



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 : Sécurité Industrielle et Environnement

MÉMOIRE

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Hygiène et Sécurité Industrielle
Spécialité : Sécurité Prévention et Intervention

Thème

**Etude de danger d'une torche par la méthode
arbre de défaillance AdD**

Présenté et soutenu online par :

FOURAL Mohammed Amine

et

HALFAOUI Kada Mohamed

Devant le jury composé de :

Nom et Prénom	Grade	Etablissement	Qualité
AISSANI Nassima	MCA	IMSI	Présidente
BENOMAR Fatima	MAA	IMSI	Encadreur
GUETARNI Islam Hadj Mohamed	MCB	IMSI	Examineur

Année 2019/2020

Remerciements

Nous remercions ALLAH le tout puissant de nous avoir donné le courage, la volonté et la patience de mener à terme le présent travail.

Une grande gratitude à notre encadreur Mme BENOMAR Fatima pour son soutien, ses conseils judicieux et son grande bien vaillance durant l'élaboration de ce travail.

Nos remerciements vont également aux membres de jury Mme Aissani Nassima et Mr Guetarni Mohamed Islam qui nous ont fait l'honneur d'examiner et d'évaluer notre travail.

Nous tenons à remercier spécialement le chef services du département HSE et les inspecteurs préventions et Tout les membres de département HSE ainsi que les opérateurs de stockages de complexe GL3/Z qui nous ont aidés pour la compréhension du procédé de système torche.

Nous aimerons aussi gratifier les efforts des opérateurs et des techniciens d'intervention des complexes GL1/Z et GL2/Z qui ont eu l'amabilité de répondre à nos questions et de fournir les explications nécessaires.

Nos remerciements les plus sincères vont à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce mémoire ainsi qu'à la réussite de cette année universitaire.

Nous tenons aussi à exprimer nos reconnaissances envers les amis les collègues qui nous ont apporté leur soutien moral et intellectuel tout au long de nos démarches.

Nous ne pouvons oublier de remercier tous les membres de nos familles pour leur soutien et leurs encouragements, particulièrement nos parents.

Merci à tous.

Dédicace

Nous dédions cet humble travail :

A nos très chers et respectueux parents pour qui vraiment aucune dédicace ne saurait exprimer nos attachements, nos amours et nos affections.

A nos familles en témoignage de nos profonds respects et gratitude.

A nos amis et camarades nous vous témoignons nos sincères amitiés.

Amine & Mohamed

Résumé :

Les torches de gaz jouent un rôle important pour la sécurité des installations dans l'environnement industriel, en revanche elles peuvent représenter un risque pour l'installation si elle est de mauvaise conception.

Ce mémoire consiste à l'analyse de défaillances de Système torche du complexe GL3/Z, nous avons utilisé la méthode arbre de défaillance qui nous a permis d'identifier tous les scénarios possibles qui peuvent provoquer l'événement redouté « déversement de gaz liquéfié par l'orifice de la torche », où une étude par retour d'expérience est faite pour identifier les éléments dangereux de système pour faciliter leurs interprétations.

Mots clés : Analyse quantitative, fiabilité, Arbre de défaillance, taux de défaillance, Système torche.

Abstract :

Gas torches play an important role in the safety of installations in the industrial environment, however they can represent a risk to the installation if it is poorly designed.

This thesis consists of the analysis of failures of the GL3/Z complex torch system, we used the fault tree analysis method which allowed us to identify all possible scenarios that may cause the dreaded event "liquefied gas spill by the torch orifice", where a study based on experience feedback is carried out to identify the dangerous elements of the system to facilitate their interpretation.

Keywords: Quantitative analysis, reliability, Fault tree analysis, failure rate, Torch system.

ملخص:

تلعب مشاعل الغاز دورًا مهمًا في سلامة المنشآت في البيئة الصناعية، إلا أنها قد تمثل خطرًا على التركيب إذا كان سيئ التصميم.

تتكون هذه الأطروحة من التحليل الكمي لفشل نظام الشعلة لمركب تمييع الغاز 3، استخدمنا طريقة شجرة الفشل التي سمحت لنا بتحديد جميع سيناريوهات المحتملة التي قد تسبب حدث القمة "انسكاب الغاز المسال بواسطة فتحة الشعلة"، حيث يتم إجراء دراسة سابقة للتجربة لتحديد العناصر الخطرة في النظام لتسهيل تفسيرها.

الكلمات المفتاحية: التحليل الكمي، الموثوقية، شجرة الفشل، معدل الفشل، نظام الشعلة.

Table des matières

Remerciements

Dédicace

Listes des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Liste des symboles

INTRODUCTION GENERALE

Chapitre I : Généralités sur la sureté de fonctionnement

1.1. Introduction	4
1.2. Définition des notions.....	4
1.2.1. Le danger	4
1.2.2. Le risque.....	4
1.3. Concept de base de la Sureté de fonctionnement	4
1.3.1. Définition de la Sureté de fonctionnement	4
1.3.2. Composants de la SdF.....	5
1.3.2.1. La fiabilité	5
1.3.2.2. La disponibilité.....	5
1.3.2.3. La maintenabilité.....	6
1.3.2.4. La sécurité	6
1.3.3. Métriques de la Sûreté de Fonctionnement.....	6
1.3.4. Défaillance	7
1.3.4.1. Définition de la défaillance	7
1.3.4.2. Taux de défaillance et de répartition	7
1.3.4.3. Mécanisme de la défaillance	8
1.3.5. Les lois de probabilité.....	9
1.3.5.1. Définition des lois	9
1.3.5.2. Quelques lois de probabilité.....	9
1.3.6. Systèmes et composants.....	11
1.3.6.1. Définition de Système et de composante	11
1.3.6.2. Fiabilité des composants	11
1.3.6.3. Fiabilité Des Systèmes	12
1.4. Evaluation et analyse de la fiabilité des systèmes	14

1.4.1. Analyses préliminaires à la sûreté de fonctionnement.....	14
1.4.1.1. Analyse fonctionnelle.....	14
1.4.1.2. Analyse des risques	14
1.4.2. Classification des méthodes de sûreté de fonctionnement.....	14
1.4.2.1. Analyse qualitative et quantitative	14
1.4.2.2. Analyse statique et dynamique	15
1.4.2.3. Analyse Inductive et déductive	15
1.4.3. Les Méthode d’analyses.....	15
1.4.3.1. Analyse préliminaire des risques APR.....	15
1.4.3.2. AMDE(C).....	17
1.4.3.3. Arbre d’évènement AdE.....	19
1.4.3.4. Arbre de défaillance	19
1.4.3.5. Arbre des causes.....	21
1.4.3.6. Graphes de Markov	21
1.5. Conclusion	22

Chapitre II : Procédés de la torchère de gaz de complexe GL3/Z

2.1. Présentation générale de l’usine GL3/Z	24
2.1.1. Description de l’usine	24
2.1.2. Emplacement de l'usine.....	24
2.1.3. But du Projet GNL3Z.....	25
2.1.4. Organigramme générale du complexe	27
2.1.5. Description Générale des Unités et des Installations	29
2.2. Présentation de l’unité 75 de GL3/Z (Système de torche).....	31
2.2.1. Emplacement dans l'Usine	31
2.2.2. Les types des torchères de gaz dans l’usine	32
2.2.2.1. Système de la Torche Chaude	32
2.2.2.2. Système de la Torche Froide	34
2.2.2.3. Système de la Torche BP	35
2.2.3. Liste des Equipements	37
2.2.4. Base de conception des équipements	38
2.2.4.1. Ballon de la Torche Chaude (75-MD01).....	38
2.2.4.2. Réchauffeur de Ballon de la Torche Chaude (75-MC01)	38
2.2.4.3. Pompes du Ballon de la Torche Chaude (75-MJ01-A/B)	38

2.2.4.4. Cheminée de Torche Chaude (75-MB01)	38
2.2.4.5. Ballon de la Torche Froide (75-MD02A/B).....	38
2.2.4.6. Blowcase de la Torche Froide (75-MD03).....	39
2.2.4.7. Cheminée de Torche Froide (75-MB02).....	39
2.2.4.8. Ballon de la Torche Basse Pression (75-MD04).....	39
2.2.4.9. Cheminée de Torche Basse Pression (75-MB03)	39
2.2.5. Démarrage de la torche	39
2.2.6. Marche Normale de système torche.....	41
2.2.6.1. Courants d'Alimentation et de Produits.....	41
2.2.6.2. Operations de Routine	41
2.2.7. Arrêt de système torche.....	42
2.2.7.1. Arrêt normal	42
2.2.7.2. Systèmes de Protection et Fermeture d'Urgence	43
2.2.8. Sécurité de système torche.....	43
2.2.8.1. Incendies, Explosions et Dangers Toxiques.....	43
2.2.8.2. Substances Dangereuses.....	45
2.2.9. Mesures Préventives et Protectrices.....	46
2.3. Conclusion	47

Chapitre III : Phénomène de déversement de gaz liquéfié par l'orifice de la torche et réglementation algérienne sur les torchères de gaz

3.1. Introduction	49
3.2. Phénomène de déversement de gaz liquéfié de la torchère de gaz.....	49
3.2.1. Description du phénomène	49
3.2.2. Les Causes du Phénomène.....	49
3.2.3. Les Conséquence du Phénomène.....	50
3.2.4. Moyens de protection.....	50
3.2.5. Retour d'expérience	51
3.5.1.1. Scénario 01 :.....	51
3.5.2.1. Scénario 02 :.....	51
3.3. Réglementation algérienne sur les torchères de gaz.....	52
3.4. Conclusion	54

Chapitre VI : Etude de danger relative aux torchères gazières par la méthode ADD

4.1. Méthode de l'Arbre de défaillance ADD	56
4.1.1. Historique de la méthode	56
4.1.2. Définition de l'ADD	56
4.1.3. Principe de l'ADD	56
4.1.4. Définition de l'ER (Evènement redouté)	58
4.1.5. Elaboration de l'arbre.....	58
4.1.6. Analyse d'importance	61
4.1.6.1. Les coupes minimales	61
4.1.6.2. Les Facteurs d'importances probabilistes	62
4.1.7. Limite et avantage de la méthode	64
4.2. Application de l'ADD sur le système torchère de complexe GL3/Z.....	65
4.2.1. Développement de l'arbre de défaillance.....	65
4.2.2. Les coupes minimales	68
4.2.3. Conclusion	71

CONCLUSION GENERALE

Références bibliographie

Annexes

Liste des Figures

Figure 1.1 : Les composantes de la SdF	5
Figure 1.2 : Métriques de la Sûreté de Fonctionnement	7
Figure 1.3 : Courbe en baignoire de taux de défaillance.....	9
Figure 1.4 : Décomposition d'un système mécanique en composants élémentaires	12
Figure 1.5 : Système Série.....	12
Figure 1.6 : système à structure parallèle	13
Figure 1.7 : Système à Structure Série-Parallèle	13
Figure 1.8 : L'organigramme La démarche générale de l'AMDEC	18
Figure 1.9 : Principe de l'arbre d'événement	19
Figure 1.10 : Schéma simple d'arbre de défaillance avec les symboles usuels	20
Figure 1.11 : Allure schématique d'un arbre des causes	21
Figure 1.12 : Graphe de Markov basique	22
Figure 2.1: Position du site GL3/Z.....	25
Figure 2.2 : Parcours gaz récupération jusqu'à l'expédition (cas usine gl3/z).	26
Figure 2.3 : l'organigramme générale du complexe.....	28
Figure 2.4 : Les Unités et les Installations	30
Figure 2.5 : Emplacement de l'Unité 75 (en jaune) sur le Plan Général d'Implantation.	31
Figure 2.6 : Schéma de la torche chaude.....	33
Figure 2.7 : Schéma de la torche Froide.....	35
Figure 2.8 : Schéma de la torche BP	36
Figure 4.1 : Démarche pour l'élaboration d'un arbre des défaillances. [20].....	59
Figure 4.2 : Exemple d'arbre des défaillances [20]	60
Figure 4.3 : Réduction de l'arbre des défaillances pris en exemple	62
Figure 4.4 : La structure de l'arbre de défaillance du système de la torche chaude.....	66
Figure 4.5 : La structure de l'arbre de défaillance du système de la torche chaude.....	67
Figure A.1 : Les éléments de base pour la construction de la structure de l'AdD	76

Liste des Tableaux

Tableau 2.1 : Equipements de l'Unité 75 (Système torche)	32
Tableau 2.2 : liste des substances présentes dans l'Unité	40
Tableau 4.1 : les paramètres des évènements de base participant à l'ER pour la torche chaude	68
Tableau 4.2 : les paramètres des évènements de base participant à l'ER pour la torche froide	68
Tableau 4.3 : Les coupes les plus contributrices à l'ER pour la torche chaude.....	68
Tableau 4.4 : Les coupes les plus contributrices à l'ER pour la torche Froide.....	69
Tableau 4.5 : Les facteurs d'importances (torche chaude)	69
Tableau 4.6 : Les facteurs d'importances (torche Froide)	70
Tableau A.1 : Règles d'optimisation des arbres de défaillances.....	77
Tableau B.1 : coupes minimales de la torche chaude.....	77
Tableau B.2 : coupes minimales de la torche froide	79

Listes des abréviations

AdD	Arbre de défaillance
AdE	Arbre d'Événement
AMDE	Analyse des modes de défaillance et de leurs effets
APR	Analyse préliminaire des risques
BDC	Refoulements/évacuations de liquides Froids
BDW	Refoulements/évacuations de liquides chauds
BLEVE	Vaporisation violente à caractère explosif (boiling liquid expanding vapor explosion)
BP	Basse pression
DCS	Système de contrôle centralisé (<i>Distributed Control System</i>)
ER	Evènement redouté
ESD	Système d'arrêt d'urgence (emergency shut down)
FDMS	Fiabilité, disponibilité, maintenabilité et sécurité
FID	Facteur d'importance de Diagnostic Fussel-Vesely
FIC	Facteur d'importance probabiliste Critique
FIM	Facteur d'importance probabiliste marginale de Birnbaum
FFG	Générateur Frontal de Flamme (Flame Front Generator)
F&G	Système de détection incendie et gaz (<i>Fire & Gas</i>)
FG	Gaz Combustible (<i>Fuel Gas</i>)
GNL	Gaz naturel liquéfié
GPL	Gaz de pétrole liquéfié
HAZOP	hazard and operability
LSD	Logique d'Arrêt Local d'Urgence (Local Shut-Down Logic)
MOV	Vanne manuel motorisée (Motor Operating Valve)
MDT	Durée moyenne d'indisponibilité (Mean Dawn Time)
MTBF	Durée moyenne entre deux défaillances consécutives d'une entité réparée. (Mean Time Between Failure)

MTTF	Durée moyenne de fonctionnement avant la première défaillance (Mean Time To Failure)
MTTR	Durée moyenne de réparation (Mean Time To Repair)
MUT	Durée moyenne de fonctionnement après réparation (Mean Up Time)
RVC	Décharges des vapeurs froides
RVW	Décharges des vapeurs froides
RVL	Décharges de vapeurs basse pression
SdF	Sûreté de fonctionnement

Listes des symboles

$R(t)$	Reliability, Fiabilité dépendant du temps t
$F(t)$	Défiabilité dépendant du temps t
$A(t)$	Availability, Disponibilité dépendant du temps t
$U(t)$	L'indisponibilité dépendant du temps t
$M(t)$	Maintenability, Maintenabilité dépendant du temps t
$f(t)$	La densité de probabilité
$\lambda(\text{lambda})$	Taux de défaillance constant.
$\lambda(t)$	taux de défaillance instantané.
μ (mu)	Taux de réparation.

INTRODUCTION GENERALE

Dans l'environnement industriel, Les torches sont utilisées pour la sécurité des installations. Le système de torchère est couramment utilisé pour évacuer sans danger d'importantes quantités de gaz inflammables au démarrage, en régime perturbé et en fonctionnement normal.

Les torchères sont en général des feux torche contrôlés par l'industriel et qui, par conséquent, représentent peu de dangers pour l'environnement. Le phénomène de feu torche intervient comme un moyen technique permettant de limiter la gravité de l'accident. Le feu torche agit alors en prévention d'autres accidents qui pourraient être extrêmement plus dommageables pour l'environnement tel que des explosions (UVCE). Par exemple pour la décompression d'installation. Ainsi, le feu torche est dans ce cas une action volontaire de sécurité. Dès lors, les risques présentés par le feu peuvent être qualifiés de risques résiduels au sens où il s'agit d'un phénomène dangereux admis pour éviter le pire.

Mais dans certains cas la torche peut représenter un risque pour l'installation si elle est de mauvaise conception ou si elle ne répond pas au moment opportun c'est-à-dire quand elle est sollicitée (Fail in demand) comme dans le cas de GNL1Z en 2016 et en GNL2Z en 2017.

L'étude de ce genre de phénomène consiste à utiliser la science de la sûreté de fonctionnement (SDF) qui permet de connaître, évaluer, prévoir, mesurer et maîtriser les défaillances des systèmes technologiques et les défaillances humaines.

C'est par cette raison que nous allons appliquer une des méthodes d'analyse des équipements Industriels à savoir : Arbre de Défaillance –AdD- « Fault tree Analysis».

L'objectif de notre étude est de présenter le processus de la torche, et l'application de la méthode des Arbres de défaillance sur les différentes torchères du complexe GL3/Z, en utilisant le logiciel Arbre Analyste.

Le présent mémoire est organisé comme suit :

Le premier chapitre aborde les généralités sur la sûreté de fonctionnement, ces modèles et ces méthodes.

Le deuxième chapitre traite le fonctionnement du système de torche ainsi que les différents types torchères de complexe GL3/Z.

Introduction générale

Le troisième chapitre sera consacré à la description de phénomène de déversement de gaz liquéfié avec une réglementation algérienne sur les torchères.

Le quatrième chapitre comporte la partie pratique, il comprend l'étude de danger par la méthode Arbre de défaillance pour l'événement redouté « déversement de gaz liquéfié ».

Notre étude a porté sur les deux types de torchères existantes au niveau de GL3/Z à savoir la torche froide, la torche chaude.

CHAPITRE I

Généralité sur la sureté de fonctionnement

1.1. Introduction	4
1.2. Définition des notions	4
1.3. Concept de base de la Sureté de fonctionnement.....	4
1.4. Evaluation et analyse de la fiabilité des systèmes	14
1.5. Conclusion.....	22

1.1 Introduction

Dans le domaine de l'analyse des systèmes, deux communautés cohabitent : la vérification formelle et la sûreté de fonctionnement « SdF » ; la nuance est plutôt subtile mais elle permet de distinguer deux approches : le fonctionnel et le dysfonctionnel. Dans le domaine de la SdF, le principal objectif est de maîtriser le risque inhérent à des systèmes complexes (de par leurs dimensions ou leurs hétérogénéités technologiques) tandis que la vérification formelle est orientée vers les aspects fonctionnels du système, ce système à une fonction à remplir, cette fonction étant généralement très complexe, il est nécessaire de vérifier si elle est bien réalisée ou réalisable par le système.

Bien que les techniques d'analyse diffèrent, les études sur les systèmes dont les conséquences de dysfonctionnements ne sont pas négligeables et peuvent être économiques, écologiques, ou humaines (systèmes critiques) ont la même finalité : avoir un certain niveau de confiance en le système. En effet, il ne suffit pas de montrer qu'un système est correct d'un point de vue fonctionnel mais il est nécessaire d'envisager les raisons et les conséquences de ses dysfonctionnements.

1.2 Définition des notions

1.2.1 Le danger

Est une propriété intrinsèque d'une substance, d'un équipement, d'une situation, d'un système susceptible de causer des dommages aux personnes, aux biens ou à l'environnement (exemple : l'acide sulfurique est dangereux !) [1]

1.2.2 Le risque

Résulte de la probabilité d'occurrence d'un dommage résultant d'une exposition à un danger. C'est la résultante de deux paramètres : la probabilité et la gravité. [1]

$$\text{Risque} = \text{Probabilité} \times \text{Gravité}$$

Plus la probabilité et la gravité sont élevées, plus le risque l'est aussi.

1.3 Concept de base de la Sûreté de fonctionnement

1.3.1 Définition de la Sûreté de fonctionnement

Au sens large, la Sûreté de Fonctionnement sera définie comme la Science des Défaillances ; elle inclut ainsi leur connaissance, leur évaluation, leur prévision, leur mesure et leur maîtrise.

Au sens strict, la sûreté de fonctionnement est l'aptitude d'une entité à satisfaire à une ou plusieurs fonctions requises dans des conditions données. [2]

1.3.2 Composants de la SdF

La Figure 1.1 représente Les composantes de la sûreté de fonctionnement

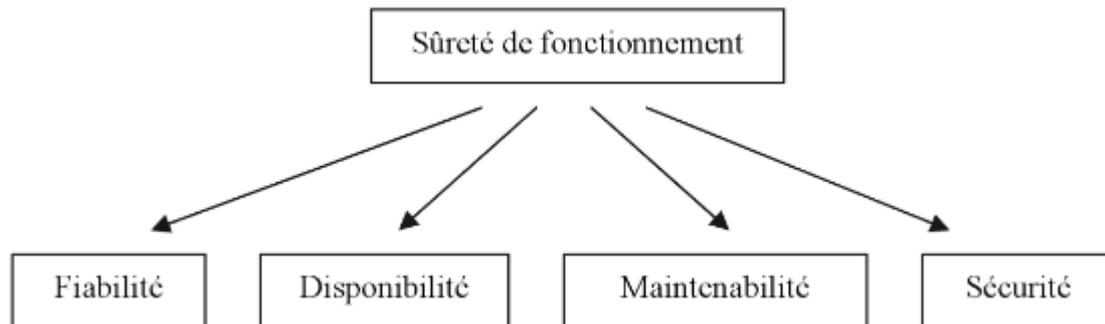


Figure 1.1 : Les composantes de la SdF [3]

1.3.2.1 La fiabilité

C'est l'aptitude d'une entité à accomplir une fonction requise, dans des conditions données, pendant une durée donnée.

La fiabilité est généralement mesurée par la probabilité qu'une entité E accomplisse une fonction requise, dans les conditions données, pendant l'intervalle de temps $[0, t]$:

$$R(t) = P [E \text{ non défaillante sur } [0, t]] \quad (1.1)$$

L'aptitude contraire sera dénommée « défiabilité » : sa mesure est notée $F(t)$

$$F(t) = 1 - R(t) \quad (1.2)$$

1.3.2.2 La disponibilité

C'est l'aptitude d'une entité à être en état d'accomplir une fonction requise dans des conditions données et à un instant donné.

La disponibilité est généralement mesurée par la probabilité qu'une entité E soit en état d'accomplir une fonction requise dans des conditions données et à un instant t donné :

$$A(t) = P [E \text{ non défaillante sur } [0, t]] \quad (1.3)$$

L'aptitude contraire sera dénommée « indisponibilité » ; sa mesure est notée $U(t)$:

$$U(t) = 1 - A(t) \quad (1.4)$$

De nombreux concepts liés à celui de disponibilité ont été définis ; exemples : durée de disponibilité, durée d'indisponibilité, état de disponibilité, MDT.

1.3.2.3 La maintenabilité

C'est l'aptitude d'une entité à être maintenue ou rétablie dans un état dans lequel elle peut accomplir une fonction requise, lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions données avec des procédures et des moyens prescrits.

La maintenance est généralement mesurée par la probabilité que la maintenance d'une entité (E) accomplie dans des conditions données, avec des procédures et des moyens prescrits, soit achevée au temps t, sachant que l'entité est défaillante au temps $t = 0$:

$$M(t) = P [\text{la maintenance de E est achevée au temps } t] \quad (1.5)$$

Dans un souci de simplification, on peut écrire :

$$M(t) = P [E \text{ est réparée sur } [0, t]] \quad (1.6)$$

1.3.2.4 La sécurité

C'est l'aptitude d'une entité à éviter de faire apparaître, dans des conditions données, des événements critiques ou catastrophiques.

La sécurité est généralement mesurée par la probabilité qu'une entité E évite de faire apparaître, dans des conditions données, des événements critiques ou catastrophiques.

L'aptitude contraire sera dénommée « insécurité ».

1.3.3 Métriques de la Sûreté de Fonctionnement [5]

Le fonctionnement d'un système peut également se caractériser par l'espérance mathématique des différentes durées représentées sur le schéma de la figure 1.2.

- MTTF (Mean Time To Failure) : Durée moyenne de bon fonctionnement avant la première défaillance.
- MUT (Mean Up Time) : Durée moyenne de bon fonctionnement.
- MDT (Mean Down Time) : Durée moyenne d'indisponibilité (détection, réparation plus remise en service).
- MTTR (Mean Time To Repair) : Durée moyenne de réparation (MTTR 5 MOT)

- MTBF (Mean Time Between Failure) : Durée moyenne entre deux défaillances consécutives.

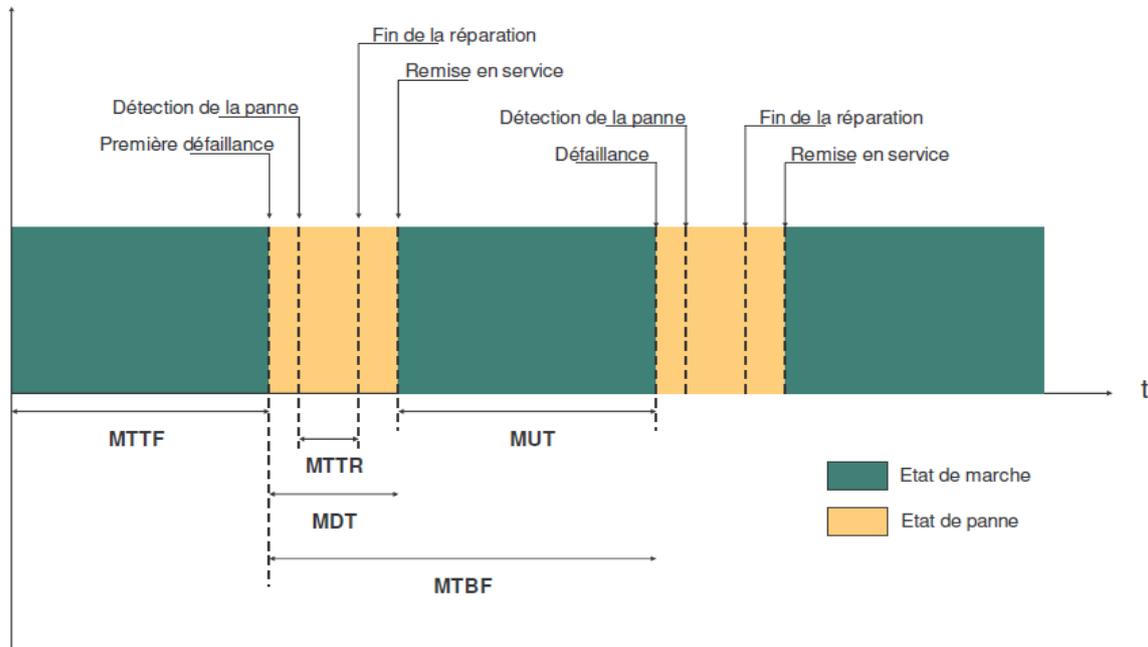


Figure 1.2 : Métriques de la Sûreté de Fonctionnement [4]

1.3.4 Défaillance

1.3.4.1 Définition de la défaillance

C'est la « cessation de l'aptitude d'une entité à accomplir une fonction requise ».

On dira qu'une entité connaît une défaillance lorsqu'elle n'est plus en mesure 'de remplir sa (ou ses) fonction(s). Par extension, on considère parfois qu'il y a une défaillance lorsqu'il y a altération de l'aptitude d'une entité à accomplir une fonction requise : les tolérances associées doivent alors être définies. [2]

1.3.4.2 Taux de défaillance et de répartition

Taux de défaillance (instantané) : C'est la limite, si elle existe, du quotient de la probabilité conditionnelle pour que l'instant T d'une défaillance d'une entité soit compris dans un intervalle de temps donné [t, t + Δt], par la durée de l'intervalle de temps, lorsque Δt tend vers zéro en supposant que l'entité n'a pas eu de défaillance sur [0, t].

$$\lambda(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{1}{\Delta t} P [E \text{ est défaillante entre } t \text{ et } t + \Delta t \text{ sachant qu'elle n'a pas eu de} \\ \text{défaillance sur } [0, t]] \tag{1.7}$$

Il en résulte en utilisant le théorème des probabilités conditionnelles :

$$\lambda(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{1}{\Delta t} \frac{P [E \text{ est défaillante entre } t \text{ et } t + \Delta t \text{ et } E \text{ non défaillante sur } [0, t]]}{P [E \text{ non défaillante sur } [0, t]]} \quad (1.8)$$

D'où

$$\lambda(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{1}{\Delta t} \frac{1}{R(t)} (P [E \text{ est défaillante sur } [0, t + \Delta t]] - P [E \text{ est défaillante sur } [0, t]]) \quad (1.9)$$

$$\lambda(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{R(t) - R(t + \Delta t)}{\Delta t R(t)} \quad (1.10)$$

$$\lambda(t) = \frac{-\frac{dR}{dt}(t)}{R(t)} \geq 0 \quad (1.11)$$

Ce taux de défaillance est aussi appelé « taux de défaillance instantané ».

Taux de réparation (instantané) : c'est la limite, si elle existe, du quotient de la probabilité conditionnelle pour que l'instant T d'achèvement de la réparation d'une entité soit compris dans un intervalle de temps donné [t, t + Δt], par la durée de l'intervalle de temps, lorsque Δt tend vers zéro, en supposant que l'entité a été en panne sur [0, t].

$$\mu(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{1}{\Delta t} P [E \text{ est réparée entre } t \text{ et } t + \Delta t \text{ sachant qu'elle a été en panne sur } [0, t]]$$

Précisons que l'entité est ainsi supposée défaillante au temps t = 0 et en panne jusqu'au temps t.

On montre, en utilisant le théorème des probabilités conditionnelles, que :

$$\mu(t) = \frac{\frac{dM}{dt}(t)}{1 - M(t)} \geq 0 \quad (1.12)$$

Ce taux de réparation est aussi appelé « taux de réparation instantané ».

1.3.4.3 Mécanisme de la défaillance

Trois périodes sont ainsi définies :

Défaillance précoce (ou de jeunesse) : Défaillance qui survient au début de la vie d'une entité et dont le taux d'apparition est rapidement décroissant.

Note : Le début de vie est compté à partir d'un instant spécifié : sortie de chaîne, de fabrication, livraison.

Défaillance à taux constant : Défaillance qui apparaît avec un taux sensiblement constant pendant la durée de vie utile du matériel.

Note : Elle est généralement catalectique.

Défaillance d'usure : Défaillance qui apparaît avec un taux rapidement croissant.

Note : Elle est généralement due à des processus inhérents à l'entité (processus de détérioration, de corrosion.)

La Figure 1.3 représente le courbe en baignoire de taux de défaillance.

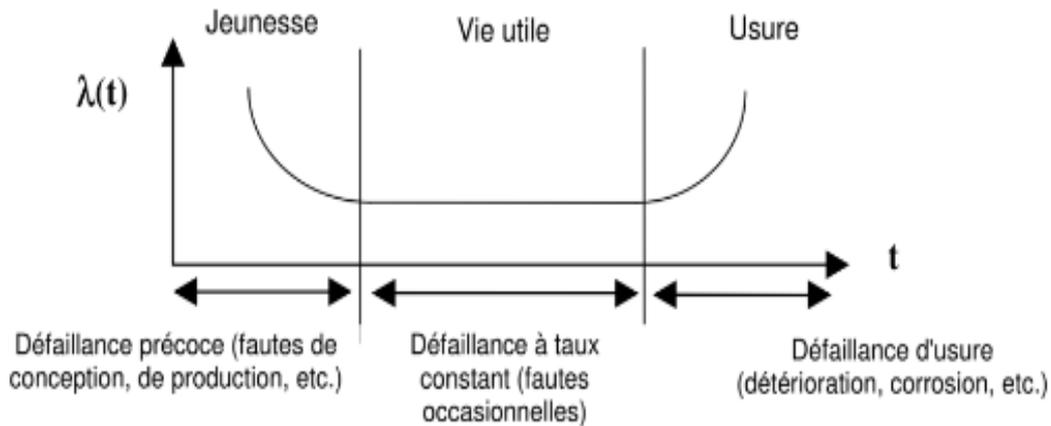


Figure 1.3 : Courbe en baignoire de taux de défaillance. [6]

1.3.5 Les lois de probabilité

1.3.5.1 Définition des lois

Les lois de probabilité discrète ou continue sont habituellement distinguées en sûreté de fonctionnement. Les caractéristiques générales et les fonctions de répartition des principales lois de probabilité sont rappelées ci-dessous. [8]

1.3.5.2 Quelques lois de probabilité

Loi exponentielle : Cette loi décrit la vie des matériels qui subissent des défaillances brutales. La loi exponentielle est la plus couramment utilisée en fiabilité électronique pour décrire la période durant laquelle le taux de défaillance des équipements est considéré comme constant (défaillance aléatoire).

Elle est définie par un seul paramètre, le taux de défaillance, λ . Elle est caractérisée par :

$$\text{Fiabilité} \quad R(t) = e^{-\lambda t} \quad (1.13)$$

$$\text{La densité de probabilité} \quad f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad (1.14)$$

$$\text{Le taux de défaillance} \quad \lambda(t) = \lambda \quad (1.15)$$

La loi de Weibull : La loi de Weibull, est souvent utilisée en *mécanique* ; elle caractérise bien le comportement du produit dans les trois phases de vie selon la valeur du paramètre de forme β : période de jeunesse ($\beta < 1$), période de vie utile ($\beta = 1$) et période d'usure ou vieillissement ($\beta > 1$). La loi de Weibull est définie par deux paramètres η et β .

Elle est caractérisée par :

Fiabilité
$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \quad (1.16)$$

La densité de probabilité
$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \quad (1.17)$$

Le taux de défaillance
$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} \quad (1.18)$$

Loi normale : La loi normale elle s'applique à de nombreux phénomènes. La loi normale est définie par la moyenne μ et l'écart type σ :

la fonction de répartition
$$F(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^t e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} dx \quad (1.19)$$

La densité de probabilité
$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)^2} \quad (1.20)$$

Loi log-normale : Une variable aléatoire continue et positive t est distribuée selon une loi log-normale si son logarithme est distribué suivant une loi normale. Cette distribution est utilisée en fiabilité pour modéliser les défaillances par fatigue. La loi log-normale a deux paramètres μ et σ :

La densité de probabilité
$$f(t) = \frac{1}{t\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\log(t) - \mu}{\sigma}\right)^2} \quad (1.21)$$

Loi uniforme : Loi uniforme est souvent utilisée en fiabilité pour *les essais bayésiens* en l'absence de connaissances pour construire l'information a priori.

Fiabilité
$$R(t) = \frac{t-a}{b-a} \quad (1.22)$$

La densité de probabilité
$$f(t) = \frac{1}{b-a} \quad (1.23)$$

1.3.6 Systèmes et composants

1.3.6.1 Définition de Système et de composante

Définition de Système : Un système est défini comme un ensemble d'éléments qui interagissent entre eux. Tout système se caractérise par une ou plusieurs fonctions qu'il doit accomplir [4].

Les éléments définissant un système sont [4] :

- Les fonctions assurées par le système.
- L'architecture du système, qui comprend les divers composants mis en jeu et leurs connections.
- Le système d'exploitation, qui représente les comportements du système durant son fonctionnement

Définition de Composant : La définition des composants d'un système peut se faire de multiples façons. En effet, un composant peut-être lui-même décomposé en sous composants. Il est ainsi nécessaire de fixer la finesse de l'étude afin de déterminer le choix des composants. [4]

1.3.6.2 Fiabilité des composants

La fiabilité des composants élémentaires peut être estimée à partir d'essais en considérant les dates d'apparition des défaillances.

On teste alors l'adéquation des défaillances constatées avec les lois de statistique connues et on identifie, quand c'est possible, la fiabilité du composant élémentaire (représentée par la fonction de densité de probabilité de défaillance au cours du temps) à une loi connue caractérisée par ses paramètres propres. Cette démarche n'est possible que si tous les essais ont été menés exactement dans les mêmes conditions.

On peut alors, en utilisant la fonction cumulée de défaillance, prévoir à un instant t la probabilité de défaillance d'un composant élémentaire. Cette estimation nécessite cependant des précautions : il convient de vérifier que les conditions de fonctionnement concernées par l'estimation sont les mêmes que celles ayant été utilisées pour déterminer la "loi de fiabilité" du composant.

On peut appréhender dès cette étape les problèmes liés à l'environnement dans lequel fonctionne le composant et donc la nécessité de caractériser l'influence de cet environnement sur le comportement du composant élémentaire. [9]

1.3.6.3 Fiabilité Des Systèmes

Généralement, les industriels s'intéressent à la fiabilité de systèmes complexes, formés de plusieurs composants élémentaires comme les joints, arbres, carters, pistons... L'étude d'un tel système passe par sa décomposition en composants élémentaires (figure 1.4)

On étudie ensuite la fiabilité de chaque composant élémentaire et on en déduit la fiabilité du système. [9]

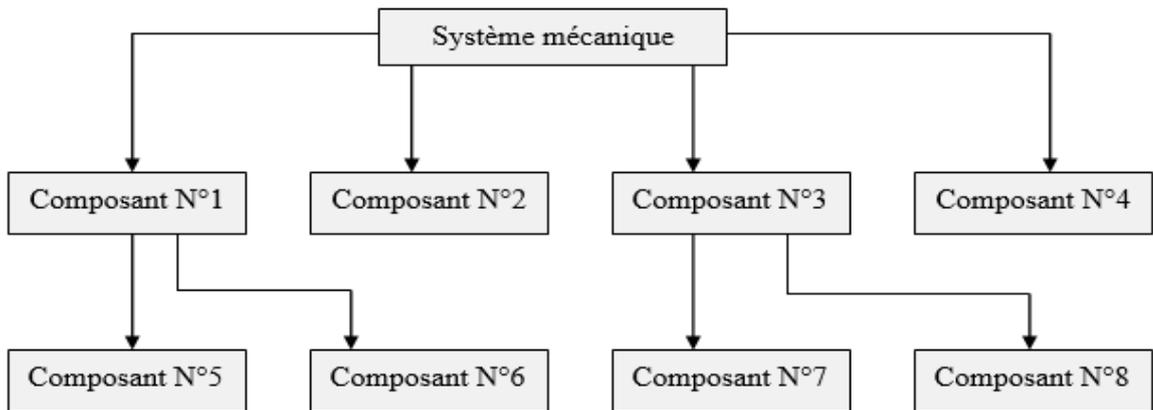


Figure 1.4 : Décomposition d'un système mécanique en composants élémentaires. [9]

Système série Est le cas le plus simple. Chaque composant est indispensable au fonctionnement du système, la défaillance de n'importe lequel entraîne la défaillance de tout le système.



Figure 1.5 : Système Série. [9]

On peut alors exprimer la fiabilité du système de la manière suivante :

$$R_{\text{système}} = \prod_i R_{\text{composant}_i} \tag{1.24}$$

On démontre aisément à partir de la formule précédente l'expression du taux de défaillance instantané du système en fonction de ceux des composants élémentaires :

$$\lambda(t)_s = \sum_i^n \lambda(t)_i \tag{1.25}$$

Où $\lambda(t)_s$ est le taux de défaillance instantané du système,

$\lambda(t)_i$ est le taux de défaillance instantané du composant élémentaire i.

Système Parallèle : C'est un système comprenant i sous-ensembles ou composants élémentaires A équivalents, c'est-à-dire que la défaillance du système n'a lieu que si tous les composants A_i sont défaillants.

Le système présente alors une ou plusieurs redondances.

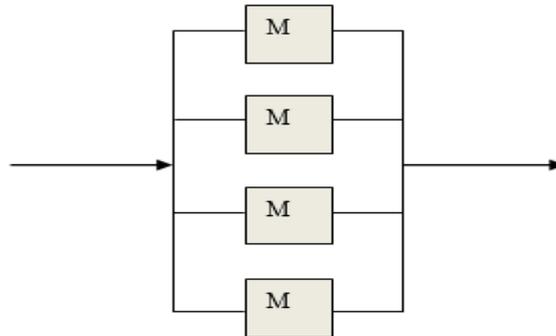


Figure 1.6 : système à structure parallèle. [9]

La fonction cumulée de défaillance du système s'exprime alors en fonction des fonctions cumulée de défaillance des composants A_i :

$$F_{système} = \prod_i F_{composant_i} \tag{1.26}$$

On en déduit la fiabilité de l'ensemble du système :

$$R_{système} = 1 - \prod_i (1 - R_{composant_i}) \tag{1.27}$$

Systèmes Série-Parallèles Multi-Etats Sans Stocks : Le système série-parallèle est constitué de n sous- systèmes connectés en série. Chaque sous- système est composé de i éléments placés en parallèle (Figure 1.7).

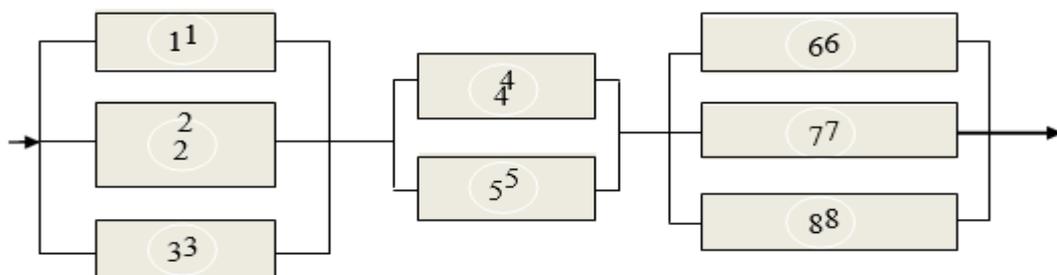


Figure 1.7 : Système à Structure Série-Parallèle [9]

Aucun système producteur n'est à l'abri de défaillances. Un système à deux états (binaire) peut être soit opérationnel soit en défaillance totale. Cependant pour un système multi- états (Multi –state system ; MSS) il existe deux types de pannes :

- a) Pannes qui causent l'arrêt total du système.
- b) Pannes qui causent une dégradation de la performance du système

Les systèmes à défaillance partielles peuvent avoir plusieurs niveaux de performance, ces systèmes sont appelés Multi State system MSS (Système Multi-Etats).

1.4 Evaluation et analyse de la fiabilité des systèmes

1.4.1 Analyses préliminaires à la sûreté de fonctionnement

1.4.1.1 Analyse fonctionnelle

Avant de faire une étude de sûreté de fonctionnement il est indispensable de faire une analyse fonctionnelle afin de déterminer les caractéristiques du système (fonctions, structure, etc.). L'analyse des systèmes ne possède pas de méthode standard, les méthodes utilisées diffèrent selon la nature des systèmes (technologies déployées) et de l'objectif de l'étude. Pour effectuer cette analyse il est nécessaire d'identifier les caractéristiques des systèmes [10] : les fonctions, la structure, les technologies déployées, les modes de fonctionnement, les conditions d'exploitation, l'environnement du système et l'inventaire des moyens de mesures.

1.4.1.2 Analyse des risques

Il s'agit à la base d'une analyse qui permet d'identifier des points critiques devant faire l'objet d'études plus détaillées. Les méthodes les plus utilisées dans cette analyse sont : l'Analyse Préliminaire des Risques (APR) et l'Analyse des Modes de Défaillances et de leurs Effets (AMDE).

1.4.2 Classification des méthodes de sûreté de fonctionnement

1.4.2.1 Analyse qualitative et quantitative [11]

L'évaluation de la sûreté de fonctionnement fait appel à de nombreux modèles et aux méthodes d'analyse qualitative et quantitative associées à ces modèles.

A- Analyse qualitative : L'analyse qualitative permet d'identifier les relations de causes à effets entre fautes, erreurs et défaillances. (Par exemple quelles fautes peuvent entraîner une défaillance).

B- Analyse quantitative : L'analyse quantitative évalue les paramètres probabilistes de la sûreté de fonctionnement.

1.4.2.2 Analyse statique et dynamique [12]

L'analyse de sûreté de fonctionnement est caractérisée par le type d'analyse, et le type du système étudié. L'analyse peut être une analyse statique, ou bien une analyse dynamique du système.

A- Analyse statique : Un composant, un sous-système ou le système lui-même possède uniquement deux états : marche et panne. Les modèles statiques décrivent des formules booléennes (modèles booléens), et l'étude est faite sur un état bien défini du système. Les méthodes les plus utilisées dans cette analyse sont : les Arbres de Défaillance (AdD).

B- Analyse dynamique : Cette analyse prend en compte la reconfiguration, les redondances, les modes de fonctionnement, les réparations, la maintenance et utilise des modèles comportementaux ou dynamiques. Parmi les méthodes les plus utilisées dans cette analyse on cite les Graphes de Markov (GM), et les arbres d'événements.

1.4.2.3 Analyse Inductive et déductive [13]

A- Analyse inductives : Basées sur une démarche descendante, elles considèrent un événement initiateur (défaillance technique, dysfonctionnement organisationnel, ...) dont elles cherchent à caractériser les conséquences sur le système et son environnement. Ces approches partent donc des causes pour en déduire les conséquences.

B- Analyse déductives : Basées sur une démarche ascendante, elles considèrent un événement redouté (arrêt du système, anomalie de fonctionnement, ...) dont elles cherchent à expliquer les causes, le plus souvent sous forme de séquences d'événements.

1.4.3 Les Méthode d'analyses

1.4.3.1 Analyse préliminaire des risques APR

L'analyse préliminaire de risques (APR) est une démarche essentielle en matière de sécurité. Contrairement à d'autres méthodes évoquées ici, elle est particulièrement dédiée aux approches de la sécurité [14]. Le terme recouvre un ensemble un peu nébuleux qu'on peut toutefois caractériser en se plaçant à deux niveaux :

- D'une part, à un niveau presque philosophique, une démarche qui se caractérise par ses objectifs et peut mettre en œuvre des moyens assez divers ;

- D'autre part, une méthode qui concourt spécifiquement à la démarche.

L'APR est d'abord une démarche visant à identifier les risques qu'il faudra traiter avec des ordres de grandeur de leurs importances et un principe des mesures qui devraient permettre de les maîtriser à un niveau acceptable. À vouloir décrire de façon précise et rigoureuse cette approche, on est vite conduit à spécifier une démarche exhaustive d'identification, d'évaluation, de réduction et de maîtrise des risques. La frontière entre analyse préliminaire et analyse est forcément floue. Cependant, dans un projet, il est intéressant de construire une démarche qui donne confiance dans ses conclusions et que l'on peut partager : les sujets risques importants sont repérés, les pistes de traitement sont assez crédibles pour éviter de graves remises en cause du projet et pouvoir anticiper les tâches et le planning relatifs à la maîtrise des risques, sans pour autant mener une analyse exhaustive et détaillée à chaque étape. Toutes les méthodes évoquées plus haut et d'autres peuvent être mises à contribution pour réaliser une analyse préliminaire des risques.

L'APR va chercher à repérer tous les risques qui devront être traités au cours du développement du projet, que ce soit la conception d'un nouveau système ou l'évolution d'un existant. Elle exploitera les analyses fonctionnelles/dysfonctionnelles qui recensent les attentes et les écarts possibles aux attentes³.

Elle devra aussi anticiper les risques liés aux éléments (technologies, tâches confiées aux humains, impacts de l'environnement sur celles-ci). Un moteur électrique, par exemple, présente d'autres risques qu'un moteur thermique, à fonctions égales. Une méthode spécifique à cet aspect de l'analyse préliminaire est très pratiquée pour identifier au mieux ces risques qui ne découlent pas nécessairement de l'expression fonctionnelle de besoins, mais des solutions qui vont être mises en œuvre pour les satisfaire.

Cette méthode est souvent également appelée APR, d'où des possibilités de confusion. Elle consiste à balayer des documents qui recensent pour chaque technologie, produit... les risques associés compte tenu des connaissances et de l'expérience disponibles. Cette démarche s'impose en particulier en présence de produits chimiques pour lesquels des documents précis, généralement normés, informent explicitement sur les dangers qu'ils peuvent présenter (seuls ou en présence d'autres produits ou bien dans d'autres conditions : température, pression, etc.). Elle fournit généralement ses conclusions sous forme de tableaux associant à chaque produit ou composant, aux conditions qui influent sur sa dangerosité, la nature des phénomènes dangereux et les précautions efficaces connues. L'expression «

analyse préliminaire de risques » s'applique selon les locuteurs à cette méthode ou à la démarche plus générale à laquelle elle peut contribuer au côté d'autres méthodes.

1.4.3.2 AMDE(C)

L'analyse des modes de défaillances, de leurs effets et de leurs criticités est plus connue sous les acronymes AMDE et AMDEC. Le résultat d'une AMDE est présenté dans un tableau. Dans la première colonne, le système étudié est séparé en composants [14]. Dans la deuxième, chaque mode de défaillance du composant (c'est-à-dire la façon dont les défaillances se manifestent et affectent les fonctions du composant) est décrit.

Dans la troisième, les effets de chaque mode de défaillance sur le système sont décrits. Dans une quatrième figure éventuellement une évaluation de la criticité. Ceci constitue le noyau dur qui exprime le principe de l'AMDE. En pratique, les normes et les innombrables documents consacrés à l'AMDE(C) proposent tous des tableaux un peu ou beaucoup plus détaillés. Il en existe d'innombrables variantes selon les contextes.

Toutefois, on peut mentionner les développements supplémentaires suivants comme très largement répandus :

- La décomposition du système en composants se présente souvent sur deux colonnes (ou trois ou plus) pour une présentation arborescente plus lisible (système, sous-systèmes, équipements, composants par exemple).
- Chaque composant est associé à l'identification de la fonction (voire des fonctions) à laquelle il contribue en référence à une analyse fonctionnelle préalable.
- La/les cause(s) possible(s) de chaque mode de défaillance est/sont mentionnée(s) dans une colonne, avant ou après la colonne « mode de défaillance ».
- Trois paramètres (répartis dans autant de colonnes) sont évalués pour chaque mode de défaillance et leur combinaison forme la criticité : la fréquence, la gravité et la non-détection (probabilité de).
- Cette évaluation de la criticité connaît d'importantes variantes, avec seulement fréquence et gravité ou au contraire plus de paramètres.
- On multiplie généralement « naturellement » fréquence, gravité et non-détection pour obtenir la criticité, mais il serait sain de s'interroger sur la pertinence de l'opération (Cf. § 2.5 dans « Notions fondamentales »).
- Une colonne action est souvent ajoutée en fin de tableau. On dépasse donc le

stade de l'analyse pour déterminer les mesures à prendre en fonction des motivations pour lesquelles l'analyse a été menée.

L'AMDE(C) est qualifiée de méthode inductive. Elle a la réputation d'être exhaustive. En fait, cette exhaustivité résulte de son caractère systématique mais ne vaut que pour les conséquences des défaillances des composants du système avec une capacité très limitée à prendre en charge les combinaisons de causes, les effets du temps et dans la limite, bien entendu, de l'exhaustivité des connaissances réunies sur les éléments composant le système. L'AMDE/AMDEC est une méthode extrêmement connue — ou que l'on croit connaître — au point d'être trop souvent assimilée à la méthode de maîtrise des risques. Outre les limitations mentionnées ci-dessus, il faut aussi noter que l'AMDEC permet d'attribuer des criticités aux modes de défaillance.

L'organigramme La démarche générale de l'AMDEC représentées sur la figure 1.8

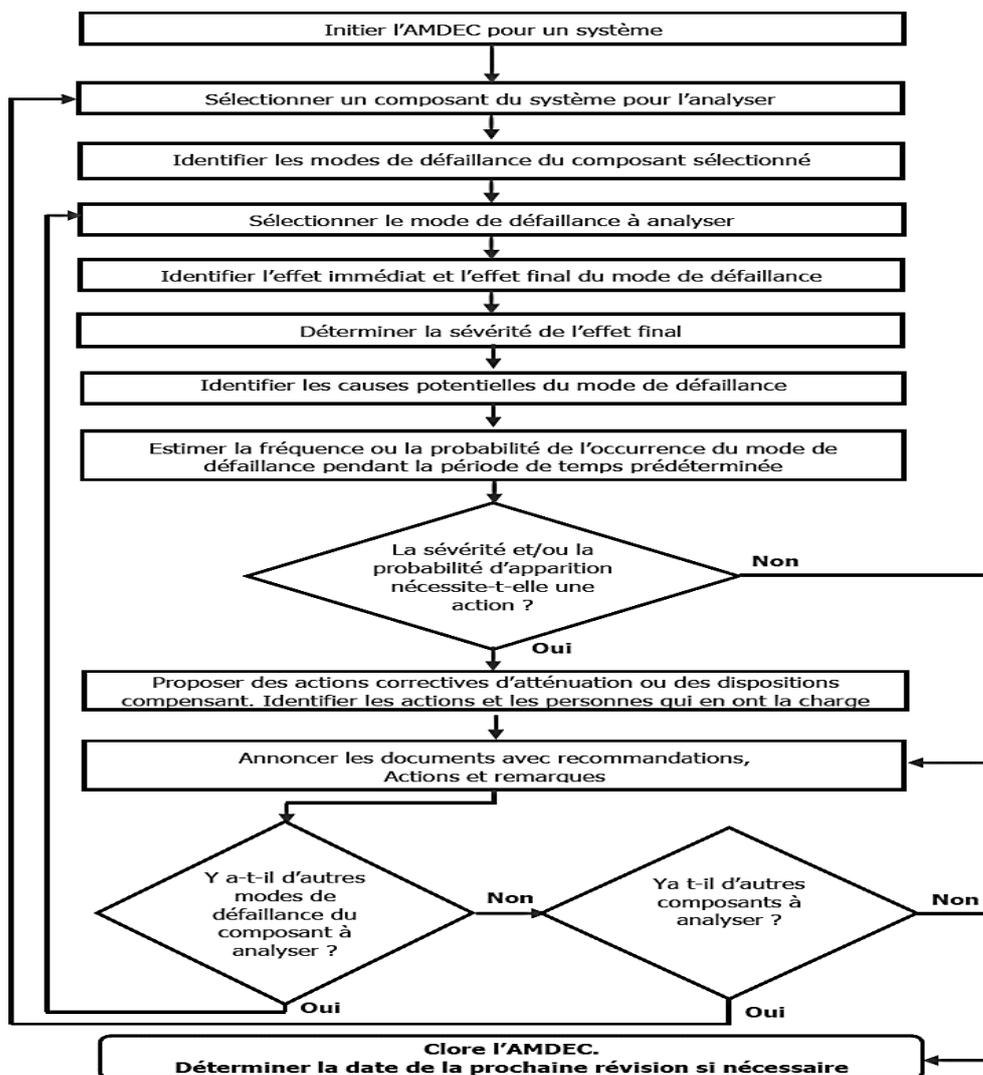


Figure 1.8 : L'organigramme La démarche générale de l'AMDEC [13]

1.4.3.3 Arbre d'évènement AdE

L'arbre d'évènement est une méthode très simple, mais beaucoup moins utilisée. Il s'agit de représenter sous forme d'arborescence la suite d'alternatives qui déterminent les conséquences d'un évènement initial.

Traditionnellement, l'évènement initial est à gauche, puis on rencontre une première alternative, comme « le détecteur détecte OUI/NON ». Sur chaque branche de l'alternative, on va rencontrer l'alternative suivante, qui n'est donc généralement pas la même.

Il est courant qu'une branche ne rencontre plus d'alternative alors que parallèlement l'autre branche en rencontre plusieurs successives. Les terminaisons des différentes branches constituent donc les conséquences ultimes, au niveau d'analyse choisi. En plaçant à chaque alternative la probabilité de chaque branche, on peut calculer la probabilité de chaque terminaison.

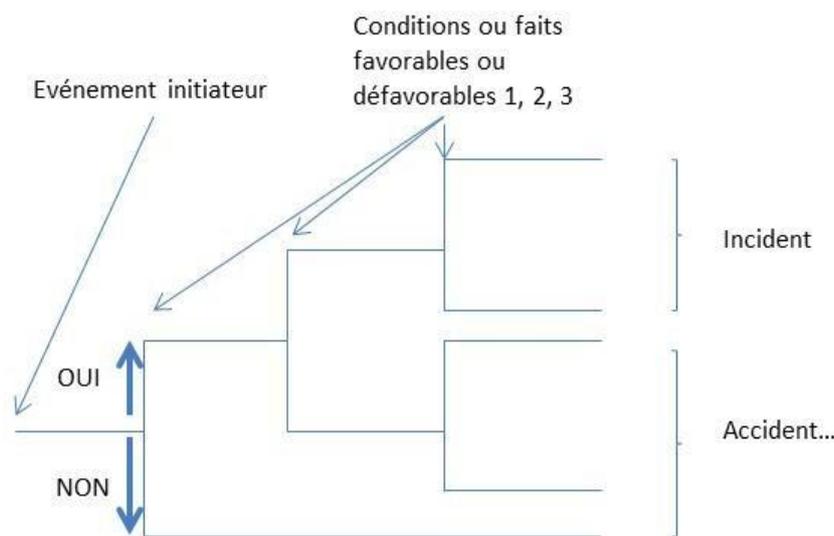


Figure 1. 9 : Principe de l'arbre d'évènement [14]

1.4.3.4 Arbre de défaillance

L'arbre de défaillance est la méthode déductive type. Un arbre de défaillance se construit à partir d'un évènement dit « évènement-sommet » et représente sous forme arborescente les combinaisons d'évènements (défaillances, erreurs) ou circonstances qui peuvent le causer. Il s'agit, en partant de l'évènement-sommet, de répondre à la question « que faut-il pour qu'il se produise ? ».

La réponse doit être constituée de plusieurs évènements liés par « OU » ou « ET » (on parle de « portes OU » et de « portes ET »).

En recommençant la même opération sur chacun des événements apportés par les réponses précédentes, l'arbre se constitue.

Traditionnellement, l'événement-sommet est en haut et on descend en s'étalant. En principe, un arbre de défaillance se construit avec les deux seuls opérateurs logiques « OU » et « ET », mais on peut gagner de la place en utilisant d'autres opérateurs logiques comme « OU exclusif », « NON » ou des fractions « p/n » comme 2/3, 3/4, 3/5, etc. On peut exploiter un arbre de défaillances fondamentalement de deux façons.

La première consiste à calculer les probabilités de tous les événements à partir de celles des événements de base, dits « feuilles ». Une fois que l'arbre de défaillances a été développé jusqu'à des événements élémentaires dont on connaît la probabilité, on remonte de proche en proche.

Dans le cas d'une porte « ET », on attribue à l'événement supérieur le produit des probabilités des événements qui le composent ; dans le cas d'une porte « OU », la somme moins le produit. Ces calculs permettent non seulement d'évaluer la probabilité de l'événement-sommet, mais aussi le poids de chaque scénario dans cette probabilité globale.

Ces calculs sont très simples quand les événements sont indépendants ; ils deviennent plus compliqués et vite inextricables quand les événements ne sont pas indépendants et qu'il faut évaluer les probabilités conditionnelles (c'est-à-dire la probabilité que l'un se produise sachant que l'autre est vrai).

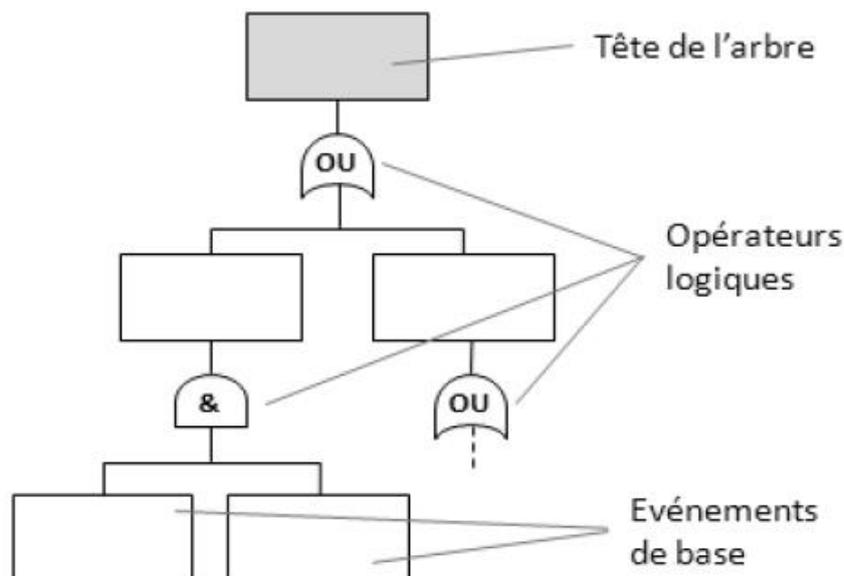


Figure 1.10 : Schéma simple d'arbre de défaillance avec les symboles usuels [15]

1.4.3.5 Arbre des causes

L'arbre des causes est une approche très répandue, très utilisée. Il se différencie fortement des méthodes précédentes en ce qu'il s'applique à l'analyse a posteriori d'un événement, souvent un accident, et non à l'analyse a priori de différentes possibilités. Il part de l'événement étudié, traditionnellement à droite de la feuille et il se développe vers la gauche. Il représente les faits, les liens logiques et chronologiques qui ont causé l'événement. Il se construit en répondant itérativement aux questions : « qu'a-t-il fallu pour que le fait apparaisse ? » et « était-ce suffisant pour que le fait apparaisse ? »

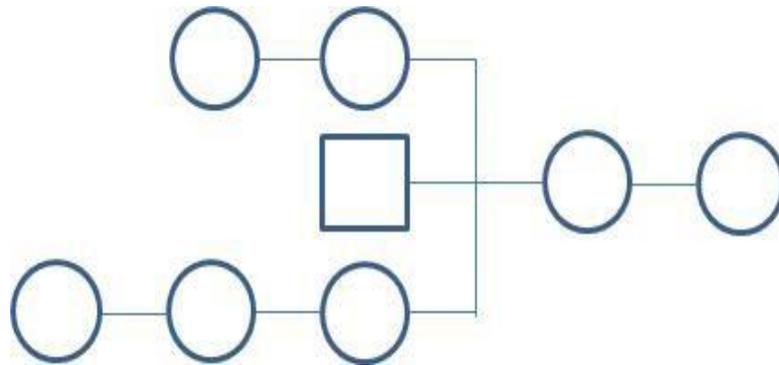


Figure 1.11 : Allure schématique d'un arbre des causes [14]

L'événement étudié, le « fait ultime » est tout à droite ; les cercles représentent les faits anormaux ou inhabituels et les rectangles les faits normaux. Étant très usitée, cette représentation connaît d'innombrables variantes.

1.4.3.6 Graphes de Markov

Ces méthodes très puissantes sont particulièrement appropriées à la représentation des phénomènes stochastiques¹. Elles fournissent une représentation graphique et reposent sur un modèle mathématique sous-jacent qui, au-delà des cas pédagogiques très simples, nécessitent très vite des moyens informatiques considérables et des compétences assez pointues [14]. Un graphe de Markov est constitué d'états et de transitions. Par exemple, un système constitué de deux composants A et B a quatre états :

- [A et B fonctionnent],
- [A fonctionne, B en panne],
- [A en panne, B fonctionne],
- [A et B en panne]. La transition « A tombe en panne » conduit du 1er au 3e et du 2e au 4e. Si ces composants sont réparables, la transition « B est réparée » conduit du 2e au 1er et du 4e au 3e. La connaissance des taux de transition

(probabilités de panne et de réparations) permet de calculer fiabilité et disponibilité.

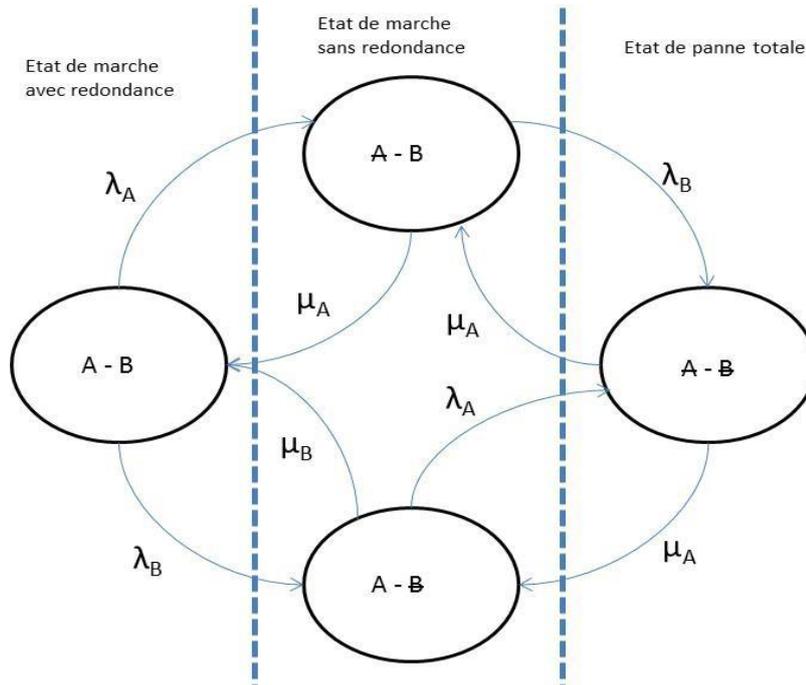


Figure 1.12 : Graphe de Markov basique [14]

1.5 Conclusion

Dans le cadre de ce mémoire, nous nous plaçons dans le domaine de la sûreté de fonctionnement, et nous présentons dans ce chapitre ses concepts de base, ses méthodes et modèles les plus utilisés. Etant donnée la diversité des méthodes et modèles utilisés pour une même étude, la difficulté de construire ces modèles pour des systèmes complexes, le risque d'erreur engendré par la construction manuelle de ces modèles, et l'impossibilité de leurs réutilisation et mise à jour, il devient indispensables d'utiliser un modèle générique capable d'être traduit vers ces modèles, et pouvant être réutilisé et modifié facilement.

CHAPITRE II

Procédés de la torchère de gaz de complexe GL3/Z

2.1. Présentation générale de l'usine GL3/Z.....	24
2.2. Présentation de l'unité 75 de GL3/Z (Système de torche).....	31
2.3. Conclusion.....	47

2.1 Présentation générale de l'usine GL3/Z

2.1.1 Description de l'usine

Le projet du gaz intégré est en train d'être développée par la SOCIETE SONATRACH en Algérie et implique les réserves de gaz sur le terrain dans le bassin de Berkine (Centre Est de l'Algérie) et comprend un système de pipeline de gaz et une nouvelle unité de l'usine du GNL à être construite dans la zone industrielle du port de Arzew El Djedid.

La base de ce projet est l'usine entièrement nouvelle de GNL (GNL-3Z Project) qui est une installation composée d'un train du GNL et toutes les infrastructures nécessaires y compris les utilités, les stockages et les chargements des navires.

La capacité de la production annuelle du train du GNL est de 4.7 millions de tonnes (réseau GNL à transporter) ; dans les compositions de gaz de base d'alimentation, avec des provisions pour construire un second train du GNL avec la même capacité.

Le gaz naturel liquéfié produit dans l'usine du GNL est exporté vers les marchés internationaux, les composants les plus lourdes, comme le GPL et la gazoline, avec une valeur ajoutée plus haute, sont extraites séparément pour l'exportation.

Le gaz éthane est exporté séparément, tout en satisfaisant la consommation interne du train, par exemple la réintégration du réfrigérant et éventuelle injection d'éthane dans le gaz combustible. Le flux de gaz riche d'hélium est disponible à un raccordement pour l'extraction future de l'hélium.

Le propane / butane est disponible à un raccordement pour la connexion aux installations de stockage du GP1/Z.

Le procédé de l'installation de la liquéfaction du GNL-3Z est censé traiter le flux du gaz d'entrée, le fractionner en méthane, éthane, propane, butane et gazoline et liquéfier le méthane.

2.1.2 Emplacement de l'usine

Le site de l'usine se trouve sur la Côte Méditerranéenne à Bethioua, à l'Est d'Arzew, dans la zone du port industriel d'Arzew El Djedid ; son étendue est de 54,6 ha.

L'usine de GPL GP1/Z se trouve à la limite Est du site, tandis que l'usine de désalinisation (KHARAMA) et l'usine GL2/Z existante se trouve à la limite Ouest. La Mer méditerranée et la route du port se trouvent au nord du site, alors que la route principale de la zone industrielle se trouve au sud.

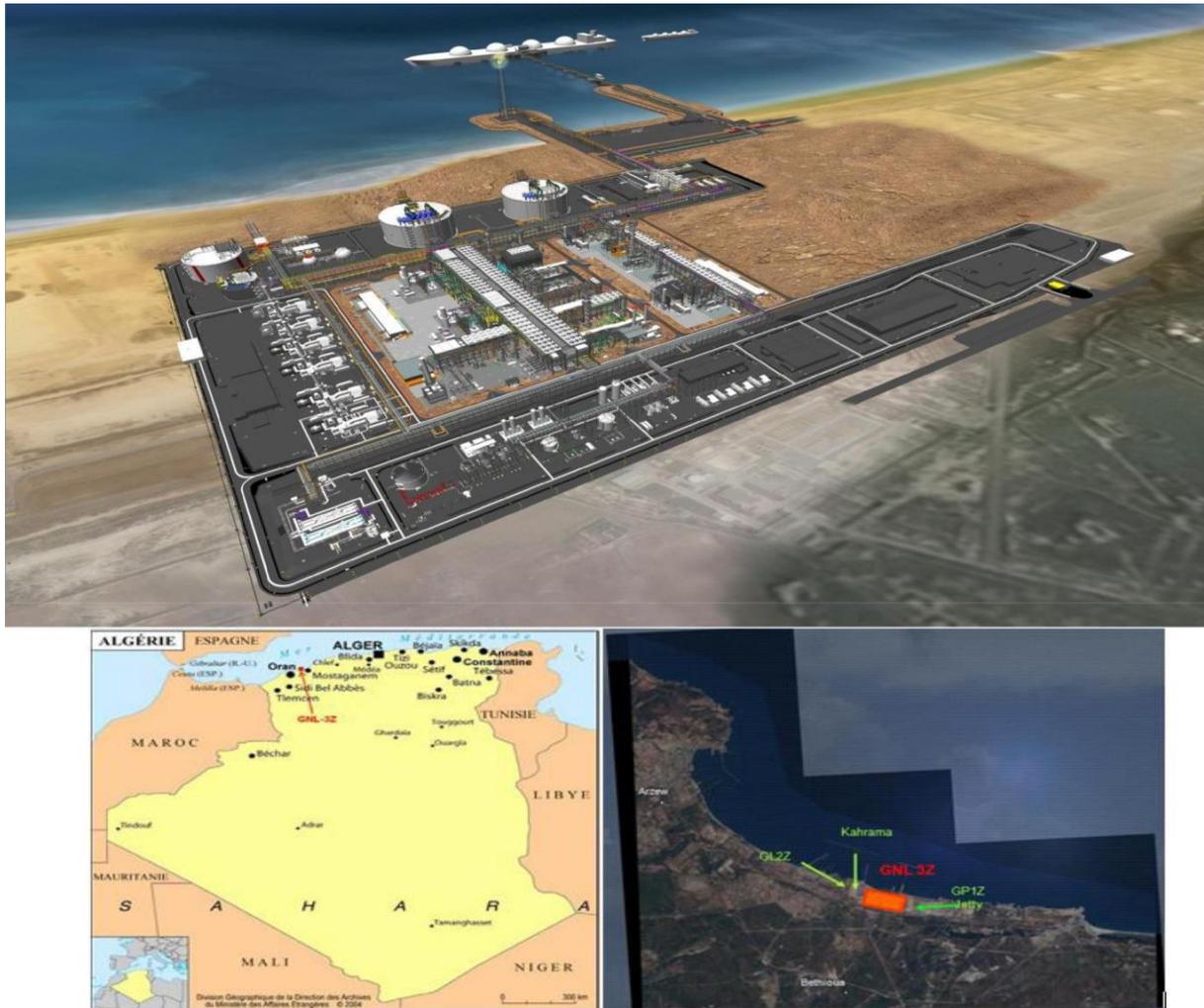


Figure 2.1: Position du site GL3/Z.

2.1.3 But du Projet GNL3Z

Le Projet GNL3Z fait partie d'une série de projets de gaz intégrés de plus grande envergure, créés par SONATRACH en Algérie, impliquant le développement des réserves de champs de gaz dans le Bassin de Berkine (Algérie centre orientale),

L'installation du GNL est une usine de base avec tous les supports off-sites et les utilités. A l'exception de l'eau de service et de l'azote liquide qui sont disponibles pendant le fonctionnement de l'usine de Kahrama adjacent L'usine GNL pour l'eau et COGIZ pour l'azote liquide cette installation est conçue d'un unique train de GNL. Les trois compositions du gaz d'alimentation sont considérées :

- Cas du gaz de base : qui est le cas conçu (température ambiante de 21°C).
- Cas du gaz riche : qui est utilisé principalement pour dimensionner le fractionnement et les unités de récupération du GPL dans l'usine

- Cas du gaz pauvre : qui est utilisé principalement pour dimensionner les parties associées à l'end-flash.

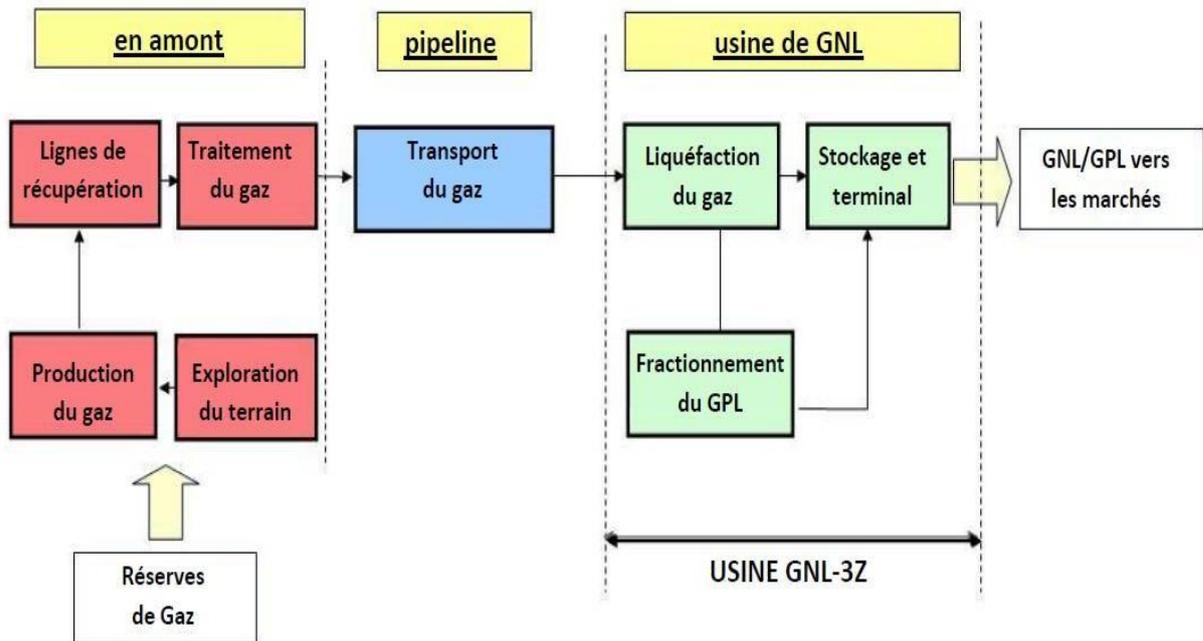


Figure 2.2 : Parcours gaz récupération jusqu'à l'expédition (cas usine gl3/z).

L'usine GL3/Z produit du GNL, mais aussi de l'Ethane, du Propane, du Butane, de la gazoline et un courant d'hélium.

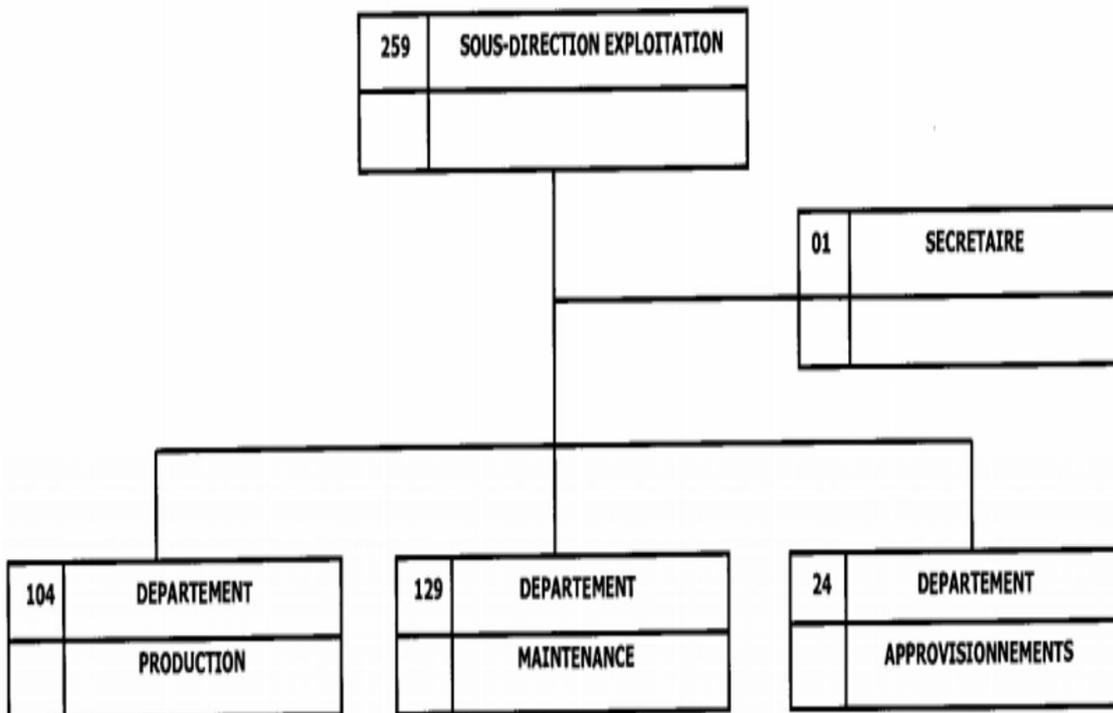
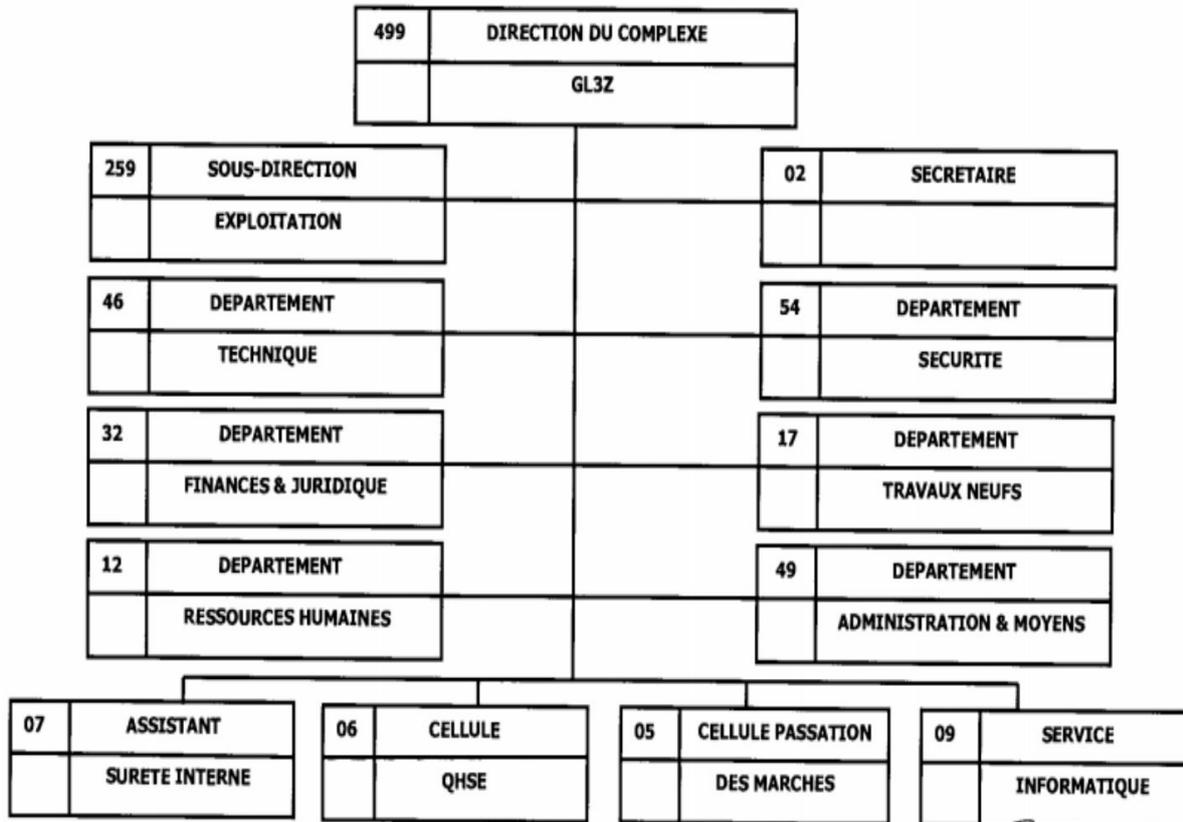
La Gaz Naturel liquéfié produit dans l'usine de GNL est exporté vers les marchés internationaux, tandis que les composants plus lourds, comme le GPL et la gazoline, dont la valeur ajoutée est plus élevée, sont extraits et exportés séparément.

Le procédé APCI (Atmospheric Pressure Chemical Ionization ou une technique d'ionisation dans la phase gazeuse) avec un mixte réfrigérant et du propane pré-réfrigérant a été choisi pour la liquéfaction du GN. Le refroidissement par l'air est le moyen principal d'enlèvement de la chaleur finale. La spécification du produit final du GNL est complétée par la fin de flash dans les colonnes d'élimination de l'azote et de l'hélium.

Le GNL est stocké dans deux réservoirs à rétention totale chacun d'une capacité de 160,000 m³ et les produits du GPL sont stockés dans des réservoirs de rétention totale séparés respectivement de 56000 m³ pour C3 et 12000 m³ pour C4. La gazoline produite est stabilisée et stockée dans une sphère avec une capacité de 1800 m³. La structure de la torche est située 'offshore', accessible par une route sur digue, qui doit être construite.

2.1.4 Organigramme générale du complexe

Le GL3Z complexe est dirigé d'après un tableau de l'organisation très déterminé afin de maîtriser les taches, il est composé d'une direction générale, deux directions des pièces et les départements de contrôle, comme le montre l'organigramme suivant (Figure 2.3) [16].



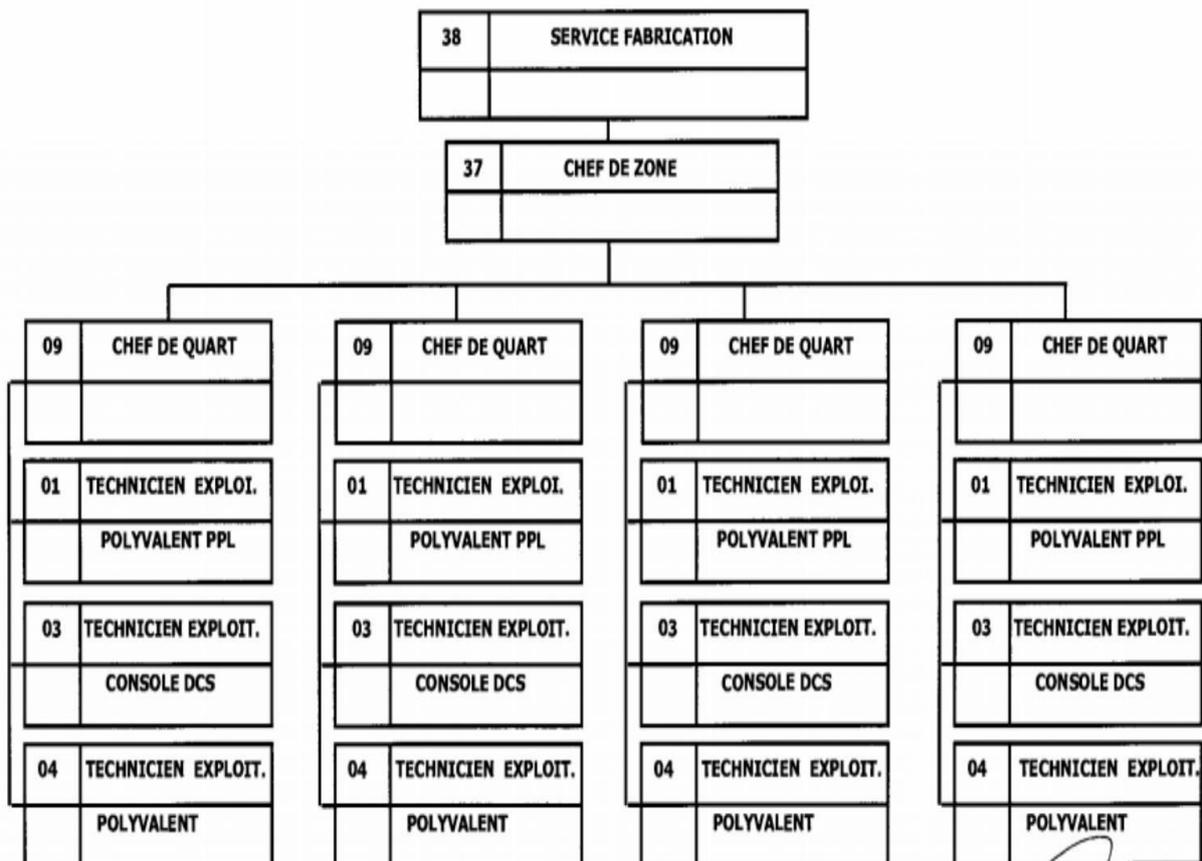
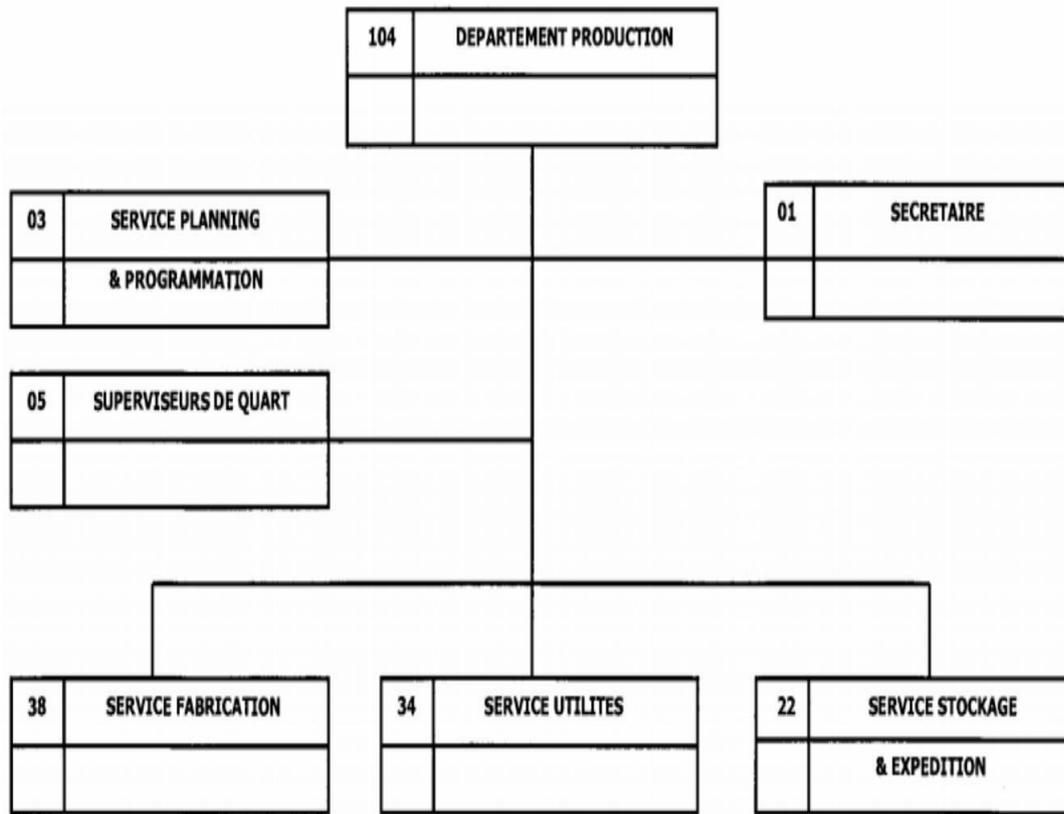


Figure 2.3 : l'organigramme générale du complexe

2.1.5 Description Générale des Unités et des Installations

Les unités de procédé principal de l'usine GL3/Z sont représentées dans le schéma fonctionnel global.

L'illustration présente les débits du courant principal et les connexions clé entre les différentes unités de l'usine.

L'usine comprend un train de procédé, les utilités associées et l'installation off site. Le train de procédé comprend un compresseur de gaz d'alimentation, une section d'élimination du mercure, une unité d'élimination du CO₂, un système de déshydratation, une unité de récupération et de fractionnement des GNL et un cycle de réfrigération au propane dédié, une section de liquéfaction et de réfrigération.

Les utilités et les installations off sites comprennent le système de génération d'énergie, le stockage et le chargement sur les cargos du GNL et du GPL, l'huile chaude, l'eau de refroidissement, l'air service/instrument, l'azote, le gaz combustible, les torches, le traitement des eaux usées, l'eau de service/potable, le diesel, le stockage du réfrigérant et de la gazoline

Le procédé tout entier est effectué dans les unités opérationnelles suivantes :

Unité 11 : Conditionnement du gaz d'alimentation	Unité 01 : Installations d'entrée
Unité 12 : Elimination du gaz acide	Unité 02 : Stockage du solvant de l'amine
Unité 13 : Déshydratation du gaz	Unité 57 : Système de l'azote
Unité 14 : Système du gaz combustible (Train 1)	Unité 58 : Circuit de l'eau potable
Unité 15 : Liquéfaction	Unité 59 : Système de l'eau de service et déminéralisé
Unité 16 : Réfrigération	Unité 64 : Traitement des eaux usées et Effluents
Unité 17 : Récupération et fractionnement du GNL	Unité 71 : Produit de stockage et chargement du GNL
Unité 18 : Système de l'huile chaude	Unité 72 : Produit de stockage et chargement du GPL
Unité 19 : Système d'Eau de refroidissement	Unité 75 : Système de la torche
Unité 08 : Stockage de l'huile chaude	Unité 73 : Système de stockage propane éthane interne
Unité 51 : Génération de l'énergie électrique	Unité 76 : Système de stockage de gazoline
Unité 53 : Système du générateur diesel de Secours	Unité 63 : Système d'Eau Anti-incendie

Unité 55 : Système gaz combustible
commun

Unité 77 : Lutte Anti-incendie

Unité 56 : Système de l'air instrument et
usine

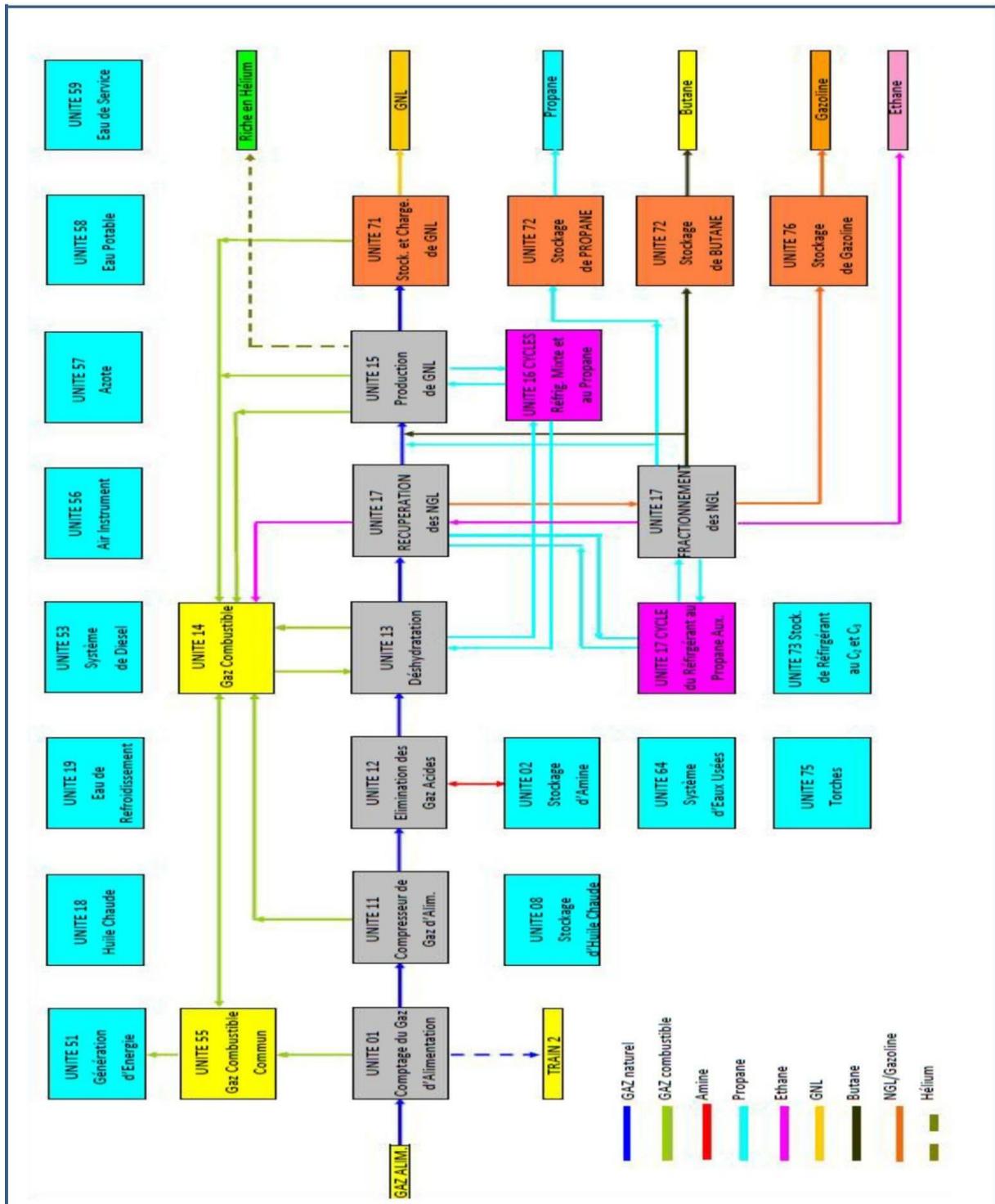


Figure 2.4 : Les Unités et les Installations

2.2 Présentation de l'unité 75 de l'usine GL3/Z (Système de torche)

Le Système de la Torche (Unité 75) est prévu et dimensionné pour pourvoir aux opérations de deux trains de GNL (l'un d'eux à réaliser dans le futur). Ce système fournit des moyens sûrs et fiables pour l'élimination des vapeurs d'hydrocarbures et l'évacuation des liquides issus de pannes ou de situations d'urgence. Le système gère également les refoulements d'hydrocarbures lors de certaines conditions opératoires comme le démarrage, la ventilation et le drainage des équipements et/ou des tuyaux.

2.2.1 Emplacement dans l'Usine

Le Système de la Torche (Unité 75) est situé sur le côté nord de la section de fractionnement du train de GNL (unité 17). Le côté ouest de l'Unité est occupé par la zone de Stockage et de Chargement de GNL (Unité 71) alors que la disposition pour le futur Réservoir de Stockage de GNL et le système des Effluents et des Eaux Usées (unité 64) occupe le côté est. La route de troue à 9 m du côté nord de l'unité 75.

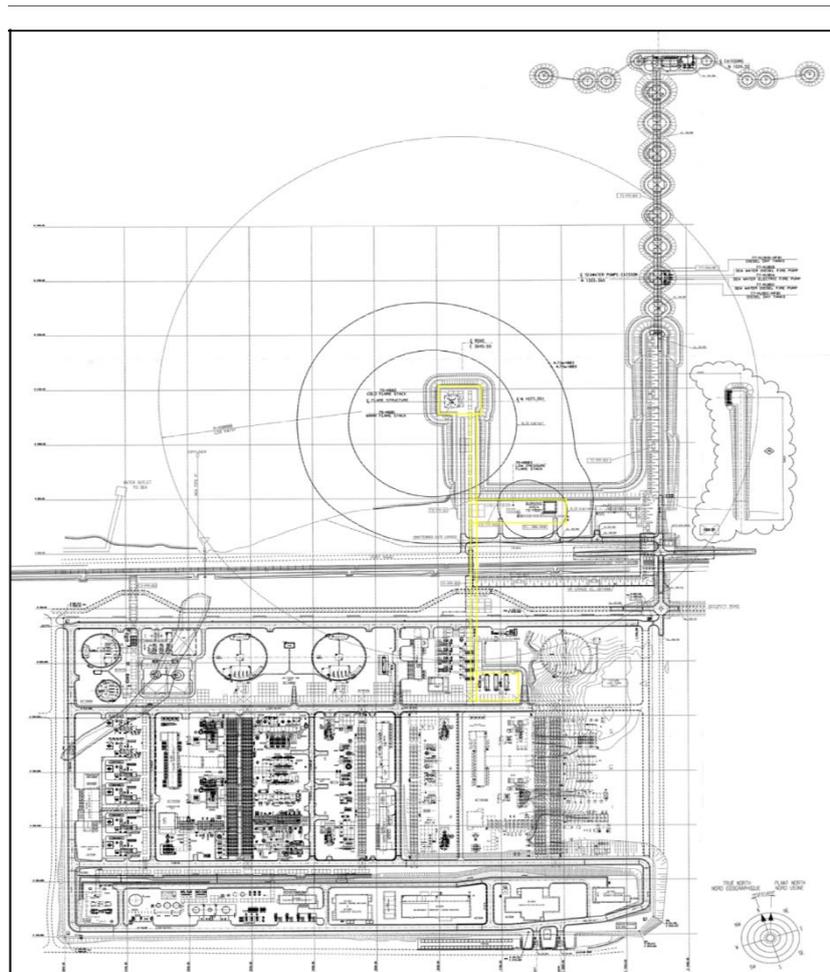


Figure 2.5 : Emplacement de l'Unité 75 (en jaune) sur le Plan Général d'Implantation.[17]

2.2.2 Les types des torchères de gaz dans l'usine

Le Système de la Torche (Unité 75) est conçu pour l'élimination des vapeurs d'hydrocarbures et l'évacuation des liquides issus de pannes, de situations d'urgence et pendant les conditions de fonctionnement. Le brûlage à la torche des courants de produits secondaires est communément utilisé pour oxyder et convertir les vapeurs/gaz non désirés en leurs produits de combustion, moins nocifs, puis de les rejeter dans l'environnement.

Il existe trois types de système de brûlage à la torche : les torches Basse Pression, Froide et Chaude. Ce système se base sur le tri entre les hydrocarbures humides, lourds et chauds et les hydrocarbures secs, légers et froids.

2.2.2.1 Système de la Torche Chaude

Le système de la torche chaude récolte les hydrocarbures chauds, lourds et mouillés à haute pression. RVW indique les décharges de vapeurs chaudes ; BDW indique les refoulements/évacuations de liquides chauds. La ligne principale RVW de la Torche Chaude part du collecteur de distribution vers le Ballon de la Torche Chaude (75-MD01).

Le système (Collecteur Principal de la Torche Chaude RVW) est constamment purgé avec du gaz combustible à basse pression situé à l'extrémité du collecteur RVW de la torche chaude principale.

Une ligne d'azote est également prévue à l'extrémité du collecteur de la torche chaude comme source de la purge de réserve. Les courants RVW sont groupés dans un unique collecteur principal de drainage libre, sans poches recueillis dans le Ballon de la Torche Chaude (75-MD01). La ligne de vapeur (RVW) provenant du Ballon de la Torche Chaude est dirigée vers la Cheminée de la Torche Chaude (75-MB01).

Une ligne d'azote est également prévue à l'extrémité du collecteur de la torche comme source pour la purge de réserve. La ligne BDW de la Torche Chaude principale relie également le Ballon de la Torche Chaude (75-MD01), où tous les composants légers sont détendus.

Le Réchauffeur Electrique de Ballon de la Torche Chaude (75-MC01) situé à l'intérieur du 75-MD01 est prévu pour accélérer l'évaporation en cas de niveau élevé d'hydrocarbures liquides chauds à l'intérieur du Ballon de la Torche Chaude (75- MD01).

Les Pompes du Ballon de la Torche Chaude (75-MJ01-A/B) (une en service et une de réserve) ont été prévues au cas où le niveau de liquide continue à augmenter, afin de transférer

le liquide résiduel restant dans le Ballon de la Torche Chaude (75-MD01), comme les hydrocarbures lourds et l'eau, vers le Brûlot des Résidus Liquides (75-MB04).

La ligne de drain des Pompes du Ballon de la Torche Chaude (75-MJ01-A/B) est également reliée avec le collecteur principal BDW vers le 75-MD01.

Le Brûlot des Résidus Liquides (75-MB04) est compris dans le système de la torche pour l'élimination des courants d'hydrocarbures liquides provenant du refoulement des Pompes du Ballon de la Torche Chaude (75-MJ01-A/B). (Principalement depuis le fond de la colonne du Débutaniseur lorsque la sphère de stockage de la Gazoline est pleine ou que l'usine GL-2Z n'est pas en mesure de les recevoir).

Le Brûlot des Résidus Liquides est équipé d'un brûleur pilote et d'alarmes d'arrêt du pilote afin d'assurer la disponibilité continue de la fosse.

Le brûleur pilote est allumé par le générateur frontal de flamme (75-MB04-MU01). Le brûlot des résidus liquides consiste en un pilote, muni de deux thermocouples séparés. Le même gaz combustible est utilisé pour les brûleurs, les pilotes et la purge.

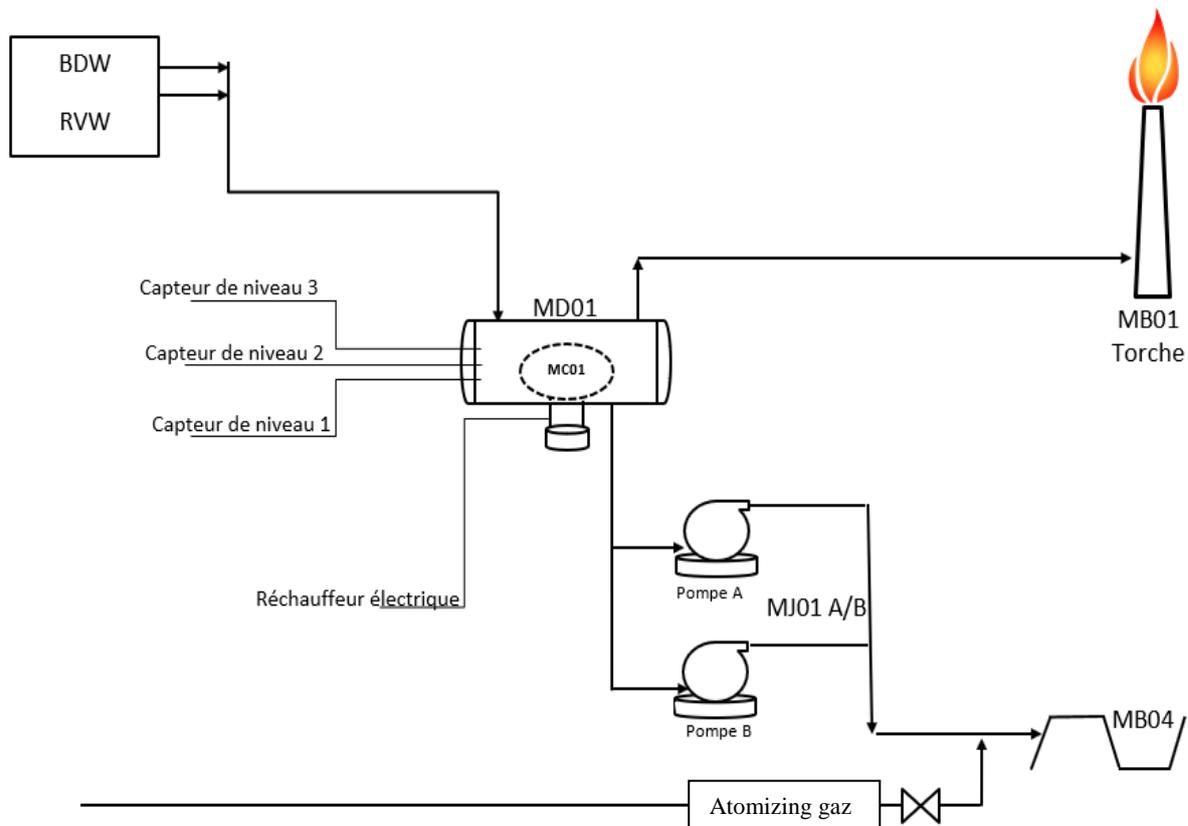


Figure 2.6 : Schéma de la torche chaude

2.2.2.2 Système de la Torche Froide

Le système de la torche froide récolte les hydrocarbures froids, légers et secs à haute pression. RVC indique les décharges de vapeurs froides ; BDC indique les refoulements/évacuations de liquides froids. La ligne principale RVC de la Torche Froide part du collecteur de distribution vers le Ballon de la Torche Froide (75-MD02A/B).

Le système (Collecteur Principal de la Torche Froide RVC) est constamment purgé avec du gaz combustible basse pression situé à l'extrémité du collecteur RVC de la torche froide principale. Une ligne d'azote est également prévue à l'extrémité du collecteur de la torche comme source pour la purge de réserve.

Les courants RVC sont regroupés dans un unique collecteur principal de drainage libre, sans poches, divisé en sous-collecteurs parallèles et pour les Ballons de la Torche Froide 75-MD02-A et 75-MD02-B respectifs.

La ligne principale BDC de la Torche Froide part du collecteur de distribution vers le Ballon de la Torche Froide (75-MD02A/B).

Le système (Collecteur Principal de la Torche Froide BDC) est constamment purgé avec du gaz combustible à basse pression situé à l'extrémité du collecteur BDC de la torche froide principale.

Une ligne d'azote est également à l'extrémité du collecteur de la torche comme source pour la purge de réserve.

Les courants BDC sont regroupés dans un unique collecteur principal de drainage libre, sans poches, divisé en sous-collecteurs parallèles pour les Ballons de la Torche Froide 75-MD02-A et 75-MD02-B.

Les liquides légers recueillis à l'intérieur des Ballons de la Torche Froide (75-MD02A/B) sont vaporisés en pulvérisant du gaz de dégivrage dans le niveau de liquide du Ballon de la Torche Froide avec les lignes pour les ballons 75-MD02-A et 75-MD02-B.

Les sous-collecteurs de vapeur depuis les ballons 75- MD02-A et 75-MD02-B sont ainsi dirigés vers un collecteur commun vers la Cheminée de la Torche Froide (75-MB02).

Lors des opérations sur le gaz lourd, les liquides les plus lourds, comme le C5+, peuvent s'accumuler dans les Ballons de la Torche Froide. Ces liquides sont drainés par gravité vers le Blowcase de la Torche Froide (75-MD03) et ils peuvent être transférés depuis le Blowcase de

la Torche Froide (75-MD03) vers le Ballon de la Torche Chaude (75-MD01) en utilisant de l'azote comme produit de déplacement.

Les liquides légers recueillis dans le Blowcase de la Torche Froide (75-MD03) sont vaporisés en pulvérisant du gaz de dégivrage dans le niveau de liquide du Blowcase de la Torche Froide. Le liquide vaporisé depuis le Blowcase de la Torche Froide est acheminé vers les ballons 75-MD02-A et 75-MD02-B.

La torche froide consiste en quatre brûleurs pilotes et chacun d'entre eux est muni de deux thermocouples séparés. Le même gaz combustible est utilisé pour les brûleurs, les pilotes et la purge.

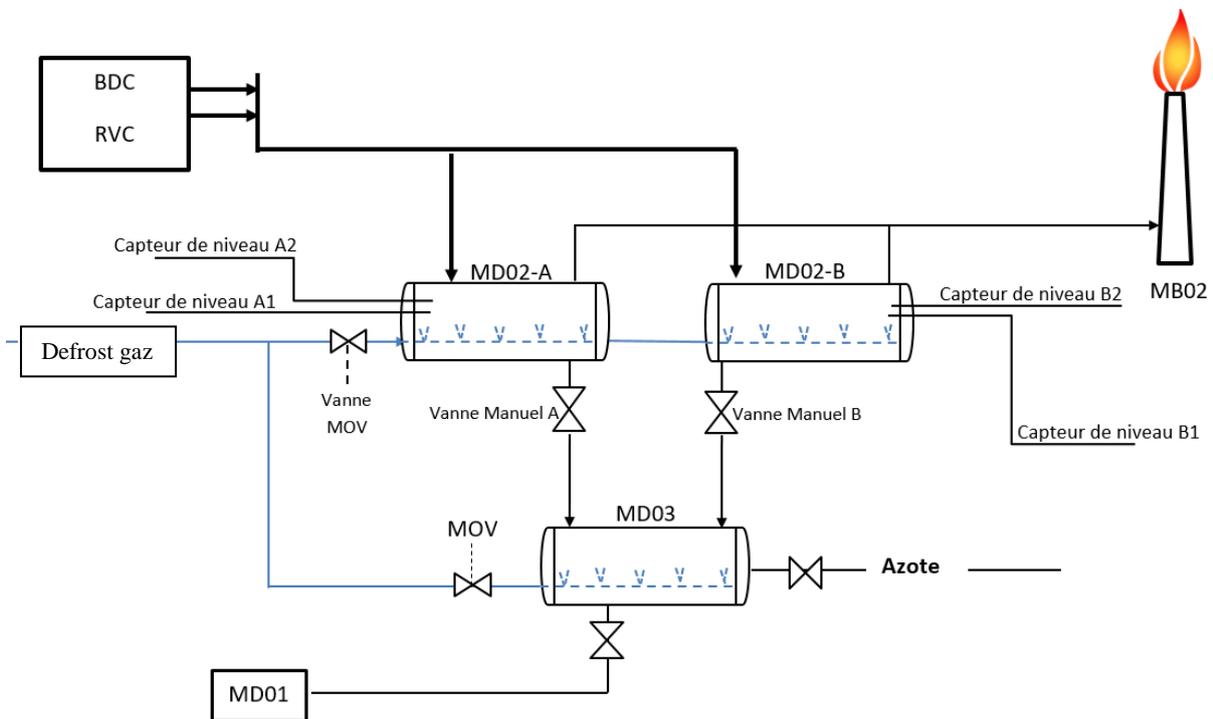


Figure 2.7 : Schéma de la torchère Froide

2.2.2.3 Système de la Torche BP

Le système de la Torche Basse Pression récolte les hydrocarbures froids, légers et secs à basse pression. Il dessert en particulier les réservoirs de stockage de GNL et de GPL, vu leurs faibles exigences en contre- pression, la Sphère de Gazoline et la Zone de Liquéfaction. RVL indique les décharges de vapeurs basse pression.

La ligne principale de la Torche Basse Pression part du collecteur de distribution vers le Ballon de la Torche Basse Pression (75-MD04).

Le système (Collecteur Principal de la Torche BP RVL) est constamment purgé avec du gaz combustible à basse pression situé à l'extrémité du collecteur principal de la torche BP.

Les courants RVL sont groupés dans un collecteur principal unique de drainage libre, sans poches, recueillis dans le Ballon de la Torche Basse Pression (75-MD04).

Les vapeurs provenant du Ballon de la Torche Basse Pression sont ainsi dirigées vers la Cheminée de la Torche BP (75-MB03).

La ligne de vapeur de la Torche BP allant du Ballon de la Torche BP vers la Cheminée de la Torche BP est continuellement purgée avec du gaz combustible basse pression.

Les liquides légers recueillis dans le Ballon de la Torche Basse Pression (75-MD04) sont vaporisés en pulvérisant un gaz de dégivrage dans le niveau de liquide du Ballon de la Torche Basse Pression avec la ligne à travers l'orifice.

La cheminée de la torche BP (75-MB03) est située au sol, dans une structure séparée des Torches Chaudes et Froides. Elle est équipée de brûleurs pilotes et d'alarmes d'arrêt pilotes (une pour chaque pilote) afin de garantir la disponibilité continue de la torche. Les brûleurs pilotes sont allumés par le générateur frontal de flamme.

La torche BP consiste en quatre brûleurs pilotes et chacun d'entre eux est muni de deux thermocouples séparés. Le même gaz combustible est utilisé pour les brûleurs, les pilotes et la purge.

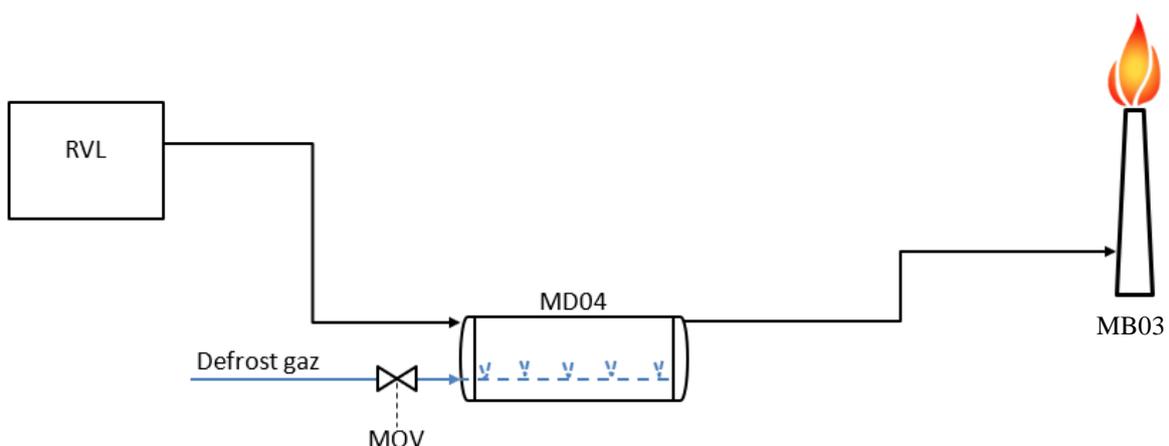


Figure 2.8 : Schéma de la torche BP

2.2.3 Liste des Equipements

La liste des équipements est représentée dans le tableau 2.1

ETIQUETTE	SERVICE
75-MD01	Ballon de la Torche Chaude
75-MC01	Réchauffeur de Ballon de la Torche Chaude
75-MJ01A/B	Pompes du Ballon de la Torche Chaude
75-MD02A/B	Ballons de la Torche Froide
75-MD03	Blowcase de la Torche Froide
75-MB01	Cheminée de Torche Chaude
75-MB01-MU01	Torches Chaude/Froide du Générateur Frontal de Flamme
75-MB01-MU02	Panneau de Contrôle pour les Torches Chaude/Froide du Générateur Frontal de Flamme
75-MB02	Cheminée de Torche Froide
75-MJ02	Pompe d'Elimination d'Eau
75-CV01	Fosse de Disposition d'Eau
75-MB04	Brûlot des Résidus Liquides
75-MB04-MU01	Panneau de Contrôle et Générateur Frontal de Flamme du Brûlot des Résidus Liquides
75-MD04	Ballon de la Torche Basse Pression
75-MB03-MU01	Torche BP du Générateur Frontal de Flamme
75-MB03-MU02	Panneau de Contrôle de la Torche BP du Générateur Frontal de Flamme
75-MB03	Cheminée de Torche Basse Pression

2.2.4 Base de conception des équipements

2.2.4.1 Ballon de la Torche Chaude (75-MD01)

Les courants RVW sont groupés en un unique collecteur principal, sans poches, et acheminés vers le Ballon de la Torche Chaude. Les vapeurs provenant du ballon sont ensuite dirigées vers la Cheminée de Torche Chaude (75-MB01) et le liquide est acheminé vers Le Brûlot des Résidus Liquides (75-MB04) à l'aide de Pompes du Ballon de la Torche Chaude (75-MJ01-A/B). Le niveau du ballon est contrôlé à l'aide du Réchauffeur du Ballon de la Torche Chaude (75-MC01) et des Pompes du Ballon de la Torche Chaude (75- MJ01-A/B).

2.2.4.2 Réchauffeur de Ballon de la Torche Chaude (75-MC01)

Le réchauffeur électrique est interne au Ballon de la Torche Chaude (75-MD01). Il est nécessaire de maintenir le niveau du Ballon de la Torche Chaude (75-MD01) en vaporisant les hydrocarbures. Le réchauffeur électrique démarre à un niveau élevé de liquide et s'arrête lorsqu'un niveau bas de liquide est atteint.

2.2.4.3 Pompes du Ballon de la Torche Chaude (75-MJ01-A/B)

Les pompes fonctionnent en mode intermittent, avec le débit de refoulement indiqué. La pompe en service démarre à un niveau de liquide très élevé ; la pompe de réserve est prête à démarrer en cas de niveau de liquide très élevé. Les deux pompes s'arrêtent à un niveau de liquide très bas.

2.2.4.4 Cheminée de Torche Chaude (75-MB01)

La Cheminée de Torche Chaude (75-MB01), située dans une structure commune avec la cheminée de torche froide, est équipée de brûlots pilotes et d'alarmes d'arrêt pilotes (une pour chaque pilote) pour garantir à la torche une disponibilité continue.

Les brûlots pilotes sont allumés depuis le Générateur Frontal de Flamme commun (75-MB01-MU01), servant la Cheminée de Torche Chaude (75-MB01) et la Cheminée de Torche Froide (75-MB02). L'allumage électrique primaire et de réserve piézo-électrique pour le Générateur Frontal de Flamme (Flame Front Generator, FFG) sont également prévus pour les cas de panne électrique.

2.2.4.5 Ballon de la Torche Froide (75-MD02A/B)

Le volume des deux ballons garantit une durée de résidence minimum de 20 minutes à la charge de liquide prévue. Les courants RVC sont groupés en un unique collecteur principal, sans poches, et acheminés vers le ballon. Les liquides légers collectés dans le ballon sont

vaporisés en pulvérisant du gaz de dégivrage sur la surface du liquide. Le niveau peut être transféré depuis le ballon vers le Blowcase de la Torche Froide (75-MD03) par gravité.

2.2.4.6 Blowcase de la Torche Froide (75-MD03)

Lors des opérations sur le gaz lourd, les liquides les plus lourds, comme le C5+, peuvent s'accumuler dans les Ballons de la Torche Froide (75-MD02-A/B). Ces liquides sont drainés par gravité vers le Blowcase de la Torche Froide (75-MD03) et le liquide peut être transféré vers le Ballon de la Torche Chaude (75-MD01) en utilisant de l'azote comme produit de déplacement.

2.2.4.7 Cheminée de Torche Froide (75-MB02)

La Cheminée de Torche Froide (75-MB02), située dans une structure commune avec la Cheminée de Torche Chaude (75-MB01), est équipée de brûlots pilotes et d'alarmes d'arrêt pilotes (une pour chaque pilote) pour garantir à la torche une disponibilité continue. Les brûleurs pilotes sont allumés par le Générateur Frontal Commun qui a pour fonction d'allumer aussi bien la torche chaude que la torche Froide.

2.2.4.8 Ballon de la Torche Basse Pression (75-MD04)

Le Ballon de la Torche Basse Pression est conçu pour obtenir un dégagement efficace de liquide. Le volume du ballon garantit une durée de résidence minimum de 20 minutes à la charge de liquide prévue. Les courants RVL sont groupés dans un unique collecteur principal de drainage libre, sans poches, acheminés vers le Ballon de la Torche Basse Pression (75-MD04). Les vapeurs provenant du Ballon de la Torche Basse Pression (75-MD04) sont dirigées vers la cheminée de Torche Basse Pression (75-MB03).

2.2.4.9 Cheminée de Torche Basse Pression (75-MB03)

La Cheminée de Torche Basse Pression (75-MB03) est située au sol, dans une structure séparée des Torches Chaudes et Froides. Elle est équipée de brûleurs pilotes et d'alarmes d'arrêt pilotes (une pour chaque pilote) afin de garantir à la torche une disponibilité continue. Le brûleur pilote est allumé par le Générateur Frontal de Flamme (75-MB03-MU01).

2.2.5 Démarrage de la torche

Les objectifs principaux des systèmes de la torche sont de fournir une évacuation sûre des hydrocarbures et l'élimination des liquides provenant du train de procédé et des unités d'utilité pendant le démarrage normal, l'arrêt total ou partiel, et les cas d'urgence de l'Usine de GNL. L'Unité 75 comprend les systèmes suivants :

- La Torche Chaude (75-MB01),
- La Torche Froide (75-MB02),
- La Torche Basse Pression (75-MB03),
- Le Brûlot des Résidus Liquides (75-MB04).

Les systèmes de la torche sont séparés et peuvent être soumis aux opérations préliminaires au démarrage simultanément ou séparément en fonction de leur degré de préparation respective avant les opérations préliminaires au démarrage de l'unité.

Tous les systèmes de la torche susmentionnés reçoivent des courants d'hydrocarbures depuis différents collecteurs et sous-collecteurs de l'usine de GNL.

Le système d'allumage du brûlot de la torche chaude/froide 75-MB01-MU01, de la torche Basse Pression 75-MB02-MU01 et le système d'allumage de la fosse de brûlage 75-MB04-MU01 ont été testés et sont prêts pour le démarrage du système de la fosse de brûlage et de la torche. Le système de la torche chaude sera disponible avant l'achèvement des opérations préliminaires au démarrage et de démarrage de l'Unité 01 et de l'Unité 55 de distribution de gaz combustible commun.

L'approvisionnement de gaz combustible aux pilotes de la torche chaude n'est pas disponible à ce stade ; le propane liquide sera utilisé pour l'allumage initial du pilote de la torche chaude. La torche froide, la torche Basse Pression et les pilotes du brûlot de la torche de la fosse de brûlage seront allumés avec un approvisionnement en gaz combustible pour le fonctionnement normal après le démarrage de l'Unité 01 et du système de distribution de gaz combustible commun de l'Unité 55.

Torche Chaude 75-MB01 Le système de la torche chaude doit être isolé, purgé à l'azote et prêt pour le démarrage initial avant celui de l'Unité 01 et de l'Unité 55 de distribution de gaz combustible commun.

Le propane liquide doit être fourni sans interruption afin de garantir l'allumage initial du pilote et l'entretien de la flamme du pilote pendant la phase des opérations préliminaires au démarrage de l'unité 01 et de l'Unité 55 du système de distribution de gaz combustible commun. Une fois que le gaz combustible, provenant de la distribution commune de gaz combustible sera disponible, il remplacera la fourniture de propane liquide.

Torche froide 75-MB02 Le système de torche froide doit être purgé à l'azote et prêt pour le démarrage initial avant les opérations préliminaires au démarrage des unités de procédé desquelles les vapeurs d'hydrocarbures froids (RVC) et les liquides (BDC) seront relâchés.

2.2.6 Marche Normale de système torche

2.2.6.1 Courants d'Alimentation et de Produits

Le courant de Procédé d'entrée de l'unité 75 du système de la torche comprend le refoulement provenant de chaque vanne de l'usine qui est recueilli vers la torche.

2.2.6.2 Operations de Routine

Les inspections et les activités suivantes doivent être réalisées périodiquement :

- Contrôler, à l'aide de la jauge, la cohérence entre le niveau à l'intérieur du Ballon de la Torche Chaude 75-MD01 et les indicateurs correspondants ;
- Contrôler la pression à l'intérieur du Ballon de la Torche Chaude 75-MD01 avec les indicateurs correspondants ;
- Contrôler la température à l'intérieur du Ballon de la Torche Chaude 75-MD01
- Contrôler la perte de charge à travers le filtre d'entrée des Pompes du Ballon de la Torche Chaude 75- MJ01-A/B ;
- Contrôler le débit de sortie depuis le Ballon de la Torche Chaude 75-MD01 et la totalisation du débit vers la Cheminée de Torche Chaude 75-MB01 ;
- Contrôler, à l'aide de la jauge, la cohérence entre le niveau à l'intérieur du Ballon de la Torche Froide 75-MD02-A et les indicateurs correspondants ;
- Contrôler, à l'aide de la jauge, la cohérence entre le niveau à l'intérieur du Ballon de la Torche Froide 75-MD02-A et les correspondants ;
- Contrôler la pression à l'intérieur du Ballon de la Torche Froide 75-MD01 avec les indicateurs correspondants ;
- Contrôler la pression à l'intérieur du Ballon de la Torche Froide 75-MD01 avec les indicateurs correspondants ;
- Contrôler, à l'aide de la jauge 7, la cohérence entre le niveau à l'intérieur du Blowcase de la Torche Froide 75-MD03 et les indicateurs correspondants ;
- Contrôler le débit de sortie depuis le Ballon de la Torche Chaude 75-MD02-A/B et la totalisation du débit vers la Cheminée de Torche Froide 75-MB02 ;

- Contrôler le débit du liquide vers le Brûlot des Résidus Liquides 75-MB04 ;
- Contrôler la température du liquide vers le Brûlot des Résidus Liquides 75-MB04 ;
- Contrôler la cohérence entre la pression du gaz d'atomisation et les indicateurs correspondants ;
- Contrôler la cohérence entre le niveau à l'intérieur de la Fosse de Disposition d'Eau ;
- Contrôler le débit de sortie depuis Ballon de la Torche BP 75-MD04 et la totalisation du débit vers la Cheminée de Torche BP 75-MB03 ;
- Contrôler la pression à l'intérieur du Ballon de la Torche BP 75-MD01 avec les indicateurs correspondants ;
- Contrôler, à l'aide de la jauge, la cohérence entre le niveau à l'intérieur du Ballon de la Torche BP 75-MD04 et les indicateurs correspondants ;
- Contrôler la température à l'intérieur du Ballon de la Torche BP 75-MD04 ;
- Contrôler l'état des pilotes du Brûlot des Résidus Liquides 75-MB04 ;
- Contrôler l'état des pilotes de la Torche Chaude 75-MB01 ;
- Contrôler l'état des pilotes de la Torche Froide 75-MB02 ;
- Contrôler l'état des pilotes de la Torche BP 75-MB03 ;

2.2.7 Arrêt de système torche

Le système de la torche est commun à toute l'Usine, c'est pourquoi, pour tout problème concernant l'entretien d'un ou de plusieurs équipements de l'Unité 75, l'Usine entière doit être arrêtée pour consentir l'opération.

Pour cette raison, l'entretien de l'unité 75 doit être effectué pendant l'arrêt programmé de l'Usine.

2.2.7.1 Arrêt normal

L'arrêt de l'Unité 75 signifie l'arrêt total de l'Usine car celle-ci ne peut pas fonctionner sans la disponibilité du système de torche de l'Unité 75.

En particulier, les actions suivantes doivent être effectuées en séquence pour l'entretien de toute l'unité 75 :

- Isolement du Ballon de la Torche Chaude 75-MD01.
- Isolement des Pompes du Ballon de la Torche Chaude 75-MJ01-A/B

- Isolement du Ballon de la Torche Froide 75-MD02-A/B
- Isolement du Blowcase de la Torche Froide 75-MD03
- Isolement du Ballon de la Torche Basse Pression 75-MD03
- Isolement de la Cheminée de la Torche Chaude 75-MB01
- Isolement de la Cheminée de la Torche Froide 75-MB02
- Isolement de la Cheminée de la Torche Basse Pression 75-MB03
- Isolement du Brûlot des Résidus Liquides 75-MB04
- Isolement des Pompes d'Élimination d'Eau 75-MJ02-A/B

Si l'entretien n'est pas requis pour toute l'unité, suivre uniquement les indications pour les équipements impliqués.

2.2.7.2 Systèmes de Protection et Fermeture d'Urgence

La sécurité de l'Unité 75 est garantie par trois niveaux de protection :

- Protection Tertiaire : elle est représentée par le système de contrôle du DCS qui maintient les paramètres opératoires de l'Unité dans les limites spécifiées et donc en conditions sûres. Les alarmes du DCS avertissent l'opérateur si les conditions s'approchent des limites de la gamme d'opération.

- Protection Secondaire : elle est représentée par le système ESD qui maintient l'Unité dans un état de sécurité dans l'éventualité de pannes des vannes de contrôle et/ou d'erreurs opératoires.

- Protection Primaire : c'est la protection ultime, représentée par la soupape de sécurité, qui devrait intervenir uniquement si les deux niveaux de protection précédents ont échoué. L'Unité 75 possède une Logique d'Arrêt Local d'Urgence (Local Shut-Down Logic, LSD) ; cela signifie qu'une panne de procédé peut provoquer l'arrêt automatique d'un seul équipement, en particulier pour les Pompes du Ballon de la Torche Chaude 75-MJ01-A/B.

2.2.8 Sécurité de système torche

2.2.8.1 Incendies, Explosions et Dangers Toxiques

L'Unité 75 (système de la torche) comprend le Ballon de la Torche Chaude, le Réchauffeur, les Pompes et la Cheminée (75-MD01, 75-MC01, 75-MJ01A/B et 75-MB01), les Ballons de la Torche Froide, le Blowcase et la Cheminée (75-MD02A/B, 75-MD03 et 75-MB02), les Torches Chaude/Froide(Basse Pression de Générateur Frontal de Flamme

(75-MB01-MU01 et 75-MB03-MU01), le Panneau de Contrôle des Torches Chaude/Froide/Basse Pression du Générateur Frontal de Flamme (75-MB01-MU02 et 75-MB03-MU02), le Ballon de la Torche Basse Pression et la Cheminée (75-MD04 et 75-MB03), la Fosse et la Pompe d'Élimination d'Eau (75-MJ02 et 75-CV01), le Brûlot des Résidus Liquides ainsi que son Générateur Frontal de Flamme et son Panneau de Contrôle (75-MB04 et 75-MB04-MU02).

L'objectif du système de la torche est d'éliminer les hydrocarbures chauds, lourds et humides (Torche Chaude), les hydrocarbures froids, légers et secs (Torche Froide) et les Gaz Evaporés de GPL et de GNL (Torche Basse Pression).

Dans ce but, trois systèmes séparés sont fournis : Torches Chaude, Froide et à Basse Pression Il existe également un Brûlot des Résidus Liquides afin d'éliminer la gazoline et les résidus liquides du Ballon de la Torche Chaude.

Les courants sont principalement composés de Méthane, Propane, Ethane et d'Azote avec une teneur faible en Hélium, i/n-Butane et i/n-Pentane. Lors des opérations sur le gaz lourd, les liquides les plus lourds, comme le C5+, peuvent s'accumuler dans le Ballon de la Torche Froide. Ces liquides sont transférés par pression vers le Ballon de la Torche Chaude 75- MD01 en utilisant l'azote comme produit de déplacement.

Les hydrocarbures traités dans cette unité sont inflammables en raison de leur point d'éclair. Par conséquent, les scénarios accidentels à prendre en considération sont les suivants : Feu Chalumeau, Feu Eclair, Explosion et Feu de Nappe.

Le risque lié à l'unité de la torche est celui de radiations thermiques produites pendant le refoulement. Ces niveaux de radiation ont été calculés afin d'identifier la zone potentiellement affectée et de définir une zone stérile. Cette zone est réduite, c'est pourquoi l'accès n'est autorisé qu'en suivant les procédures adéquates. Un autre risque est lié à l'absence de flamme qui pourrait provoquer un rejet de gaz non brûlé.

En tous cas, une étude a été conduite pour démontrer que les rejets de gaz inflammables ne créent aucun danger au personnel ou aux équipements/structures. En raison de la faible concentration en substances toxiques, le risque de dangers toxiques découlant d'une fuite a été estimés très faibles.

L'air Usine, l'Azote et l'Eau de Service sont requis de manière intermittente. L'asphyxie est un autre risque qui pourrait apparaître si la concentration en oxygène est réduite à moins de 19,5% par déplacement.

2.2.8.2 Substances Dangereuses

Les substances suivantes (Tableau 2.2) sont traitées ou manipulées dans cette Unité.

Nom	Principaux Dangers		
	Inflammabilité	Toxicité/ Danger pour la Santé	Asphyxie
Méthane	X		
Ethane	X		
Propane	X		
Azote			X
Hélium			X
Butane	X	X	
Pentane	X	X	
C5+	X	X	
Eau			

Les hydrocarbures traités dans l'Unité 75, sont inflammables ainsi, lorsqu'ils sont mélangés à l'air, ils forment un mélange explosif.

Les gaz d'hydrocarbures inhalés peuvent provoquer l'asphyxie. Les symptômes comprennent la perte de mobilité et de conscience. L'ingestion n'est pas considérée comme étant une voie d'exposition potentielle

Le C5+ peut provoquer des vertiges, une respiration plus profonde due au manque d'air, des nausées possibles et une éventuelle perte de conscience. Il peut provoquer des effets anesthésiants. Le Butane et le Pentane, même présents en petites quantités, peuvent provoquer l'asphyxie s'ils sont relâchés dans une zone confinée. Les hydrocarbures simples peuvent provoquer, en concentrations élevées, une irritation et une dépression du système nerveux central.

L'Azote est un gaz incolore, inodore et insipide. En tant que tel, le sujet n'aurait aucune sensation anormale. Il provoque l'asphyxie sans douleur ou une sensation traumatique d'étouffement.

2.2.9 Mesures Préventives et Protectrices

Différentes études sur la sécurité ont été réalisées afin de réduire le risque pour l'Usine et pour le personnel, ainsi que pour atténuer les effets en cas d'accident. Un résumé des principales mesures préventives/protectrices pour l'Unité 75 est reporté ci-après.

Système d'Arrêt d'Urgence : Les principaux objectifs des Systèmes d'Arrêt d'Urgence (*Emergency Shut-Down, ESD*) sont la protection du personnel, de l'équipement et de l'environnement en cas de situations d'urgences, telles qu'un incendie, une panne de procédé potentiellement dangereuse ou une fuite d'hydrocarbures. Pour plus de détails sur le Système d'Arrêt d'Urgence de l'Unité 75.

Classement des Zones Dangereuses : Un Classement des Zones Dangereuses a été réalisé pour l'Unité 75 sur le risque de présence d'atmosphères explosives et inflammables.

Les Zones rendues Dangereuses par des rejets gazeux et/ou de liquides inflammables pouvant survenir continuellement, occasionnellement pendant les opérations de routine ou suite à un événement non prévu, ont été identifiées à l'intérieur de l'Usine.

Système de Détection d'Incendie et de Gaz : Un Système de détection incendie et gaz (*Fire & Gas, F&G*) est prévu pour la zone de procédé de l'Unité 17. Les Plans indiquent la position :

- Des détecteurs d'hydrocarbures pour monitorer les zones où des vapeurs inflammables pourraient être présentes ;
- Des câbles thermosensibles aux endroits où des liquides inflammables/combustibles peuvent être présents ;
- Des postes avertisseurs d'incendie manuels.

En plus des alarmes sonores générées par le système d'Alarme par Haut-Parleur/Générale, des dispositifs d'alarme visuelle sont également prévus.

Système Anti-incendie : Le but des systèmes de protection active contre le feu est de contrôler et de combattre les incendies survenant à n'importe quel moment dans toute l'usine, en limitant leur propagation et en réduisant le plus possible leurs effets sur les installations lorsque celles-ci sont exposées aux radiations.

Pour l'Unité 75, les Dévidoirs, les Lances Monitor et le Système de Déluge sont placés dans des positions stratégiques de manière à protéger l'équipement. Pour l'emplacement des équipements Anti-incendie.

Equipement de Protection Individuelle : En général les opérateurs doivent utiliser les dispositifs de protection individuelle adaptés aux dangers présents dans les zones auxquelles ils accèdent et aux opérations qu'ils doivent effectuer.

L'équipement minimum à utiliser pendant les opérations de chargement sont : des lunettes de sécurité avec écrans sur les côtés et des vêtements de travail avec protections aux bras, aux jambes et sur le corps.

L'accès dans les zones stériles est consenti uniquement au personnel autorisé (suivant la procédure relative/permis de travail) équipé des EPI appropriés indiqués ci-dessous :

- Vêtements ignifugés ;
- Chaussures de sécurité ;
- Lunettes de sécurité, comme les lunettes de protection contre les éclats ou les visières ;
- Équipement de protection auditive, comme les bouchons d'oreille ou les arceaux antibruit ;
- Protection du système respiratoire.

2.3 Conclusion

Ce chapitre a présente le complexe GNL3/Z, sa situation géographique, sa description, son emplacement, son but, une description générale des unités et des installations.

Il présente aussi les types des torchères de gaz dans l'usine dont le nombre est de trois : un système de la torche chaude, à un autre de la torche froide et un troisième à la torche basse pression. Il détaille les conséquences qui constituent les torchères, la sécurité des systèmes torche et les principales matières dangereuses traitées dans l'usine.

CHAPITRE III

Phénomène de déversement de gaz liquéfié par l'orifice de la torche et réglementation algérienne sur les torchères

3.1. Introduction	49
3.2. Phénomène de déversement de gaz liquéfié de la torchère de gaz.....	49
3.3. Réglementation algérienne sur les torchères de gaz	52
3.4. Conclusion.....	54

3.1 Introduction

Le système de torchère est très couramment utilisé dans l'industrie pétrolière pour évacuer sans danger d'importantes quantités de vapeurs inflammables en excès. Les torchères sont en général des feux torche contrôlés par l'industriel et qui, par conséquent, représentent peu de dangers pour l'environnement.

Dans l'environnement industriel, les feux torche appelés également jets enflammés peuvent survenir suite à des fuites accidentelles de fluides inflammables ou à des évacuations intentionnelles de produits résiduels par l'intermédiaire de torchères.

Les feux torche accidentels proviennent en général de fuites faisant suite à la rupture d'un raccord ou d'une vanne, ou bien faisant suite à la perforation d'une paroi ou à la rupture d'une canalisation ou par l'orifice de la torche. Ces fuites produisent des jets enflammés pouvant occasionner de graves avaries sur le reste de l'installation et donc, par effet domino, conduire à la propagation de l'incendie ou provoquer de nouveaux accidents tels que le phénomène de BLEVE₁ de réservoirs.

3.2 Phénomène de déversement de gaz liquéfié de la torchère

3.2.1 Description du phénomène

Dans l'environnement industriel, des boules de feu (jets enflammés) peuvent survenir suite à des déversements de produits résiduels par la cheminée de torchère, ce phénomène du au surcharge du ballon séparateur de système torche.

Les boules des feu, résultat de l'inflammation de gaz liquéfié non contrôlés peuvent être très dévastateurs en milieu industriel. Les jets enflammés pouvant occasionner de graves avaries sur le reste de l'installation et donc, par effet domino, conduire à la propagation de l'incendie qui provoquer de nouveaux accidents tels que le phénomène de BLEVE de réservoirs.

Afin de se prémunir de tels évènements, il est important de pouvoir prévoir et évaluer les conséquences associées à de tels phénomènes.

3.2.2 Les Causes de Phénomène

Ce phénomène arrive lorsque le ballon séparateur surcharge de produits résiduels de gaz liquéfié et par conséquence des déversements de gaz liquéfié se produisent par la cheminée de torchère.

Les accidents répertoriés permettent d'identifier plusieurs causes d'un ballon séparateur surcharge de gaz liquéfié :

- La défaillance matérielle comme le réchauffeur de ballon séparateur, des contraintes mécaniques trop fortes (blocage des vannes), des cavitations des pompes.
- La défaillance humaine provenant d'opérateur suit à des manipulations manuelles des vannes ou des pompes d'évacuations.

3.2.3 Les Conséquence de Phénomène

Quelques éléments observés donnent une idée qualitative des conséquences de Phénomène :

- L'orientation de la flamme qui peut avoir une influence déterminante sur l'occurrence d'effets dominos,
- Les flux thermiques importants atteints autour du sinistre qui soulignent le caractère dévastateur.

Une des caractéristiques particulières de la boule de feu réside dans sa propension à entraîner des effets dominos sur les équipements aux alentours de la torche. A titre d'illustration, il peut être à l'origine d'une succession de phénomènes dangereux aux conséquences dévastatrices telles que :

- Des BLEVE de sphères et de cigares de stockage,
- Des explosions de véhicules équipés au GPL,
- Des feux torche et des explosions de canalisations,

3.2.4 Moyens de protection

Afin de maîtriser la situation, des moyens de protection fixes et mobiles doivent être mis en place par les services de sécurité HSE :

- Refroidissement des équipements situés à proximité par des lances incendie ou des rideaux d'eau sur des réseaux fixes et mobiles.

- Stopper l'alimentation en produits inflammables (ESD, PSV).
- Mise en place d'un périmètre de sécurité.

En pratique, l'unique moyen permettant de stopper ce phénomène dangereux est de fermer l'alimentation du combustible.

Enfin, concernant la durée des accidents, elle n'est pas systématiquement indiquée, l'importance des effets dominos engendrés en donne toutefois une indication. Elle peut varier En pratique, l'unique moyen permettant de stopper ce phénomène dangereux est de fermer l'alimentation du combustible.

Enfin, concernant la durée des accidents, elle n'est pas systématiquement indiquée, l'importance des effets dominos engendrés en donne toutefois une indication. Elle peut varier de quelques minutes, la durée nécessaire aux services de secours pour fermer l'alimentation du produit enflammé, à plusieurs heures auquel cas le phénomène est susceptible de générer des effets dominos notables.

3.2.5 Retour d'expérience

Parmi les accidents de déversement de gaz liquéfié de la torche, En prennent comme exemple les cas des complexes GL1/Z et GL2/Z comme suit dans les scénarios 01 et 02 suivants.

3.5.1.1 Scénario 01 :

La torche froide de GL1/Z est un exemple particulièrement dévastateur qu'il est pertinent de décrire. Déversement de gaz liquéfié, ressentie à plusieurs mètres, s'est produite en décembre 2016, Accompagné de boules de feu qui se sont ensuite envolées vers des endroits autour de la torche. La durée nécessaire aux services de secours pour fermer l'alimentation en gaz a été estimée à 20 min.

Les informations concernant les dégâts matérielle et humaine ne nous ont pas été divulgué (confidentiel).

Les causes de l'accident sont liées à plusieurs facteurs réuni dont, la défaillance de la pompe avec une erreur d'action d'opérateur pour ouvrir la vanne d'évacuation pour que le niveau de ballon descend.

3.5.2.1 Scénario 02 :

En Aout 2017, des déversements du liquide GNL à travers la torche froide du complexe GL2/Z se produisent lors de démarrage de la torche (après un arrêt de l'usine), le déversement est dû au très haut niveau du ballon x08f (ballon de flux), Les opérateurs ont diminué les gaz froids de ballon pour sauver cette situation.

Les informations concernant les dégâts matérielle et humaine ne nous ont pas été divulgué (confidentiel).

Les causes de l'accident sont liées à plusieurs facteurs réuni dont, la défaillance de capteur de niveau qui est liée avec la pompe + la vanne d'évacuation reste fermée pendant le démarrage de la torche.

3.3 Réglementation algérienne sur les torchères de gaz

Durant la période d'exploitation, les seuils admissibles de torchage de gaz lors des opérations de torchage de gaz autorisé dans les conditions prévues par les dispositions du présent décret sont définis comme suit :

Les dégorgements de puits : La durée effective de tout dégorgement de puits est limitée un seuil de six (6) heures.

Le dégorgement d'un puits ne commence qu'au rejet total du fluide ininflammable de complétion présent dans le tubing du puits.

Durant la durée effective du torchage de gaz, la quantité de gaz torchée est estimée sur la base du débit horaire maximum obtenu lors de l'essai potentiel ou du drill stem test (DST) ou bien du débit horaire de gaz du puits dans les conditions normales d'exploitation.

Les tests des puits : En cas d'un dégorgement préalable au test d'un puits, la quantité de gaz torchée est déterminée conformément au point « a » ci-dessus.

La durée d'un jaugeage ne doit pas excéder la durée cumulée de vingt-quatre (24) heures.

Les quantités de gaz torchées sont égales au cumul des volumes de gaz mesurés aux sorties des séparateurs de test pendant toute la durée de l'opération de test.

Les purges de collectes, collecteurs et dessertes pour les besoins de maintenance : Les quantités de gaz torchées sont limitées aux volumes des conduites purger.

L'estimation de la quantité de gaz torchée est faite sur la base des volumes théoriques des tronçons de conduites isolés pour les besoins de torchage du gaz.

Les quantités ainsi calculées sont converties en milliers de normaux mètres cubes (1000Nm³) en tenant compte des conditions de pressions et de températures des conduites.

Les tests des vannes de sécurité de fonds des puits de gaz : La période autorisée pour équiper un nouveau puits en vanne de sécurité de fond ne doit pas excéder le seuil de trente-six (36) heures.

La durée autorisée pour les essais périodiques de déclenchement ne doit pas excéder le seuil de douze (12) heures par puits.

L'évaluation des quantités de gaz torchées s'effectue sur la base du débit maximum de production du puits dans les conditions normales d'exploitation et sur la durée effective du torchage.

Le torchage au niveau des installations de production et de traitement des hydrocarbures ainsi que des stations de compression de gaz : Pour une période donnée, le seuil admissible pour le torchage de gaz d'une unité de production ou d'une station de compression, exprimé en pourcentage (%), est évalué sur la base de la quantité de gaz torchée ramenée la quantité totale produite (installations de production et de traitement) ou la quantité totale réinjectée (station de compression).

Dans l'estimation des quantités torchées mensuellement au niveau des installations de production et de traitement des hydrocarbures ainsi que des stations de compression, sont inclus les volumes mis la torche pour raisons de sécurité ou pour purge des installations l'effet de réaliser des opérations de maintenance, le volume de gaz consommé pour le maintien de la flamme de torche ainsi que les volumes torchés pendant les phases des déclenchements imprévus des installations de production et de traitement des hydrocarbures ou des stations de compression.

Dans le fonctionnement normal des installations, le torchage est réduit au seul volume de gaz torché pour maintenir les torches allumées en prévision d'éventuels arrêts d'urgence ou de déclenchements. Ce taux de torchage minimum représente le seuil de torchage de design de l'unité.

Pour toutes les installations de production et de traitement des hydrocarbures et toutes les stations de compression, le seuil admissible de torchage du gaz, dans les conditions normales d'exploitation, est fixé un taux égal un pour cent (1 %).

Pour toute unité de production et de traitement d'hydrocarbures ou station de compression, lorsque le taux de torchage mensuel minimum réalisé sur une période de douze (12) mois consécutifs est inférieur un pour cent (1 %), il est alors pris comme seuil admissible de torchage de gaz de l'unité ou de la station.

3.3 Conclusion

Ce chapitre Décrit le phénomène de déversement de gaz liquéfié, ces causes, ces conséquence, les moyens de protections utilisés et cite pour le retour d'expérience deux accidents de GL1/Z et GL2/Z de ce phénomène pour la première partie.

La deuxième partie cite la réglementation algérienne pour la torchère de gaz industrielle.

CHAPITRES VI

*Etude des dangers relatifs aux torchère gazière de GL3/Z par Arbre
de défaillance*

4.1. Présentation de méthode de l'Arbre de défaillance ADD.....	56
4.2. Application de l'ADD sur le système torchère de complexe GL3/Z.....	65
4.3. Conclusion.....	71

4.1 Présentation de la méthode de l'Arbre de défaillance Add

4.1.1 Historique de la méthode

La méthode des arbres de défaillance a été élaborée en 1961 par la compagnie américaine Bell Téléphone et fut exploitée pour évaluer et améliorer la fiabilité des systèmes de tir de missiles. En 1965, Boeing et l'université de Washington ont organisé le premier congrès traitant de l'utilisation des arbres de défaillance dans les études de fiabilité.

Depuis, cette méthode a été largement utilisée dans de nombreux domaines industriels (chimique, nucléaire, aéronautique, etc.). Cette méthode est aussi connue sous le nom de méthode des arbres de défauts. [21]

4.1.2 Définition de l'Add

L'analyse par arbre de panne est une méthode d'analyse déductive (descendante) qui a pour but de faire apparaître les causes ou les combinaisons de causes qui peuvent produire l'événement de tête défini. Cette analyse peut être qualitative, ou quantitative, en fonction de la portée des analyses. [21]

4.1.3 Principe de l'Add

L'analyse par arbre de défaillances est une méthode de type déductif. En effet, il s'agit, à partir d'un événement redouté défini a priori, de déterminer les enchaînements d'évènements ou combinaisons d'évènements pouvant finalement conduire à cet événement.

Cette analyse permet de remonter de causes en causes jusqu'aux évènements de base susceptibles d'être à l'origine de l'événement redouté.

Les évènements de base correspondent généralement à des :

- Évènements élémentaires qui sont généralement suffisamment connus et décrits par ailleurs pour qu'il ne soit pas utile d'en rechercher les causes. Certains de ces évènements élémentaires peuvent être suffisamment fréquents pour qu'il soit possible d'en estimer une probabilité future sur la base d'une analyse statistique. Ce n'est cependant pas toujours le cas et la probabilité des évènements élémentaires demeure une donnée difficile à établir.
- Évènements ne pouvant être considérés comme élémentaires mais dont les causes ne seront pas développées faute d'intérêt ;
- Évènements dont les causes seront développées ultérieurement au gré d'une nouvelle

analyse par exemple ;

- Évènements survenant normalement et de manière récurrente dans le fonctionnement du procédé ou de l'installation.

Quelle que soit la nature des éléments de base identifiés, l'analyse par arbre des défaillances est fondée sur les principes suivants :

- Ces évènements sont indépendants ;
- Ils ne seront pas décomposés en éléments plus simples faute de renseignements, d'intérêt ou bien parce que cela est impossible ;
- Leur fréquence ou leur probabilité d'occurrence peut être estimée.

Ainsi, l'analyse par arbre des défaillances permet d'identifier les successions et les combinaisons d'évènements qui conduisent des évènements de base jusqu'à l'évènement indésirable retenu.

Les liens entre les différents évènements identifiés sont réalisés grâce à des portes logiques (de type « ET » et « OU » par exemple).

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

A l'aide de règles mathématiques et statistiques, il est alors théoriquement possible d'évaluer la probabilité d'occurrence de l'évènement final à partir des probabilités des évènements de base identifiés.

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

- Définition de l'évènement redouté étudié,
- Élaboration de l'arbre,
- Exploitation de l'arbre.

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

4.1.4 Définition de l'ER (Evènement redouté)

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

En ce sens, l'utilisation préalable de méthodes inductives (APR, AMDEC, HAZOP) permet d'identifier les évènements qui méritent d'être retenus pour une analyse par arbre des défaillances et d'identifier certains évènements initiateurs qui pourront être développés dans l'arbres de défaillance.

De manière classique, les évènements considérés peuvent concerner le rejet à l'atmosphère de produits toxiques ou inflammables, le risque d'incendie, d'explosion...

4.1.5 Elaboration de l'arbre

La construction de l'arbre des défaillances vise à déterminer les enchaînements d'évènements pouvant conduire à l'évènement final retenu.

Cette analyse se termine lorsque toutes les causes potentielles correspondent à des évènements élémentaires.

L'élaboration de l'arbre des défaillances suit le déroulement présenté en Figure 4.1.

La recherche systématique des causes immédiates, nécessaires et suffisantes (INS) est donc à la base de la construction de l'arbre.

Il s'agit probablement de l'étape la plus délicate et il est souvent utile de procéder à cette construction au sein d'un groupe de travail pluridisciplinaire.

De plus, la mise en œuvre préalable d'autres méthodes d'analyse des risques de type inductif facilite grandement la recherche des défaillances pour l'élaboration de l'arbre, en particulier en cas de système complexe.

Afin de sélectionner les évènements intermédiaires, il est indispensable de procéder pas à pas en prenant garde à bien identifier les causes directes et immédiates de l'évènement considéré et se poser la question de savoir si ces causes sont bien nécessaires et suffisantes.

Faute de quoi, l'arbre obtenu pourra être partiellement incomplet voire erroné.

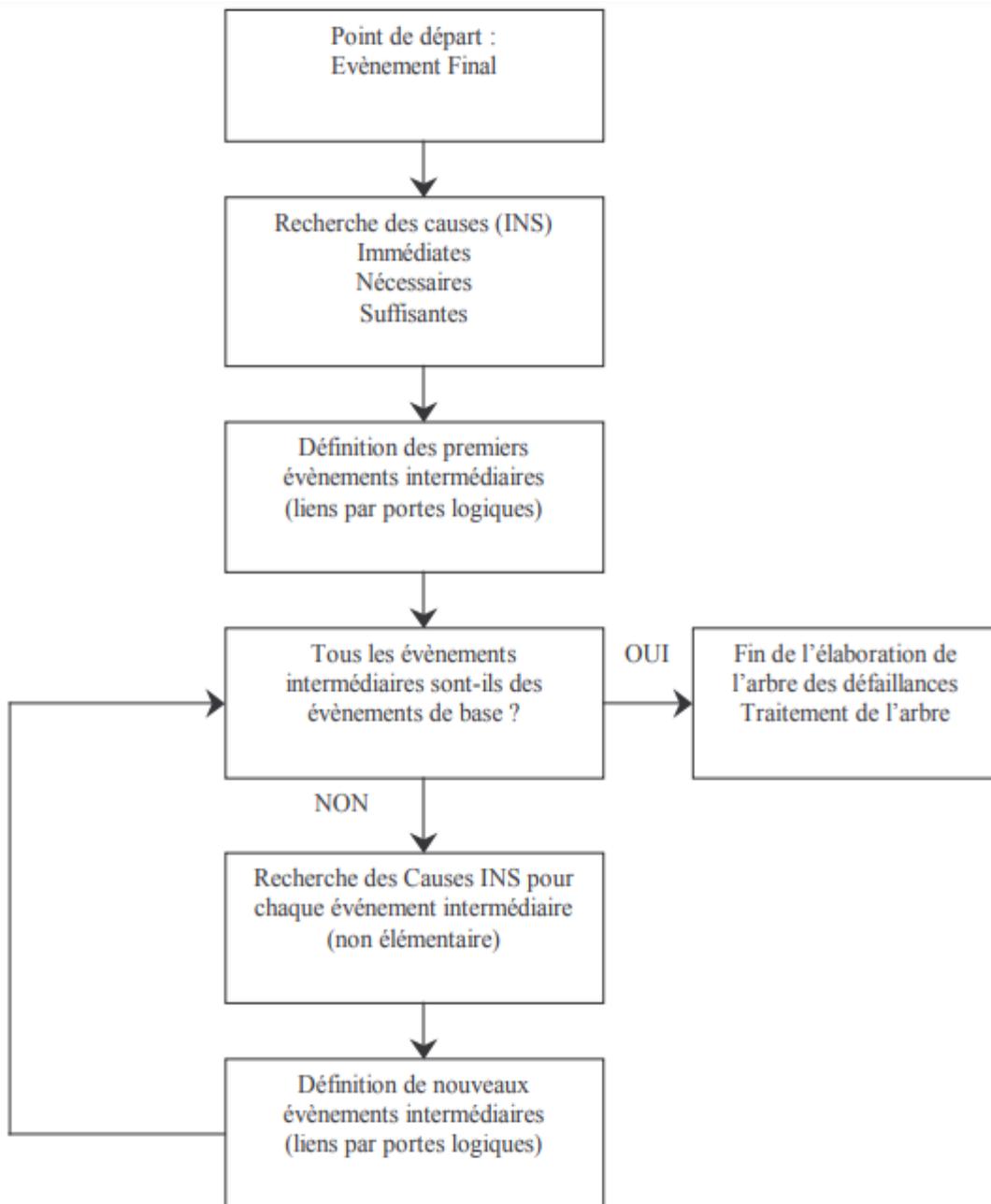


Figure 4.1 : Démarche pour l'élaboration d'un arbre des défaillances. [21]

Enfin, il est nécessaire de respecter certaines règles supplémentaires à observer durant la construction de l'arbre à savoir :

Vérifier que le système est cohérent, c'est-à-dire que :

La défaillance de tous ses composants entraîne la défaillance du système,

Le bon fonctionnement de tous ses composants entraîne le bon fonctionnement du système,

Lorsque le système est en panne, le fait de considérer une nouvelle défaillance ne rétablit pas le fonctionnement du système,

Lorsque le système fonctionne correctement, la suppression d'une défaillance ne provoque pas la défaillance du système.

Il peut en effet arriver qu'une défaillance survenant sur un composant annule les effets d'une défaillance antérieure et permette ainsi le fonctionnement du système. Dans un tel cas de figure (système non cohérent), le deuxième composant doit être supposé, dans l'analyse, en fonctionnement lorsque la première défaillance survient.

- S'assurer que tous les événements d'entrée d'une porte logique ont bien été identifiés avant d'analyser leurs causes respectives,
- Éviter de connecter directement deux portes logiques,
- Ne sélectionner que les causes antérieures à l'existence de l'événement considéré.

En définitive, l'application de ces règles aux réflexions menées au sein d'un groupe de travail conduit à la construction d'un arbre de la forme suivante.

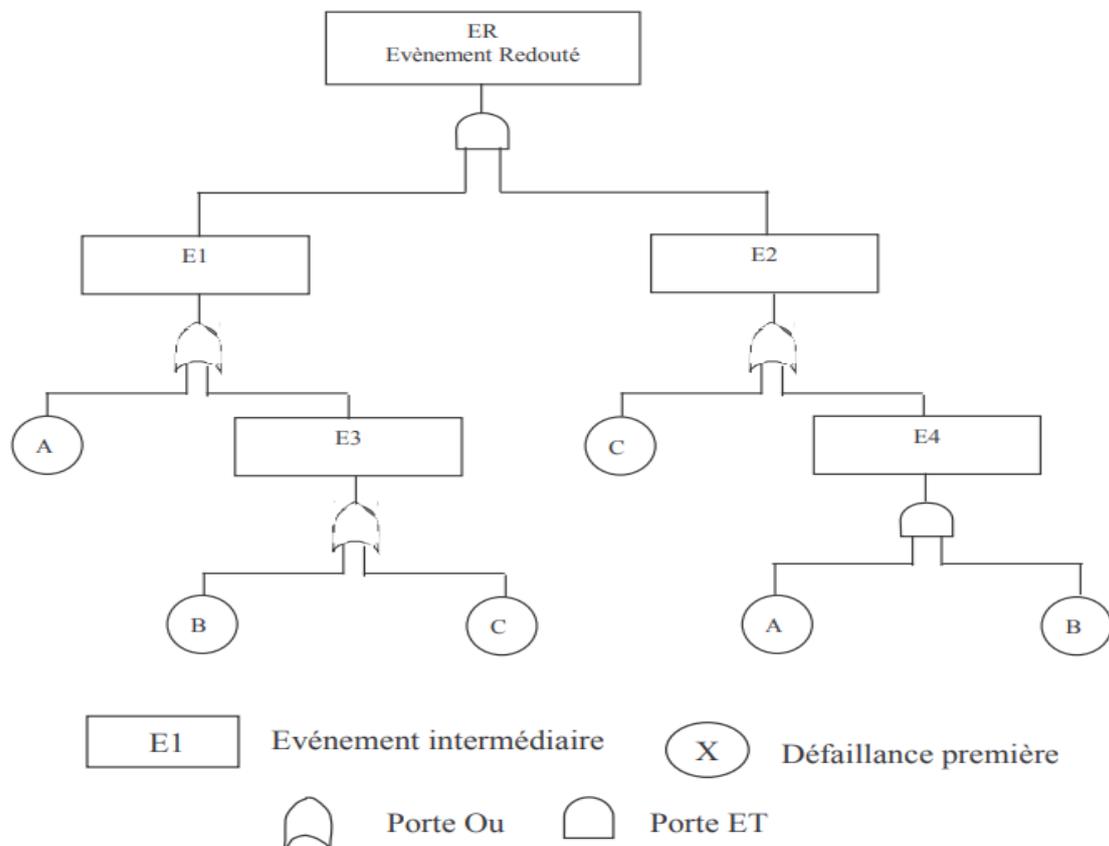


Figure 4.2 : Exemple d'arbre des défaillances [21]

4.1.6 Analyse d'importance

Le calcul de la probabilité de l'ER est généralement complété par une analyse des facteurs d'importance et/ou des coupes minimales.

4.1.6.1 Les coupes minimales

Une coupe minimale représente la plus petite combinaison d'évènements pouvant conduire à l'événement indésirable ou redouté. On parle parfois également de

« Chemin critique ».

Dans l'exemple précédent, l'occurrence simultanée des évènements A, B et C conduit effectivement à l'événement final. Il ne s'agit cependant pas d'une coupe minimale puisque la combinaison A.B seule peut être à l'origine de l'événement final.

La recherche des coupes minimales est effectuée à partir des règles de l'algèbre de BOOLE en considérant que :

- À chaque événement de base correspond une variable booléenne,
- L'événement de sortie d'une porte « ET » est associé au produit des variables booléennes correspondant aux évènements d'entrée,
- L'événement de sortie d'une porte « OU » est associé à la somme des variables booléennes correspondant aux évènements d'entrée,

Ainsi, dans l'exemple précédent, la recherche des coupes minimales peut s'effectuer comme suit :

$$ER = E1 . E2$$

$$E1 = A + E3 \text{ avec } E3 = B + C \quad E2 = C + E4 \text{ avec } E4 = A . B$$

Au total, nous avons donc :

$$ER = (A+B+C) . (C+A.B) = A.C + A.B + B.C + A.B + C + C.A . B$$

$$\text{Or, } A.C + C = C \text{ et } A . B + A.B.C = A.B \text{ (par absorption) } ER = C + A.B + B.C + A.B$$

De plus, $A.B + A.B = AB$ (Idempotence) et $C + B.C = C$ (Absorption) D'où $ER = C + A.B$

Ainsi, l'événement C seul ou la combinaison des évènements A.B conduisent à l'événement redouté. Il n'existe pas de combinaison plus petite conduisant à cet événement.

L'arbre présenté en exemple admet donc deux coupes minimales : C ainsi que A.B.

L'ordre d'une coupe est alors défini comme le nombre d'évènements combinés qui figurent dans cette coupe.

Finalement, cet arbre comporte :

- Une coupe minimale d'ordre 1 : C,
- Une coupe minimale d'ordre 2 : A.B.

L'arbre représentant ces coupes minimales est appelé « arbre réduit ». Pour l'exemple considéré dans la Figure 4.3, l'arbre réduit est le suivant

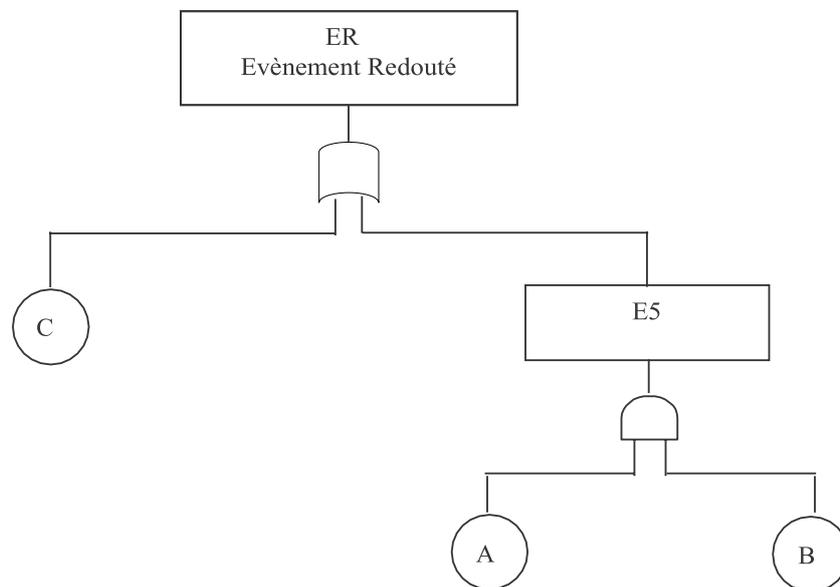


Figure 4.3 : Réduction de l'arbre des défaillances pris en exemple

La recherche des coupes minimales peut s'avérer fastidieuse pour des arbres de taille importante. Certains outils informatiques permettent heureusement d'automatiser cette démarche. Ces outils démontrent toute leur utilité pour la réduction d'arbres complexes. Leur utilisation ne doit cependant pas faire oublier que la définition précise de l'évènement final constitue la première étape en vue de limiter la complexité de l'arbre des défaillances.

4.1.6.2 Les Facteurs d'importances probabilistes

Définition des facteurs d'importance : Les facteurs d'importance sont des indicateurs calculés pour chaque évènement de base d'un arbre de défaillance. Ces indicateurs visent à évaluer les contributions relatives des différents composants du système au risque global. Tout au long de cette section, nous supposons que S, l'évènement de tête de l'arbre, représente la défaillance du système et que chaque évènement e de base désigne la défaillance d'un

composant.

Les différents types facteurs d'importance [22] :

- Facteur d'Importance Marginale (MIF) parfois appelé facteur de Birnbaum ;
- Facteur d'Importance Critique (CIF) ;
- Facteur d'Importance de Diagnostic (DIF) aussi appelé facteur de Fussel-Vesely ;

Facteur d'importance marginale : Le facteur d'importance marginal, noté $MIF(S,e)$, est défini comme suit.

$$MIF(S,e) = \frac{\partial p(S)}{\partial p(e)} \quad (4.1)$$

Ce facteur d'importance peut être interprété comme la probabilité pour que le système se trouve dans un état de fonctionnement ayant e comme composant critique, sachant que e est en fonctionnement, soit :

$$MIF(S,e) = p(S|e) - p(S|\bar{e}) \quad (4.2)$$

À titre d'exemple, considérons la disponibilité d'un système. Le facteur d'importance marginal du composant e est le taux avec lequel la disponibilité du système augmente quand la disponibilité du composant e augmente.

Facteur d'importance critique : Ce facteur est la probabilité pour qu'un événement de base e soit défaillant et critique sachant que le système global est défaillant. Autrement dit, il s'agit de la probabilité que le composant e ait provoqué la défaillance du système sachant que le système est défaillant.

Il est défini comme suit.

$$CIF(S,e) = \frac{p(e)}{p(S)} MIF(S,e) \quad (4.3)$$

Ce facteur peut aussi être calculé pour une coupe minimale, il s'agit alors de la probabilité que la coupe minimale ait provoqué la défaillance du système sachant que le système est défaillant. Ce facteur indique ainsi le poids respectif de chaque coupe minimale dans leur contribution à la défaillance du système.

Ce facteur nous renseigne sur les augmentations / diminutions de risque associées à l'augmentation / diminution de la dé fiabilité d'un événement de base associé à un système. Dans la pratique, il trouvera son intérêt dans la maintenance optimisée par la fiabilité (RCM en anglais), où l'on intervient sur de l'existant et en faible proportion. Il indiquera sur quels composants il est intéressant de faire de la maintenance préventive, et ceux sur lesquels la maintenance corrective suffit.

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

$$DIF(S,e) = p(S|e) = \frac{p(e)p(S|e)}{p(S)} \quad (4.4)$$

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

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

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

4.1.7 Limite et avantage de la méthode

Le principal avantage de l'analyse par arbre des défaillances est qu'elle permet de considérer des combinaisons d'évènements pouvant conduire in fine à un événement redouté. Cette possibilité permet une bonne adéquation avec l'analyse d'accidents passés qui montre que les accidents majeurs observés résultent le plus souvent de la conjonction de plusieurs évènements qui seuls n'auraient pu entraîner de tels sinistres.

Par ailleurs, en visant à l'estimation des probabilités d'occurrence des évènements conduisant à l'événement final, elle permet de disposer de critères pour déterminer les priorités pour la prévention d'accidents potentiels.

L'analyse par arbre des défaillances porte sur un événement particulier et son application à tout un système peut s'avérer fastidieuse. En ce sens, il est conseillé de mettre en œuvre au

préalable des méthodes inductives d'analyse des risques. Ces outils permettent d'une part d'identifier les événements les plus graves qui pourront faire l'objet d'une analyse par arbre des défaillances et, d'autre part, de faciliter la détermination des causes immédiates, nécessaires et suffisantes au niveau de l'élaboration de l'arbre.

Depuis une quinzaine d'années, des logiciels informatiques sont commercialisés afin de rendre plus aisée l'application de l'arbre des défaillances. Ces outils se montrent très utiles pour la recherche des coupes minimales, la détermination des probabilités ainsi que pour la présentation graphique des résultats sous forme arborescente.

4.2 Application de l'ADD sur le système torchère de complexe GL3/Z

4.2.1 Développement de l'arbre de défaillance

Le développement de la structure de l'arbre de défaillance a été établi comme le montre la Figure 4.4 (torche chaude) et la figure 4.5 (torche froide) selon la littérature présentée en §4.1.5 et en concordance avec la Figure 2.6 Et la Figure 2.7.

La structure pour l'étude de déversement de gaz liquéfié vers le cheminé de la torche chaude se base essentiellement sur deux sous-systèmes, la défaillance de réchauffeur électrique et la défaillance de système des pompes.

La structure de la torche froide se base sur la surcharge d'un des deux ballons séparateurs chacun ces deux se base aussi sur deux sous-systèmes.

Pour le ballon séparateur A : la vanne MOV de gaz dégivrer (*Defrost gaz*) et la vanne manuelle A d'évacuation, et pour le ballon séparateur B : la vanne MOV de gaz dégivrer (*defrost gaz*) et la vanne manuel B d'évacuation.

La vanne MOV de gaz dégivrer (*defrost gaz*) est un facteur commun entre les deux ballons MD-02 A et MD-02 B.

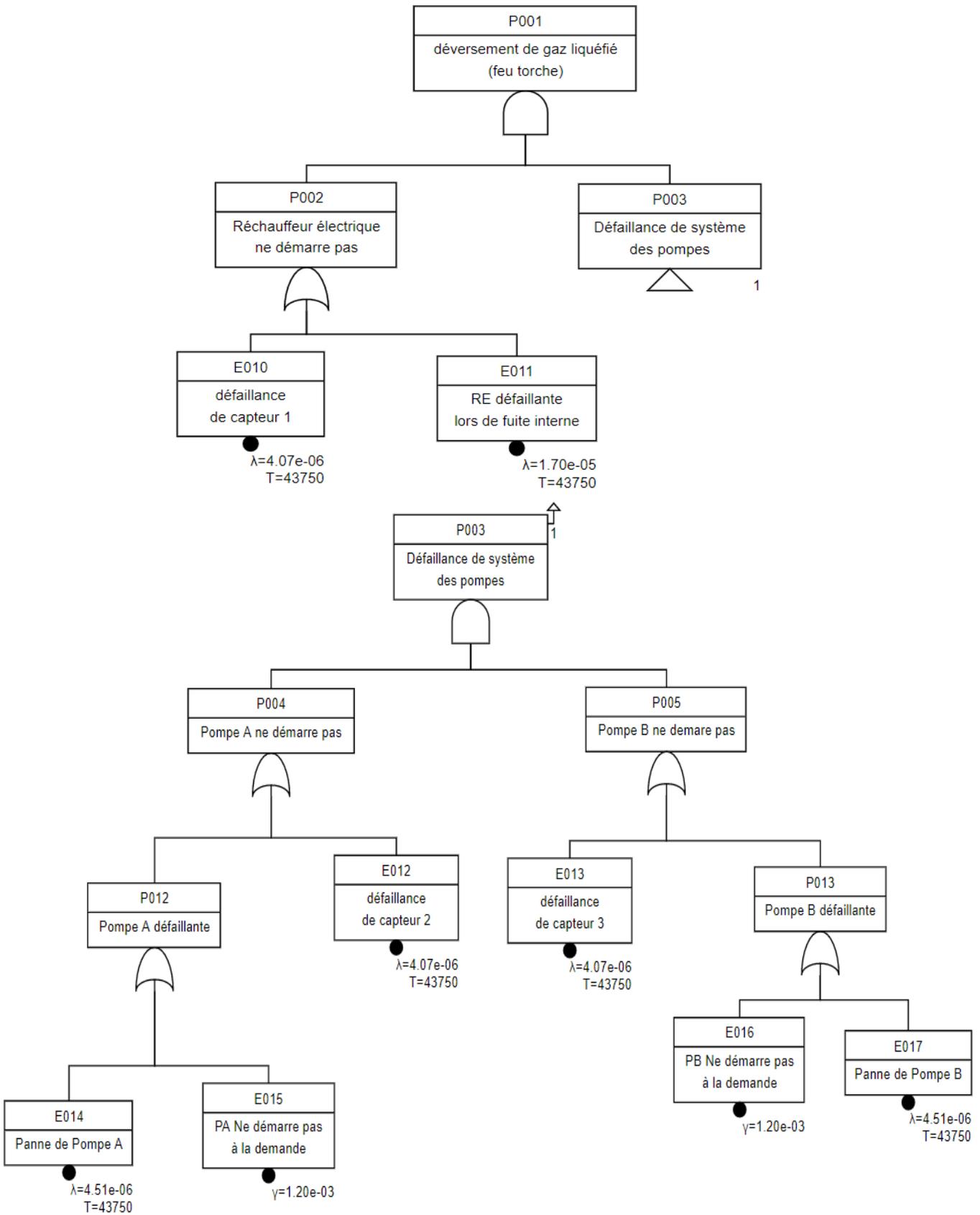


Figure 4.4 : La structure de l'arbre de défaillance du système de la torche chaude

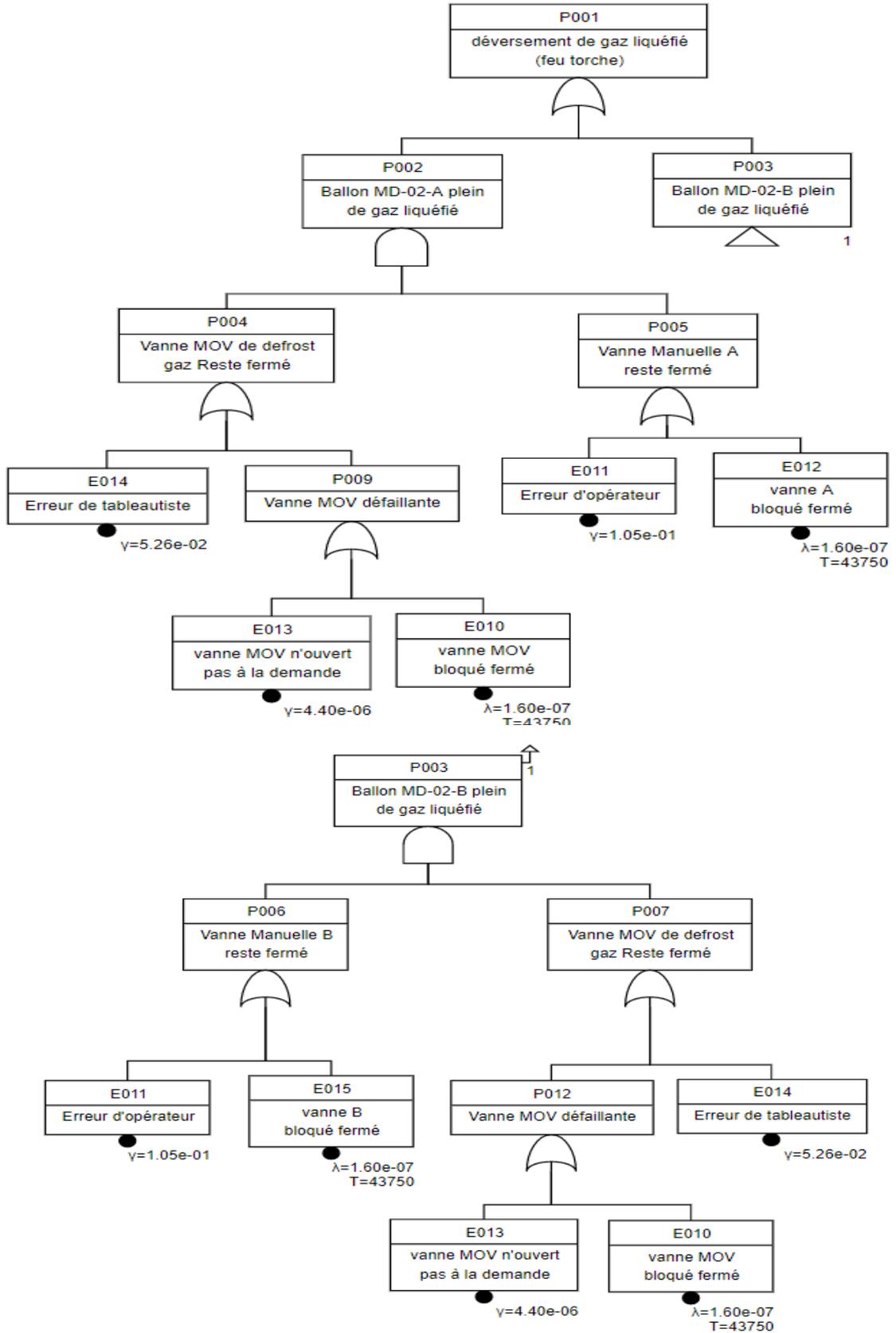


Figure 4.5 : La structure de l'arbre de défaillance du système de la torche froide

Le **tableau 4.1** contient les paramètres de chacun des évènements de base participant à l'évènement redouté pour la torche chaude.

Evènement	Description	Loi	Probabilite	Lambda	Temps
E010	défaillance de capteur 1	Exponentielle		4.07e-06	43750.0
E011	RE défailante lors de fuite interne	Exponentielle		1.7e-05	43750.0
E012	défaillance de capteur 2	Exponentielle		4.07e-06	43750.0
E013	défaillance de capteur 3	Exponentielle		4.07e-06	43750.0
E014	Panne de Pompe A	Exponentielle		4.51e-06	43750.0
E015	PA ne démarre pas à la demande	Constante	0.0012		
E016	PB ne démarre pas à la demande	Constante	0.0012		
E017	Panne de Pompe B	Exponentielle		4.51e-06	43750.0

Le **tableau 4.2** contient les paramètres de chacun des évènements de base participant à l'évènement redouté pour la torche froide.

Evènement	Description	Loi	Probabilite	Lambda	Temps
E010	vanne MOV bloqué fermé	Exponentielle		1.6e-07	43750.0
E011	Erreur d'opérateur	Constante	0.105		
E012	vanne A bloqué fermé	Exponentielle		1.6e-07	43750.0
E013	vanne MOV n'ouvert pas à la demande	Constante	4.4e-06		
E014	Erreur de tableautiste	Constante	0.0526		
E015	vanne B bloqué fermé	Exponentielle		1.6e-07	43750.0

4.2.2 Les coupes minimales

La structure de l'arbre de défaillance comme étant complexe, elle représente 18 coupes minimales pour le système de torche chaude où toutes les coupes minimales sont d'ordre 3, et 09 coupes minimales pour le système de torche froide où toutes les coupes minimales sont d'ordre 2. à $t = 43750h$ (l'usine marche depuis 5 ans)

Les coupes minimales de la Torche Chaude et la Torche Froide sont représentées dans les tableaux B.1, B.2 respectivement dans l'annexe B.

Parmi 18 coupes minimale de système de torche chaude, 4 coupes minimale sont les plus contribuent à 75.2% dans l'évènement redouté (déversement de gaz liquéfié).

La coupe la plus contribue sur l'évènement redouté est E011/E014/E017 à 20.7%.

Tableau 4.3 : Les coupes les plus contributrices à l'évènement redouté pour la torche chaude

N°	Ordre	Probabilité	Pourcents	Evènement	Description
1	3	0.0168	20.7%	E011 E014 E017	RE défaillante lors de fuite interne Panne de Pompe A Panne de Pompe B
2	3	0.0153	18.9%	E011 E013 E014	RE défaillante lors de fuite interne défaillance de capteur 3 Panne de Pompe A
3	3	0.0153	18.9%	E011 E012 E017	RE défaillante lors de fuite interne défaillance de capteur 2 Panne de Pompe B
4	3	0.014	17.2%	E011 E012 E013	RE défaillante lors de fuite interne défaillance de capteur 2 défaillance de capteur 3

Pour la torche froide quatre coupes minimales sont les plus contribuent à 98.6% dans l'évènement redouté parmi 09 coupes.

La coupe E011/E014 est la plus contribue à 77.9%.

Tableau 4.4 : Les coupes les plus contributrices à l'évènement redouté pour la torche Froide

N°	Ordre	Probabilité	Pourcents	Evènement	Description
1	2	0.00552	77.9%	E011 E014	Erreur d'opérateur Erreur de tableautiste
2	2	0.000732	10.3%	E010 E011	vanne MOV bloqué fermé Erreur d'opérateur
3	2	0.000367	5.2%	E014 E015	Erreur de tableautiste vanne B bloqué fermé
4	2	0.000367	5.2%	E012 E014	vanne A bloqué fermé Erreur de tableautiste

4.2.3 Facteurs d'importances

Facteur d'importance probabiliste Les résultats obtenus par les facteurs d'importances probabilistes à l'instant $t = 43750h$ représentés dans Le tableau 4.5 et le tableau 4.6 de système de torche chaude et froide respectivement.

Tableau 4.5 : Les facteurs d'importances de chacun des évènements de base contribuant à l'évènement redouté (torche chaude)

Evènement	Description	Occurrences	Pr	MIF	CIF	DIF	RAW	RRW
E010	défaillance de capteur 1	9	0.16	0.12	0.24	0.36	2.2	1.3
E011	RE défailante lors de fuite interne	9	0.52	0.12	0.76	0.89	1.7	4.2
E013	défaillance de capteur 3	6	0.16	0.24	0.48	0.56	3.4	1.9
E016	PB ne démarre pas à la demande	6	0.0012	0.24	0.0035	0.0047	3.9	1
E017	Panne de Pompe B	6	0.18	0.24	0.52	0.61	3.4	2.1
E012	défaillance de capteur 2	6	0.16	0.24	0.48	0.56	3.4	1.9
E014	Panne de Pompe A	6	0.18	0.24	0.52	0.61	3.4	2.1
E015	PA ne démarre pas à la demande	6	0.0012	0.24	0.0035	0.0047	3.9	1

Facteur d'importance critique CIF :

La défaillance de réchauffeur électrique influence sur le système de torche chaude à 76% le pourcentage le plus élevé. Les Trois évènements les plus influents sur le système de torche chaude sont (E011, E014, E017).

Facteur d'importance de diagnostique DIF :

La défaillance de réchauffeur électrique à le pourcentage le plus élevé d'influence de 89% sur le système de torche chaude, après on aux les deux événements E014 et E017 à 61%.

Tableau 4.6 : Les facteurs d'importances de chacun des évènements de base contribuant à l'évènement redouté (torche Froide)

Evènement	Description	Occurrences	Pr	MIF	CIF	DIF	RAW	RRW
E014	Erreur de tableautiste	3	0.053	0.12	0.88	0.89	17	8.5
E013	vanne MOV n'ouvert pas à la demande	3	4.4e-06	0.12	7.4e-05	7.8e-05	18	1
E010	vanne MOV bloqué fermé	3	0.007	0.12	0.12	0.12	18	1.1
E011	Erreur d'opérateur	3	0.1	0.06	0.88	0.9	8.5	8.5
E015	vanne B bloqué fermé	3	0.007	0.06	0.059	0.065	9.3	1.1
E012	vanne A bloqué fermé	3	0.007	0.06	0.059	0.065	9.3	1.1

Facteur d'importance critique CIF :

Les deux événements (E010, E019) les plus influents ont le même pourcentage 88%.

Facteur d'importance de diagnostique DIF :

Les deux événements (E011, E014) sont les plus influents à 89 % et 90% respectivement.

4.3 Conclusion

Ce chapitre décrit la méthode de l'arbre de défaillance, son principe et l'élaboration de l'arbre ainsi que ces limites et avantages, dans la première partie.

Dans la deuxième partie, L'étude du système de torche de complexe GL3/Z été établie par l'utilisation de l'arbre de défaillance en temps réel. Des coupes minimales ainsi que Des facteurs d'importance probabiliste ont été calculés par le logiciel arbre analyste à la fin de ce chapitre.

D'après les scénarios tirer de retour d'expérience et les coupes minimales déterminées nous avons constaté que le système de torche de GL3/Z est un système très fiable surtout pour le système de torche chaude.

CONCLUSION GENERALE

Dans l'environnement industriel Le système de torchère est très couramment utilisé dans l'industrie pétrolière pour évacuer sans danger d'importantes quantités de vapeurs inflammables en excès. Les torchères sont en général des feux torche contrôlés par l'industriel et qui, par conséquent, représentent peu de dangers pour l'environnement. Elles interviennent dans la sécurité de l'installation.

Mais l'étude du retour d'expérience montre qu'elles peuvent être à l'origine de plusieurs risques si elles sont la base de dysfonctionnements, comme une mauvaise conception, erreur humaine etc....

L'étude débute par quelques notions de base sur la sureté de fonctionnement et d'étudier les types de torches existant au niveau du complexe GL3/Z ainsi que le phénomène de déversement de gaz liquéfié par la torche. Pour identifier les différents risques associés à ce type d'installation une analyse par la méthode Arbre de défaillance a été mené pour les différentes torches existantes au niveau de ce complexe.

L'analyse par Arbre de défaillance est appliquée sur les torchères du complexe GL3/Z (froide et chaude) pour un scénario tirer, afin de rechercher les coupes minimales et déterminer les facteurs d'importances probabilistes.

Après analyse des résultats donnés par ces études, les risques liés à la torche ne sont pas très fréquents, mais il faut toujours garder l'hypothèse que le risque zéro n'existe pas. Donc il faut toujours apporter les mesures compensatoires nécessaires telles que la prévention, la détection et la protection.

L'analyse détaillée de ces études conduit à faire des recommandations au groupe de travail et proposer des solutions adaptées afin de réduire les risques identifiés et d'améliorer les conditions d'exploitation des torches.

Pour assurer un niveau de sécurité élever, il est fortement recommandé de :

- ✓ Assurer une ouverture optimale de la vanne manuelle.
- ✓ Inspection et maintenance régulière.
- ✓ Contrôler régulièrement le niveau de ballon séparateur.
- ✓ Contrôler l'alimentation des machines électrique (réchauffeur, pompe...etc.)
- ✓ Tester régulièrement les capteurs de niveau.

Conclusion générale

Finalement, la formation et la motivation continue des opérateurs de l'entreprise va permettre sans doute d'augmenter d'une manière appréciable le niveau de sécurité du système.

Références bibliographiques

- [1] DAL PONT J.P. Management de la sécurité, Sécurité et gestion des risques, décembre 2016, disponible sur www.techniques-ingenieur.fr. (Dernière visite 15/09/2020)
- [2] Villemeur A. Sureté de fonctionnement des systèmes industrielles, fiabilité – facteurs humains informatisation. Ed. Eyrolles 61, Bd Saint-Germain Paris (1988).
- [3] Lasnier G. Sureté de fonctionnement des équipements et calcul de fiabilité. Ed la voisiner 75008 Paris, 2011.
- [4] Megdiche M. Sûreté de fonctionnement des réseaux de distribution en présence de production décentralisée, Thèse de Doctorat. INP de Grenoble, Décembre 2004.
- [5] Cabarbaye A. Modalisation, évaluation et optimisation en Sureté de fonctionnement, Ed : cab innovation, Toulouse, France.
- [6] Cabarbaye A. L'estimation en Sureté de fonctionnement, Ed : cab innovation, Toulouse, France. (2017)
- [7] Gandibleux J. Informatique Industrielle et Systèmes Homme Machine. Thèse de doctorat, Université de Valenciennes, France. 06/12/2013.
- [8] Villemeur, A. (1991). *Reliability, Availability, Maintainability and Safety Assessment*. New York, USA. John Wiley & Sons Ltd. ISBN 9780471930488.
- [9] ABDALLAH M. Optimisation de la maintenance préventive des systèmes de production incorporant la dépendance par les méta-heuristique, thèse de doctorat Université de Djilali Liabes - sidi belabes, Algérie.
- [10] Alani T., « Introduction au diagnostic des défaillances », Cours Diagnostic des défaillances, Laboratoire A2SI-ESIEE-Paris, Octobre 2006.
- [11] Belhadaoui B., Medromi H., Saadi J., Malasse O., « Nouvelle Approche d'Analyse de Fiabilité pour la Sécurité de Fonctionnement à base des Systèmes Multi Agents : Application aux Systèmes de Commande Industriels » Rabat (Maroc), 22-24 Octobre 2007.

Références bibliographiques

[12] Point G., AltaRica : Contribution à l'unification des méthodes formelles et de la sûreté de fonctionnement, Thèse de Doctorat en Informatique, Université de Bordeaux 1, Janvier 2000.

[13] Guitarni I.H.M. Analyse Quantitative des Risques : Application sur les Bacs de Stockage, Thèse de Doctorat en Sécurité Industrielle et Environnement, Université d'Oran 2, Le 06 Mai 2019.

[14] Mortureux Y. (2016). Fondamentaux de l'analyse de risque, regard fiabiliste sur la sécurité industrielle. Numéro 2016-02 de la Collection Les Regards sur la sécurité industrielle, Fondation pour une culture de sécurité industrielle, Toulouse, France.

[15] Sabatier P. Intégration de la Sûreté de Fonctionnement dans les Processus d'Ingénierie Système. Thèse de doctorat L'UNIVERSITÉ DE TOULOUSE. Le 15 juin 2011.

[16] COLLECTIF. Manuel opératoire process : Générale, documentation GL3/Z, 31 mai 2011,

[17] COLLECTIF. Manuel opératoire process : Unité 75 (section torches), documentation GL3/Z, 31 mai 2011, p 1-90.

[18] COLLECTIF. Module 3 – Description des unité offside : Unité 75 – Système de Torche, documentation GL3/Z, p 77-97.

[19] DUPLANTIER S. Formalisation du savoir et des outils dans le domaine des risques majeurs. (DRA-76). Ω -8. Feu torche. Direction des Risques Accidentels (INERIS),10/03/2014.

[20] Article 11 de journal officiel de la république algérienne n°63, 15 décembre 2013

[21] PATEJ S. Formalisation du savoir et des outils dans le domaine des risques accidentels. (DRA-35). Ω -7. Méthodes d'analyse des risques générés par une installation industrielle. Nancy, Direction des Risques Accidentels (INERIS), 13/10/2006.

[22] <https://www.arbre-analyste.fr/> (dernière visite 15/09/2020)

[23] Høvik, Norway, Offshore & Reliability Data (OREDA), OREDA Participants: Distributed by Der Norske Veritas, 2002 4th edition.

ANNEXE

Annexe A

A.1. Analyse par Arbre de Défaillances

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

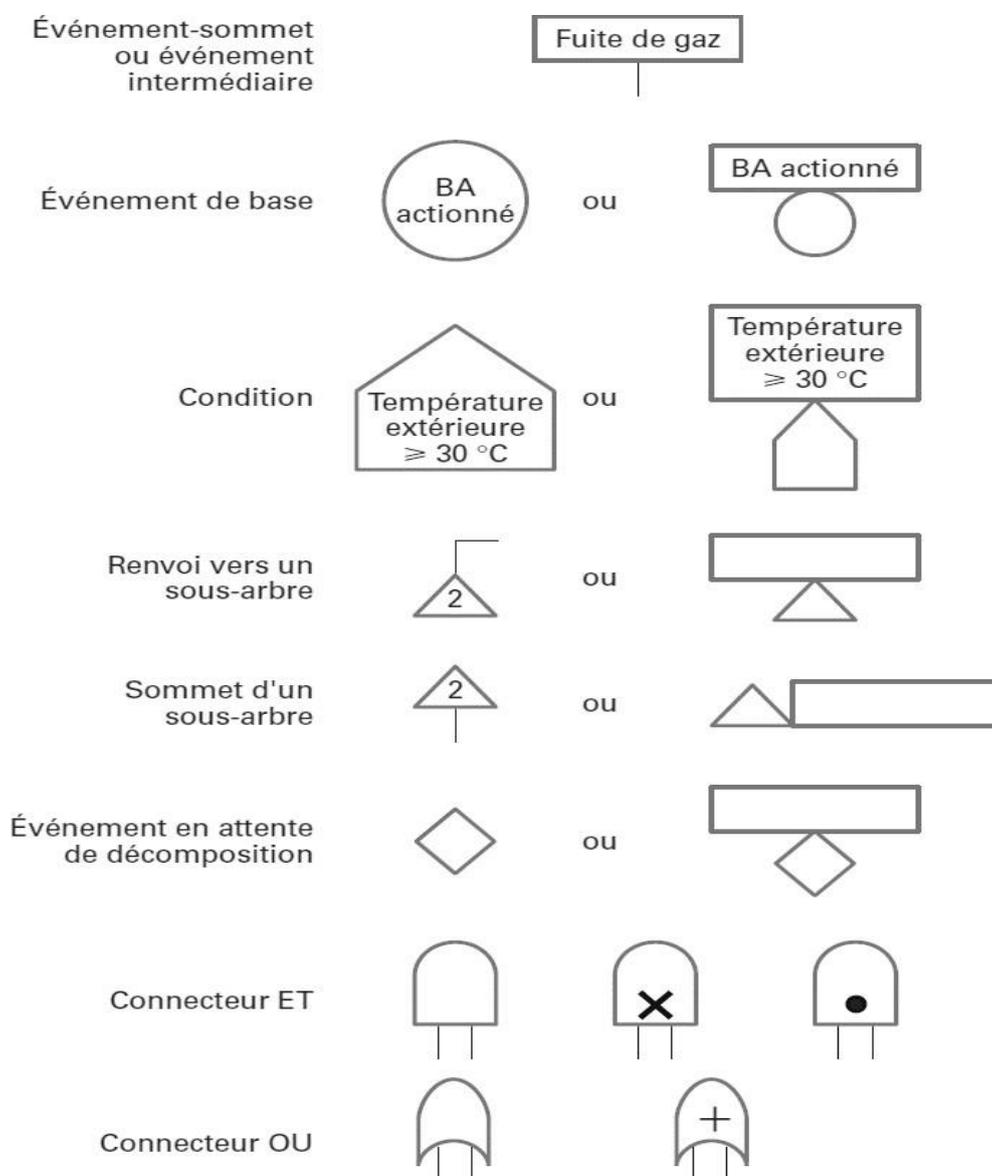


Figure A.1 : Les éléments de base pour la construction de la structure de l'arbre de défaillance

Le Tableau A.1 présente quelques règles d'optimisation permettant de réduire les Arbres en faisant appliquer l'algèbre booléenne :

Propriétés	Produit (Porte logique Et)	Somme (Porte logique Ou)
Commutativité	$A \cdot B = B \cdot A$	$A + B = B + A$
Idempotence	$A \cdot A = A$	$A + A = A$
Absorption	$A \cdot (A + B) = A$	$A + A \cdot B = A$
Associativité	$A \cdot (B \cdot C) = (A \cdot B) \cdot C$	$A + (B + C) = (A + B) + C$
Distributivité	$A \cdot (B + C) = A \cdot B + A \cdot C$	$A + B \cdot C = (A + B) \cdot (A + C)$

Annexe B

Les résultats obtenus des coupes minimales de la torche chaude et froide sont représentés dans les tableaux B1 et B2 respectivement.

Tableau B.1 : coupes minimales de la torche chaude

N°	Ordre	Probabilité	Pourcents	Evènement	Description
1	3	0.0168	20.7%	E011 E014 E017	RE défaillante lors de fuite interne Panne de Pompe A Panne de Pompe B
2	3	0.0153	18.9%	E011 E013 E014	RE défaillante lors de fuite interne défaillance de capteur 3 Panne de Pompe A
3	3	0.0153	18.9%	E011 E012 E017	RE défaillante lors de fuite interne défaillance de capteur 2 Panne de Pompe B
4	3	0.014	17.2%	E011 E012 E013	RE défaillante lors de fuite interne défaillance de capteur 2 défaillance de capteur 3
5	3	0.00523	6.4%	E010 E014	défaillance de capteur 1 Panne de Pompe A

ANNEXE

				E017	Panne de Pompe B
6	3	0.00476	5.9%	E010 E013 E014	défaillance de capteur 1 défaillance de capteur 3 Panne de Pompe A
7	3	0.00476	5.9%	E010 E012 E017	défaillance de capteur 1 défaillance de capteur 2 Panne de Pompe B
8	3	0.00434	5.4%	E010 E012 E013	défaillance de capteur 1 défaillance de capteur 2 défaillance de capteur 3
9	3	0.000113	0.1%	E011 E014 E016	RE défailante lors de fuite interne Panne de Pompe A PB ne démarre pas à la demande
10	3	0.000113	0.1%	E011 E015 E017	RE défailante lors de fuite interne PA ne démarre pas à la demande Panne de Pompe B
11	3	0.000103	0.1%	E011 E013 E015	RE défailante lors de fuite interne défaillance de capteur 3 PA ne démarre pas à la demande
12	3	0.000103	0.1%	E011 E012 E016	RE défailante lors de fuite interne défaillance de capteur 2 PB ne démarre pas à la demande
13	3	3.5e-05	0.0%	E010 E014 E016	défaillance de capteur 1 Panne de Pompe A PB ne démarre pas à la demande
14	3	3.5e-05	0.0%	E010 E015 E017	défaillance de capteur 1 PA ne démarre pas à la demande Panne de Pompe B
15	3	3.19e-05	0.0%	E010 E013 E015	défaillance de capteur 1 défaillance de capteur 3 PA ne démarre pas à la demande
16	3	3.19e-05	0.0%	E010	défaillance de capteur 1

				E012	défaillance de capteur 2
				E016	PB ne démarre pas à la demande
17	3	7.56e-07	0.0%	E011	RE défaillante lors de fuite interne
				E015	PA ne démarre pas à la demande
				E016	PB ne démarre pas à la demande
18	3	2.35e-07	0.0%	E010	défaillance de capteur 1
				E015	PA ne démarre pas à la demande
				E016	PB ne démarre pas à la demande

Tableau B.2 : coupes minimales de la torche froide

N°	Ordre	Probabilité	Pourcents	Evènement	Description
1	2	0.00552	77.9%	E011	Erreur d'opérateur
				E014	Erreur de tableautiste
2	2	0.000732	10.3%	E010	vanne MOV bloqué fermé
				E011	Erreur d'opérateur
3	2	0.000367	5.2%	E014	Erreur de tableautiste
				E015	vanne B bloqué fermé
4	2	0.000367	5.2%	E012	vanne A bloqué fermé
				E014	Erreur de tableautiste
5	2	4.87e-05	0.7%	E010	vanne MOV bloqué fermé
				E015	vanne B bloqué fermé
6	2	4.87e-05	0.7%	E010	vanne MOV bloqué fermé
				E012	vanne A bloqué fermé
7	2	4.62e-07	0.0%	E011	Erreur d'opérateur
				E013	vanne MOV n'ouvert pas à la demande
8	2	3.07e-08	0.0%	E013	vanne MOV n'ouvert pas à la demande
				E015	vanne B bloqué fermé
9	2	3.07e-08	0.0%	E012	vanne A bloqué fermé
				E013	vanne MOV n'ouvert pas à la demande