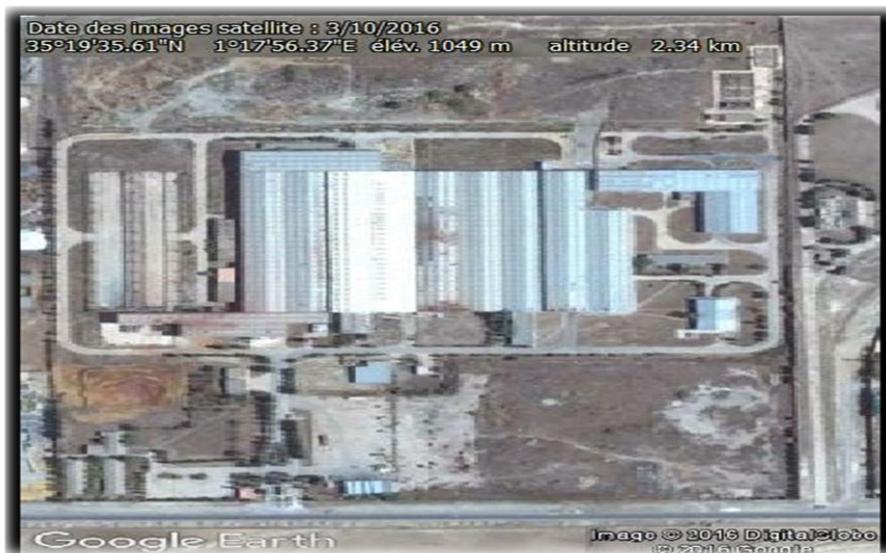


Figure III.15. Image satellite de L'ENTPL Unité de Tiaret [23]



Figure III.16. Plan de Découpage [23]

III.2.6.2. Gamme de production

Tableau III.1. Gamme de production [23]

Produit	Marchés utilisateurs
Les fils recuits : Fil d'attache Fil de bottelage Autres fils recuits	Bâtiment/Travaux publics Agriculture Divers
Les fils galvanisés : Fils galvanisés gros diamètres Fils galvanisés petits diamètres	Industrie grillageurs Divers
Les fils cuivrés : Les fils cuivrés ordinaires Les fils cuivrés pour soudage/CO2	Industrie diverse
Le panneau tridimensionnel	Bâtiment - Infrastructures Divers
Les treillis soudés : Treillis soudés standard Treillis soudés fins	Bâtiment - Infrastructures Divers

III.2.7. Identification du poste de travail

III.2.7.1. Définition

Dans la fabrication du fil, le processus complet comprend trois étapes principales : le décapage, le tréfilage et la galvanisation. Le décapage consiste à nettoyer la surface du fil d'acier brut pour éliminer les oxydes, les contaminants et autres impuretés, afin de préparer une surface lisse pour le tréfilage. Le tréfilage proprement dit fait passer le fil à travers une série de filières de diamètre décroissant, étirant le fil à l'épaisseur souhaitée tout en renforçant sa résistance. Enfin, la galvanisation consiste à appliquer une couche de zinc sur le fil pour le protéger de la corrosion.

III.2.7.2. Les équipements de système

III.2.7.2.1. Installation de décapage

Objectif : L'installation de décapage a pour objectif d'éliminer les oxydes, les contaminants et autres impuretés de la surface du fil métallique avant le tréfilage. Cela permet d'obtenir une surface propre et lisse, essentielle pour un tréfilage homogène et de qualité.

Étapes du processus :

1. **Décapage par bain d'acide :** Le fil métallique est immergé dans une solution d'acide diluée, généralement de l'acide sulfurique ou chlorhydrique. L'acide réagit avec les oxydes et les contaminants présents sur la surface du fil, les dissolvant et les décollant. La durée d'immersion dépend du type de fil, du degré d'encrassement et de la concentration de l'acide.
2. **Rinçage :** Après le décapage, le fil est soigneusement rincé à l'eau claire pour éliminer tout résidu d'acide. Plusieurs rinçages successifs peuvent être nécessaires pour s'assurer que tout l'acide a été éliminé.
3. **Traitement à bain de chaux :** Le fil est ensuite immergé dans un bain de lait de chaux, une solution d'hydroxyde de calcium (chaux éteinte) diluée. Ce traitement permet de neutraliser tout acide résiduel et de passiver la surface du fil, la protégeant contre la corrosion.
4. **Séchage :** Le fil est finalement séché, soit à l'air libre, soit à l'aide d'une source de chaleur douce, avant d'être envoyé à l'étape suivante du processus de fabrication.

III.2.7.2.2. Installation de tréfilage

Objectif : L'installation de tréfilage a pour objectif de réduire le diamètre d'un fil métallique en le faisant passer à travers une série de filières de diamètres décroissants. Ce

processus, appelé tréfilage, permet d'obtenir des fils de différentes épaisseurs et confère au fil sa résistance et ses propriétés mécaniques souhaitées.

Étapes du processus :

1. **Préparation du fil :** Le fil à tréfiler est d'abord déroulé et nettoyé pour éliminer toute saleté ou contaminant qui pourrait affecter le processus de tréfilage.
2. **Entrée dans la filière :** Le fil est guidé vers la première filière, qui est un outil en acier dur avec un trou conique de section légèrement inférieure au diamètre initial du fil.
3. **Étirement du fil :** En passant à travers la filière, le fil est étiré et réduit en diamètre. La force de traction appliquée dépend du type de fil, du diamètre final souhaité et des propriétés mécaniques recherchées.
4. **Lubrification :** Un lubrifiant, généralement à base d'eau ou d'huile, est appliqué sur le fil pour réduire la friction et le protéger de l'usure excessive pendant le tréfilage.
5. **Passage à travers les filières successives :** Le fil passe ensuite à travers une série de filières de diamètres décroissants, chacune réduisant encore davantage son épaisseur. Le nombre de filières et la réduction de diamètre par filière dépendent du diamètre final souhaité et des caractéristiques du fil.
6. **Enroulement du fil :** Le fil tréfilé est finalement enroulé sur une bobine ou un tambour pour faciliter son stockage et son transport.

III.2.7.2.3. Installation de galvanisation

Objectif : L'installation de galvanisation a pour objectif d'appliquer une couche protectrice de zinc sur un fil métallique préalablement tréfilé. Cette couche de zinc protège le fil de la corrosion, prolonge sa durée de vie et améliore sa résistance aux intempéries.

Étapes du processus :

1. **Déroulage du fil tréfilé :** Le fil tréfilé est déroulé d'une bobine et guidé vers l'installation de galvanisation.
2. **Recuit :** Le fil peut subir un recuit, un processus de chauffage et de refroidissement contrôlé, pour adoucir le métal et améliorer sa ductilité avant la galvanisation. Cela facilite l'application d'une couche de zinc uniforme et minimise le risque de fissuration.
3. **Décapage et lavage :** Le fil passe ensuite par une série de bains pour éliminer toute saleté, contaminant ou oxyde restant de la surface du fil. Cela comprend généralement :
 - a. **Bain de refroidissement :** Le fil est plongé dans un bain d'eau froide pour le refroidir après le recuit.

- b. **Bain d'acide** : Le fil est immergé dans une solution d'acide diluée, généralement de l'acide sulfurique ou chlorhydrique, pour éliminer les oxydes et les contaminants.
- c. **Bain de lavage ou rinçage** : Le fil est soigneusement rincé à l'eau claire pour éliminer tout résidu d'acide.
4. **Fluxage** : Le fil est ensuite traité avec un flux, une substance qui favorise l'adhérence du zinc à la surface du fil. Le flux crée une surface propre et exempte d'oxydes, permettant une liaison chimique optimale entre le zinc et le métal.
5. **Séchage** : Le flux est ensuite séché sur le fil, généralement à l'aide d'une source de chaleur douce, pour éliminer toute trace d'humidité qui pourrait nuire à l'adhésion du zinc.
6. **Galvanisation à bain de zinc** : Le fil passe dans un bain de zinc fondu à une température d'environ 450°C. Le zinc réagit avec le fer du fil, créant une couche protectrice de zinc-fer à la surface. L'épaisseur de la couche de zinc dépend de la durée d'immersion dans le bain.
7. **Refroidissement** : Le fil galvanisé est ensuite refroidi rapidement, généralement par immersion dans un bain d'eau froide. Ce refroidissement rapide permet d'obtenir une couche de zinc fine et uniforme avec des propriétés mécaniques optimales.
8. **Roulage du fil** : Le fil galvanisé est finalement séché et enroulé sur une bobine pour faciliter son stockage et son transport.

III.3. Application de la méthode HAZOP

III.3.1. Présentation du logiciel HAZOP Manager/HAZOP+

HAZOP Manager est un outil numérique que les entreprises peuvent utiliser pour effectuer régulièrement leur analyse HAZOP et d'autres examens liés à la sécurité, tels que l'analyse des risques de processus (PHA), les examens d'identification des risques (HAZID) ou l'analyse des modes de défaillance et de leurs effets (FMEA). Avec l'aide de ce programme, vous pouvez identifier les dangers potentiels et les risques opérationnels dus aux défaillances techniques et aux erreurs humaines [24].

Caractéristiques :

- Documentation de tous les rapports d'analyse pour un archivage sûr.
- Rapports HAZOP formatés de manière professionnelle.
- Interface du programme facile à utiliser.
- Accès aux données historiques et nouvelles pour aider à la prise de décision future.

- Base de données des causes qui répertorie les causes typiques des déviations.
- Analyse complète des risques avec matrice de gravité.
- Base de données des taux de défaillance qui aide à prévoir les dysfonctionnements de l'équipement.

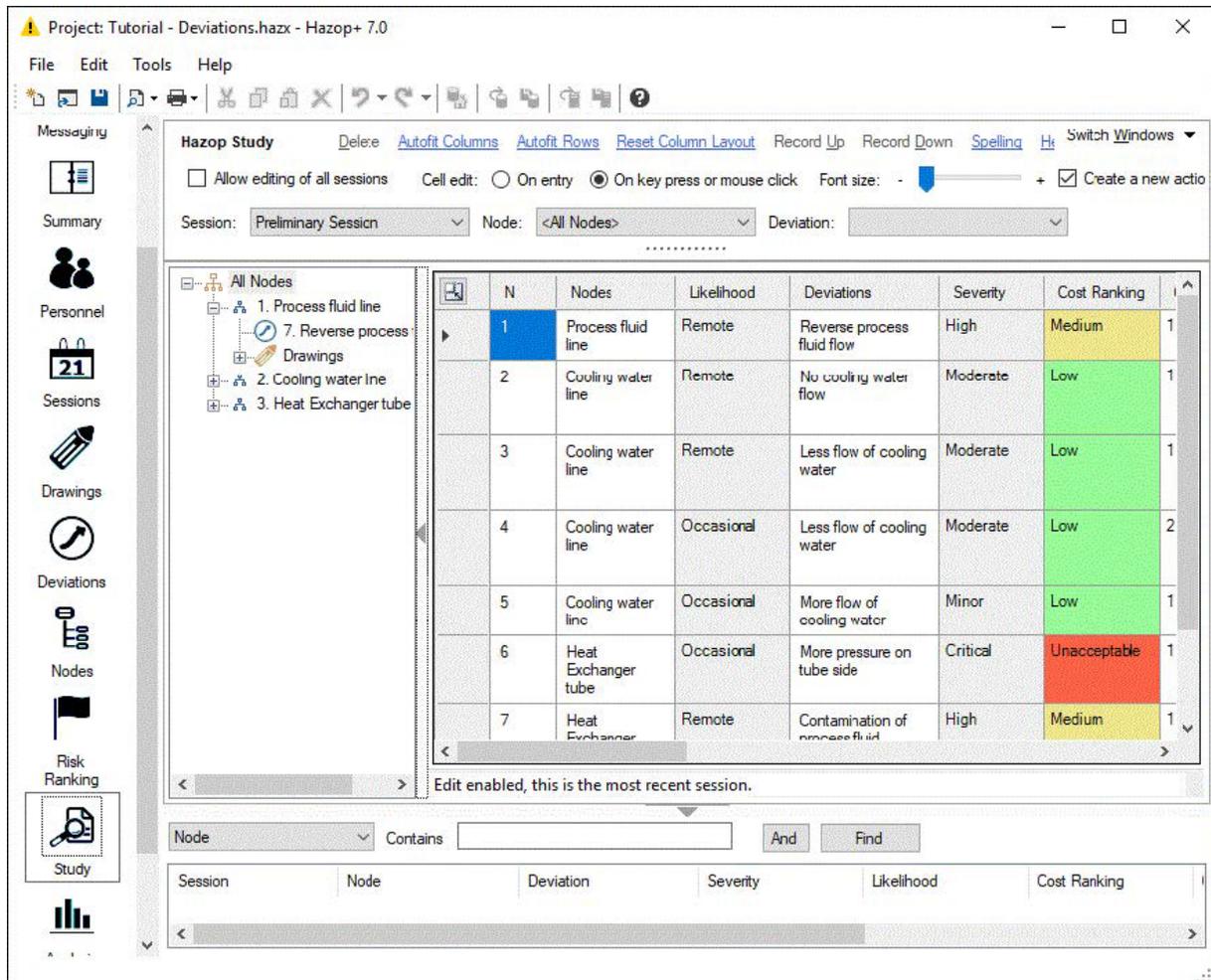


Figure III.17 Interface HAZOP+ [24]

Comme le montre la figure ci-dessus, le programme est divisé en un certain nombre de feuilles de données principales permettant une saisie simple et logique des données. Les feuilles de données principales sont sélectionnées à l'aide de la barre de navigation située sur le côté gauche de la fenêtre principale.

Les principales caractéristiques de Hazop+ peuvent être décrites dans les rubriques suivantes :

1. Personnalisation :

L'utilisateur peut ajouter des champs personnalisés à toutes les feuilles de données principales telles que les entreprises, le personnel et les sessions. En outre, il peut créer des

classements de risques personnalisés et personnaliser les fiches d'étude en ajoutant des champs personnalisés, en sélectionnant les champs visibles et en modifiant l'ordre des colonnes.

2. Feuille de données de l'étude :

Les détails de l'étude HAZOP sont saisis dans la fiche de données de l'étude d'Hazop+. Lorsque des problèmes sont identifiés et ne peuvent être résolus au cours de la session d'étude, des actions peuvent être attribuées à des personnes, qui sont documentées dans la fiche de données d'action d'Hazop+. L'étude HAZOP peut inclure un classement des risques dans lequel la probabilité et les conséquences d'un événement sont liées à une mesure du risque par un tableau de coûts ou de sécurité prédéfini ou créé par l'utilisateur.

3. Concepteur de rapports :

Les fonctions de création de rapports sont fournies par le concepteur de rapports standard d'Isograph. Il permet à l'utilisateur de créer des rapports textuels et graphiques dans un environnement « ce que vous voyez est ce que vous obtenez » (WYSIWYG). L'environnement WYSIWYG permet également à l'utilisateur de modifier la conception des rapports en mode aperçu avant impression.

À tout moment de l'étude HAZOP, Hazop+ peut être utilisé pour afficher sélectivement les informations de l'étude et préparer des rapports personnalisés pour l'impression. Cette fonction puissante offre à l'utilisateur une grande souplesse pour examiner les informations importantes générées au cours d'une étude et en rendre compte. Les rapports principaux pour chaque feuille de données peuvent être trouvés dans le menu Fichier, ou le concepteur de rapports peut être utilisé pour concevoir des rapports personnalisés à tout moment.

III.3.2. Etude d'HAZOP

Il existe un large éventail de formats utilisés pour les tableaux HAZOP, chaque entreprise et chaque secteur ayant ses propres préférences. Pour cette étude de cas, nous suivons le format de tableau recommandé dans la norme IEC 61882:2016 (**Tableau II.5**). Ce format garantit la cohérence et la clarté de la présentation de l'analyse HAZOP, ce qui facilite la compréhension et la mise en œuvre des mesures de protection et des actions identifiées.

Tableau III.2. Tableau HAZOP de l'installation décapage

No.	Mot guide	Paramètre	Déviaton	Causes possibles	Conséquences	Sauvegardes	Commentaires	Actions requises
1	Plus	Pression	1. Augmentation	1. Défaillance de la pompe 2. Obstruction des vannes	1. Rupture du bac 2. Projections d'acide	1. Soupape de sécurité 2. Système de contrôle de la pression	Renforcer les parois du bac, utiliser des matériaux résistants à la corrosion	Installation de soupapes de sécurité
								Mise en place d'un système de contrôle de la pression avec alarme
2	Moins	Pression	1. Diminution	1. Fuite 2. Perte d'étanchéité	1. Défaillance du processus 2. Augmentation du temps de traitement	1. Système de détection de fuite 2. Bac de rétention	Utiliser des joints d'étanchéité de qualité, effectuer des contrôles périodiques de l'étanchéité du bac	Inspection régulière du bac et des raccords
								Installation d'un système de détection de fuite avec alarme
3	Moins	Pression	1. Perte	3. Coupure d'alimentation 4. Défaillance du système de ventilation	1. Arrêt du processus 2. Risque d'asphyxie	3. Générateur de secours 4. Système de ventilation de secours	Effectuer des maintenances préventives régulières sur le système électrique et de ventilation	Installation d'un générateur de secours
								Mise en place d'un système de ventilation de secours avec alarme
4	Plus	Température	1. Augmentation	1. Défaillance du système de chauffage 2. Réaction exothermique	1. Dégradation de la qualité du décapage 2. Risque d'incendie	1. Système de contrôle de la température 2. Système d'extinction automatique	Utiliser des produits chimiques stables à haute température, mettre en place des procédures de refroidissement en cas d'urgence	Installation d'un système de contrôle de la température avec alarme
								Mise en place d'un système d'extinction automatique
5	Plus	Température	1. Dépassement des limites	3. Erreur de réglage 4. Défaillance du système de contrôle	1. Dégradation de la qualité du décapage 2. Dégradation des fils machine	3. Système de contrôle de la température redondant 4. Alarme de dépassement de température	Utiliser des instruments de mesure précis et fiables	Mise en place de procédures de calibrage régulières
								Installation d'un système de contrôle de la température redondant avec alarme

6	Moins	Température	1. Diminution	1. Température ambiante basse	1. Ralentissement du processus	1. Isolation thermique du bac	Utiliser des produits chimiques moins sensibles aux basses températures	Renforcer l'isolation thermique du bac
				2. Défaillance du système de chauffage	2. Augmentation du temps de traitement	2. Système de chauffage d'appoint		Installer un système de chauffage d'appoint avec thermostat
7	Plus	Concentration	1. Augmentation	1. Erreur de dosage	1. Dégradation de la qualité du décapage	1. Système de dosage automatisé	Utiliser des produits chimiques de qualité contrôlée, mettre en place des procédures de nettoyage régulières du bac	Mise en place d'un programme d'analyse régulière du bain
				2. Contamination du bain	2. Risque de corrosion des fils machine	2. Analyse régulière du bain		Installation d'un système de dosage automatisé avec contrôle de précision
8	Moins	Concentration	1. Diminution	1. Dilution excessive	1. Inefficacité du décapage	1. Système de contrôle de la concentration	Utiliser des produits chimiques de qualité contrôlée, mettre en place des procédures de dosage précises	Installation d'un système de contrôle de la concentration avec alarme
				2. Fuite	2. Augmentation du temps de traitement	2. Alarme de sous-concentration		Mise en place de procédures de contrôle régulières
9	Inverse	Concentration	1. Erreur de dosage	1. Erreur humaine	1. Dégradation de la qualité du décapage	1. Formation du personnel	Utiliser des systèmes de dosage automatisés avec redondance	Mettre en place des procédures de contrôle strictes avec vérification par un opérateur qualifié
				2. Défaillance du système de dosage	2. Risque de corrosion des fils machine	2. Procédures de contrôle strictes		Renforcer la formation du personnel sur les procédures de dosage
10	Pas	Débit	1. Interruption	1. Coupure d'alimentation	1. Arrêt du processus	1. Système d'alimentation de secours (générateur)	Effectuer des maintenances préventives régulières sur le système d'alimentation et de commande	Mettre en place un système de commande redondant avec basculement automatique
				2. Défaillance du système de commande	2. Perte de production	2. Système de commande redondant		Installer un système d'alimentation de secours (générateur) pour assurer la continuité du fonctionnement du bain d'acide
11	Plus	Débit	1. Augmentation	1. Défaillance de la pompe	1. Débordement du bac	1. Soupape de décharge	Utiliser des pompes et des canalisations de taille adéquate, effectuer des maintenances préventives régulières	Installation d'une soupape de décharge avec alarme
				2. Surpression dans le système	2. Projections d'acide	2. Système de régulation du débit		Mise en place d'un système de régulation du débit avec contrôle de la pression

12	Moins	Débit	1. Diminution	1. Obstruction des vannes	1. Ralentissement du processus	1. Système de détection d'obstruction	Utiliser des vannes et des raccords de qualité, effectuer des contrôles périodiques de l'étanchéité	Installation d'un système de détection d'obstruction avec alarme
				2. Fuite	2. Augmentation du temps de traitement	2. Bac de rétention		Utilisation d'un bac de rétention
13	Plus	Niveau	1. Augmentation	1. Défaillance de la vanne de remplissage	1. Débordement du bac	1. Système de trop-plein	Effectuer des maintenances préventives régulières sur les vannes, contrôler régulièrement le bon fonctionnement du système de vidange	Installation d'un système de trop-plein
				2. Obstruction de la vidange	2. Projections d'acide	2. Alarme de niveau haut		Mise en place d'une alarme de niveau haut avec arrêt automatique du remplissage
14	Moins	Niveau	1. Diminution	1. Fuite	1. Inefficacité du décapage	1. Système de détection de fuite	Utiliser des matériaux résistants à la corrosion pour le bac, mettre en place des procédures de contrôle régulières du niveau	Installation d'un système de détection de fuite avec alarme
				2. Siphonage accidentel	2. Exposition des fils	2. Bac de rétention		Utilisation d'un bac de rétention
15	Autre que	Niveau	1. Fuite	1. Défaillance du bac	1. Pollution de l'environnement	1. Bac de rétention	Sélectionner des matériaux résistants à la corrosion pour le bac, effectuer des inspections régulières du bac et des joints	Installer un bac de rétention étanche et de capacité suffisante pour contenir le volume total du bain d'acide
				2. Jointure défectueuse	2. Risque d'accident	2. Système de détection de fuite		Mettre en place un système de détection de fuite avec alarme et arrêt automatique de l'alimentation
16	Partie de	Composition	1. Dégradation des produits chimiques	1. Vieillessement	1. Inefficacité du décapage	1. Analyse régulière du bain	Utiliser des produits chimiques stabilisés, stocker l'acide dans des conditions appropriées	Éliminer les déchets conformément à la réglementation
				2. Température excessive	2. Formation de sous-produits dangereux	2. Renouvellement périodique de l'acide		Etablir un plan de renouvellement périodique de l'acide en fonction de son utilisation et des analyses

17	Plus	Composition	1. Présence de contaminants	1. Transfert d'autres produits chimiques	1. Dégradation de la qualité du décapage	1. Analyse régulière du bain	Stocker les produits chimiques séparément, respecter les protocoles de nettoyage du bac	Mettre en place un programme d'analyses régulières du bain pour identifier les contaminants
				2. Dégradation de l'acide	2. Risque de réactions dangereuses	2. Procédures de filtrage		Utiliser des systèmes de filtration adaptés
18	Pas	Procédure	1. Erreur humaine 2. Non-respect des procédures	1. Manque de formation	1. Défaillance du processus 2. Gaspillage de produits chimiques 3. Risque d'accident	1. Formation du personnel 2. Procédures claires et concises 3. Permis de travail 4. Supervision du travail	Mettre en place des systèmes de contrôle automatisés pour les étapes critiques, Mettre en place un système de rapportage des incidents et des quasi-accidents	Instaurer un système de permis de travail pour les opérations critiques
				2. Inattention				Mettre en place des procédures claires et concises avec des aides visuelles si nécessaire
				3. Négligence				Renforcer la formation du personnel sur les procédures de fonctionnement du bain d'acide
				4. Prise de risque				Assurer une supervision rapprochée du travail par un personnel qualifié
19	Partie de	Équipement	1. Défaillance	1. Usure normale	1. Arrêt du processus 2. Pollution de l'environnement	1. Programme de maintenance préventive (PMP) 2. Pièces de rechange	Sélectionner des équipements de qualité industrielle et adaptés à l'usage, réaliser des inspections régulières	Etablir un programme de maintenance préventive (PMP) pour les équipements du bain d'acide
				2. Défaut de fabrication				Stocker les pièces de rechange critiques
20	Partie de	Équipement	1. Usure	3. Vieillessement	1. Dégradation de la performance 2. Fuite	3. Inspections régulières 4. Remplacement préventif	Utiliser des matériaux résistants à la corrosion pour les parties critiques de l'installation	Prévoir le remplacement des équipements avant défaillance
				4. Corrosion				Mettre en place un programme d'inspections régulières pour détecter les signes d'usure
21	Partie de	Équipement	1. Corrosion	5. Exposition aux produits chimiques	1. Fuite 2. Pollution de l'environnement	5. Matériaux résistants à la corrosion 6. Revêtement de protection	Maintenir une ventilation adéquate pour limiter l'humidité et la condensation	Appliquer des revêtements de protection si nécessaire
				6. Humidité excessive				Sélectionner des matériaux résistants à la corrosion pour les équipements du bain d'acide

22	Pas	Utilitaire	1. Coupure d'alimentation	1. Défaillance du réseau électrique 2. Pénurie d'énergie	1. Arrêt du processus 2. Perte de production	1. Système d'alimentation de secours (générateur)	Mettre en place des procédures de basculement sur le système de secours en cas de coupure	Installer un système d'alimentation de secours (générateur) pour assurer la continuité du fonctionnement du bain d'acide
23	Partie de	Utilitaire	1. Défaillance des systèmes de ventilation	1. Défaillance mécanique 2. Coupure d'alimentation	1. Risque d'exposition aux vapeurs d'acide 2. Risque d'incendie	1. Système de ventilation de secours 2. Alarmes de détection de gaz	Effectuer des maintenances préventives régulières sur le système de ventilation	Installer un système de ventilation de secours avec basculement automatique
								Mettre en place des alarmes de détection de gaz avec arrêt automatique du processus
24	Plus	Environnement	1. Température ambiante élevée	1. Conditions climatiques extrêmes 2. Défaillance du système de climatisation	1. Augmentation de l'évaporation de l'acide 2. Risque d'incendie	1. Système de climatisation performant 2. Ventilation adéquate	Utiliser des produits chimiques moins sensibles à la température, mettre en place des procédures de surveillance de la température	Installer un système de climatisation performant pour maintenir une température ambiante adéquate
								Assurer une ventilation adéquate pour éliminer les vapeurs d'acide
25	Inverse	Environnement	1. Présence de gaz dangereux	1. Fuite 2. Présence de produits chimiques volatiles	1. Risque d'explosion 2. Asphyxie ou intoxication	1. Système de ventilation d'urgence 2. Détecteurs de gaz	Former le personnel à la reconnaissance et à la gestion des risques liés aux gaz dangereux, utiliser des équipements de protection individuelle adéquats	Mettre en place des procédures d'intervention en cas de fuite de gaz
								Installer des détecteurs de gaz avec alarme et système de ventilation d'urgence
26	Plus	Température	1. Augmentation	1. Température ambiante élevée 2. Défaillance du système de refroidissement	1. Evacuation incomplète des résidus d'acide	1. Thermomètre 2. Alarmes de température haute	Isoler thermiquement le bac de rinçage si nécessaire, prévoir un système de refroidissement d'appoint	Installer un thermomètre pour surveiller la température de l'eau de rinçage
								Mettre en place des alarmes de température haute avec arrêt automatique de l'alimentation en eau chaude

27	Moins	Débit	1. Diminution	1. Pression d'eau insuffisante	1. Rinçage inefficace	1. Manomètre	Effectuer des purges régulières des canalisations, prévoir un plan de maintenance préventive	Installer un manomètre pour surveiller la pression de l'eau
				2. Obstruction des canalisations	2. Résidus d'acide sur les fils	2. Système de détection d'obstruction		Mettre en place un système de détection d'obstruction avec alarme
28	Plus	Niveau	1. Augmentation	1. Défaillance de la vanne de sortie d'eau	1. Débordement du bac	1. Niveau visible	Effectuer des maintenances préventives sur la vanne de sortie d'eau	Installer un indicateur de niveau visible pour le bac de rinçage
					2. Gaspillage d'eau	2. Alarme de niveau haut		Mettre en place une alarme de niveau haut avec arrêt automatique de la vanne d'entrée d'eau
29	Plus	Température	1. Augmentation	1. Défaillance du système de refroidissement 2. Réaction exothermique	1. Accélération de la dégradation de la chaux 2. Augmentation des projections	1. Système de contrôle et de régulation de la température	Utiliser de la chaux adaptée aux températures du process	Installer un système de contrôle et de régulation de la température avec alarme de dépassement
30	Plus	Concentration	1. Augmentation	1. Erreur de dosage	1. Neutralisation incomplète	1. Système de dosage automatisé	Procédures de calibration régulières des instruments de mesure	Installer un système de dosage automatisé avec contrôle de précision
					2. Risque de corrosion des fils machine	2. Analyses régulières de la concentration		Mettre en place un programme d'analyses régulières de la concentration du bain de chaux
31	Autre que	Niveau	1. Fuite	1. Défaillance du bac 2. Jointure défectueuse	1. Pollution de l'environnement	1. Bac de rétention	Sélectionner des matériaux résistants à la corrosion pour le bac, effectuer des inspections régulières du bac et des joints	Installer un bac de rétention étanche et de capacité suffisante pour contenir le volume total du bain d'acide
					2. Perturbation du process	2. Système de détection de fuite		Mettre en place un système de détection de fuite avec alarme et arrêt automatique de l'alimentation

Tableau III.3. Tableau HAZOP de l'installation tréfilage

No.	Mot guide	Paramètre	Déviaton	Causes possibles	Conséquences	Sauvegardes	Commentaires	Actions requises
32	Plus	Vitesse	1. Augmentation	1. Défaillance du système de contrôle	1. Rupture des fils machine 2. Dégradation des filières	1. Système de contrôle redondant 2. Variateur de fréquence	Effectuer des maintenances préventives régulières sur le système de contrôle	Mettre en place un variateur de fréquence
								Installer un système de contrôle redondant avec alarme de dépassement de la vitesse limite
33	Moins	Vitesse	1. Diminution	1. Mauvais réglage du système de contrôle	1. Ralentissement du processus 2. Augmentation du temps de production	1. Système de contrôle redondant 2. Affichage de la vitesse	Utiliser des capteurs de vitesse précis et fiables	Mettre en place des procédures de réglage régulières
								Installer un système de contrôle redondant avec affichage de la vitesse en temps réel
34	Autre que	Vitesse	1. Variation	1. Instabilité du système de contrôle	1. Déformation des fils machine 2. Dégradation des filières	1. Système de contrôle redondant 2. Système de stabilisation de la vitesse	Optimiser les paramètres de régulation du système de contrôle	Mettre en place des procédures de maintenance préventive pour les composants du système de contrôle
								Installer un système de contrôle redondant avec système de stabilisation de la vitesse
35	Plus	Tension	1. Augmentation	1. Mauvais réglage du système de tension du fil	1. Rupture des fils machine 2. Déformation des fils machine	1. Système de contrôle de la tension du fil 2. Limiteur de tension du fil	Utiliser des cellules de charge précises et fiables	Mettre en place un limiteur de tension mécanique
								Installer un système de contrôle de la tension avec alarme de dépassement de la tension limite

36	Moins	Tension	1. Diminution	1. Relâchement des galets de guidage	1. Déformation des fils machine 2. Augmentation des vibrations	1. Système de contrôle de la tension du fil 2. Système de tension du fil automatique	Utiliser des galets de guidage de qualité et de dimensions adéquates	Mettre en place des procédures de vérification régulière du serrage des galets de guidage
								Installer un système de contrôle de la tension avec système de tension automatique
37	Autre que	Tension	1. Variation	1. Variation de l'épaisseur du fil d'entrée 2. Mauvais alignement des filières 3. Défaillance du système de contrôle	1. Rupture des fils machine 2. Déformation des fils machine 3. Dégradation des filières	1. Système de contrôle de la tension du fil 2. Limiteur de tension du fil	Utiliser des systèmes d'alimentation en fil capables de maintenir une tension du fil constante, Utiliser des systèmes de positionnement et de fixation des filières plus précis, Utiliser des systèmes de contrôle de la tension fiables et redondants	Effectuer des tests de calibration réguliers du système de contrôle de la tension du fil
								Surveiller l'usure des filières et les remplacer si nécessaire
								Aligner régulièrement les filières pour garantir un passage fluide du fil
								Mettre en place un limiteur de tension du fil automatique qui arrête le tréfilage en cas de dépassement des limites de tension du fil admissibles
								Améliorer le système de contrôle de la tension pour qu'il puisse s'adapter aux variations d'épaisseur du fil d'entrée
38	Plus	Température	1. Augmentation	1. Défaillance du système de refroidissement	1. Surchauffe des fils machine 2. Dégradation des filières	1. Système de refroidissement redondant 2. Alarmes de température haute	Optimiser les paramètres de régulation du système de refroidissement	Mettre en place des procédures de maintenance préventive pour les composants du système de refroidissement
								Installer un système de refroidissement redondant avec alarme de température haute

39	Moins	Température	1. Diminution	1. Insuffisance de lubrifiant	1. Augmentation des vibrations 2. Usure accélérée des pièces mécaniques	1. Système de lubrification automatique 2. Affichage du niveau de lubrifiant	Utiliser un lubrifiant de qualité adaptée aux conditions de process	Installer un système de lubrification automatique avec affichage du niveau de lubrifiant en temps réel
								Mettre en place des procédures de vérification régulière du niveau de lubrifiant
40	Moins	Lubrification	1. Insuffisance	1. Insuffisance de lubrifiant	1. Augmentation des vibrations 2. Usure accélérée des pièces mécaniques	1. Système de lubrification automatique 2. Affichage du niveau de lubrifiant	Utiliser un lubrifiant de qualité adaptée aux conditions de process	Mettre en place des procédures de vérification régulière du niveau de lubrifiant
								Installer un système de lubrification automatique avec affichage du niveau de lubrifiant en temps réel
41	Autre que	Lubrification	1. Contamination	1. Contamination du lubrifiant	1. Dégradation des filières 2. Dégradation des fils machine	1. Système de filtration du lubrifiant 2. Analyses régulières du lubrifiant	Utiliser un lubrifiant résistant à la contamination et aux dégradations	Installer un système de filtration du lubrifiant avec maintenance préventive régulière
								Mettre en place des procédures d'analyses régulières du lubrifiant pour détecter la contamination
42	Autre que	Usure	1. Usure des filières, galets de guidage, pièces mécaniques	1. Usure normale 2. Usure accélérée par la charge, la friction ou la corrosion	1. Rupture des fils machine 2. Déformation des fils machine 3. Augmentation des vibrations 4. Défaillance des pièces mécaniques 5. Arrêt du processus	1. Système de surveillance des filières, galets de guidage, pièces mécaniques 2. Remplacement périodique des filières, galets de guidage, pièces mécaniques	Utiliser des filières, galets de guidage, pièces mécaniques en matériaux résistants à l'usure et à la corrosion	Mettre en place un programme de remplacement périodique des filières, galets de guidage en fonction de leur état d'usure et de fatigue
								Installer un système de surveillance des filières, galets de guidage, pièces mécaniques avec des capteurs d'usure et de vibration

43	Plus	Vibration	1. Excessive	<ol style="list-style-type: none"> 1. Désalignement des composants 2. Défaillance des roulements 3. Lubrification insuffisante ou inadéquate 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Déformation des fils machine 2. Dégradation des filières 3. Augmentation des vibrations 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Système de détection des vibrations 2. Analyses vibratoires 3. Alignement des composants 4. Lubrification adéquate 	Vérifier régulièrement le serrage des fixations des composants	Aligner régulièrement les composants
								Utiliser un lubrifiant de qualité adaptée aux conditions de process
								Installer un système de détection des vibrations avec alarme de dépassement du seuil de vibration limite
								Mettre en place un programme d'analyses vibratoires régulières
44	Autre que	Défaillance mécanique	1. Défaillance des filières, galets de guidage, pièces mécaniques	<ol style="list-style-type: none"> 1. Usure normale 2. Fatigue 3. Corrosion 4. Surcharge 5. Défaut de fabrication 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Rupture des fils machine 2. Déformation des fils machine 3. Augmentation des vibrations 4. Défaillance des pièces mécaniques 5. Arrêt du processus 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Système de surveillance des filières, galets de guidage, pièces mécaniques 	Utiliser des filières, galets de guidage, pièces mécaniques en matériaux résistants à l'usure, à la fatigue et à la corrosion	Remplacer les pièces mécaniques usées avant qu'elles ne provoquent des défaillances
								Mettre en place un programme d'analyses vibratoires régulières
								Installer un système de surveillance des filières, galets de guidage, pièces mécaniques avec des capteurs d'usure et de vibration
								Mettre en place un programme de remplacement périodique des filières, galets de guidage en fonction de leur état d'usure et de fatigue

45	Autre que	Coupure d'alimentation	1. Coupure d'alimentation électrique	1. Défaillance du réseau électrique	1. Arrêt du processus 2. Perte de production	1. Onduleur 2. Système d'alimentation de secours (générateur)	Effectuer des maintenances préventives régulières sur le système d'alimentation électrique	Installer un onduleur pour protéger les équipements électroniques
				2. Défaillance du système d'alimentation				3. Erreur de manipulation
46	Autre que	Erreurs de manipulation	1. Erreurs de chargement, réglage, maintenance	1. Manque de formation 2. Manque de supervision 3. Procédures inadéquates	1. Rupture des fils machine 2. Déformation des fils machine 3. Dégradation des fils machine 4. Défaillance des pièces mécaniques 5. Arrêt du processus	1. Procédures de chargement claires 2. Formation du personnel au chargement 3. Procédures de réglage claires 4. Formation du personnel au réglage 5. Procédures de maintenance claires 6. Formation du personnel à la maintenance 7. Supervision adéquate	Utiliser des dispositifs de guidage et de positionnement des fils machine pour faciliter le chargement, Utiliser des instruments de mesure précis et fiables pour le réglage des paramètres du tréfilage, Utiliser des outils et des pièces de rechange de qualité pour la maintenance	Former régulièrement le personnel au réglage, au chargement et à la maintenance
								Mettre en place une supervision adéquate des opérations du réglage, du chargement et de maintenance
								Réviser les procédures du réglage et du chargement pour les rendre plus claires et plus précises
								Réviser les procédures de maintenance pour les rendre plus complètes et plus détaillées

Tableau III.4. Tableau HAZOP de l'installation galvanisation

No.	Mot guide	Paramètre	Déviaton	Causes possibles	Conséquences	Sauvegardes	Commentaires	Actions requises
47	Plus	Pression	1. Augmentation	1. Défaillance des équipements 2. Perturbation des utilitaires	1. Mauvaise qualité de la galvanisation 2. Dégradation des fils machine	1. Système de contrôle de la pression 2. Alarme de surpression/sous-pression	Utiliser des matériaux résistants à la pression pour les équipements de galvanisation	Mettre en place un système de contrôle de la pression précis et fiable avec une alarme de surpression/sous-pression
								Mettre en place un programme de maintenance préventive
48	Moins	Pression	1. Diminution	1. Défaillance des équipements 2. Perturbation des utilitaires	1. Mauvaise qualité de la galvanisation 2. Dégradation des fils machine	1. Système de contrôle de la pression 2. Alarme de surpression /sous-pression	Utiliser des matériaux résistants au vide pour les équipements de galvanisation	Mettre en place un système de contrôle de la pression précis et fiable avec une alarme de surpression/sous-pression
								Mettre en place un programme de maintenance préventive
49	Pas	Pression	1. Interruption (gaz de ville pour recuit/bain de zinc)	1. Défaillance des équipements 2. Perturbation des utilitaires	1. Mauvaise qualité de la galvanisation 2. Dégradation des fils machine 3. Arrêt du processus	1. Système de contrôle de la pression 2. Système de secours d'alimentation en gaz 3. Procédures d'urgence 4. Alarme de surpression/sous-pression	Utiliser des sources d'énergie alternatives pour le recuit si possible	Mettre en place un système de contrôle de la pression précis et fiable avec une alarme de surpression/sous-pression
								Etablir des procédures d'urgence claires et concises pour faire face aux interruptions de pression de GAZ
								Mettre en place un système de secours d'alimentation en gaz avec des vannes d'arrêt automatiques
								Mettre en place un programme de maintenance préventive

50	Plus	Température	1. Augmentation	1. Défaillance du système de chauffage	1. Mauvaise qualité de la galvanisation	1. Système de contrôle de la température	Utiliser des matériaux résistants à la chaleur pour les équipements de galvanisation	Surveiller les conditions environnementales et prendre des mesures correctives si nécessaire
				2. Conditions environnementales défavorables	2. Dégradation des fils machine	2. Alarme de dépassement de température		Mettre en place un système de contrôle de la température précis et fiable avec une alarme de dépassement de température
51	Plus	Température	1. Dépassement des limites (recuit, bain de zinc)	3. Défaillance du système de contrôle	1. Mauvaise qualité de la galvanisation	3. Système de contrôle de la température redondant	Utiliser des matériaux résistants à la chaleur pour les équipements de galvanisation	Assurer une supervision rapprochée du travail par un personnel qualifié
				4. Erreur humaine	2. Dégradation des fils machine	4. Procédures de travail claires		Installation d'un système de contrôle de la température redondant avec alarme
					3. Projection du zinc	5. Formation du personnel		Fournir aux employés des EPI appropriés
52	Moins	Température	1. Diminution	1. Défaillance du système de chauffage	1. Mauvaise qualité de la galvanisation	1. Système de contrôle de la température	Utiliser des matériaux résistants au froid pour les équipements de galvanisation	Mettre en place un système de contrôle de la température précis et fiable avec une alarme de sous-température
				2. Conditions environnementales défavorables	2. Dégradation des fils machine	2. Alarme de sous-température		Surveiller les conditions environnementales et prendre des mesures correctives si nécessaire
53	Plus	Concentration	1. Augmentation	1. Erreur de dosage	1. Mauvaise qualité de la galvanisation	1. Système de dosage automatique	Utiliser des produits chimiques de qualité et d'origine certifiée	Effectuer des analyses régulières de la concentration du bain pour s'assurer qu'elle est conforme aux spécifications
					2. Dégradation des fils machine	2. Analyses régulières de la concentration		Mettre en place un système de dosage automatique avec des contrôles de précision

54	Moins	Concentration	1. Diminution	1. Erreur de dosage	1. Mauvaise qualité de la galvanisation 2. Dégradation des fils machine	1. Système de dosage automatique 2. Analyses régulières de la concentration	Utiliser des produits chimiques de qualité et d'origine certifiée	Effectuer des analyses régulières de la concentration du bain pour s'assurer qu'elle est conforme aux spécifications
								Mettre en place un système de dosage automatique avec des contrôles de précision
55	Inverse	Concentration	1. Augmentation	1. Erreur humaine 2. Défaillance des équipements	1. Mauvaise qualité de la galvanisation 2. Dégradation des fils machine	1. Procédures de travail claires 2. Formation du personnel 3. Maintenance préventive des équipements	Utiliser des équipements de dosage précis et fiables	Réviser les procédures de travail pour qu'elles soient plus claires et plus précises
								Mettre en place un programme de maintenance préventive
								Former régulièrement le personnel aux techniques de dosage
56	Plus	Niveau	1. Augmentation	1. Défaillance des équipements 2. Erreur humaine	1. Mauvaise qualité de la galvanisation 2. Dégradation des fils machine 3. Débordement des baignoires	1. Système de contrôle du niveau 2. Alarme de dépassement de niveau	Utiliser des bacs de rétention pour les baignoires en cas de débordement	Mettre en place un système de contrôle du niveau précis et fiable avec une alarme de dépassement de niveau
								Former le personnel aux procédures de contrôle
57	Moins	Niveau	1. Diminution	1. Défaillance des équipements 2. Erreur humaine	1. Mauvaise qualité de la galvanisation 2. Dégradation des fils machine 3. Exposition aux produits chimiques	1. Système de contrôle du niveau 2. Alarme de sous-niveau	Utiliser des équipements de protection individuelle (EPI) adéquats pour se protéger des produits chimiques	Former le personnel aux procédures de contrôle
								Mettre en place un système de contrôle du niveau précis et fiable avec une alarme de sous-niveau

58	Autre que	Niveau	1. Fuite (bain d'acide, bain rinçage sous-pression, bain de fluxage, bain de zinc)	1. Défaillance des équipements 2. Corrosion	1. Mauvaise qualité de la galvanisation 2. Dégradation des fils machine 3. Pollution de l'environnement 4. Blessures du personnel	1. Système de détection de fuite 2. Procédures d'urgence	Utiliser des matériaux résistants à la corrosion pour les bacs des bains	Mettre en place un système de détection de fuite avec des alarmes et des vannes d'arrêt automatiques
								Etablir des procédures d'urgence claires et concises pour faire face aux fuites
59	Partie de	Composition	1. Présence de contaminants	1. Impuretés dans les produits chimiques	1. Mauvaise qualité de la galvanisation 2. Dégradation des fils machine	1. Analyse régulière des produits chimiques 2. Système de filtration	Utiliser des produits chimiques de qualité provenant de fournisseurs fiables	Installer un système de filtration efficace pour éliminer les impuretés
								Mettre en place un programme d'analyse régulière des produits chimiques pour détecter les contaminants
60	Partie de	Composition	1. Accumulation potentielle d'hydrogène inflammable	2. Défaillance du système de ventilation 3. Mauvaise ventilation	1. Risque d'explosion	3. Ventilation adéquate 4. Système de ventilation d'urgence	Utiliser des produits chimiques de qualité provenant de fournisseurs fiables	Assurer une ventilation adéquate pour éliminer les vapeurs d'acide
61	Partie de	Équipement	1. Défaillance 2. Usure 3. Corrosion	1. Usure des équipements 2. Conditions environnementales défavorables 3. Erreur de maintenance	1. Mauvaise qualité de la galvanisation 2. Dégradation des fils machine 3. Arrêt du processus	1. Maintenance préventive des équipements 2. Inspection régulière des équipements	Utiliser des matériaux résistants à la corrosion et à l'usure pour les équipements de galvanisation	Mettre en place un programme de maintenance préventive plus rigoureux
								Effectuer des inspections plus fréquentes des équipements pour identifier les signes d'usure ou de corrosion

62	Partie de	Utilitaire	1. Coupure d'alimentation	1. Pannes d'électricité	1. Arrêt du processus 2. Perte de production 3. Dégradation des fils machine	1. Générateurs de secours	Effectuer des tests réguliers des générateurs de secours pour s'assurer qu'ils fonctionnent correctement	Installer des générateurs de secours avec une capacité de production suffisante pour alimenter l'ensemble du processus de galvanisation
63	Partie de	Utilitaire	1. Défaillance du four de recuit/galvanisation	2. Défaillance des équipements 3. Erreur de maintenance	1. Arrêt du processus 2. Perte de production 3. Dégradation des fils machine	2. Système de surveillance des équipements 3. Maintenance préventive des équipements	Utiliser des pièces de rechange de qualité pour les fours de recuit/galvanisation	Mettre en place un système de surveillance des équipements pour détecter les défaillances précoces, établir un programme de maintenance préventive rigoureux pour les fours de recuit/galvanisation
64	Plus	Environnement	1. Température ambiante élevée	1. Conditions climatiques extrêmes 2. Mauvaise ventilation	1. Mauvaise qualité de la galvanisation 2. Dégradation des fils machine 3. Inconfort du personnel	1. Ventilation adéquate 2. Système de climatisation performant	Utiliser des matériaux résistants à la chaleur pour les équipements de galvanisation	Installer un système de climatisation si nécessaire
								Améliorer le système de ventilation pour assurer une circulation d'air adéquate
65	Inverse	Environnement	1. Projections de fumées d'acide	1. Défaillance des équipements 2. Erreur de manipulation	1. Mauvaise qualité de la galvanisation 2. Dégradation des fils machine 3. Problèmes respiratoires pour le personnel	1. Système d'aspiration des fumées 2. EPI adaptés	Former le personnel aux procédures de manipulation sécurisées des produits chimiques	Mettre en place un système d'aspiration des fumées efficace pour capturer les fumées d'acide à la source
								Fournir aux employés des EPI appropriés
								Installer des détecteurs de gaz avec alarme et système de ventilation d'urgence

III.4. Analyse et discussion de résultats

1. Analyse de l'installation décapage :

L'étude HAZOP du procédé de décapage a permis d'identifier plusieurs dangers potentiels liés aux produits chimiques utilisés, aux équipements et aux erreurs de manipulation. Les conséquences potentielles comprennent des problèmes de santé pour le personnel, des dommages environnementaux et une mauvaise qualité de la surface des fils machine.

2. Analyse de l'installation tréfilage :

L'étude HAZOP du système de tréfilage a permis d'identifier des risques potentiels liés aux défaillances mécaniques, aux erreurs de manipulation et aux variations de tension du fil. Les conséquences potentielles comprennent la rupture des fils machine, leur déformation, des blessures pour le personnel et des pertes de production.

3. Analyse de l'installation galvanisation :

L'étude HAZOP du processus de galvanisation a mis en évidence des dangers potentiels liés à la concentration des produits chimiques, à la température, à la pression, au niveau des bains, à la présence de contaminants, aux défaillances des équipements, aux coupures d'alimentation et aux conditions environnementales. Les conséquences potentielles comprennent une mauvaise qualité de la galvanisation, des dommages environnementaux, des blessures pour le personnel et des arrêts de production.

III.4.1. Discussion

En s'appuyant sur les analyses HAZOP réalisées pour les procédés de décapage, tréfilage et galvanisation, il est possible de mettre en place des stratégies de management des risques efficaces. Ces stratégies visent à réduire ou éliminer les dangers identifiés et à améliorer la sécurité globale des installations :

1. Prévention des Risques :

- **Décapage** : Améliorer la ventilation pour minimiser l'exposition aux vapeurs d'acide, utiliser des EPI adaptés, former le personnel aux procédures de manipulation

sécuritaire des produits chimiques, mettre en place des systèmes de confinement pour les déversements accidentels, et réaliser une maintenance préventive des cuves et des systèmes associés.

- **Tréfilage** : Implémenter un programme de maintenance préventive rigoureux pour les équipements, former le personnel aux procédures de fonctionnement et de réglage, et utiliser un système de contrôle de la tension efficace avec des alarmes et des limiteurs de tension automatiques.
- **Galvanisation** : Contrôler strictement la concentration des produits chimiques et les paramètres du processus (température, pression, niveau des bains), mettre en place des systèmes de détection de fuites et de surveillance des équipements, prévoir des sources d'alimentation de secours et des procédures d'urgence, et mettre en œuvre des mesures de protection de l'environnement (traitement des eaux usées, ventilation adéquate).

2. Protection :

- Fournir et exiger le port d'EPI adaptés aux tâches et aux risques associés à chaque procédé.
- Mettre en place des systèmes de confinement secondaires pour limiter la propagation des produits chimiques en cas de déversement accidentel.
- Installer des systèmes d'alerte et d'urgence pour avertir le personnel en cas de danger.

3. Formation et sensibilisation :

- Former régulièrement le personnel aux procédures de sécurité, à la manipulation des produits chimiques, à l'utilisation des EPI et aux techniques de réponse aux situations d'urgence.
- Sensibiliser le personnel aux dangers potentiels associés à chaque procédé et à l'importance de signaler tout incident ou quasi-accident.

4. Contrôle et audit :

- Effectuer des inspections régulières des installations pour identifier et corriger les anomalies pouvant conduire à des accidents.
- Auditer périodiquement les programmes de sécurité et de management des risques pour en assurer l'efficacité.
- Analyser les incidents et les quasi-accidents pour en tirer des enseignements et améliorer les stratégies de prévention.

III.5. Conclusion

Ce chapitre a exploré l'application des méthodes d'analyse des risques dans les installations industrielles. À travers l'étude de cas de l'ENTPL, nous avons démontré l'application pratique de la méthode HAZOP dans l'analyse d'un processus industriel spécifique.

L'étude de cas a mis en évidence l'efficacité de la méthode HAZOP dans l'identification des déviations potentielles et de leurs conséquences. Ces informations peuvent être utilisées pour élaborer des stratégies de gestion des risques appropriées, y compris des mesures préventives et des plans d'intervention d'urgence.

Conclusion générale

Conclusion générale

Notre projet de fin d'études avait pour objectif principal d'identifier les dangers potentiels au sein de l'entreprise ENTPL à Tiaret en appliquant la méthode HAZOP (Hazard and Operability Analysis). L'analyse des risques s'est avérée être un outil précieux pour examiner systématiquement les écarts par rapport au fonctionnement normal des installations et ainsi déceler des situations accidentelles potentielles.

L'étude de cas réalisée sur l'ENTPL a permis de démontrer l'efficacité de la méthode HAZOP pour identifier les dangers liés à des défaillances des équipements, des erreurs humaines ou des conditions de fonctionnement anormales. Cette identification des dangers a permis de proposer des actions correctives et des mesures préventives ciblées afin de garantir la sécurité du personnel, la protection de l'environnement et la pérennité de l'entreprise.

Grâce à la mise en place d'un programme d'analyse des risques robuste, les entreprises industrielles peuvent améliorer significativement leur performance en matière de sécurité, minimiser les arrêts de production et optimiser leur fonctionnement global. L'analyse des risques permet de prendre des décisions éclairées, contribuant ainsi à un environnement industriel plus durable et plus efficace.

Ce projet de fin d'études a permis d'illustrer l'applicabilité de la méthode HAZOP dans le contexte algérien et de mettre en avant son importance pour la gestion des risques au sein des entreprises industrielles. Les résultats obtenus et les recommandations formulées pourront servir de base pour la mise en place de programmes de prévention et de protection plus efficaces dans des contextes similaires.

Références bibliographiques

- [1] ISO GUIDE 73:2009, « Management du risque — Vocabulaire ». International Organization for Standardization (ISO), novembre 2019.
- [2] « Accident », *Grand Robert de la langue française*. SEJER, 2017.
- [3] G. Arcudi, « La sécurité entre permanence et changement », *Relat. Int.*, vol. 125, n° 1, p. 97-109, 2006, doi: 10.3917/ri.125.0097.
- [4] L. ARGENTIN, « Occupational Hygiene », IOHA. Consulté le: 11 avril 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.ioha.net/about/>
- [5] « Safety Precaution Isometric Icons », Vecteezy. Consulté le: 18 février 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.vecteezy.com/vector-art/21836589-safety-precaution-isometric-icons>
- [6] « Free Vector | Hazard Signs Set », Freepik. Consulté le: 18 février 2024. [En ligne]. Disponible sur: https://www.freepik.com/free-vector/hazard-signs-set_2873085.htm
- [7] GUENDOZ Hamza, « Application de la méthode HAZOP dans l'analyse des risques générés par une installation de dosage automatique de matière grasse laitière anhydre (MGLA) », Projet de fin d'étude, Ecole Nationale Supérieure Agronomique, 2019.
- [8] « Homme d'affaires isométrique retournant la flèche : image vectorielle de stock (libre de droits) 1940595922 », Shutterstock. Consulté le: 4 juin 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.shutterstock.com/fr/image-vector/isometric-businessman-turning-risk-meter-arrow-1940595922>
- [9] MANA Houssam et DRARDJA Abderrahmane, « Détermination et amélioration des défauts des installations électriques d'une entreprise industrielle », BADJI MOKHTAR, ANNABA, 2020. [En ligne]. Disponible sur: <https://biblio.univ-annaba.dz/ingeniorat/wp-content/uploads/2021/06/memoire-de-Master-2-HSI-MANA-Houssem-et-DRARDJA-Abderrahmane.pdf>
- [10] Jean-Marie Flaus, *Cybersécurité des systèmes industriels*. in Systèmes et génie industriel. ISTE éditions, 2019.
- [11] « Elvia Group, ingénierie, études & innovations en environnement, maîtrise des risques & développement territorial - Analyse Préliminaire des Risques ». Consulté le: 1 mai 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.elvia-ingenierie.fr/maîtrise-des-risques/risques-industriels/analyse-préliminaire-des-risques/>
- [12] J. D. Mandlaze, « Strategie of implementation of risk management framework in port terminal - case study - the port of Matola », MASTER'S DISSERTATION, Eduardo

- Mondlane, Julius Nyerere, nr. 3453 Maputo – Mozambique, 2023. [En ligne]. Disponible sur: <http://www.repositorio.uem.mz/handle258/786>
- [13] S. MURY, « Conception – Réalisation pour la décantation primaire dans le cadre des travaux de la refonte de l’usine Seine aval ». European Investment Bank, 5 décembre 2017. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.eib.org/attachments/registers/130369418.pdf>
- [14] Olivier IDDIR, « Quantification du risque dans le cadre des études de dangers », janv. 2019, doi: 10.51257/a-v1-g4218.
- [15] Jean-Luc BERSON, « Comprendre l’AMDEC », mars 2014, doi: 10.51257/f-1290.
- [16] « AMDE : Définition, étapes, types et outils », SafetyCulture. Consulté le: 21 avril 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://safetyculture.com/fr/themes/amde/>
- [17] OUDIHAT Kaouter, « EVALUATION DES BARRIERES DE SECURITE D’UN PROCEDE INDUSTRIEL Application de la méthode LOPA sur un four de rebouillage H-201 – MPP1 - SONATRACH/DP/HRM », Projet de fin d’étude, ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE, 10 ,Avenue des frères Ouadek. Hassen Badi. BP A82, 16200. Alger, ALGERIE, 2015. [En ligne]. Disponible sur: <http://repository.enp.edu.dz/jspui/handle/123456789/10307>
- [18] Sehailat Abderrahmane, « Application of Quantitative Risk Analysis (QRA) on an Industrial Installation: A Case Study of the Gas Treatment Unit at Guellala », Final Study Project, Kasdi Merbah, Ouargla, 2023.
- [19] Clifton A. Ericson II, *Hazard Analysis Techniques for System Safety*. John Wiley & Sons, 2005. [En ligne]. Disponible sur: 10.1002/0471739421
- [20] MARVIN RAUSAND, *Risk Assessment (Theory, Methods, and Applications)*. Wiley, 2011. [En ligne]. Disponible sur: <http://www.ntnu.edu/ross/books/risk>
- [21] Crawley, F., M. Preston, and B. Tyler, *HAZOP: Guide to best practice. Guidelines to best practice for the process and chemical industries*. European Process Safety Centre and Institution of Chemical Engineers, 2000.
- [22] IEC 61882:2016, « Études de danger et d’exploitabilité (études HAZOP) – Guide d’application ». International Electrotechnical Commission (IEC), 10 mars 2016.
- [23] « Documentation de l'entreprise ENTPL - unité de Tiaret ». ENTPL.
- [24] « Hazop+ 7.0 User Guide ». Isograph, 2018

Résumé :

Ce projet de fin d'études s'intéresse à l'identification des dangers potentiels au sein des sites industriels. La méthode HAZOP (Hazard and Operability analysis) est employée pour analyser de manière systématique les écarts par rapport au fonctionnement normal des installations et ainsi déceler des situations accidentelles potentielles.

En s'appuyant sur une étude de cas réalisée dans l'entreprise ENTPL à Tiaret, ce travail démontre l'efficacité de la méthode HAZOP. L'analyse permet d'identifier les dangers liés aux défaillances d'équipements, aux erreurs humaines et aux conditions de fonctionnement anormales. Ces informations facilitent la mise en place d'actions correctives et de mesures préventives ciblées afin de garantir la sécurité du personnel et la protection de l'environnement.

Mot clés : Identification des dangers, Risques industriels, Analyse HAZOP, Sécurité des procédés, Gestion des risques, Installations industrielles, Prévention des accidents, Défaillance des équipements, Erreur humaine, Conditions de fonctionnement anormales, Actions correctives, Mesures préventives.

Abstract :

This end-of-study project focuses on the identification of potential hazards at industrial sites. The HAZOP (Hazard and Operability analysis) method is used to systematically analyze deviations from normal plant operation and thus detect potential accident situations.

Based on a case study carried out at the company ENTPL in Tiaret, this work demonstrates the effectiveness of the HAZOP method. The analysis identifies hazards linked to equipment failure, human error and abnormal operating conditions. This information facilitates the implementation of corrective actions and targeted preventive measures to guarantee the safety of personnel and the protection of the environment.

Keywords : Danger identification, Industrial risks, HAZOP analysis, Process safety, Risk management, Industrial facilities, Accident prevention, Equipment failure, Human error, Abnormal operating conditions, Corrective actions, Preventive measures.

ملخص :

يركز مشروع نهاية الدراسة هذا على تحديد المخاطر المحتملة في المواقع الصناعية. تُستخدم طريقة HAZOP (تحليل المخاطر وقابلية التشغيل) للتحليل المنهجي للانحرافات عن التشغيل العادي للمصنع وبالتالي الكشف عن حالات الحوادث المحتملة.

استناداً إلى دراسة حالة أجريت في شركة ENTPL في تيارت، يوضح هذا العمل فعالية طريقة HAZOP. يحدد التحليل المخاطر المرتبطة بتعطل المعدات والخطأ البشري وظروف التشغيل غير الطبيعية. تسهّل هذه المعلومات تنفيذ الإجراءات التصحيحية والتدابير الوقائية المستهدفة لضمان سلامة الموظفين وحماية البيئة.

الكلمات المفتاحية : تحديد الأخطار، تحديد المخاطر الصناعية، تحليل المخاطر والمخاطر الصناعية، تحليل المخاطر والمخاطر، سلامة العمليات، إدارة المخاطر، المنشآت الصناعية، الوقاية من الحوادث، تعطل المعدات، الخطأ البشري، ظروف التشغيل غير الطبيعية، الإجراءات التصحيحية، التدابير الوقائية.