



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique  
جامعة وهران 2 محمد بن أحمد

Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed  
معهد الصيانة والأمن الصناعي  
Institut de Maintenance et de Sécurité Industrielle

Département  
**MÉMOIRE**

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Hygiène et Sécurité Industrielle  
Spécialité : Sécurité Industrielle et Environnement

**Thème**

*Analyse des modes de défaillance dans le process de fabrication des pipes (nouvelle machine à souder) utilisant la méthode AMDEC*

Présenté et soutenu publiquement par :

- ABDELHMID Mohamed
- KHARAZ Abdelhalim

Devant le jury composé de :

Nom et Prénom	Grade	Etablissement	Qualité
AIDENE Zahia	.....	.....	Président
ZOUAIRI Saim	.....	.....	Encadreur
BACHIR BOUIADJRA Bachir	.....	.....	Examineur

Année 2023/2024

# REMERCIEMENTS

*Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de ce mémoire. Tout d'abord, nous remercions sincèrement notre encadreur M. ZOUAIRI SAIM pour sa guidance, ses conseils avisés et son soutien indéfectible tout au long de ce projet.*

*Nous souhaitons également exprimer notre reconnaissance particulière aux ingénieurs de l'entreprise ALFAPIPE Ghardaïa : M. DJAAFER Slimane, M. CHARMAT Abdelhak et M. FENNICH Messaoud. Leur expertise, leurs conseils techniques et leur assistance ont été d'une aide précieuse pour mener à bien cette étude.*

*Nous remercions également l'ensemble des professeurs et du personnel administratif de l'Institut de Maintenance et de Sécurité Industrielle pour leur accompagnement et leur soutien durant ces années d'études.*

*Enfin, nos remerciements vont également à nos collègues de promotion, nos familles et nos amis pour leur soutien moral, leur patience et leurs encouragements constants.*

*Merci à tous.*

# ***DÉDICACE***

*À mes parents, pour leur patience, leurs prières pour ma réussite et leurs encouragements constants, sans lesquels ce travail n'aurait pas été possible.*

*À mes frères Abdelbasset, Mohammad, Toufik, Abderrahim et Mounir pour leur soutien continu et sans fin.*

*À mes professeurs pour leur dévouement et leur expertise, qui m'ont guidé tout au long de ce parcours académique.*

*À mes amis et collègues, pour leurs conseils avisés et leur aide précieuse, qui ont enrichi mon expérience. À tous ceux qui ont cru en moi et m'ont soutenu, de près ou de loin, je vous dédie ce mémoire avec gratitude et reconnaissance.*

*KHARAZ Abdelhalim*

# DÉDICACE

*À ma famille,*

*Je tiens à vous exprimer ma profonde gratitude pour votre soutien et votre amour tout au long de mes études. Sans vous, je n'aurais pas pu réussir.*

*Mon père, ma mère, vous êtes mes précieux "Nakama", toujours présents pour m'aider à surmonter les obstacles.*

*Mon frère et ma sœur, vous êtes mes compagnons les plus fidèles, me motivant et me soutenant à chaque étape.*

*À mes amis, merci pour les moments de joie et de complicité. Vous avez rendu ce parcours plus amusant et mémorable.*

*Je vous dédie ce diplôme avec une immense reconnaissance.*

*Avec tout mon amour.*

ABDELHMID Mohamed

## Résumé

Ce mémoire explore l'application de la méthode AMDEC pour évaluer les risques associés à une nouvelle machine introduite chez ALFAPIPE. En comparant cette méthode avec l'APR, nous avons pu identifier les forces et les faiblesses de chaque approche. L'AMDEC a démontré une capacité à fournir une évaluation plus détaillée et à proposer des actions correctives plus précises et efficaces. Nos recommandations visent à améliorer la gestion des risques et à renforcer la sécurité opérationnelle chez ALFAPIPE. Nous abordons également les implications de cette analyse pour les futures initiatives de l'entreprise en matière de gestion des risques.

**Les mots clés :** modes de défaillance, ALFAPIPE Ghardaïa, AMDEC, machine S-SPM2000, processus de fabrication, analyse des risques, sécurité industrielle.

## المخلص

تستكشف هذه المذكرة تطبيق طريقة تحليل أنماط الفشل وتأثيراتها وأهميتها (AMDEC) لتحليل المخاطر المرتبطة بآلة جديدة تم إدخالها في شركة ALFAPIPE من خلال مقارنة هذه الطريقة مع التحليل الأولي للمخاطر (APR)، تمكنا من تحديد نقاط القوة والضعف لكل نهج. كشفت الدراسة أن AMDEC يوفر تقييماً أكثر تفصيلاً وقابلية للتنفيذ لأنماط الفشل المحتملة، مما يسمح بتدخلات تصحيحية أكثر دقة وفعالية. تهدف توصياتنا إلى تحسين إدارة المخاطر وتعزيز الأمان التشغيلي في ALFAPIPE. ناقش أيضاً تأثيرات هذا التحليل على المبادرات المستقبلية للشركة في مجال إدارة المخاطر. **الكلمات المفتاحية:** أنماط الفشل، شركة ALFAPIPE غرداية، AMDEC، آلة اللحام S-SPM2000، عملية التصنيع، تحليل المخاطر، السلامة الصناعية.

## Summary

This thesis explores the application of the Failure Modes, Effects, and Criticality Analysis (FMECA) method to evaluate the risks associated with a new machine introduced at ALFAPIPE. By comparing this method with Preliminary Risk Analysis (PRA), we identified the strengths and weaknesses of each approach. FMECA demonstrated the ability to provide a more detailed and actionable evaluation of potential failures, allowing for more precise and effective corrective interventions. Our recommendations aim to improve risk management and enhance operational safety at ALFAPIPE. We also discuss the implications of this analysis for the company's future risk management initiatives.

**Keywords:** Failure modes, ALFAPIPE Ghardaïa, FMEA (Failure Modes and Effects Analysis), S-SPM2000 welding machine, Manufacturing process, Risk analysis, Industrial safety.

# Sommaire

<i>Remerciements</i> -----	<i>I</i>
<i>Dédicace</i> -----	<i>II</i>
<i>Dédicace</i> -----	<i>III</i>
<i>Résumé</i> -----	<i>IV</i>
<i>Sommaire</i> -----	<i>V</i>
<i>Liste des figures</i> -----	<i>VIII</i>
<i>Liste des tableaux</i> -----	<i>X</i>
<i>Liste de abréviations</i> -----	<i>XI</i>
<i>Introduction Générale</i> -----	<i>1</i>
<b><i>I. Généralité sur l'analyse des risques</i></b> -----	<b><i>3</i></b>
<b><i>I. 1. Introduction :</i></b> -----	<b><i>3</i></b>
<b><i>I. 2. Définitions :</i></b> -----	<b><i>3</i></b>
I. 2. 1. Le danger :-----	<i>3</i>
I. 2. 2. Situation dangereuse :-----	<i>3</i>
I. 2. 3. Événement dangereux :-----	<i>3</i>
I. 2. 4. Sécurité du travail :-----	<i>4</i>
I. 2. 5. Le risque :-----	<i>4</i>
I. 2. 6. Risque acceptable :-----	<i>4</i>
I. 2. 7. Situation à risque :-----	<i>5</i>
I. 2. 8. Prévention :-----	<i>5</i>
I. 2. 9. Protection :-----	<i>5</i>
I. 2. 10. Accident :-----	<i>5</i>
I. 2. 11. Accident du travail :-----	<i>5</i>
I. 2. 12. Incident :-----	<i>5</i>
<b><i>I. 3. Analyse des accidents du travail :</i></b> -----	<b><i>5</i></b>
I. 3. 1. Les étapes pour analyser un accident de travail :-----	<i>6</i>
I. 3. 2. Conséquences d'un accident du travail (AT) :-----	<i>6</i>
<b><i>I. 4. La gestion des risques :</i></b> -----	<b><i>8</i></b>
I. 4. 1. Définition :-----	<i>8</i>
I. 4. 2. Principe de la gestion de risque :-----	<i>8</i>
I. 4. 3. Le processus global de gestion des risques :-----	<i>9</i>
I. 4. 4. Les 5 étapes clés d'un processus de gestion des risques :-----	<i>9</i>
I. 4. 5. Avantages de la gestion du risque :-----	<i>12</i>
<b><i>I. 5. Réglementation HSE en Algérie :</i></b> -----	<b><i>12</i></b>
<b><i>I. 6. Conclusion :</i></b> -----	<b><i>13</i></b>
<b><i>II. Les méthodes d'analyse des risques</i></b> -----	<b><i>16</i></b>

<b>II. 1. Introduction :</b> -----	<b>16</b>
<b>II. 2. L'analyse des risques :</b> -----	<b>16</b>
<b>II. 3. Importance de l'analyse des risques :</b> -----	<b>16</b>
<b>II. 4. Les avantages de l'analyse des risques :</b> -----	<b>17</b>
<b>II. 5. Etapes d'une analyse de risques :</b> -----	<b>17</b>
<b>II. 6. Les méthodes d'analyse de risques :</b> -----	<b>17</b>
II. 6. 1. Méthodes qualitatives ou quantitatives : -----	17
II. 6. 2. Méthodes inductives ou déductives : -----	19
II. 6. 3. Méthodes statiques ou dynamiques :-----	19
<b>II. 7. Les principaux outils d'analyse des risques :</b> -----	<b>20</b>
II. 7. 1. L'analyse préliminaire de risque (APR) : -----	20
II. 7. 2. L'étude HAZOP : -----	21
II. 7. 3 L'analyse par arbre de panne : -----	25
II. 7. 4. L'analyse par arbre d'événements : -----	27
II. 7. 5. La représentation des résultats par l'approche nœud papillon : -----	29
II. 7. 6. Analyse de modes de défaillance, de leurs effets combinés et de leur criticité (AMDEC) : --	31
<b>II. 8. Conclusion :</b> -----	<b>36</b>
<b>III. Présentation de l'entreprise ALFAPIPE</b> -----	<b>38</b>
<b>III. 1. Introduction :</b> -----	<b>38</b>
<b>III. 2. Présentation du lieu de stage :</b> -----	<b>38</b>
<b>III. 3. Historique :</b> -----	<b>40</b>
<b>III. 4. Caractéristiques :</b> -----	<b>40</b>
III. 4. 1. Caractéristiques techniques :-----	41
<b>III. 5. Les activités de l'entreprise ALFAPIPE :</b> -----	<b>42</b>
III. 5. 1. Les différents équipements et installations :-----	42
III. 5. 2. Les différentes installations de l'entreprise SPA ALFAPIPE -----	43
<b>III. 6. L'organigramme d'entreprise ALFAPIPE :</b> -----	<b>44</b>
<b>III. 7. Procède de fabrication :</b> -----	<b>45</b>
III. 7. 1. Le tube soudé en spirale : -----	45
III. 7. 2. Machine à souder en spirale : -----	45
III. 7. 3. Nettoyage des tubes :-----	45
III. 7. 4. Nouvelle ligne de production (nouvelle machine à souder) :-----	45
III. 7. 5. Contrôle Qualité : -----	46
III. 7. 6. Le revêtement des tubes :-----	50
III. 7. 7. Parc de stockage :-----	50
<b>III. 8. Schéma synoptique de la procédure de fabrication des tubes :</b> -----	<b>52</b>
<b>III. 9. Organisation de la structure HSE au niveau d'ALFAPIPE :</b> -----	<b>53</b>

III. 9. 1. Objectifs de la structure HSE d'ALFAPIPE Ghardaïa :	53
III. 9. 2. Missions, fonctions et responsabilités du service HSE :	54
III. 9. 3. Procédure appliquée en ALFAPIPE HSE :	55
III. 9. 4. Politique QHSE :	55
III. 9. 5. Certificats HSE :	56
<b>Conclusion :</b>	<b>57</b>
<b><i>IV. Application de méthode AMDEC sur la machine :</i></b>	<b><i>59</i></b>
<b>IV. 1. Introduction :</b>	<b>59</b>
<b>IV. 2. La carte d'identité de la machine et description générale :</b>	<b>59</b>
<b>IV. 3. Caractéristiques techniques du tube et le Matériau de base :</b>	<b>60</b>
<b>IV. 4. Description des composants individuels de la machine :</b>	<b>60</b>
IV. 4. 1. Pièce d'entrée pivotable :	60
IV. 4. 2. Le poste de formage :	68
IV. 4. 3. Pièce de sortie :	73
<b>IV. 5. Analyse des mécanismes de défaillance</b>	<b>74</b>
<b>IV. 6. Détermination des modes de défaillance et de leurs causes</b>	<b>74</b>
<b>IV. 7. Les modes de défaillance :</b>	<b>75</b>
<b>IV. 8. Les causes de défaillance:</b>	<b>75</b>
<b>IV. 9. Estimation de la criticité:</b>	<b>76</b>
<b>IV. 10. Calcul de criticité :</b>	<b>77</b>
<b>IV. 11. Proposition d'actions correctives:</b>	<b>79</b>
<b>IV. 12. Recherche des actions correctives :</b>	<b>79</b>
<b>IV. 13. Les avantages de L'identification des éléments les plus critiques :</b>	<b>79</b>
<b>IV. 14. Réalisation d'un tableau d'AMDEC du système :</b>	<b>80</b>
<b>IV. 15. Interprétation :</b>	<b>85</b>
<b>IV. 16. Études Précédentes :</b>	<b>87</b>
IV. 16. 1. Présentation de l'étude APR	87
IV. 16. 2. Résumé de l'étude APR pour la machine S-SPM2000	87
IV. 16. 3. Comparaison:	88
IV. 16. 4. Exemples Concrets pour la Machine :	89
IV. 16. 5. Points où l'AMDEC est Supérieure à l'APR	90
<b>IV. 17. Conclusion:</b>	<b>90</b>
<b><i>Conclusion Générale</i></b>	<b><i>91</i></b>
<b><i>Références :</i></b>	<b><i>92</i></b>
<b><i>Annexe</i></b>	<b><i>94</i></b>

## Liste des figures

Figure 01: Schéma de processus d'apparition d'un dommage [4] .....	3
Figure 02: dimension d'un risque [7].....	4
Figure 03: Les étapes pour analyser un accident de travail [1] .....	6
Figure 04: Le processus global de gestion des risques[12] .....	9
Figure 05: exemple de matrice des risques[13] .....	10
Figure 06 : étapes d'une analyse de risques [3].....	17
Figure 07: Typologie des méthodes d'analyse de risque [3] .....	18
Figure 08 : Classification des principales méthodes d'analyse de risque qualitatives [4] .....	19
Figure 09: Déroulement d'une étude HAZOP[7] .....	24
Figure 10 :Représentation générique d'un scénario d'accident par l'approche nœud papillon[8] .....	29
Figure 11 : Représentation détaillée d'un scénario d'accident par l'approche nœud papillon[7] .....	30
Figure 12 : Entreprise ALFAPIPE-GHARDAIA- .....	39
Figure 13 : Situation géographique d'ALFAPIPE GHARDAIA.....	39
Figure 14 : Situation géographique d'ALFAPIPE GHARDAIA par rapport au puits de HassiMessaoud et Hassi R'mel.....	40
Figure 15 : L'organigramme d'entreprise ALFAPIPE [6] .....	44
Figure 16 : Principe de fabrication des tubes soudés en spirale.....	46
Figure 17 : L'examen Visual.....	47
Figure 18 : Un générateur de rayons X .....	47
Figure 19 : Contrôle hydrostatique .....	48
Figure 20 : Tube à l'examen ultra-sons .....	48
Figure 21 : Traction sur métal de base .....	49
Figure 22 : Essai de pliage .....	49
Figure 23 : Camion de transport .....	50
Figure 24 : Le cycle de fabrication des tubes en forme spirale.....	51
Figure 25 : Politique QHSE.....	56
Figure 26 : Certificats HSE.....	56
Figure 27 : Bras de presseur .....	61
Figure 28 : Le burin .....	61
Figure 29 : Chariot de transport de bobine.....	62
Figure 30 : Support de bobine .....	62
Figure 31 : : Le Capteur de régulation .....	63
Figure 32 : Dispositifs de dressage moteur .....	64

Figure 33 : Soudage de feuillard.....	64
Figure 34 : Fraiseurs transversaux.....	65
Figure 35 : Partie de vérification de métal .....	65
Figure 36 : Guide-feuillard.....	66
Figure 37 : Dispositif de fraisages longitudinaux .....	66
Figure 38 : Nettoyage de feuillard .....	67
Figure 39 : Conducteur principal.....	67
Figure 40 : Lieu de croquage (Tournage).....	68
Figure 41 : Châssis d'entrée.....	68
Figure 42 : Commande de la fente de soudage.....	69
Figure 43 : Corps de forme .....	69
Figure 44 : Place de cintrage .....	70
Figure 45 : Châssis de base .....	71
Figure 46 : Support de soudage .....	71
Figure 47 : Dispositif d'abaissement .....	72
Figure 48 : Poste ultrasons .....	72
Figure 49 : Dispositif de séparation .....	73
Figure 50 : Grille de sortie .....	73
Figure 51 : Le schéma général de la machine.....	74
Figure 52 : Détermination des modes de défaillance et de leurs cause.....	74
Figure 53 : Estimation de la criticité.....	77
Figure 54 : Proposition d'actions correctives .....	79

## Liste des tableaux

Tableau 01 : Les conséquences d'un accident du travail [1] .....	7
Tableau 02 : Principaux mots guides avec leur signification générale[7] .....	25
Tableau 03 : Principaux mots guides avec leur signification générale[7] .....	25
Tableau 04 : Exemples de feuille de travail de l'AMDEC[12] .....	33
Tableau 05 : Caractéristiques techniques des bobines .....	41
Tableau 06 : Diamètres des tubes et des épaisseurs des parois pour la soudure en spirale .....	42
Tableau 07 : les installations de l'entreprise .....	43
Tableau 08 : Caractéristiques techniques de tube. ....	60
Tableau 09 : Les performances du matériau de base. ....	60
Tableau 10 : Les modes de défaillance .....	75
Tableau 11 : Les causes de défaillance .....	76
Tableau 12 : Fréquence F .....	77
Tableau 13: Gravité G .....	78
Tableau 14: Non-détection D .....	78
Tableau 15 : Criticité C .....	78
Tableau 16 : Application de l'AMDEC (les éléments sont on état de fonctionnement) .....	80
Tableau 17 : Les éléments les plus critiques dans le système. ....	86
Tableau 18 : comparaison entre méthode AMDEC et APR .....	88
Tableau 19 : Exemples de l'étude AMDEC .....	89
Tableau 20 : Exemples de l'étude APR : .....	89

## Liste de abréviations

<b>ALFAPIPE</b>	Algérienne de Fabrication de Pipe
<b>AT</b>	Accident du travail
<b>SST</b>	Sante et sécurité au travail
<b>HSE</b>	Hygiène et sécurité industrielle et environnement
<b>APR</b>	L'analyse préliminaire de risque
<b>AAE</b>	L'analyse par arbre d'événements
<b>AAP</b>	L'analyse par arbre de panne
<b>HAZOP</b>	Hazard and Operability Study
<b>AMDEC</b>	Analyse de modes de défaillance, de leurs effets combinés et de leur criticité
<b>FMECA</b>	Failure Modes, Effects and Criticality Analysis
<b>QHSE</b>	Qualité et Hygiène et Sécurité Industrielle et Environnement
<b>ISO</b>	International Standard Organisation
<b>ISO45001</b>	Système de Management de la Santé et Sécurité au Travail
<b>ISO9001</b>	Système de Management de qualité
<b>ISO14001</b>	Système de management de l'environnement
<b>API</b>	The American Petroleum Institute
<b>S-SPM2000</b>	Nouvelle machine à souder (machine étudié)
<b>F</b>	Fréquence
<b>G</b>	Gravité
<b>D</b>	Non-détection
<b>C</b>	Criticité

## **Introduction Générale**

L'introduction de la machine S-SPM2000 à ALFAPIPE Ghardaïa représente une avancée significative dans leur infrastructure industrielle. Cependant, cette intégration introduit de nouveaux défis en termes de sécurité et de gestion des risques. Pour anticiper les dangers potentiels et assurer un fonctionnement sécurisé, Nous avons choisi d'appliquer la méthode AMDEC. Cette approche systématique permet d'analyser en profondeur les modes de défaillance possibles de la S-SPM2000, d'évaluer leur impact critique, et de mettre en œuvre des stratégies préventives et correctives adaptées. Ce mémoire explore donc le processus spécifique d'application de l'AMDEC à la machine, soulignant son importance pour renforcer la sécurité et optimiser l'efficacité opérationnelle au sein d'ALFAPIPE. En parallèle, nous avons comparé les résultats de l'application de l'AMDEC avec ceux de l'APR déjà en place.

### **Problématique :**

L'introduction de nouvelles machines dans un environnement de production comporte des risques inhérents qui peuvent affecter la sécurité des opérateurs, l'efficacité de la production et la qualité des produits. La problématique principale de ce mémoire est la suivante : Quel est le mode de défaillance spécifique pour chaque élément et quelles sont ses causes ? Quelles sont les mesures correctives prises pour réduire le mode de défaillance ? Quels sont les éléments les plus critiques de la machine ? Quelles sont les différences les plus importantes entre les deux méthodes ?

### **Hypothèse :**

Nous postulons que l'application de la méthode AMDEC permettra une identification plus précise et une gestion plus efficace des risques associés à la nouvelle machine comparativement à l'APR. Nous prévoyons que l'AMDEC fournira des recommandations plus détaillées et ciblées, permettant ainsi de réduire les incidents potentiels et d'améliorer la performance globale de la machine.

### **Plan du Mémoire :**

Ce mémoire est structuré pour explorer de manière approfondie l'intégration d'une nouvelle machine de production chez ALFAPIPE à travers la gestion des risques. Il commence par introduire les concepts fondamentaux de l'analyse des risques industriels. Ensuite, il compare l'AMDEC et l'APR, évaluant leurs avantages, limitations et applications spécifiques. Il présente également ALFAPIPE, son histoire, ses activités principales. Enfin, il applique l'AMDEC à la nouvelle machine, présente les résultats et formule des recommandations pour améliorer la gestion des risques dans l'entreprise.

***Chapitre I : Généralité sur  
l'analyse des risques***

## I. Généralité sur l'analyse des risques

### I. 1. Introduction :

Dans le domaine de la sécurité et de la santé au travail, l'analyse des risques joue un rôle fondamental dans la prévention des accidents et des incidents. Cette pratique consiste à identifier, évaluer et réduire les dangers potentiels présents dans l'environnement de travail afin de protéger la santé et l'intégrité des travailleurs.

Dans ce chapitre introductif, nous plongeons dans les bases de l'analyse des risques en explorant les concepts clés et les étapes essentielles de ce processus crucial. De la définition des dangers et des dommages à l'examen des réglementations en matière de sécurité et de santé au travail en Algérie, nous allons expliquer les bases nécessaires pour comprendre l'importance et les implications de l'analyse des risques dans le milieu professionnel.

### I. 2. Définitions :

#### I. 2. 1. Le danger :

Est la propriété intrinsèque d'un produit, d'un équipement, d'une situation susceptible de causer un dommage à l'intégrité mentale ou physique du salarié.[1]

#### I. 2. 2. Situation dangereuse :

Toute situation dans laquelle une personne est exposée à un ou plusieurs dangers.[2]

#### I. 2. 3. Événement dangereux :

Événement susceptible de causer un dommage pour la santé. Il peut être soudain ou correspondre, au contraire, à une exposition à long terme.[2]

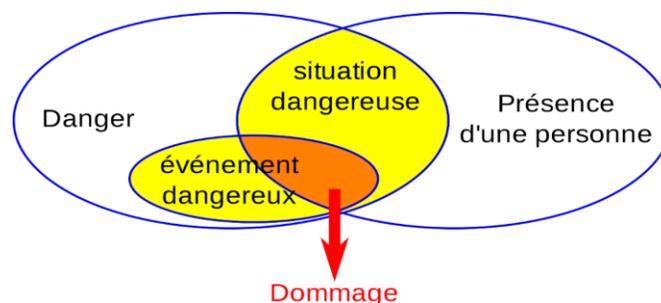


Figure 01: Schéma de processus d'apparition d'un dommage[3]

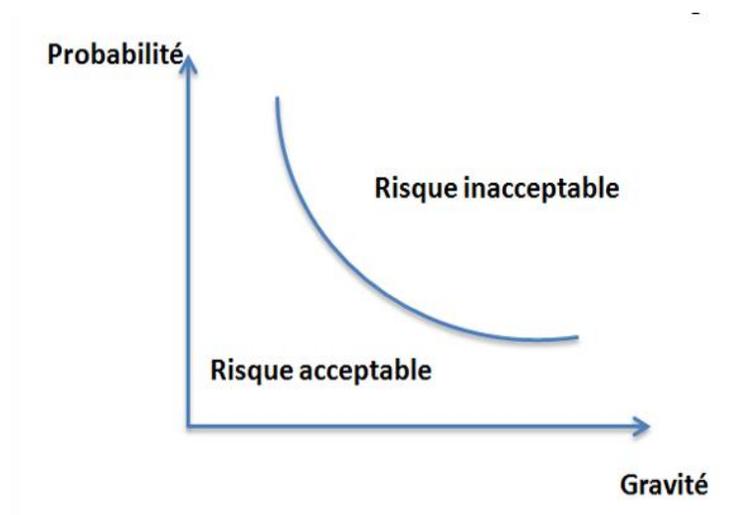
#### I. 2. 4. Sécurité du travail :

La sécurité du travail se définit comme étant l'absence (relative) des risques d'accident.[4]

#### I. 2. 5. Le risque :

« Une notion abstraite, inobservable directement, une catégorie de statut intermédiaire entre celle des dangers et celle des dommages ». C'est un évènement à venir, donc incertain. Cette incertitude est fondamentalement irréductible mais elle est plus ou moins grande selon la qualité des informations disponibles. La définition suivante semble faire l'unanimité : le risque est l'éventualité d'une rencontre entre l'homme et un danger auquel il est exposé. Deux composantes caractérisent le risque [5]:

- La probabilité de la survenance d'un dommage liée à la fréquence d'exposition et/ou la durée d'exposition au danger et la probabilité d'apparition du phénomène dangereux.
- La gravité du dommage.



*Figure 02: dimension d'un risque[6]*

#### I. 2. 6. Risque acceptable :

Risque jugé suffisamment faible pour ne pas nécessiter de mesure de contrôle supplémentaire, bien que ces mesures puissent malgré tout être mises en place sur une base volontaire pour réduire encore davantage le risque. Il peut s'agir notamment de surveillance médicale, épidémiologique ou environnementale pour détecter tout changement susceptible d'indiquer une augmentation du risque.[7]

### **I. 2. 7. Situation à risque :**

Une situation à risque est une situation de travail dans laquelle se retrouvent un ou plusieurs facteurs de risque.[4]

### **I. 2. 8. Prévention :**

C'est la diminution d'occurrence (ou de la fréquence) d'un événement non souhaité. La prévention est aussi appelée sécurité primaire dans certaines techniques du danger.[4]

### **I. 2. 9. Protection :**

C'est la minimisation la gravité d'un l'événement non souhaité. La protection est aussi appelée sécurité secondaire dans certaines techniques du danger.[4]

### **I. 2. 10. Accident :**

Événement indésirable conduisant à des dommages pour les personnes.[1]

### **I. 2. 11. Accident du travail :**

Elle doit survenir pendant les heures de travail et sur le lieu de travail, mais peut également être reconnue en dehors de ces paramètres si elle est directement ou indirectement liée à l'activité professionnelle.

Les accidents survenant lors du trajet domicile-travail sont également considérés comme des accidents du travail.[8]

### **I. 2. 12. Incident :**

Événement indésirable conduisant à des dommages pour les installations, matériels, process industriels, ou pour l'environnement, circonscrits au périmètre de l'entreprise.

Exemple : fuite d'un produit chimique suite à une vanne mal refermée, chute sur le sol d'un carton mal positionné sur un rayonnage...[1]

## **I. 3. Analyse des accidents du travail :**

Lorsqu'un accident du travail (AT) survient, il est nécessaire d'en identifier les causes et de mettre en place des actions correctives pour éviter qu'il ne se reproduise. L'analyse des accidents

du travail est formalisée selon une méthodologie définie au préalable et comporte sept grandes étapes.

L'analyse des accidents du travail, même s'ils surviennent de manière rétrospective, constitue une étape importante dans la démarche de prévention... Analyser un accident du travail, c'est identifier les causes de sa survenue et agir en conséquence pour éviter son renouvellement par la mise en œuvre d'actions correctives adaptées. Cela permet également d'améliorer le fonctionnement de l'entreprise grâce à une meilleure compréhension des dysfonctionnements et du travail réel.[1]

### I. 3. 1. Les étapes pour analyser un accident de travail :

L'analyse des accidents du travail s'appuie sur une démarche qualitative en sept grandes étapes



*Figure 03: Les étapes pour analyser un accident de travail[1]*

### I. 3. 2. Conséquences d'un accident du travail (AT) :

Les conséquences sont de différentes natures : humaines, sociales, financières et juridiques.

Tableau 01 : Les conséquences d'un accident du travail[1]

Conséquences humaines	Conséquences sociales
<p><u>Exemples pour le salarié accidenté :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Douleur.</li> <li>-Conséquences psychologiques (traumatisme).</li> <li>-Diminution de capacités sensorielles ou motrices.</li> <li>-Apparition d'un handicap.</li> <li>-Décès.</li> </ul>	<p><u>Exemples pour le salarié accidenté :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Isolement social en cas d'arrêt de travail prolongé.</li> <li>-Nécessité de s'intégrer dans un nouveau collectif de travail suite à une nouvelle affectation lors du retour à l'emploi.</li> <li>-Réorientation professionnelle suite à une inaptitude au poste de travail.</li> </ul> <p><u>Exemples pour l'employeur :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Dégradation de l'image de marque de l'entreprise.</li> <li>- Dégradation du climat social de l'entreprise.</li> </ul>
Conséquences financières	Conséquences juridiques
<p><u>Exemples pour le salarié accidenté :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Perte de salaire suite à un changement d'emploi lié à l'accident.</li> <li>-Augmentation des coûts domestiques du fait d'une perte de capacité sensorielle ou motrice (adaptation du domicile, aide pour le ménage pour la garde des enfants...).</li> </ul> <p><u>Exemples pour l'employeur :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Réparation, remplacement du matériel endommagé.</li> <li>-Perte d'exploitation.</li> </ul>	<p><u>Exemples pour l'employeur :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Possibilité d'engagement de sa responsabilité civile et condamnation possible en cas de faute inexcusable.</li> <li>-Possibilité d'engagement de sa responsabilité pénale.</li> </ul>

## **I. 4. La gestion des risques :**

### **I. 4. 1. Définition :**

La gestion des risques est le processus d'identification, d'évaluation et de réduction de l'impact des risques. En d'autres termes, il s'agit d'un moyen pour les organisations d'identifier les dangers et les menaces potentiels et de prendre des mesures pour éliminer ou réduire les chances qu'ils se produisent.

Toutes les entreprises quelle que soit leur taille doivent mettre en place une gestion des risques solide. En effet, la gestion des risques dans l'entreprise permet d'identifier et de contrôler de manière proactive les menaces et les vulnérabilités qui pourraient avoir un impact négatif.

Les organisations sont confrontées à toutes sortes de risques, tels que les risques financiers, les risques de sécurité et les risques de réputation, entre autres. En mettant en œuvre une stratégie de gestion de ces risques, les entreprises peuvent se protéger de ces dangers et s'assurer qu'elles sont préparées à toute situation.[9]

### **I. 4. 2. Principe de la gestion de risque :**

La gestion du risque peut être définie comme l'ensemble des activités coordonnées en vue de réduire le risque à un niveau jugé acceptable.

La gestion du risque est un processus itératif qui inclut notamment les phases suivantes [10]:

- Appréciation du risque (analyse et évaluation du risque)
- Acceptation du risque.
- Maîtrise ou réduction du risque.

La gestion des risques comporte en principe cinq étapes :

1. la détermination de l'utilisation prévue.
2. identification des sources de dangers.
3. l'estimation des probabilités et des conséquences du risque.
4. l'évaluation du risque.
5. la maîtrise ou la réduction des risques.

L'évaluation des risques devrait suivre l'approche d'étape dans cet ordre donnée de préférence.

Les trois premières étapes de l'évaluation des risques sont désignées souvent collectivement sous le nom de l'analyse des risques.

Une décision peut être prise si les mesures ont ramené le risque à un niveau acceptable. Il est, également essentiel de vérifier que les mesures réduisant le risque sont efficaces.

Par conséquent une boucle de rétroaction de maîtrise ou de réduction de risque au l'identification de risque doit être fait.

#### I. 4. 3. Le processus global de gestion des risques :

Le processus global de gestion des risques est présenté ci-dessous. Ce processus est applicable à n'importe quel type de risque. Que ce soit, des risques technologiques, des risques naturels, des risques sociaux, des risques financiers, des risques liés à la gestion de projet, etc.[11]

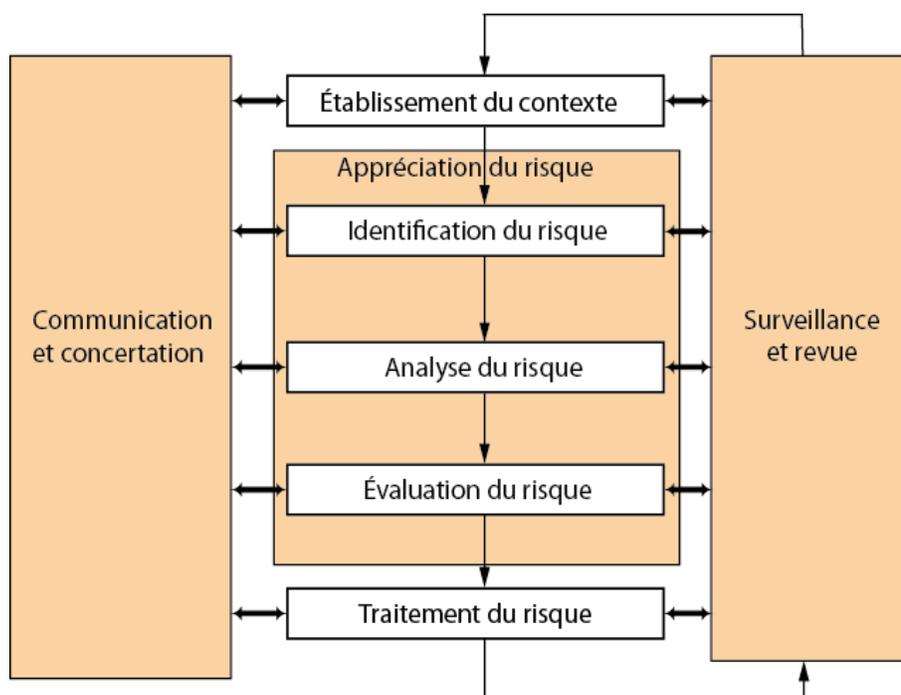


Figure 04: Le processus global de gestion des risque[11]

#### I. 4. 4. Les 5 étapes clés d'un processus de gestion des risques :

##### a. Identification des risques :

L'identification des risques potentiels susceptibles d'affecter votre organisation est la première étape du processus de gestion des risques. Cela implique essentiellement une analyse approfondie des opérations, de l'environnement et des procédures commerciales de votre entreprise pour repérer tout facteur de risque potentiel. [12]

**b. Analyse des risques :**

L'analyse des risques occupe une place centrale dans le processus de gestion des risques. Cette étape sert à définir le système ou l'installation à étudier en recueillant toutes les informations et données nécessaires. Dans ce volet, une description à trois niveaux structurel, fonctionnel et temporel est indispensable afin de mener une analyse efficace et atteindre les objectifs voulus en matière de maîtrise des risques. Dans un premier temps, les principales sources de dangers et les scénarios d'accident doivent être recensés et identifiés. [12]

**c. Évaluation des risques :**

L'évaluation des risques est la troisième étape du processus de gestion des risques. À cette étape, les risques sont hiérarchisés en fonction de leur impact potentiel après avoir été évalués pour leur gravité et leur probabilité. Les entreprises peuvent identifier les risques qui présentent le plus de menaces et qui exigent le plus d'attention en évaluant les risques. [12]

- Techniques d'évaluation des risques : Les entreprises peuvent évaluer les risques en utilisant plusieurs techniques, telles qu'une matrice de risques et une notation de risques. [12]
- Matrice de risques : La probabilité et la gravité de chaque risque sont représentées sur une matrice, les éléments les plus à risque étant abordés en premier. C'est ce qu'on appelle une matrice de risques. [12]

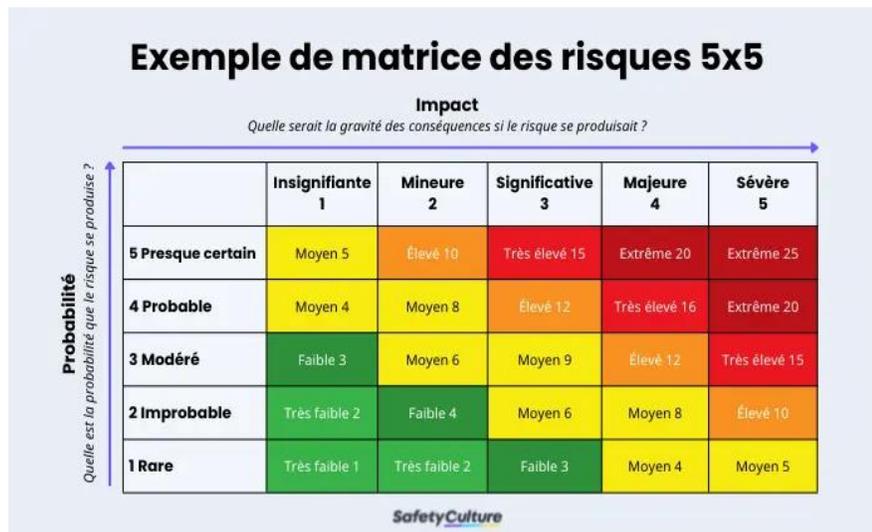


Figure 05 : exemple de matrice des risques

- Système de notation de risques : Un système de notation de risques consiste à donner à chaque risque une note numérique en fonction de sa probabilité et de ses conséquences, les notes les plus élevées indiquant un risque plus élevé. [12]

#### **d. Priorité des risques :**

Après avoir évalué les risques, il est essentiel de les classer en fonction de leur impact potentiel. Cela permet aux organisations de concentrer leurs ressources sur la résolution des risques les plus importants en premier. La priorité doit toujours être déterminée par une combinaison de probabilité et de gravité, les risques à la fois probables et hautement impactant ou graves étant traités en premier. De plus, les entreprises doivent tenir compte des ressources disponibles pour gérer chaque risque et des effets négatifs possibles de ne rien faire. [12]

La priorité des risques est une phase cruciale dans le processus de gestion des risques, qui permet aux entreprises de cibler les problèmes nécessitant le plus d'attention et de ressources. En priorisant les risques, les entreprises peuvent s'assurer de se concentrer sur la résolution des risques qui posent le plus de préjudice à leurs opérations. Cela peut réduire la probabilité que les risques affectent négativement l'entreprise et augmenter l'efficacité globale de la stratégie de gestion des risques. [12]

#### **e. Examen et surveillance :**

La surveillance et l'examen des risques constituent la dernière phase du processus de gestion des risques. Cette étape consiste à analyser le processus de gestion des risques pour trouver des opportunités d'amélioration et évaluer régulièrement l'efficacité des contrôles. La surveillance et l'examen des risques aident les entreprises à s'assurer que le processus de gestion des risques qu'elles ont mis en place reste efficace et à jour. [12]

- Surveillance des risques : Cette étape consiste à surveiller la performance des contrôles mise en place et à repérer les nouveaux risques potentiels. Il est crucial d'avoir un système en place pour suivre les risques et établir des points de contrôle réguliers pour évaluer l'efficacité des contrôles. Cela permet aux entreprises d'identifier immédiatement tout problème et si nécessaire de mettre en place de nouvelles mesures. [12]
- Examen du processus de gestion des risques : Cette étape consiste à évaluer l'ensemble du processus de gestion des risques afin de trouver des domaines qui pourraient être améliorés.

Pour maintenir leurs procédures de gestion des risques à jour et efficaces, les entreprises devraient les évaluer fréquemment. Cela peut impliquer l'examen des politiques et des processus, la recherche de points faibles potentiels des contrôles et la révision des évaluations des risques à la lumière de nouvelles données. [12]

Les entreprises peuvent s'assurer qu'elles sont prêtes à gérer tout problème potentiel en surveillant et en examinant régulièrement les risques. Cette étape est particulièrement cruciale dans le monde des affaires en constante évolution d'aujourd'hui, où de nouveaux risques peuvent apparaître soudainement et sans avertissement.[12]

#### **I. 4. 5. Avantages de la gestion du risque :**

La gestion du risque permet de recenser les risques de façon claire et structurée. Une organisation qui comprend clairement tous les risques auxquels elle est exposée peut les juger et les classer en ordre de priorité et prendre les mesures appropriées pour réduire les pertes.

La gestion du risque comporte d'autres avantages pour l'entreprise/organisme notamment [12]:

- 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, mieux profité des opportunités.
- Améliorer la communication ainsi que la gestion des risques et des opportunités.

#### **I. 5. Réglementation HSE en Algérie :**

✓ **La loi mère c'est la loi 88-07** du 26 janvier 1988 relative à l'hygiène, à la sécurité et à la médecine au travail. Elle contient des règles générales en matière d'hygiène, de sécurité en milieu de travail et de médecine de travail en plus sur la formation et l'information et finalement sur l'organisation de la prévention.[13]

- ✓ **Décret exécutif n° 05-08** du 8 janvier 2005 relatif aux prescriptions particulières applicables aux substances, préparations ou produits dangereux en milieu de travail.[14]
- ✓ **Décret exécutif n° 05-09** du 8 janvier 2005 relatif aux commissions paritaires et aux préposés à l'hygiène et à la sécurité.[14]
- ✓ **Décret exécutif n° 05-10** du 8 janvier 2005 fixant les attributions, la composition, l'organisation et le fonctionnement du Comité inter-entreprises d'hygiène et de sécurité.[14]
- ✓ **Décret exécutif n°02-427** du 7 décembre 2002 relatif aux conditions d'organisation de l'instruction, de l'information et de la formation des travailleurs dans le domaine de la prévention des risques professionnels.[14]
- ✓ **Décret exécutif n° 93-120** du 15 mai 1993 relatif à l'organisation de la médecine du travail.[14]
- ✓ **Décret exécutif n° 91-05** du 19 janvier 1991 relatif aux prescriptions générales de protection applicables en matière d'hygiène et de sécurité en milieu de travail.[14]
- ✓ **Décret exécutif n°06-198** du 31 mai 2006 définissant la réglementation applicable aux établissements classés pour la protection de l'environnement.
- ✓ **Décret exécutif n°07-145** du 19 mai 2007 déterminant le champ d'application, le contenu et les modalités d'approbation des études et des notices d'impact sur l'environnement.
- ✓ **La loi n°04-20 du 25** décembre 2004 relative à la prévention des risques majeurs et à la gestion des catastrophes dans le cadre de développement durable.
- ✓ **La loi n°03-10** du 19 juillet 2003 relative à la protection de l'environnement dans le cadre de développement durable.

## **I. 6. Conclusion :**

Dans ce chapitre nous avons fourni une vue d'ensemble approfondie de l'analyse des risques en milieu professionnel. Nous avons exploré les concepts fondamentaux tels que le danger, le dommage et le risque, ainsi que les différents types d'événements indésirables tels que les accidents du travail et les incidents. De plus, nous avons examiné la gestion des risques, mettant en lumière l'importance de l'identification, de l'évaluation et de la réduction des risques potentiels. Enfin, nous avons survolé la réglementation en matière de santé, de sécurité et d'environnement en Algérie, soulignant l'importance de se conformer aux lois et décrets pertinents pour garantir un

environnement de travail sûr et sain. Dans le chapitre suivant, nous présenterons davantage l'analyse des risques, un ensemble de méthodes et d'approches utilisées dans l'analyse des risques.

# *Chapitre II : les méthodes d'analyse des risques*

## II. Les méthodes d'analyse des risques

### II. 1. Introduction :

Tout étude de sécurité quel que soit doit inclure une analyse des risques. Cette analyse est le seul moyen d'apprécier le niveau de dangerosité de l'activité qu'on envisage de démarrer. Pour être efficace cette analyse des risques doit procéder d'une démarche scientifique ou tout au moins systématique. Cependant il n'est pas imaginable d'utiliser la même méthode pour des systèmes ou installations dont les risques ne sont ni de la même nature, ni du même niveau d'importance

### II. 2. L'analyse des risques :

L'analyse des risques est la pratique d'évaluation et de gestion des incertitudes afin de réduire leur impact potentiel sur un projet. L'analyse des risques peut être utilisée dans une variété de contextes différents, mais elle est le plus souvent appliquée aux décisions commerciales et d'investissement. Les techniques d'analyse des risques aident les organisations à prendre des décisions plus claires en tenant compte de l'impact potentiel des incertitudes.[15]

### II. 3. Importance de l'analyse des risques :

Elle est importante car elle aide les entreprises à prendre des décisions. Nous verrons ici l'importance de cette analyse.

- Minimise les pertes potentielles : Il aide les individus et les organisations à identifier les menaces et les risques potentiels et à prendre les mesures appropriées pour en réduire l'impact. Il permet de prévenir ou de réduire les pertes qui pourraient survenir si ces risques n'étaient pas identifiés et réduits. [16]
- Une meilleure prise de décision : Elle aide les personnes et les organisations à décider d'adopter ou non une certaine ligne de conduite en identifiant les risques possibles et en évaluant leur degré de gravité. Il peut aider les gens à éviter de commettre des erreurs qui coûtent cher et à prendre de meilleures décisions dans l'ensemble. [16]
- Amélioration de la continuité des activités : L'identification et l'atténuation des risques peuvent aider les entreprises à survivre à des événements inattendus et à des catastrophes. Elle permet de maintenir les services et les produits essentiels à la disposition des clients tout en minimisant les perturbations des opérations commerciales.[16]

## II. 4. Les avantages de l'analyse des risques :

Le principal avantage de l'analyse des risques est [15]:

- Aider les organisations à prendre des décisions plus claires.
- Prend en compte l'impact potentiel des incertitudes, ce qui permet aux organisations de mieux s'y préparer.
- Peut aider à réduire les conséquences des risques.

## II. 5. Etapes d'une analyse de risques :

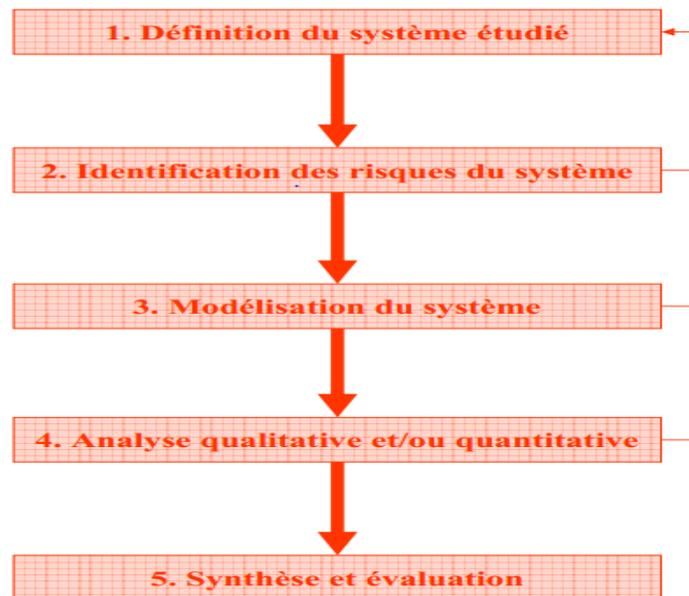


Figure 06 : étapes d'une analyse de risques [17]

## II. 6. Les méthodes d'analyse de risques :

Il existe différents classements des méthodes d'analyse de risques, nous retiendrons ici trois de ces classements :

- Méthodes qualitatives ou quantitatives.
- Méthodes inductives ou déductives.
- Méthodes statiques ou dynamiques.

### II. 6. 1. Méthodes qualitatives ou quantitatives :

#### a. Les méthodes quantitatives :

Sont supportées par des outils mathématiques ayant pour but d'évaluer la sûreté de fonctionnement et entre autres la sécurité. Cette évaluation peut se faire par des calculs de probabilités (par exemple lors de l'estimation quantitative de la probabilité d'occurrence d'un

événement redouté) ou bien par recours aux modèles différentiels probabilistes tels que les Chaines de Markov, les réseaux de pétri, les automates d'états finis, etc. [18]

Les analyses quantitatives ont de nombreux avantages car elles permettent [18]:

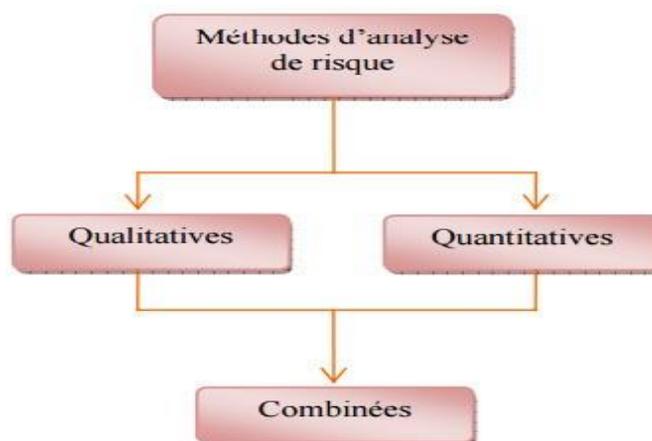
- D'évaluer la probabilité des composantes de la sûreté de fonctionnement.
- De fixer des objectifs de sécurité.
- De juger de l'acceptabilité des risques en intégrant les notions de périodicité des contrôles, la durée des situations dangereuses, la nature d'exposition, etc.
- D'apporter une aide précieuse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

#### **b. Les méthodes qualitatives :**

L'APR, l'AMDEC, l'Arbre de défaillances ou l'Arbre d'événements restent des méthodes qualitatives même si certaines mènent parfois aux estimations de fréquences d'occurrence avant la classification des risques.

L'application des méthodes d'analyse de risque qualitatives fait systématiquement appel aux raisonnements par induction et par déduction.

La plupart des méthodes revêtent un caractère inductif dans une optique de recherche allant des causes aux conséquences éventuelles. En contrepartie, il existe quelques méthodes déductives qui ont pour but de chercher les combinaisons de causes conduisant à des événements redoutés.[18]



*Figure 07: Typologie des méthodes d'analyse de risque [17]*

## II. 6. 2. Méthodes inductives ou déductives :

### a. Les méthodes inductives :

De diagnostic correspondent à une approche "montante" où l'on identifie toutes les combinaisons d'événements élémentaires possibles qui peuvent entraîner la réalisation d'un événement unique indésirable : la défaillance (des causes vers l'effet). [17]

### b. Les méthodes déductives :

La démarche est inversée puisque l'on part de l'événement indésirable, la défaillance, et l'on recherche ensuite par une approche descendante toutes les causes possibles (de l'effet vers les causes).[17]

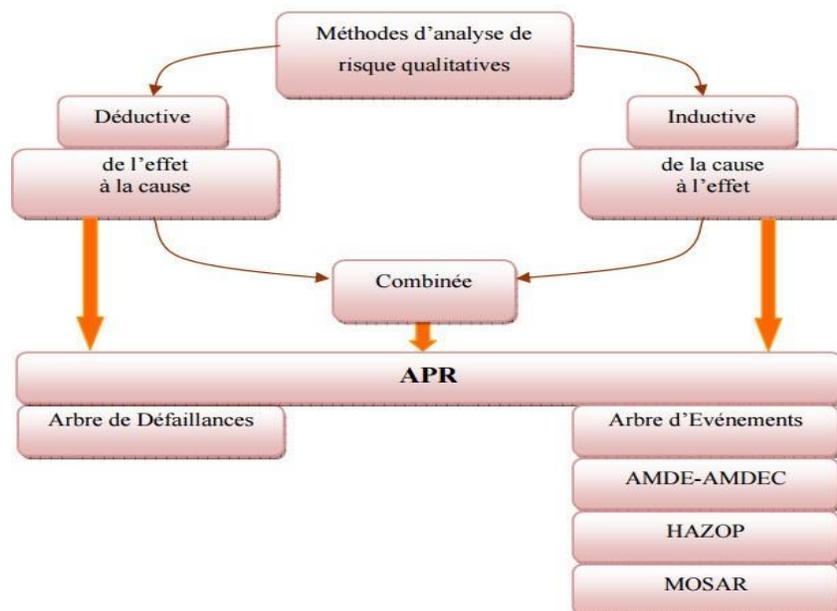


Figure 08 : Classification des principales méthodes d'analyse de risque qualitatives [18]

## II. 6. 3. Méthodes statiques ou dynamiques :

### a. Une méthode dynamique :

Permet de prendre en compte l'évolution de la configuration des composants du système au cours du temps, alors qu'une **méthode statique** étudie un système à différents instants de son cycle de vie, c'est-à-dire pour différents états possibles, sans pour autant s'intéresser aux transitions entre ces états.[17]

## II. 7. Les principaux outils d'analyse des risques :

Les principales méthodes d'analyse des risques sont :

### II. 7. 1. L'analyse préliminaire de risque (APR) :

#### a. Description de l'analyse préliminaire de risques :

L'Analyse Préliminaire de Risque (APR) est une méthode utilisée dans divers secteurs industriels pour évaluer les dangers potentiels liés aux substances dangereuses et aux processus principaux d'une installation. Elle identifie systématiquement les dangers, incluant une analyse détaillée des équipements, des logiciels, de l'environnement et des utilisations prévues. Généralement effectuée au début d'un projet, elle sert souvent de base à d'autres analyses de risques plus approfondies, offrant ainsi un bon rapport coût/bénéfice. L'APR dresse une liste des dangers potentiels en considérant diverses caractéristiques de l'ouvrage, telles que les matières premières, les matériaux de construction, les équipements, et l'environnement. Les dangers sont évalués par un ou plusieurs analystes, qui attribuent une cote de classification en fonction de la probabilité et de la gravité de chaque situation dangereuse. Cette cotation permet de prioriser les recommandations visant à améliorer la sécurité de l'ouvrage. [19]

#### b. Objectifs de l'analyse préliminaire de risques :

L'APR, souvent utilisée pour évaluer les dangers au début de la vie d'un ouvrage, est appliquée lors des phases de conception ou de recherche & développement et peut être très utile lors de la sélection d'un site pour son installation. Il est également utilisé lors de la préparation du projet pour effectuer une analyse de conception avant de créer des plans détaillés et des spécifications de travail. [19]

#### c. Principe de l'analyse préliminaire de risques :

- Identifier des situations de dangers (fuites de matières dangereuses toxiques, explosion, incendie, affaissement de barrage, erreurs humaines, conditions climatiques extrêmes, séismes, pannes électriques, pandémie, etc.). [19]
- Déterminer les causes et les conséquences d'une situation de dangers. [19]
- Mettre en lumière les barrières de sécurité existantes de prévention et/ou de protection (c.-à-d. les mesures de traitement des risques) et proposer des améliorations au besoin. [19]

**d. Intérêts et limites :**

Cette méthode n'est pas destinée à entrer dans les détails mais plutôt à mettre rapidement en évidence les gros problèmes susceptibles d'être rencontrés sur le système étudié. Cette analyse est généralement conduite dès le tout début de la conception du système. Elle est ensuite mise à jour au fur et à mesure de l'avancement de la conception, voire de la vie du système en exploitation.

Cette méthode est relativement économique en termes de temps passé et ne nécessite pas un niveau de description du système étudié très détaillé. [19]

En revanche, l'analyse préliminaire de risque ne permet pas de caractériser finement l'enchaînement des événements susceptibles de conduire à un accident majeur pour des systèmes complexes. Il s'agit d'une méthode préliminaire d'analyse qui permet d'identifier des points critiques devant faire l'objet d'études plus détaillées ; grâce à des outils comme l'AMDEC, l'HAZOP ou l'analyse par arbre des défaillances. [19]

Toutefois, son utilisation seule peut être jugée suffisante dans les systèmes simples ou lorsque le groupe de travail possède une expérience significative de ce type d'approche. [19]

**II. 7. 2. L'étude HAZOP :****a. Description de l'étude HAZOP :**

Une étude HAZOP (Hazard and Operability Study), exécutée par une équipe, est un processus détaillé d'identification des dangers et des problèmes d'exploitation. L'étude HAZOP s'attache à l'identification des déviations potentielles par rapport à l'intention de conception, à l'examen de leurs probabilités d'occurrence et des causes possibles et à l'évaluation de leurs conséquences. [20]

**b. Principes de l'étude HAZOP :**

La méthode HAZOP utilise des "mots guides" pour détecter systématiquement les écarts par rapport à l'intention de conception d'un système. Le système est divisé en sous-systèmes (ou "nœuds"), adaptés à chaque intention de conception. La taille des parties varie selon la complexité et le niveau de danger du système : plus petite pour les systèmes complexes ou dangereux, plus grande pour les systèmes simples ou à faible risque, ce qui réduit le temps d'analyse. Chaque partie du système est définie en fonction de ses caractéristiques essentielles et de ses divisions naturelles,

avec une sélection subjective des éléments à examiner pour atteindre l'objectif visé. etc. La figure 09 illustre le déroulement d'une étude HAZOP. [20]

### **c. Objectifs et caractéristiques de l'étude HAZOP :**

Les principales caractéristiques d'une étude HAZOP sont entre autres [20]:

- L'étude est un processus créatif. Elle consiste à utiliser une série de mots guides pour identifier des déviations potentielles par rapport à l'intention de conception et à employer ces déviations comme « déclencheurs » stimulant l'imagination des membres de l'équipe dans la recherche des causes de la déviation et dans l'évaluation des conséquences qu'elles peuvent engendrer.
- L'étude se déroule sous la direction d'un chef d'étude qualifié et expérimenté. Celui-ci s'assure de mener un examen exhaustif du système en s'appuyant sur une pensée logique et analytique. De préférence, le chef d'étude est assisté par un scribe qui note les dangers et/ou les perturbations identifiés en vue de leur évaluation et de la recherche de solutions.
- La qualité de l'étude repose sur les qualifications et l'expérience des spécialistes formant l'équipe. Ces spécialistes de diverses disciplines doivent faire preuve d'intuition et de perspicacité.
- Il convient d'effectuer l'examen dans un climat de pensée positive et de franche discussion. Lorsqu'un phénomène est identifié, il est noté pour être ultérieurement évalué et résolu.
- Les solutions aux problèmes ne constituent pas le principal objectif de l'étude HAZOP, mais elles peuvent, le cas échéant, être notées et transmises aux responsables de la conception.

### **d. Applications des études HAZOP :**

L'étude HAZOP, initialement développée pour les industries impliquant le traitement de fluides ou de flux de matière, a élargi son champ d'application ces dernières années. Aujourd'hui, cette méthode s'applique à divers domaines tels que les applications logicielles, les systèmes de transport, les procédures de fabrication, l'évaluation administrative et même les appareils médicaux. [20]

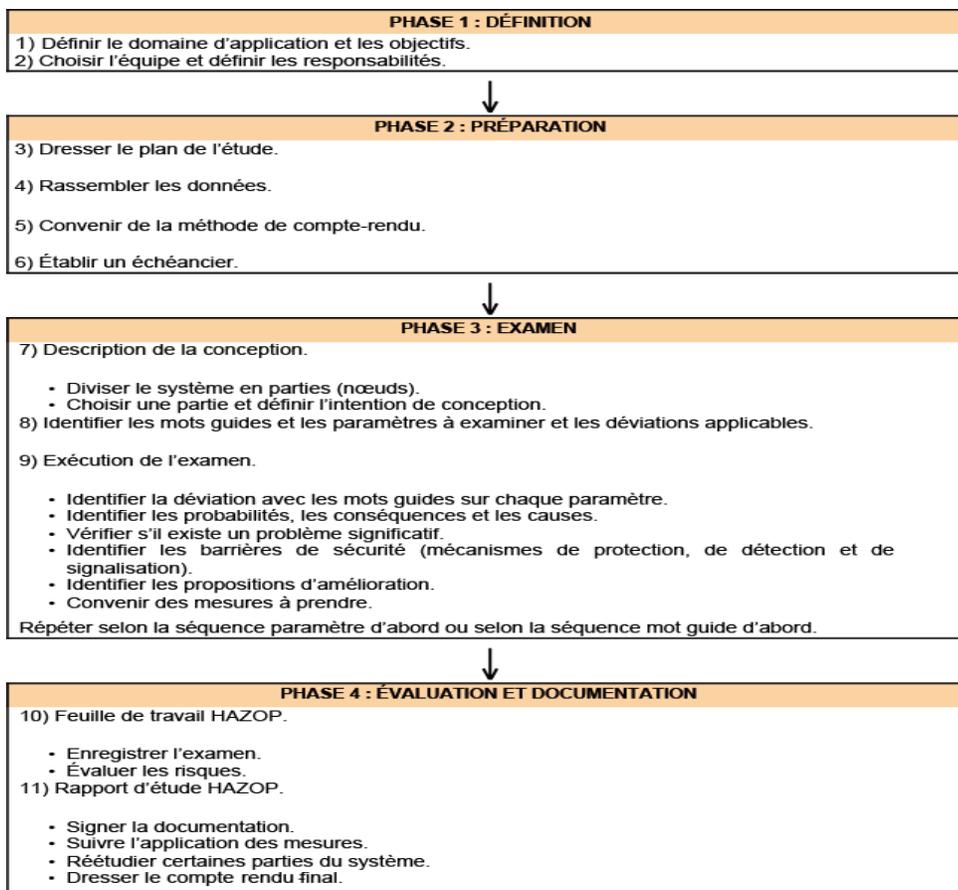
Cette étude est cruciale pour identifier les vulnérabilités des systèmes impliquant la circulation de matières, personnes ou données. Elle évalue les risques et les problèmes potentiels à chaque phase opérationnelle, facilitant ainsi la conception, le développement et la gestion sécurisée des systèmes. [20]

La méthode HAZOP peut être renforcée en intégrant l'AMDEC et l'AAP, ce qui permet d'analyser de manière approfondie les aspects critiques du fonctionnement des équipements spécifiques. Cette approche combinée est efficace pour évaluer les effets de multiples déviations et quantifier les probabilités de défaillances. [20]

Essentiellement centrée sur le système, l'étude HAZOP diffère de l'AMDEC qui est centrée sur la composante. Alors que l'AMDEC part d'une défaillance possible d'une composante pour évaluer ses conséquences sur le système, l'étude HAZOP commence par identifier les déviations potentielles par rapport à l'intention de conception, puis explore les causes et les conséquences de ces déviations. [20]

#### **e. Intérêts et limites :**

L'HAZOP est un outil particulièrement efficace pour les systèmes thermo hydrauliques. Cette méthode présente tout comme l'AMDE un caractère systématique et méthodique. Considérant, de plus, simplement les dérives de paramètres de fonctionnement du système, elle évite entre autres de considérer, à l'instar de l'AMDE, tous les modes de défaillances possibles pour chacun des composants du système. En revanche, l'HAZOP permet difficilement d'analyser les évènements résultant de la combinaison simultanée de plusieurs défaillances. Par ailleurs, il est parfois difficile d'affecter un mot clé à une portion bien délimitée du système à étudier. Cela complique singulièrement l'identification exhaustive des causes potentielles d'une dérive. En effet, les systèmes étudiés sont souvent composés de parties interconnectées si bien qu'une dérive survenant dans une ligne peut avoir des conséquences ou à l'inverse des causes dans une maille voisine et inversement. Bien entendu, il est possible a priori de reporter les implications d'une dérive d'une partie à une autre du système. Toutefois, cette tâche peut rapidement s'avérer complexe.[19]



**Figure 09: Déroulement d'une étude HAZOP[21]**

Pour une analyse efficace dans une équipe HAZOP, chaque nœud du système doit être clairement identifié en termes d'origine, de fonction et de sortie, définissant ainsi les matériaux, les activités, les sources et les destinations. Il est essentiel de préciser les éléments du nœud en termes de caractéristiques quantitatives ou qualitatives, adaptées à chaque contexte, comme la température dans un système chimique ou la vitesse de déplacement dans le transport. L'équipe HAZOP examine ensuite chaque élément à la recherche de déviations par rapport à l'intention de conception en utilisant des "mots guides" prédéfinis pour stimuler l'imagination, favoriser les discussions et garantir une analyse exhaustive... Les principaux mots guides et leurs significations sont présentés dans le tableau 2. [19]

*Tableau 02 : Principaux mots guides avec leur signification générale[21]*

Mot-guide	Signification
NE PAS FAIRE	Négation totale de l'intention de conception
PLUS	Augmentation quantitative
MOINS	Diminution quantitative
EN PLUS DE	Modification/diminution qualitative
INVERSE	Contraire logique de l'intention de conception
AUTRE QUE	Remplacement total

D'autres mots guides relatifs au temps, à un ordre ou à une séquence sont également définis dans le tableau 3.

*Tableau 03 : Principaux mots guides avec leur signification générale[21]*

Mot-guide	Signification
PLUS TÔT	Relatif au temps
PLUS TARD	Relatif au temps
AVANT	Relatif à un ordre ou une séquence
APRÈS	Relatif à un ordre ou une séquence
AUTRE QUE	Remplacement total

### II. 7. 3. L'analyse par arbre de panne :

#### a. Description de l'arbre de panne :

L'arbre de panne est une représentation graphique organisée des facteurs qui produisent ou contribuent à produire un événement indésirable, appelé événement de tête. Cette représentation permet d'identifier les influences sur la fiabilité et les caractéristiques fonctionnelles du système, les spécifications incompatibles et les événements communs impactant plusieurs composantes. L'analyse par arbre de panne est une méthode déductive visant à identifier les causes ou combinaisons de causes pouvant entraîner l'événement de tête. Elle est principalement qualitative mais peut être quantitative dans certains cas. [20]

#### b. Objectifs de l'arbre de panne :

L'analyse par arbre de panne s'entreprind seule ou combinée à une autre analyse de fonctionnement pour [20]:

- Rechercher toutes les causes et les combinaisons de causes conduisant à l'événement de tête.
- Déterminer si une des caractéristiques de fiabilité du système est conforme à un impératif prescrit.

- Vérifier l'exactitude des hypothèses faites au cours d'autres analyses à propos de l'indépendance des systèmes et valider la pertinence de l'élimination de certaines défaillances.
- Identifier le(les) facteur(s) qui a (ont) les conséquences les plus néfastes sur une caractéristique de fiabilité ainsi que les modifications nécessaires pour améliorer cette caractéristique.
- Identifier les événements communs ou les défaillances de cause commune.

### **c. Applications de l'arbre de panne :**

L'arbre de panne est particulièrement adapté à l'analyse de systèmes complexes constitués de plusieurs sous-systèmes dépendants ou entre lesquels existent des relations fonctionnelles et dont les performances satisfont des objectifs divers. Cela est d'autant plus vrai lorsque la conception du système suppose la collaboration de nombreuses équipes de concepteurs spécialisés. Voici quelques exemples parmi les systèmes couramment soumis à des analyses par arbre de panne : les centrales nucléaires, les avions, les systèmes de communication, les procédés chimiques, etc. [20]

### **d. Principes de l'arbre de panne :**

- L'arbre de panne est une représentation graphique des facteurs conduisant à un événement indésirable, élaboré dès les premiers stades de la conception d'un système. Pour l'utiliser efficacement, plusieurs étapes sont nécessaires, comme définir la portée de l'analyse, se familiariser avec le système et construire l'arbre. Ce dernier doit décrire la fonction, les interfaces et les modes de fonctionnement du système, ainsi que les conditions environnementales et humaines pertinentes. [19]
- Tous les événements liés à diverses causes doivent être inclus dans l'arbre, y compris les erreurs humaines et les défaillances logicielles. Si nécessaire, les événements étudiés mais écartés pour l'analyse ultérieure doivent être signalés. L'arbre de panne permet également de prendre en compte les effets et l'ordre des pannes multiples.[19]
- Le processus d'élaboration de l'arbre commence par définir l'événement de tête, l'événement de sortie du sommet de l'arbre. Chaque événement d'entrée peut être un événement de sortie d'une porte inférieure. L'arbre est complété lorsque des événements de

base sont atteints, lorsque certains événements ne nécessitent pas de développement supplémentaire, ou lorsqu'ils sont traités dans d'autres arbres de panne..[19]

#### **e. Intérêts et limites:**

Le principal avantage de cette méthode est de pouvoir visualiser l'ensemble des combinaisons d'événements élémentaires conduisant à une défaillance, c'est-à-dire qu'elle permet d'avoir une vision globale et logique du fonctionnement et des dysfonctionnements d'un système.

La connaissance des coupes minimales permet d'identifier, en phase de conception, les composants d'un système à améliorer pour qu'un événement ne se produise pas ; fiabiliser ces systèmes revient donc à essayer de supprimer les coupes minimales.

Les principales limites de cette méthode sont les suivantes :

les événements intermédiaires doivent être indépendants les uns des autres pour que le calcul des probabilités d'occurrence soit correct, l'arbre des défaillances ne rend pas compte de l'aspect temporel des scénarios d'événements conduisant à la défaillance, cette méthode est binaire, un événement peut soit se produire, soit ne pas se produire.[19]

### **II. 7. 4. L'analyse par arbre d'événements :**

#### **a. Description de l'analyse par arbre d'événements :**

L'analyse par arbre d'événements visualise les conséquences d'un accident causé par une défaillance d'équipement ou une erreur humaine. Elle évalue comment les systèmes de sécurité et les opérateurs réagissent à l'événement initial, en décrivant les séquences d'événements qui peuvent mener à l'accident. Cette méthode est idéale pour les processus complexes avec plusieurs barrières de protection et procédures d'urgence. [20]

#### **b. Objectif de l'arbre d'événements :**

Les arbres d'événements sont utilisés pour identifier les divers accidents qui peuvent se produire dans un système complexe. Une fois les séquences d'accidents individuelles identifiées les arbres d'événements peuvent être utilisés pour identifier des combinaisons spécifiques de défaillances pouvant conduire à un accident... L'arbre d'événements permet[20]:

- De rechercher toutes les causes et les combinaisons de causes conduisant à l'événement de tête.

- De déterminer si chacune des caractéristiques de fiabilité du système est conforme à l'objectif prescrit.
- De vérifier les hypothèses faites au cours d'autres analyses à propos de l'indépendance des systèmes et de la non-prise en compte de certaines défaillances.
- D'identifier le(les) facteur(s) qui a(ont) les conséquences les plus néfastes sur une caractéristique de fiabilité ainsi que les modifications nécessaires pour améliorer cette caractéristique.
- D'identifier les événements communs ou les défaillances de cause commune.

### **c. Applications de l'arbre d'événements :**

Les arbres d'événements sont utilisés pour identifier différents événements pouvant se produire dans des systèmes complexes. À la suite de l'identification des séquences individuelles d'accident, les combinaisons spécifiques de défaillance qui conduisent à des accidents peuvent alors être déterminées en utilisant l'arbre de panne. [20]

### **d. Principes de l'arbre d'événements :**

L'Analyse des Arbres d'Événements (AAE) évalue les accidents potentiels résultant d'une défaillance d'équipement ou d'un dérangement de procédé, appelés événements initiateurs. Contrairement à l'analyse par arbre de panne, qui est déductive, l'AAE est inductive, commençant par l'événement initiateur et développant la séquence probable d'événements conduisant aux accidents, tout en considérant les barrières de sécurité. Les arbres d'événements enregistrent de manière systématique les séquences d'accidents et définissent la relation entre les événements initiateurs et la séquence d'événements conduisant aux accidents. Ils sont efficaces pour analyser les événements initiateurs menant à différentes conséquences en mettant en évidence les causes initiales et en décrivant la séquence des événements jusqu'aux effets finaux, chaque branche représentant une séquence d'accident distincte. [20]

### **e. Intérêts et limites :**

Cette méthode est basée sur une démarche naturelle très facile à s'approprier. Cette méthode permet la recherche de tous les enchaînements d'événements (événements qui doivent être binaires : fonctionnement / panne). La qualité des conclusions dépend de la qualité et de l'exhaustivité de la liste des éléments et comportements potentiels du système pris en compte. Le chiffrage dépend de

la disponibilité et de la précision des probabilités des alternatives élémentaires. Elle permet d'estimer l'influence d'un facteur en faisant varier sa probabilité de réalisation. Elle permet de suivre le déroulement d'un scénario accidentel et d'évaluer l'influence des barrières mis en œuvre sur la fréquence des conséquences. [19]

Associée aux arbres de défaillance, elle permet de connaître le nombre d'événements intermédiaires indispensable pour conduire à l'événement redouté (coupe(s) minimale(s)). [19]

Les facteurs d'aggravation peuvent se confondre avec des défaillances. La détermination des facteurs d'aggravation dépend fortement des connaissances de l'analyste. Elle ne permet cependant pas la prise en compte des opérations d'entretien (non chronologique, puisqu'une réparation conduit le système dans un état antérieur à l'état considéré).[19]

### II. 7. 5. La représentation des résultats par l'approche nœud papillon :

La représentation nœud papillon existe depuis plusieurs années, mais a suscité un grand intérêt dans les dernières années. Elle est utilisée dans de nombreux secteurs industriels et a été développée par la compagnie Shell. L'approche est de type dit arborescente ce qui permet de visualiser en un coup d'œil les causes possibles d'un accident, ses conséquences et les barrières de sécurité mises en place. L'événement non désiré (au centre) peut être le résultat de plusieurs causes possibles (identifiées par une analyse de panne ou de défaillance). À son tour, si celui-ci se matérialise, divers phénomènes dangereux peuvent engendrer des effets sur des éléments sensibles du milieu dans lequel on se trouve (identifiées par une analyse d'événements ou de conséquences) (figure 10). [20]

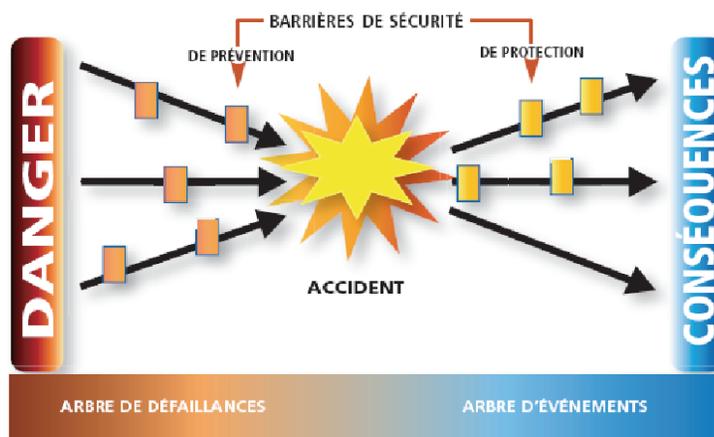


Figure 10 :Représentation générique d'un scénario d'accident par l'approche nœud papillon[22]

### a. Objectif de l'approche nœud papillon :

Cet outil permet d'illustrer le résultat d'une analyse de risque simple ou détaillée (de type APR, AMDEC, HAZOP, What-if ou autres) et d'y superposer les barrières de sécurité (prévention et protection). Ainsi, c'est un outil grandement efficace pour communiquer les résultats d'une analyse des risques à diverses parties prenantes incluant le grand public et la haute direction des organisations ; deux groupes d'intervenants avec lesquels il est crucial de synthétiser et de vulgariser l'information à communiquer. [20]

### b. Principes de l'approche nœud papillon :

Le schéma central, représenté par un nœud papillon, identifie les dangers potentiels, les causes d'accidents et les enchaînements d'événements pouvant conduire à un accident indésirable. Les barrières de prévention sont installées entre ces causes et l'accident pour prévenir leur occurrence. La partie droite du nœud illustre les conséquences possibles de l'accident, comme la formation d'une flaque ou d'un nuage, et les récepteurs affectés, tels que les employés, le public ou l'environnement. Des barrières de protection sont alors mises en place pour réduire les effets sur ces récepteurs, comme un système de gicleurs. Ainsi, le nœud papillon reflète les scénarios d'accidents et les mesures prises pour les prévenir ou en réduire les conséquences, avec des barrières de prévention et de protection... [20]

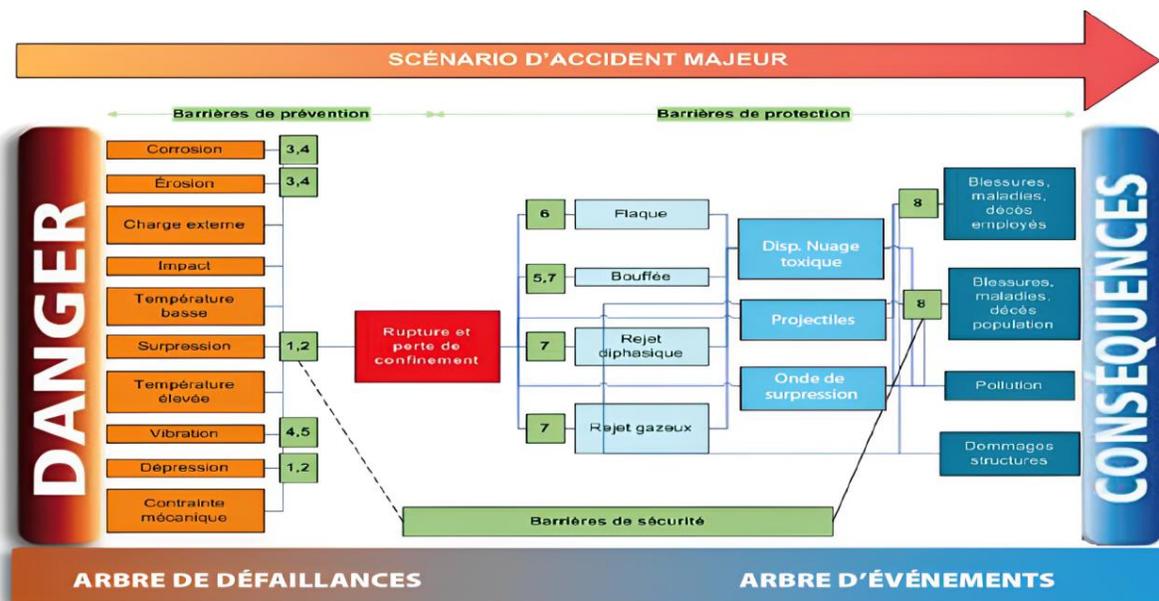


Figure 11 : Représentation détaillée d'un scénario d'accident par l'approche nœud papillon[21]

**c. Intérêts et limites :**

Le Nœud Papillon offre une visualisation concrète des scénarios d'accidents qui pourraient survenir en partant des causes initiales de l'accident jusqu'aux conséquences au niveau des cibles identifiées. De ce fait, cet outil met clairement en valeur l'action des barrières de sécurité s'opposant à ces scénarios d'accidents et permet d'apporter une démonstration renforcée de la maîtrise des risques. En revanche, il s'agit d'un outil dont la mise en œuvre peut être particulièrement coûteuse en temps. Son utilisation doit donc être décidée pour des cas justifiant effectivement un tel niveau de détail.[19]

**II. 7. 6. Analyse de modes de défaillance, de leurs effets combinés et de leur criticité (AMDEC) :****a. Introduction AMDEC :**

L'AMDEC est une technique utilisée pour le développement des produits et des procédés afin de réduire les risques d'échecs et de documenter les actions entreprises pour la revue d'un processus. Il est aussi destiné à être utilisé pour les actions préventives.[23]

**b. Histoire AMDEC :**

La méthode était inventé en 1950 à l'Amérique sous le nom FMECA ( Failure modes , effects and criticality analysis ) dans les domaines des armes nucléaire .Depuis 1960 cette méthode est adapté par la France sous le nom AMDEC pour les programme spatiaux et aéronautique , En 1970 elle devient plus étendue dans les domaine de grand travaux et de transport terrestre ,En 1980 L'AMDEC sera une partie assez important dans la plupart de industrie de produit et de bien .[23]

**c. Principe d'AMDEC :**Notions

L'AMDEC repose sur [23]:

- La notion de décomposition du système en « éléments ».
- Les représentations graphiques de la structure fonctionnelle du système et le recensement des diverses données nécessaires à la réalisation de cette AMDEC.
- La notion de mode de défaillance.
- La notion de criticité (si cette analyse est requise).

Définition de la structure fonctionnelle du système : L'analyse commence par le choix du niveau approprié le plus bas (habituellement une pièce, un circuit, un module) pour lequel un volume d'information suffisant est disponible. Un tableau des divers modes de défaillance de chaque élément se trouvant à ce niveau est dressé. L'effet de la défaillance des éléments pris individuellement, et à tour de rôle, est alors considéré comme un mode de défaillance dont l'impact au niveau suivant sera étudié. Sont ensuite dégagés, par itérations successives, les effets des défaillances à tous les niveaux fonctionnels nécessaires jusqu'au niveau du système ou le niveau le plus élevé compte tenu des modes de défaillance spécifiques. Il convient donc de déterminer le niveau de décomposition à partir duquel l'analyse doit être effectuée.[23]

#### **d. Objectifs d'AMDEC :**

Le but d'une AMDEC est d'identifier les effets des modes de bris d'équipement, de système ou d'usine. Cette analyse produit généralement des recommandations qui conduisent à une amélioration de la fiabilité de l'équipement. [23]

L'AMDEC joue un rôle essentiel dans un programme d'assurance fiabilité. Cette méthode peut s'appliquer à un large éventail de problèmes survenant dans les systèmes techniques. Elle peut être plus ou moins approfondies ou modifiées en fonction du but à atteindre. Cette analyse, qui est peu utilisée pendant les phases d'étude, de planification et de définition, est largement employée au cours de la conception et de la mise en œuvre. Il faut, toutefois, rappeler que l'AMDEC n'est qu'une étape du programme de fiabilité et de maintenabilité qui requiert d'effectuer de multiples tâches dans des domaines variés. L'AMDEC est une méthode inductive qui permet de réaliser une analyse qualitative de la fiabilité d'un système depuis un niveau bas jusqu'à un niveau élevé.[23]

#### **e. Les types d'A.M.D.E.C :**

Il existe différents types d'AMDEC, dont les trois principaux sont [24]:

- **AMDEC Produit** : c'est l'analyse des défaillances d'un produit, dues à sa conception, sa fabrication ou son exploitation, pour améliorer sa qualité et sa fiabilité.
- **AMDEC Processus** : c'est l'analyse des défaillances sur les méthodes de production d'un produit ainsi que les procédures mises en œuvre pour accomplir une tâche.
- **AMDEC Moyens de Production** : c'est l'analyse des défaillances des machines et équipements intervenants dans la réalisation d'un produit.

**f. Tableau générale de l'A.M.D.E.C :**

*Tableau 04 : Exemples de feuille de travail de l'AMDEC[25]*

Date de l'analyse:	AMDEC machine Analyse des modes de défaillance de leurs effets et de leur criticité					Phase de fonctionnement:	page: 33 / 1			
	Système:		Sous – Système:				Nom:			
Élément	Fonction	Mode de défaillance	Cause de la défaillance	Effet de la défaillance	Détection	Criticité				Action Corrective
						F	G	D	C	

**g. Les définitions liées à l'AMDEC :**

Pour comprendre cette méthode, il est important de bien connaître les termes qui lui sont associés. [26]

- **Le mode de défaillance** : c'est la manière dont le système peut s'arrêter de fonctionner s'écartant des spécifications prévues initialement fonctionner anormalement, etc. Il s'exprime en terme physique. [26]

Exemple : fuite, court-circuit, déformation, etc.

La recherche de défaillance consiste à se poser les questions suivantes :

- Qu'est-ce qui ne fonctionne pas ?.
- Qu'est-ce qui a arrêté de fonctionner ?.
- Est que quelque chose s'est dégradé dans le fonctionnement du système ?.
- Le fonctionnement est-il intempestif ?.
- **La cause de la défaillance** : c'est l'anomalie pouvant conduire à la défaillance d'un dispositif par l'intermédiaire de son mode de défaillance. Plusieurs causes peuvent être associées à un même mode de défaillance. Une même cause peut provoquer plusieurs modes de défaillance. Exemple : corrosion, etc... [26]
- **L'effet de la défaillance** : ce sont les conséquences subies par l'utilisateur. Il est associé au couple (mode-cause de défaillance) et correspond à la perception finale de la défaillance

par l'utilisateur. Exemple : détérioration, explosion, pollution, etc. [26]

- **La criticité (C)** : c'est un moyen de déterminer l'acceptabilité de la situation par la combinaison de plusieurs facteurs. En fonction de son activité ou du chef de projet, la méthode de cotation peut différer. [26]

- **Evaluation de la criticité:**

L'évaluation de la criticité se fait selon 3 critères principaux :

- la gravité (G).
- la fréquence (F).
- la non-détection (D). [26]

$$C = F * G * D$$

#### **h. Les étapes d'application :**

Alors pour bien identifier notre système d'étude en doit bien prendre en compte la discipline suivantes [23]:

- ❖ Préparation : Cette phase consiste de préparer les document machines ou système, les historiques de fonctionnement et tous qui concerne l'information machine. NB : Pour un système qui est en cours de traitement on peut se baser sur des information machine qui prend la même caractéristique de fonctionnement.

- ❖ La décomposition fonctionnelle : Dans une étape suivante l'analyse fonctionnelle nous amène à bien organiser les fonctions principales du système étudier, les fonctions secondaires et les organes de fonctionnement afin de faciliter la détection de défaut en appuyant sur l'élément(s) responsable.

- ❖ La phase d'Analyse : Donc la phase d'analyse se base sur une étude cause/effet qui sert à connaître les défauts et ses causes dans un plan d'analyse en qui met les paramètres de la fréquence d'apparition, la détection de défaut et la gravité de défaillances

- ❖ La mise en place et les suivis de plan d'actions : complémentirement la mise en place et les suivis consiste d'identifier les défaillances qui en une criticité importante d'une méthode décroissante et préparer l'intervention adéquat pour la résoudre.

**i. Avantages de l'utilisation de l'AMDEC :**

Comme mentionné, l'AMDEC est une méthode conçue pour la prévention des défaillances et l'analyse des risques, pour analyser les défaillances et déterminer leur niveau de risque respectif afin de les résoudre le plus rapidement possible. Ne pas adopter cette approche dans votre entreprise peut conduire non seulement à des insatisfactions clients, mais peut également mettre leur sécurité et leur santé en danger. [27]

En identifiant tous les modes de défaillance, les responsables du processus peuvent permettre la mise en œuvre de solutions qui, au minimum, minimisent l'impact de ces problèmes. Un autre grand avantage de l'outil est les économies pour l'entreprise. Dans une industrie, par exemple, la réduction des défaillances des processus de fabrication est directement liée à la réduction des coûts de reprise, de main-d'œuvre et d'utilisation des matières premières.

Ainsi, la mise en œuvre de l'AMDEC peut apporter plusieurs avantages à votre entreprise, notamment [27]:

- Amélioration de la fiabilité et de la qualité des produits, des processus et des services fournis.
- Réduction des coûts et des matériaux.
- Identification et quantification de la probabilité de défaillances.
- Enregistrement et suivi des actions menées pour atténuer les risques.
- Aide à identifier la cause du problème.
- Réduction de la probabilité de défaillances, de retouches, de retours et de réclamations des clients.

**j. Les limites de l'AMDEC :**

- Dans le cas du système complexe comptant un grand nombre de composants, l'AMDEC peut être très difficile à mener du volume important d'informations à traité.
- L'AMDEC considère les défaillances simples et peut être utilement complétée, selon les besoins d'analyse. [27]

## II. 8. Conclusion :

L'analyse de risque, notamment avec des méthodes telles que l'AMDEC, est un élément indispensable de la gestion d'entreprise moderne. En anticipant les incidents potentiels, en favorisant une culture de gestion proactive et en identifiant les points faibles pour des actions correctives précises, elle permet aux organisations de minimiser les risques, d'améliorer leur performance et de garantir leur succès à long terme dans un environnement dynamique et complexe. Le chapitre suivant fournit une introduction complète à la société ALFAPIPE GHARDAIA et aux tâches et travaux les plus importantes liés au HSE dans l'entreprise.

***Chapitre III : Présentation  
de l'entreprise ALFAPIPE***

### III. Présentation de l'entreprise ALFAPIPE

#### III. 1. Introduction :

Les tubes en acier jouent un rôle crucial dans le transport de substances à haute pression telles que le carburant et l'eau. Cette importance est amplifiée dans le contexte industriel où la fiabilité et la durabilité des tubes sont essentielles pour assurer un fonctionnement sûr et efficace des infrastructures de transport. Dans ce cadre, les entreprises spécialisées dans la fabrication de tubes en acier occupent une place primordiale. Cet article explore les mémoires liées à une telle entreprise, mettant en lumière ses processus de fabrication, ses normes de qualité et son engagement envers la sécurité et la performance des systèmes de transport à haute pression.

#### III. 2. Présentation du lieu de stage :

ALFAPIPE

Algérienne de Fabrication de Pipe



TUBERIE SPIRALE GHARDAIA

Certifiée **API Q1** et **ISO 9001** et **ISO 45001**

BP 78 Z.I. BOUNOURA. GHARDAIA, ALGERIA

Fax : (213).029.25.47.65

Email : du.[ghardaia@alfapipe-dz.com](mailto:ghardaia@alfapipe-dz.com)



**Figure 12 : Entreprise ALFAPIPE-GHARDAIA-**

ALFAPIPE GHARDAIA, Implantée à la zone industrielle de Bounoura à Ghardaïa à 10 km du chef-lieu de wilaya, l'usine occupe une superficie de 230 000 m<sup>2</sup> et son effectif s'élève en moyenne à 700 employés. En production depuis 1977. Sa spécialité est la fabrication de tubes en acier soudés en spirale (de diamètre 16 à 64pouces, d'épaisseur 7,92 à 15 mm et d'une longueur de 7 à 13 m) adéquats à différents buts d'utilisation :

- La construction de pipelines (gazoducs et oléoducs).
- Les grands transferts d'eau entre les barrages et les agglomérations.
- Les activités des travaux publics.



**Figure 13 : Situation géographique d'ALFAPIPE GHARDAIA**



*Figure 14 : Situation géographique d'ALFAPIPE GHARDAIA par rapport au puits de HassiMessaoud et Hassi R'mel*

### III. 3. Historique :

ALFAPIPE fut créée en 2006 suite à la fusion entre l'EPE-Spa ALFATUS filiale du Groupe SIDER en activité depuis 1969 et l'EPE-Spa PIPEGAZ, filiale du Groupe ANABIB en production depuis 1977. Elle est rattachée depuis janvier 2016 au Groupe IMETAL.

L'unité ALFAPIPE Ghardaïa est implantée dans la zone industrielle de Bounoura, à 10 km du chef-lieu de la wilaya de Ghardaïa, en production depuis 1977. Sa spécialité est la fabrication de tubes en acier soudés en spirale revêtus extérieurement en Polyéthylène tri-couches et intérieurement en peinture époxydique (gaz ou alimentaire) selon les normes internationales de différents diamètres et épaisseurs, adéquats à différents buts d'utilisation :

- La construction des pipelines (gazoducs et oléoducs).
- Les grands transferts d'eau entre les barrages et les agglomérations.
- Les activités des travaux publics.

### III. 4. Caractéristiques :

ALFAPIPE Algérienne de Fabrication des Pipes : C'est une entreprise nationale située à la zone industrielle de BOUNOURA (GHARDAIA) à 10km de la Wilaya, installée sur une surface de 45 000 m<sup>2</sup>, elle est spécialisée dans la fabrication et la commercialisation des tubes d'acier soudés en spirale pour le transport des liquides (eau, pétrole) et de gaz, elle a été mise en marche en 1977 puis en 1992 ils ont ajouté un atelier de revêtement extérieur.

La capacité de l'unité est de 100.000 T/An. Les machines peuvent produire des tubes de 16 à 64 pouces de diamètre et de 8 à 16mm d'épaisseur et une longueur de 8 à 16m.

La matière première sous forme de bobine ayant un poids moyen de 20T et une largeur de 800 à 1800mm.

La société ALFAPIPE Ghardaïa est certifiée ISO 45001 Version 2018, ISO 9001 Version 2015, API Q1 et API Spec. 5L depuis 2001, gage d'un produit de qualité répondant aux normes internationales. Laboratoire d'ALFAPIPE est accrédité ISO CEI 17025 version 2005 depuis juillet 2018 par ALGERAC (Traction, résilience, pliage et analyse chimique).

Les projets de fourniture de plus de 6.000 Km de tubes hydrocarbures (Oléoduc et Gazoduc) et plus de 1.000 Km de tubes fournis aux différents grands projets de transfert d'eau ont été réalisés depuis le démarrage de la production en 1977, par une chaîne de production de 04 lignes de production avec une capacité annuelle d'environ 100.000 tonnes/an (Soit une) selon leurs caractéristiques suivantes :

- Diamètres : de 20'' (508mm) à 64'' (1.625mm)
- Epaisseurs: 7.92 mm à 14.30 mm
- Longueur du tube : de 7 à 14 mètres

#### III. 4. 1. Caractéristiques techniques :

**Tableau 05 : Caractéristiques techniques des bobines**

Largeur de bande non rongée	630 à 1830mm
bande rongée	600 à 1800mm
Poids de bobine	Max 30MP=30tonnes
Diamètre extérieur de bobine	1200 à 2000mm
Diamètre intérieur de bobine	600 à 820 mm
Angle d'entrée de bobine	18° à 45°
Épaisseur de la paroi du tube	8 à 16 mm
Gamme de diamètre du tube	16 à 64 pouces
Gamme de longueur du tube	9 à 16m
Qualité du tube	Acier + fer

Diagramme des diamètres des tubes et des épaisseurs des parois pour la soudure en spirale type R-SSP  
1800

**Tableau 06 : Diamètres des tubes et des épaisseurs des parois pour la soudure en spirale**

Diamètre des tubes en pouces	LargeurMax. Feuillard (mm)	Qualité et épaisseur Max des parois (mm)			
		X52	X56	X60	X70
16	800	9.52	8.74	7.52	7.52
24	1200	11.13	9.52	9.52	7.52
30	1500	12.70	11.33	11.13	9.52
36	1800	15.88	12.70	12.70	9.52
42	1800	15.88	13.49	12.70	12.70
48	1800	15.88	15.88	13.49	12.70
52	1800	15.88	15.88	15.88	13.49
60	1800	15.88	15.88	15.88	15.88
64	1800	15.88	15.88	15.88	15.88

### III. 5. Les activités de l'entreprise ALFAPIPE :

#### III. 5. 1. Les différents équipements et installations :

La fabrication des tubes en spirale nécessite des employés à haute qualification et des grands équipements, donc ALFAPIPE contient les machines suivantes :

- Les machines de préparation des bobines
- Quatre machines à souder
- Deux installations de nettoyage de tubes
- Deux zones de reprise de soudure
- Dispositif d'oxycoupage
- Des convoyeurs qui assurent les déplacements des tubes entre les différentes machines.
- Des pontes roulantes pour différents poids 15T, 34T.
- Contrôle radioscopique et radiographie
- Installation de chanfreinage
- Banc d'essai hydrostatique
- Installation de revêtement extérieur
- Installation d'enrobage intérieur

En plus des équipements on trouve des différents ateliers et des laboratoires pour vérifier la qualité des produits et pour fournir les pièces de rechange pour les différentes machines :

- Atelier d'usinage.
- Atelier chaudronnerie.
- Atelier électrique.
- Laboratoire mécanique.
- Laboratoire chimique.
- Laboratoire électronique.

## III. 5. 2. Les différentes installations de l'entreprise SPA ALFAPIPE

Tableau 07 : les installations de l'entreprise

Installation	Date demise en service	Adresse	Superficie utile	Matière première utilisée	Conditions de stockage
Machines à souder 04 lignes de production	1976	Zone de fabrication	600 m <sup>2</sup>	Acier	Sous hangar
Machines à souder E Nouvelle lignes de production	2017	Zone de fabrication	300 m <sup>2</sup>	Fil à souder	
Oxycoupage des extrémités des tubes	1976	Zone parachèvement	45 m <sup>2</sup>	Tubes soudés	A l'air libre
Epreuve hydrostatique des tubes (banc essai hydrostatique pression comprise entre 20 et 250 bars)	1976	Zone parachèvement	200 m <sup>2</sup>	Huile soluble	Magasin
Epreuve hydrostatique des tubes (en cour à réaliser)	2018				
Chanfreinage des extrémités des tubes	1976	Zone parachèvement	250 m <sup>2</sup>	Tubes	/
Revêtement intérieure (en peinture)	1976	Atelier époxy	6500 m <sup>2</sup>	Diluant	A l'air libre (magasin aménagée)
				Peintures	
Extrudeuses 2 (revêtement extérieur tri couche et bicouche des tubes en polyéthylène)	1991	Atelier PE	388,5 m <sup>2</sup>	Polyéthylène	Dans des hangars et containers aménagée pour ces produits
				Adhésif	
				Poudre	
Grenailleuse 01 (projection des grains en fer sur la surface extérieure des tubes pour dégager la rouille)	2015	Atelier PE	1200 m <sup>2</sup>	Grenailles	/

III. 6. L'organigramme d'entreprise ALFAPIPE :

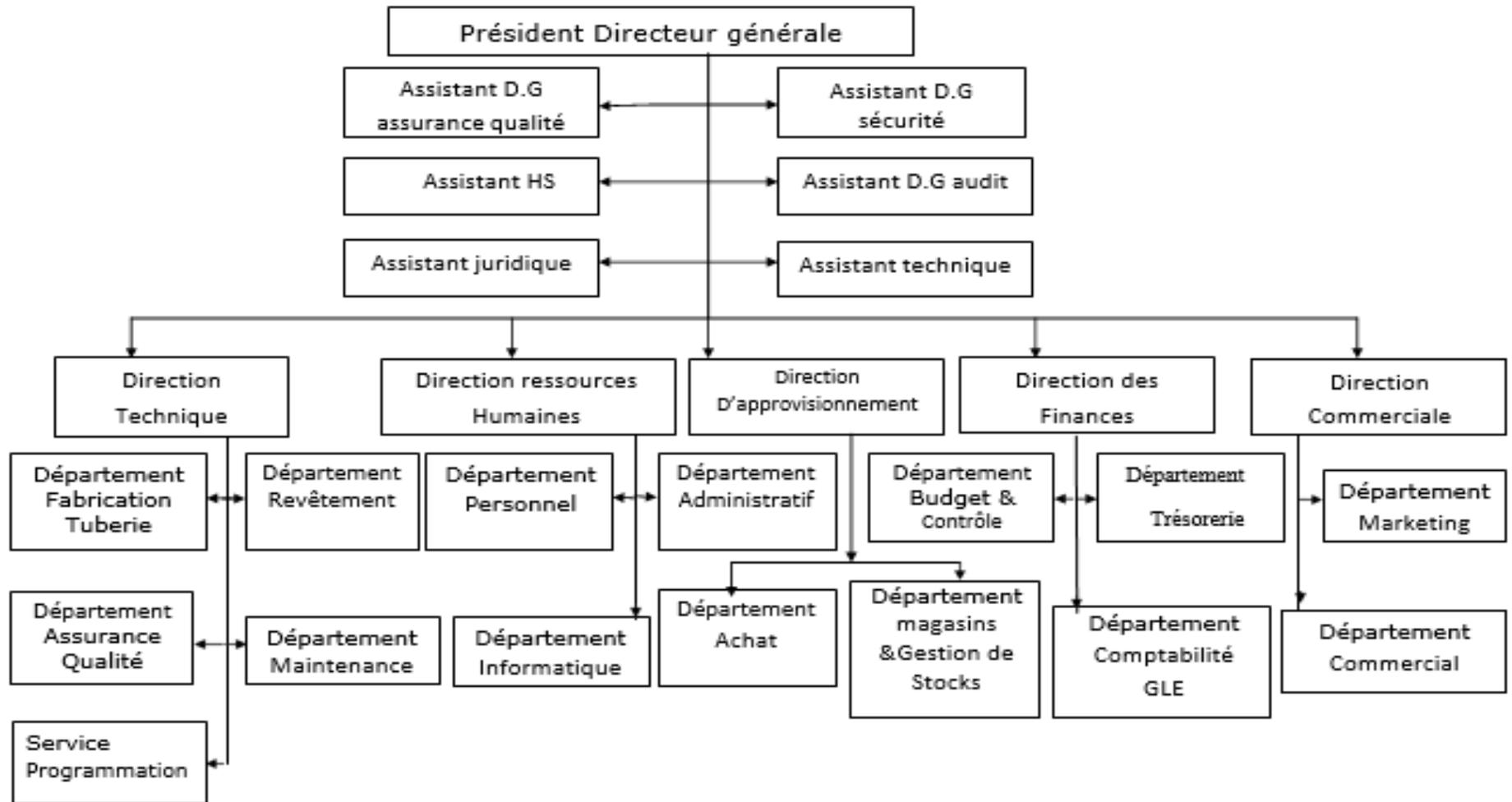


Figure 15 : L'organigramme d'entreprise ALFAPIPE [28]

### **III. 7. Procède de fabrication :**

#### **III. 7. 1. Le tube soudé en spirale :**

Le tube soudé en spirale est obtenu à partir d'un formage d'une bobine d'acier, conformément à la norme API 5L. La soudure des bords est effectuée automatiquement à l'arc immergé sous flux, l'une à l'intérieur et l'autre à l'extérieur.

La tuberie spirale dispose de quatre (04) machines à soudes identiques, qui permettent la réalisation de plusieurs opérations pour la fabrication du tube.

La machine à souder en spirale sert à fabriquer des tubes à partir des bobines de différent largeur et épaisseurs dévidés des bobines. Ces bandes sont roulées en hélice et sont ensuite soudées selon le procédé de soudure en flux.

Ces éléments essentiels sont constitués par :

- Préparation de bobine.
- Formage de tube.
- Sortie de tube.

#### **III. 7. 2. Machine à souder en spirale :**

La machine à souder en spirale sert à fabriquer des tubes à partir des bandes de différentes largeurs et épaisseurs dévidés des bobines. Ces bandes sont roulées en hélice et sont ensuite soudées intérieurement et extérieurement selon le procédé de soudure en flux.

#### **III. 7. 3. Nettoyage des tubes :**

Chaque tube sortant de la machine à souder doit être entré dans chaîne de contrôles pour but d'assurer la qualité de soudure pour éviter les problèmes dans les autres étapes de fabrication.

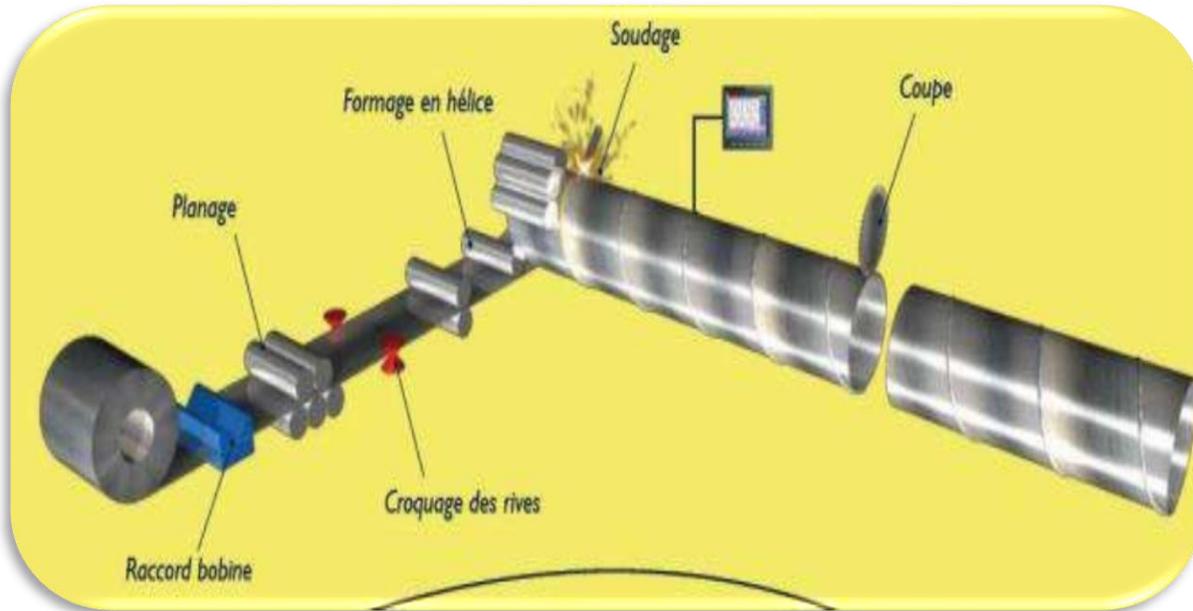
#### **III. 7. 4. Nouvelle ligne de production (nouvelle machine à souder) :**

Dans le cadre de son plan de développement, et pour augmenter sa capacité de production et satisfaire les besoins du marché en tubes forte épaisseur, ALFAPIPE Tuberie de Ghardaïa a fait l'acquisition d'une nouvelle ligne de production d'une technologie récente :

- Capacité de production supplémentaire de 110 000 tonnes/an.
- Système de contrôle de soudure et métal de base par ultrason sur machine (Online).
- Diamètre pipe de 20" à 80".
- Épaisseur de 6.35mm à 25.4mm.
- Nuance jusqu'à X100.

- Longueur de tubes de 6.0 m à 18.0 m.

Cette nouvelle machine fait toutes les étapes de l'ancienne machine mais elle est très équipée par les technologies moderne et elle est capable de traduire une forte épaisseur 22-26mm.



*Figure 16 : Principe de fabrication des tubes soudés en spirale*

### III. 7. 5. Contrôle Qualité :

La matière première (acier) et les tubes sont soumis à différents contrôles réparties en deux types :

#### a. Les contrôles non destructifs :

Le contrôle dimensionnel des tubes (diamètre, longueur, épaisseur, et la géométrie de la soudure)

- Le contrôle aux ultrasons du cordon de soudure.
- Le contrôle de la soudure par radiographie et radioscopie.
- Le contrôle hydrostatique.

#### Contrôle visuel:

Le but est de contrôler visuellement la qualité de soudure intérieur et extérieur par des agents professionnelle. S'il existe un défaut le tube sera réparé avant de continuer la fabrication.



*Figure 17 : L'examen Visual*

### **Radioscopie :**

Le tube ainsi fabriqué est nettoyé, et en cas de défaut est mis en examen par la radioscopie. La radioscopie est une installation très sophistiquée disposant d'un générateur de rayons X porté par un long bras de fer. Le tube entrant dans ce bras tourne hélicoïdalement. Ainsi le cordon de soudure et en cas de défaut l'indique sur l'endroit exact comme il peut tolérer le défaut, dans ce cas le tube est bon et dans le cas contraire il est envoyé à la réparation.



*Figure 18 : Un générateur de rayons X*

### **Installation hydrostatique :**

Chaque tube est soumis à une épreuve hydraulique, le tube est bloqué entre deux têtes remplies d'eau et soumis à l'aide de pompe haute pression à la pression prescrite qui correspond à une sollicitation qui voisine la limite élastique. La pression dans sur les tubes nécessaires à l'étanchéité des extrémités de tube est maintenue pendant un temps fixé.



*Figure 19 : Contrôle hydrostatique*

### **Chanfreinage :**

Les extrémités des tubes sont chanfreinées afin de permettre un raccordement cohérent et efficace entre deux tubes adjacents (chantier de canalisation). Pour le chanfreinage, le tube est fixé par ses deux bouts et à l'aide de deux machines tournant disposant d'outils spéciaux usinent les circonférences des deux extrémités de tube.

### **Examen ultra-sons :**

La surveillance interne de la qualité de la soudure spirale a lieu immédiatement après le soudage à l'aide d'installation automatique. Ils existent deux examens aux ultra-sons, l'un est fait pour le contrôle de la soudure, l'autre est fait pour le contrôle et la détection des dédoubleurs.



*Figure 20 : Tube à l'examen ultra-sons*

### Contrôle radiographique :

C'est un appareil à rayon X qui photographie les points de réparation. Ce-ci pour détecter les éventuels défauts rencontrés lors de l'essai hydraulique.

Les films ainsi obtenus sont étudiés afin d'améliorer la chaîne de fabrication et intervenir pour la modification et l'ajustement d'appareillage. Aussi retire ton des instructions à l'encontre des opérateurs et réparateurs pour la fiabilité de fabrication.

### b. Les contrôles destructifs (essais mécaniques) :

- Les essais de traction, de pliage, de dureté, de résilience et de DWTT sont effectués sur des éprouvettes prélevées sur la bobine et sur le tube. Ces essais sont effectués selon la norme API 5L.
- Les essais chimiques pour déterminer les taux d'alliage en carbone, soufre, phosphore, silicium, manganèse, niobium, vanadium, titane, etc.

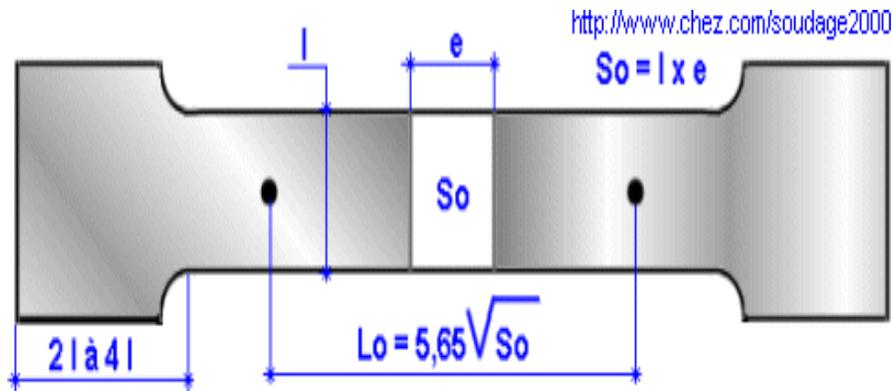


Figure 21 : Traction sur métal de base

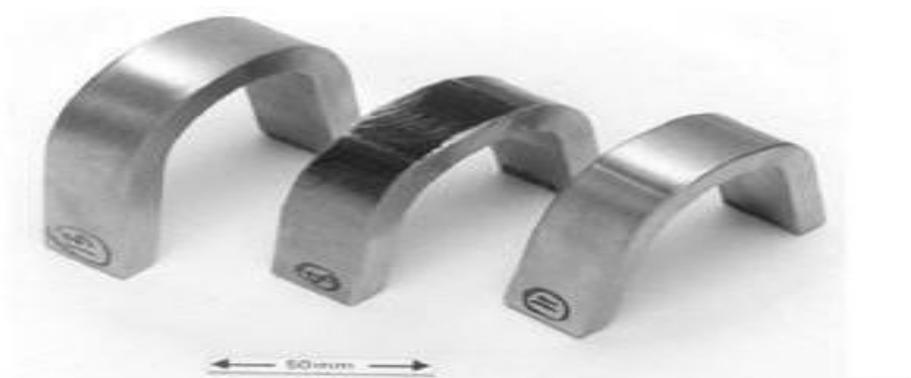


Figure 22 : Essai de pliage

### III. 7. 6. Le revêtement des tubes :

#### a. Revêtement externe :

Ses étapes de l'enrobage externe sont les suivants :

- Grenailage par jet de grains d'eau.
- Projection d'une couche peinture avec pistolet.
- Enroulement de l'adhésif. [28]

#### b. Enrobage interne:

Les étapes de l'enrobage intérieur sont les suivants :

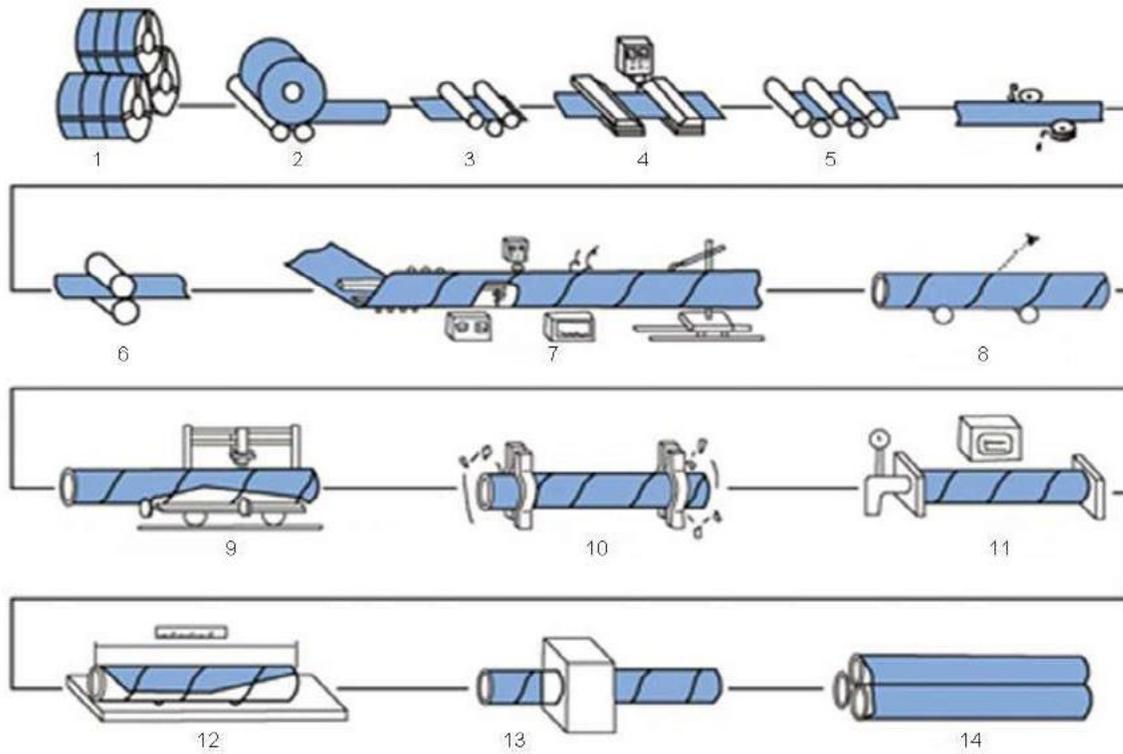
- Le rinçage des tubes présentant des partes graisseuses et huileuses avec un jet d'eau chaude à haute pression.
- Séchage des tubes rincés ou humides par un bruleur à gaz.
- Grenailage par jet d'acier pour enlever la calamine et l'oxyde et l'oxyde de fer.
- Enrobage des tubes par projection de peinture avec pompe RS, ceci pour faciliter l'enrôlement surtout quand ils sont utilisés le gaz et les fluides et les préserver contre la corrosion.

### III. 7. 7. Parc de stockage :

Transport par camion SNTR jusqu'à la zone du projet.

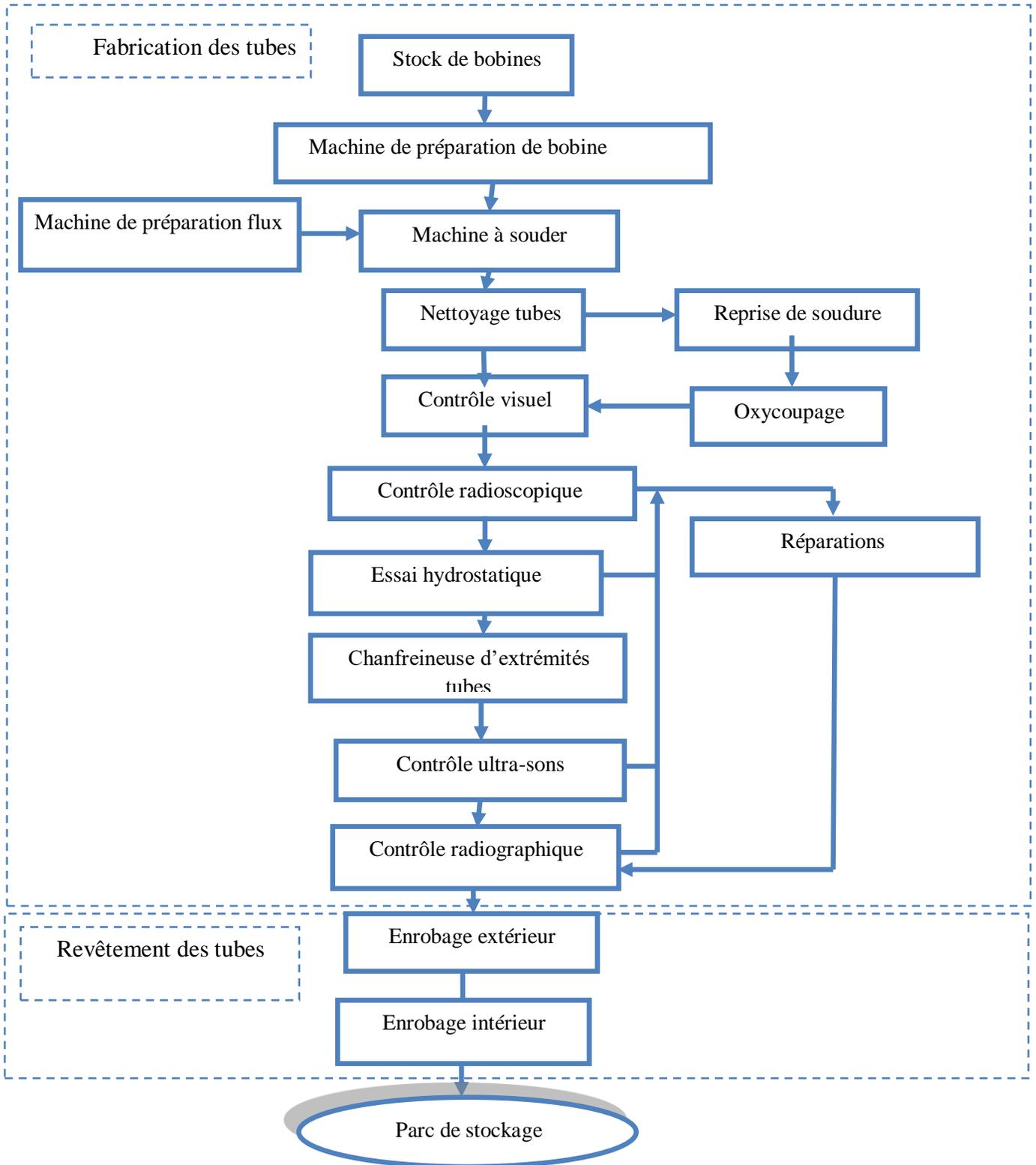


*Figure 23 : Camion de transport*

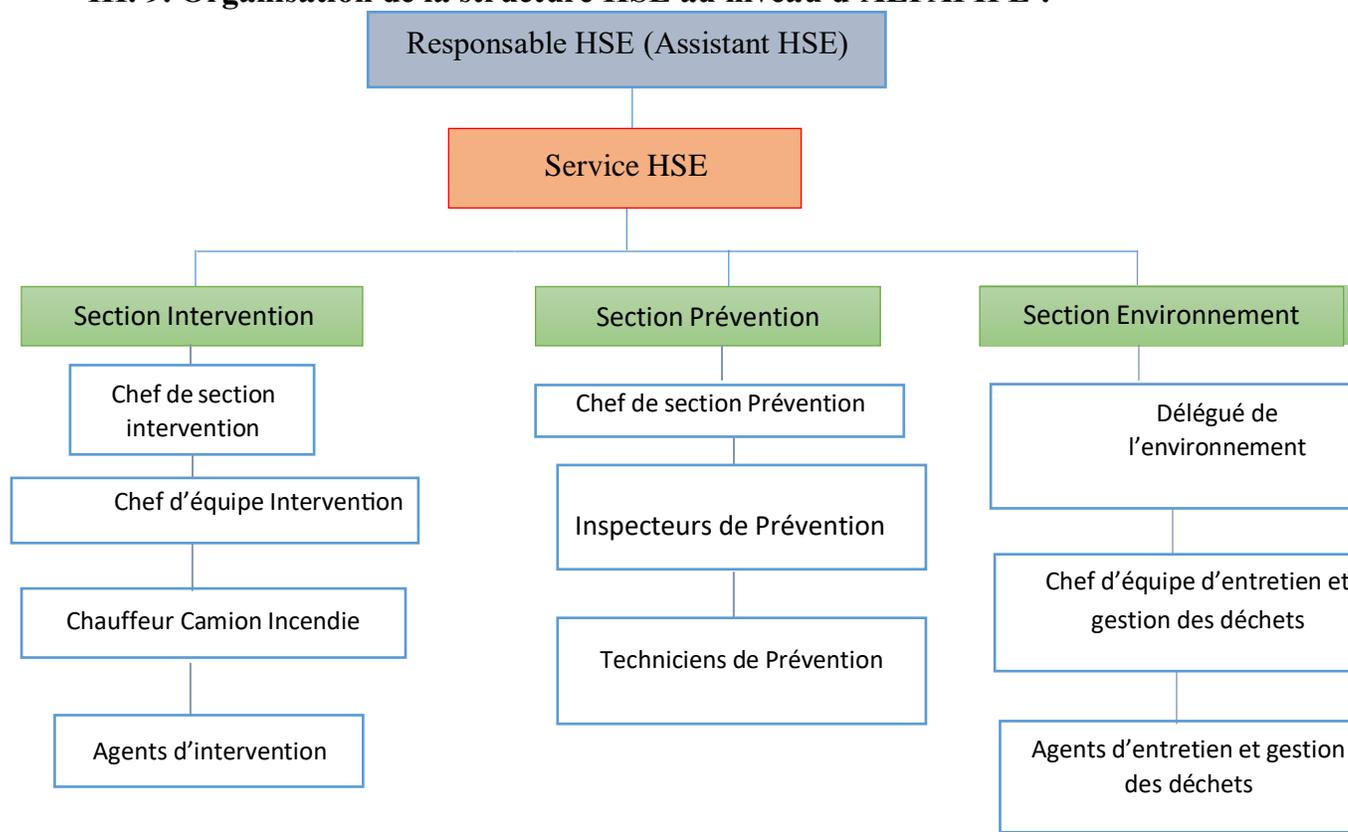


*Figure 24 : Le cycle de fabrication des tubes en forme spirale*

III. 8. Schéma synoptique de la procédure de fabrication des tubes :



### III. 9. Organisation de la structure HSE au niveau d'ALFAPIPE :



#### III. 9. 1. Objectifs de la structure HSE d'ALFAPIPE Ghardaïa :

Le service HSE de l'unité ALFAPIPE Ghardaïa a comme objectifs principaux généralement sert à :

- ✓ Assurer la santé, la sécurité des travailleurs.
- ✓ Assurer un environnement de travail sain et sûr.
- ✓ De préserver le patrimoine et les biens de l'entreprise.
- ✓ Veiller à la protection de l'environnement.
- ✓ Respecter et appliquer la réglementation HSE.
- ✓ Mettre à disposition les informations, les instructions et les formations suffisantes en matière d'HSE.
- ✓ Assurer la sécurité et la santé de toutes les personnes qui pourront être affectées par le travail y compris les sous-traitants et les visiteurs.

### III. 9. 2. Missions, fonctions et responsabilités du service HSE :

Fonctionnellement, l'activité HSE se traduit par la prise en charge des missions qui lui sont dévolues, suivant les 03 axes ci-après :

#### a. La prévention (SST) :

La prévention : c'est le principe de toute politique HSE, il se base sur le but de se conformer à la norme **ISO45001v2018**, elle a pour objectif principal de réduire la fréquence des accidents / incidents, parmi ses fonctions :

- Identifier les dangers et évaluer les risques liés aux travaux et prescrire des mesures préventives.
- Intégrer l'aspect HSE dans toutes les phases des activités.
- Effectuer des inspections périodiques et réglementaires des ateliers selon le programme arrêté.
- Former, sensibiliser le personnel en matière de SST.
- Etablir, analyser, enquêter et investiguer sur les accidents/incidents afin de mettre en place une politique de prévention plus efficace.

#### b. Environnement :

Une préoccupation majeure, vaste programme de protection de l'environnement qui sert à se conformer à la norme **ISO14001v2015** : le milieu dans lequel un organisme fonctionne incluant : l'air, l'eau, la terre les ressources naturelles, la flore, la faune et les êtres humains et leur interrelation. Elle a pour mission de :

- Identification et évaluation des aspects environnementaux.
- Veiller au respect et à l'application de la réglementation de l'installation classée pour la protection de l'environnement.
- Établir le rapport d'inspection en matière d'environnement.

#### c. Intervention :

L'intervention : elle a pour but de réduire la gravité des conséquences d'accidents/incidents, parmi ses fonctions :

- Intervention dans cas d'accident / incidents et incendies.

- Essais réglementaires et entretien préventif des moyens de lutte contre l'incendie, fixes et mobiles selon un programme annuel préétabli.
- Elaborer, mettre à jour et appliquer les plans de réponse à l'urgence et de gestion des crises (PII : plan interne d'intervention, plan ORSEC : organisation de secours).
- Faire des exercices de simulation périodique, d'entraînement pour la maîtrise des techniques d'intervention, de secours, de sauvetage et d'évacuation.
- Sensibilisation du personnel sur les techniques d'intervention incendie, sauvetage et secourisme.

### **III. 9. 3. Procédure appliquée en ALFAPIPE HSE :**

La structure HSE applique plusieurs procédures HSE et autres générales de travail qui décrit les mesures, les règles et les techniques mises en place pour atteindre les objectifs tracés, parmi lesquelles on cite :

1. Identification et évaluations des exigences légales et autres.
2. Identification des dangers et évaluation des risques.
3. Identification des aspects environnementaux.
4. Gestion des déchets.
5. Enquête & Analyse des accidents/incidents.
6. Inspection des lieux de travail.
7. Isolation d'énergie (Consignation et déconsignation électrique)
8. Radioprotection.
9. Santé au travail.
10. Préparation et réponse aux situations d'urgence.

### **III. 9. 4. Politique QHSE :**

L'entreprise ALFAPIPE Ghardaïa dispose une politique QHSE dans laquelle la direction déclare son engagement pour la mise en place du système de management QHSE.

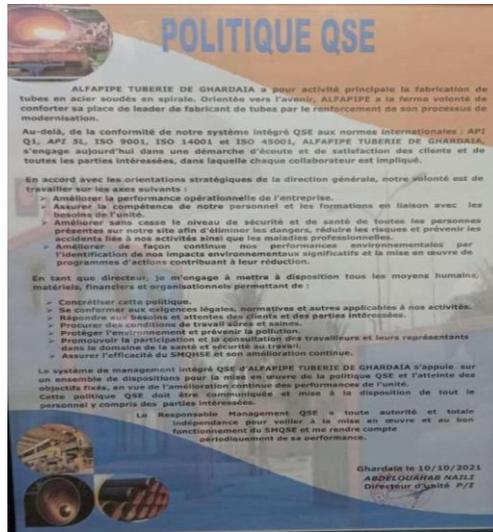


Figure 25 : Politique QHSE

III. 9. 5. Certificats HSE :

ALFAPIPE Gharđaia est certifiée API QI, API 5L et aussi son laboratoire est accrédité ISO 17025V2017, En plus, actuellement est en cours de la mise en place des deux systèmes :

- ISO 9001V2015 : : Système de Management de qualité
- ISO 45001 v 2018 : Système de Management de la Santé et Sécurité au Travail

ALFAPIPE unité de Gharđaia a obtenu la certification ISO 45001-v-2018 ; en 24 Janvier 2022, ce système a augmenté l'image et la situation de l'entreprise en nationale et internationale.



Figure 26 : Certificats HSE

### a. Les avantages de cette norme

Les avantages potentiels découlant de l'application de la norme incluent :

- Une réduction des événements indésirables sur le lieu de travail.
- Une baisse de l'absentéisme et du taux de rotation des effectifs, permettant une plus grande productivité.
- Une réduction du coût des primes d'assurance.
- La création d'une culture de la santé et de la sécurité encourageant les employés à jouer un rôle actif pour leur propre SST.
- Un engagement accru de la direction à améliorer de façon proactive la performance en matière de SST.
- La capacité à respecter les obligations légales et réglementaires.
- Une amélioration de l'image de l'organisme.
- Une hausse du moral du personnel.

➤ ISO 14001 : ALFAPIPE unité de Ghardaïa est en cours de la mise en place du système de management de l'environnement et il est envisagé l'obtention de ce certificat prochainement. [28]

### Conclusion :

En conclusion, les entreprises spécialisées dans la fabrication de tubes en acier pour le transport de carburant et d'eau à haute pression jouent un rôle crucial dans la sécurité et l'efficacité des infrastructures de transport. Leur engagement envers l'excellence dans la fabrication, le respect des normes de qualité les plus strictes et leur priorité accordée à la sécurité des systèmes de transport garantissent la fiabilité des opérations industrielles. Ces entreprises continuent d'innover et d'améliorer leurs processus pour répondre aux besoins évolutifs du marché, assurant ainsi un avenir durable et sûr pour le transport de substances à haute pression.

Dans le prochain chapitre, nous étudierons et appliquerons la méthode AMDEC à la machine S-SPM2000 (sujet de l'étude).

***Chapitre IV : Application de  
méthode AMDEC sur la  
machine***

## IV. Application de méthode AMDEC sur la machine :

### IV. 1. Introduction :

En octobre 2017, l'entreprise a acquis une nouvelle machine afin d'augmenter sa production et de répondre rapidement aux demandes des clients. Elle est conçue pour former du tube en spirale à partir de bobines à larges feuillards (bande), et souder complètement ces tubes à l'intérieur et à l'extérieur à l'aide d'un équipement de soudage SAW en technique multi fil.

La machine S-SPM 2000 est capable d'augmenter notre production de 200000T à 400000T et aussi pour fabriquer les tubes à grandes épaisseur (25.4 mm), pour la première fois en Algérie.

### IV. 2. La carte d'identité de la machine et description générale :

Type : machine à former et à souder des tubes en spirale S-SPM 2000

- N° de machine: **KP0J5801-02/03**
- Année de construction: **2014**
- Fabricant: **DANIELI W+K**
- W+K INDUSTRIETECHNIK GmbH & Co.KG HAUERT 12a
- Téléphone : **+49 (0) 231 – 79 22 11 – 0**
- Fax : **+49 (0) 231 – 79 22 11 – 9-**
- Site web: **www.danieli-wk.de**

La machine S-SPM 2000 est essentiellement constituée des éléments suivants [30] :

- ✓ La *pièce d'entrée pivotable* sur laquelle sont montés tous les dispositifs nécessaires qui transforment les bobines en un feuillard de tôle approprié et le transportent vers le poste de formage.
- ✓ Le *poste de formage* dans lequel le feuillard de tôle préparé, retiré, rogné, transformé en tube en spirale et soudé complètement à l'intérieur.
- ✓ La *pièce de sortie* sur laquelle sont montés les dispositifs assurant le soudage extérieur et le contrôle de la soudure par ultrasons ainsi que les guidages et le dispositif de découpage de la ligne de tube fabriquée et le dispositif d'évacuation du tube coupé vers le système de transport des tubes.

### IV. 3. Caractéristiques techniques du tube et le Matériau de base :

Tableau 08 : Caractéristiques techniques de tube [30].

Diamètre extérieur	508 mm – 2 032 mm
Épaisseur de feuillard	6.35mm – 25.4mm
Longueur de tube	6,0 m –18,0 m
Qualité de tube	Conformément à la spécification API 5 L numéro 44, octobre 2008
Qualité matériau	max. X100
Angle soudure en spirale	10° - 45° en pas à gauche
Vitesse de soudage	max. 2,5 m/min

Tableau 09 : Les performances du matériau de base [30].

Tolérance matériau	Selon DIN EN 10051
Largeur de feuillard	1100 mm – 2050 mm
Sabre de feuillard	Longueur max. 20 mm /10 m
Diamètre intérieur bobine	700 mm – 900 mm
Diamètre extérieur bobine	1200 mm – 2400 mm
Poids rouleau	45 T max.
Qualité matériau	X100
Limite d'élasticité	X100, 690 N/mm <sup>2</sup> min, 840 N/mm <sup>2</sup> max.

### IV. 4. Description des composants individuels de la machine :

#### IV. 4. 1. Pièce d'entrée pivotable :

##### a. Bras de presseur :

Le bras de presseur est conçu comme une bascule ou le système de pivot de la bascule est monté contre les dispositifs de dressage. La bascule est munie à l'avant des rouleaux presseurs caoutchoutés et du moteur d'entraînement hydraulique qui entraîne les rouleaux via une chaîne. L'autre côté de la bascule comporte un vérin de calage hydraulique pour le pivotement de la bascule ou pour abaisser les rouleaux rotatifs sur la bobine. Les rouleaux presseurs sont maintenus dans leur position pendant et après le changement de bobine jusqu'à ce que tout saut de première spirale de la bobine pendant le fonctionnement puisse être exclu [29].



*Figure 27 : Bras de presseur*

#### **b. Le burin :**

La cage de guidage du burin est montée sur le support de dressage de manière à ce qu'elle puisse positionner le burin contre la bobine pour la séparation. Pour cela, la cage de guidage est pivotable et le burin dans la cage de guidage est réglable en hauteur. Les deux mouvements sont effectués à l'aide d'un vérin hydraulique. Dès que le conducteur auxiliaire est fermé et par conséquent, que le début de bobine est fixé, le burin revient dans sa position de départ [29].



*Figure 28 : Le burin*

#### **c. Chariot de transport de bobines :**

Le chariot de transport de bobines, disposé sur la partie avant du châssis de base d'entrée, sert à recevoir la bobine (feuillard de tôle enroulé) et, à l'aide d'un dispositif de déplacement

hydraulique, conduit la bobine dans la position de réception par les supports de bobine ; à l'aide des rouleaux rotatifs à entraînement hydraulique disposés sur le chariot de transport de bobines et des rouleaux presseurs supérieurs ( également entraînés hydrauliquement, la bobine est tournée de manière à ce que le début de feuillard soit séparé par le bas à l'aide du burin et enfilé par le conducteur auxiliaire ouvert [29].



*Figure 29 : Chariot de transport de bobine*

**d. Support de bobine :**



*Figure 30 : Support de bobine*

Une fois le début de bobine fixé dans le conducteur auxiliaire, les deux supports de bobine pénètrent latéralement dans l'ouverture intérieure de la bobine et la soulèvent du chariot de transport de bobines pour permettre à ce dernier de retourner dans sa position de réception arrière.

Les deux supports de bobine sont reliés par des guidages linéaires au châssis de base

d'entrée. Chaque support de bobine peut être déplacé dans le sens transversal par un vérin hydraulique. Chacun des plateaux tournants, équipés de broches de support et montés sur des roulements, intégrés dans les supports de bobine, est réglable en hauteur à l'aide d'un vérin hydraulique via un système de levier. Ces mouvements permettent la réception de bobines de différentes largeurs de feuillard et de diamètres. Les côtés intérieurs des plateaux tournants sont revêtus de plaques usure.

Lors de la production, les broches de support sont automatiquement positionnées en hauteur et déplacées de telle façon que le feuillard retiré de la bobine soit si possible toujours conduit verticalement vers le dispositif de dressage. Par le déplacement latéral des supports de bobine, le feuillard défilant est toujours maintenu au milieu de la machine lors de la production.

La position du feuillard en amont du dispositif de dressage est mesurée par le dispositif de régulation du milieu de feuillard et la position de la commande hydraulique des supports de bobine alors communiquée permet de positionner automatiquement les supports de bobine.

#### **e. Régulation du centrage :**

Cette opération est assurée par une utilisation des capteurs spécialisés pour le centrage. Ces capteurs est placé dans le haut de machine juste après les supports de bobine [29].



*Figure 31 : : Le Capteur de régulation*

#### **f. Dispositif de dressage moteur (conducteur auxiliaire) :**

Le conducteur auxiliaire permet de pousser le début de bobine par le dispositif de dressage fermé jusqu'à ce qu'il puisse toucher par le chariot de serrage du soudage des feuillards bande [29].



*Figure 32 : Dispositifs de dressage moteur*

**g. Soudage de feuillard (bande) :**

Dans cet organe le début de feuillard de la nouvelle bobine est soudé avec le début de feuillard déroulé transversalement par rapport au sens de production, la fin de feuillard est coincée et le bout résiduel inutilisable est coupé au moyen d'un dispositif de séparation au plasma.



*Figure 33 : Soudage de feuillard*

### h. Fraiseurs transversaux

Le dispositif de fraisage transversal BF 30 est utilisé comme accessoire pour le fraisage de la nervure normale ou d'un chanfrein ou forme Y pour assurer l'intégrité structurelle entre la bande [29].



*Figure 34 : Fraiseurs transversaux*

### i. Vérification de métal de base :

Cette partie responsable pour le contrôle de métal, et constitué essentiellement par ces organes :

- Bâti de base.
- Poste d'alimentation.
- Contrôle par ultra-sons [29].



*Figure 35 : Partie de vérification de métal*

**j. Guide-feuillard :**

Cette partie assurer le réglage de feuillard (bande), en cas de peu de déviation ou bien de changement de direction spécialement aux cotes de feuillard [29].



*Figure 36 : Guide-feuillard*

**k. Dispositifs de fraisage longitudinaux :**

Est composé de deux machines de fraisage individuel identique qui sont montées sur le châssis de base commun [29].



*Figure 37 : Dispositif de fraisages longitudinaux*

**l. Nettoyage de feuillard :**

Le nettoyage de feuillard à pour nettoyer les copeaux de fraisage et la calamine pouvant se trouver sur la partie supérieure de feuillard entrant dans le conducteur. Un ventilateur est installé à cet effet sur le conducteur qui souffle les copeaux résiduels de la cote supérieure du feuillard par des conduits, des tuyaux et des buses réglables [29].



*Figure 38 : Nettoyage de feuillard*

**m. Conducteur principal :**

Est constitué d'une cage fermée soudée stable dans laquelle sont poussés les deux rouleaux entraînés chacun par un engrenage planétaire. Le cylindre supérieur est serré hydrauliquement par deux pistons plongeurs [29].



*Figure 39 : Conducteur principal*

**n. Craquage (tournez) bords de feuillard :**

Est monté dans le sens de déplacement du feuillard directement derrière le conducteur principal. Dans cette unité, lors du passage du feuillard, les bords de feuillard (bande) latéraux sont croqués de manière à ce que la remontée sur le tube formé et l'excentricité des deux bords de feuillard à côté de la soudure se situent dans le cadre de la tolérance admise.

Est constituée de deux supports réglables sur la largeur de feuillard, dans chaque support sont montés trois rouleaux trempés qui se règlent de manière à ce que le contour nécessaire soit croqué (tournez) au niveau des fins de feuillard lors du passage [29].



*Figure 40 : Lieu de craquage (Tournage)*

**o. Table de guidage de feuillard :**

Est constituée de trois paires de barres qui sont montées entre le conducteur principal et le formage. Chaque paire de barres est constituée d'une barre revêtue de plastique montée sous le feuillard et autre montée sur le feuillard. Celle-ci empêche le fléchissement du feuillard poussé par le conducteur principal vers le formage [29].

**IV. 4. 2. Le poste de formage :**

**a. Châssis d'entrée :**



*Figure 41 : Châssis d'entrée*

Le châssis d'entrée complet se compose au total de quatre châssis individuels. Les différents châssis sont vissés ensemble sur la face frontale via des plaques de bridage. Sur le côté de ce châssis se trouvent des galets d'appui. Ils soutiennent le châssis et se déplacent sur les segments. Sur le châssis se trouvent toutes les surfaces et perçages nécessaires au montage des différents éléments [29].

#### b. Commande de la fente de soudage :

La fente pré-réglée par l'opérateur est maintenue constante pour le soudage du feuillard entrant avec la boucle tubulaire déformée [29].



*Figure 42 : Commande de la fente de soudage*

#### c. Corps de forme :



*Figure 43 : Corps de forme*

Ce corps Pour fonction de maintenir dans sa géométrie la boucle tubulaire déformé dans le système de cintrage à trois cylindres. Le guidage delà boucle tubulaire est pris en charge par une cage déroulement. La cage de roulement est constituée de plusieurs barres qui sont réglables sur le diamètre de tube via un moteur [29].

#### **d. Système de cintrage :**

Le feuillard entrant est transformé en tube dans le système de cintrage à trois cylindres. Le feuillard poussé par le conducteur principal est transformé par les rouleaux de formage du bras intérieur pour obtenir le diamètre de tube correspondant. Les différentes barres sont équipées de toutes les possibilités de réglage nécessaires :

Le système de cintrage à trois cylindres est essentiellement constitué des éléments suivants :

- Cadre soudé fixé dans la fondation avec guidages longitudinaux pour la cage de ramassageet fixation pour le vérin de déplacement.
- Cage de ramassage soudée résistante avec perçages pour les bras intérieurs.
- Bras intérieur avec système de direction.



*Figure 44 : Place de cintrage*

**e. Châssis de base :**

Est soudé au fer et coulé dans du béton. Sur le châssis se trouvent tous les guidages et surfaces de vitesse pour la fixation du système de cintrage.



*Figure 45 : Châssis de base*

**f. Support de soudage :**

Dans ce point on trouve le rouleau de déplacement à soulèvement et abaissement hydrauliques. Ces rouleaux ont pour fonction de soutenir les deux bords de feuillard. Le réglage de ces rouleaux permet également, dans une certaine mesure, de corriger le diamètre du tube.



*Figure 46 : Support de soudage*

**g. Dispositif d'abaissement de tube :**

Les dispositifs d'abaissement sont constitués d'une barre à levier qui peut être soulevée et abaissée hydrauliquement. Sur se trouvent les deux galets porteurs sur lesquels le tube est déposé. Ces galets transporter le tube latéralement [29].



*Figure 47 : Dispositif d'abaissement*

**h. Poste ultrasons :**

L'équipement ultrasons pour contrôler la soudure extérieure est monté sur le poste ultrasons. Le poste ultrasons est relié au châssis de sortie par des guidages linéaires. Par la roue dentée et la céramique [29].



*Figure 48 : Poste ultrasons*

### IV. 4. 3. Pièce de sortie :

#### a. Dispositif de séparation :

Est essentiellement constituées éléments suivants [29] :

- Bâti de base soudé pour la réception du chariot de déplacement.
- Chariot de déplacement pour le passage de torche.
- Unité d'entraînement pour le chariot de déplacement.
- Support de torch.
- Paroi de protection contre étincelles et le balai de masse.

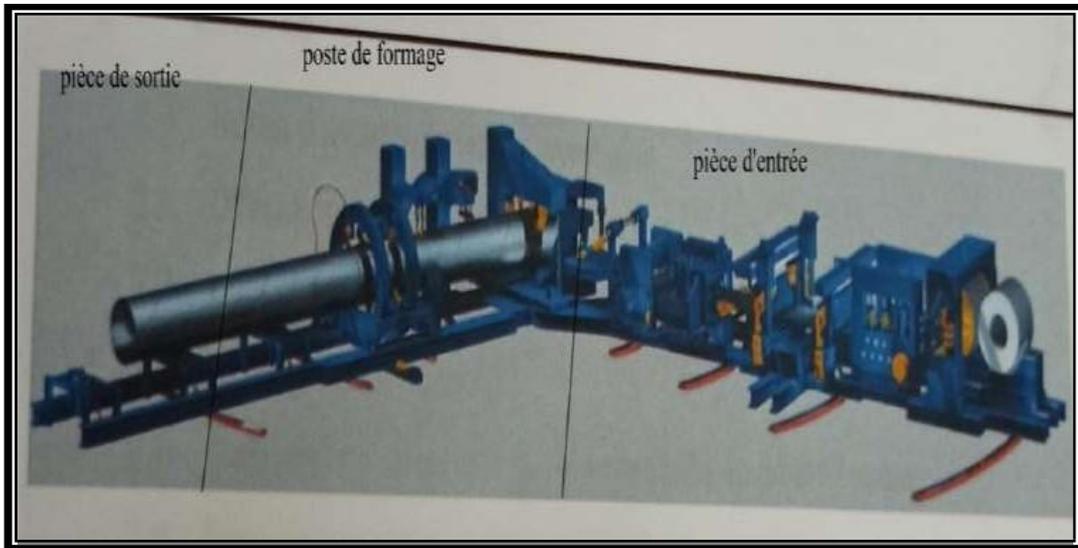


*Figure 49 : Dispositif de séparation*

#### Grille de sortie :



*Figure 50 : Grille de sortie*



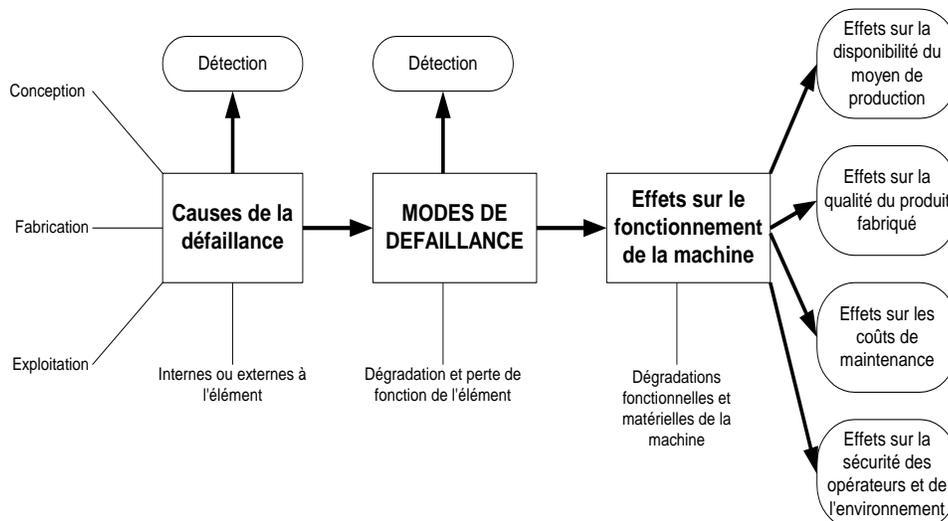
*Figure 51 : Le schéma général de la machine*

#### IV. 5. Analyse des mécanismes de défaillance

Est consisté à examiner comment et pourquoi les fonctions de la machine risquent de ne plus être assurées correctement. On identifie les mécanismes de défaillance des éléments de la machine de manière exhaustive, pour la phase de fonctionnement considérée.

L'analyse des mécanismes de défaillance se base sur l'état actuel ou prévu de la machine au moment de l'étude.

#### IV. 6. Détermination des modes de défaillance et de leurs causes



*Figure 52 : Détermination des modes de défaillance et de leurs cause.*

#### IV. 7. Les modes de défaillance :

C'est la manière dont un système vient à ne pas fonctionner. Ils sont relatifs à la fonction de chaque élément. Une fonction a 4 façons de ne pas être correctement effectuée :

- ✓ **Plus de fonction** : la fonction cesse de se réaliser.
- ✓ **Pas de fonction** : la fonction ne se réalise pas lorsqu'on la sollicite.
- ✓ **Fonction dégradée** : la fonction ne se réalise pas parfaitement.
- ✓ **Fonction intempestive** : la fonction se réalise lorsqu'elle n'est pas sollicitée.

Tableau 10 : Les modes de défaillance

Modes de défaillances	Composants électriques et électromécaniques	Composants hydrauliques	Composants mécaniques
<b>Plus de fonction</b>	Composant défectueux	Composant défectueux Circuit coupe ou bouche	Rupture Blocage, Grippage
<b>Pas de fonction</b>	Composant ne répondant pas à la sollicitation dont il est l'objet connexions débranchées fils desserrés	Connexions/raccords débranchés	
<b>Fonction dégradée</b>	Dérive des caractéristiques	Mauvaise étanchéité usure	Désolidarisation Jeu
<b>Fonction intempestive</b>	Perturbations (parasites)	Perturbations (coups de bélier)	

#### IV. 8. Les causes de défaillance:

Il existe 3 types de causes amenant le mode de défaillance :

- ✓ Causes internes au matériel.
- ✓ Causes externes dues à l'environnement, au milieu, à l'exploitation.
- ✓ Causes externes dues à la main d'œuvre.

Tableau 11 : Les causes de défaillance

Causes de défaillance	Composants électriques et électromécaniques	Composants hydrauliques	Composants mécaniques
<b>Causes internes matériel</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vieillessement</li> <li>• Composant HS (mort subite)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vieillessement</li> <li>• Composant HS (mort subite)</li> <li>• Colmatage</li> <li>• Fuites</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contraintes mécaniques</li> <li>• Fatigue mécanique</li> <li>• États de surface</li> </ul>
<b>Causes externes milieu exploitation</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pollution (poussière, huile, eau)</li> <li>• Chocs</li> <li>• Vibrations</li> <li>• Échauffement local</li> <li>• Parasites</li> <li>• Perturbations électromagnétiques, etc.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Température ambiante</li> <li>• Pollution (poussières, huile, eau)</li> <li>• Vibrations</li> <li>• Échauffement local chocs, coups de bélier</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Température ambiante</li> <li>• Pollution (poussières, huile, eau)</li> <li>• Vibrations</li> <li>• Échauffement local</li> <li>• Chocs</li> </ul>
<b>Causes externes Main d'œuvre</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Montage</li> <li>• Réglages</li> <li>• Contrôle</li> <li>• Mise en œuvre</li> <li>• Utilisation</li> <li>• Manque d'énergie</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Montage</li> <li>• Réglages</li> <li>• Contrôle</li> <li>• Mise en œuvre</li> <li>• Utilisation</li> <li>• Manque d'énergie</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conception</li> <li>• Fabrication (pour les composants fabriqués)</li> <li>• Montage</li> <li>• Réglages</li> <li>• Contrôle</li> <li>• Mise en œuvre</li> <li>• Utilisation</li> </ul>

#### IV. 9. Estimation de la criticité:

La criticité des défaillances de chaque élément, à partir de plusieurs critères de cotation indépendants. Pour chaque critère de cotation, on attribue un niveau (note ou indice). Un niveau de criticité en est ensuite déduit, ce qui permet de hiérarchiser les défaillances et d'identifier les points critiques.

L'évaluation de la criticité se fonde sur l'état actuel ou prévu de la machine au moment de l'étude. Les critères de criticité s'expriment dans le tableau AMDEC par leurs niveaux respectifs.

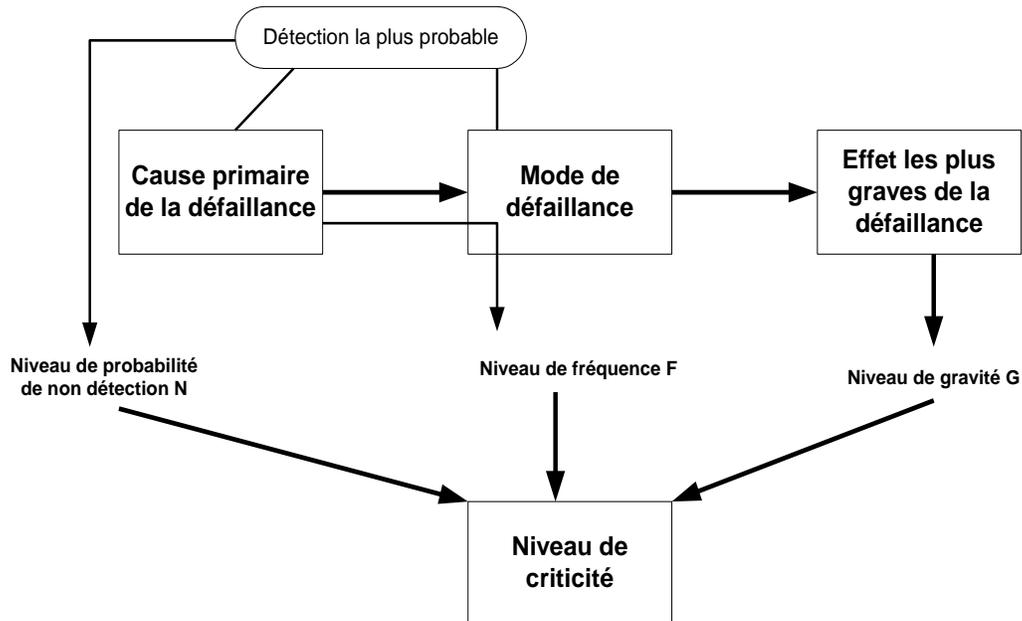


Figure 53 : Estimation de la criticité

#### IV. 10. Calcul de criticité :

Calculer le niveau de criticité, pour chaque combinaison cause / mode / effet, à partir des niveaux atteints par les critères de cotation. La valeur de la criticité est calculée par le produit des niveaux atteints par les critères de cotation.

$$C = G \times F \times D$$

Tableau 12 : Fréquence F

Niveau	Valeur	Définition
Très faible	1	Défaillance rare : moins d'une défaillance par 10 ans.
Faible	2	Défaillance possible : moins d'une défaillance par année.
Moyen	3	Défaillance occasionnelle : moins d'une défaillance par 4 mois.
Elevé	4	Défaillance fréquente : moins d'une défaillance par semaine

Tableau 13: Gravité G

Niveau	Valeur	Définition
		<b>Arrêt de la production</b>
Mineur	1	Moins de 15 minutes.
Moyen	2	De 15 minutes à une heure.
Majeur	3	Entre 1 heure et 2 heures
Grave	4	Plus de 2 heures

Tableau 14: Non-détection D

Niveau	Valeur	Définition
Évident	1	Détection certaine, sirène, moyens automatiques, signes évidents.
Possible	2	Délectable par l'opérateur, par des routes d'inspection, par des vibrations.
Improbable	3	Difficilement détectable, moyens complexes (appareils, démontages)
Impossible	4	Indétectable, aucun signe.

Tableau 15 : Criticité C

Niveau de criticité	Exemples d'actions correctives à engager
$1 \leq C < 10$ Criticité négligeable	Aucune modification de conception Maintenance corrective
$10 \leq C < 20$ Criticité moyenne	Amélioration des performances de l'élément Maintenance préventive systématique
$20 \leq C < 40$ Criticité élevée	Révision de la conception du sous-ensemble et du choix des éléments Surveillance particulière, maintenance préventive conditionnelle / prévisionnelle
$40 \leq C < 64$ Criticité interdite	Remise en cause complète de la conception

#### IV. 11. Proposition d'actions correctives :

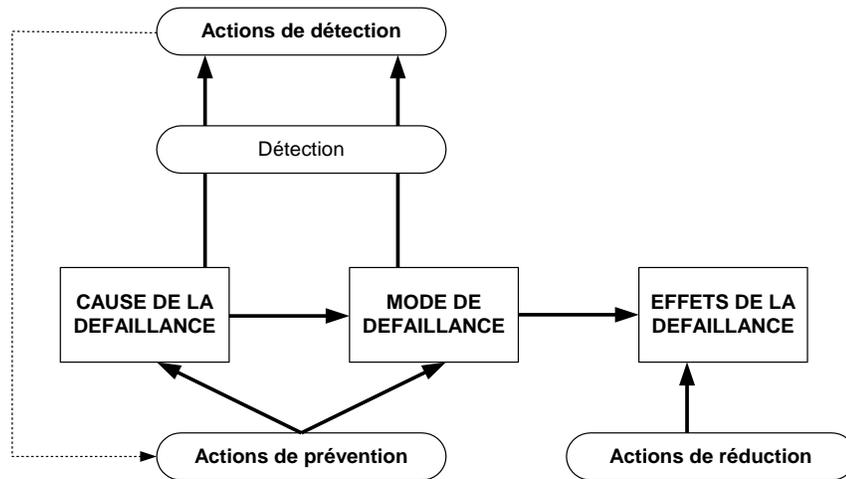


Figure 54 : Proposition d'actions correctives

Cette phase consiste à proposer des actions ou mesures amélioratives destinées à faire chuter la criticité des défaillances, en agissant sur un ou plusieurs critères de fréquence, gravité et probabilité de non détection, Ces actions peuvent concerner selon le cas le constructeur ou l'utilisateur de la machine.

#### IV. 12. Recherche des actions correctives :

Rechercher des actions correctives, pour chaque combinaison cause / mode / effet. Les actions correctives sont des moyens, dispositifs, procédures ou documents permettant la diminution de la valeur d'un ou de plusieurs niveaux (fréquence, gravité, probabilité de non détection) et par suite la réduction de la criticité. Elles sont de 3 types :

- ✓ Actions de prévention des défaillances.
- ✓ Actions de détection préventive des défaillances.
- ✓ Actions de réduction des effets.

Plusieurs possibilités existent dans la recherche des actions selon les objectifs de l'étude :

- ✓ On ne s'intéresse qu'aux défaillances critiques.
- ✓ On s'intéresse systématiquement à toutes les défaillances.

#### IV. 13. Les avantages de L'identification des éléments les plus critiques :

- ❖ Concentration des ressources.
- ❖ Réduction des impact.
- ❖ Priorité des actions.
- ❖ Amélioration continue

IV. 14. Réalisation d'un tableau d'AMDEC du système :

Tableau 16 : Application de l'AMDEC (les éléments sont on état de fonctionnement).

PME: <i>S-SPM 2000</i>	Analyse des modes de défaillance de leurs effets et de leurs criticités										
		DATE: 14/03/2024									
L'élément	Fonction	Modes de défaillance	Cause	Effet	Détection	Criticité				Action Corrective	
						F	G	D	C		
Moteur hydraulique	Alimentation hydraulique	Mouvais fonctionnement	Fuites d'huile, une pression incorrecte, des composants défectueux, une contamination de l'huile hydraulique	<ul style="list-style-type: none"> <li>- une baisse de performance</li> <li>- des bruits inhabituels</li> <li>- une surchauffe</li> <li>-Groupe en arrêt</li> </ul>	Visual -Auditif	3	2	1	6	Vérifier et réparer les fuites d'huile. Vérifier et ajuster la pression hydraulique selon les spécifications du fabricant. Remplacer les composants usés ou défectueux Effectuer une maintenance préventive régulière.	

Vérin	Déplacement de châssis	Ecrasement de flexible. Blocage du châssis.	Blocage du distributeur d'huile.	-Eclatement deflexible (Haut pression). -Projection d'objet (Heurt de Personne)	Visuel	2	3	2	12	Remplacement du flexible endommages. Nettoyage régulier du système hydraulique. Entretien préventif. Inspection.
Dévidoir	Maintenir la bobine	Manque resquille	Fuite d'huile de vérin	Coincement dévidoir	Visuel	3	4	2	24	Réparation de dévidoir. inspection
Rouleau supérieur	Supporter la bobine	Usure -Cassure	-Inclinaison -Forçage	Mauvaise alignement	Visual -Auditif	3	2	1	6	Changement les roulements du rouleau
Chaise de bobine	Support de la bobine	Ecrasement des roulements	Poids excessif. Mouvais positionnement.	Chute de bobine. Déformation debobine Endommagement des composants demachine.	Visuel	2	4	2	16	Remplacement du roulement usés. Reduction du poids. Mettre en place des guides ou bien dispositif de positionnement. Entretien préventif. Inspection.

Dispositif de fixation de bonde	Fixation de bonde de bobine pour rappotage	Mouvais fonctionnement de	Mauvaise manipulation del'opérateur au commande	-Projection de coupeau (objet). Déformation desoudage. -Décentrage dela bonde.	Visuel	2	4	3	24	Entretien préventif. Inspection. assure la bon préparation de bonde de bobine avant l'operation de rappotage
Dispositif de redressement	Redressement de métalde base	Mauvais fonctionnement des dispositifs de redressage	-Défaillance de capteur	-Écrasement despièces. -Eclatement deflexible. Déformation debobine. -Heurt de personne	Indicateur de pression. Ecran de contrôle	2	4	2	16	Mise en place butoir.Entretien préventif. Inspection.
Camera	Guidage bande	Male guidage	Stop de camera	Déviation	Visuel	3	2	1	6	Réglage photo cellule

Table élévatrice	Support tube	Mauvais monte	Fuite d'huile	En panne	Visuel	2	2	1	4	Elimination des fuite
Tête de soudage	Soudage	Mauvais soudage	Maque fil	Male soudage Deconstructio n de tube	Visuel	2	3	2	12	Réglage boite de fil
Aspirateur flux	Aspiration de poussière	Mauvais distribution	Mauvais rotation	Male soudage	Visuel	3	2	1	6	Changement de filtre
Fraiseur	Fraiser la bande transversal	Mal fonctionne ment Cassure	. usure paste	Projection du coupeaux.  Risque d'accident de travail.	visuel.Ecran d'indication Capteur	3	3	2	18	Changement le paste
Ventilateur de fraiseuse	Refroidisse-ment	Mauvais alimentation	Mauvais fonctionnemen t	Echauffement	Visuel	2	2	2	8	Changement les pastes

Nettoyage tube	Nettoyage	Mauvais nettoyage	Pression faible	Male nettoyage	Visuel	2	2	2	8	Réglage pression
Fente soudage	Formage primitive	Mauvais soudage	Usure par le temps Mauvais Positionnement	Deconstruction de tube	Auditif	2	2	2	8	Changement les galets
Bras d'abaissement de bobine	Abaissement de la bobine	Cisaillement et des vises Détérioration des roues.	Usure de métal Frottement entrebobine et bras.	Projection de vises, boulons. Chute de roues.	Visuel	2	3	1	6	Entretien préventif. Inspection. Vérification technique.
Plasma	Coupage tube	Hors service	Manque alimentation	Système d'oxycopage en arrêt	Visuel	3	3	2	18	Réglage le paramètre
Aspirateur flux	Aspiration de poussière	Mauvais distribution	Mauvais rotation	Male soudage	Visuel	3	2	1	6	Changement de filtre

#### IV. 15. Interprétation :

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

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

Au niveau de la fiabilité du système, nous avons identifié les composants sur lesquels une attention particulière doit être portée.

Les éléments critiques dans le contexte de l'AMDEC sont ceux qui présentent des risques élevés de défaillance et dont les conséquences pourraient avoir un impact significatif sur le système global. L'identification de ces éléments est cruciale car elle permet de concentrer les efforts de maintenance et d'atténuation des risques là où ils sont le plus nécessaires.

Dans le tableau AMDEC, les éléments critiques sont souvent désignés par une combinaison de niveaux élevés de gravité et de faible détection. Par exemple, un composant dont la défaillance entraînerait des conséquences graves pour la production ou la sécurité, et qui est difficile à détecter avant que ces conséquences ne se produisent, serait considéré comme critique.

En identifiant ces éléments critiques, les équipes de gestion des risques peuvent mettre en place des stratégies spécifiques pour les surveiller de près, renforcer les mesures de prévention et de détection, et planifier des actions correctives rapides en cas de défaillance imminente. Cela permet de réduire les risques d'arrêts imprévus, de pertes de production et de dommages matériels, tout en améliorant la fiabilité et la sécurité globales du système.

Tableau 17 : Les éléments les plus critiques dans le système.

Éléments	Mode de défaillance	Cause de défaillance	Criticité (C)	Action corrective
Dévidoir	Manque resquille	Fuite d'huile de vérin	24	Réparation de dévidoir
Dispositif de fixation de bonde	Mouvais fonctionnement de	Mauvaise manipulation de l'opérateur au commande	24	Entretien préventif. Plan d'accumulation. Inspection.
Fraiseur	Mal fonctionnement Cassure	Blocage du Button démarrage. Écrasement de la pastille de fraisage.	18	Soufflage du composant. Inspection quotidienne
Plasma	Hors service	Manque alimentation	18	Réglage le parameter
Dispositif de redressement	Mauvais fonctionnement des dispositifs de redressage	Défaillance de capteur	16	Mise en place butoir. Entretien préventif. Inspection.

#### IV. 16. Études Précédentes :

Dans le cadre de notre projet de fin d'études, nous avons réalisé une étude AMDEC (Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité) pour la machine S-SPM2000. Nous avons comparé notre étude avec une étude antérieure réalisée en utilisant la méthode APR (Analyse des Risques Professionnels). Cette comparaison vise à déterminer les différences et les points forts de chaque méthode d'analyse.

##### IV. 16. 1. Présentation de l'étude APR

L'APR est une méthode structurée visant à identifier et évaluer les risques professionnels associés à l'utilisation de la machine. Elle se concentre sur les sources de danger, les risques associés, les situations dangereuses, les moyens de maîtrise, l'estimation des risques et la planification des actions.

##### IV. 16. 2. Résumé de l'étude APR pour la machine S-SPM2000

###### a. Contexte de l'étude:

- Atelier: Fabrication
- Activité : Utilisation de la machine à souder S-SPM2000
- Objectif : Identifier et évaluer les risques liés à l'utilisation de la machine et proposer des mesures de prévention.

Pour consulter cette étude complète et détaillée, elle est présentée dans l'**annexe (1)**.

###### b. Comparaison entre l'étude AMDEC et l'étude APR pour la machine étudiée

###### Méthodologie:

1. **AMDEC** : Cette étude se concentre sur l'identification des modes de défaillance, leurs causes, leurs effets, la criticité et les actions correctives nécessaires pour la machine en question.
2. **APR** : L'APR évalue les risques professionnels liés à l'utilisation de la même machine, en se concentrant sur les sources de danger, les risques associés, la situation de danger, les moyens de maîtrise existants, l'estimation des risques et la planification des actions.

## IV. 16. 3. Comparison:

Tableau 18 : comparaison entre méthode AMDEC et APR

Critère	AMDEC	APR
<b>Objectif principal</b>	Identifier et évaluer les défaillances potentielles de la machine	Identifier et évaluer les risques professionnels liés à l'utilisation de la machine
<b>Éléments analyses</b>	Modes de défaillance, causes, effets, criticité, actions correctives	Sources de danger, risques, situations de danger, moyens de maîtrise, estimation des risques, priorités, actions à mettre en œuvre, responsables, échéances
<b>DéTECTABILITÉ</b>	DéTECTABLE	Non spécifiquement prise en compte
<b>Criticité</b>	Basée sur la gravité et l'occurrence	Basée sur l'estimation du risque et les priorités
<b>Approche de la prévention</b>	Actions correctives pour chaque défaillance identifiée	Mesures de prévention et de protection collective et individuelle, surveillance des moyens de maîtrise existants, priorisation des actions
<b>Responsables et échéances</b>	Non spécifiquement mentionnés dans le document fourni	Chaque risque est associé à des responsables, des échéances et des ressources nécessaires
<b>Exemples concrets</b>	Problèmes avec des composants tels que le moteur hydraulique, le vérin, le dévidoir, etc.	Risques liés aux déplacements des moyens de transport, déplacements du personnel, manutention des bobines, préparation des bobines, etc.

IV. 16. 4. Exemples Concrets pour la Machine :

Tableau 19 : Exemples de l'étude AMDEC

Elément	Mode de défaillance	Causes	Effets	Actions correctives
<b>Moteur hydraulique</b>	Fuite d'huile.	Usure des joints	Arrêt du système, baisse de performance	Remplacement des joints, inspections régulières.
<b>Vérin</b>	Déformation du vérin	Pression excessive	Arrêt du travail, endommagement des matériaux	Contrôle de la pression, utilisation de matériaux de meilleure qualité.
<b>Dévidoir</b>	Blocage du dévidoir	Mauvais alignement des bobines Mauvais alignement des bobines	Arrêt de la production, endommagement des bobines	Ajustement de l'alignement, maintenance préventive régulière.

Tableau 20 : Exemples de l'étude APR :

Activite	Source de danger	Risques	Moyens de maîtrise
<b>Déplacements des moyens de transport</b>	Utilisation des chariots élévateurs pour déplacer les bobines	Chute des charges, blessures des travailleurs	Formation des opérateurs, inspection régulière des chariots élévateurs, utilisation d'équipements de protection individuelle
<b>Déplacements du personnel</b>	Circulation entre les machines	Chutes, blessures.	Signalisation des zones dangereuses, fourniture de passages sécurisés, vérification régulière des sols.
<b>Manutention des bobines</b>	Levage manuel des bobines.	Troubles musculosquelettiques, accidents de levage.	Utilisation d'équipements de levage assisté, formation sur les techniques de levage sécurisées

#### IV. 16. 5. Points où l'AMDEC est Supérieure à l'APR

1. **Détails des Défaillances Techniques** : L'AMDEC offre une analyse plus détaillée et approfondie des défaillances techniques spécifiques de la machine, en identifiant précisément les causes et les effets de chaque défaillance. Par exemple, la défaillance du moteur hydraulique due à l'usure des joints est clairement documentée avec des actions correctives spécifiques.
2. **Actions Correctives** : L'AMDEC propose des actions correctives spécifiques pour chaque mode de défaillance identifié, ce qui permet une réponse directe et ciblée pour améliorer la fiabilité de la machine. Par exemple, le remplacement des joints du moteur hydraulique et l'ajustement de l'alignement du dévidoir sont des mesures concrètes et précises.
3. **Analyse de la Criticité** : L'AMDEC inclut une évaluation de la criticité basée sur la gravité et l'occurrence des défaillances, ce qui permet de prioriser les actions correctives en fonction de leur impact potentiel sur la performance de la machine et la sécurité.
4. **Focus sur les Composants Spécifiques** : L'AMDEC se concentre sur des composants spécifiques de la machine, comme le moteur hydraulique, le vérin et le dévidoir, offrant une vision détaillée des problèmes potentiels et des solutions associées.
5. **Planification des Inspections et Maintenance** : L'AMDEC intègre la planification des inspections et de la maintenance préventive pour éviter les défaillances futures, ce qui contribue à la durabilité et à la fiabilité de la machine. Par exemple, des inspections régulières et le remplacement des joints du moteur hydraulique sont prévus.
6. **Précision des Effets et Conséquences** : L'AMDEC précise les effets directs et indirects des défaillances sur le fonctionnement de la machine, ce qui aide à comprendre l'importance des actions correctives. Par exemple, un blocage du dévidoir peut entraîner un arrêt de la production et l'endommagement des bobines, justifiant ainsi une maintenance régulière.

#### IV. 17. Conclusion:

L'analyse AMDEC fournit une méthodologie structurée et systématique pour évaluer les risques associés à chaque élément du système, identifier les éléments critiques et mettre en place des mesures préventives et correctives appropriées. Cela permet de minimiser les risques de défaillance, d'optimiser la fiabilité et la disponibilité du système, et d'améliorer la sécurité des opérations.

## Conclusion Générale

Après une analyse approfondie et détaillée de l'application de la méthode AMDEC sur la machine de soudage en spirale, plusieurs conclusions importantes peuvent être tirées.

Tout d'abord, il est évident que l'intégration de l'AMDEC dans le processus de production permet une identification systématique et proactive des modes de défaillance potentiels. Cette méthode identifie non seulement les défaillances possibles mais aussi leurs causes et effets, facilitant ainsi la mise en œuvre de mesures correctives avant que les problèmes ne surviennent réellement.

Ensuite, l'étude a démontré que la criticité des défaillances varie en fonction de plusieurs facteurs, y compris la fréquence de la défaillance, la gravité de ses effets et la probabilité de non-détection. En quantifiant ces aspects, il est possible de prioriser les actions correctives, concentrant ainsi les ressources sur les problèmes les plus critiques et réduisant les risques de manière efficace.

De plus, l'application de l'AMDEC a révélé plusieurs avantages spécifiques, notamment :

1. **Amélioration de la sécurité** : En identifiant et en atténuant les défaillances potentielles, la sécurité des opérations et des travailleurs est considérablement améliorée.
2. **Réduction des coûts** : La prévention des défaillances avant qu'elles ne se produisent réduit les coûts liés aux arrêts de production, aux réparations et aux accidents.
3. **Optimisation des performances** : En traitant les défaillances les plus critiques, la performance globale de la machine de soudage en spirale est optimisée, augmentant ainsi l'efficacité de la production.

Cependant, malgré ces avantages, il est important de reconnaître que la mise en œuvre de l'AMDEC nécessite une formation adéquate et un engagement significatif en termes de temps et de ressources humaines. De plus, pour maximiser son efficacité, l'AMDEC doit être intégrée dans une culture organisationnelle de gestion proactive des risques et de qualité continue.

En conclusion, l'application de la méthode AMDEC à la machine de soudage en spirale chez ALFAPIPE a prouvé être une démarche bénéfique, contribuant à la réduction des risques, à l'amélioration de la sécurité et à l'optimisation des performances. Il est recommandé que cette approche soit continuellement utilisée et améliorée, en tenant compte des évolutions technologiques et des retours d'expérience pour maintenir et renforcer les standards de qualité et de sécurité de l'entreprise.

## Références :

- [1] “Analyse des accidents du travail. Analyse des accidents du travail - Démarches de prévention - INRS.” Accessed: Mar. 04, 2024. [Online]. Available: <https://www.inrs.fr/demarche/analyse-accidents-travail/ce-qu-il-faut-retenir.html>
- [2] “La deuxième situation d’évaluation en Prévention Santé Environnement au baccalauréat professionnel - Schéma des risques.” Accessed: Mar. 04, 2024. [Online]. Available: <https://www.biotechno.fr/IMG/scenari/dossierpse/co/Risques.html>
- [3] “Schéma de processus d’apparition d’un dommage - Google Search.” Accessed: Mar. 04, 2024. [Online]. Available: [https://www.google.com/search?sca\\_esv=d690447d4819ce9a&sxsrf=ACQVn09PgRmC74VbVrU5AEvPrfRwzB4Mqw:1709579003685&q=Sch%C3%A9ma+de+processus+d%27apparition+d%27un+dommage&tbm=isch&source=lnms&sa=X&ved=2ahUKEwirouuJptuEAxW-fKQEHepDssQ0pQJegQICxAB&biw=1536&bih=711&dpr=1.25#imgrc=wxlHm4H7ZmRiHM](https://www.google.com/search?sca_esv=d690447d4819ce9a&sxsrf=ACQVn09PgRmC74VbVrU5AEvPrfRwzB4Mqw:1709579003685&q=Sch%C3%A9ma+de+processus+d%27apparition+d%27un+dommage&tbm=isch&source=lnms&sa=X&ved=2ahUKEwirouuJptuEAxW-fKQEHepDssQ0pQJegQICxAB&biw=1536&bih=711&dpr=1.25#imgrc=wxlHm4H7ZmRiHM)
- [4] H. BOUSSALEM, “Analyse des risques par la méthode AMDEC sur la machine de soudage de tubes.” 2022 2021.
- [5] “Évaluation des risques professionnels. Évaluation des risques professionnels - Démarches de prévention - INRS.” Accessed: Mar. 04, 2024. [Online]. Available: <https://www.inrs.fr/demarche/evaluation-risques-professionnels/ce-qu-il-faut-retenir.html>
- [6] “UVED - Cours.” Accessed: Mar. 04, 2024. [Online]. Available: [https://ued.univ-nantes.fr/GRCPB/sequence1/html/chap4\\_3.html](https://ued.univ-nantes.fr/GRCPB/sequence1/html/chap4_3.html)
- [7] “Examiner l’acceptabilité du risque | INSPQ,” Institut national de santé publique du Québec. Accessed: Mar. 17, 2024. [Online]. Available: <https://www.inspq.qc.ca/evaluation-et-gestion-des-risques/la-gestion-des-risques-en-sante-publique-au-quebec-cadre-de-referance/le-processus/phase-3-acceptabilite-des-risques-et-proposition-d-options-d-intervention-pour-des-decisions-eclairees/examiner-l-acceptabilite>
- [8] “Accident du travail,” Éditions Tissot. Accessed: May 07, 2024. [Online]. Available: <https://www.editions-tissot.fr/guide/definition/accident-du-travail>
- [9] “Gestion des risques : qu’est-ce que c’est et pourquoi c’est important,” SafetyCulture. Accessed: Mar. 17, 2024. [Online]. Available: <https://safetyculture.com/fr/themes/gestion-des-risques/>
- [10] O. NACEUR and E. CHEIKH, “Gestion des risques professionnels liés à Les stations de traitement des eaux usées urbaines au niveau de (HBK).” 2017 2016.
- [11] “Le processus global de gestion des risques.” Accessed: Mar. 17, 2024. [Online]. Available: [https://gpp.oiq.qc.ca/le\\_processus\\_global\\_de\\_gestion\\_des\\_risques.htm](https://gpp.oiq.qc.ca/le_processus_global_de_gestion_des_risques.htm)
- [12] “Les 5 étapes clés d’un processus de gestion des risques efficace | Voxco.” Accessed: Mar. 17, 2024. [Online]. Available: <https://www.voxco.com/fr/blog/les-5-etapes-cles-dun-processus-de-gestion-des-risques-efficace/>
- [13] “Loi n° 88-07 du 26 janvier 1988 relative à l’hygiène, à la sécurité et à la médecine du travail.” Accessed: Jun. 14, 2024. [Online]. Available: <https://www.mtess.gov.dz/fr/loi-n-88-07-du-26-janvier-1988-relative-a-lhygiene-a-la-securite-et-a-la-medecine-du-travail/>
- [14] “Décrets.” Accessed: Jun. 14, 2024. [Online]. Available: <https://oprebatph.org.dz/index.php/fr/reglementation-en-sst/decrets>

- [15] A. Jain, "Qu'est-ce que l'analyse des risques : définition et outils | Guide complet - Solutions visuelles," Visure Solutions. Accessed: Apr. 15, 2024. [Online]. Available: <https://visuresolutions.com/fr/Articles/analyse-de-risque/>
- [16] Q. Collaborators, "Analyse des risques : Définition, types et étapes du processus d'analyse," QuestionPro. Accessed: Apr. 15, 2024. [Online]. Available: <https://www.questionpro.com/blog/fr/analyse-des-risques/>
- [17] R. L. MAHMOUDI, "Analyse de risque de la station de pompage SP3 par la méthode AMDEC." Juin 2017.
- [18] "Memoire Online - Information et gestion des risques. - Abdessamad ZAGHLOUL," Memoire Online. Accessed: Apr. 15, 2024. [Online]. Available: [https://www.memoireonline.com/12/13/8349/m\\_Information-et-gestion-des-risques30.html](https://www.memoireonline.com/12/13/8349/m_Information-et-gestion-des-risques30.html)
- [19] "Analyse de risques : Identification et estimation : Démarches d'analyse de risques - Méthodes qualitatives d'analyse de risques - Partie 3 - Présentation détaillée des méthodes d'analyse de risques." Accessed: Apr. 15, 2024. [Online]. Available: [http://ressources.unit.eu/cours/cyberrisques/etage\\_3\\_aurelie/co/Module\\_Etage\\_3\\_synthese\\_26.html](http://ressources.unit.eu/cours/cyberrisques/etage_3_aurelie/co/Module_Etage_3_synthese_26.html)
- [20] "Présentation des principales méthodes d'identification des dangers et d'analyse des risques." Accessed: Apr. 02, 2024. [Online]. Available: [https://gpp.oiq.qc.ca/presentation\\_des\\_principales\\_methodes\\_d\\_identification\\_des\\_dangers\\_et\\_d\\_analyse\\_des\\_risques.htm](https://gpp.oiq.qc.ca/presentation_des_principales_methodes_d_identification_des_dangers_et_d_analyse_des_risques.htm)
- [21] "Hazards and Operability Study (HAZOP)." Accessed: Apr. 06, 2024. [Online]. Available: [https://gpp.oiq.qc.ca/Hazards\\_and\\_Operability\\_Study\\_\(HAZOP\).htm](https://gpp.oiq.qc.ca/Hazards_and_Operability_Study_(HAZOP).htm)
- [22] "La représentation des résultats par l'approche noeud papillon." Accessed: Apr. 06, 2024. [Online]. Available: [https://gpp.oiq.qc.ca/La\\_representation\\_des\\_resultats\\_par\\_l\\_approche\\_noeud\\_papillon.htm](https://gpp.oiq.qc.ca/La_representation_des_resultats_par_l_approche_noeud_papillon.htm)
- [23] M. Thabet, "Introduction à la Méthode AMDEC." 2021 2020.
- [24] "Analyse de modes de défaillance, de leurs effets combinés et de leur criticité (AMDEC)." Accessed: Apr. 06, 2024. [Online]. Available: [https://gpp.oiq.qc.ca/Analyse\\_de\\_modes\\_de\\_defaillance%2c\\_de\\_leurs\\_effets\\_combines\\_et\\_de\\_leur\\_criticite\\_\(AMDEC\).htm](https://gpp.oiq.qc.ca/Analyse_de_modes_de_defaillance%2c_de_leurs_effets_combines_et_de_leur_criticite_(AMDEC).htm)
- [25] N. LADJALI, "Etude AMDEC et mise en place d'un planning de maintenance préventive - Application sur un groupe électrogène 300KVA Cas : l'entreprise nationale l'ENIEM." 2022 2021.
- [26] "La méthode AMDEC pour anticiper les défaillances." Accessed: Apr. 06, 2024. [Online]. Available: <https://www.manager-go.com/management-de-la-qualite/amdec.htm>
- [27] "La méthode AMDEC pour anticiper les défaillances." Accessed: Apr. 06, 2024. [Online]. Available: <https://www.manager-go.com/management-de-la-qualite/amdec.htm>
- [28] DJAAFER Slimane archive : présentation de l'entreprise ALFAPIPE 2022
- [29] Manuel d'installation et d'utilisation de la machine à souder E
- [30] Identification expérimentale des caractéristiques mécaniques de l'acier X70 D'ALFAPIPE. (2016).

## **Annexe**

**Annexe(1)** : Vous pouvez télécharger le fichier directement via ce lien

[https://docs.google.com/spreadsheets/d/17NEjupCdzGLuTAN49fv9VPFBZg-fbV -  
/edit?usp=sharing&ouid=109837334467121125634&rtpof=true&sd=true](https://docs.google.com/spreadsheets/d/17NEjupCdzGLuTAN49fv9VPFBZg-fbV-/edit?usp=sharing&ouid=109837334467121125634&rtpof=true&sd=true)