



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

جامعة وهران 2 محمد بن أحمد  
Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed  
-----  
معهد الصيانة و الأمن الصناعي  
Institut de Maintenance et de Sécurité Industrielle

**Département de Sécurité Industrielle et Environnement**

## **MÉMOIRE**

Pour l'obtention du diplôme de Master

**Filière :** Sécurité Industrielle

**Spécialité :** Sécurité Industrielle et Environnement

### **Thème**

**Analyse des risques liés à une machine polyvalente (turbo-expander) par la méthode MADS-MOSAR.**

Présenté et soutenu publiquement par :

OUADAH Mohamed

SOUADA Islam

Devant le jury composé de :

<b>Nom et Prénom</b>	<b>Grade</b>	<b>Etablissement</b>	<b>Qualité</b>
ABDI Ghezail	MCB	IMSI	<b>Président</b>
BENOMAR Fatima	MAA	IMSI	<b>Encadreur</b>
AISSANI Nassima	MCB	IMSI	<b>Examineur</b>

**Juin 2017**

# ***Remerciements***

Au terme de ce travail nous tenons à remercier en premier lieu

" ALLAH " qui nous a donné la force pour mener à bien l'étude  
De ce projet.

Nos sincères remerciements, à notre encadreur madame :

" Benomar- F " pour ses directions attentives,  
Et ses conseils qui ont grandement simplifié ce travail.

Nous tenons aussi à remercier le personnel du  
groupement

Tin-Foye-Tabankort-Illizi.

Finalement, nous sommes très reconnaissants à l'aide  
Des conseils de tous ce qui ont contribué directement  
Et indirectement à la réalisation de ce travail.

## **Dédicace**

*Je dédie ce travail :*

*A ma chère mère qui m'a soutenu tout au long de mon cursus d'études.*

*A mon cher défunt père qui a fait de moi ce que je suis aujourd'hui mais malheureusement il n'est pas là pour me partager la joie de ma réussite.*

*A mes deux chères sœurs.*

*A mon cher Ami et Co-binôme Islam pour tous les moments que nous avons passé ensemble.*

*A tous mes amis de loin et de près.*

**OUADAH Mohamed**

# DEDICACE

*A ceux qui m'ont donné la vie, symbole de beauté, de fierté, de sagesse et de patience.*

*A ceux qui sont la source de mon inspiration et de mon courage, à qui je dois de l'amour et la reconnaissance.*

- *A ma très chère Mère et à mon cher Père ;*
- *A mes frères et mes sœurs et leurs enfants ;*
- *A mon cher Ami et Co-binôme mohamed pour tous les moments de joies et de peines qu'on a passé ensemble et à sa Famille ;*
- *A tous mes amis.*

*Je vous remercie tous*

*Souada islam*

## TABLE DES MATIERES

Table des matières .....	IV
Liste des figures .....	VII
Liste des tableaux .....	IX
Liste des abréviations .....	X
Introduction générale .....	01

### Chapitre 1

#### Généralités sur les risques et présentation de la méthode MADS-MOSAR

<b>I.1. Introduction</b> .....	03
<b>I.2. Historique du risque</b> .....	03
<b>I.3. Concepts généraux</b> .....	03
I.3.1. Notion de danger .....	04
I.3.2. Notion de risque .....	04
I.3.3. Notion d'accident .....	05
I.3.4. Notion de sécurité .....	06
I.3.5. Classification des risques .....	06
I.3.6. Notion d'acceptabilité du risque .....	07
I.3.7. Notion d'inacceptabilité du risque .....	07
I.3.8. Risque potentiel et risque résiduel .....	07
<b>I.4. Analyse du risque</b> .....	07
1.4.1. Analyse qualitative .....	08
1.4.2. Analyse semi quantitative .....	08
1.4.3. Analyse quantitative .....	09
<b>I.5. Nécessité d'une méthode d'analyse</b> .....	09
<b>I.6. Modèle MADS : Méthodologie d'Analyses des Dysfonctionnements des Systèmes</b> .....	09
I.6.1. Historique de la méthode .....	09
I.6.2. Description du modèle MADS .....	10
I.6.3. Développement de typologies .....	11
I.6.4. Introduction à la systémique pour une approche à la complexité .....	12
I.6.4.1. Approche systémique .....	12
I.6.4.2. Concepts fondamentaux de l'approche systémique .....	12
I.6.4.3. Analyse systémique .....	12
I.7. Structure générale de la méthode MOSAR .....	13
I.7.1. Les étapes de construction de la méthode MOSAR .....	13
<b>I.8. Conclusion</b> .....	14

## Chapitre 2 :

### Description du Turbo-expander et présentation de GTFT

<b>II.1. Introduction</b> .....	15
<b>II.2. Présentation du Groupement TIN FOUYE TABANKORT (GTFT)</b> .....	15
II.2.1. Historique .....	15
II.2.2. Situation géographique .....	16
II.2.3. Capacité de production et de stockage .....	16
II.2.4. Organisation .....	16
II.2.5. Service HSE .....	17
<b>II.3. Description générale du procédé de traitement du gaz au niveau du GTFT</b> .....	18
II.3.1. Puits, manifolds et arrivée du gaz .....	19
II.3.1.1. Puits de production .....	19
II.3.1.2. Manifolds et trunklines .....	19
II.3.1.3. Manifold d'entrée usine et slug catcher .....	20
<b>II.3.2. Boosting</b> .....	20
<b>II.3.3. Trains de traitement</b> .....	20
II.3.3.1. Refroidissement et séparation du gaz brut .....	20
II.3.3.2. Séchage du gaz par adsorption .....	21
II.3.3.3. Refroidissement et détente du gaz sec .....	21
<b>II.3.4. Traitement des condensats</b> .....	22
<b>II.3.5. Dééthanisation</b> .....	22
<b>II.3.6. Débutanisation</b> .....	22
<b>II.3.7. Stockage et distribution</b> .....	23
II.3.7.1 GPL .....	23
II.3.7.2. Condensats .....	23
<b>II.4. Turbo-expander</b> .....	23
II.4.1. Principe thermodynamique du turbo-expander .....	24
II.4.2. Composition du turbo-expander .....	24
II.4.2.1. Aubes directrices d'entrée variable .....	26
II.4.2.2. Roues de l'expander-compresseur .....	26
II.4.2.3. Arbre .....	27
II.4.2.4. Joint d'étanchéité de l'arbre .....	27
II.4.2.5. Paliers .....	27
II.4.2.6. Egalisateur automatique de poussée (ATE) .....	28
II.4.2.7. Joints d'étanchéité de boîtiers .....	28
II.4.2.8. Système de lubrification .....	29
II.4.2.8.1. Pompe d'huile de lubrification .....	29
II.4.2.8.2. Réservoir .....	29
II.4.2.8.3. Refroidisseurs d'huile .....	29
II.4.2.8.4. Filtres d'huile de lubrification .....	29

II.4.2.8.5. Accumulateurs .....	30
II.4.2.8.6. Soupape de régulation de pression de l'huile de lubrification .....	30
II.4.2.8.7. Système du gaz d'étanchéité .....	30
II.4.2.9. Système anti-pompage côté compresseur .....	30
II.4.2.10. Système de l'instrumentation et de commande .....	30
<b>II.4.3. Retour d'expérience du turbo-expander .....</b>	<b>31</b>
<b>II.5. Conclusion .....</b>	<b>31</b>

### Chapitre 3 :

#### Application de la démarche MADS-MOSAR

<b>III.1. Introduction .....</b>	<b>32</b>
<b>III.2. Méthode MADS-MOSAR appliquée aux Turbo-expander .....</b>	<b>32</b>
<b>III.2.1. Etape préliminaire : Modélisation du système et décomposition en sous-système .....</b>	<b>32</b>
<b>III.2.2. Le module A de la méthode et ses étapes (vision macroscopique de l'installation) .....</b>	<b>33</b>
III.2.2.1. Identification des sources de danger .....	33
III.2.2.2. Identification des scénarios de danger .....	44
III.2.2.2.1. Mettre chaque sous-système sous forme d'une boîte noire .....	44
III.2.2.2.2. Génération des scénarios courts et des scénarios d'autodestruction .....	49
III.2.2.2.3. Génération des scénarios longs, validation de ces derniers et construction d'arbres logiques sur les accidents principaux ainsi identifié.....	62
<b>III.2.3. Évaluation des scénarios à risques .....</b>	<b>67</b>
<b>III.2.4. Négociation d'objectifs et hiérarchisation des scénarios .....</b>	<b>69</b>
<b>III.2.5. Définition des barrières de prévention et de protection et leur qualification .....</b>	<b>70</b>
<b>III.3. Conclusion .....</b>	<b>76</b>
<b>Conclusion générale .....</b>	<b>77</b>
<b>Références .....</b>	<b>XI</b>

## LISTE DES FIGURES

I.1	Caractérisation du risque.....	5
I.2	Modèle MADS ou l'univers de danger.....	10
I.3	Structure de la méthode MOSAR.....	14
II.1	Situation géographique du GTFT.....	16
II.2	Organigramme d'organisation du GTFT.....	17
II.3	Composition du service HSE.....	17
II.4	Schéma représentant le procédé de traitement du gaz au niveau du GTFT.....	18
II.5	Schéma du process de la section de détente du turbo-expander.....	24
II.6	Sections principales du turbo-expander.....	25
II.7	Composants du turbo-expander.....	25
II.8	Aubes directrices d'entrée variable.....	26
II.9	Les roues de l'expander et du compresseur.....	26
II.10	Arbre du turbo-expander.....	27
II.11	L'assemblage du joint d'étanchéité.....	27
II.12	Paliers.....	27
II.13	Egalisateur automatique de poussée (ATE).....	28
II.14	Joints d'étanchéités de boîtiers.....	28
II.15	Système de lubrification.....	29
II.16	Panneau de commande.....	31
III.1	Décomposition du système en sous-systèmes.....	33
III.2	La forme d'une boîte noire.....	44
III.3	Les boîtes noires.....	49

III.4	Les scénarios courts et d'autodestruction.....	54
III.5	Arbres logiques des scénarios courts et d'autodestructions.....	61
III.6	Boîtes noires des scénarios longs.....	64
III.7	Arbres logiques des scénarios longs.....	66
III.8	Matrice de classification des risques utilisée par Total-Fina-Elf.....	67
III.9	Situation des scénarios.....	69
III.10	Nouvelle situation des scénarios.....	75

## LISTE DES TABLEAUX

I.1	Recueil des plus graves accidents industriels survenus dans le monde entre 1960 et 2001.....	6
II.1	Spécifications du gaz résiduel.....	19
II.2	Spécifications du GPL.....	19
II.3	Spécifications des condensats.....	19
III.1	Les dix sous-systèmes du Turbo-expander.....	33
III.2	Tableau A (identification des sources de danger).....	43
III.3	Hierarchisation des scénarios.....	69
III.5	Tableau B (identification des barrières de prévention et de protection).....	74
III.6	Tableau C (qualification des barrières de prévention et de protection).....	74
III.7	Nouvelle hierarchisation des scénarios.....	75

## LISTE DES ABREVIATIONS

ADD	Arbre De Défaillance
AMDEC	Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité
ARIA	Analyse Recherche et Information sur les Accidents
ATE	Egalisateur Automatique de Poussée.
BARPI	Bureau d'Analyse des Risques et des Pollutions
CD-ROM	Compact Disk-Read Only Memory
CONCAWE	Conservation of Clean Air and Water in Europe.
EDF	Electricité De France
ENS	Evènement Non Souhaité.
F	Fréquence
G	Gravité
GPL	Gaz du Pétrole Liquéfié
GTFT	Groupement TIN FOUYE TABANKORT
HAZOP	HAZards and OPerability studies
HSE	Health and Safety Executive
IEC	International Electrotechnical Comission
INRS	Institut National de Recherche et de Sécurité
ISO	International Organization for Standardization
IUT	Institut Universitaire de Technologie
KBR	Kellog Brown and Root
LOPA	Layers of Protection Analysis

MADS	Méthodologie d'Analyses des Dysfonctionnements des Systèmes
Max	Maximum
MCS	Partie Mécanique Centrale
Min	Minimum
MOSAR	Méthode Organisée Systémique d'Analyse des Risques
OHSAS	Occupational Health and Safety Assessment Series
R	Risque
Sc	Scénario
SNECMA	Société Nationale d'Etude et de Construction de Moteurs d'Avions
SS	Sous-Système
TL	Trunklines

## INTRODUCTION GENERALE

La demande en énergie dans le monde s'accroît au fil des années, en conséquence du développement démographique afin de répondre aux besoins d'une vie moderne dont le facteur de consommation de l'énergie est le plus prépondérant surtout celle du gaz.

Le gaz naturel est la source d'énergie fossile qui a connu la plus forte progression depuis les années 1970. En effet, il est à la cinquième position dans la consommation énergétique mondiale et il représente la deuxième source d'énergie la plus utilisée après le pétrole.

Le gaz naturel après son extraction du gisement, il est soumis à des opérations de traitement et de séparation très compliqué à cause de l'utilisation de différentes installations pouvant être sources de dangers.

Depuis le début de développement de l'industrie gazière, plusieurs accidents industriels ont eu lieu : Feyzin, Mexico, Buncefieldt, Port Edward Herriot, ghislenghien... Ces catastrophes ayant manifesté des événements tragiques causant de nombreux décès, de blessés et des dégâts matériels paralysant l'économie et le territoire.

En vue de réduire la gravité ou la probabilité de survenance de tels accidents industriels, l'analyse de risques constitue une démarche d'identification et de réduction des dommages, elle décrit les scénarios conduisant aux phénomènes dangereux et accidents potentiels.

Il existe à l'heure actuelle de nombreuses méthodes dédiées à l'analyse des risques, ces méthodes ne sont que des outils d'aide à la réflexion et, en ce sens, leur qualité est fortement liée à leurs contextes et conditions de mise en œuvre.

Notre objectif dans ce présent mémoire, n'est pas de citer toutes les méthodes d'analyse de risques. Nous nous sommes ici focalisés sur l'application d'une méthode précise dite MADS- MOSAR sur une machine polyvalente (turbo-expander) au niveau du groupement TFT.

Pour atteindre notre but, ce travail se devisera sur trois principaux chapitres, dont les deux premiers traiteront l'aspect théorique et le dernier sert à l'application de la démarche proposée.

- Le premier chapitre, présentera les différents concepts du risque ainsi que la démarche de l'application de la méthode MADS-MOSAR ;
- Le deuxième chapitre, définira la composition du turbo-expander et expliquera son principe de fonctionnement, la représentation du groupement TFT et la description du process de traitement du gaz ;
- Afin d'appliquer la démarche proposée dans le premier chapitre, le troisième chapitre sera consacré à présenter l'application de la méthode MADS-MOSAR sur le turbo-expander ;

Ce travail sera clôturé par une conclusion générale résumant le travail accompli et les perspectives envisagées.

# CHAPITRE I

*Généralités sur les risques et présentation de  
la méthode MADS-MOSAR*

### **I.1. Introduction :**

Danger, accident, sécurité, nombreux sont les thèmes qui composent ou accompagnent la notion ou le concept de risque. Donc, avant toute démarche d'analyse de risque quelconque, il fallait déterminer les propres définitions de ces termes afin d'éviter toutes les confusions entre eux, surtout ceux de risque et de danger.

Dans ce présent chapitre, le risque et ses termes font l'objet de plusieurs définitions selon des normes et des standards internationaux, qui nous a permis par la suite d'entamer la notion d'analyse de risque et définir la démarche de son application.

### **I.2. Historique du risque :**

L'apparition de la notion du risque s'est effectuée au fur et à mesure de l'évolution de l'humanité. Une première apparition de cette notion a eu lieu à l'époque de l'Italie de la renaissance où ce terme était plutôt associé à l'écueil que peuvent rencontrer les navires, et par extension au danger encouru en mer. A cette même époque, la pratique du Prêt à Intérêt prend son essor (notamment à Venise, Genève, Pays-Bas, Angleterre, Portugal...) et voit une multiplication des banques internationales, dont la plupart sont spécialisées dans le commerce maritime. Ce développement du libéralisme qui confronte l'homme de l'époque à l'incertitude dans la prise de décisions afin de minimiser des pertes potentielles, introduit la prise de risque économique à partir d'un calcul de coûts-bénéfices. [1]

Ce domaine s'est ensuite surtout développé à partir de la seconde guerre mondiale suite à l'apparition d'armes sophistiquées, ce qui a nécessité le développement de la fiabilité des objets techniques. Par ailleurs, les premiers outils de la sûreté de fonctionnement (AMDEC et arbres logiques) se sont développés durant les années 1960 en se basant sur les notions de fiabilité des années 1940 et 1950 (développés dans le cadre des systèmes d'armes aux Etats-Unis). [2]

Durant les années 1970, le développement de l'industrie nucléaire ainsi que la préoccupation de l'opinion publique face à ce risque entre autres, a poussé à l'utilisation des outils d'analyse de risques dans le nucléaire. Le risque s'est vulgarisé et s'est répandu dans la société (risque nucléaire, du travail) et s'est élargi à tous les domaines socio-environnementaux : social, industriel, écologique, entrepreneurial, financier. Chaque discipline se l'est approprié à sa façon et selon ses objectifs/besoins.

A la fin des années 1980, les sciences humaines s'intéressent massivement à cette problématique et alimentent l'approche scientifique du risque ainsi que les nouvelles politiques publiques de mitigation et de prévention. Elles se focalisent sur la vulnérabilité sociale, les

mécanismes de gestion du territoire et la perception sociale des dangers. Egalement, durant les années 1980, tous « les savoirs des années 1970 pénètrent dans l'industrie ». Commence ainsi la diffusion des outils d'analyse en milieu industriel. A cette époque apparaissent aussi les éléments de la science de danger avec la création du mot « cindyniques ». [2]

### **I.3. Concepts généraux :**

#### **I.3.1. Notion de danger :**

Selon Desroches [3] et la norme IEC 61508 [4], le danger désigne une nuisance potentielle pouvant porter atteinte aux personnes, aux biens (détérioration ou destruction) ou à l'environnement. Les dangers peuvent avoir une incidence directe sur les personnes, par des blessures physiques ou des troubles de la santé, ou indirecte, au travers de dégâts subis par les biens ou l'environnement.

Le référentiel OHSAS 18001 [5] définit le danger comme étant une source ou une situation pouvant nuire par blessure ou atteinte à la santé, dommage à la propriété et à l'environnement du lieu de travail ou une combinaison de ces éléments.

Soulignons que de nombreux termes sont employés, selon les normes ou les auteurs, autour de la notion de danger et la rendent ambiguë. De plus, les dictionnaires associent souvent le terme danger au terme risque. En effet, plusieurs dictionnaires proposent le terme risque comme synonyme du terme danger, ce qui explique le fait qu'un grand nombre de personnes utilisent indifféremment ces termes. Même les documents et les textes officiels confondent danger et risque.

#### **I.3.2. Notion de risque :**

Le terme risque a plusieurs significations. De même, les risques peuvent être de nature très variée et beaucoup de classifications ont été proposées.

Les définitions du risque à deux dimensions sont assez proches. Selon Villemeur [6], le risque est une mesure d'un danger associant une mesure de l'occurrence d'un événement indésirable et une mesure de ses effets ou conséquences.

Et selon OHSAS 18001 [5], un risque est la combinaison de la probabilité et de la (des) conséquence (s) de la survenue.

Qualitativement le risque se caractérise par :

- L'ampleur des dommages, suite à un événement redouté, selon un critère de gravité (critique, marginal, mineur, insignifiant, etc.). Ce critère tient compte de l'appréciation des conséquences en termes de pertes humaines (blessures, mort) ou en termes de pertes économiques (coût liés aux dégradations, etc.) ;

- Le caractère incertain lié à l'apparition d'un événement redouté (fréquent, rare, improbable, etc.) provoquant le dommage à partir d'une situation dangereuse déterminée.

Selon Gouriveau [7], le risque peut être défini par l'association d'événements causes et conséquences d'une situation donnée. Les événements-causes peuvent être caractérisés par leur occurrence ( $P$ ) et les événements-effets par leur impact ( $I$ ) (voir figure I.1). La corrélation de ces grandeurs permet de construire un indicateur de risque  $R = f(\text{Occurrence, Impact})$ .

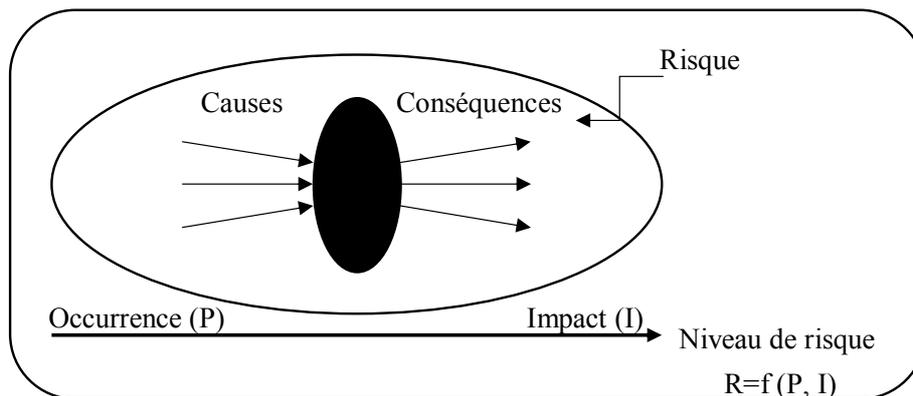


Figure (I.1) : Caractérisation du risque. [7]

### I.3.3. Notion d'accident :

Selon OHSAS 18001 [5], l'accident est un événement imprévu entraînant la mort, une détérioration de la santé, des lésions, des dommages ou autres pertes.

Le tableau I.1 présente un recueil des plus importants accidents industriels survenus dans le monde entre 1960 et 2001.

Accident	Type d'accident	Victimes et dégâts
<b>Feyzin-France (1966)</b>	Incendie d'une industrie de stockage pétrochimique	18 morts
<b>Flixborough-Grande-Bretagne (1974)</b>	Explosion sur un site industriel	28 morts
<b>Seveso-Italie (1976)</b>	Fuite de dioxine d'une usine chimique	37000 personnes touchées
<b>Bhopal-Inde (1984)</b>	Fuite d'un gaz toxique	2500 morts et 250000 blessés
<b>Mexico-Mexique (1984)</b>	Explosion d'une citerne de pétrole liquéfié	500 morts et 7000 blessés
<b>Tchernobyl-Ukraine (1986)</b>	Explosion d'une centrale	Plus de 15000 morts

	nucléaire	
<b>La Mède-France (1992)</b>	Explosion dans une raffinerie	6 morts et 7 blessés
<b>Toulouse-France (2001)</b>	Explosion d'un site industriel	30 morts et plus de 2000 blessés

Tableau (I.1) : Recueil des plus graves accidents industriels survenus dans le monde entre 1960 et 2001. [8]

L'ampleur et la fréquence de ces accidents ont suscité de nombreux efforts sur les études de risques afin de mieux les prévenir, les prévoir et les gérer.

#### **I.3.4. Notion de sécurité :**

La sécurité est souvent définie par rapport à son contraire : elle serait l'absence de danger, d'accident ou de sinistre.

Selon Desroches [9] la sécurité concerne la non occurrence d'événements pouvant diminuer ou porter atteinte à l'intégrité du système, pendant toute la durée de l'activité du système, que celle-ci soit réussie, dégradée ou ait échoué.

Et suivant le guide ISO/CEI 73 [10] élaboré par ISO sur la terminologie du management du risque, la sécurité est l'absence de risque inacceptable, de blessure ou d'atteinte à la santé des personnes, directement ou indirectement, résultant d'un dommage au matériel ou à l'environnement.

#### **I.3.5. Classification des risques :**

Dans la littérature, on trouve plusieurs classifications des risques. Selon Tanzi [11], l'analyse des risques permet de les classer en cinq grandes familles :

- Les risques naturels : inondation, feu de forêt, avalanche, tempête, séisme, etc. ;
- Les risques technologiques : d'origine anthropique, ils regroupent les risques industriels, nucléaire, biologiques, rupture de barrage, etc. ;
- Les risques de transports collectifs (sont aussi considérés comme des risques technologiques) : personnes, matières dangereuses ;
- Les risques de la vie quotidienne : accidents domestiques, accidents de la route, etc. ;
- Les risques liés aux conflits ;

Une des classifications les plus répandues est de classer les risques en deux catégories : les risques naturels et les risques liés à l'activité humaine. Selon cette classification, les risques peuvent être naturels dans le sens où ils ont trait à un événement sans cause humaine directe avérée. Les causes directes supposées ou indirectes ne doivent pas modifier cette distinction.

Les risques liés à l'activité humaine recouvrent un ensemble de catégories de risques

divers :

- Les risques techniques, technologiques, industriels et nucléaires ;
- Les risques liés aux transports ;
- Les risques sanitaires ;
- Les risques économiques, financiers, managériaux ;
- Les risques médiatiques ;
- Les risques professionnels ;

### **1.3.6. Notion d'acceptabilité du risque :**

Selon OHSAS 18001 [5], le risque acceptable est un risque qui a été réduit à un niveau tolérable pour un organisme en regard de ses obligations légales et de sa propre politique de santé et de sécurité au travail. Selon le guide ISO/IEC 51 [12], le risque accepté dans un certain contexte et fondé sur les valeurs admises par la société.

### **1.3.7. Notion d'inacceptabilité du risque :**

Tout risque susceptible d'entraîner un préjudice majeur alors que la prévention est possible, est réellement efficace dès lors qu'elle est organisée et effective. [13]

### **1.3.8. Risque potentiel et risque résiduel : [14]**

Le risque potentiel est le risque maximal encouru en l'absence de tout système de défense. Il est constitué à la fois des risques internes et risque externes.

La plupart du temps, un risque subsiste, même après la mise en œuvre des contrôles (barrière de prévention). Ce risque, qualifié de résiduel, subsiste :

- Soit du fait de l'inefficacité partielle du contrôle ;
- Soit parce que des erreurs ont été commises dans la mise en œuvre des contrôles ;

## **I.4. Analyse du risque :**

L'analyse du risque est définie dans le guide ISO/CEI 51 [12] comme : « *l'utilisation des informations disponibles pour identifier les phénomènes dangereux et estimer le risque* ».

L'analyse de risque constitue une démarche d'identification et de réduction des risques réalisée sous la responsabilité de l'exploitant. Elle décrit les scénarios qui conduisent aux phénomènes dangereux et accident potentiels. Elle conduit l'exploitant des installations à identifier et hiérarchiser les points critiques en termes de sécurité, en référence aux bonnes pratiques ainsi qu'au retour d'expérience de toute nature.

Cette démarche d'analyse de risques vise principalement à qualifier ou à quantifier le niveau de maîtrise des risques, en évaluant les mesures de sécurité mises en place par

l'exploitant, ainsi que l'importance des dispositifs et dispositions d'exploitation, techniques, humains ou organisationnels, qui concourent à cette maîtrise.

**NB** : pour avoir une bonne analyse de risque, il faut d'abord préciser la phase de vie de l'installation concerné par l'analyse (conception, montage, essais, exploitation, transformation ou démantèlement).

En fait, l'analyse de risque est de traiter le danger et pour cela identifier les processus de dangers c'est à dire l'enchaînement d'événements issus de systèmes sources de dangers et pouvant conduire à des événements non souhaités(ENS).

#### **1.4.1. Analyse qualitative :**

L'évaluation qualitative de la criticité consiste à utiliser un système de classement qualitatif qui vise à caractériser les risques, sur la base des questionnaires, d'avis d'expert, d'échelles descriptives ou numériques pour décrire l'intensité des conséquences potentielles et la vraisemblance que ces conséquences se produisent.

Il s'agit des grilles de criticité à description qualitative et de méthodes qui permettent d'allouer le niveau d'intégrité de sécurité à partir de la connaissance des risques associés au procédé. [15]

#### **1.4.2. Analyse semi quantitative :**

L'évaluation Semi-Quantitative de la criticité s'applique à la catégorisation des paramètres de risque (la fréquence et la gravité), et le 'score' final du risque est obtenu moyennant différentes méthodes. [16]

L'approche d'évaluation de la criticité est dite semi-quantitative, dans le sens où les probabilités de défaillance et les conséquences qui en découleraient sont classées dans des catégories dont les critères sont exposés à l'exploitant. [17]

Cette approche peut être utilisée pour évaluer les risques liés aux processus, et permet de décrire la manière dont se développe un scénario d'accident. Elle comprend les étapes suivantes [18] :

- Identifier les scénarios d'accident ;
- Identifier les événements de base pour chaque scénario. Les événements de base ayant causé des défaillances ou débouché vers un succès de la sécurité du système sont pris en compte ;
- Associer à chaque scénario sa probabilité d'occurrence correspondante ;
- Estimer la probabilité (catégorie approximative d'occurrence) ;
- Effectuer l'analyse des conséquences ;

- Associer à chaque conséquence son taux de gravité ;
- Evaluer la criticité du risque comme étant la combinaison de la fréquence et de la gravité ;

### **1.4.3. Analyse quantitative :**

L'évaluation quantitative de la criticité repose sur un modèle mathématique qui conduit à une valeur numérique de criticité basé sur des valeurs numériques des probabilités, de la vulnérabilité et des conséquences pouvant correspondre au coût monétaire, au taux de mortalité ou d'invalidité, au taux de dégagement d'un produit dangereux, .... C'est une tâche complexe, une série d'analyses et de calculs qui usent de divers modèles de simulation, particulièrement dans l'analyse des effets physiques, ce qui exige un software spécial (PHAST, ALOHA, ...).

[15]

### **I.5. Nécessité d'une méthode d'analyse : [19]**

Pour effectuer une bonne analyse de risque, il est nécessaire d'utiliser l'une des méthodes d'analyses existantes (arbre de défaillance, arbre d'évènement, MADS-MOSAR, LOPA...etc.).

Ces méthodes ont une double nécessité :

1/essayer de rationaliser les outils à caractère empirique. Le modèle MADS (Méthodologie d'analyse de dysfonctionnement des systèmes) tente de répondre à ce besoin. Modélisation systémique générale du danger, le modèle MADS constitue la structure conceptuelle des outils et méthodes empiriques ou semi-empiriques qui se sont développés sur le terrain.

2/construire des méthodes qui assurent à la fois une cohérence dans le déroulement de la démarche analytique, qui facilitent et articulent la mise en œuvre des outils précités, et qui participent à la genèse de l'information nécessaire à la bonne utilisation de ces derniers. MOSAR essaie de répondre à ces contraintes. Dans la méthode MADS-MOSAR, MADS permet de faire apparaître la structuration des dangers et par conséquent de les identifier de manière rationnelle.

Dans ce présent travail, on prendra la méthode de MADS-MOSAR pour une analyse exhaustive des risques liés au turbo-expander.

### **I.6. Modèle MADS : Méthodologie d'Analyses des Dysfonctionnements des Systèmes :**

#### **I.6.1. Historique de la méthode :**

Cette méthode est née d'un travail de terrain d'une vingtaine d'années. Dans les années 1980, La rencontre de l'équipe d'enseignants de l'IUT Hygiène et Sécurité de BORDEAUX (Université de BORDEAUX-TALENCE) et notamment de Jean Dos Santos amène la création du Groupe de réflexion MADS. C'est à partir du travail de ce dernier que la méthode, par un va et vient entre les applications de terrain, notamment en milieu industriel, l'enseignement et la réflexion, s'organise complètement et se stabilise. Une deuxième tentative de développement d'un système expert avec Jean-Louis ERMINE et l'IUT de BORDEAUX se solde aussi par un abandon. En 1994 l'idée de réaliser un Multimédia apparaît. Elle se concrétise en 1996 par la commande de l'INRS pour un CD-ROM d'aide à l'enseignement de la Maîtrise de Risques dans les Ecoles D'Ingénieurs. Une première version de ce dernier fait l'objet en 1997 d'un test dans une dizaine d'écoles avec suivi et synthèse des résultats par l'Ecole des Mines de Saint-Etienne et la version opérationnelle est diffusé en 1999. [19]

L'EDF et la SNECMA (Société Nationale d'Etude et de Construction de Moteurs d'Avions) ont été les premières entreprises qui ont utilisés cette méthode pour analyser les risques au niveau de leurs installations. [20]

**I.6.2. Description du modèle MADS : [19]**

Le modèle MADS (Méthodologie de dysfonctionnement des systèmes, voir figure I.2), appelé aussi Univers du danger est un outil qui permet de construire et de comprendre la problématique de l'analyse des risques. Il est construit sur les bases des principes de la modélisation systémique développés par Jean-Louis Le Moigne dans « *La Théorie du Système général* ».

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

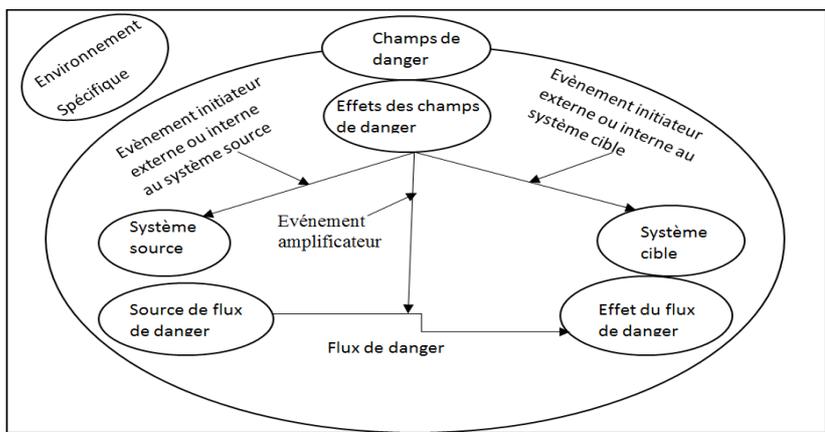


Figure (I.2) : Modèle MADS ou l'univers de danger. [19]

Les interactions existantes entre système source et système cible se font sous forme d'échange de flux, matière, information dans le temps, l'espace et la forme.

Cette modélisation se fait suivant la structure, le fonctionnement et les relations avec l'environnement et l'évolution des deux systèmes.

D'après le modèle d'univers de danger, le danger est l'ensemble des processus qui conduisent à un processus principal pouvant être généré par un système source de danger.

Le flux de danger est généré par une source de flux de danger à partir du système source de danger et il est constitué de matière, d'énergie, d'information. Si ce flux peut atteindre un système cible et avoir des effets sur ce dernier on parle alors de risque.

L'ensemble des processus est situé dans un environnement spécifique (partie de l'environnement qui le concerne) générateur de champs « processant » des effets sur ces processus.

La source de flux de danger est générée par un processus initiateur d'origine interne ou externe (et donc provenant de l'environnement spécifique). Symétriquement, il peut y avoir un processus renforçateur du flux sur la cible, d'origine interne ou externe (et donc provenant de l'environnement spécifique).

Certains champs sont plus spécifiquement des champs de danger dans la mesure où ils génèrent des processus origines ou renforçateurs des autres processus de danger.

L'ENS est la rencontre du processus principal avec un système cible.

Si on définit les processus comme des événements, ils seront comme suit :

- Événement Initial, la Source de Flux de Danger ;
- Événement Principal, le Flux ;
- Événement Final, l'impact du flux sur la cible ;
- Etats de la Cible, les états qu'elle va prendre dans le temps ;
- Événements Induits ou Effets induits, les effets de champs avec notamment l'événement initiateur issu du processus initiateur et événement renforçateur, l'événement issu du processus renforçateur ;

Le modèle montre l'enchaînement des événements qui, partant de l'événement initiateur, conduit aux différents états de la cible.

### **I.6.3. Développement de typologies : [21]**

Le modèle MADS permet de décrire et développer :

- Des typologies des systèmes sources de danger propres à chaque contexte ;
- Des typologies des cibles ;

- Une typologie générale des événements principaux ;
- Une typologie générale des champs. La structure des champs dépend des couples systèmes sources - systèmes cibles ;

#### **I.6.4. Introduction à la systémique pour une approche à la complexité : [22]**

Les systèmes industriels avec leurs opérateurs sont des systèmes complexes. Maîtriser leurs risques nous amène à pénétrer dans le domaine de la complexité.

La systémique nous aide à regarder la complexité pour pouvoir s'orienter. Elle est une éducation du regard et une hygiène de l'intelligence.

##### **I.6.4.1. Approche systémique :**

C'est une nouvelle discipline qui regroupe les démarches théoriques, pratiques et méthodologiques, relatives à l'étude de ce qui est reconnu comme trop complexe pour pouvoir être abordé de façon réductionniste, et qui pose des problèmes de frontières, de relations internes, de structure, de lois ou de propriétés émergentes caractérisant le système comme tel, ou de problèmes de mode d'observation, de représentation, de modélisation ou de simulation d'une totalité complexe.

##### **I.6.4.2. Concepts fondamentaux de l'approche systémique :**

L'approche systémique repose sur quatre concepts fondamentaux :

- La globalité : elle exprime à la fois l'interdépendance des éléments du système et la cohérence de l'ensemble. C'est la voie d'entrée dans la démarche systémique, selon laquelle tous les aspects d'un problème sont abordés à la fois d'un point de vue général « global » et « local » (d'approfondissement des détails) ;
- L'interaction : elle dépasse la simple relation de cause à effet. C'est un rapport d'influence ou d'échange portant aussi bien sur des flux de matières, d'énergie et d'information ;
- La complexité : un système est toujours complexe ;
- Organisation : permet d'ordonner les données d'un problème complexe, ce qui en facilite considérablement l'examen ;

##### **I.6.4.3. Analyse systémique :**

L'analyse des systèmes se fait en suivant les étapes suivantes :

1. Description de l'activité : En effet un système est « un ensemble d'éléments en interaction dynamique, organisé en fonction d'un but », ce but est l'élément essentiel qui permet de définir l'activité du système ;

2. Analyse de l'environnement : un système est en relation permanente avec son environnement dont il reçoit des entrées et fournit des sorties. Cet environnement conditionne le système et son comportement. Il doit être analysé d'abord en relation avec le système pris dans sa globalité ;
3. Analyse fonctionnelle : le système exerce une activité. Celle-ci est réalisée en exécutant un ensemble de fonctions qui peuvent être déduites de cette activité ;
4. Analyse structurale (ou organique) : chaque fonction peut être réalisée par un ou plusieurs composants de différents types ;
5. Analyse des interactions : C'est l'interaction entre les composants d'un système qui assure l'activité de celui-ci et fait qu'un ensemble d'éléments constitue un système ;

### **I.7. Structure générale de la méthode MOSAR : [19]**

Cette méthode s'articule sur deux visions (voir figure I.3) :

- Vision macroscopique : c'est le module A de la méthode, consiste à faire une analyse des risques de proximités. C'est parce que les éléments qui constituent l'installation (stockages, machines, chaînes de fabrication, opérateurs) sont à proximité les uns des autres que des risques apparaissent, souvent majeurs. Ces éléments sont modélisés sous forme de systèmes ce qui va permettre d'identifier en quoi ils peuvent être sources de danger. On recherche ensuite comment ils peuvent interférer entre eux et avec leur environnement pour générer des scénarios d'accidents. Ce travail nécessite la mise en œuvre du modèle MADS (Méthodologie d'Analyse de Dysfonctionnement des Systèmes). Ce module comporte aussi une phase de négociation avec les acteurs concernés, qui va permettre d'établir un consensus sur les risques acceptables sous forme d'une grille Gravité-Probabilité ;
- Vision microscopique : c'est le module B de la méthode, consiste à faire une analyse détaillée et complémentaire des dysfonctionnements techniques et opératoires identifiés dans le module A. Dans les scénarios établis dans le module A, on va développer les dysfonctionnements de nature opératoire et ceux de nature technique. C'est à ce niveau que l'on mettra en œuvre les outils comme les AMDEC, HAZOP et les arbres logiques. Le module se termine par le rassemblement et l'organisation de l'information acquise pour la gestion des risques c'est-à-dire des scénarios identifiés s'ils surviennent ;

#### **I.7.1. les étapes de construction de la méthode MOSAR :**

Comme c'est représenté dans la figure ci-dessous (voir figure I.3), les étapes sont les suivantes :

1. Identification des sources de danger ;

2. Identification des scénarios de danger ;
3. Evaluation des scénarios de risques ;
4. Négociation d'objectifs et hiérarchisation des scénarios ;
5. Définition des moyens de prévention et de protection et qualification de ces moyens ;
6. Identifier les risques de fonctionnement ;
7. Evaluer les risques en construisant des ADD et en les quantifiant ;
8. Négocier des objectifs précis de prévention ;
9. Affiner les moyens de prévention ;
10. Gérer les risques ;

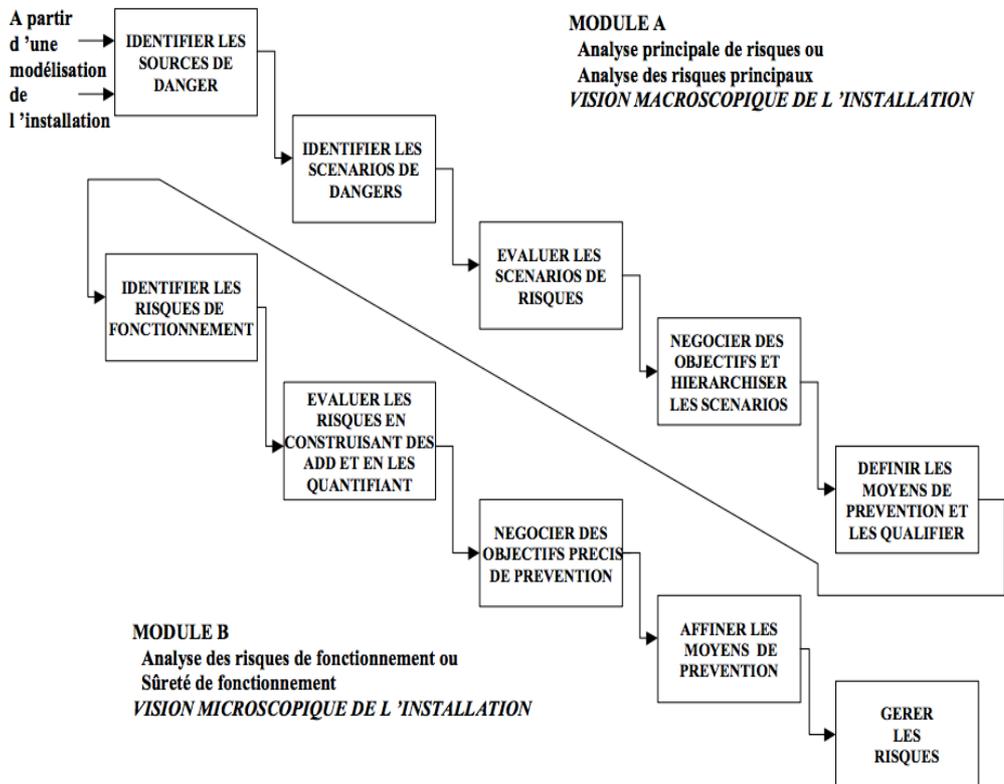


Figure (I.3) : Structure de la méthode MOSAR. [19]

### I.8. Conclusion :

Dans le présent chapitre, nous avons présenté le cadre général de notre travail, à savoir, l'historique de risque et l'analyse des risques. Nous avons d'abord repris les notions-clés telles que le danger, le risque, la sécurité et l'accident et nous avons introduit la notion d'acceptabilité des risques, les différentes approches d'évaluation de la criticité ainsi l'historique de la méthode MADS-MOSAR et sa description générale afin de l'appliquer dans le troisième chapitre.

# CHAPITRE II

*Description du turbo-expander  
et présentation du GTFT*

## **II.1. Introduction :**

Pour avoir une bonne application de la méthode de MADS-MOSAR, il faut bien comprendre la structure générale du système, son fonctionnement, ses interactions avec les installations de proximités ainsi son environnement.

Donc, dans ce présent chapitre nous présenterons le groupement TFT où notre analyse a été menée et le process de traitement du gaz pour mieux localiser et comprendre le principe de fonctionnement du turbo-expander par une décomposition détaillée de ses sections.

## **II.2. Présentation du Groupement TIN FOUYE TABANKORT (GTFT) : [23]**

Le groupement TFT (GTFT) a été créé sous forme d'association à l'issue d'un contrat de partage de production signé entre Sonatrach (35%), Total (35%) et Repsol YPF (30%) en 1996, pour une durée de 20 ans à compter de la réception provisoire des installations de production qui a été en 1999.

GTFT est dirigée par un administrateur et un vice-administrateur, représentants nommés par Sonatrach et Total. Au niveau du management opérationnel, la société est principalement composée du personnel des trois partenaires. La main d'œuvre est principalement détachée par Sonatrach, ou constituée de prestataires.

Groupement TFT emploie directement ou indirectement environ 300 personnes, travaillant en rotation sur le périmètre de TFT. La direction générale et les fonctions de support et de logistique sont basées à Hassi Messaoud.

### **II.2.1. Historique :**

- **1966** : découverte du champ de gaz du bassin Illizi au Sahara ;
- **1996** : - signature du contrat de partage par SONATRACH (35%), TOTAL (35%) et REPSOL (30%) ;
  - engineering et construction assurés par KBR (Kellog Brown & Root);
- **1999** : mise en production du champ de gaz naturel de TFT ;
- **2007** : mise en place des travaux de boosting ;
- **2009** : démarrage de boosting ;

## II.2.2. Situation géographique :

Le périmètre Tin Fouyé Tabankort couvre 1200 kilomètres carrés dans la région du Tinrhert, dans le Sahara algérien, au nord de la wilaya d'Illizi. Il est situé le long de la route nationale N3, à environ 1000 kilomètres au sud-est d'Alger, 380 kilomètres au sud-est de Hassi Messaoud, et environ 200 kilomètres à l'ouest d'In Aménas (voir figure II.1).

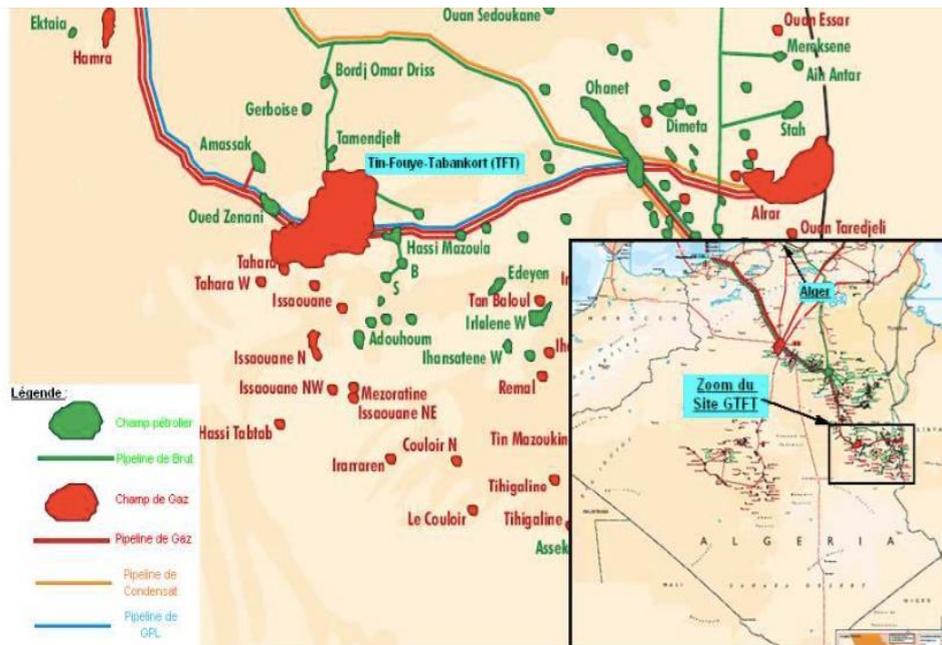


Figure (II.1) : Situation géographique du GTFT. [23]

## II.2.3. Capacité de production et de stockage :

La capacité de production de cette unité de traitement est :

- Gaz sec : 118.0 Nm<sup>3</sup>/J.
- Condensât : 2800T/J.
- GPL : 2600T/J.

Le stockage est assuré par :

- Trois sphères de 500m<sup>3</sup> pour le GPL.
- Deux bacs de 6000m<sup>3</sup> pour le condensât.
- Un bac de 2000m<sup>3</sup> pour le condensât off spec.

## II.2.4. Organisation :

L'organisation du site GTFT se base autour de 6 départements et chaque département lui-même se devise en plusieurs services (voir figure II.2) :

- Département maintenance ;
- Département exploitation ;

- Département engineering & production ;
- Département logistique ;
- Département travaux neufs ;
- Service HSE ;

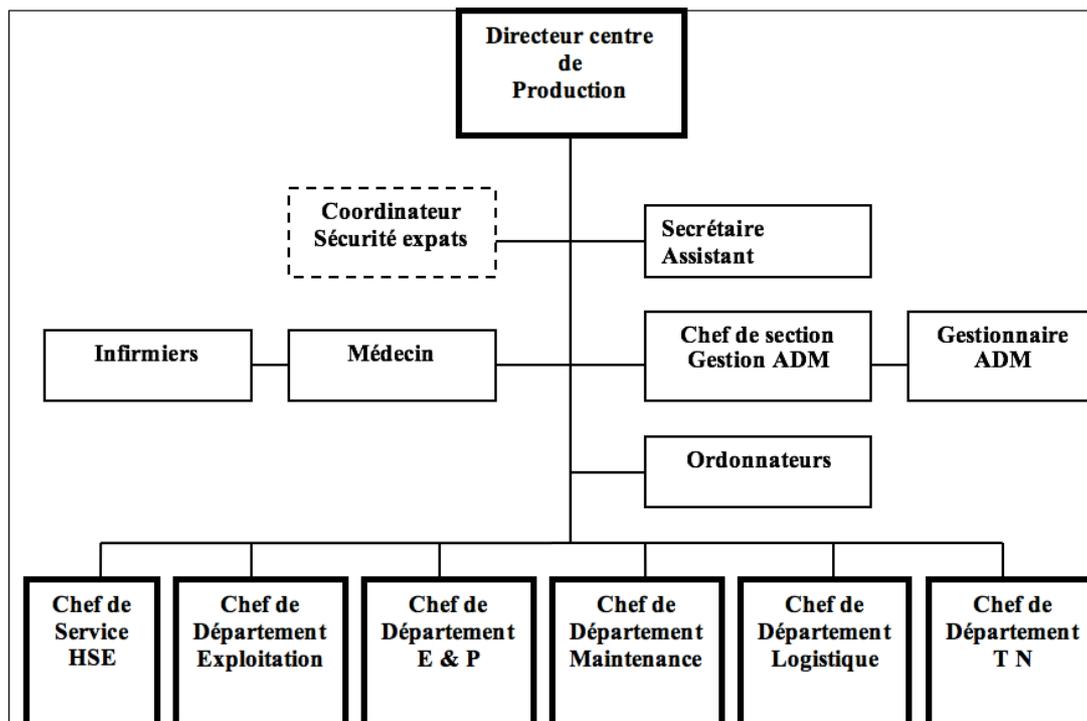


Figure (II.2) : Organigramme d'organisation du GTFT. [23]

### II.2.5. Service HSE :

La figure (II.3) présente la composition du service HSE :

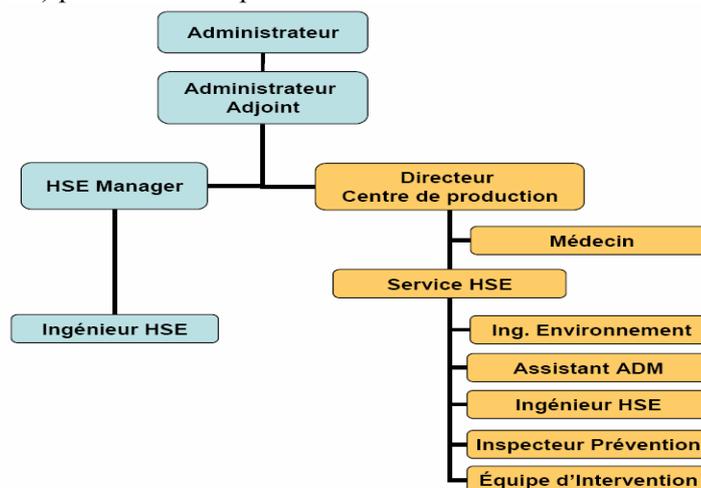


Figure (II.3) : Composition du service HSE. [23]

Ce service a pour mission :

- D’assurer le fonctionnement des installations, du matériel et des équipements selon les normes en vigueur ;
- D’adapter le milieu de travail à l’homme en matière d’hygiène, de santé et de sécurité afin d’éviter toute atteinte physiologique ;
- De préserver le milieu naturel ;

### II.3. Description générale du procédé de traitement du gaz au niveau du GTFT : [24]

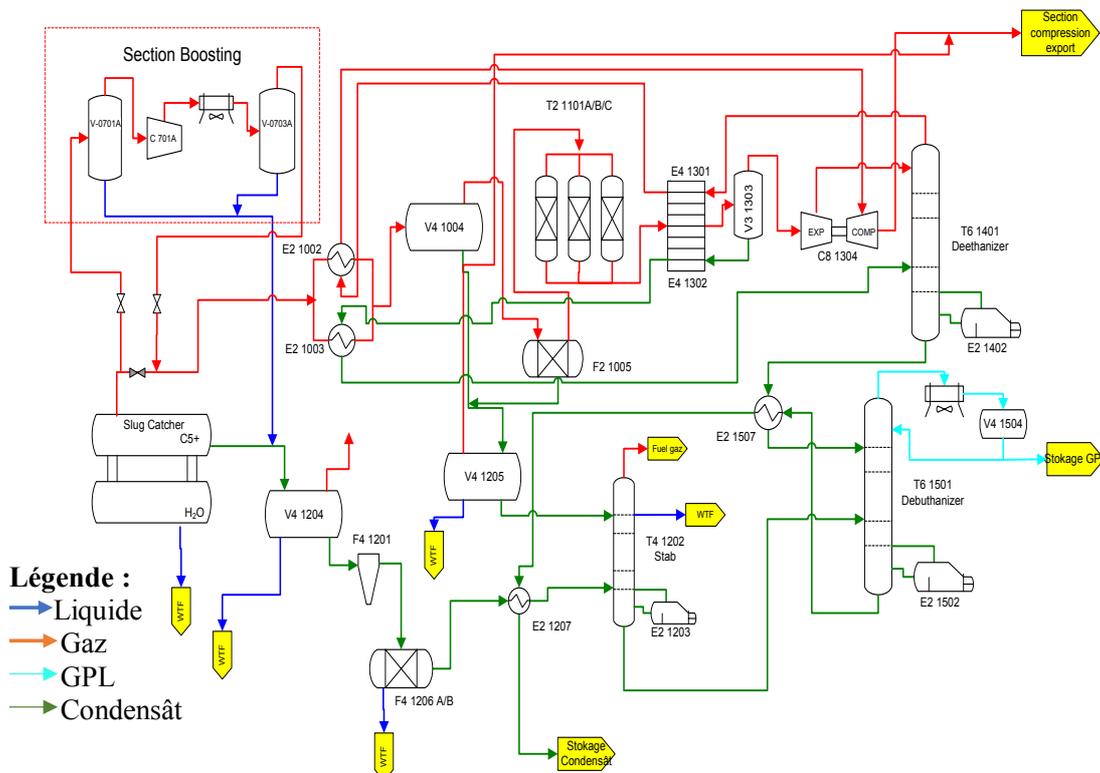


Figure (II.4) : Schéma représentant le procédé de traitement du gaz au niveau du GTFT. [23]

Le site est localisé sur le champ de gaz à condensats du Groupement de Tin Fouyé Tabankort (GTFT). Il assure principalement l’extraction et le traitement de ce gaz.

Deux trains de traitement, identiques d’un point de vue équipements et procédé, permettant la séparation :

- Du gaz ;
- Du GPL ;
- Des condensats ;

Les trois produits séparés dans le procédé et expédiés doivent respecter les

spécifications suivantes :

- **Gaz résiduel :**

Spécifications	Gaz résiduel
Humidité Max. (Ppm)	50
Pression Max. (Bar)	71
Température. (°C)	60

Tableau (II.1) : Spécifications du gaz résiduel. [24]

- **GPL :**

Spécifications	GPL
Teneur C2- Max. (% mol)	3,0
Teneur C5+ Max. (% mol)	0,4
Teneur en eau Max. (Ppm)	100
Pression Min. (Bar)	45

Tableau (II.2) : Spécifications du GPL. [24]

- **Condensats :**

Spécifications	Condensats
Tension de vapeur. (Psi)	10
Pression min. (bar)	24

Tableau (II.3) : Spécifications des condensats. [24]

### II.3.1. Puits, manifolds et arrivée du gaz :

#### II.3.1.1. Puits de production :

GTFT exploite environ 80 puits répartis dans un rayon d'une vingtaine de kilomètres autour du site.

Les puits sont mis en service suivant la demande de production.

Chaque puits se compose :

- De la complétion du puits ;
- D'une tête de puits ;
- D'une ligne de production vers le manifold ;

#### II.3.1.2. Manifolds et trunklines :

Des manifolds et mini-manifolds récupèrent les hydrocarbures liquides et gaz extraits par l'ensemble des puits.

Six trunklines TL1, TL2, TL3, TL4, TL6 et TL7, d'un diamètre compris entre 10" et 24", collectent le gaz à condensats des manifolds et mini-manifolds et le dirigent vers l'usine de traitement.

### **II.3.1.3. Manifold d'entrée usine et slug catcher :**

Un manifold à l'entrée de l'usine collecte le gaz à condensats des six trunklines et alimente le slug catcher XV 0701 à une température de 45°C et à une pression de 34.6 bar.

Le slug catcher XV 0701 est composé de deux compartiments identiques A et B permettant la séparation du gaz, des condensats et de l'eau.

Le gaz brut saturé est dirigé vers les compresseurs boosters (C 0701A/B) puis vers les trains 1 et 2 de traitement.

Les condensats sont envoyés vers le séparateur primaire de condensats V4 1204.

L'eau est envoyée au système de traitement d'eau de production.

### **II.3.2. Boosting :**

Le boosting a été mis en place pour compenser la chute de pression progressive au niveau du gisement (de 64 bars en 2008 à 34 bars en 2011). Il permet de maintenir le plateau de production ainsi que de comprimer le gaz naturel à une pression de 67 bars à l'entrée des trains de traitement.

Le boosting est constitué de deux trains de compression A et B, identiques fonctionnant en parallèle.

### **II.3.3. Trains de traitement :**

L'installation de GTFT est constituée de deux trains de traitement du gaz, identiques d'un point de vue procédé. L'objectif final de ce traitement est d'avoir trois produits finis : le gaz sec, le GPL et les condensats.

#### **II.3.3.1. Refroidissement et séparation du gaz brut :**

Le gaz brut saturé provenant du slug catcher XV 0701 entre dans le train de traitement à une pression de 64 bar.

Les échangeurs, E2 1002 et E2 1003, qui fonctionnent en parallèle permettent son refroidissement de 45°C à environ 23°C.

Le gaz brut refroidi alimente le séparateur triphasique V4 1004, dans lequel s'effectue la séparation :

- Du gaz brut ;
- Des condensats, dirigés vers le séparateur primaire de condensats V4 1205 ;

- De l'eau de production, envoyée vers le ballon de récupération (traitement eau de production) ;

Le gaz brut est envoyé vers les coalesceurs horizontaux F2 1005A/B disposés en parallèle et permettant l'élimination des éventuelles gouttelettes liquides restantes (hydrocarbures et eau) avant l'étape de séchage.

Les condensats, récupérés au niveau du séparateur et des coalesceurs, sont envoyés au séparateur V4 1205.

### **II.3.3.2. Séchage du gaz par adsorption :**

L'étape de séchage permet d'atteindre une teneur en eau dans le gaz inférieure à 0,1 ppm, afin d'éviter les problèmes liés à la formation d'hydrates dans la suite du procédé.

Elle repose sur une technique d'adsorption sur tamis moléculaires.

Le fonctionnement des adsorbants T2 1101A/B/C (encore appelés tours de séchage ou sécheurs) est cyclique (durée du cycle de 20 h) et comprend :

- Une phase d'adsorption au cours de laquelle les molécules d'eau présentes dans le gaz humide sont captées par les tamis moléculaires ;
- Une phase de régénération, constituée des cycles de chauffage, de refroidissement et d'attente, permet de décharger les tamis moléculaires saturés en eau ;

En sortie des adsorbants, le gaz traverse les filtres à poussières F2 1102A/B, permettant de retenir les éventuelles particules entraînées lors du passage du gaz à travers les tamis.

### **II.3.3.3. Refroidissement et détente du gaz sec :**

Les étapes de refroidissement et de détente du gaz permettent au gaz d'être dans les conditions optimales pour la séparation des C3+ d'une part et des C2- avec les gaz les plus légers d'autre part.

Le gaz sec, à 23° C, est refroidi dans la Cold Box E4 1301 / E4 1302 à -19°C, grâce à deux courants froids ; l'un, à l'état gazeux, provient de la tête du dééthaniseur à une température de -56°C (partie E4 1301) tandis que l'autre, à l'état liquide, provient du fond du séparateur V3 1303 d'alimentation du turbo-expander (partie E4 1302) à une température de -39°C.

Le fluide de refroidissement sortant de la partie E4 1301 est dirigé vers l'échangeur E2 1002 tandis que le fluide de refroidissement sortant de la partie E4 1302 est dirigé vers l'échangeur E2 1003.

Le gaz sec refroidi est séparé des hydrocarbures liquides dans le séparateur V3 1303 d'alimentation du turbo-expander, puis acheminé vers le turbo-expander C8 1304 où la détente du gaz a lieu.

La détente du gaz s'effectue :

- Soit dans la partie expander du turbo-expander C8 1304 d'environ 62,5 bar à 19,5 bar ;
- Soit dans la vanne Joule Thomson PV 1338A, d'environ 62,5 bar à 26,9 bar. Ce by-pass du turbo-expander C8 1304 assure le fonctionnement du train dans les conditions d'exploitation transitoires suivantes :
  - Mise en service du train ;
  - Arrêt contrôlé du train ;
  - Arrêt et remise en service du turbo-expander C8 1304 ;
  - Expander hors service suite à une indisponibilité de la machine jusqu'à sa remise en service ;

#### **II.3.4. Traitement des condensats :**

Les condensats récupérés au niveau du slug catcher entrent dans le train de traitement à une pression de 30 bar. Ce traitement est composé des étapes de séparation, filtration, préchauffage et stabilisation.

#### **II.3.5. Dééthanisation :**

La dééthanisation est la première étape de fractionnement du gaz au cours de laquelle le composant plus léger (C1+C2) est séparé des C3+.

Le dééthaniseur est conçu pour atteindre une fraction de  $C2 / (C3+C4)$  de 0,03 ou moins, à une température de fond de 84 °C. Le produit de tête est envoyé vers la cold box tandis que le produit de fond est dirigé vers le débutaniseur.

#### **II.3.6. Débutanisation :**

La débutanisation est la dernière étape de production du GPL.

La débutanisation permet la séparation :

- Des C4 et fractions plus légères (GPL) distillés en tête du débutaniseur et doivent respecter les spécifications de 3% de C2- et 0,4% de C5+ ;
- Des C5 et fractions plus lourdes récupérés au fond du débutaniseur et doivent respecter la spécification sur la TVR de 10 psi. Ils sont dirigés vers l'échangeur E2 1507, afin de réchauffer les liquides évacués au fond du dééthaniseur puis ils sont refroidis de 112,4°C à 53°C dans

l'aéroréfrigérant et de 53°C à 45°C dans l'échangeur E2 1207 avant d'être envoyés vers les bacs de stockage ;

### **II.3.7. Stockage et distribution :**

#### **II.3.7.1 GPL :**

Le GPL, refoulé par les pompes P1 1505A/B du débutaniseur T6 1501, est dirigé vers :

- La sphère de stockage on-spec V6 4101 (500 m<sup>3</sup>) s'il respecte les spécifications ;
- Les sphères de stockage off-spec V6 4102A/B (500 m<sup>3</sup>) dans le cas échéant ;

**NB :** En cas de saturation de la sphère on-spec V6 4101, les sphères off-spec V6 4102A/B peuvent être utilisées pour stocker le GPL on-spec.

En marche normale, le GPL on-spec est acheminé aux pompes d'expédition P1 4201A/B/C via les pompes Booster P1 4103A/B/C qui refoulent à une pression d'environ 20,6 bar. En cas d'indisponibilité du pipeline d'export, le GPL on-spec est dirigé au refoulement des compresseurs de gaz résiduel via les pompes de vaporisation P3 4105A/B qui refoulent à une pression d'environ 81 bar.

Le GPL off-spec est recyclé, via les pompes P1 4104A/B à une pression d'environ 30 bar vers les dééthaniseurs T6 1401 / T6 2401 afin d'être retraité.

#### **II.3.7.2. Condensats :**

Les condensats on-spec des trains de traitement sont stockés dans les deux bacs S2 4301A/B (6000 m<sup>3</sup>) avant leur envoi vers les pompes d'expédition P1 4401A/B/C.

Les condensats off-spec passent par le ballon de dégazage T8 4305 permettant d'éliminer les contaminants légers présents. Ils sont ensuite stockés dans le bac off-spec S2 4302 (2000 m<sup>3</sup>) avant d'être dirigé vers les pompes d'expédition P1 4401A/B/C.

Le ballon V4 4306 collecte les drains de condensats avant leur envoi vers le bac off-spec S2 4302, via les pompes immergées P4 4307A/B.

### **II.4. Turbo-expander :**

Afin de faciliter la récupération du GPL, le turbo-expander permet de diminuer la température ainsi que la pression du gaz arrivé par une détente isentropique. Lors de la détente, l'énergie cinétique du gaz se transforme en énergie mécanique par le contact avec la roue de l'expander. L'énergie récupérée est utilisée pour entrainer la partie de compresseur qui augmente la pression des fractions légères dans une phase du procédé d'expédition.

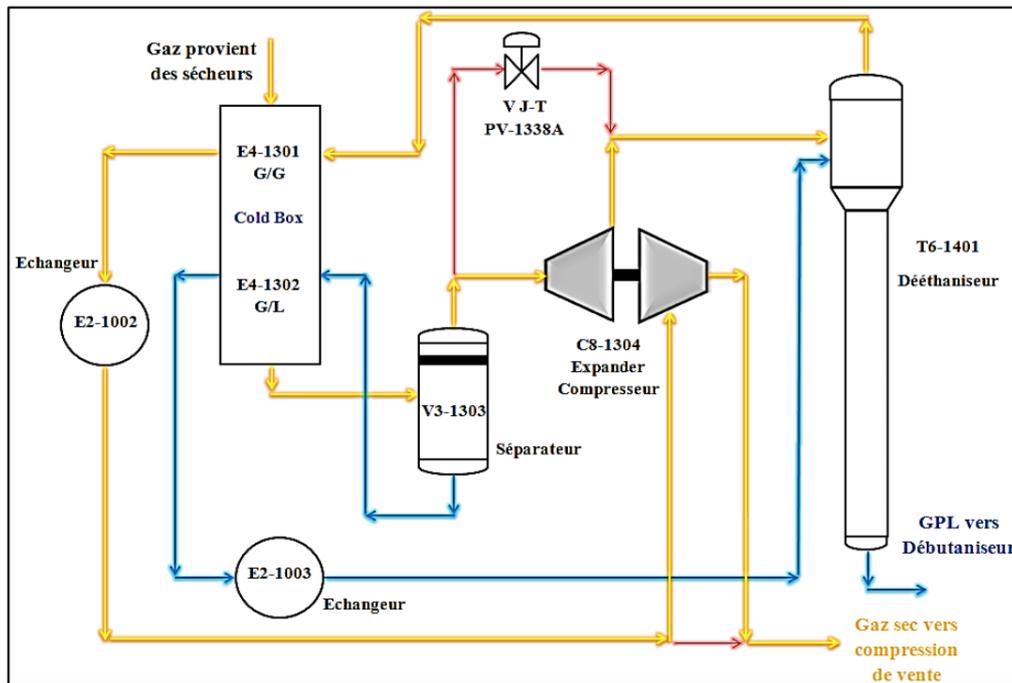


Figure (II.5) : Schéma du process de la section de détente du turbo-expander. [23]

#### II.4.1. Principe thermodynamique du turbo-expander :

Un turbo-expander est une machine dynamique, à travers laquelle l'effluent de gaz subit une détente isentropique, Cette détente s'accompagne d'une production de froid dont l'énergie est égale au travail mécanique obtenu.

#### II.4.2. Composition du turbo-expander : [25]

Le turbo-expander à des paliers hydrauliques est constitué de deux parties essentielles, partie expander et partie compresseur.

Il se divise en trois sections principales :

- La section de l'expander comprenant les brides d'entrée et de sortie ;
- La section centrale de rotation ;
- La section du compresseur comprenant les brides d'entrée et de sortie ;

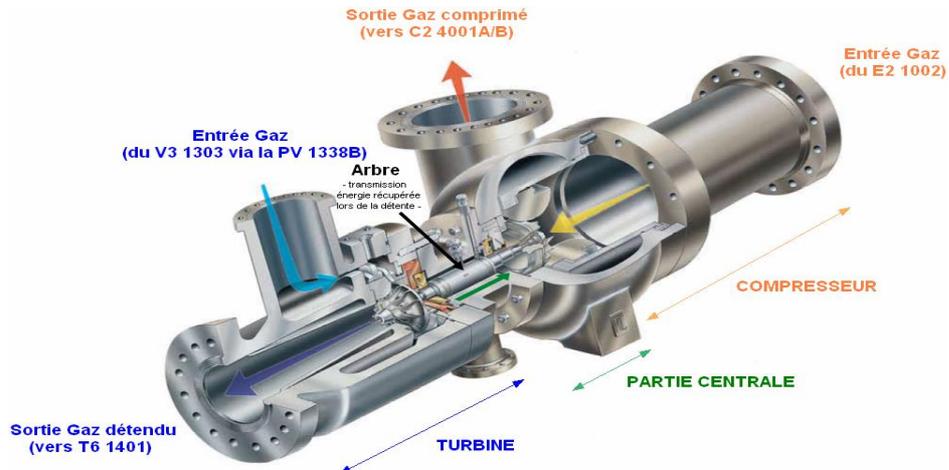
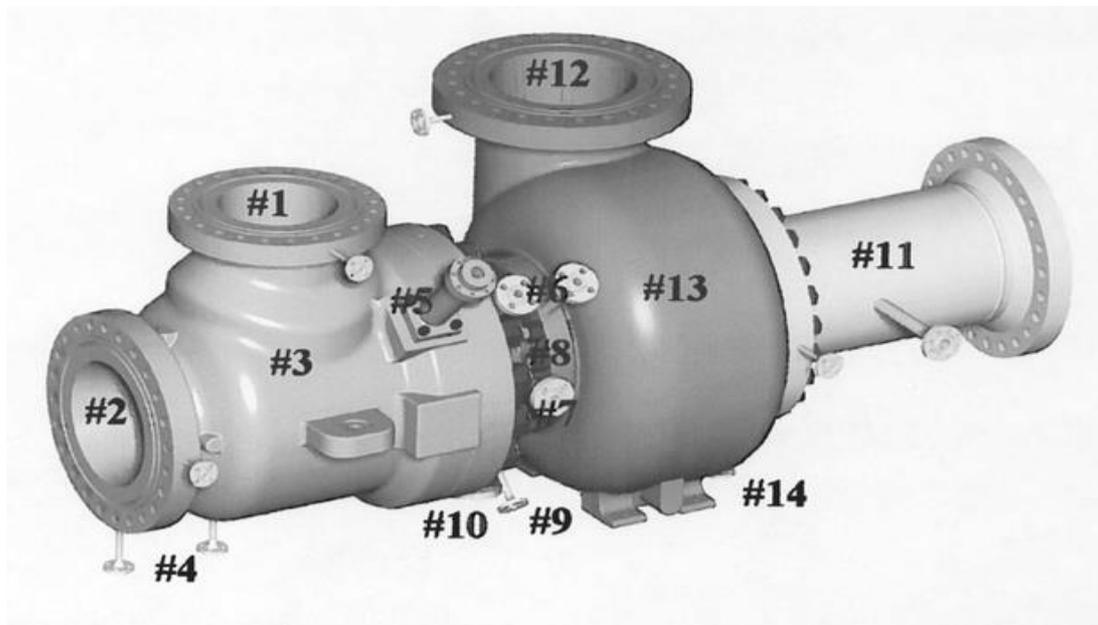


Figure (II.6) : Sections principales du turbo-expander. [25]



**Légende :**

- |  |                                       |
|--|---------------------------------------|
| #1 : admission de l'expander.                  | #2 : refoulement de l'expander.       |
| #3 : boîtier de l'expander.                    | #4 : purges de boîtier de l'expander. |
| #5 : les aubes d'admission.                    | #6 : gaz d'étanchéité.                |
| #7 : alimentation de l'huile de lubrification. | #8 : boîtier des paliers.             |
| #9 : pression de roue expander.                | #10 : retour d'huile au réservoir.    |
| #11 : admission du compresseur.                | #12 : refoulement du compresseur.     |
| #13 : boîtier du compresseur.                  | #14 : purges du boîtier compresseur.  |

Figure (II.7) : Composants du turbo-expander. [25]

### II.4.2.1. Aubes directrices d'entrée variable :

Le débit entrant dans l'expander est réglé par ces aubes. Elles résistent la pression d'entrée maximale de l'expander et peuvent être réglées pour faire varier l'écoulement à travers l'expander. Un actionneur à diaphragme pneumatique avec positionneur intégral contrôle l'ouverture de l'aube directrice. Un signal de commande à air indique à l'actionneur de régler l'ouverture de l'aube directrice d'entrée pour compenser les changements des conditions de procédé.

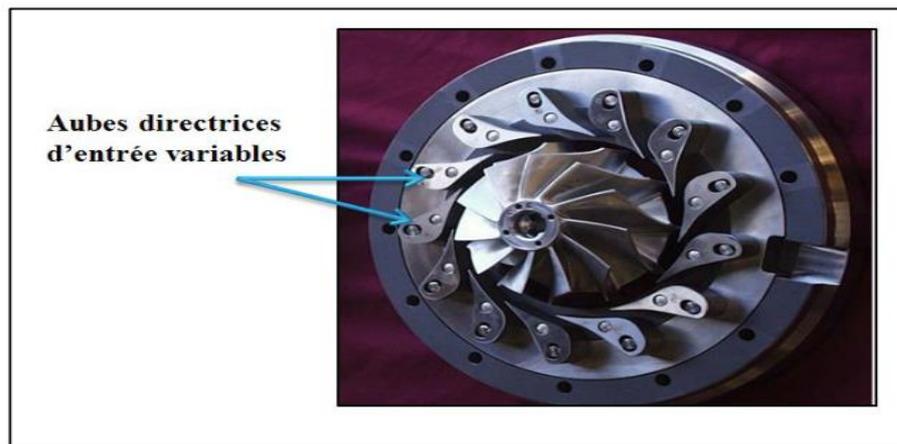


Figure (II.8) : Aubes directrices d'entrée variable. [26]

### II.4.2.2. Roues de l'expander-compresseur :

La détente se fait à l'aide de la roue côté expander en transformant l'énergie cinétique du gaz en énergie mécanique pour entraîner le compresseur afin d'augmenter la pression du gaz d'expédition par la rotation de sa propre roue. Les roues de turbo-expander sont usinées à partir des plaques, des barres et des pièces forgées massifs.

Chaque roue a été soumise à des essais de résistance aux vibrations et aux fréquences de résonance de la lame et du disque.



-Roue de l'expander.



-Roue du compresseur.

Figure (II.9) : Les roues de l'expander et du compresseur. [26]

### II.4.2.3. Arbre :

Les roues turbo-expander sont fixées à l'arbre afin de transmettre le mouvement rotatif créée par le contact du gaz avec la roue côté-expander vers la roue côté-compresseur.



Figure (II.10) : Arbre du turbo-expander. [26]

### II.4.2.4. Joint d'étanchéité de l'arbre :

Le joint d'étanchéité est de type labyrinthe, a pour but de minimiser les fuites du gaz de process et d'huile de lubrification. En injectant un gaz d'étanchéité (gaz sec).

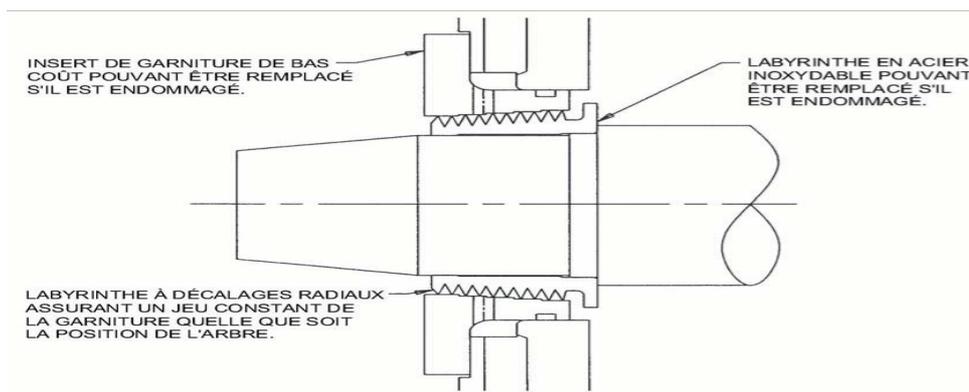


Figure (II.11) : L'assemblage du joint d'étanchéité. [25]

### II.4.2.5. Paliers :

Des paliers radiaux sont utilisés dans les deux côtés afin de maintenir la position axiale du rotor.



Figure (II.12) : Paliers. [26]

### II.4.2.6. Egalisateur automatique de poussée (ATE) :

Les charges de poussée sont maintenues bien en dessous de la capacité des paliers par l'égalisateur automatique de poussée (ATE).

Les signaux de pression de poussée provenant de chaque palier alimentent les côtés opposés d'un piston à tiroir cylindrique. Ce piston module la pression derrière la roue du compresseur pour contrôler la poussée du rotor.

La pression de l'huile est transmise à partir de petites ouvertures situées sur les côtés des paliers de butée vers les cavités correspondantes dans la chambre d'égalisation de poussée. Le piston du compensateur de poussée actionne la vanne d'obturation pour régler la pression derrière la roue du compresseur et équilibre la charge de poussée à des niveaux acceptables.

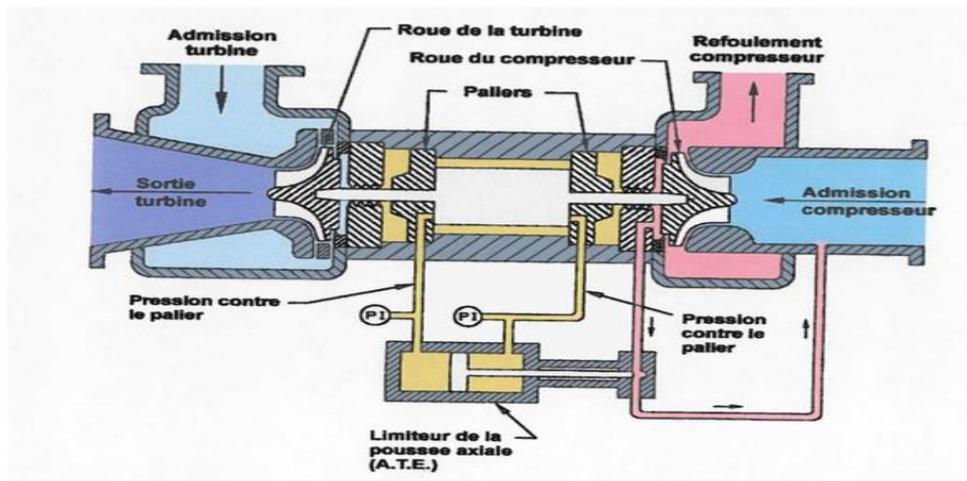


Figure (II.13) : Egalisateur automatique de poussée (ATE). [25]

### II.4.2.7. Joints d'étanchéité de boîtiers :

Un joint à ressort à lèvres en téflon est utilisé pour assurer l'étanchéité des boîtiers cryogéniques (entre chaque assemblage : compresseur/partie centrale et expander/partie centrale). Il est très fiable d'empêcher les fuites entre les trois boîtiers.



Figure (II.14) : Joints d'étanchéités de boîtiers. [25]

### II.4.2.8. Système de lubrification :

Le système d'huile de lubrification est constitué d'un réservoir, d'une pompe d'huile de lubrification, de filtres, d'un accumulateur et de commandes et d'instruments pour le contrôle de la température et la pression. Tout le matériel est monté sur un système de support commun attaché à la machinerie du turbo-Expander.

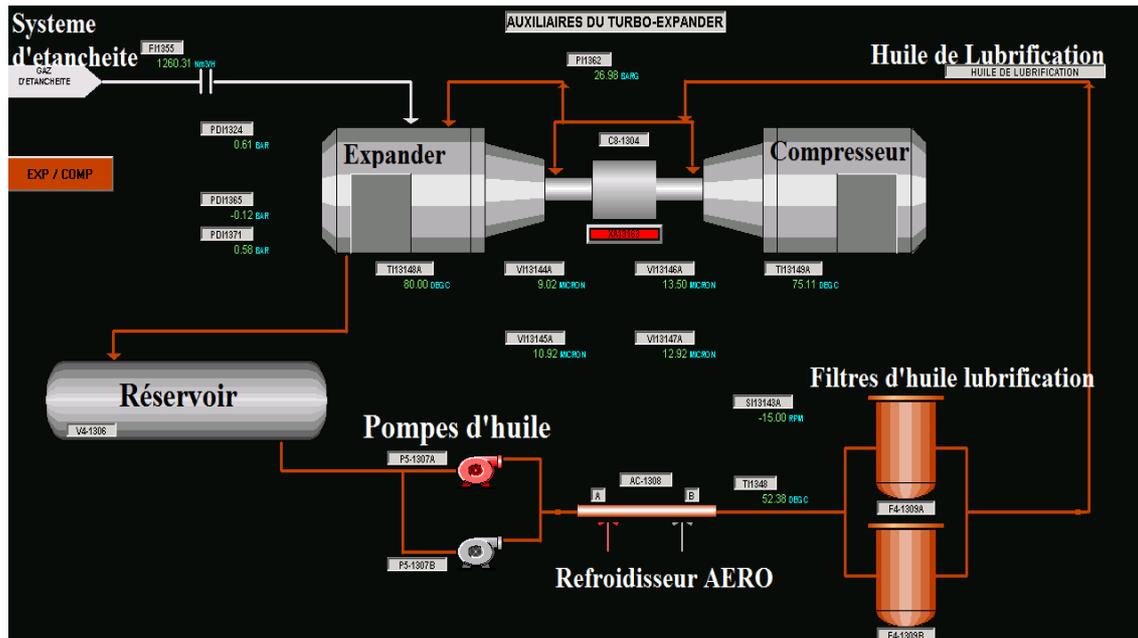


Figure (II.15) : Système de lubrification. [24]

#### II.4.2.8.1. Pompe d'huile de lubrification :

Les pompes d'huile de lubrification sont du type industriel à piston, elles sont contrôlées directement par des moteurs électriques. Ces pompes ont pour but d'injecter l'huile de l'lubrification dans le boîtier des paliers à partir du réservoir d'huile.

#### II.4.2.8.2. Réservoir :

Ce réservoir permet d'emmagasiner toute l'huile lors d'une vidange d'arrêt. Il est muni d'une jauge d'huile, d'un commutateur d'alarme de niveau bas, d'une vanne de vidange, d'un appareil de chauffage.

#### II.4.2.8.3. Refroidisseurs d'huile :

Pour refroidir l'huile venant du réservoir d'huile, avant de l'injecter dans le boîtier des paliers, en utilisant des aérorefrigérants.

#### II.4.2.8.4. Filtres d'huile de lubrification :

Il y a deux filtres de lubrification qui sont munis d'une vanne. Les éléments des filtres peuvent être remplacés sans avoir à arrêter le turbo-expander.

**II.4.2.8.5. Accumulateurs :**

Des accumulateurs souples sont équipés pour alimenter les paliers en huile de lubrification pendant le ralentissement en cas de panne des pompes à huiles.

**II.4.2.8.6. Soupape de régulation de pression de l'huile de lubrification :**

Une soupape de régulation est intégrée pour maintenir automatiquement une pression d'huile de lubrification constante dans les paliers.

**II.4.2.8.7. Système du gaz d'étanchéité :**

Le gaz d'étanchéité forme une barrière :

- De pression pour garder l'huile dans les paliers ;
- De température ;
- De propreté ;

Le système de gaz d'étanchéité fournit un gaz propre, sec, chaud aux joints de l'arbre, situés entre les roues de l'expander et du compresseur et de leurs paliers respectifs.

Le gaz d'étanchéité est important pour maintenir l'huile de lubrification loin du gaz de traitement pour le garder froid et éloigné des paliers.

Le système de gaz d'étanchéité comprend précisément un traçage électrique, un filtre et un dispositif de contrôle de contre pression. Le traçage électrique destiné à élever la température du gaz d'étanchéité habituellement entre 32°C et 54°C pour empêcher la condensation éventuelle des composés lourds du gaz quand le gaz d'étanchéité est en contact avec les parois froides des joints de l'arbre à l'intérieur de l'expander.

Le filtre empêche les poussières et les corps étrangers d'être injectés dans les joints de l'arbre et le dispositif de contrôle de pression surveille la pression du gaz situé derrière la roue de l'expander et fournit précisément du gaz d'étanchéité à une pression d'environ 3,5 Bar.

**II.4.2.9. Système anti-pompage côté compresseur :**

Le phénomène de pompage s'apparaît lorsque le débit d'aspiration est insuffisant pour le fonctionnement normal du côté compresseur. Pour éviter ce problème, un système anti-pompage est installé afin de compenser l'insuffisance par l'ouverture automatique de la vanne anti-pompage qui injecte le débit d'aspiration manquant à partir du gaz refoulé.

**II.4.2.10. Système de l'instrumentation et de commande :**

Les instruments et les commandes nécessaires pour le fonctionnement du turbo expander sont montés sur un panneau de commande/d'indicateurs local situé à une extrémité de la base du patin du système.



Figure (II.16) : Panneau de commande. [26]

### **II.4.3. Retour d'expérience du turbo-expander :**

Toute démarche d'application de la méthode de MADS-MOSAR se base sur l'analyse des scénarios d'accidents qui ont déjà eu lieu.

Dans notre analyse des risques liés au Turbo-expander à des paliers hydrauliques au niveau du GTFT, ce dernier n'a jamais fait l'objet d'un accident, seulement des dépassements des paramètres de fonctionnement normal surtout la vitesse de rotation et les vibrations (la vitesse normale de rotation est de 12000 tr/min, et cette dernière ne doit pas passer les 14000 tr/min).

Ainsi, après avoir consulté les différentes bases de données du retour d'expérience les plus connus au niveau mondial (ARIA BARPI, CONCAWE), on a obtenu aucun résultat d'accident généré par le Turbo-expander à des paliers hydrauliques.

A cet effet, dans notre démarche d'analyse on basera sur son guide d'utilisation fourni par le constructeur et des explications données par l'équipe des ingénieurs de GTFT afin de construire les différents scénarios pouvant conduire à des accidents.

### **II.5. Conclusion :**

Le groupement Tin Fouyé Tabankort couvre 1200 kilomètres carrés dans la région du Tinrhert, dans le Sahara algérien, au nord de la wilaya d'Illizi. C'est une association entre sonatrach, totale et repsol YPF.

Le turbo-expander utilisé, au niveau de GTFT est de type à des paliers hydraulique, pour avoir un bon rendement de liquéfaction du GPL afin d'assurer le taux élevé de production.

Ce chapitre, présente le lieu où notre étude a été faite, la description de traitement du gaz de ce champ, le principe de fonctionnement du turbo-expander et sa nécessité dans le process c'est ce que nous aura permis par la suite d'entamer notre démarche d'analyse de ses risques.

# CHAPITRE III

*Application de la démarche MADS-MOSAR*

### III.1. Introduction :

Après avoir expliqué le principe de fonctionnement du turbo-expander, dans ce présent chapitre nous allons le décomposer en sous-systèmes, ainsi d'identifier les scénarios des risques possibles pouvant avoir lieu dans chaque sous-système et de proposer des barrières de sécurité afin de réduire leurs gravités ou bien leurs probabilités.

### III.2. Méthode MADS-MOSAR appliquée aux Turbo-expander :

#### III.2.1. Etape préliminaire : Modélisation du système et décomposition en sous-systèmes :

La décomposition en sous-systèmes permet de générer des scénarios entre les sous-systèmes si ces derniers peuvent être identifiés. Il existe plusieurs manières de décomposer une installation en sous-systèmes :

- Décomposition hiérarchique en fonction des relations des éléments de l'installation entre eux.
- Décomposition topologique en fonction de la position des éléments de l'installation dans l'espace.
- Décomposition fonctionnelle de par la situation des éléments de l'installation dans la chaîne de fonctionnement de cette dernière. Nous utiliserons une association des deux dernières en répondant à trois conditions :
  - ❖ Les sous-systèmes répondent aux cinq critères d'un système (structure, fonction, finalité, évolution et environnement).
  - ❖ Chacun doit être homogène.
  - ❖ Leur nombre doit être le plus limité possible, en tout cas inférieur ou égal à 12.

Dans le cas du turbo-expander, on se base sur la décomposition fonctionnelle afin de déterminer les sous-systèmes(SS) :

Numéro du sous-système	Sous-système
SS1	Section expander
SS2	Partie mécanique centrale (MCS)
SS3	Section compresseur
SS4	Système de lubrification
SS5	Système de gaz d'étanchéité
SS6	Egalisateur Automatique de Poussée (ATE)
SS7	Système d'instrumentation et de commande

SS8	Système anti-pompage
SS9	Personnel
SS10	Environnement

Tableau (III.1) : Les dix sous-systèmes du Turbo-expander.

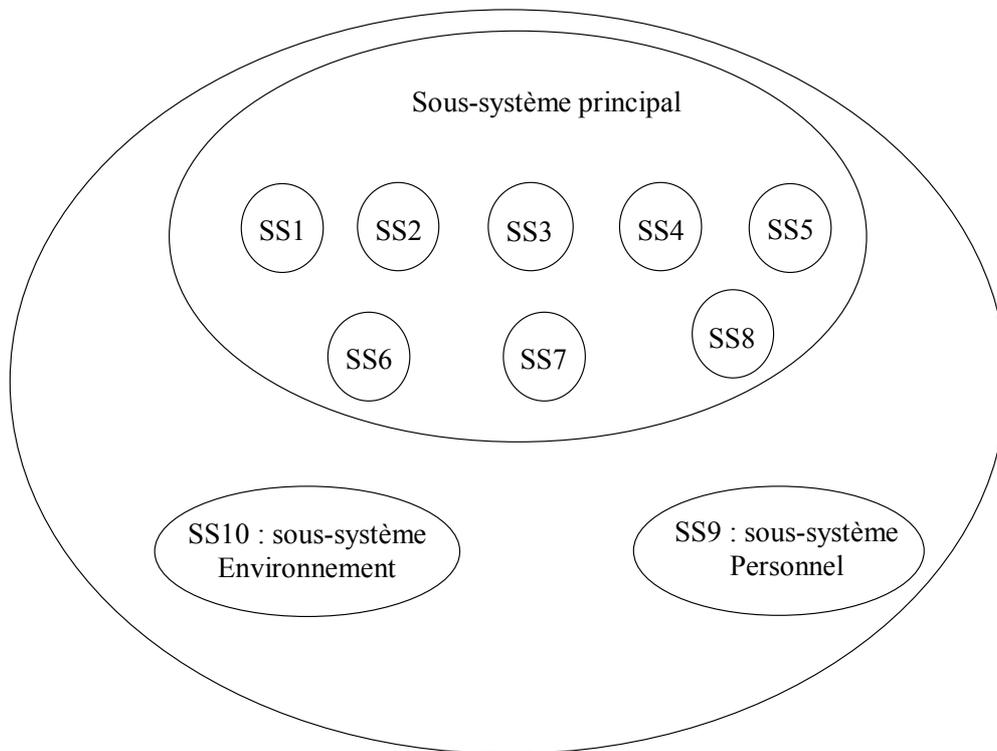


Figure (III.1) : Décomposition du système en sous-systèmes.

### III.2.2. Le module A de la méthode et ses étapes (vision macroscopique de l'installation) :

#### III.2.2.1. Identification des sources de danger :

Cette étape consiste à identifier les sources de danger possibles pour chaque sous-système, on obtient alors une liste exhaustive des dangers (voir tableau III.2).

La colonne phases de vie est importante pour préciser certains dangers car il existe des dangers différents pour chaque phase de vie de l'installation. Par exemple dans notre cas, le danger de la manutention est présent dans la phase de conception et d'entretien mais dans la phase d'exploitation le danger est absent.

Phases de vie :						
MO : montage						
EX : exploitation						
EN : entretien						
DEM : démantèlement						
Types de systèmes sources de dangers	Phase de vie	Evènements initiateurs		Evènements initiaux		Evènements principaux
SSI : Section Expandar		Externes	Internes	Liés au contenant	Liés au contenu	
Les aubes directrices	MO EX DEM	-Débit du gaz inconstant -poussière -mauvais serrage	-défaut de construction	-Fissure -rupture	- débit du gaz incontrôlable	-Fuite interne du gaz -Grippage des aubes

		-choc en cours de démontage ou de remontage				
La roue expandeur	MO EX DEM	-grand débit d'aspiration -mauvais montage sur l'arbre -choc en cours de démontage ou de remontage	-non coaxialité -mauvaise intégrité mécanique	-expansion de l'alésage -fissure -rupture	-pas de détente du gaz	-vibrations -bruit - explosion
Joint spirales	MO	-mauvais serrage	-joints de mauvaise qualité	-fissure	-chute de pression	-fuite du gaz - explosion

SS2 : Partie mécanique centrale (MCS)		Externes	Internes	Liés au contenant	Liés au contenu	
L'arbre	MO EX DEM	-fuite du gaz d'étanchéité -huile de lubrification contaminée -température élevée d'huile -basse pression d'huile -choc en cours de démontage ou de remontage	-arbre non homogénéisé -position non axiale -bas lourd	-usure		-vibrations -bruit -explosion

Joint d'étanchéité des boîtiers (torique)	MO EX DEM	-mauvais serrage	-joint de mauvaise qualité	-fissure	-chute de pression	-fuite du gaz - explosion
Palier expandeur	MO EX DEM	-arbre mal équilibré -choc en cours de démontage ou de remontage	-augmentation de la température du palier	-Fissure -usure	-diminution de la pression d'huile de lubrification	-vibrations -bruit -fuite d'huile - explosion
Palier compresseur	MO EX DEM	-arbre mal équilibré -choc en cours de démontage ou de remontage	-augmentation de la température du palier	-Fissure -usure	-diminution de la pression d'huile de lubrification	-vibrations -bruit -fuite d'huile - explosion

SS3 : Section compresseur		Externes	Internes	Liés au contenant	Liés au contenu	
Roue compresseur	MO EX DEM	-débit bas d'aspiration  -mauvais montage sur l'arbre	-mauvaise intégrité mécanique  -non coaxialité	-expansion de l'alésage	-pas de compression du gaz	-vibrations -bruit -explosion
Joint spirales	MO EX DEM	-mauvais serrage	-joint de mauvaise qualité	-fissure	-chute de pression	-fuite du gaz - explosion

SS4 : Système de lubrification		Externes	Internes	Liés au contenant	Liés au contenu	
Pompes	MO	-pas d'alimentation	-dysfonctionnement interne	-cavitation	-pas d'injection d'huile	-pas de lubrification
	EX					-électrocution
	DEM		-mauvaise mise à la terre			
Réservoir	EX	-choc	-fissure	-électricité statique	-contamination de l'huile	- explosion
	EN	-corrosion	-mauvaise mise à la terre		-surpression	-fuite d'huile
Aéroréfrigérants	MO	-pas d'alimentation	-Dysfonctionnement interne	-pas de rotation des ailettes	-huile chaude	-pas de refroidissement
	EX	-choc	-mauvaise mise à la terre			-électrocution
	DEM					
Filtres	EX	-poussière	-pas de nettoyage	-bouchage	-surpression de l'huile	-fuite d'huile
						-pas de lubrification

Tuyauterie d'huile de lubrification	MO EX DEM	-corrosion -choc	-fissure -mauvaise mise à la terre	-fuite d'huile -électricité statique	-perte d'huile de lubrification -surpression	-pas de lubrification
SS5 : Système de gaz d'étanchéité		Externes	Internes	Liés au contenant	Liés au contenu	
Le traçage électrique	EX EN	-choc -conditions climatiques -frottement	-vieillessement -mauvaise mise à la terre	-rupture -dégradation	-givrage du gaz d'étanchéité	-étincèle -électrocution
Dispositif de contrôle de pression	MO EX DEM EN	-corrosion -choc manutention en cas de montage ou démontage	- dysfonctionnement de la vanne	-blocage	-débit trop grand	-contamination de l'huile de lubrification

SS6 : Egalisateur Automatique de Poussee (ATE)	MO EX DEM EN	-choc -huile contaminée	-fuite interne du limiteur de la poussée axiale	-pression incontrôlable sur les paliers	-pas d'équilibrage	-vibration -fuite d'huile -bruit -explosion
SS7 : Système d'instrumentati on et de commande		Externes	Internes	Liés au contenant	Liés au contenu	
Sondes (vitesse pression, vibration, température).	MO EX DEM	-coupure de fil de connexion des sondes	-dysfonctionnem- ent des sondes	-mal étalonnage	-huile surchauffée	-Fausse détection

SS8	MO	-choc	-vanne anti pompage	-fausse indication de pression	-débit du gaz aspiré inconstant	-vibration
Système anti-pompage	EX DEM EN	-collision	-vanne anti pompage défectueuse			
SS9 : Personnels		Externes	Internes	Liés au contenant	Liés au contenu	
Opérateurs/ Visiteurs	EX	-conditions climatiques -mauvaise information/formation	-négligence -stressse -malveillance -sabotage -mauvaise coordination	-mauvais comportement	-changement des paramètres de l'équipement	-vibration -panique

SS10 : Environnement		Externes	Internes	Liés au contenant	Liés au contenu	
Les installations de proximité	MO	-corrosion	-fissure	-électricité	- changement de paramètres (pression, débit, température)	-fuite du gaz
	EX DEM EN	-choc manutention en cas démontage ou de remontage	-fatigue -desserrage -mauvaise mise à la terre	statique		-explosion
Canalisation	EX	-corrosion	-fissure	-électricité	-fuite du gaz	-explosion
	EN	-choc -changement des conditions climatiques	-mauvaise mise à la terre	statique	-givrage du gaz -surpression	
Conditions climatiques						
	EX	-haute ou basse température -vent de sable		-changement de paramètres du fonctionnement	-changement de paramètres du process	-givrage -vibration

Tableau (III.2) : Tableau A (identification des sources de danger).

### III.2.2.2. Identification des scénarios de danger :

Les scénarios de danger sont généralement reconnus grâce au retour d'expérience, mais dans notre étude l'identification de ces derniers est faite suivant des explications données par l'ensemble des ingénieurs du GTFT, ces scénarios permis :

- De démontrer leur genèse ;
- D'identifier leurs multiples variantes ;
- D'identifier des scénarios insoupçonnés ;

D'en faire par la suite l'ossature des arbres logiques montrant l'enchaînement de tous les événements conduisant à un ENS.

#### III.2.2.2.1. Mettre chaque sous-système sous forme d'une boîte noire :

La première partie de ce travail consiste à représenter chaque sous-système du tableau A (voir tableau III.2) sous forme des boîtes noires dont les entrées sont les événements initiateurs et les sorties sont des événements principaux.

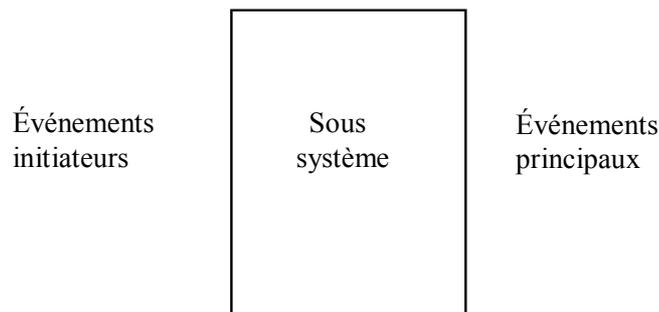


Figure (III.2) : La forme d'une boîte noire.

Ce travail est une compilation du tableau A (voir tableau III.2). On obtient alors les boîtes noires suivantes :

- Débit du gaz inconstant
- Poussière
- Mauvais serrage
- Choc en cours de démontage ou remontage
- Grand débit d'aspiration
- Mauvais montage sur l'arbre
- Défaut de construction
- Non coaxialité
- Mauvaise intégrité mécanique
- Joint de mauvaise qualité

SS 1 :  
Section expander

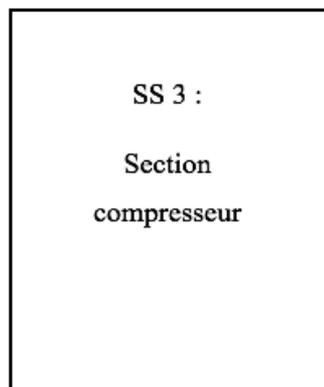
- Fuite interne du gaz
- Grippage des aubes
- Vibrations
- Bruit
- Fuite du gaz
- Explosion

- Fuite du gaz d'étanchéité
- Huile de lubrification contaminée
- Température élevée d'huile
- Basse pression d'huile
- Choc en cours de démontage ou remontage
- Mauvais serrage
- Arbre mal équilibré
- Position non axiale
- Arbre non homogénéisé
- Bas lourd
- Joint de mauvaise qualité



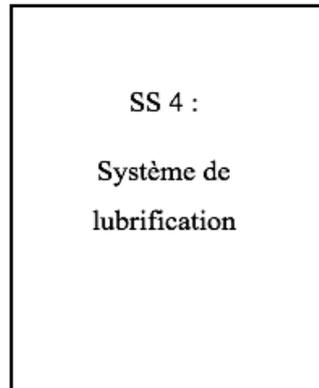
- Vibration
- Bruit
- Explosion
- Fuite d'huile
- Fuite du gaz

- Débit bas d'aspiration
- Mauvais montage sur l'arbre
- Mauvais serrage
- Non coaxialité
- Mauvaise intégrité mécanique



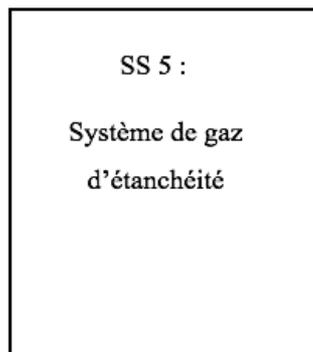
- Vibration
- Bruit
- Fuite du gaz
- Explosion

- Pas d'alimentation
- Choc
- Corrosion
- Poussière
- Dysfonctionnement interne
- Fissure
- Pas de nettoyage
- Mauvaise mise à la Terre



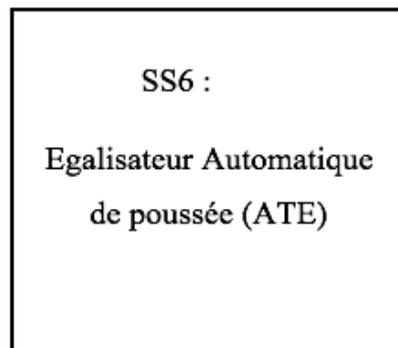
- Pas de lubrification
- Fuite d'huile
- Pas de refroidissement

- Choc
- Corrosion
- Condition climatique
- Frottement
- Vieillessement
- Dysfonctionnement de la vanne
- Mauvaise mise à la terre



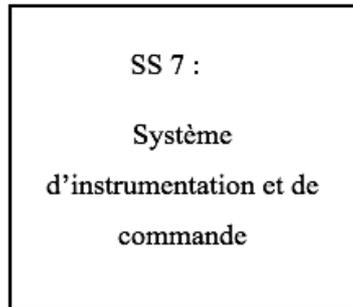
- Étincèle
- Électrocution
- Contamination de l'huile de lubrification

- Choc
- Huile contaminée
- Fuite interne du limiteur de la poussée axiale



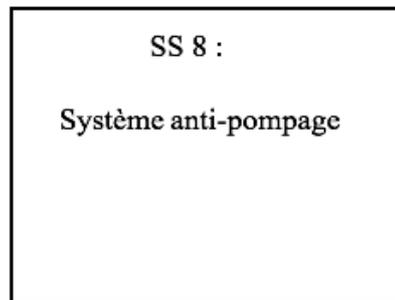
- Vibration
- Bruit
- Fuite d'huile
- Explosion

- Coupure de fil de connexions des sondes
- Dysfonctionnement interne des sondes



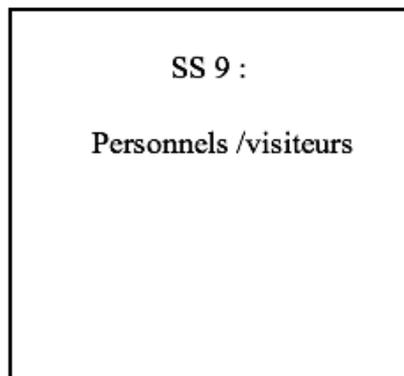
- Fausse détection

- Choc
- Collision
- Vanne anti-pompage défectueuse



- Vibration

- Mauvaise formation et information
- Conditions climatiques
- Négligence
- Stresse



- Vibration
- Panique

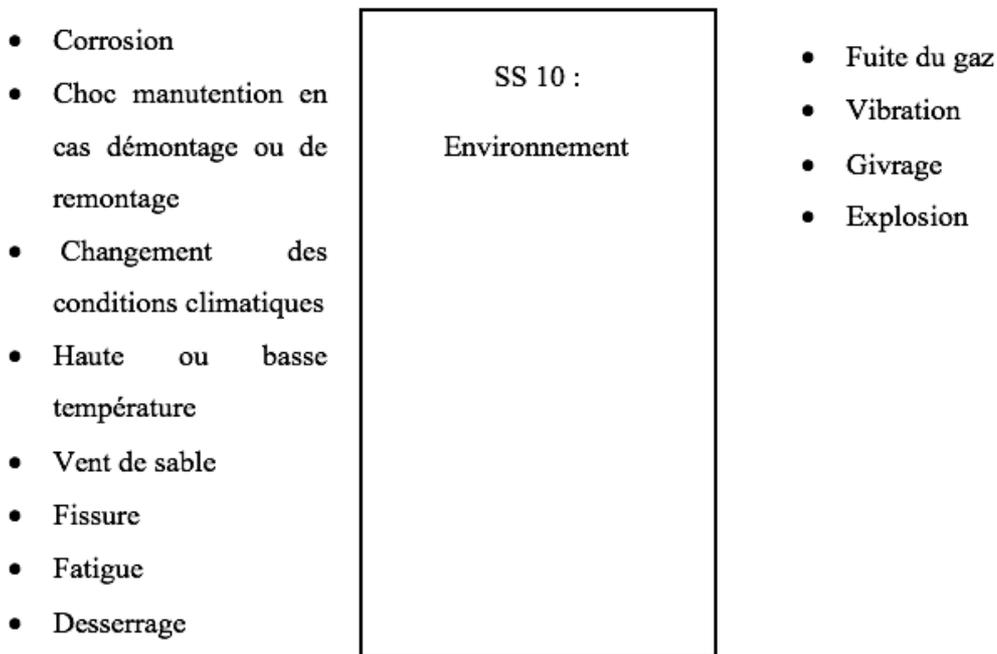
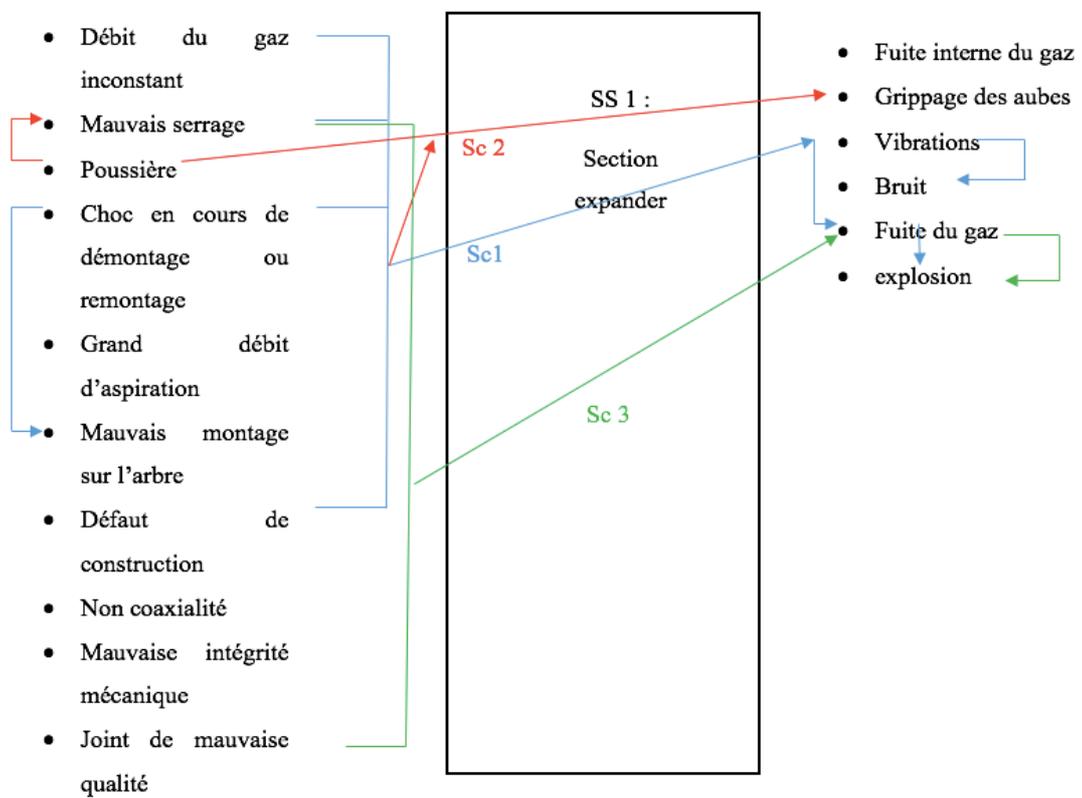
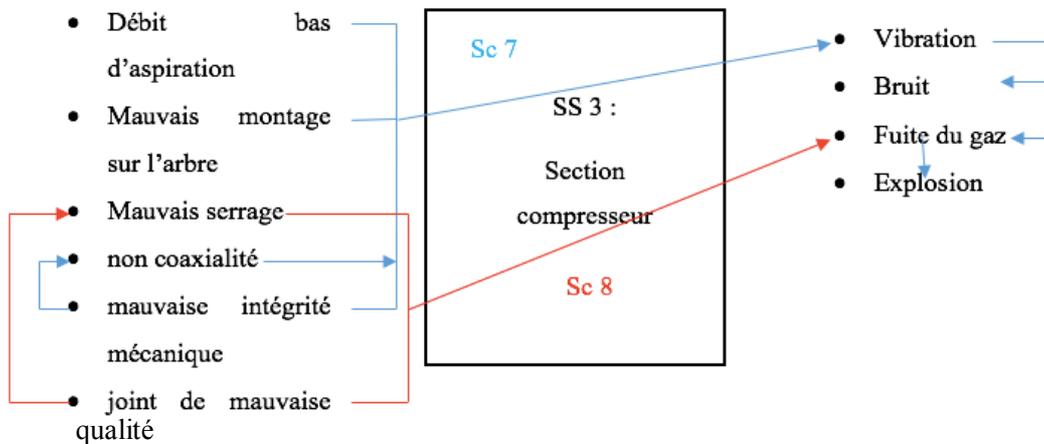
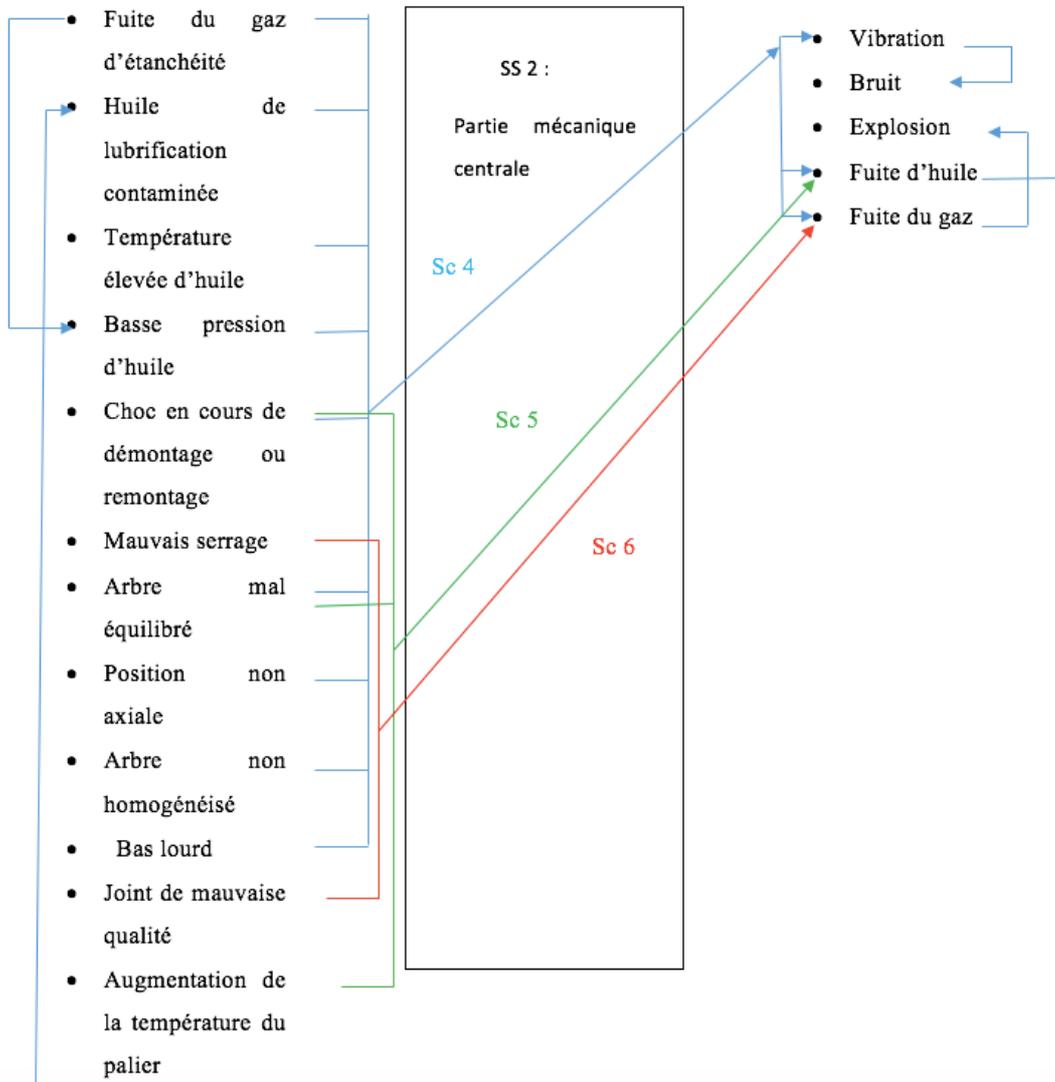


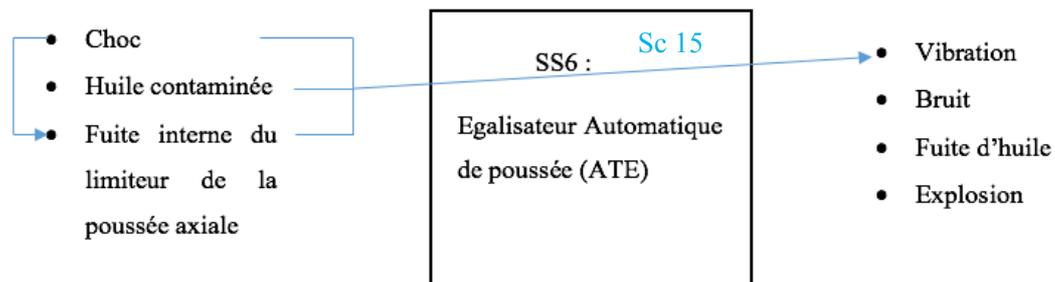
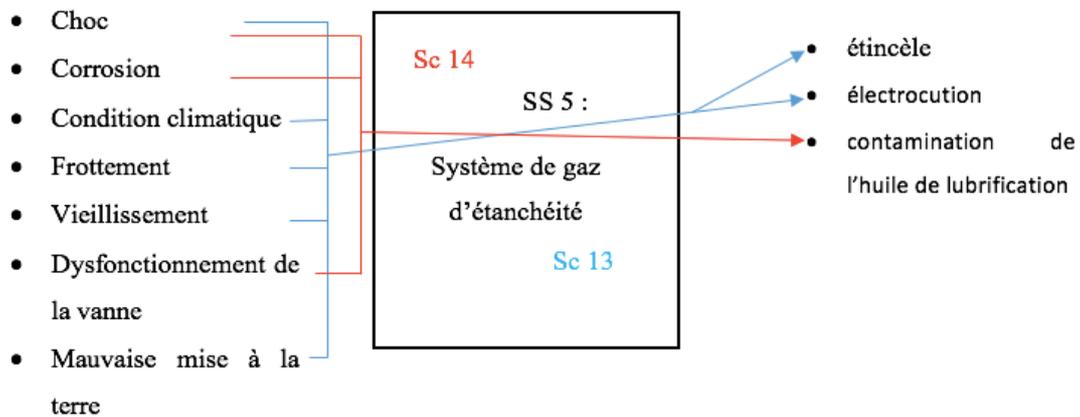
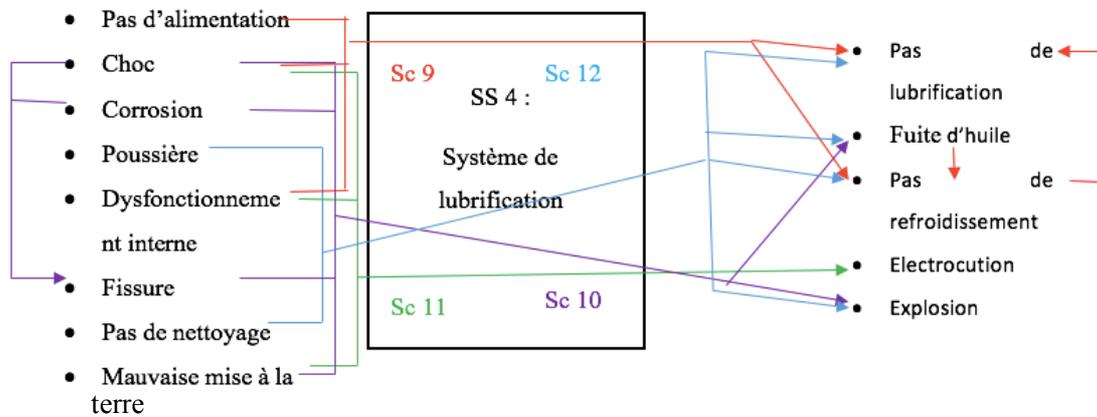
Figure (III.3) : Les boites noires.

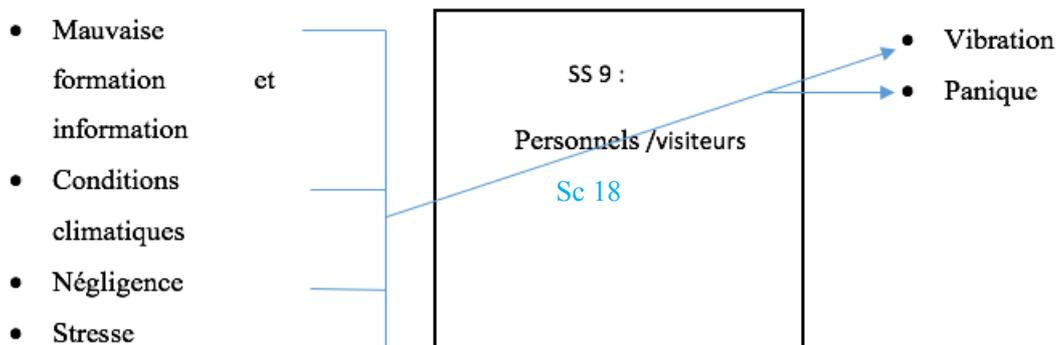
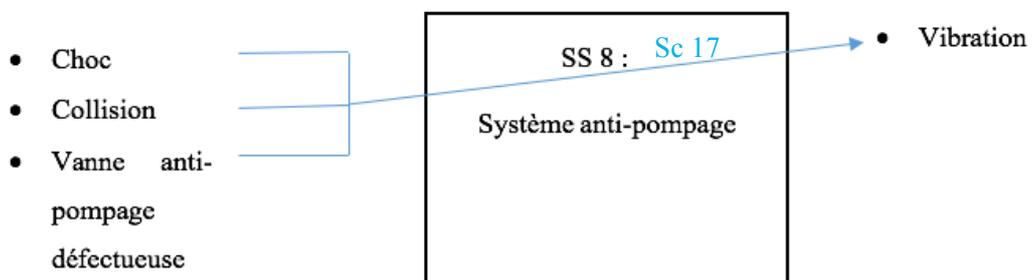
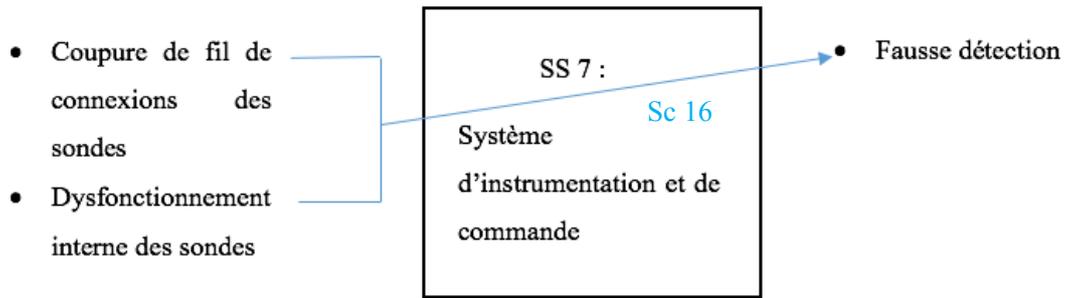
#### III.2.2.2.2. Génération des scénarios courts et des scénarios d'autodestruction :

La génération des scénarios courts et d'autodestructions repose sur la combinaison entre les événements d'entrées et les événements de sorties et identifier les retours en bouclage des événements de sortie et des événements d'entrées. Les deux premières opérations mettent en évidence des scénarios courts et la dernière, des scénarios qui entraînent une autodestruction du sous-système.









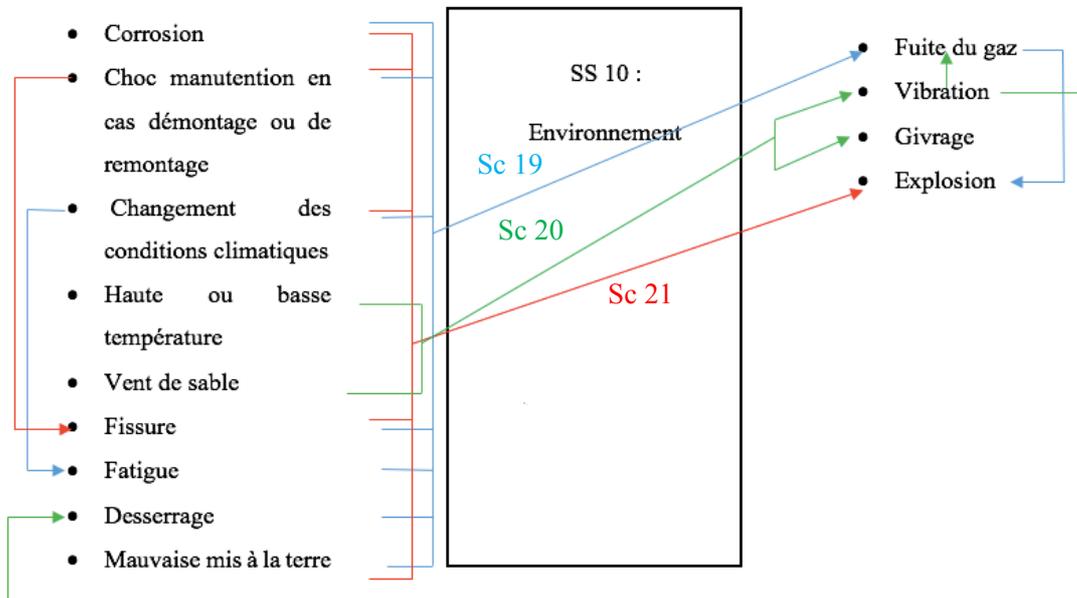
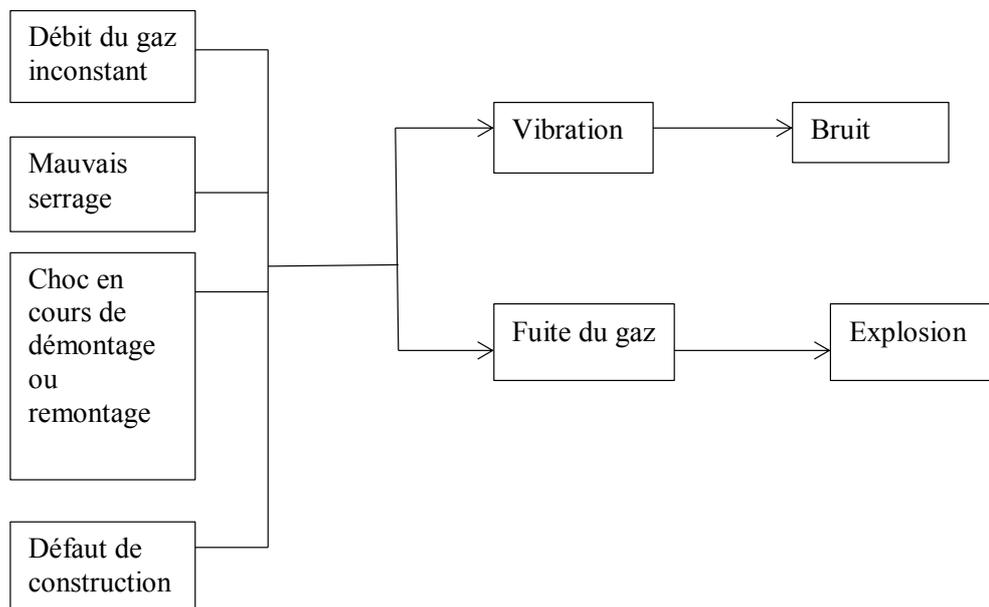


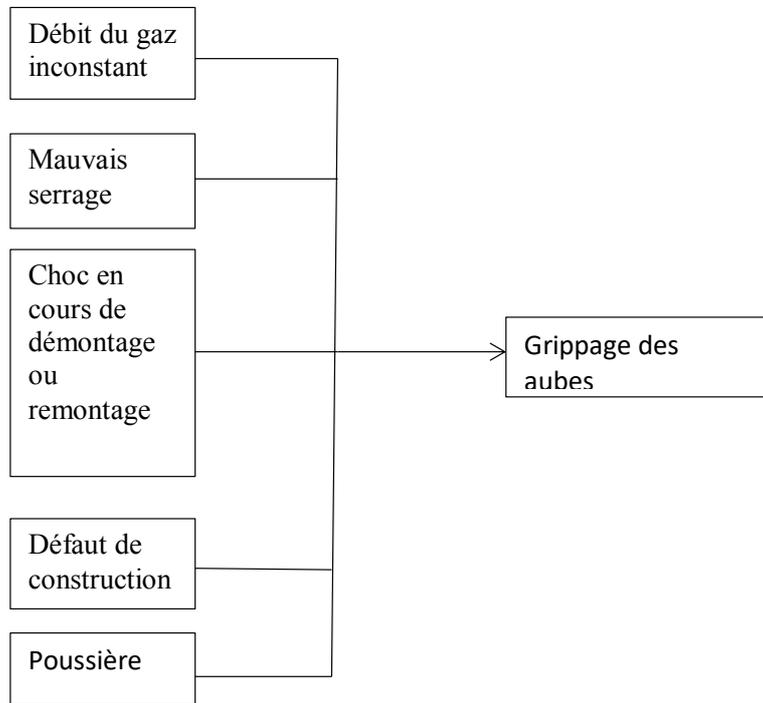
Figure (III.4) : Les scénarios courts et d'autodestruction.

On peut réécrire ces scénarios de manière plus lisible :

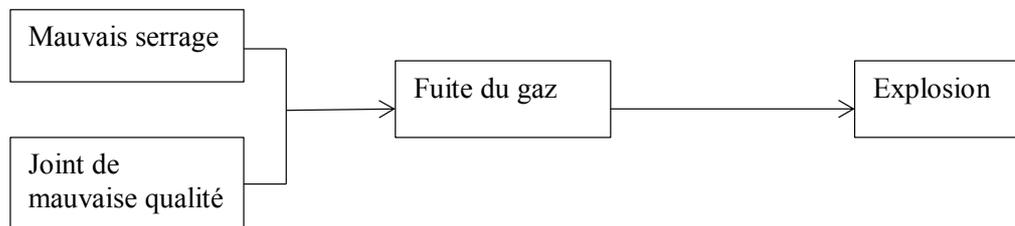
Sc1 :



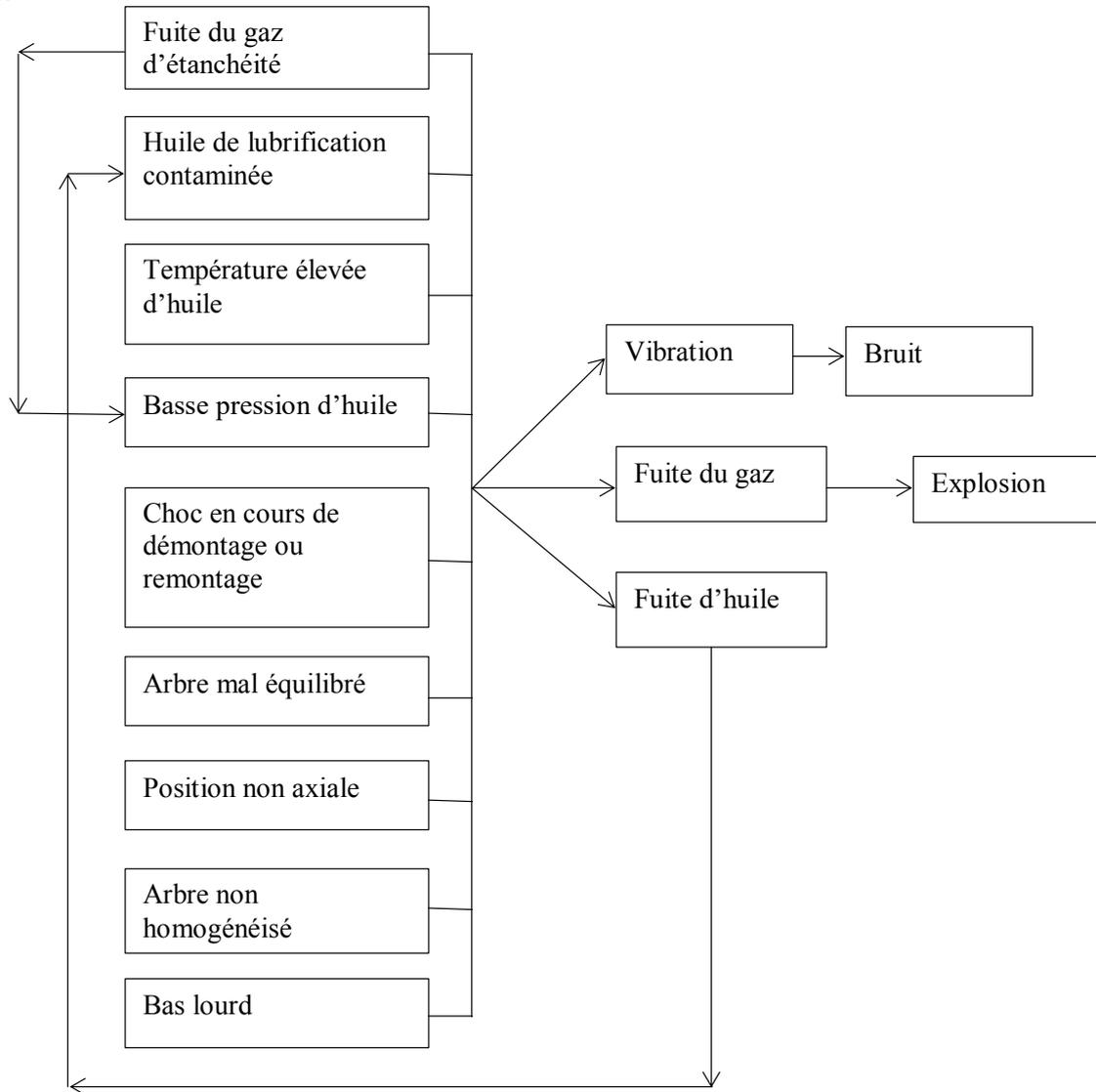
**Sc2 :**



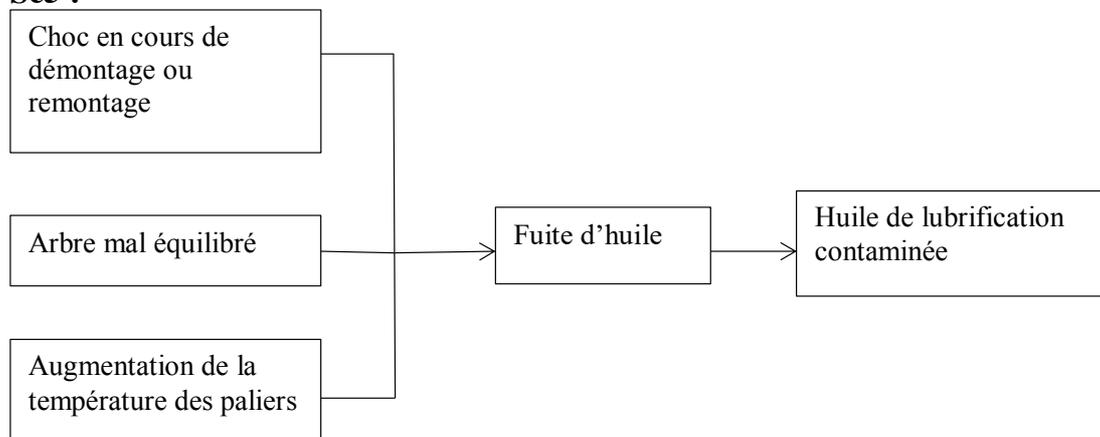
**Sc3 :**



**Sc4 :**



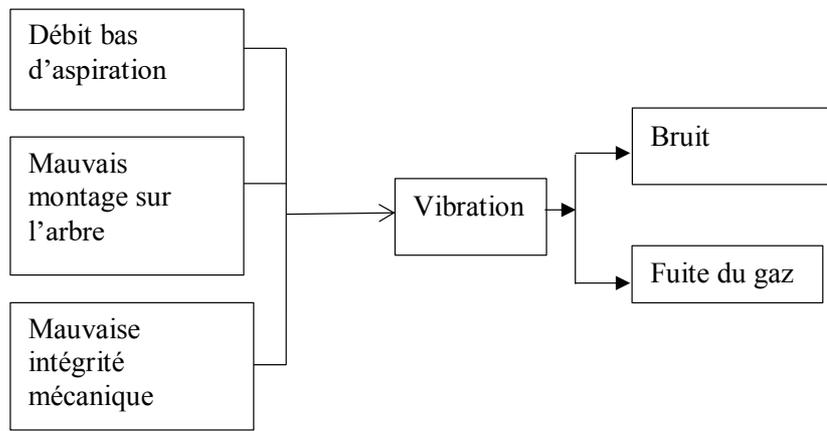
**Sc5 :**



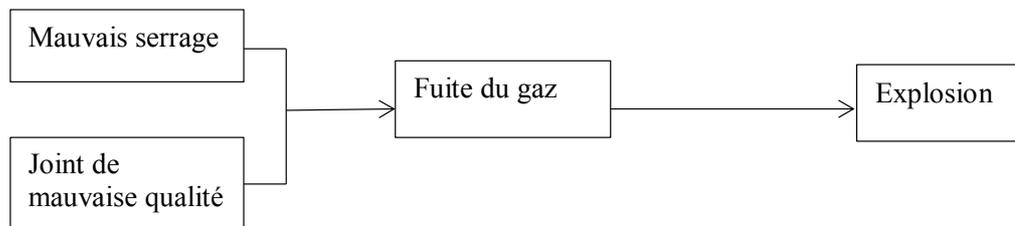
**Sc6 :**



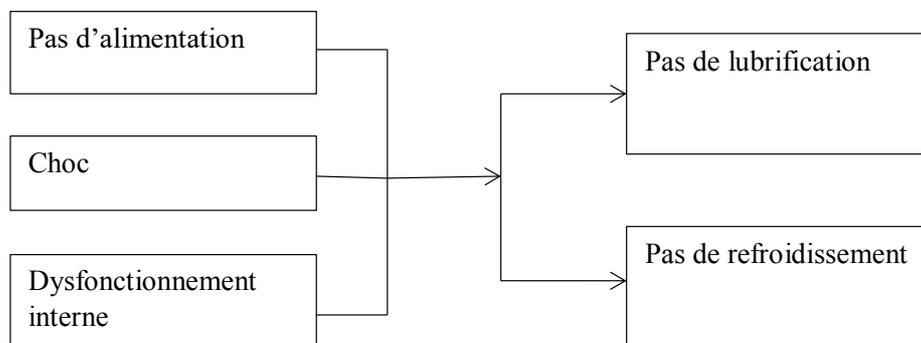
**Sc7 :**



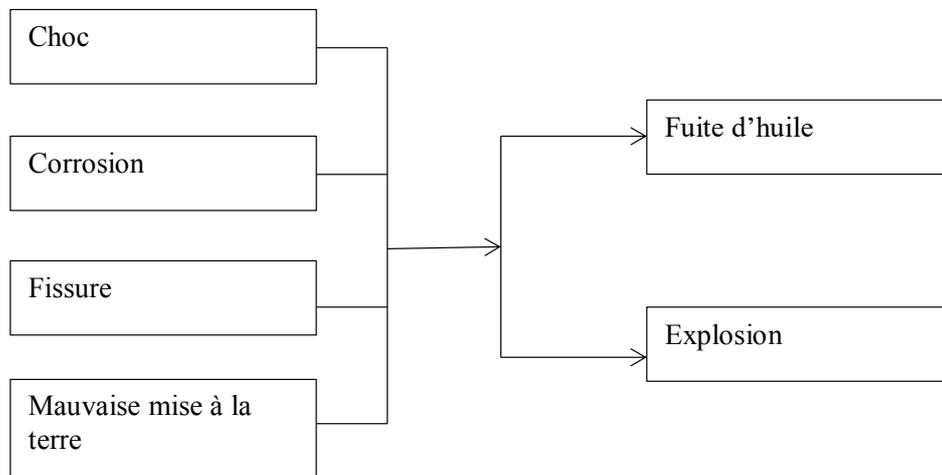
**Sc8 :**



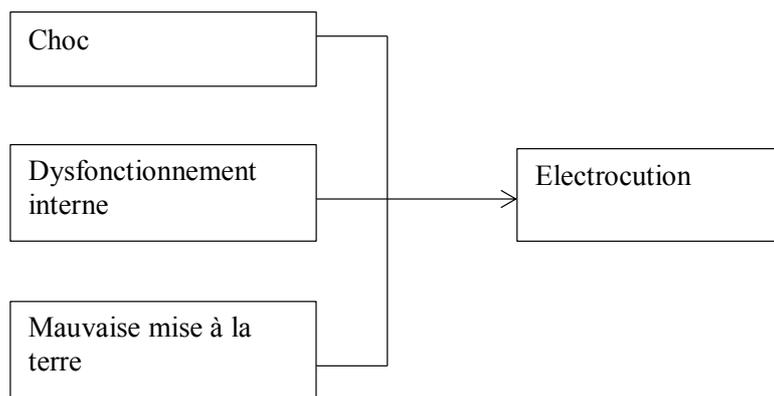
**Sc9 :**



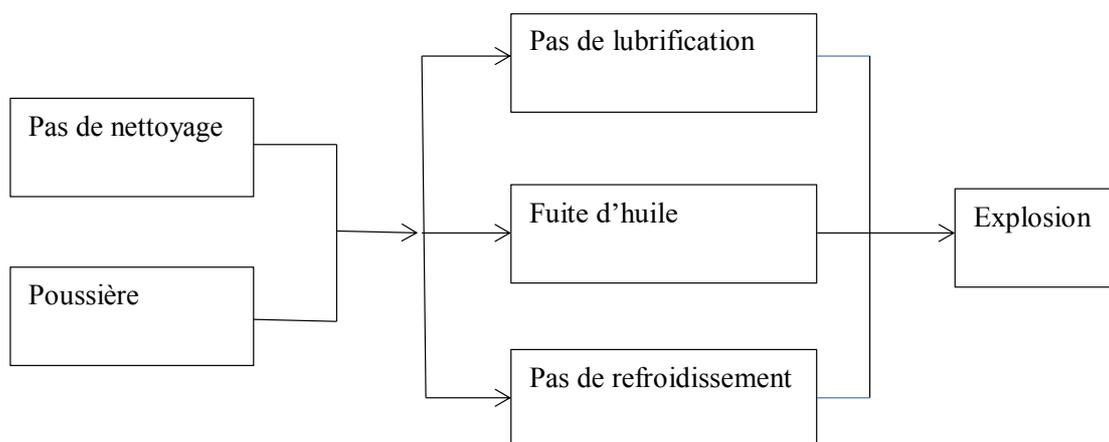
**Sc10 :**



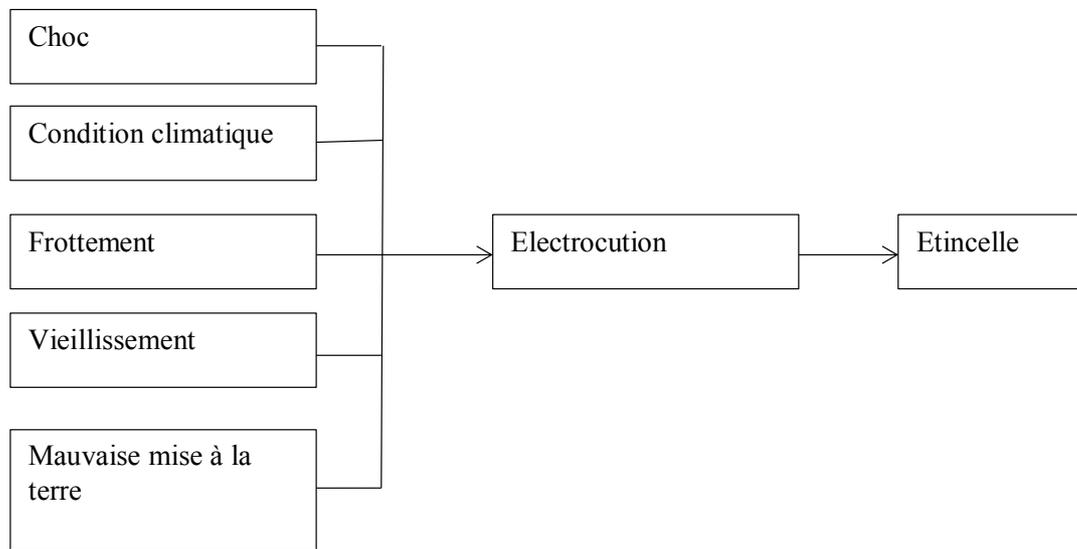
**Sc11 :**



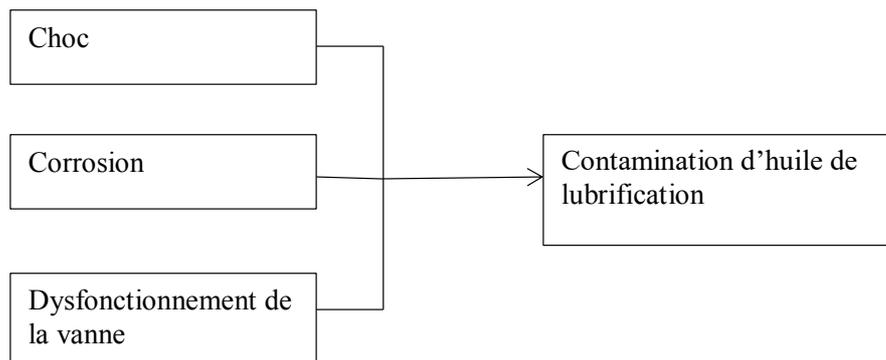
**Sc12 :**



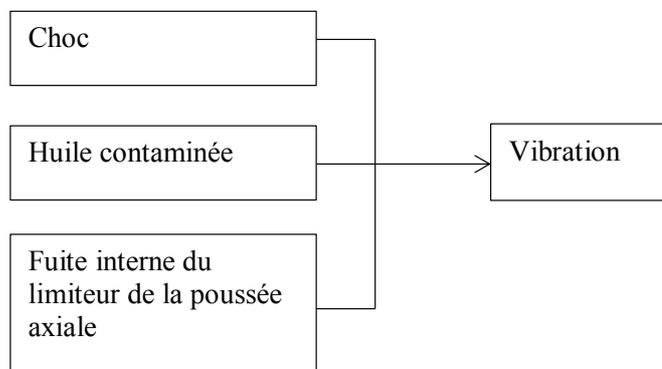
**Sc13 :**



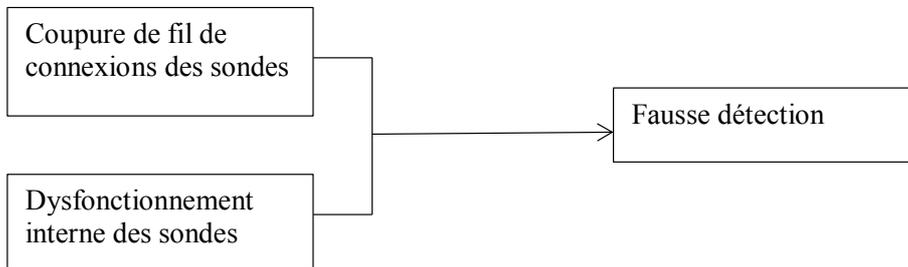
**Sc14 :**



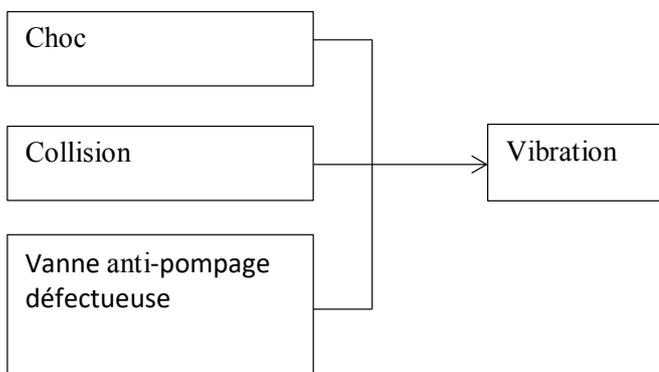
**Sc15 :**



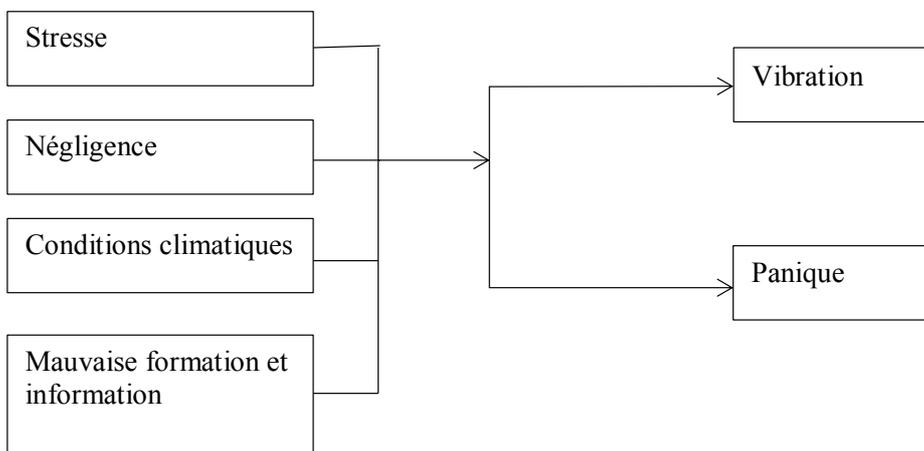
**Sc16 :**



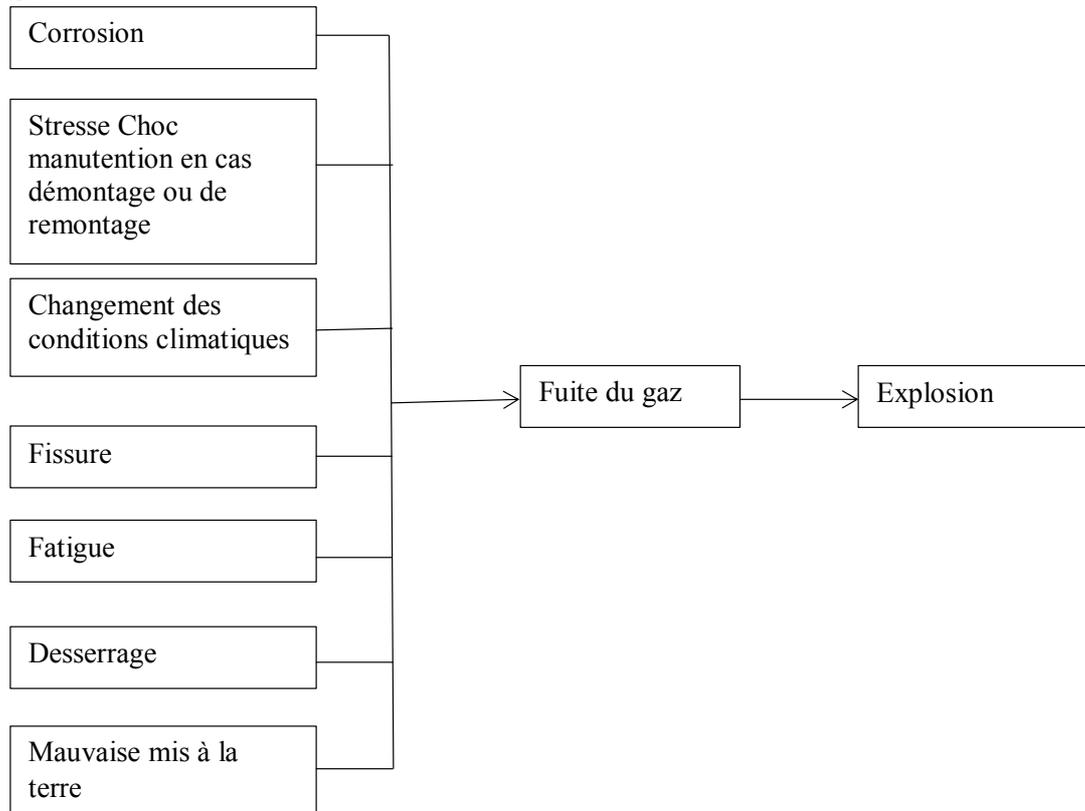
**Sc17 :**



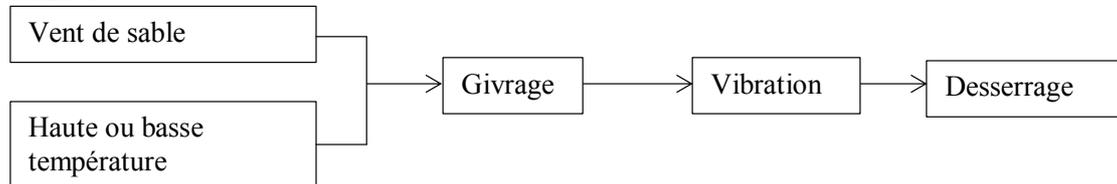
**Sc18 :**



**Sc19 :**



**Sc20 :**



**Sc21 :**

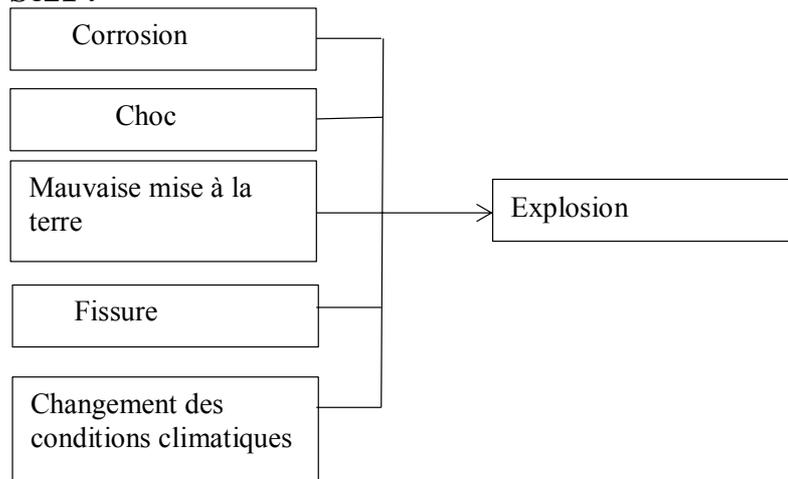


Figure (III.5) : Arbres logiques des scénarios courts et d'autodestructions.

**III.2.2.2.3. Génération des scénarios longs, validation de ces derniers et construction d'arbres logiques sur les accidents principaux ainsi identifiés :**

Si on met toutes les boîtes noires sur une même page, il est possible de relier les sorties de certaines boîtes qui sont de même nature que les entrées d'autres boîtes.

A partir des scénarios longs et des scénarios courts (en les rassemblant sur un même événement) on peut construire un arbre logique qui est la première représentation des événements s'enchaînant pour générer un ENS.

Parmi les scénarios qu'on peut construire, on a pris seulement deux scénarios (les plus critiques) dont l'ENS est l'explosion.



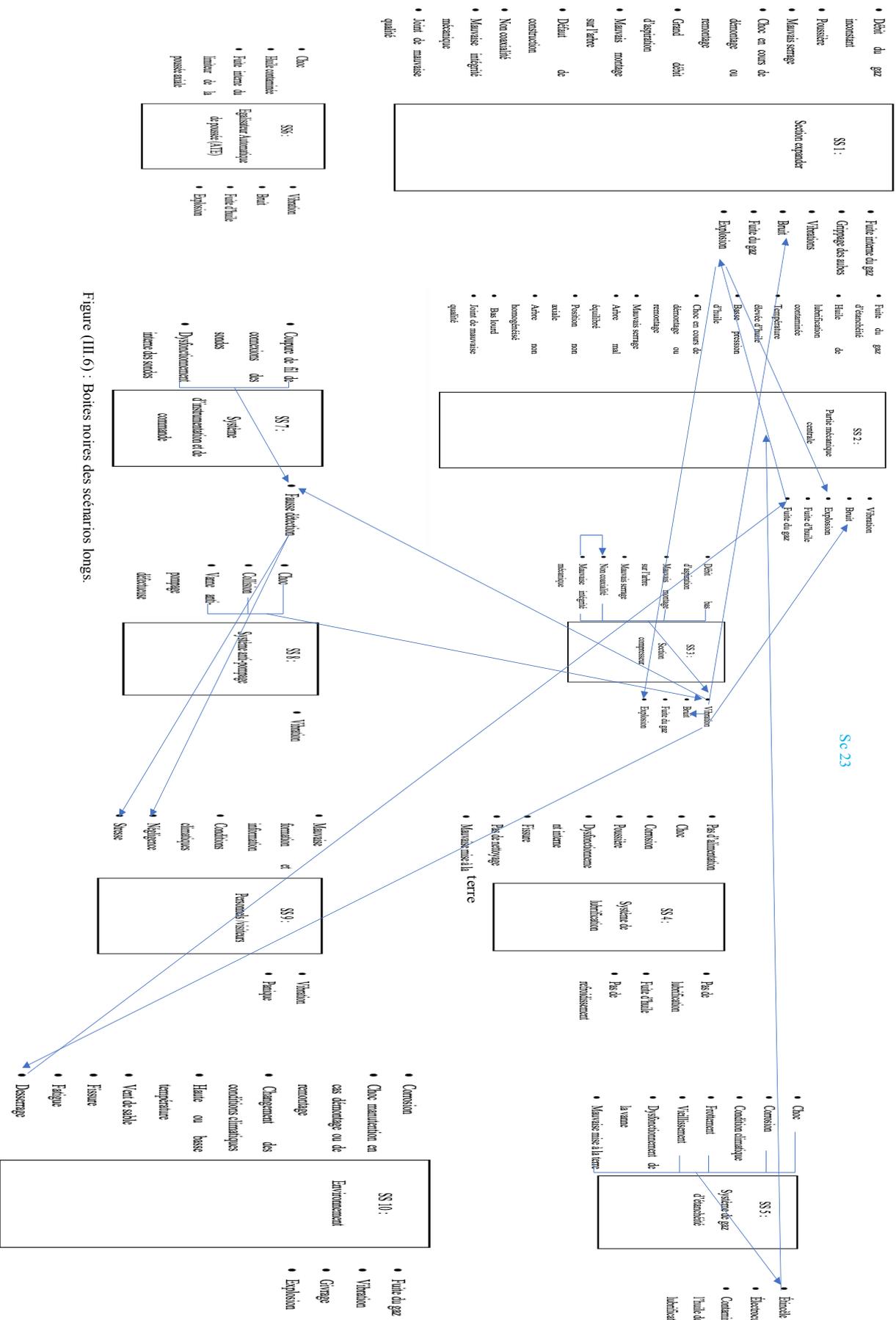
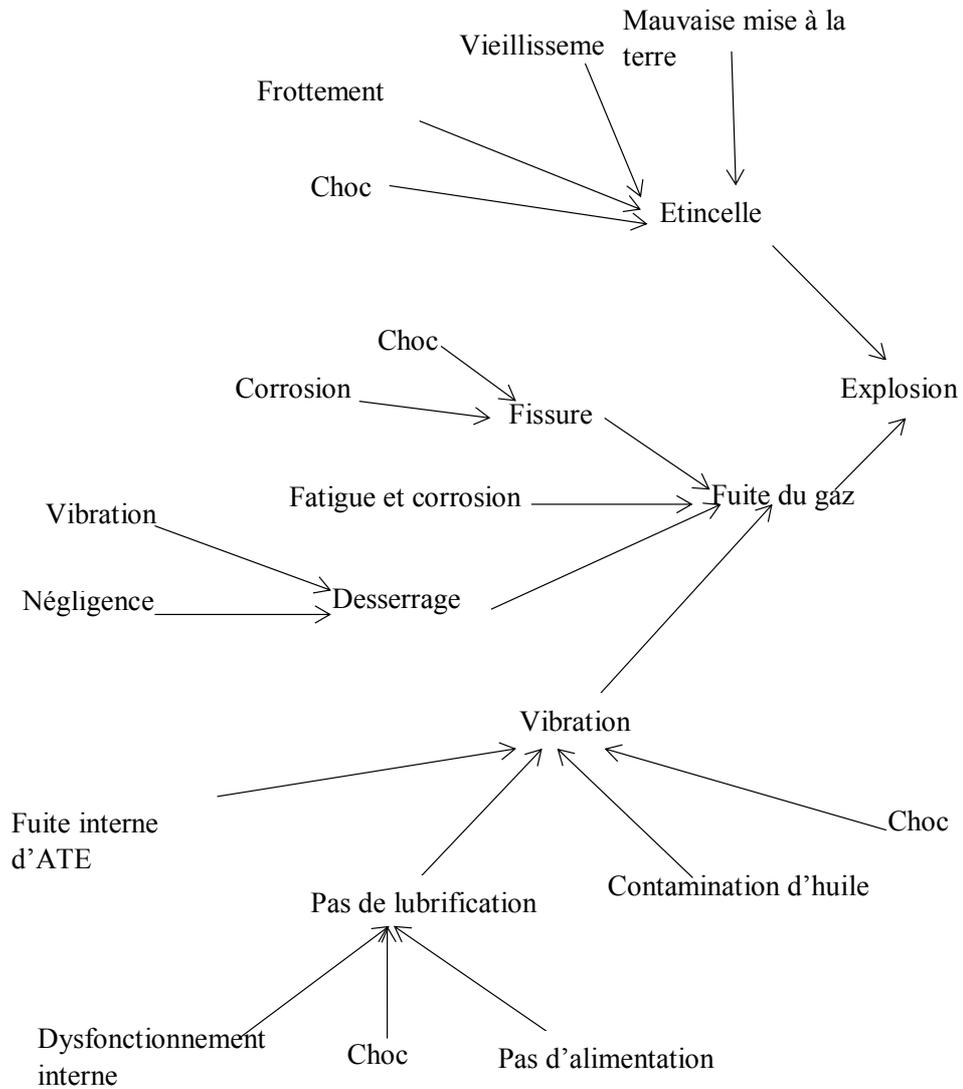


Figure (III.6) : Boîtes noires des scénarios longs.

Pour bien comprendre les scénarios longs, on peut les rendre sous forme des arbres logiques :

Sc22 :



Sc23 :

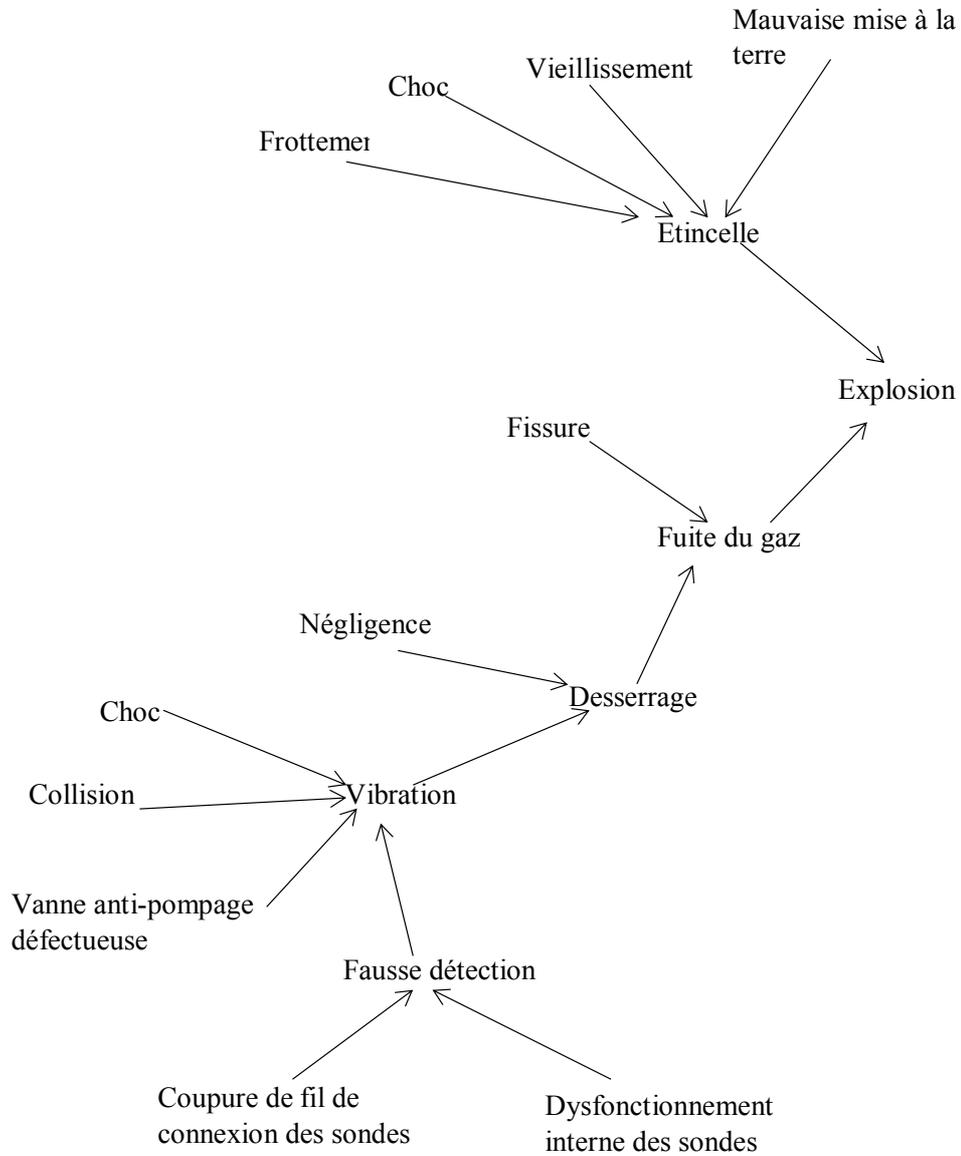


Figure (III.7) : Arbres logiques des scénarios longs.

**III.2.3. Évaluation des scénarios à risques :**

Jusqu’ici nous n’avons pas situé le travail d’analyse par rapport à des objectifs. Dans un premier temps, il est nécessaire de construire un outil qui permettra de concrétiser ces objectifs. Pour cet objectif, on basera sur la matrice utilisée par le groupe pétrolier TOTAL-FINA-ELF.

La notation Total-Fina-Elf est la résultante de deux rapprochements successifs : de Total avec la société pétrolière belge PetroFina, qui a donné naissance à Total-Fina, puis de Total-Fina avec Elf Aquitaine, qui a engendré le groupe Total-Fina-Elf.

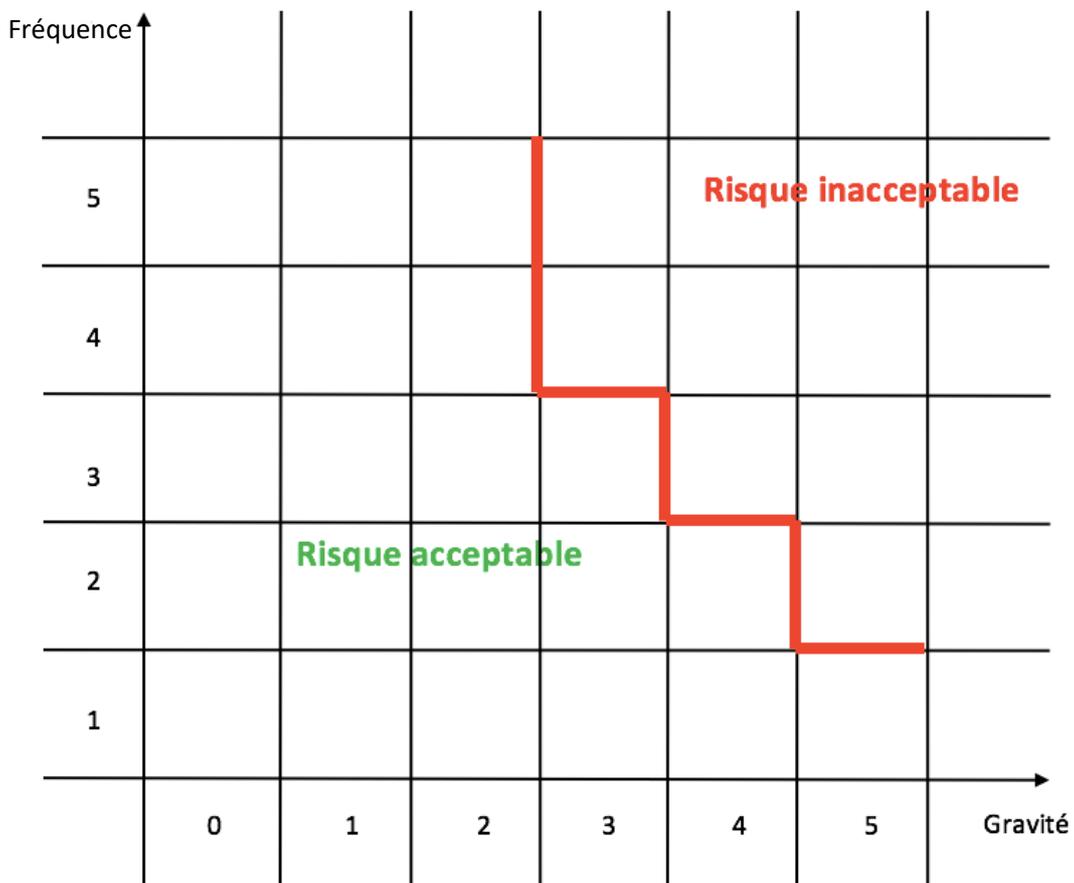


Figure (III.8) : Matrice de classification des risques utilisée par Total-Fina-Elf. [8]

L’approche d’évaluation adoptée par Total-Fina-Elf consiste en l’utilisation d’une grille de criticité qui offre la possibilité d’utiliser 6 niveaux de gravité et 5 niveaux de probabilité :

**Gravité :** les niveaux sont :

Niveau 0 : conséquences nulles ;

Niveau 1 : conséquences mineures ;

Niveau 2 : conséquences significatives ;

Niveau 3 : conséquences critiques (blessures limitées à l'unité) ;

Niveau 4 : conséquences catastrophiques (effets létaux limités à l'établissement) ;

Niveau 5 : conséquences catastrophiques (blessures hors établissement) ;

Les trois premiers niveaux correspondent à des dégradations sensibles de l'équipement source.

**Fréquence** : les niveaux sont :

Niveau 1 : scénario très peu probable ;

Niveau 2 : scénario extrêmement rare ;

Niveau 3 : scénario rare ;

Niveau 4 : scénario possible mais peu fréquent ;

Niveau 5 : scénario fréquent ;

Au vu des définitions de gravité et de probabilité, on classe les différents scénarios de la manière suivante :

Scénarios	Fréquences	Gravités
Sc 1	5	3
Sc 2	2	0
Sc 3	4	3
Sc 4	5	3
Sc 5	1	0
Sc 6	4	3
Sc 7	5	3
Sc 8	4	3
Sc 9	1	3
Sc 10	1	0
Sc 11	1	3
Sc 12	1	3

Sc 13	1	3
Sc 14	3	1
Sc 15	5	3
Sc 16	4	2
Sc 17	5	3
Sc 18	5	3
Sc 19	4	3
Sc 20	5	3
Sc 21	1	5
Sc 22	1	5
Sc 23	1	5

Tableau (III.3) : Hiérarchisation des scénarios.

**III.2.4. Négociation d'objectifs et hiérarchisation des scénarios :**

Nous allons maintenant faire une Situation des scénarios dans la grille GxF afin de voir s'ils sont dans le domaine de l'acceptabilité ou de l'inacceptabilité.

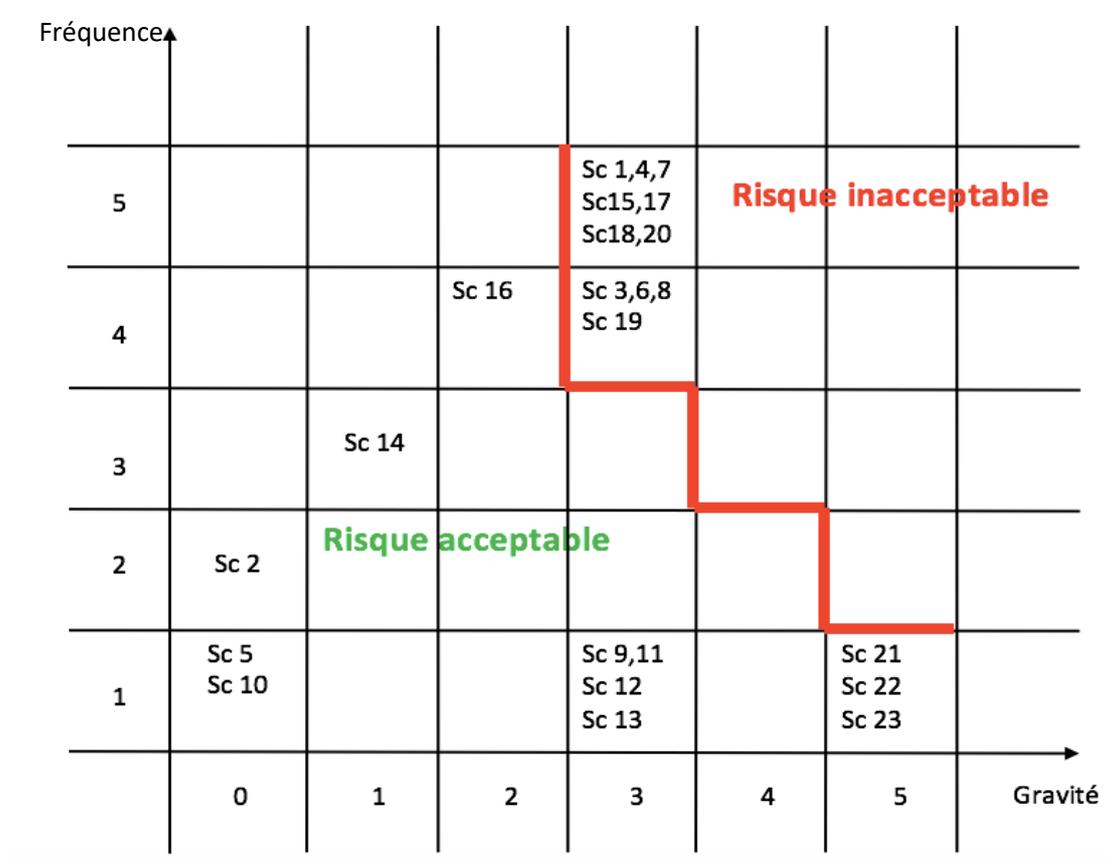


Figure (III.9) : Situation des scénarios.

**III.2.5. Définition des barrières de prévention et de protection et leur qualification :**

Nous allons maintenant essayer d'identifier des barrières de prévention et de protection. Ces barrières vont permettre de neutraliser les scénarios des risques inacceptables, de les réduire en termes de gravité ou de fréquence ou des deux. Ainsi, ils passeront peut-être du côté acceptable de la frontière.

Elles sont de deux ordres :

- **Barrières technologiques (BT) :** Ce sont des éléments ou ensemble technologique faisant partie de l'installation empêchant l'apparition d'événement gênant et indépendant de l'activité humaine.
- **Barrières opératoires ou d'utilisation (BU) :** Ce sont des actions nécessitant une

intervention humaine, reposant sur une consigne précise, activée ou non par un ensemble technologique.

L'identification de ces barrières se fait à l'aide d'un tableau B (voir tableau III.4) qui facilite ce travail.

<b>TABLEAU B</b>				
<b>Scénario</b>	<b>Phase</b>	<b>1-1 Conception</b>	<b>1-2 Ventilation</b>	<b>2-1 Protection individuelle du personnel</b>
Sc 1	Ex Mo	Fondation absorbante de la vibration (BT) Spring plunger (BT)		Casque anti-bruit (BU)
Sc 3	Mo	Joints adéquats de bonne qualité (BT)		Tenues en coton (BU)
Sc 4	Ex Mo	Fondation absorbante de la vibration (BT) Spring plunger (BT)		Casque anti-bruit (BU)
Sc 6	Ex Mo	Joints adéquats de bonne qualité (BT)		Tenues en coton (BU)
Sc 7	Ex Mo	Fondation absorbante de la vibration (BT) Spring plunger (BT)		Casque anti-bruit (BU)
Sc 8	Mo	Joints adéquats de bonne qualité (BT)		Tenues en coton (BU)
Sc 15		Fondation absorbante de la vibration (BT) Spring plunger (BT)		Casque anti-bruit (BU)
Sc 17	Ex	Fondation absorbante de la vibration (BT) Spring plunger (BT)		Casque anti-bruit (BU)
Sc 18	Ex	Fondation absorbante de la vibration (BT) Spring plunger (BT)		Casque anti-bruit (BU)
Sc 19		Injection d'inhibiteur de corrosion (BT)		Tenues en coton (BU)
Sc 20	Ex	Fondation absorbante de la vibration (BT) Spring plunger (BT) Injection du méthanol (BT)		Casque anti-bruit (BU)

<b>2-2 surveillance médicale</b>	<b>2-3 formation du personnel</b>	<b>2-4 habilitation</b>	<b>2-5 identification des facteurs d'ambiance</b>	<b>2-6 comportement humain</b>
	Formation sur le control des paramètres du process et le montage (BU)	Personnel habilité (BU)		Personnel ayant un esprit de responsabilité (BU)

	Formation sur l'intervention immédiate en cas de début du feu (BU)	Personnel d'intervention habilité (BU)		Personnel ayant un bon physique et une aptitude d'agir rapidement (BU)
	Formation sur le control des paramètres du process et le montage (BU)	Personnel habilité (BU)		Personnel ayant un esprit de responsabilité (BU)
	Formation sur l'intervention immédiate en cas de début du feu (BU)	Personnel d'intervention habilité (BU)		Personnel ayant un bon physique et une aptitude d'agir rapidement (BU)
	Formation sur le control des paramètres du process et le montage (BU)	Personnel habilité (BU)		Personnel ayant un esprit de responsabilité (BU)
	Formation sur l'intervention immédiate en cas de début du feu (BU)	Personnel d'intervention habilité (BU)		Personnel ayant un bon physique et une aptitude d'agir rapidement (BU)
	Formation sur le control des paramètres du process et le montage (BU)	Personnel habilité (BU)		Personnel ayant un esprit de responsabilité (BU)
	Formation sur le control des paramètres du process (BU)	Personnel habilité (BU)		Personnel ayant un esprit de responsabilité (BU)
	Formation sur le control des paramètres du process (BU)	Personnel habilité (BU)		Personnel ayant un esprit de responsabilité (BU)
	Formation sur le control des paramètres du process (BU)	Personnel habilité (BU)		Personnel ayant un esprit de responsabilité (BU)
	Formation sur le control des paramètres du process (BU)	Personnel habilité (BU)		Personnel ayant un esprit de responsabilité (BU)

3-1 consignes	Consignations	Procédures	3-2 réglementation applicable	3-3 contrôles et vérifications techniques	3-4 télésurveillance
Consignes d'utilisation des casques anti-bruit (BU)				Vérification de l'état des aubes directrices (BT)	Sondes de vibration (BT)
		Procédure en cas de fuite du gaz		Vérification de l'existence des fuites avec un explosimètre (BU)	Détecteurs de gaz (BT)
Consignes d'utilisation des casques anti-bruit (BU)				Vérification d'huile de lubrification (BT)	Sondes de vibration (BT)
		Procédure en cas de fuite du gaz		Vérification de l'existence des fuites avec un explosimètre (BU)	Détecteurs de gaz (BT)
Consignes d'utilisation des casques anti-bruit (BU)				Vérification du débit d'aspiration et l'état de roue côté compresseur (BU)	Sondes de vibration (BT)
		Procédure en cas de fuite du gaz		Vérification de l'existence des fuites avec un explosimètre (BU)	Détecteurs de gaz (BT)
Consignes d'utilisation des casques anti-bruit (BU)				Vérification de l'état de l'égalisateur automatique de poussée (BU)	Sondes de vibration (BT)
Consignes d'utilisation des casques anti-bruit (BU)				Vérification périodique du système anti-pompage (BU)	Sondes de vibration (BT)
Consignes d'utilisation des casques					Sondes de vibration (BT)

anti-bruit (BU)					
		Procédure en cas de fuite du gaz		Vérification périodique de l'état des canalisations (BU)	Détecteurs de gaz (BT)
Consignes d'utilisation des casques anti-bruit (BU)					Sondes de vibration (BT) Manomètres (BT)

3-5 maintenance	5-1 implantation	Balisage – accès circulation	5-2 influence sur l'environnement
Maintenance préventive (BT)			Nuisance sonore
Maintenance préventive (BT)			Risque de pollution (fuite du gaz)
Maintenance préventive (BT)			Nuisance sonore
Maintenance préventive (BT)			Risque de pollution (fuite du gaz)
Maintenance préventive (BT)			Nuisance sonore
Maintenance préventive (BT)			Risque de pollution (fuite du gaz)
Maintenance préventive (BT)			Nuisance sonore
Maintenance préventive (BT)			Nuisance sonore
		Accès interdit au personnel non habilité (BU)	Nuisance sonore
Maintenance préventive (BT)			Risque de pollution (fuite du gaz)
			Nuisance sonore Risque de pollution (fuite du gaz)

Tableau (III.5) : tableau B (identification des barrières de prévention et de protection).

Nous venons de définir des barrières sensées de limiter la fréquence ou la gravité de scénarios envisagés. Toutefois, il faut nous assurer que ces mesures ne génèrent pas de

nouveaux risques. Pour cela, nous allons réaliser une qualification des barrières de prévention et de protection. Ainsi, on introduit chaque élément du tableau B dans le tableau C (voir tableau III.6) pour valider ces solutions.

TABLEAU C					
Barrière de conception	Scénario	Type	Eléments de conception de ces barrières	Contrôles et vérification technique	Maintenance
Fondation absorbante de la vibration	Sc1, Sc4, Sc7, Sc15, Sc17, Sc18, Sc20	BT	Utilisation des absorbants des vibrations (pneus des engins, néoprènes...)	Vérification périodique d'état	Préventive
Spring plunger	Sc1, Sc4, Sc7, Sc15, Sc17, Sc18, Sc20	BT	Dimensionnement Correct	Vérification périodique d'état	Préventive
Joints adéquats de bonne qualité	Sc3, Sc6, Sc8	BT	Utilisation des joints toriques et des joints spiralés de bon état.	Vérification périodique d'état	Préventive
Injection d'inhibiteur de corrosion	Sc19	BT	Utilisation d'un inhibiteur de bonne qualité (concentration, densité...)	Vérification de la date de péremption	Préventive
Injection du méthanol	Sc20	BT	Utilisation du méthanol de bonne qualité (concentration, densité...)	Vérification de la date de péremption	Préventive

Tableau (III.6) : Tableau C (qualification des barrières de prévention et de protection).

Après la définition et la vérification de ces barrières de sécurité, nous allons maintenant déterminer si les scénarios présentent un risque acceptable ou pas. Pour cela, nous déterminerons la nouvelle situation de ces scénarios dans la grille GxF :

Scénarios	Fréquence	Gravité
Sc1	5	2
Sc3	3	3
Sc4	5	2
Sc6	3	3
Sc7	5	2
Sc8	3	3
Sc15	5	2
Sc17	5	2

Sc18	5	2
Sc19	4	3
Sc20	5	3

Tableau (III.7) : Nouvelle hiérarchisation des scénarios.

La dernière chose à faire maintenant est de déterminer si les scénarios considérés présentent un risque acceptable ou non lorsqu'on tient compte des barrières mises en place. Pour cela, nous allons examiner la nouvelle situation des scénarios dans la grille GxF :

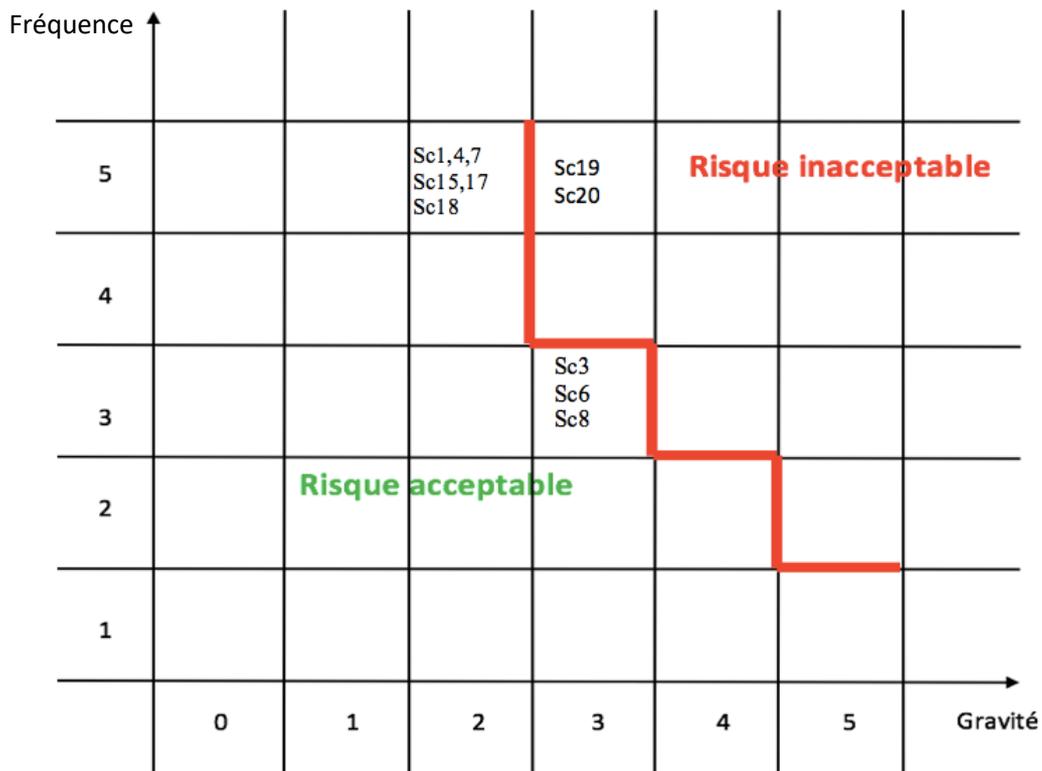


Figure (III.10) : Nouvelle situation des scénarios.

D'après cette grille, il reste deux scénarios dans le coté jugé inacceptable, ce sont des risques résiduels. Il est défficile de définir des barrières efficaces afin de les réduire.

D'autres scénarios sont jugés acceptables suivant la grille ci-dessus (voir figure III.10), dont la probabilité d'occurance reste élevé mais leurs gravités sont peut importantes.

**III.6. Conclusion :**

Dans ce présent chapitre, l'application de la méthode MADS-MOSAR nous a permis d'identifier les risques liés au turbo-expander et de déterminer leurs scénarios d'apparition afin de proposer des barrières de sécurité nécessaires pour y faire face.

Après la décomposition du système étudié (turbo-expander) en dix sous-systèmes, nous avons identifié les vingt-trois scénarios à risques dont les risques les plus critiques sont des

risques de vibrations et d'explosion, ensuite nous avons défini les différentes barrières de sécurité afin de diminuer soit la gravité ou bien la probabilité d'occurrence de ces événements non souhaités.

Comme il est difficile de maîtriser tous les risques générés, après qualification des barrières de sécurité, deux scénarios restent inacceptables. Ils constituent des risques résiduels, nous proposons de les transmettre vers les assurances selon les moyens de l'entreprise.

## CONCLUSION GENERALE

Le turbo-expander installé au niveau du groupement TFT est de type à des paliers hydrauliques, le but de son process est de récupérer les fractions C3 et C4 (GPL) du gaz au cours d'une détente isentropique combinée avec une récupération d'une énergie mécanique utilisée pour entrainer la partie compresseur. L'utilisation du turbo-expander est connue par le bon rendement de liquéfaction du GPL qui peut atteindre les 75% avec une génération d'une multitude de risques qui peuvent coûter cher pour l'entreprise.

Dans le but de maintenir la continuité et le taux élevé de production du GTFT basé principalement sur le fonctionnement normal du turbo-expander sans avoir des incidents ou des accidents, nous avons mené une étude d'analyse de ses risques permettant de réduire leur probabilité ou leur gravité.

La démarche d'analyse appliquée c'était celle de MADS-MOSAR, cet outil d'analyse nous a permis de définir le système à étudier dans son environnement, de le décomposer en sous-systèmes déterminant leurs interactions entre eux, d'identifier les différents scénarios conduisant à des évènements non souhaités, de mettre en place des barrières de sécurité pour les réduire en termes de gravité, de fréquence ou des deux et de qualifier ces barrières pour s'assurer qu'ils ne génèrent pas de nouveaux risques.

Au cours de l'application de la méthode, nous avons défini :

- Vingt-trois scénarios à risques (vingt-et-un scénarios court et d'autodestructions et deux scénarios longs) dont les risques de vibrations et d'explosion sont les plus dominants et les plus critiques ;
- Des barrières de sécurité (spring plunger, fondation absorbante de vibrations, formation des opérateurs, consignes d'utilisation des équipements de sécurité ...) afin de diminuer leurs criticités ;

A la fin, après l'identification des barrières de sécurité, nous avons trouvé deux risques résiduels (risque de vibration et d'explosion) qui sont liés à l'environnement ambiant dont il est difficile de contrôler, donc la réduction de leurs probabilités d'occurrence et de leurs gravités reste loin à atteindre.

Ce que nous avons constaté d'après le travail effectué, le turbo-expander n'a jamais fait l'objet d'un accident au niveau du groupement TFT, à cause de la haute performance de son niveau de sécurité et la très haute qualification de ses opérateurs, il suffit donc d'appliquer le plan de maintenance préventive fourni par le constructeur.

## REFERENCES

- [1] Y. Veyret, S. Beucher, M. Reghezza, « Les risques », Bréal. Ed, Amphi Géographie-Capes/Agrégation,2004.
- [2] P. Périllon, « La gestion des risques- Méthodes MADS MOSAR II - Manuel de mise en oeuvre », Les éditions demos. Ed.2007.
- [3] A. Desroches, « Concepts et méthodes probabilistes de base de la sécurité », Lavoisier, France, 1995.
- [4] IEC 61508, «Functional Safety of Electrical/Electronic/Programmable Electronic (E/E/PE) safety related systems », International Electro-Technical Commission (IEC), 1998.
- [5] OHSAS 18001, Système de management de la santé et de la sécurité au travail- Spécification -BSI, AFNOR, 1999.
- [6] A. Villemeur, « Sûreté de fonctionnement des systèmes industriels », Eyrolles, 1998.
- [7] R. Gouriveau, « Analyse de risques, formalisation des connaissances et structuration des données pour l'intégration des outils d'étude et de décision », Thèse PHD, Institut National Polytechnique de Toulouse, 2003.
- [8] Nouhed ACHOURI, « Apport de la logique floue à l'analyse de criticité des risques industriels », Thèse Magistère, Université El-Hadj Lakhdar – Batna, le 27 Octobre 2009.
- [9] A. Desroches, A. Leroy, and F. Vallée, « La gestion des risques : principes et pratiques », Lavoisier, France, 2003.
- [10] ISO, « Management du risque : Vocabulaire, Principes directeurs pour l'utilisation dans les normes », Organisation internationale de normalisation, 2002.
- [11] T. Tanzi and F. Delmer, « Ingénierie du risque Lavoisier », France, 2003.
- [12] ISO, « Aspects liés à la sécurité : Principes directeurs pour les inclure dans les normes », Organisation internationale de normalisation, 1999.
- [13] Alexandra GENESTIER, « Gestion des Risques en établissement de santé », D'après le diaporama élaboré par N. HERMAN IFSI – semestre 2 (Deuxième Partie), février 2015.
- [14] SONATRACH activité E&P, « évaluation des risques professionnels (EvRP) », 03 Avril 2016].
- [15] M. Dziubiński, M. Frątczak, A. S. Markowski, « Aspects of risk analysis associated with major failures of fuel pipelines », Journal of Loss Prevention in the process industries, vol. 19, 2006.
- [16] A. S. Markowski, M. Mannan, « Fuzzy Risk Matix », Journal of Hahard Materials, 2008.
- [17] D. Hourtoulou, « ASSURANCE - ASSESSment of the Uncertainties in Risk ANalysis of Chemical Establishments, Cases study », Rapport INERIS-DRA 25 472,

2000.

[18] M. Sallak, C. Simon, and J. F. Aubry, « A fuzzy probabilistic approach for determining safety integrity level », IEEE Transactions on fuzzy systems, vol. 16, no. 1, 2008.

[19] Techniques de l'ingénieur, « Méthodes d'analyse des risques », Editions T.I.

[20] Pierre PERILHON, « Du risque à l'analyse du risque », Juin 2003.

[21] Jean-Claude JACQUIOT, « L'analyse de risques pour les débutants », Paris-Seattle, Juillet 2010.

[22] JEAN-LOUIS LE MOIGNE, « La théorie du système général », 1994.

[23] GTFT, DRH (direction de ressources humaines), 2017.

[24] GTFT, « Manuel opératoire d'exploitation », le 28 Mai 2010.

[25] Mafi-trench corporation, « Introduction aux turbo-expanders – préparé exclusivement pour le groupement TFT », Santa Maria – Californie USA Juin 2001.

[26] MAAOUI Bedreddine, HAMDJ Fakhreddine, « Etude de l'application d'un turbo-expander pour la production de GPL dans l'unité GTFT », Mémoire d'obtention d'ingénieur d'état, Université M'HAMMED BOUGUERA BOUMERDES, 2013.