

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR - ANNABA  
BADJI MOKHTAR – ANNABA UNIVERSITY



جامعة بلجي مختار – عنابة

Faculté : Sciences de L'Ingéniorat  
Département : Électromécanique  
Domaine : Sciences et Technologie  
Filière : Hygiène et Sécurité Industrielle  
Spécialité : Hygiène et Sécurité Industrielle

## Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master

Thème :

**Analyse du risque industriel  
Cas du bac de stockage d'ammoniac T-101 et pipeline  
FERTIAL-ANNABA**

Présenté par : *AOUADI CHEMS EDDINE*  
*KARKOUR AIMEN*

Encadrant : *Mr. AMIAR.N*

*MAA*

*U.B.M. Annaba*

## Jury de Soutenance :

Mr. HAMAIDI.B	Professeur	U.B.M. Annaba	Président
Mr. AMIAR.N	MAA	U.B.M. Annaba	Encadrant
Mr. OUADA.M	MCB	U.B.M. Annaba	Examineur

Année Universitaire : 2019/2020

# *Dédicace*

*Je dédie ce modeste travail, cette mémoire fruit de plusieurs années d'études à mon cher père et ma chère mère car sans leurs sacrifices, leurs conseils, leurs soutiens, leurs affections, je ne pourrais aboutir à ce résultat. Que dieu vous garde.*

*A mes chers frères, à ma chère sœur et ma belle-sœur qui ont été toujours à mes côtés.*

*A mon ami AOUBADI CHEMSEDDINE, et le reste de mes amis avec qui j'ai passé d'agréables moments.*

*A tous ceux qui n'ont aidé à réaliser ce travail.*

**KARKOURAIMEN**

# *Dédicace*

*Je dédie ce modeste travail,*

*À mes chers parents qui m'ont donné leur soutien sans faille depuis toujours. Le plus beau résultat au cours de mes années d'étude a été obtenu grâce à eux, que dieu vous garde.*

*À ma chère sœur qui a toujours été présente pour moi.*

*A mon Amie KARKOURAIMEN.*

*A tout ceux qui sont chères, proches à mon cœur et a tout ceux qui m'ont aidé à réaliser ce travail.*

*AOUADI CHEMS EDDINE.*

# REMERCIEMENT

*Grace à Dieu le tout puissant, nous sommes arrivé en fin de nos études qui est sous l'aide de nombreuse personnes.*

*Nous remercions ainsi :*

*Nos mères et pères pour leurs confiance, nos sœurs, nos frères qui nous ont soutenus et encouragés pendant cette période.*

*Mr. AMIAR, notre encadreur pour ses orientations, ses conseils et son aide tout au long de notre recherche.*

*Tous les enseignants pour leurs aides.*

*Tous les travailleurs de département d'électromécanique.*

*Merci infiniment.*

## ***Résumé***

L'objectif principal de notre travail est de parvenir à une meilleure maîtrise des risques industriels.

Ce travail est divisé en deux parties. La première partie est théorique, où nous avons commencé par définir des généralités liées aux risques industriels, ensuite nous avons montré l'importance de l'analyse des risques dans le management des risques et la prise de décision. Dans la deuxième partie nous avons donné une image à notre théorie à travers une étude de cas d'analyse des risques du bac de stockage d'ammoniac et du pipeline de transbordement d'ammoniac dans l'entreprise Fertial-Annaba. À la fin, nous avons émis des recommandations pour améliorer la prévention et augmenter le niveau de sécurité industrielle dans l'entreprise.

## ***Abstract***

The main objective of our work is to achieve better control of industrial risks. This work is divided into two parts. The first part is theoretical, where we started by defining generalities related to industrial risks, then we showed the importance of risk analysis in risk management and decision-making. In the second part, we gave an image to our theory through a case study of risk analysis of the ammonia storage tank and the ammonia transshipment pipeline in the Fertial-Annaba company. At the end, we issued recommendations to improve prevention and increase the level of industrial safety in the company.

## ***ملخص***

الهدف الرئيسي لعملمانا هو تحقيق سيطرة أفضل على المخاطر الصناعية. هذا العمل مقسم إلى جزئين. الجزء الأول نظري، حيث بدأنا بتحديد العموميات المتعلقة بالمخاطر الصناعية، ثم أظهرنا أهمية تحليل المخاطر في إدارة المخاطر واتخاذ القرار. في الجزء الثاني، قدمنا صورة لنظريتنا من خلال دراسة حالة لتحليل مخاطر خزان تخزين الأمونيا وخط أنابيب نقل الأمونيا في شركة فرتيال-عناابة. في النهاية أصدرنا توصيات لتحسين الوقاية ورفع مستوى السلامة الصناعية في الشركة.

## Sommaire :

Titre	Page
Dédicace	
Remerciement	
Résumé, Abstract, ملخص	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Abréviations	
Introduction générale	1
<i>Partie I : Théorique</i>	
<i>Chapitre I : Généralité sur le risque industriel</i>	
I. Introduction	4
II. Termes et définitions	4
1. Danger	4
2. Risque	4
3. Evènement dangereux	4
4. Situation dangereuse	4
5. Dommage	4
6. Accident	5
7. Incident	5
III. Classification des risques	5
1. Selon la nature	5
2. Selon la gravité et la fréquence d'apparition	5
IV. Le risque majeur	6
1. Aléa	6
2. Enjeu	6
3. Les différents types de risque majeur	6
3.1 Le risque naturel majeur	6
3.2 Le risque technologique majeur	6
V. Le risque industriel	7
1. Définition	7
2. Installations classées pour protection de l'environnement (ICPE)	7
3. Les différents types de risque industriel	7
4. Les principales causes des risques industriels	8
4.1 Les causes liées à une mauvaise gestion de la sécurité	8
4.2 Les causes externes	8
4.3 Les causes liées à la malveillance	8
5. Les principales conséquences des risques industriels	9
5.1 Les conséquences humaines	9
5.2 Les conséquences économiques	9
5.3 Les conséquences environnementales	9
VI. Conclusion	9

## *Chapitre II : Place de l'analyse dans la gestion des risques*

I. Introduction	11
II. Gestion des risques	11
III. Processus de la gestion des risques	11
1. Communication et consultation	12
2. Domaine d'application, contexte et critère	12
2.1 Définition du domaine d'application	12
2.2 Contexte interne et externe	12
2.3 Définition des critères de risque	12
3. Suivre et revue	13
4. Appréciation du risque	13
4.1 Identification du risque	13
4.2 Analyse du risque	13
4.3 Evaluation du risque	13
4.3.1 Matrice de criticité	13
4.3.1.1 Types de matrice de criticité	14
a. Matrice de criticité utilisée par l'INERIS	14
b. Matrice de criticité de l'UTEC	14
c. Grille de criticité utilisée par l'URS	15
d. Matrice de criticité d'ATOFINA	15
e. Grille de criticité utilisée par le HFRS	16
f. Grille de criticité utilisée par le BCS	16
4.3.2 Grille de maîtrise	16
5. Traitement des risques	17
5.1 Acceptation des risques	17
5.1.1 Risque acceptable (ALARP)	18
5.2 Maîtrise du risque	19
6. Enregistrement et élaboration de rapport	19
IV. Conclusion	19
<i>Chapitre III : Analyse des risques</i>	
I. Introduction	21
II. Démarche de l'analyse des risques industriels	21
1. Définition du système à étudier et les objectifs	21
a. Définition du système	21
b. Définition des objectifs à atteindre	21
2. Recueil des informations	21
3. Définition de la démarche	21
4. Mise en œuvre de l'analyse de risques	22
III. Les différentes méthodes d'analyse des risques	22
1. Les méthodes classiques d'analyse des risques	22
1.1 Analyse Préliminaire des Risques (APR)	22
1.2 La méthode HAZOP (Hazard Operability Study)	23

1.3 Analyse par arbres des défaillances (AdD)	26
1.4 Analyse par arbres d'évènements (AdE)	28
1.5 Analyse par Nœud de Papillon	30
1.6 Les point fort et limites des méthodes classiques d'analyse des risques	31
a. Les points forts des méthodes classiques	31
b. Les limites des méthodes classiques	32
2. Les méthodes intégrées d'analyse des risques	33
2.1 La méthode MOSAR	33
2.2 La méthode LOPA	34
2.3 Les points forts et limites des méthodes intégrées d'analyse des risques	34
a. Les points forts des méthodes intégrées	34
b. Les limites des méthodes intégrées	34
3. Critères de choix de la méthode d'analyse des risques	35
3.1 Méthode qualitative / quantitative / semi-quantitative	35
3.2 Démarche inductive / déductive	35
3.3 Approche déterministe / probabiliste / mixte	35
3.4 Domaine d'application	35
IV. Conclusion	37
<i>Partie II : Pratique</i>	
<i>Chapitre I : Présentation de l'entreprise</i>	
I. Introduction	40
II. Situation géographique	40
III. Principales activités	41
IV. Présentation des unités de production	41
V. Les différents stockages dans l'entreprise	41
VI. Les objectifs de l'entreprise	42
VII. Conclusion	42
<i>Chapitre II : Analyse des risques du bac de stockage T-101 et du pipeline</i>	
I. Introduction	44
II. Description et identification des installations	44
1. Identification de la substance dangereuse	44
1.1 Les effets potentiels de l'ammoniac sur la santé	44
2. Description du bac de stockage d'ammoniac T-101	45
2.1 Caractéristiques	45
2.2 Composantes de l'installation	45
a. Bac d'entreposage	45
b. Bassin de rétention	46
c. Système de réfrigération	46
2.3 Description des événements redoutés	47
3. Description du système de transbordement d'ammoniac (pipeline)	47
3.1 Caractéristiques	47
3.2 Composantes de l'installation	47



a. Pompe de transfert	47
b. Le pipeline	47
c. Système de retour gaz	48
3.3 Description des évènements redoutés	48
4. La cinétique des évènements	48
III. Modélisation	49
1. Présentation du logiciel de simulation ALOHA	49
1.1 Les entrées	50
1.2 Les sorties	50
1.3 Les limites	50
2. Simulation d'accident dans le bac de stockage	51
2.1 Simulation d'une dispersion du gaz toxique due à une fissure de 10 cm de longueur dans le bac de stockage	51
a. Les zones de menace	51
b. La force de la source	52
c. Illustrations des zones de menace sur la carte par le l'interface MARPLOT	52
d. Résultat et discussion	53
2.2 Simulation d'une dispersion du gaz toxique due à une rupture de 2 m de diamètre dans le bac de stockage	53
a. Les zones de menace	53
b. La force de la source	54
c. Illustrations des zones de menace sur la carte par le l'interface MARPLOT	54
d. Résultat et discussion	55
3. Simulation d'accident dans le pipeline	55
3.1 Simulation d'une dispersion du gaz toxique due à une rupture du bras de chargement	55
a. Les zones de menace	55
b. Force de la source	56
c. Illustrations des zones de menace sur la carte par le l'interface MARPLOT	56
d. Résultat et discussion	57
IV. Matrice de criticité	57
1. Les niveaux de Gravité	58
2. Les niveaux de probabilité	59
V. Grille de maîtrise	59
VI. Analyse des risques du bac de stockage T-101	60
1. Les Tableaux de l'Analyse HAZOP avec l'Evaluation des risques et les niveaux de Maîtrise	61
2. Analyse par Arbre de défaillances	67
2.1 Description des Symboles de l'AdD	69
2.2 Coupe minimales de l'AdD	69
2.3 L'arbre de défaillance réduit	70
3. Analyse par Arbre d'évènement	72

3.1 Description des conséquences de l'AdE	74
4. Analyse par nœud de papillon	75
4.1 Description des barrières de sécurité du nœud du papillon	77
4.2 Liste des barrières de prévention et de protection du nœud du papillon	77
VII. Analyse des risques du pipeline de transbordement d'ammoniac	77
1. Les Tableaux de l'Analyse HAZOP avec l'Evaluation des risques et les niveaux de Maitrise	78
2. Analyse par Arbre de défaillances	83
2.1 Coupe minimales de l'ADD	85
2.2 L'arbre de défaillance réduit	85
3. Analyse par Arbre d'évènement	87
3.1 Description des conséquences de l'AdE	89
4. Analyse par nœud de papillon	90
4.1 Liste des barrières de prévention et de protection du nœud du papillon	92
VIII. Résultat et Conclusion	93
1. Représentation des risques dans le graphe des risques	93
2. Maitrise des risques par l'entreprise	95
Conclusion générale	98
Bibliographie	100

## Liste des figures :

<i>Partie I : Théorique</i>		
<b>Figure n° :</b>	<b>Titre</b>	<b>Page</b>
I.I.1	Apparition du dommage.	4
I.I.2	Courbe de Farmer.	5
I.I.3	Exemple d'un risque naturel majeur.	6
I.I.4	Exemple d'un risque technologique majeur.	6
I.I.5	Principales causes des accidents industriels.	8
<i>Chapitre II</i>		
I.II.1	Processus de gestion des risques selon ISO 31001 : 2018.	11
I.II.2	Grille de criticité utilisée par le BCS.	16
I.II.3	Diagramme d'acceptation du risque.	17
I.II.4	Présentation du risque ALARP par la norme IEC 61508.	18
I.II.5	Différence entre la prévention et la protection.	18
<i>Chapitre III</i>		
I.III.1	Exemple d'arbre des défaillances.	27
I.III.2	Exemple d'arbre d'évènements.	30
I.III.3	Exemple du nœud de papillon.	31
<i>Partie II : Pratique</i>		
<i>Chapitre I</i>		
II.I.1	Localisation géographique du site Fertial Annaba par Google Earth.	40
II.I.2	Schéma représentant les différentes unités de production dans complexe FERTIAL.	41
II.I.3	Vue du ciel par Google Earth du site industriel Fertial-Annaba.	42
<i>Chapitre II</i>		
II.II.1	Pictogramme de danger de l'ammoniac NH <sub>3</sub> .	44
II.II.2	Photo du bac de stockage d'ammoniac.	45
II.II.3	Surveillance du pipeline par pc dans la salle de contrôle.	48
II.II.4	Photo de l'interface du logiciel ALOHA.	49
II.II.5	Zone de menace d'une dispersion du gaz toxique due à une fissure de 10 cm de longueur dans le bac de stockage.	51
II.II.6	Force d'une dispersion du gaz toxique due à une fissure de 10 cm de longueur dans le bac de stockage	52
II.II.7	Illustrations des zones de menace d'une dispersion du gaz toxique due à une fissure de 10 cm de longueur dans le bac de stockage avec l'interface MARPLOT.	52
II.II.8	Zone de menace d'une dispersion du gaz toxique due à une rupture de 2 m de diamètre dans le bac de stockage.	53
II.II.9	Force d'une dispersion du gaz toxique due à une rupture de 2 m de diamètre dans le bac de stockage.	54
II.II.10	Illustrations des zones de menace d'une dispersion du gaz toxique due à une rupture de 2 m de diamètre dans le bac de stockage avec l'interface MARPLOT.	54
II.II.11	Zone de menace d'une dispersion du gaz toxique due à une rupture de bras de chargement du pipeline.	55
II.II.12	Force d'une dispersion du gaz toxique due à une rupture de bras de chargement du pipeline.	56

II.II.13	Illustrations des zones de menace d'une dispersion du gaz toxique due à une rupture de bras de chargement du pipeline avec l'interface MARPLOT.	56
II.II.14	Schéma tuyauterie et instrumentation P&ID du bac de stockage.	62
II.II.15	Schéma tuyauterie et instrumentation P&ID du pipeline.	79
II.II.16	Représentation des risques du bac de stockage dans le graphe des risques.	93
II.II.17	Représentation des risques du pipeline dans le graphe des risques.	94

## Liste des tableaux :

<i>Partie I : Théorique</i>		
<i>Chapitre I</i>		
<b>Tableau n° :</b>	<b>Titre</b>	<b>Page</b>
I.I.1	Les différents types des risques industriels.	7
<i>Chapitre II</i>		
I.II.1	Grille de criticité utilisée par l'INERIS.	14
I.II.2	Grille de criticité utilisée par l'UTE.	14
I.II.3	Grille de criticité de l'URS.	15
I.II.4	Grille de criticité utilisée par ATOFINA.	15
I.II.5	Grille de criticité utilisée par le HFRS.	16
I.II.6	Exemple d'une grille de maîtrise des risques.	17
<i>Chapitre III</i>		
I.III.1	Exemple de tableau « APR ».	23
I.III.2	Exemple de tableau « HAZOP ».	24
I.III.3	Définition des mots guide de la méthode HAZOP.	25
I.III.4	Synthèse des principales caractéristiques des méthodes d'analyse des risques.	36
<i>Partie II : Pratique</i>		
<i>Chapitre II</i>		
II.II.1	Caractéristiques du bac de stockage d'ammoniac.	45
II.II.2	Caractéristiques du pipeline de transfert d'ammoniac.	47
II.II.3	Cinétiques des événements du bac de stockage et du pipeline.	49
II.II.4	Matrice de criticité utilisée par l'entreprise FERTIAL.	57
II.II.5	Les niveaux de gravité des risques.	58
II.II.6	les niveaux de probabilité des risques.	59
II.II.7	Grille de maîtrise des risques.	59
II.II.8	Analyse HAZOP du bac de stockage.	63
II.II.9	Description des Symboles de l'AdD.	69
II.II.10	Description des conséquences de l'AdE du bac de stockage.	74
II.II.11	Description des barrières de sécurité du nœud du papillon.	77
II.II.12	Analyse HAZOP du pipeline.	80
II.II.13	Description des conséquences de l'AdE du pipeline.	89
II.II.14	Description des risques du bac de stockage représenté dans le graphe des risques.	93
II.II.15	Description des risques du pipeline représenté dans le graphe des risques.	94
II.II.16	Maîtrise des risques du bac de stockage par l'entreprise FERTIAL.	95
II.II.17	Description des risques du bac de stockage dans la grille de maîtrise.	95
II.II.18	Maîtrise des risques du pipeline par l'entreprise FERTIAL.	96
II.II.19	Description des risques du pipeline dans la grille de maîtrise.	96

## ***Abréviations :***

<b><i>Acronyme</i></b>	<b><i>définition</i></b>
ICPE	Installations classées pour protection de l'environnement.
ISO	Organisation internationale de normalisation.
INRS	Institut national de recherche et de sécurité.
INERIS	Institut national de l'environnement industriel et des risques.
ALARP	Aussi faible que raisonnablement pratique.
IEC	Commission internationale d'électricité.
APR	Analyse préliminaire des risques.
AMDEC	Analyse de mode de défaillances leur effet et leur criticité.
HAZOP	Etude opérationnelle du danger (Hazard operability study).
AdC	Arbre des causes.
AdD	Arbre de défaillance.
AdE	Arbre d'évènements.
ER	Evénement redouté.
EI	Evénement initiateur.
ERC	Evénement redouté centrale.
ERS	Evénement redouté secondaire.
MOSAR	Méthode Organisée Systémique d'Analyse de Risques.
ARAMIS	Une méthode d'évaluation des risques pour les industries.
QRA	Evaluation quantitative des risques.
LOPA	Analyse par couches de protection.
CCPS	Center for chemical process safety.
NPK	Nitrogène, Phosphore, Potassium.
NPKCl	Nitrogène, Phosphore, Potassium, chlore.
P	Probabilité.
G	Gravité.
M	Indice de maîtrise.
C	Criticité.
Cb	Criticité brute.
Cn	Criticité Nette.
MARPLOT	Mapping Application for Response, Planning, and Local Operational Tasks.
SIG	Système d'information géographique.
ALOHA	Areal Locations of Hazardous Atmospheres.
DNV	Det Norske Veritas.
EDD	Etude de danger.
P&ID	Schéma tuyauterie et instrumentation (Piping and instrumentation diagram).
SSP	Le superphosphate simple.
TSP	Le superphosphate triple.
UAN	Urée et nitrate d'ammonium.
CAN	Nitrate d'ammoniaque calcaire.
UTEC	Union technique de l'électricité et de la communication.
BCS	British computer society.
HRFS	Hampshire fire and rescue service.
URS	United Research Services.

## ***Introduction générale :***

L'actualité relative aux risques industriels et aux installations classées est fort riche depuis le début de l'année 2009. Cette année a en effet été jalonnée de nombreux accidents qui ont plus ou moins défrayés la chronique. Les évolutions législatives, le Grenelle de l'environnement avec sa table ronde sur les risques industriels majeurs ainsi que tous les débats qui ont accompagné cette actualité parfois dramatique ont marqué l'opinion publique, tout comme la tenue du procès relatif à l'accident de l'usine AZF (Toulouse, 2001).

L'hygiène, la sécurité et les conditions de travail sont des notions récentes puisqu'elles ont fait leurs apparitions au 19<sup>ème</sup> siècle avec le développement industriel qui constitue le noyau dur autour duquel s'est construit progressivement le droit du travail ; avec les premières mesures de prévention et de protections au bénéfice des travailleurs, les biens et l'environnement.

La gestion des risques est une notion " jeune " qu'il faut encore définir, faire découvrir et légitimer : ses acteurs, les risques-manageurs, ont besoin d'outils pour anticiper et réagir aux agressions potentielles. Classiquement, les risques peuvent être probabilisés : en analysant les actions passées, on peut prévoir les scénarios probables qui peuvent intervenir dans l'avenir.

Toutefois il existe des risques dont la survenance est très improbable ? Ce sont justement ces derniers qui, lorsqu'ils surviennent, entraînent une catastrophe : explosion de la centrale nucléaire Tchernobyl en 1986, attentats de New-York et de Washington en 2001, scandales financiers d'Enron et Worldcom en 2002, etc. L'analyse des faits passés n'avait pas prévu de tels événements.

L'Algérie comme les autres pays du monde, n'échappe pas à ce fléau, a vécu plusieurs expériences tragiques qui ont occasionné d'importantes pertes humaines et des dommages considérables à l'instar de l'explosion du complexe de liquéfaction de Skikda ,survenu le 19 janvier 2004, et d'autres qui ont marqué l'histoire récente de la sécurité industrielle dus à des sites industriels insérés à l'intérieur des zones urbaines.

La prévention des risques technologiques regroupe l'ensemble des dispositions à mettre en œuvre pour réduire la probabilité de survenue et les conséquences d'un accident. Elle repose sur quatre outils :

- La maîtrise du risque à la source par l'exploitant ;
- La maîtrise de l'urbanisation (éloigner les populations du danger) ;
- L'organisation des moyens de secours ;
- L'information du public.

L'étude de dangers est au cœur de la prévention des risques technologiques. Son exploitation permettra la mise en œuvre de l'ensemble des outils prévus par la législation.

L'objectif de notre travail consiste en premier temps à donner un aperçu général sur l'analyse des risques industriels et le processus à suivre pour parvenir à la maîtrise des risques. Ensuite, une étude de cas sera menée pour clarifier d'avantage notre travail et montrer l'importance de l'analyse de risque pour conduire une bonne gestion des risques industriels.

# *Partie I :* *Théorique*



# *Chapitre I*

*Généralités sur le risque industriel*

## I. Introduction :

Le mot risque est de plus en plus employé ces dernières années pour nommer toutes les notions relatives aux accidents ou aux dangers sans vraiment correspondre à une définition précise et complète. Le terme risque a connu et connaît diverses mutations car beaucoup de disciplines et d'acteurs se l'approprient. Il est donc nécessaire de nous attarder sur la signification de ce terme et son emploi.

Nombreux sont les termes qui composent ou accompagnent la notion ou le concept de risque. Avant de nous plonger dans l'analyse des risques industriels, nous devons donc en passer d'abord par la présentation et les définitions qui nous permettent de bien comprendre la notion du risque industriel.

## II. Termes et définitions :

### 1. Danger :

Source, situation, ou acte ayant un potentiel de nuisance en termes de lésion corporelle ou d'atteinte à la santé, ou une combinaison de ces éléments. [1]

### 2. Risque :

La perception des dommages potentiels liés à une situation dangereuse se rapporte à la notion de risque. Le terme risque à plusieurs significations. De même, les risques peuvent être de nature très variée et beaucoup de classifications ont été proposées.

- Le risque est la combinaison de la probabilité de la survenue d'un ou plusieurs événements dangereux ou expositions à un ou à de tels événements et de la gravité des lésions corporelles ou de l'atteinte à la santé que cet événement ou cette/ces exposition(s) peuvent causer. [1]
- Effet de l'incertitude sur l'atteinte des objectifs. [2]
- Vraisemblance d'apparition d'un danger, d'une perte ou d'un autre événement indésirable. [3]

### 3. Événement dangereux :

Événement susceptible de causer un dommage. [4]

### 4. Situation dangereuse :

Situation dans laquelle une personne est exposée à au moins un phénomène dangereux. [4]

### 5. Dommage :

Blessure physique ou atteinte à la santé. [4]

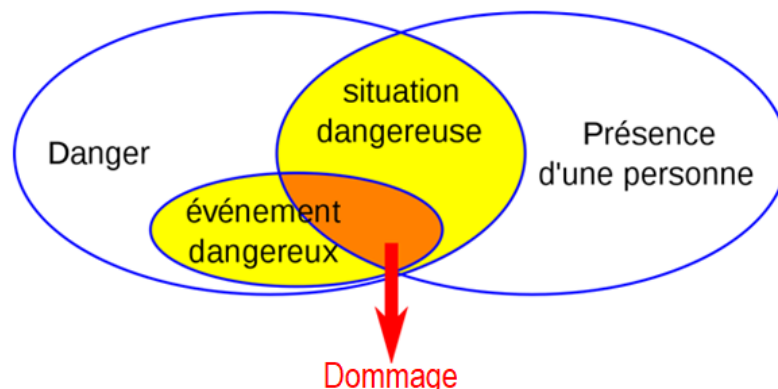


Figure I.I.1 : Apparition du dommage.

## 6. Accident :

Événement non désiré causant la mort ou des dommages sur la santé et l'environnement. [3]

## 7. Incident :

Événement non désiré pouvant conduire à une détérioration de la santé. [3]

### III. Classification des risques : [5]

#### 1. Selon la nature :

Les différents types de risque sont regroupés en 5 grandes familles :

- **Les risques naturels** : avalanche, feu de forêt, inondation, mouvement de terrain, cyclone, tempête, séisme et éruption volcanique...
- **Les risques technologiques** : d'origine anthropique, ils regroupent les risques industriel, nucléaire, biologique, rupture de barrage et celles dues aux exploitations minières et souterraines, transport de matières dangereuses... ; ils sont associés à la prévention des pollutions et des risques sanitaires.
- **Les risques de transports collectifs** (personnes, matières dangereuses) sont un cas particulier des risques technologiques, car les enjeux varient en fonction de l'endroit où se produit l'accident
- **Les risques de la vie quotidienne** (accidents domestiques, accidents de la route ...).
- **Les risques liés aux conflits.**

#### 2. Selon la gravité et la fréquence d'apparition :

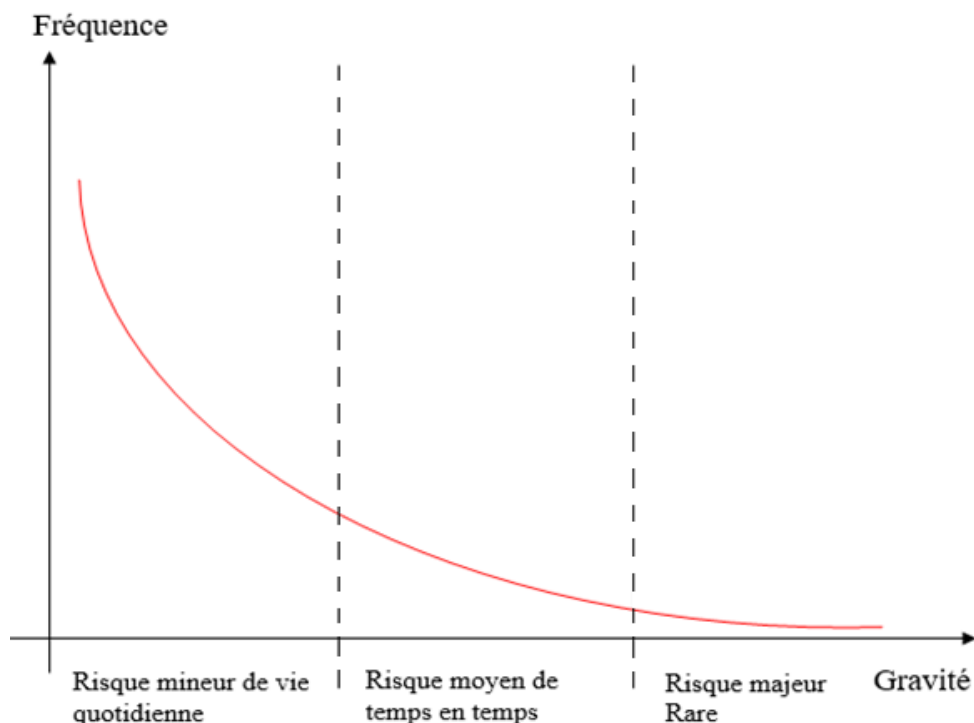


Figure I.I.2 : Courbe de Farmer.

#### IV. Le risque majeur :

Suivant la courbe de Farmer, le risque majeur se définit comme la menace d'un événement à faible fréquence et de grande gravité car il touche des enjeux importants. [5]

Toute menace probable pour l'Homme et son environnement pouvant survenir du fait d'aléas naturels exceptionnels et/ou du fait d'activités humaines. [6]

- 1. Aléa :** Qualifie tout événement, phénomène imprévisible ou activité humaine qui peut provoquer la perte de vies humaines, des blessures, des dommages aux biens, des perturbations sociales ou économiques ou la dégradation de l'environnement. [5]
- 2. Enjeu :** Ensemble des éléments (population, bâtiments, infrastructures, patrimoine environnemental, activités et organisations) pouvant être exposés au danger. [5]

#### 3. Les différents types des risques majeurs :

- 3.1 Le risque naturel majeur :** est une menace découlant des phénomènes géologiques ou atmosphériques aléatoires, qui provoquent des dommages importants sur l'homme, les biens, l'environnement. [5]

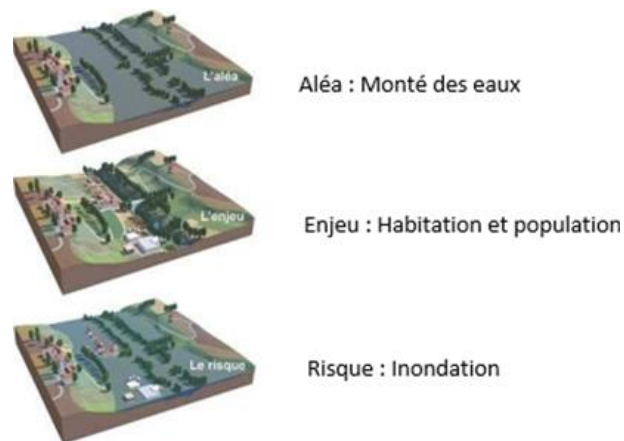


Figure I.I.3 : Exemple d'un risque naturel majeur

- 3.2 Le risque technologique majeur :** est le risque engendré par l'activité humaine. C'est la menace d'un événement indésirable engendré par la défaillance accidentelle d'un système potentiellement dangereux, provoquent des dommages importants sur l'homme, les biens, l'environnement. [5]

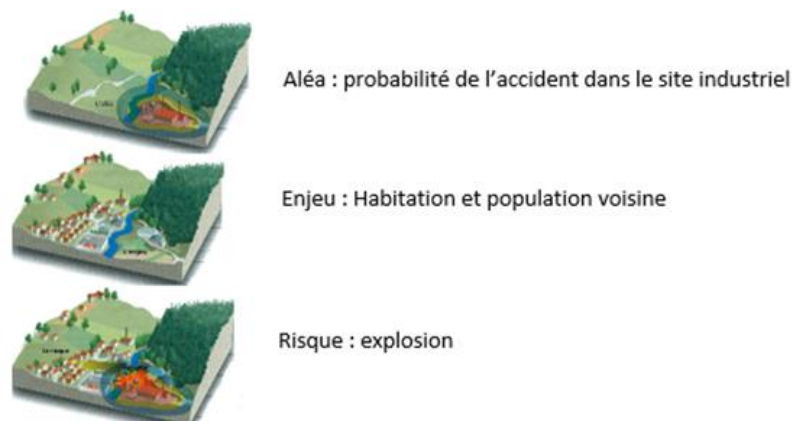


Figure I.I.4 : Exemple d'un risque technologique majeur

## V. Le risque industriel :

### 1. Définition :

Pour notre étude, nous nous intéressons au risque industriel qui est défini comme un évènement accidentel se produisant sur un site industriel mettant en jeu des produits et/ou des procédés dangereux et entraînant des conséquences immédiates graves pour le personnel, les biens et l'environnement. Afin d'en limiter la survenue et les conséquences, les établissements les plus dangereux sont soumis à une réglementation particulière (classement des installations) et à des contrôles réguliers. Néanmoins, ce n'est pas parce qu'un site n'est pas classé qu'il ne présente pas de danger. [7]

### 2. Installations classés pour la protection de l'environnement (ICPE) : [8]

Toute exploitation industrielle susceptible de créer des risques ou de provoquer des pollutions ou nuisances, notamment pour la sécurité et la santé des riverains est une installation classée pour la protection de l'environnement (ICPE), elle est soumise à de nombreuses réglementations de prévention des risques environnementaux, notamment en termes d'autorisations.

La législation des installations classées vise à réduire les dangers ou inconvénients que peuvent présenter les ICPE soit pour :

- La commodité du voisinage,
- La santé, la sécurité, la salubrité publiques,
- L'agriculture,
- La protection de la nature, de l'environnement et des paysages,
- Conservation des sites et des monuments ainsi que des éléments du patrimoine archéologique.

### 3. Les différents types des risques industriels :

Nature du risque	Exemples (formes)	Exemples (effets)
Risque mécanique	Bruit, vibration, machine tournant...	Entraînement, écrasement, maladie professionnelle...
Risque électrique	Eléments de machines sous tension, incendie...	Electrocution, électrisation...
Risque chimique	Matière toxique, inflammable, explosive...	Brulure, intoxication...
Risque biologique	Matières infectieuses, virus, parasites, bactéries...	Maladies.
Risque de pression	Réservoir, ballon en surpression...	Fuite, explosion...
Risque de travail en hauteur	Echafaudage, grue, élévateur a nacelle...	Chute d'objet, personnes...
Risque ergonomique	Efforts excessifs, mouvements répétitifs, travail debout...	Troubles musculo-squelettique...
Risque psychosociaux	Intensification du travail, Harcèlement...	Problèmes de sommeil, dépression, stress...

Tableau I.I.1 : Les différents types des risques industriels.

#### 4. Les principales Causes des risques industriels : [10]

Les causes potentielles de défaillance des industries, qui conduisent aux accidents industriels majeurs sont diverses, et peuvent être classées en trois catégories :

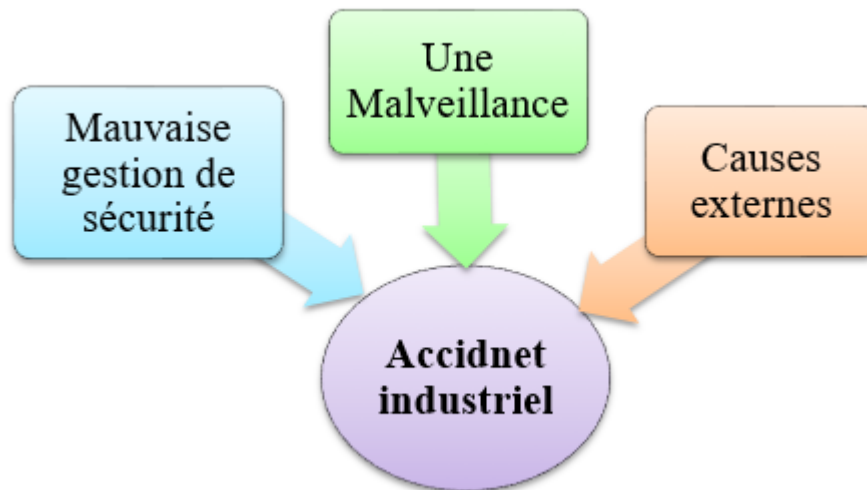


Figure I.I.5 : Principales causes des accidents industriels. [10]

##### 4.1 Les causes liées à une mauvaise gestion de la sécurité :

Défaillances mécaniques liées à un mauvais entretien de l'outil de production (rupture d'une canalisation rouillée suite à un manque de surveillance et à son non remplacement, par exemple), mais aussi défaillances humaines liées à une méconnaissance des risques ou à une erreur de manipulation ;

##### 4.2 Les causes externes :

Cette catégorie comprend toutes les explosions externes qui pourraient engendrer une fuite ou une autre explosion sur le site .Les catastrophes naturelles peuvent également être une source de danger (avalanche, chute de blocs,.. etc.), tout comme des risques plus exceptionnels, tels que les ruptures de barrage en amont d'un site.

##### 4.3 Les causes liées à la malveillance :

Il peut s'agir d'un attentat, d'une dégradation volontaire d'un outil de production. Elle est prise en compte de manière spécifique : elle oblige les industriels à mettre en œuvre des moyens de protection élaborés, car c'est un risque imprévisible.

## 5. Les principales conséquences des risques industriels : [9]

Les conséquences de ces effets peuvent porter atteinte à la santé humaine, aux biens et à l'environnement.

- 5.1 Les conséquences humaines :** Il s'agit des personnes physiques directement ou indirectement exposées aux conséquences de l'accident. Elles peuvent se trouver dans un lieu public, chez elles, sur leur lieu de travail, etc. Le risque peut aller de la blessure légère au décès. Le type d'accident influe sur le type des blessures ;
- 5.2 Les conséquences économiques :** Un accident industriel majeur peut altérer l'outil économique d'une zone. Les entreprises ou les routes voisines du lieu de l'accident peuvent être détruites ou gravement endommagées. Dans ce cas, les conséquences économiques peuvent être désastreuses ;
- 5.3 Les conséquences environnementales :** Un accident industriel majeur peut avoir des répercussions importantes sur les écosystèmes. On peut assister à une destruction de la faune et de la flore terrestre ou aquatique, mais les conséquences d'un accident peuvent également avoir un impact sanitaire (pollution d'une nappe phréatique par exemple).

## VI. Conclusion :

Généralement, le risque industriel est un risque technologique, lié à la mise en œuvre de l'activité humaine à des fins industrielles, il englobe deux catégories : risque professionnel et risque industriel majeur.

Ces risques industriels sont la conséquence du fonctionnement habituel de l'entreprise. Ils sont qualifiés de « risques majeurs » quand :

- La gravité des conséquences qu'ils sont susceptibles de causer à l'environnement extérieur est importante,
- La probabilité d'apparition est faible.

L'industrie doit gérer de façon cohérente ces différentes composantes du risque industriel et favoriser la mise en place d'actions efficaces tant pour la prévention des risques industriels majeurs que professionnels.

# *Chapitre II*

*Place de l'analyse dans la gestion des risques*



## I. Introduction :

Les risques sont des événements incertains, et tous les risques ne sont pas égaux. Certains risques sont relativement faciles à gérer, tandis que d'autres peuvent avoir des conséquences catastrophiques pour l'organisation. La gestion des risques permet de déterminer comment évaluer les différents types de risques et comment gérer les risques les plus importants.

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

## II. Gestion des risques :

La gestion des risques ou management des risques est définie comme l'ensemble des activités coordonnées menée en vue de réduire les risques à un niveau jugé tolérable ou acceptable à un moment donné et dans un contexte donné. [11]

## III. Processus de la gestion des risques :

Le processus de management du risque implique l'application systématique de politiques, de procédures et de pratiques aux activités de communication et de consultation, d'établissement du contexte et d'appréciation, de traitement, de suivi, de revue, d'enregistrement et de compte rendu du risque. [2]

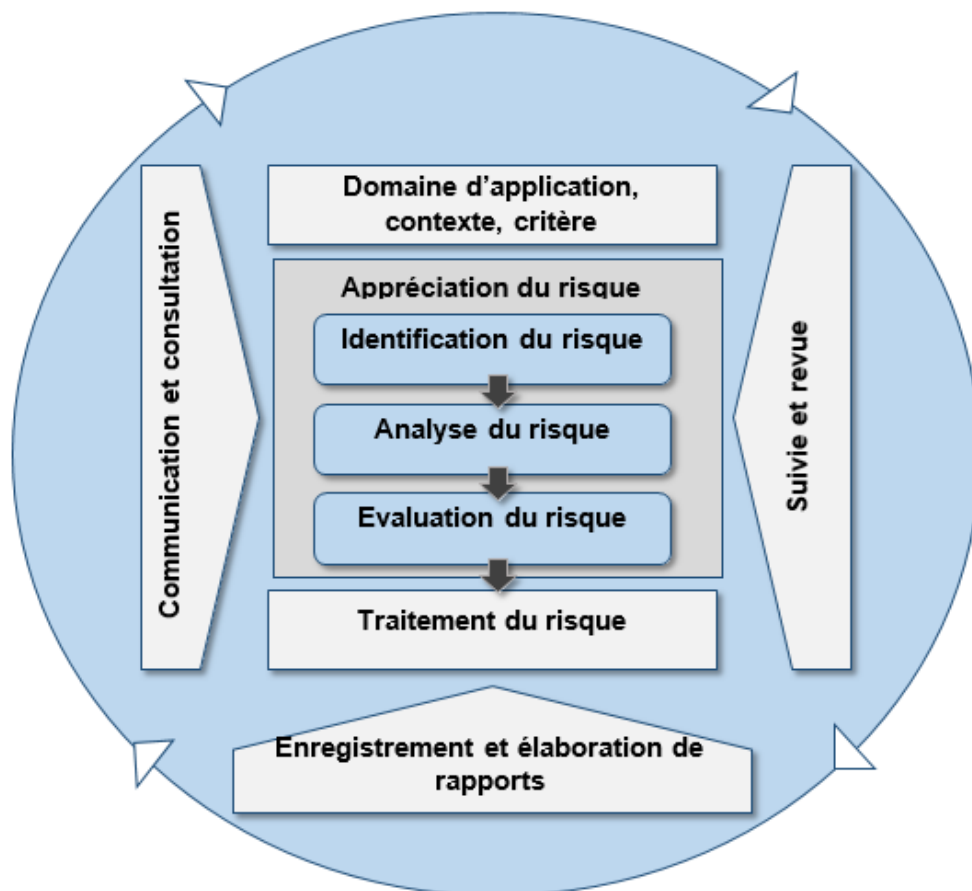


Figure I.II.1 : Processus de gestion des risques selon iso 31001:2018.

## **1. Communication et consultation :**

La communication et la consultation ont pour but d'aider les parties prenantes pertinentes à comprendre le risque, les principes de prise de décisions et les raisons pour lesquelles certaines actions sont nécessaires. La communication vise à accroître la sensibilisation et la compréhension du risque, alors que la consultation implique l'obtention d'un retour et d'informations pour étayer la prise de décisions. [2]

## **2. Domaine d'application, contexte et critères : [2]**

Le domaine d'application, le contexte et les critères impliquent de définir le domaine d'application du processus et de comprendre le contexte interne et externe.

### **2.1 Définition du domaine d'application :**

Il est important d'être précis quant au domaine d'application considéré, aux objectifs pertinents à prendre en compte et à leur alignement sur les objectifs de l'organisme.

Lors de la planification de l'approche, les éléments à prendre en compte comprennent :

- les objectifs et les décisions à prendre ;
- les résultats attendus des étapes du processus ;
- le temps, l'emplacement, les inclusions et exclusions spécifiques ;
- les outils et techniques appropriés d'appréciation du risque ;
- les ressources nécessaires, les responsabilités et la documentation à établir ;
- les relations avec d'autres projets, processus et activités.

### **2.2 Contexte interne et externe :**

Le contexte interne et externe est l'environnement dans lequel l'organisme cherche à définir et atteindre ses objectifs.

### **2.3 Définition des critères de risque :**

Les critères permettant d'évaluer l'importance du risque et d'étayer les processus décisionnels.

Pour fixer les critères de risque, il convient de prendre en compte les éléments suivants :

- La nature et le type d'incertitudes pouvant avoir une incidence sur les résultats et les objectifs (tangibles et intangibles) ;
- La façon dont les conséquences (positives et négatives) et la vraisemblance seront définies et mesurées ;
- Les facteurs liés au temps ;
- La cohérence dans l'utilisation des mesures ;
- La méthode de détermination du niveau de risque ;
- La façon dont les combinaisons et séquences de plusieurs risques seront prises en compte ;
- La capacité de l'organisme.

### **3. Suivi et revue :**

Le suivi et la revue ont pour but de s'assurer et d'améliorer la qualité et l'efficacité de la conception, de la mise en œuvre et des résultats du processus. [2]

### **4. Appréciation du risque : [2]**

L'appréciation du risque est le processus global d'identification, d'analyse et d'évaluation du risque.

#### **4.1 Identification du risque : [2]**

L'identification du risque a pour but de rechercher, reconnaître et décrire les risques qui peuvent aider ou empêcher un organisme d'atteindre ses objectifs. Il est essentiel que les informations utilisées pour l'identification des risques soient pertinentes, appropriées et à jour.

Il convient de prendre en compte les facteurs suivants et leurs relations :

- Sources de risque ;
- Causes et événements ;
- Menaces et opportunités ;
- Vulnérabilités et capacités ;
- Changements intervenus au niveau du contexte externe et interne ;
- Conséquences et leur impact sur les objectifs ;
- Limitations des connaissances et fiabilité des informations ;
- Facteurs liés au temps.

#### **4.2 Analyse du risque : [2]**

L'analyse du risque a pour but de comprendre la nature du risque et ses caractéristiques, y compris le niveau de risque, le cas échéant. L'analyse du risque implique la prise en compte détaillée des incertitudes, des sources de risque, des conséquences, de la vraisemblance, des événements, des scénarios, des moyens de maîtrise et de leur efficacité. Un événement peut avoir des causes et conséquences multiples et affecter des objectifs multiples.

L'analyse du risque peut être menée à différents niveaux de détail et de complexité selon la finalité de l'analyse, la disponibilité et la fiabilité des informations et les ressources disponibles. Les techniques d'analyse peuvent être qualitatives, quantitatives, ou une combinaison de celles-ci, selon les circonstances et l'utilisation prévue.

#### **4.3 Évaluation du risque :**

L'évaluation du risque a pour but de déboucher sur des décisions plus judicieuses, Elle consiste à comparer les résultats de l'analyse du risque aux critères de risque établis afin de déterminer si une action supplémentaire est exigée. Cela peut déboucher sur la décision :

- De ne rien faire de plus ;
- D'examiner les options de traitement du risque ;
- D'entreprendre une analyse plus approfondie afin de mieux comprendre le risque ;
- De maintenir les moyens de maîtrise du risque existants ;
- De réexaminer les objectifs.

##### **4.3.1 Matrice de criticité :**

La matrice ou grille de criticité est un outil d'évaluation des risques qui aide à la prise de décision sur l'acceptabilité des risques dans une entreprise en vue de les maîtriser.

Les risques sont classés selon leur criticité, généralement en trois zones (rouge, orange, vert) en fonction de leur gravité et de leur probabilité d'occurrence.

Les échelles de gravité et de probabilité peuvent être adaptées aux spécificités de l'entreprise (taille, activité ...).

Le choix de la matrice de criticité dépend de la nature des activités et les différents risques dans l'entreprise. La gravité du risque qu'elle peut être déterminée par l'identification du risque et ces conséquences. La probabilité d'occurrence du risque, elle est issue de données statistiques sur les incidents et accidents ; cette dernière est parfois difficile à prédire ou de déterminer la vraisemblance de l'accident, dans ce cas l'entreprise fait recourir au retour d'expérience (REX), ou au partage d'information entre nombreuses organismes similaires dans le processus de production ou dans la nature des risques.

#### 4.3.1.1 Types de matrices de criticité : [12]

**a) Matrice de criticité utilisée par L'INERIS :** De manière générale, l'INERIS utilise une approche par barrière lors de son analyse des risques (Belassian et al, 2003). [12]

<b>Gravité 4</b>	<b>4.1</b>	<b>4.2</b>	<b>4.3</b>	<b>4.4</b>
<b>Gravité 3</b>	<b>3.1</b>	<b>3.2</b>	<b>3.3</b>	<b>3.4</b>
<b>Gravité 2</b>	<b>2.1</b>	<b>2.2</b>	<b>2.3</b>	<b>2.4</b>
<b>Gravité 1</b>	<b>1.1</b>	<b>1.2</b>	<b>1.3</b>	<b>1.4</b>
	<b>Fréquence 1</b>	<b>Fréquence 2</b>	<b>Fréquence 3</b>	<b>Fréquence 4</b>

**Tableau I.II.1 :** Grille de criticité utilisée par l'INERIS.

**b) Matrice de criticité de l'union technique de l'électricité et de la communication UTEC :** Dans le but d'atteindre un niveau de risque tolérable, chaque scénario est envisagé à partir d'un certain nombre de ses conséquences et de fréquence tolérable (UTE, 2001). [12]

La prise en compte du principe ALARP se transcrit dans le cadre de la grille de criticité d'UTE en 4 classes de risque.

Fréquence	Conséquence			
	Catastrophique	Critique	Marginale	Négligeable
Fréquent	I	I	I	II
Probable	I	I	II	III
Occasionnel	I	II	III	III
Peu fréquent	II	III	III	IV
Improbable	III	III	IV	IV
Non crédible	IV	IV	IV	IV

L'attribution des classes de risque (I, II, III, IV) dépend du secteur d'application et des fréquences réelles (fréquent, probable, etc.). Ce tableau est un exemple de classification et non une spécification.

**Tableau I.II.2 :** Grille de criticité utilisée par l'UTE.

- c) **Grille de criticité utilisée par l'URS** : Afin de hiérarchiser les situations dangereuses, une cotation des risques mis en évidence lors de l'Analyse Particulière des Risques (APR) est réalisée. Le risque est ici issu du croisement de la probabilité d'occurrence et de la gravité. [12]

La gravité est cotée en trois niveaux. Elle est appréciée en fonction des conséquences pour les personnes (nature des effets, gravité, importance de la population touchée), pour la matière, pour le matériel ainsi que pour l'environnement :

- Niveau 1 : Conséquences rapidement réparables et pas de conséquences irréversibles.
- Niveau 2 : Conséquences supportables.
- Niveau 3 : Conséquences graves.

La probabilité est cotée sur une échelle comportant trois niveaux :

- Niveau 1 : Défaillance improbable.
- Niveau 2 : Défaillance vécue ou possible.
- Niveau 3 : Défaillance fréquente.

L'acceptabilité se traduit sur une échelle à trois niveaux :

- Niveau 1 : Situation acceptable.
- Niveau 2 : Situation améliorable.
- Niveau 3 : Situation inacceptable.

		Gravité		
		1	2	3
Probabilité	1	1	1 ou 2	1 ou 2
	2	1 ou 2	2	3
	3	2	2	3

**Tableau I.II.3** : Grille de criticité de l'URS.

- d) **Matrice de criticité d'ATOFINA** : L'évaluation du niveau des risques se fait à partir d'un classement simplifié à l'aide d'une matrice [Fréquence, Gravité]. Ci-dessous l'exemple d'une matrice utilisée dans le cas des pipelines. [12]

Probabilités Catégories d'urbanisation	P1	P2	P3
C1			
C2			MCS1
C3		MCS1	MCS2
C4	MCS1	MCS2	MCS3
C5	MCS2	MCS3	MCS4

**Tableau I.II.4** : Grille de criticité utilisée par ATOFINA.

MCS : Mesures Compensatoires Spécifiques.

- e) **Grille de criticité utilisée par le hampshire fire and rescue service (uk) HFRS** : Le risque est évalué sur une échelle à 5 niveaux résultant de la combinaison de 5 niveaux d'intensité de l'aléa et de 5 niveaux de probabilité d'occurrence (HFRS, 2002). [12]

		Hazard Severity					
		5	4	3	2	1	
Likelihood Occurrence	Very Likely	5	25	20	15	10	5
	Likely	4	20	16	12	8	4
	Quite Possible	3	15	12	9	6	3
	Possible	2	10	8	6	4	2
	Not Likely	1	5	4	3	2	1

Tableau I.II.5 : Grille de criticité utilisée par le HFRS.

Trois niveaux de risque sont identifiés :

- f) **Grille de criticité utilisée par le british computer society BCS** : Cette grille est utilisée pour l'évaluation du risque projet. Elle est composée de 4 niveaux de probabilité d'occurrence et quatre niveaux d'impact si l'aléa se produit. La combinaison de la probabilité et de l'impact de l'aléa permet d'obtenir trois niveaux de risque (haut, moyen, faible). [12]

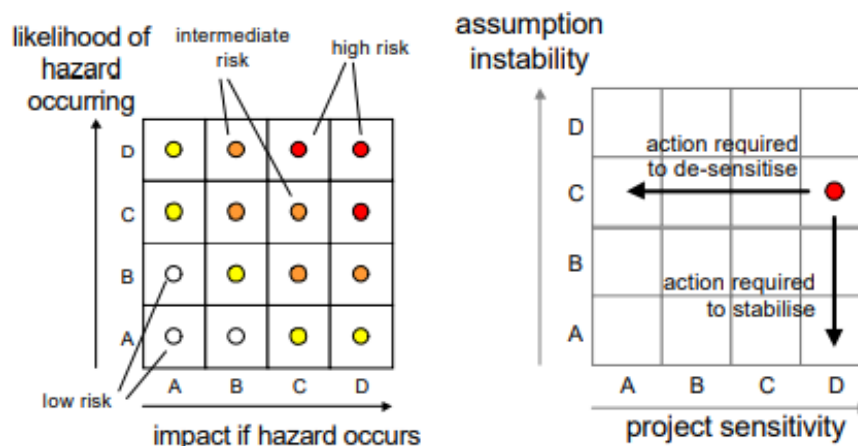


Figure I.II.2 : Grille de criticité utilisée par le BCS.

#### 4.3.2 Grille de maitrise : [20]

En fonction du classement du risque R et des moyens de protection existants, on va juger si le risque est correctement maîtrisé ou non. Il existe quatre niveaux de maîtrise du risque :

- M1 : Risque maîtrisé ;
- M2 : Risque maîtrisé par au moins 2 moyens de prévention efficaces ;
- M3 : Risque maîtrisé par au moins un moyen de prévention efficace ;
- M4 : Risque non maîtrisé.

C	M	M1	M2	M3	M4
$C_b = 1$		R1	R1	R1	R1
$C_b = 2$		R1	R1	R1	R1
$C_b = 3$		R1	R1	R1	R2
$C_b = 4$		R1	R1	R2	R2
$C_b = 6$		R1	R2	R2	R2
$C_b = 8$		R1	R2	R2	R3
$C_b = 9$		R1	R2	R2	R3
$C_b = 12$		R2	R2	R3	R3
$C_b = 16$		R2	R3	R3	R3

R1	Risque faible
R2	Risque moyen
R3	Risque important

**Tableau I.II.6 :** Exemple d'une grille de maitrise des risques. [20]

Pour évaluer si le risque est correctement maîtrisé, il ne suffit pas de se contenter des mesures de prévention qui sont mises à la disposition des agents ; il s'agit d'évaluer si ces mesures de prévention sont réellement efficaces.

Notre classement des risques se fera selon la fréquence (F) et gravité (G), le produit  $F \times G$  donne la criticité brute ( $C_b$ ). Après l'application des mesures de maîtrise potentielles déjà existantes cette note  $C_b$  sera à son tour multipliée par la maîtrise (M) qui donnera la criticité nette ( $C_n$ ). [20]

## 5. Traitement du risque : [2]

Le traitement du risque a pour but de choisir et de mettre en œuvre des options pour aborder le risque.

Le traitement du risque implique un processus itératif :

- Formuler et choisir des options de traitement du risque ;
- Élaborer et mettre en œuvre le traitement du risque ;
- Apprécier l'efficacité de ce traitement ;
- Déterminer si le risque résiduel est acceptable ;
- S'il n'est pas acceptable, envisager un traitement complémentaire.

### 5.1 Acceptation du risque :

Stratégie de gestion du risque qui consiste en la décision éclairée d'accepter le risque.

Notons que l'acceptabilité concerne le risque et non la gravité du dommage ou sa probabilité d'occurrence considérée séparément.

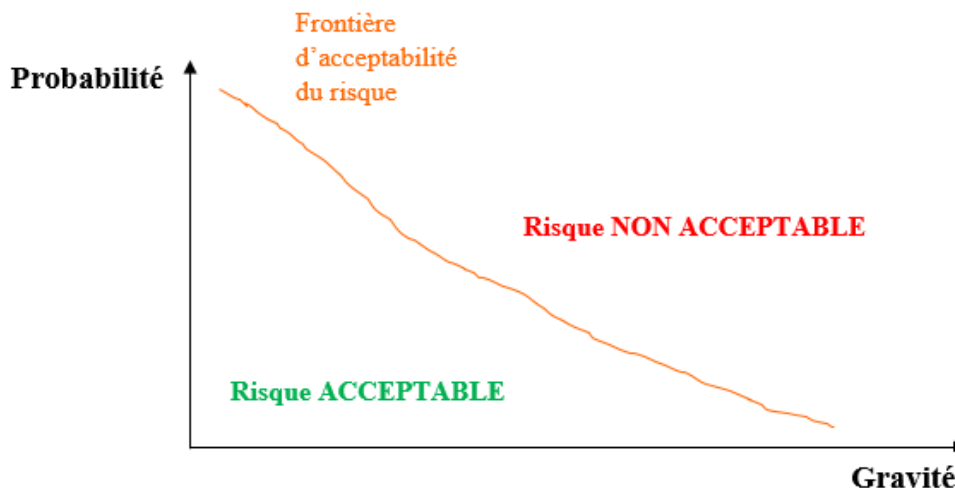


Figure I.II.3 : Diagramme d'acceptation du risque.

### 5.1.1 Risque acceptable (ALARP) :

Selon OHSAS 18001, 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 la sécurité au travail. [1]

Le principe ALARP nécessite que tout risque soit ramené au plus bas niveau possible ou jusqu'à un niveau qui soit aussi faible que possible de manière raisonnable. Si un risque se situe entre les deux extrêmes (c'est-à-dire la zone inacceptable et la zone globalement acceptable) et si le principe ALARP a été appliqué, le risque résultant est le risque tolérable pour l'application concernée. [13]

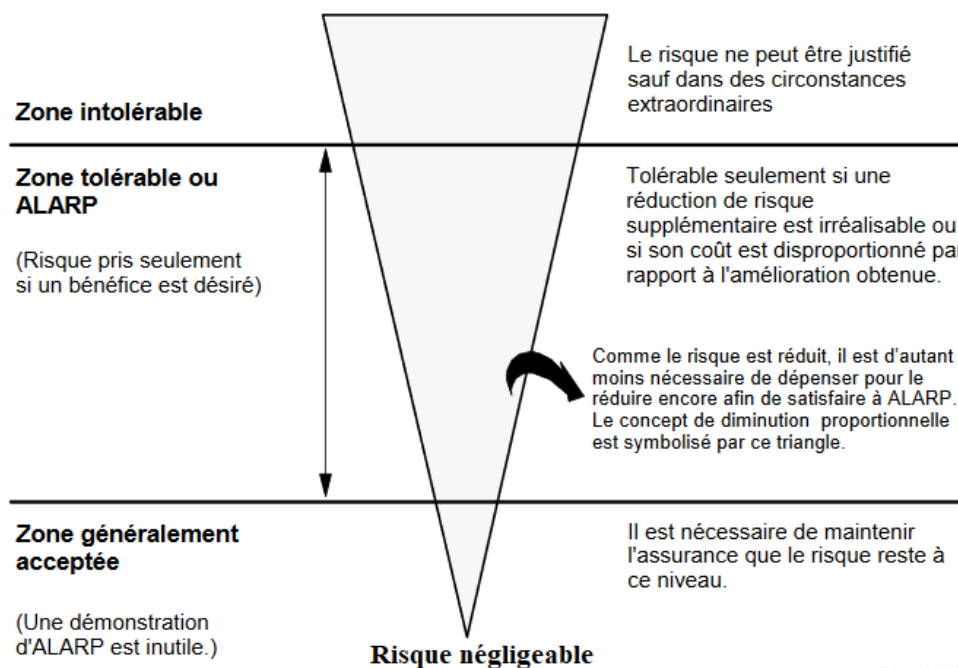


Figure I.II.4 : Présentation du risque ALARP par la norme IEC 61508 [13]



## 5.2 Maîtrise du risque : [11]

La réduction du risque (ou maîtrise du risque) désigne l'ensemble des actions ou dispositions entreprises en vue de diminuer la probabilité ou la gravité des dommages associés à un risque particulier.

De telles mesures doivent être envisagées dès lors que le risque considéré est jugé inacceptable.

De manière très générale, les mesures de maîtrise du risque se répartissent en :

- Mesures (ou barrières) de prévention : mesures visant à éviter ou limiter la probabilité d'un événement indésirable, en amont du phénomène dangereux.
- Mesures (ou barrières) de protection : mesure visant à limiter les conséquences du phénomène dangereux.

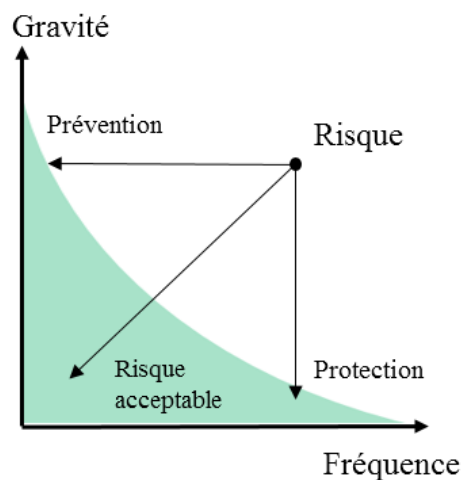


Figure I.II.5 : Différence entre la prévention et la protection.

## 6. Enregistrement et élaboration de rapport : [2]

Il convient que le processus de management du risque et ses résultats soient documentés et fassent l'objet de rapports selon des mécanismes appropriés. L'enregistrement et l'élaboration de rapports a pour but de :

- Communiquer sur les activités de management du risque et leurs résultats au sein de l'organisme ;
- Fournir des informations en vue de la prise de décisions ;
- Améliorer les activités de management du risque ;
- Faciliter l'interaction avec les parties prenantes, y compris celles ayant la responsabilité des activités de management du risque.

## IV. Conclusion :

La gestion des risques permet d'identifier le risque, de l'évaluer, de le traiter en prenant des mesures de sécurité pour réduire la probabilité d'occurrence et son impact sur les populations, les biens et l'environnement, puis de contrôler et suivre le risque et la mise en place de procédures de sécurité pour le prévenir.

Comme nous l'avons vu dans ce chapitre, l'analyse des risques est la partie centrale du processus de gestion des risques, c'est une étape très importante pour passer à la maîtrise des risques.

# *Chapitre III*

*Analyse des risques*

## **I. Introduction :**

L'analyse de risques devrait être l'une des premières choses à effectuer lors de l'élaboration d'un plan de santé et sécurité au travail. Elle consiste à :

- Inspecter l'environnement de travail des employés.
- Identifier les éléments, situations et procédés pouvant causer des accidents.
- Déterminer les moyens de prévention appropriés.

L'analyse de risque consiste à utiliser l'information disponible pour établir des scénarios résultant de l'occurrence d'un aléa, et déterminer la probabilité et l'amplitude de ses conséquences sur les individus et la population, les biens matériels et l'environnement, du fait des aléas.

L'objectif d'une analyse de risques consiste à éliminer ou réduire le niveau de risques en mettant en place des mesures de prévention adéquates. Elle fait partie intégrante d'un bon système de gestion de la santé et sécurité, et permet d'assurer un lieu de travail sain et sécuritaire pour tous.

## **II. Démarches de l'analyse des risques industriels : [11]**

### **1. Définition du système à étudier et les objectifs :**

Cette étape préliminaire permet de définir clairement le cadre de l'analyse des risques.

#### **a) Définition du système :**

L'analyse des risques est un travail qui peut s'avérer complexe et mobiliser des ressources importantes. Dès lors, il est indispensable d'identifier clairement le système à étudier et de déterminer sans ambiguïtés les limites de l'étude.

#### **b) Définition des objectifs à atteindre :**

La définition des objectifs de l'analyse des risques est une étape essentielle qui permet notamment de définir les critères d'acceptabilité des risques.

### **2. Recueil des informations :**

Cette seconde étape vise à collecter l'ensemble des informations pertinentes pour mener le travail d'analyse de façon efficace. Outre la description fonctionnelle de l'installation à étudier et de son environnement, il est indispensable d'avoir clairement identifié :

- les dangers associés aux installations et aux substances qu'elles contiennent, transforment ou produisent,
- les risques d'agressions externes sur l'installation étudiée,
- l'analyse des accidents survenus sur des installations similaires,
- la vulnérabilité de l'environnement.

### **3. Définition de la démarche :**

Dans cette étape, il est notamment question de choisir un ou plusieurs outils ou méthodes pour mener l'analyse des risques et de retenir, si nécessaire, des échelles de cotation des risques et une grille de criticité.

#### **4. Mise en œuvre de l'analyse de risques :** (de préférence dans le cadre d'un groupe de travail)

Dans le cas de l'analyse des risques d'accident majeurs, le fait de réaliser cette évaluation en groupe de travail permet de répondre aux objectifs suivants :

- L'analyse des risques doit tenir compte des spécificités de chaque établissement en matière d'environnement, d'exploitation ou de stratégie de sécurité. Ces renseignements sont disponibles auprès des personnes travaillant au quotidien sur les installations étudiées ou ayant une connaissance approfondie des installations.
- Les accidents majeurs sont généralement des sinistres rares résultant d'enchaînements et de combinaisons d'événements parfois difficiles à prédire. Une réflexion menée en commun par plusieurs personnes de sensibilités et compétences différentes favorise un examen plus riche des circonstances pouvant conduire à un accident majeur.

### **III. Les différents méthodes d'analyse des risques :** [11]

Il existe un grand nombre d'outils ou méthodes dédiés à l'identification des dangers et des risques associés à un procédé ou une installation.

#### **1. Les méthodes classiques d'analyse des risques :** [11]

Les méthodes classiques ou de base d'analyse des risques sont nombreuses et qui visent toute le même objectif, la maîtrise des risques.

Les principales méthodes classiques d'analyse des risques sont :

- L'Analyse Préliminaire des Risques (APR),
- L'Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité (AMDEC),
- La méthode HAZOP (Hazard Operability Study),
- La méthode « What-if ? »,
- L'Analyse par arbres des causes (AdC),
- L'Analyse par arbres des défaillances (AdD),
- L'Analyse par arbres d'événements (AdE),
- L'Analyse par Nœud de Papillon.

#### **1.1 Analyse Préliminaire des Risques (APR) :** [11]

- Historique et domaine d'application :

L'Analyse Préliminaire des Risques (Dangers) a été développée au début des années 1960 dans les domaines aéronautiques et militaires. Elle est utilisée depuis dans de nombreuses autres industries.

L'Analyse Préliminaire des Risques (APR) est une méthode d'usage très général couramment utilisée pour l'identification des risques au stade préliminaire de la conception d'une installation ou d'un projet. En conséquence, cette méthode ne nécessite généralement pas une connaissance approfondie et détaillée de l'installation étudiée.

- Principe :

L'Analyse Préliminaire des Risques nécessite dans un premier temps d'identifier les éléments dangereux de l'installation. Ces éléments dangereux désignent le plus souvent :

- Des substances ou préparations dangereuses, que ce soit sous forme de matières premières, de produits finis ...,
- Des équipements dangereux comme, par exemple, des stockages, zones de réception-expédition, réacteurs, chaudière...,
- Des opérations dangereuses associées au procédé.

Le groupe de travail doit alors déterminer les causes et les conséquences de chacune des situations de danger identifiées puis identifier les sécurités existantes sur le système étudié. Si ces dernières sont jugées insuffisantes vis-à-vis du niveau de risque identifié dans la grille de criticité, des propositions d'amélioration doivent alors être envisagées.

- **Déroulement :**

L'utilisation d'un tableau de synthèse constitue un support pratique pour mener la réflexion et résumer les résultats de l'analyse.

Fonction ou système :						Date :	
1	2	3	4	5	6	7	8
N°	Produit ou équipement	Situation de danger	Causes	Conséquence	Sécurité existante	Proposition d'amélioration	Observation

**Tableau I.III.1** : Exemple de tableau « APR ».

## 1.2 La méthode HAZOP (Hazard Operability Study): [11]

- **Historique et domaine d'application :**

La méthode HAZOP a été développée par la société Imperial Chemical Industries (ICI) au début des années 1970. Elle a depuis été adaptée dans différents secteurs d'activité. Considérant de manière systématique les dérives des paramètres d'une installation en vue d'en identifier les causes et les conséquences, cette méthode est particulièrement utile pour l'examen de systèmes thermo-hydrauliques, pour lesquels des paramètres comme le débit, la température, la pression, le niveau, la concentration... sont particulièrement importants pour la sécurité de l'installation. On s'intéresse à l'influence des déviations par rapport à leurs valeurs nominales des divers paramètres physiques régissant le procédé.

- **Objectif de la méthode Hazop :**

Le but d'une étude HAZOP est en premier lieu d'identifier les risques associés à un procédé de fabrication. L'objectif principal de cette analyse est de vérifier la conception du procédé afin d'identifier les déviations opératoires et les interactions de procédé qui pourraient conduire à des situations dangereuses ou des problèmes opératoires. Cette identification découle de l'identification des risques.

Un objectif secondaire est la formulation de recommandations permettant de garantir un niveau de risques acceptables. La sélection des scénarios d'accidents majeurs et les recommandations portent uniquement sur les équipements et les installations faisant intervenir des substances dangereuses.

- Principe :

La méthode de type HAZOP est dédiée à l'analyse des risques des systèmes thermo hydrauliques pour lesquels il est primordial de maîtriser les paramètres comme la pression, la température, le débit.

L'HAZOP est une méthode qualitative et semi-quantitative, elle ne considère plus des modes de défaillance mais les dérives potentielles (ou déviations) des principaux paramètres liés à l'exploitation de l'installation. De ce fait, elle est centrée sur l'installation. Pour chaque partie constitutive du système examiné (ligne ou maille), la génération (conceptuelle) des dérives est effectuée de manière systématique par la conjonction de :

- Mots guides : "pas de", "plus de", "moins de", "trop de"
- Paramètres associés au système étudié. Des paramètres couramment rencontrés concernent la T°, P, le débit, la concentration, mais également le temps ou des opérations à effectuer.

$$\text{Mot-clé} + \text{Paramètre} = \text{Dérive}$$

Le groupe de travail doit ainsi s'attacher à déterminer les causes et les conséquences potentielles de chacune de ces dérives et à identifier les moyens existants permettant de détecter cette dérive, d'en prévenir l'occurrence ou d'en limiter les effets. Le cas échéant, le groupe de travail pourra proposer des mesures correctives à engager en vue de tendre vers plus de sécurité.

- Déroulement :

Il convient pour mener l'analyse de suivre les étapes suivantes :

- Dans un premier temps, choisir une ligne ou une maille. Elle englobe généralement un équipement et ses connexions, l'ensemble réalisant une fonction dans le procédé, identifiée au cours de la description fonctionnelle.
- Choisir un paramètre de fonctionnement.
- Retenir un mot-guide et générer une dérive.
- Vérifier que la dérive est crédible. Si oui, passer au point 5, sinon revenir au point 3.
- Identifier les causes et conséquences potentielles de cette dérive.
- Examiner les moyens visant à détecter cette dérive ainsi que ceux prévus pour en prévenir l'occurrence ou en limiter les effets.
- Proposer, le cas échéant, des recommandations et améliorations.

Date :							
Equipement :							
N°	Mot guide	Paramétré	Déviations	Causes	Conséquences	Sécurité existante	Recommandation

**Tableau I.III.2 : Exemple de tableau « HAZOP ».**

- Définition des mots guide :

Les mots-guides, accolés aux paramètres importants pour le procédé, permettent de générer de manière systématique les dérives à considérer.

Type de déviation	Mot-Guide	Exemples d'interprétation
Négative	NE PAS FAIRE	Aucune partie de l'intention n'est remplie
Modification quantitative	PLUS	Augmentation quantitative
	MOINS	Diminution quantitative
Modification qualitative	EN PLUS DE	Présence d'impuretés æ Exécution simultanée d'une autre opération/étape
	PARTIE DE	Une partie seulement de l'intention est réalisée
Substitution	INVERSE	S'applique à l'inversion de l'écoulement dans les canalisations ou à l'inversion des réactions chimiques
	AUTRE QUE	Un résultat différent de l'intention originale est obtenu
Temps	PLUS TOT	Un événement se produit avant l'heure prévue
	PLUS TARD	Un événement se produit après l'heure prévue
Ordre séquence	AVANT	Un événement se produit trop tôt dans une séquence
	APRES	Un événement se produit trop tard dans une séquence

**Tableau I.III.3 :** Définition des mots guide de la méthode HAZOP

- Définition des paramétré :

Les paramètres auxquels sont accolés les mots-clés dépendent bien sûr du système considéré. Généralement, l'ensemble des paramètres pouvant avoir une incidence sur la sécurité de l'installation doit être sélectionné. De manière fréquente, les paramètres sur lesquels porte l'analyse sont :

- La température,
- La pression,
- Le débit,
- Le niveau,
- La concentration,
- La quantité,
- L'absorption,
- La composition,
- La viscosité...

La combinaison de ces paramètres avec les mots clé précédemment définis permet donc de générer des dérives de ces paramètres ; Par exemple :

- « Plus de » et « Température » = « Température trop haute »,
- « Moins de » et « Pression » = « Pression trop basse »,
- « Inverse » et « Débit » = « Retour de produit »,
- « Pas de » et « Niveau » = « Capacité vide ».

- **Limites et avantages :**

Caractère systématique et méthodique. Elle évite de considérer tous les modes de défaillance possibles pour chacun des composants du système.

L'HAZOP permet difficilement d'analyser les événements résultant de la combinaison simultanée de plusieurs défaillances. Il est parfois difficile d'affecter un mot-guide à une portion bien délimitée du système étudié. Cela complique l'identification exhaustive des causes potentielles d'une dérive.

La méthodologie HAZOP est principalement conçue pour examiner les informations figurant sur les Piping and Instrumentation Diagrams (P&ID) et les procédures d'exploitation associées. Donc les informations non représentées sur le P&ID ne seront pas entièrement étudiées et devront l'être par des analyses distinctes.

### **1.3 Analyse par arbres des défaillances (AdD) : [11]**

- **Historique et domaine d'application :**

L'analyse par arbre des défaillances fut historiquement la première méthode mise au point en vue de procéder à un examen systématique des risques. Elle a été élaborée au début des années 1960 par la compagnie américaine Bell Telephone et fut expérimentée pour l'évaluation de la sécurité des systèmes de tir de missiles.

- **Principe :**

L'analyse par arbre de défaillances est une méthode de type déductif. En effet, il s'agit, à partir d'un événement redouté défini a priori, de déterminer les enchaînements d'évènements ou combinaisons d'évènements pouvant finalement conduire à cet événement. Cette analyse permet de remonter de causes en causes jusqu'aux évènements de base susceptibles d'être à l'origine de l'évènement redouté.

Les liens entre les différents évènements identifiés sont réalisés grâce à des portes logiques (de type « ET » et « OU »). Cette méthode utilise une symbolique graphique particulière qui permet de présenter les résultats dans une structure arborescente.

- **Déroulement :**

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

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

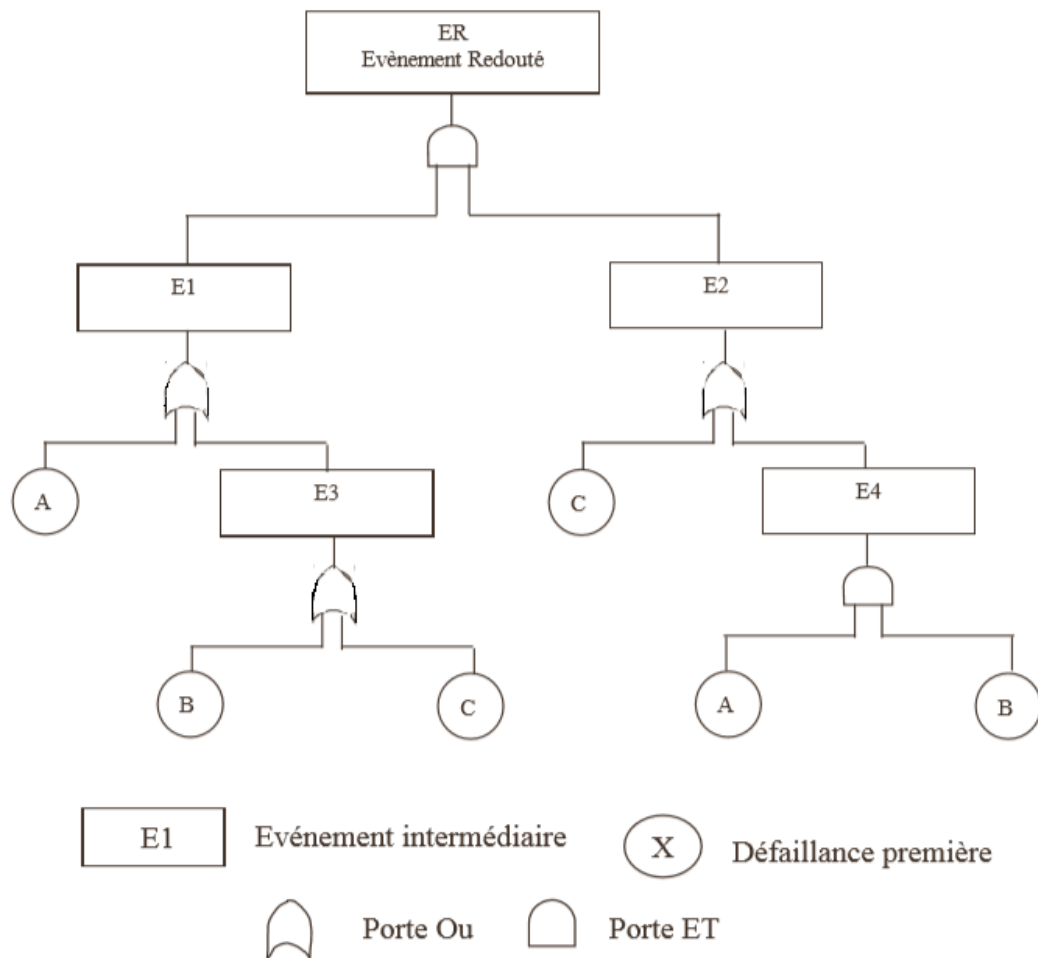
- **Définition de l'évènement redouté étudié :**

La définition de l'évènement final, qui fera l'objet de l'analyse, est une étape cruciale pour la construction de l'arbre. On conçoit que plus cet événement est défini de manière précise, plus simple sera l'élaboration de l'arbre des défaillances.



- Élaboration de l'arbre :

La construction de l'arbre des défaillances vise à déterminer les enchaînements d'évènements pouvant conduire à l'évènement final retenu. Cette analyse se termine lorsque toutes les causes potentielles correspondent à des évènements élémentaires.



**Figure I.III.1 :** Exemple d'arbre des défaillances

- Exploitation de l'arbre :

Cette exploitation de l'arbre des défaillances peut être réalisée de manière qualitative et quantitative. Elle nécessite au préalable de traiter les résultats fournis au cours de la construction de l'arbre. Dans l'exemple précédent (Figure), les évènements A, B et C apparaissent plusieurs fois dans l'arbre : il n'y a donc pas indépendance des évènements de base. Ainsi, il est indispensable d'éliminer ces fausses redondances préalablement à l'exploitation de cet arbre.

L'élimination des fausses redondances fait appel aux notions de coupes minimales et de réduction d'arbres.

- **Exploitation qualitative de l'arbre :**

La définition des coupes minimales permet d'accéder directement aux évènements et combinaisons d'évènements les plus critiques pour le système considéré. Ainsi, plus l'ordre d'une coupe minimale est petit, plus l'occurrence de l'évènement final suivant ce chemin critique peut paraître probable. Un moyen de prévenir les évènements indésirables ou redoutés vise à modifier l'arbre des défaillances en vue d'obtenir des coupes minimales d'ordre le plus élevé possible, par l'introduction de portes « ET » par exemple.

Cette approche qualitative repose néanmoins sur l'hypothèse relativement forte que les évènements de base sont équiprobables. Il peut cependant arriver qu'une coupe minimale d'ordre 1 corresponde à un évènement extrêmement peu probable alors qu'une coupe minimale d'ordre supérieur peut correspondre à des combinaisons d'évènements très probables.

- **Exploitation quantitative de l'arbre :**

L'exploitation quantitative de l'arbre des défaillances vise à estimer, à partir des probabilités d'occurrence des évènements de base, la probabilité d'occurrence de l'évènement final ainsi que des évènements intermédiaires.

En pratique, il est souvent difficile d'obtenir des valeurs précises de probabilités des évènements de base. En vue de les estimer, il est possible de faire appel à :

- Des bases de données,
- Des jugements d'experts,
- Des essais lorsque cela est possible,
- Au retour d'expérience sur l'installation ou des installations analogues.

## **1.4 Analyse par arbres d'évènements (AdE) : [11]**

- **Historique et domaine d'application :**

L'analyse par arbre d'évènements a été développée au début des années 1970 pour l'estimation du risque lié aux centrales nucléaires à eau légère.

Particulièrement utilisée dans le domaine du nucléaire, son utilisation s'est étendue à d'autres secteurs d'activité.

- **Principe :**

L'analyse par arbre des défaillances vise à déterminer, dans une démarche déductive, les causes d'un évènement indésirable ou redouté retenu a priori. A l'inverse, l'analyse par arbre d'évènements suppose la défaillance d'un composant ou d'une partie du système et s'attache à déterminer les évènements qui en découlent.

A partir d'un évènement initiateur ou d'une défaillance d'origine, l'analyse par arbre d'évènements permet donc d'estimer la dérive du système en envisageant de manière systématique le fonctionnement ou la défaillance des dispositifs de détection, d'alarme, de prévention, de protection ou d'intervention...

- **Déroulement :**

La démarche généralement retenue pour réaliser une analyse par arbre d'évènements est la suivante :

- Définir l'évènement initiateur à considérer,
- Identifier les fonctions de sécurité prévues pour y faire face,
- Construire l'arbre,
- Décrire et exploiter les séquences d'évènements identifiées.

- **Définition de l'évènement initiateur :**

Il s'agit d'une étape importante pour l'analyse par arbre d'évènements. Etant donné qu'il s'agit d'une approche qui peut vite se révéler lourde à mener, il est généralement bon de sélectionner un évènement initiateur qui peut effectivement conduire à une situation critique. Ceci suppose donc de connaître, au moins de manière partielle, les principaux risques associés à l'installation considérée.

- **Identification des fonctions de sécurités :**

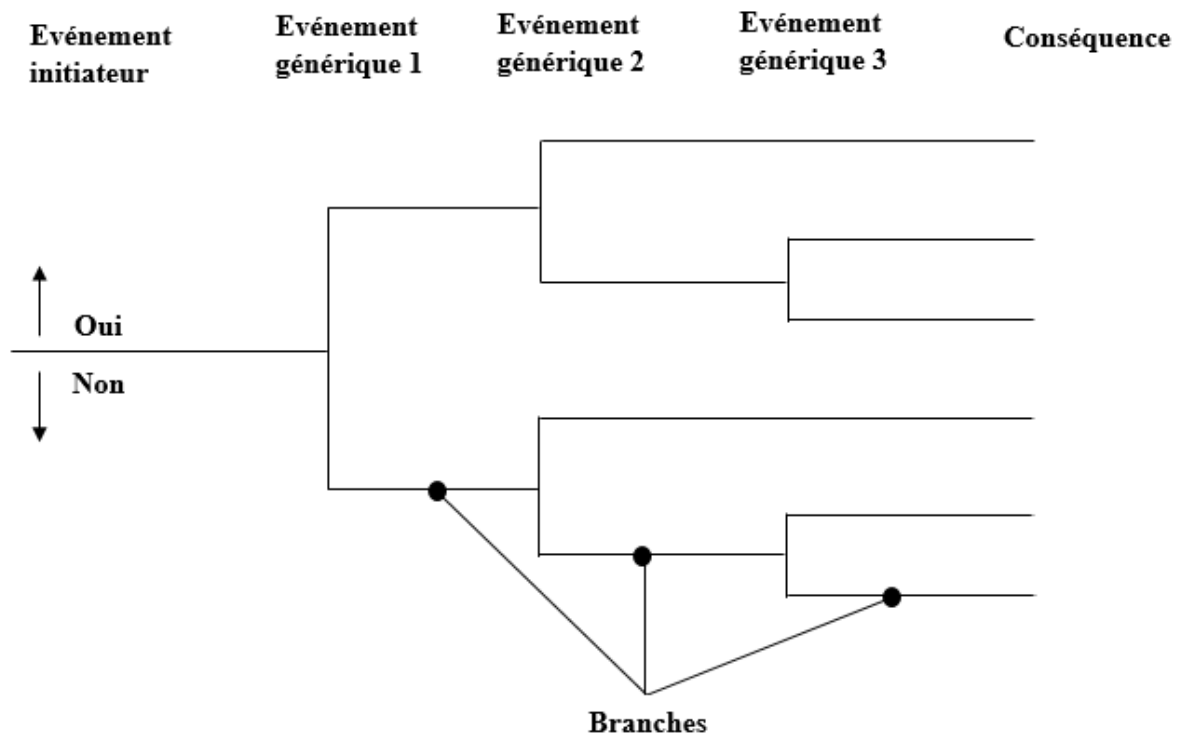
Les fonctions de sécurité doivent être assurées par des barrières en réponse à l'évènement initiateur. Elles ont en général pour objectif d'empêcher que l'évènement initiateur soit à l'origine d'un accident majeur.

Elles se déclinent le plus souvent en :

- Fonctions de détection de l'évènement initiateur,
- Fonctions d'alarme signifiant l'occurrence de l'évènement initiateur,
- Fonctions de limitation visant à empêcher que l'évènement initiateur ne perdure dans le temps,
- Fonction d'atténuation s'attachant à réduire les effets de l'évènement initiateur.

- **Construction de l'arbre :**

La construction de l'arbre consiste alors, à partir de l'évènement indésirable, à envisager soit le bon fonctionnement soit la défaillance de la première fonction de sécurité. L'évènement initiateur est représenté schématiquement par un trait horizontal. Le moment où doit survenir la première fonction de sécurité est représentée par un nœud. La branche supérieure correspond généralement au succès de la fonction de sécurité, la branche inférieure à la défaillance de cette fonction.



**Figure I.III.2 :** Exemple d'arbre d'évènements

- **Exploitation de l'arbre :**

La réalisation d'un arbre d'évènements permet en définitive de déterminer la probabilité d'occurrence des différentes conséquences à partir des séquences identifiées.

La probabilité d'occurrence d'une conséquence suite à une séquence particulière peut alors être estimée, pour des évènements indépendants, comme le produit de la probabilité d'occurrence de l'évènement initiateur et de la probabilité de défaillance ou de fonctionnement selon le cheminement des évènements intermédiaires.

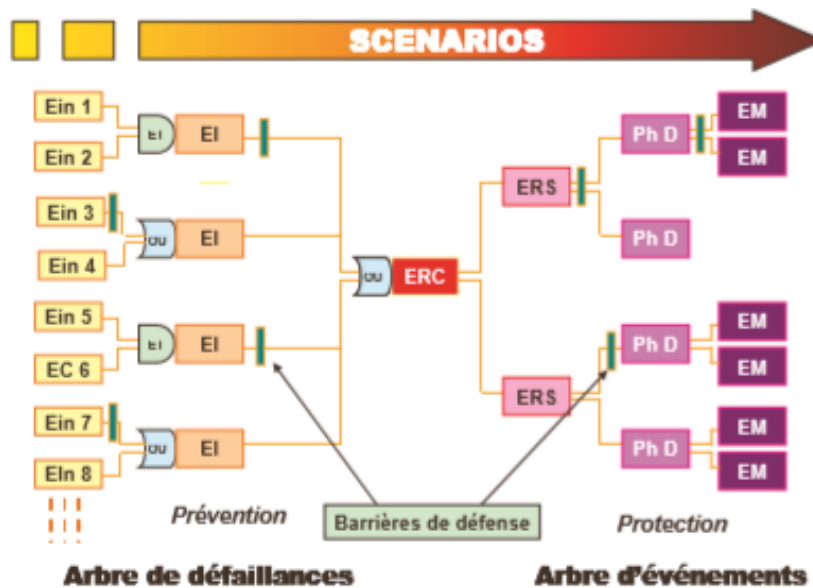
### 1.5 Analyse par Nœud de Papillon :

- **Historique et domaine d'application :**

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

- **Principe :**

Le nœud papillon est un outil qui combine un arbre de défaillances et un arbre d'évènements représentés de façon un peu différente de celle décrite dans les paragraphes précédents.



**Figure I.III.3 : Exemple du nœud de papillon**

- **Déroulement :**

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

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

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

## 1.6 Les point fort et limites des méthodes classiques d'analyse des risques

### a. Les points forts des méthodes classiques : [11]

- **Caractère systématique :**

Le premier avantage des méthodes d'analyse des risques réside dans leur caractère systématique.

En effet, ces dernières permettent d'envisager de manière méthodique, les différentes situations de danger et évènements redoutés ainsi que leurs causes et conséquences.

Cet aspect systématique est particulièrement important en vue d'identifier les situations de danger de la manière la plus exhaustive possible.

- **Outil d'échange et de communication :**

La plupart des méthodes d'analyse des risques trouvent leur pleine efficacité lorsqu'elles sont mises en œuvre au sein d'un groupe de travail pluridisciplinaire. A ce titre, elles constituent un outil d'échange et de communication entre des personnes de sensibilités et de métiers différents.

- **Complémentarité des méthodes :**

Comme nous l'avons vu précédemment, ces méthodes d'analyse des risques sont généralement complémentaires.

Des méthodes assez simples telles que l'APR permettent d'identifier les risques principaux associés à une installation ainsi que les barrières de sécurité qui y sont adjointes. Cette première analyse peut être utilement complétée par une analyse plus fine grâce à des méthodes comme l'AMDEC ou l'HAZOP, en faisant porter l'étude sur les parties particulièrement critiques de l'installation. En dernier lieu, les résultats de cette nouvelle phase d'analyse peuvent donner matière à l'examen d'évènements jugés critiques grâce à des outils permettant de combiner les défaillances tels que l'analyse par arbre des défaillances ou arbre des causes.

## **b. Les limites des méthodes classiques : [11]**

- **Risques d'agressions externes :**

Bien que les méthodes d'analyse puissent considérer l'éventualité d'agressions externes affectant l'installation étudiée, elles sont principalement dédiées à l'identification des risques générés par cette installation sur son environnement.

Il est indispensable de mener au préalable une phase d'identification des sources d'agressions externes comme celles associées à la possibilité d'effets dominos, aux conditions climatiques ou environnementales (foudre, séismes...) ou aux actes de malveillance.

- **Estimation du risque :**

Les méthodes d'analyse des risques permettent au groupe de travail d'estimer les risques en terme de probabilité et de gravité. Au niveau de l'analyse des risques, cette estimation des risques est effectuée de manière simplifiée et ne doit pas être considérée comme un outil précis d'évaluation.

- **Exhaustivité :**

Tous les outils systématiques d'analyse des risques visent à tendre vers le plus d'exhaustivité possible. Néanmoins, force est de constater qu'il est impossible de garantir une exhaustivité totale. En d'autres termes, leur utilisation ne garantit pas une identification complète de toutes les causes potentielles d'un accident.

## 2. Les méthodes intégrées d'analyses des risques : [11]

De nouvelles méthodes ont vu le jour ou ont été plus largement utilisées au cours des dernières années. Il s'agit de méthodes intégrées, qui visent à répondre à travers une même démarche à plusieurs questions que se posent les acteurs de l'évaluation des risques et à apporter des outils pour faciliter l'analyse et l'estimation des risques.

Ces méthodes intègrent donc différentes étapes d'identification des risques, d'évaluation des barrières ou d'évaluation de la vulnérabilité de l'environnement.

Les principales méthodes intégrées d'analyse des risques sont :

- La méthode MOSAR (méthode organisée systématique d'analyse des risques)
- La méthode ARAMIS (une méthode d'évaluation des risques pour les industries)
- La méthode QRA (évaluation quantitative des risques)
- La méthode LOPA (analyse par couches de protection)

### 2.1 La méthode MOSAR : [11]

La méthode MOSAR, Méthode Organisée Systémique d'Analyse de Risques, développée au CEA, est une méthode intégrée qui permet d'analyser les risques sur un site de manière progressive. Cette méthode repose sur le modèle MADS (Méthodologie d'Analyse du Dysfonctionnement des Systèmes). Celui-ci représente le processus de danger, c'est à dire la libération d'un flux de danger par un système source sous l'effet d'un événement initiateur interne ou externe et l'impact de ce flux sur une cible, qui peut elle-même devenir système source de danger pour un processus équivalent. La méthode MOSAR met particulièrement l'accent sur l'enchaînement des processus de danger entre systèmes composant une installation et est donc particulièrement adaptée à l'étude des synergies d'accident ou des effets domino.

MOSAR est constituée de deux modules qui peuvent être utilisés de façon plus ou moins indépendante. Le module A correspond à une analyse macroscopique des risques sur un site industriel et s'apparente à une analyse préliminaire des risques. Le module B correspond à une analyse plus détaillée des scénarios identifiés dans le cadre du module A à l'aide des outils de la sûreté de fonctionnement.

Les deux modules suivent à peu près la même structure :

Module A – analyse macroscopique :

- Représenter l'installation, identifier les sources de danger ;
- Identifier les dangers et construire les scénarios d'accident ;
- Evaluer les risques ;
- Négocier les objectifs de prévention ;
- Définir les barrières de sécurité.

Module B – analyse microscopique :

- Identifier les risques de dysfonctionnement ;
- Evaluer les risques en construisant des arbres de défaillance et en les qualifiant ;
- Négocier un objectif précis de prévention ;
- Affiner les moyens de prévention ;
- Gérer les risques.

L'évaluation de la probabilité est faite, au choix de l'utilisateur de façon qualitative, semi-quantitative ou quantitative à l'aide des outils classiques présentés plus haut (arbres des défaillances, arbres d'événements). MOSAR prescrit par ailleurs explicitement l'identification et la qualification des barrières de sécurité et établit la distinction entre barrières techniques et barrières d'utilisation (qualifiées dans d'autres méthodes de barrières humaines).

## **2.2 La méthode LOPA : [11]**

La méthode LOPA a été développée à la fin des années 1990 par le CCPS (Center for Chemical Process Safety). LOPA signifie Layer Of Protection Analysis (Analyse des niveaux de protection). C'est une méthode orientée barrière au même titre qu'ARAMIS. Les premières étapes sont d'ailleurs assez comparables à celles de la méthode ARAMIS, en termes de principes généraux, même si de nombreuses différences subsistent au niveau des détails des deux méthodes. En revanche, LOPA ne prévoit pas de représentation cartographique de la sévérité et de la vulnérabilité.

- Les étapes de la méthode LOPA :

La méthode LOPA peut être décomposée en six principales étapes :

1. Etablissement des critères de sélection des scénarios à évaluer,
2. Développement des scénarios d'accident,
3. Identification des fréquences d'événements initiateurs,
4. Identification des dispositifs de sécurité et de leurs probabilités de défaillance à la demande,
5. Estimation du risque,
6. Evaluation du risque par rapport aux critères d'acceptabilité.

## **2.3 Les points forts et limites des méthodes intégrés d'analyse des risques : [11]**

### **a. Les points forts des méthodes intégrés :**

Les méthodes intégrées ont été développées pour compenser certaines limites des outils d'analyse simples tels que l'AMDEC, l'HAZOP.

Elles visent avant tout à organiser l'utilisation des outils dans une démarche globale d'estimation des risques. Elles ne se limitent donc pas à l'identification des scénarios et à l'estimation rapide de la probabilité mais intègrent des étapes d'estimation de l'intensité des phénomènes, d'identification et de qualification des barrières de sécurité, de présentation des résultats dans des formats adaptés à une utilisation dans le cadre d'un processus décisionnel donné.

Les méthodes intégrées proposent généralement des outils supports à leur mise en œuvre : listes guides, outils logiciels, systèmes d'information géographique. Elles précisent la manière d'opérer pour certaines estimations qui demeurent non définies dans les outils de base : estimation de la probabilité, de la fiabilité des barrières de sécurité, etc.

### **b. Les limites des méthodes intégrées :**

La contrepartie des points forts des méthodes intégrées est une lourdeur apparente de mise en œuvre. Elle tient au nombre d'étapes composant ces méthodes, notamment des étapes de mise en forme et de présentation des résultats. Cette lourdeur doit cependant être relativisée dans la mesure où les résultats des outils classiques d'analyse doivent aussi faire l'objet d'une mise en forme et d'un traitement pour répondre aux besoins des décideurs dans les processus complexes.



### **3. Choix de la méthode d'analyse des risques :**

D'une manière générale, le choix de retenir une méthode particulière d'analyse des risques s'effectue à partir de son domaine d'application et de ses caractéristiques.

#### **3.1 Méthode qualitative / quantitative / semi-quantitative : [14]**

- **Méthode quantitative :**

Les analyses quantitatives sont supportées par des outils mathématiques ayant pour but d'évaluer la sûreté de fonctionnement et entre autres la sécurité. Cette évaluation peut se faire par des calculs de probabilités. Les résultats de l'analyse quantitative ne sont pas des mesures absolues, mais plutôt des moyens indispensables d'aide au choix des actions pour la maîtrise des risques.

- **Méthode qualitative :**

L'analyse qualitative des risques constitue la première phase d'une évaluation complète des risques. Elle consiste à identifier l'ensemble des situations dangereuses susceptibles de survenir dans un établissement, puis évaluer ces événements en Gravité et en Fréquence afin de les hiérarchiser dans une matrice des risques.

- **Méthode semi-quantitative :**

L'analyse semi-quantitative des risques est une approche qui n'est ni purement quantitative ni purement qualitative, cette démarche a pour but d'enlever l'aspect hautement subjectif dans l'information utilisée dans l'approche qualitative en lui donnant plus de précision et d'exactitude.

#### **3.2 Démarche inductive / déductive : [14]**

Les liaisons causes-effets sont définies à l'aide d'une approche inductive (une démarche d'analyse des causes vers les effets) ou déductive (une démarche d'analyse des effets vers les causes).

#### **3.3 Approche déterministe / probabiliste / mixte : [14]**

- **L'approche déterministe :**

Se concentrent sur l'évaluation des conséquences d'un accident elle consiste à recenser les événements pouvant conduire à un scénario d'accident en recherchant le pire cas possible (le fait ultime).

- **L'approche probabiliste :**

Fait intervenir le calcul sur l'estimation de la probabilité relative à l'occurrence d'événements non souhaité. Il s'agit d'une approche complémentaire qui permet d'analyser le dispositif de défense en profondeur (barrières de défense) décidé à l'issue d'une approche purement déterministe.

- **L'approche mixte :**

De nombreuses méthodes mixtes basées sur une hybridation entre une approche déterministe et une approche probabiliste telle qu'un arbre de défaillances. La piste des approches mixte reste une voie particulièrement intéressante dans le cadre de la problématique de recherche des causes de défaillances dans un système complexe.

#### **3.4 Domaine d'application : [11]**

Les outils d'analyse des risques doivent être choisis en fonction des caractéristiques des installations à étudier et du niveau de détail recherché.

Le domaine d'application et le niveau de détail sont également fonction des compétences et de l'expérience des personnes qui mèneront ce travail. En d'autres termes, certains outils peuvent être adaptés afin d'être utilisés dans un domaine d'application sensiblement différent de leur domaine d'origine.

Méthode	Type d'industrie	Facilité de mise en œuvre	Niveau d'intégration	Remarque	Intègre une analyse de vulnérabilité des enjeux externe pour l'évaluation des conséquences
<b>Méthodes classique inductives (recherche des conséquences d'un évènement)</b>					
APR	Tous types d'installation simple	1	Installation		Implicite
AMDE, AMDEC	Système technique processus discrets	2	Sous-système	Nécessite une décompositions poussé du Sous-système	Non
HAZOP	Système technique thermo-hydrauliques	3	Sous-système	Nécessite une décompositions poussé du Sous-système	Non
WHAT-IF	Tous types d'installation simple, systèmes techniques	2	Installation ou Sous-système	Nécessite une bonne connaissance du système	Non
AdE	Tous	3	Sous-système	Utile pour une visualisation et une analyse systématique des conséquences de dysfonctionnements des barrières	Non
<b>Méthodes classique déductives (recherche des causes d'un évènement)</b>					
AdD	Tous	3	Sous-système	Souvent mais pas obligatoirement construit suite à une APR, AMDEC ou HAZOP	Non
<b>Méthodes classique mixtes (inductive et déductive)</b>					
Nœud de papillon	Tous	3	Sous-système	Le nœud de papillon et un assemblage inspiré d'un AdE et un AdD	Non
<b>Méthodes intégrées</b>					
MOSAR	Tous	4	Installation	Utilise les AdD et des outils dérivés de l'APR et de l'AMDEC	Implicite
LOPA	Industries des procédés	4	Site	Utilise les AdD et AdE	Non
ARAMIS	Industries des procédés	4	Site	Utilise le nœud de papillon	Oui
QRA	Tous	4	Site	Utilise des données génériques	Oui

**Tableau I.III.4 :** Synthèse des principales caractéristiques des méthodes d'analyse des risques. [11]

#### **IV. Conclusion :**

Dans ce chapitre, nous avons présenté les méthodes d'analyse des risques classiques et intégrés, et les limites et les avantages de ses méthodes et nous avons déterminé comment choisir la méthode qui convient notre étude parmi tous les autres.

L'analyse des risques industriel est une étape très importante pour la maîtrise des risques, bien que l'élimination des risques ou leur réduction sous un seuil acceptable ne peut se faire que si l'application des mesures de préventions et de protections ont bien été prise en compte, avec le suivi à jour de ces mesures.

*Partie II :*  
*Pratique*

# *Chapitre I*

*Présentation de l'entreprise*

## I. Introduction :

Nous avons choisi de faire notre étude de cas dans le complexe FERTIAL-ANNABA pour certaines raisons d'une part c'est un site industriel classé à risque d'accidents majeurs, d'autre part son emplacement critique à proximité de la population, c'est un facteur qui peut augmenter la gravité des risques.

Le complexe d'ammoniac et d'engrais phosphatés/azotés d'Annaba (CEPA) demeurait une partie intégrante de l'entreprise nationale des engrais et des produits phytosanitaires - ASMIDAL issue de la restauration de la société mère Sonatrach, depuis septembre 1984. [25]

En 2001 et dans le cadre de la restructuration de l'entreprise Asmidal, le complexe CEPA a été érigé en filiale et pris le nom de FERTIAL. Et juste avant le partenariat les 2 filiales Azofert (Arzew) et Fertial (Annaba) ont été fusionnées en une seule entité. [25]

En août 2005 un accord de partenariat «stratégique» entre l'entreprise algérienne des engrais, Asmidal, et le Grupo Villar Mir espagnol, a été signé pour donner naissance à l'entreprise FERTIAL- Les Fertilisants d'Algérie détenue à 34% par le groupe algérien et à 66% par le groupe espagnol et le complexe est devenu la plateforme usine d'Annaba. [25]

## II. Situation géographique :

Une superficie de 108 ha dont 45 ha bâties, il est située à 04 Km de la ville d'Annaba, elle est limitée par Oued Seybouse et la cité Sidi-Salem à l'Est, la cité Seybouse à l'ouest, la mer méditerranée au Nord et la route nationale n° :44. [25]



**Figure II.I.1** : Localisation géographique du site Fertial Annaba par Google Earth. [19]

### III. Principales activités : [26]

FERTIAL Annaba présente plusieurs activités :

- Unité d'Ammoniac : Production de 1000 t/j d' $\text{NH}_3$ .
- Unité d'Acide Nitrique : 2 lignes, production de 400 t/j d' $\text{HNO}_3$  par ligne.
- Unité Nitrate d'Ammonium : 2 lignes, production de 450 t/j d' $\text{NH}_4\text{NO}_3$  par ligne.
- Unité NPK : Production d'une moyenne de 1000 t/j de plusieurs engrais (NPKs, TSP, Sulfazote,...).
- Unité UAN : Production de 300 t/j d'UAN.
- Unité centrale d'utilités : Production d'énergie électrique et divers fluides (vapeur, eau dessalée/déminée,...) nécessaires au fonctionnement des installations de la plateforme.
- Unité de conditionnement d'Engrais : Conditionnement des engrais fabriqués par l'unité NPK.
- Unité pompage d'eau de mer : Pompage d'eau de mer sur 3 conduites du port vers le complexe.
- Zone d'activités portuaires : Export d'Ammoniac, Import de diverses matières premières.

### IV. Présentation des unités de production : [26]

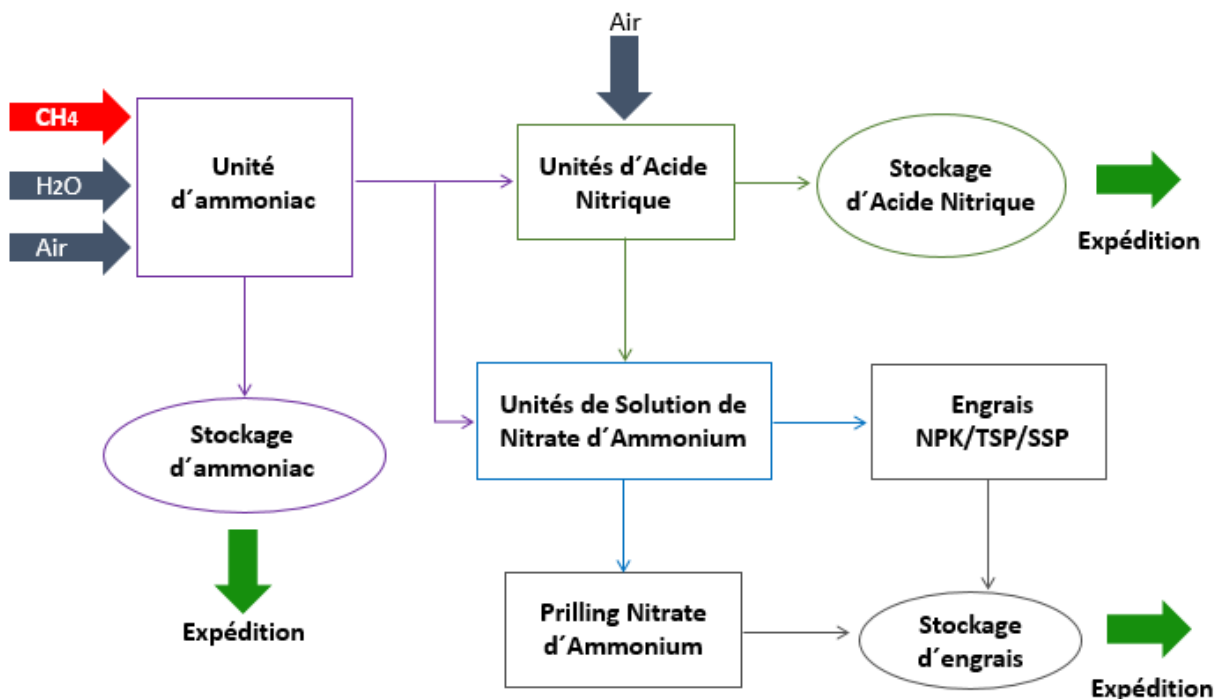


Figure II.I.2 : Schéma représentant les différentes unités de production dans complexe FERTIAL.

### V. Les différents stockages dans l'entreprise : [26]

- Ammoniac : 1 bac de 20.000 t et 2 sphères (NPK et Nitrate) de 800 t chacune
- Acide nitrique : 4 bacs de 350 t chacun
- Acide sulfurique : 2 bacs de 1000 t chacun
- Acide phosphorique : 5 bacs de 500 t chacun
- UAN : 3 bacs de 3000 t chacun
- Phosphate : 3 silos (SSP) et 1 silo (NPK) de 1000 t chacun
- Matières premières : Hall MP NPK et hall MP au port (sulfate de potassium, urée,...)



- Produit fini engrais : 3 Halls de produits finis (NPKs, NPKcl, TSP, CAN, Sulfazote,...)
- Divers produits chimiques : Magasin de produits chimiques



**Figure II.I.3 :** Vue du ciel par Google Earth du site industriel Fertil-Annaba. [19]

## **VI. Les objectifs de l'entreprise :** [25]

Dans le cadre national du développement économique et social du pays, l'entreprise est chargée de :

- Promouvoir et développer l'industrie des engrais et produits phytosanitaire.
- Exploiter et gérer et rentabiliser les moyens humains, matériels et financiers dont elle dispose.
- En vue de satisfaire les besoins du marché national et international.
- Développer la coopération dans le cadre de la politique nationale en la matière.

## **VII. Conclusion :**

Dans ce chapitre, nous avons fait une présentation du Complexe Fertil – Annaba, et la raison pour laquelle nous avons choisie de faire notre étude dans cette entreprise, nous avons présenté également les différentes unités de production et les objectifs de l'entreprise pour avoir une idée générale sur l'organisme avant de plonger dans l'analyse des risques et l'étude de cas.



# *Chapitre II*

*Analyse des risques du bac de stockage T-101 et du pipeline*

## I. Introduction :

Nous avons choisie de faire notre étude de cas sur le back de stockage de l'ammoniac T-101 et du pipeline de l'exportation de l'ammoniac dans le site industriel Fertial. En raison de leur gravité d'accident élevée et leur impact catastrophique sur la population, les biens et l'environnement, que nous tenterons de prévenir et de réduire, en suivons le processus de la gestion des risque et en appliquent les méthodes d'analyse des risques (HAZOP et l'arbre de défaillance AdD et l'arbre d'évènement AdE et la méthode de nœud de papillon).

## II. Description et identification des installations :

Avant de procédé à la description des installations il faut tout d'abord identifié la substance chimique dangereuse existante dans ces installations (l'ammoniac NH<sub>3</sub>).

### 1. Identification de la substance dangereuse : [15]

L'ammoniac est un composé chimique de formule NH<sub>3</sub>. Dans les conditions normales de température et de pression, c'est un gaz noté NH<sub>3</sub> gaz. Il est incolore et irritant (d'odeur piquante à faible dose, il brûle les yeux et les poumons en concentration plus élevée).

Il est industriellement produit par le procédé Haber-Bosch à partir de diazote et de dihydrogène. C'est l'un des composés les plus synthétisés au monde, utilisé comme réfrigérant, et pour la synthèse de nombreux autres composés (dont un grand tonnage d'engrais).

### 1.1 Les effets potentiels de l'ammoniac sur la santé : [16]

**Voies d'exposition principales :** Inhalation. Contact cutané. Contact oculaire.

- **Inhalation :** Très toxique, peut causer la mort. Peut causer une grave irritation du nez et de la gorge. Peut causer une accumulation potentiellement mortelle de liquide dans les poumons (œdème pulmonaire). Les symptômes peuvent comprendre la toux, une dyspnée, des difficultés respiratoires et une oppression à la poitrine.
- **Contact avec la peau :** Corrosif. Le gaz irrite ou brûle la peau. Peut causer des cicatrices permanentes. Le contact direct avec le gaz liquéfié peut refroidir ou geler la peau (gelures).
- **Contact avec les yeux :** Corrosif. Le gaz irrite ou brûle les yeux. Des dommages permanents, y compris la cécité, pourraient en résulter. Le contact direct avec le gaz liquéfié peut geler l'œil.
- **Effets d'une exposition de longue durée (chronique) :** Peut affecter le système respiratoire. Peut irriter et enflammer les voies respiratoires

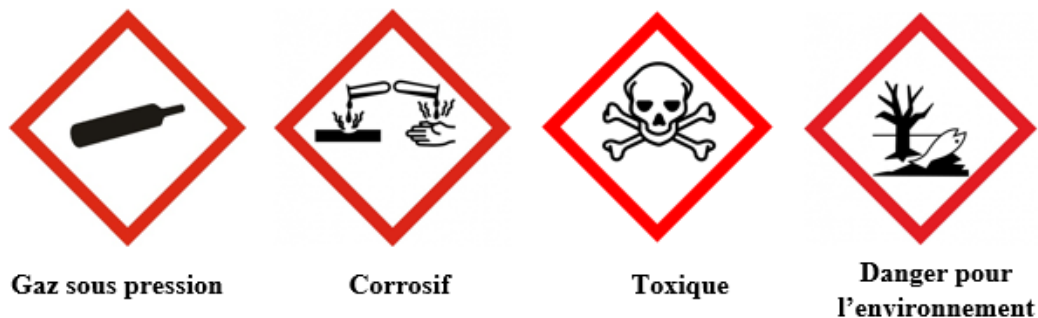


Figure II.II.1 : Pictogramme de danger de l'ammoniac NH<sub>3</sub>.

## 2. Description du bac de stockage d'ammoniac : [18]

Le bac de stockage reçoit l'ammoniac à -33°C et 70 m bars par les pompes (110J/JS) refoulent jusqu'à 1000 tonnes par jour.

Le produit arrive par le haut du bac sous forme de pluie où une partie des vapeurs dégagées est liquéfiée.

### 2.1 Caractéristiques : [19]

Caractéristique	Stockage ammoniac
Type d'installation	Bac de stockage à toit fixe
Substance	ammoniac
Capacité (t)	20000
Pression (bar)	Atmosphérique
Diamètre de la plus grande connexion (pouces)	20
Densité (kg/m <sup>3</sup> )	670,5
T service (°C)	-33
Dimensions cuvette (m)	129x85x2,5

Tableau II.II.1 : Caractéristiques du bac de stockage d'ammoniac.

### 2.2 Composantes de l'installation : [18]

#### a. Bac d'entreposage : [18]

Le bac d'entreposage est à simple paroi, d'une capacité de 21,651 tonnes métriques, il est utilisé pour entreposer l'ammoniac devant être notamment transporté au port pour chargement sur des bateaux ou inversement pour recevoir de l'ammoniac du port afin de combler les besoins du complexe FERTIAL. Le réservoir est situé sur le site connu sous « usine d'ammoniac », environ 650 mètres au sud-est d'une zone résidentielle (cité Seybouse).

Le réservoir répond aux exigences du standard API 620 s'appliquant à des réservoirs à basse pression, soudés, de grande capacité. Ce standard est mondialement reconnu et utilisé.

Une surépaisseur de corrosion n'est pas en contradiction avec le standard.

Le réservoir opère près de la pression atmosphérique, il est maintenu à une température d'environ -33 C (température d'ébullition de l'ammoniac à cette pression) par condensation et réfrigération des vapeurs d'ammoniac en équilibre au-dessus de l'ammoniac liquide, à l'aide d'un système de réfrigération. Le réservoir est alimenté en ammoniac Liquide de l'unité de synthèse de l'ammoniac à un débit de 1000 t/ jour en continu, ou à un débit de 500 à 1000 t/h en provenance du port, de façon intermittente.



**Figure II.II.2 :** Photo du bac de stockage d'ammoniac. [18]

### **b. Bassin de rétention :** [18]

Le réservoir est entouré d'un bassin de rétention permettant de retenir l'ammoniac liquide en cas de fuite. Le volume du bassin est de 44 100 m<sup>3</sup> (140 m X 90 m X 3,5 m), ce qui représente 140% de la capacité du réservoir d'entreposage. Le bassin de rétention qui est établi sur un sol sablonneux, absorbant ainsi l'ammoniac liquide, est ceinturé d'un mur de rétention en béton et d'un caniveau lequel évacue l'ammoniac liquide vers la mer en cas de fuite ou de déversement.

### **c. Système de réfrigération :** [18]

Le système de réfrigération inclut des compresseurs qui amènent les vapeurs du réservoir d'entreposage vers la réfrigération, où elles sont condensées et recirculées au réservoir.

Selon la description de l'unité de réfrigération, les compresseurs permettent de comprimer le vaporisât du réservoir jusqu'à 3,15 bars (jauge). Le vaporisât est ensuite refroidi à -2 °C par contact avec de l'ammoniac liquide dans un ballon d'aspiration. La vapeur restante est comprimée à 14,1 bars (jauge) dans le deuxième étage des compresseurs, puis condensée dans des condenseurs utilisant l'eau de mer comme fluide refroidissant. Le condensât chaud (38 °C) à 13,8 bars (jauge) est ensuite utilisé dans un ballon d'aspiration pour effectuer le premier refroidissement du vaporisât, ce qui le détend jusqu'à 3 bars (Jauge) et -2 °C. À son retour dans le réservoir à pression atmosphérique, le condensât sera étendu à nouveau atteignant 33 °C.

Un ou plusieurs compresseurs peuvent être utilisés afin d'envoyer le vaporisât du réservoir d'entreposage au système de réfrigération, lorsque la pression à l'intérieur de celui-ci atteint les limites prescrites. Dans le cas d'une défaillance du système de réfrigération, la pression dans le réservoir dépasserait la limite supérieure, ce qui déclencherait l'ouverture de la vanne vers la torchère ou même l'ouverture des soupapes de sûreté vers l'atmosphère.

### 2.3 Description des événements redoutés : [19]

L'évènement redouté étudié concerne la défaillance (fuite ou rupture) d'un bac de stockage d'ammoniac cryogénique provoquant la perte de confinement d'une quantité importante d'ammoniac liquide. Le phénomène dangereux redouté est la formation d'une nappe d'ammoniac dont la dispersion pourra engendrer des effets toxiques à partir de l'encuvement des bacs.

## 3. Description du système de transbordement d'ammoniac (pipeline) :

### 3.1 Caractéristiques : [19]

Caractéristique	Valeurs
Type d'installation	ligne
Substance	Ammoniac
T service (°C)	-33
Pression (bar)	8,25
Longueur (m)	4400
Diamètre (cm)	45.7
Débit (m <sup>3</sup> /h)	734
Densité (kg/m <sup>3</sup> )	681,2

Tableau II.II.2 : Caractéristiques du pipeline de transfert d'ammoniac.

### 3.2 Composantes de l'installation : [18]

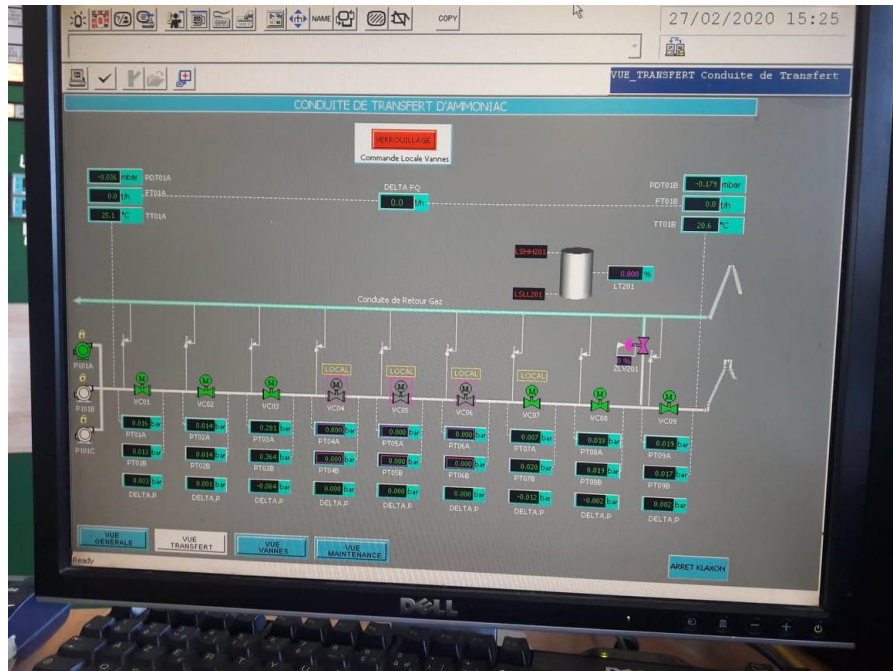
#### a. Pompe de transfert : [18]

La pompe de transfert sert à envoyer l'ammoniac du réservoir d'entreposage vers le port par pipeline. L'ammoniac y est pompé à un taux normal de 500 t/h, pouvant aller jusqu'à 700 t/h. elle n'est utilisée que de façon intermittente, lors du chargement des bateaux.

#### b. Le pipeline : [18]

Le pipeline sert au transfert de l'ammoniac liquide à -33 C et pressurisé à 8 bars du réservoir d'entreposage au port de Annaba ou l'inverse. Le pipeline consiste en une conduite à simple paroi de 45,7 cm de diamètre Interne (matériau : ASTM A. 33 GR6). L'ammoniac y est pompé de façon intermittente à un taux normal de 500 t/h, pouvant alter jusqu'à 700 t/h, ce qui correspond à une vitesse superficielle de 1,3 à 1,9 m/s. Le pipeline mesure environ 3000 mètres. Il est implanté sur un support à une élévation moyenne de 10 mètres par rapport au niveau de la mer : les points les plus bas et plus hauts sont respectivement de 3,5 et 15 mètres. Les différentes sections du pipeline sont construites en utilisant des conduites de 12 mètres de longueur et en fonction de la nature et des besoins de

construction pour chaque tronçon (existence de lires, de courbures, etc.), il y a un raccordement par des tubes de différentes longueurs. Le pipeline est muni de 10 purgeurs automatiques, qui se localisent généralement au niveau des points les plus hauts du pipeline et qui, lorsque la pression de vapeur dans le pipeline atteint une certaine limite, libèrent l'ammoniac vers le système de retour des gaz jusqu'à ce que la pression redevenue normale.



**Figure II.II.3 :** Surveillance du pipeline par pc dans la salle de contrôle.

### c. Système de retour gaz : [18]

Le système de retour des gaz sert à réacheminer les vapeurs d'ammoniac relâchées dans le pipeline vers le système de réfrigération, qui les condense et les retourne au réservoir d'entreposage. Il est constitué d'abord d'une conduite de 40,6 cm de diamètre interne, de même longueur que le pipeline et parallèle à celui-ci. Il comporte également une soufflante située dans le port, et qui permet d'envoyer les gaz purgés au système d'entreposage.

### 3.3 Description des évènements redoutés : [19]

L'évènement redouté étudié concerne la défaillance (fuite ou rupture) de la ligne et du bras de chargement d'ammoniac cryogénique provoquant la perte de confinement d'une quantité importante d'ammoniac liquide. Le phénomène dangereux redouté est la formation d'une nappe d'ammoniac dont la dispersion pourra engendrer des effets toxiques.

## 4. La cinétique des évènements : [19]

Chaque phénomène dangereux est caractérisé par une cinétique d'enchaînement des évènements bien spécifique. En fonction de cette cinétique, l'impact de l'évènement et nos possibilités de limiter celui-ci peut être plus ou moins important. L'impact des phénomènes longs mais immédiats peut ainsi être généralement réduit en appliquant les méthodes d'évacuation et de protection adéquates. Pour les phénomènes rapides mais retardés, les possibilités d'évacuation sont réelles mais fortement dépendantes : des distances d'effets qui sont généralement grandes, du temps moyen de réaction



humain (plusieurs minutes) et des possibilités d'évacuation. L'intervention après coup consistera à limiter les dégâts et à protéger les cibles suites aux feux secondaires. L'accent doit être mis sur la prévention plutôt que sur la protection.

La cinétique des phénomènes possibles est reprise dans le tableau ci-dessous.

Phénomènes dangereux	Famille du phénomène
<i>Dispersion toxique du Bac de stockage ou pipeline.</i>	<i>Long mais immédiat</i>

**Tableau II.II.3 :** Cinétiques des évènements du bac de stockage et du pipeline. [19]

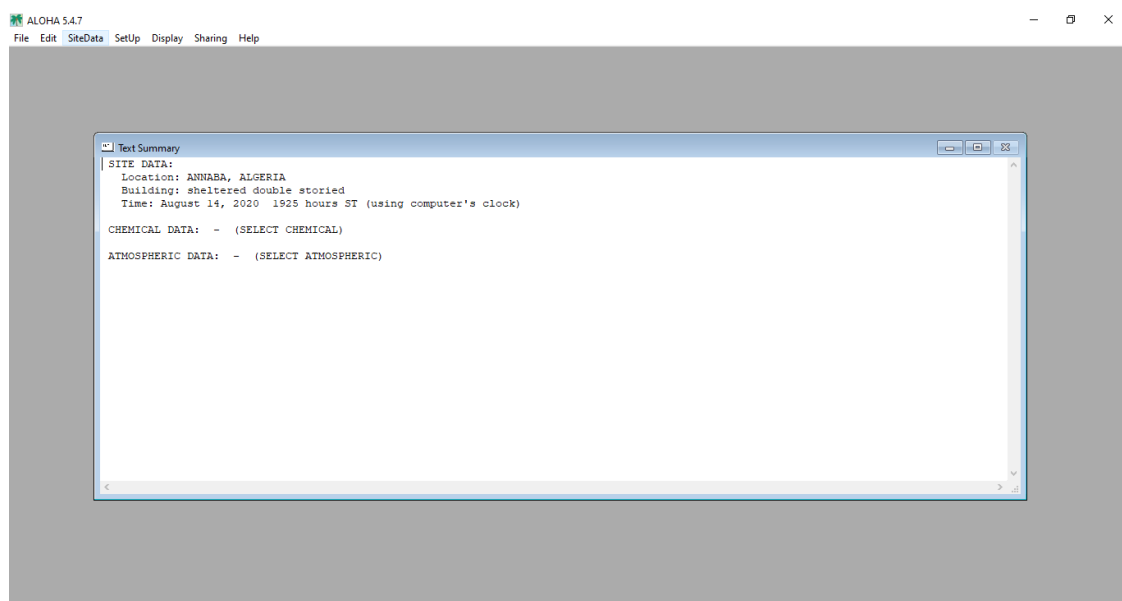
### III. Modélisation :

#### 1. Présentation du logiciel de simulation ALOHA : [22]

CAMEO-ALOHA est un logiciel utilisable pour des situations d'urgence. Il a été développé conjointement par les 2 entités américaines suivantes : "Environmental Protection Agency's Office of Emergency Prevention, Preparedness and Response" (EPA) et le "National Oceanic and Atmospheric Administration's Office of Response and Restoration" (NOAA).

ALOHA modélise la dispersion atmosphérique de gaz neutre, par un module basé sur l'approche gaussienne, et de gaz plus lourd que l'air au moyen d'un module de gaz dense. ALOHA permet notamment la modélisation d'émissions à partir de flaques en ébullition ou non, de réservoirs sous pression de gaz ou de liquide, de réservoirs liquides non pressurisés, de réservoirs contenant des gaz liquéfiés, de conduite de gaz sous pression.

CAMEO-ALOHA a aussi un programme de cartographie nommé MARPLOT (Mapping Application for Response, Planning, and Local Operational Tasks). C'est une interface SIG (système d'information géographique) qui aide à illustrer et afficher les zones de menace ALOHA dans une Maps.



**Figure II.II.4 :** Photo de l'interface du logiciel ALOHA.

## 1.1 Les entrées : [22]

Les paramètres d'entrée renseignent la localisation de l'accident, la substance chimique mise en cause, les conditions atmosphériques, les caractéristiques du site et du gazoduc ainsi que les conditions de rejet.

- Localisation du site : coordonnées GPS (longitude, latitude, altitude).
- Date et heure de l'accident.
- Produit chimique étudié (base de données).
- Conditions atmosphériques : vitesse, direction du vent et hauteur à laquelle est faite la mesure, température de l'air, humidité relative de l'air, classe de stabilité, inversion de température, couverture nuageuse.
- Caractéristiques du rejet : rugosité du sol, état du rejet (produit enflammé ou non), pression et température en entrée de la canalisation.
- Caractéristiques du gazoduc : diamètre intérieur, longueur, type de surface intérieure de la canalisation.

## 1.2 Les sorties : [22]

Les sorties graphiques du logiciel sont constituées par :

- Les évolutions temporelles de la valeur du débit (graphes 1D).
- Les évolutions temporelles de la concentration et de la dose à un point donné (graphe 2D).
- La trace au sol de la concentration (graphe 2D).

## 1.3 Les limites : [22]

La justesse des résultats obtenus par ALOHA dépend bien évidemment de la qualité de l'information fournie en entrée. Cependant, bien que les valeurs en entrée soient des plus précises, ALOHA, comme tout autre modèle, peut ne pas être fiable dans certaines situations, et ne peut modéliser certains types de dégagement chimique.

Les résultats d'ALOHA sont particulièrement incertains dans les conditions suivantes :

- Vitesse de vent très faible,
- Changement de direction du vent,
- Présence d'obstacles et relief,
- Condition atmosphérique très stable,
- Présence de mélanges gazeux,
- Répartition de la concentration près de la source,
- Présence de particules,
- N'affiche pas de résultats à des distances inférieures à 100 m ou supérieur à 10 km.



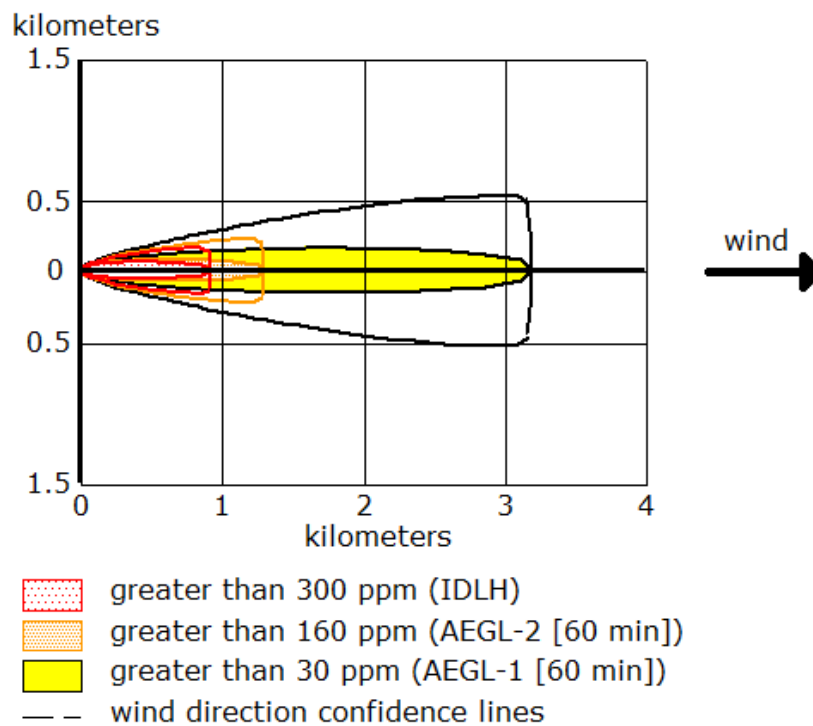
## 2. Simulation d'accident dans le bac de stockage :

On considère le bac rempli d'ammoniac à 80%, soit une masse de 18 000 tonnes. Les conditions opératoires considérées pour le modèle sont  $-33^{\circ}\text{C}$  et la pression atmosphérique dans le bac de stockage. Concernant les conditions atmosphériques, nous avons fixé les conditions météorologiques normales pour la région d'Annaba.

Deux simulations ont été réalisées, pour voir les différentes zones de danger dans des différents cas de la dispersion du gaz toxique d'une petite fuite ou une grande fuite, le premier cas est une fissure de 10 cm de long dans le bac, le deuxième cas est une rupture de 2 m de diamètre dans le bac.

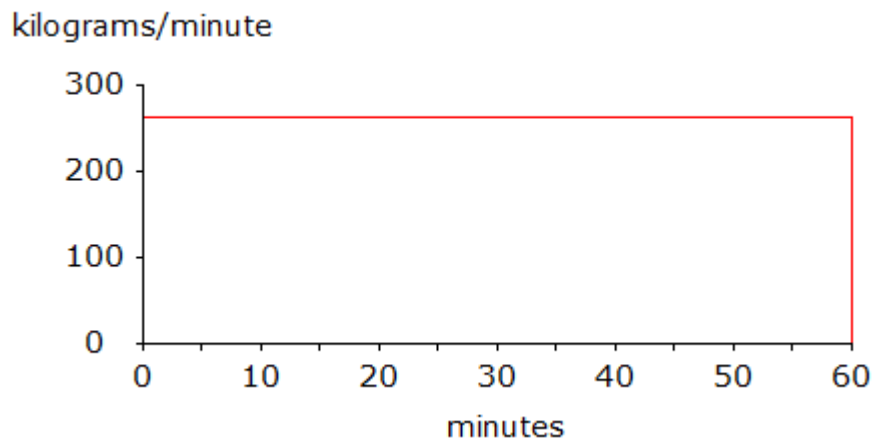
### 2.1 Simulation d'une dispersion du gaz toxique due à une fissure de 10 cm de longueur dans le bac de stockage :

#### a. Les zones de menace :



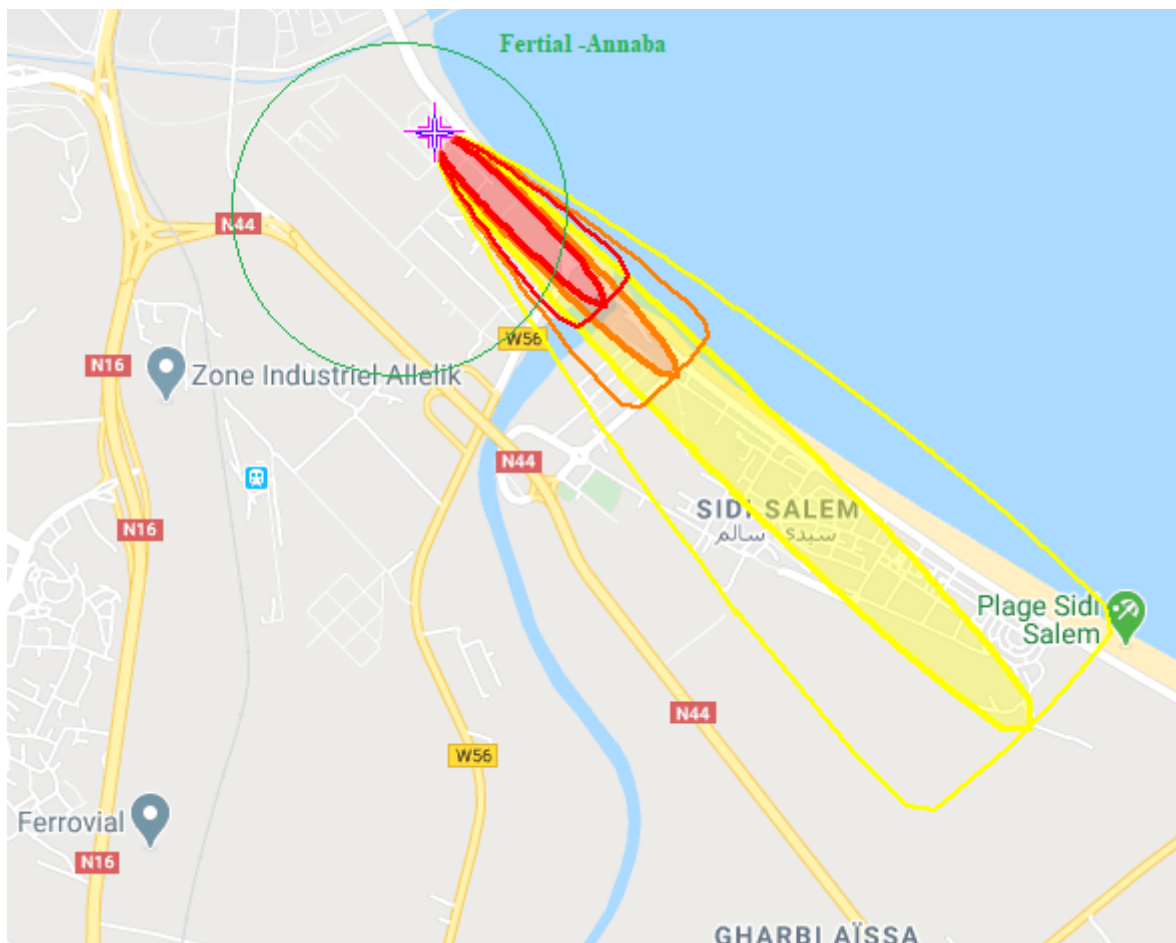
**Figure II.II.5 :** zone de menace d'une dispersion du gaz toxique due à une fissure de 10 cm de longueur dans le bac de stockage.

**b. La force de la source :**



**Figure II.II.6 :** Force d'une dispersion du gaz toxique due à une fissure de 10 cm de longueur dans le bac de stockage.

**c. Illustrassions des zones de menace sur la carte par le l'interface MARPLOT :**



**Figure II.II.7 :** Illustrassions des zones de menace d'une dispersion du gaz toxique due à une fissure de 10 cm de longueur dans le bac de stockage avec l'interface MARPLOT.

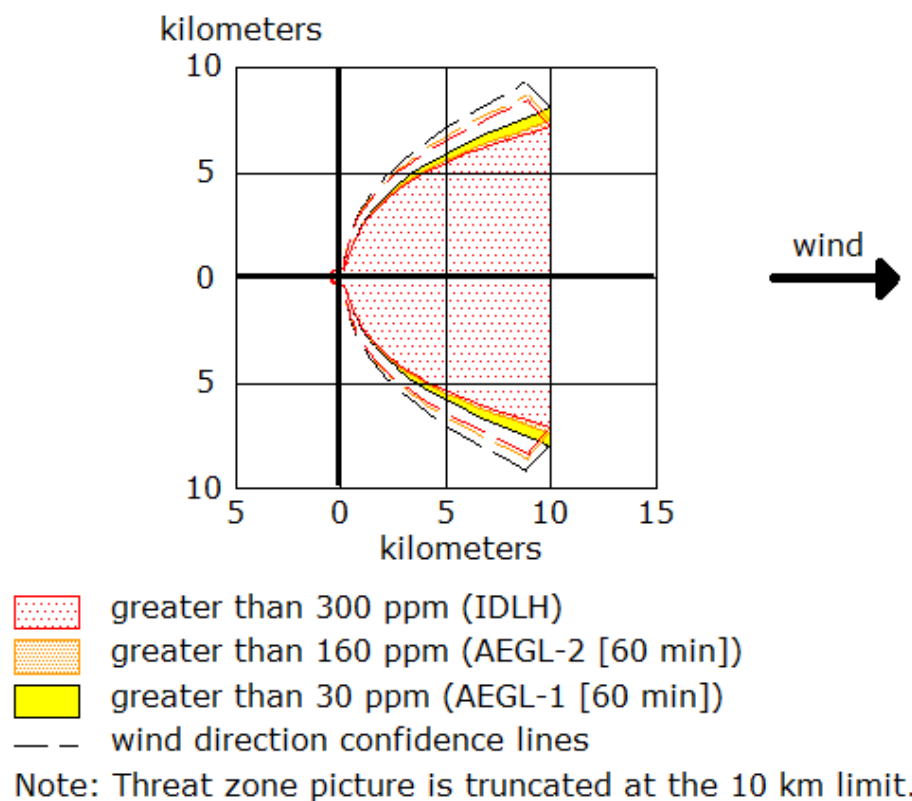
#### d. Résultat et discussion :

Le seuil d'effet correspondant aux effets immédiats (Zone rouge) atteint 921 mètres dans le cas de la petite fuite mais n'atteint pas de zones fréquentées par un grand nombre de public, bien que, la zone menacée concerne le personnel de l'entreprise qui pourraient subir des effets très graves pour la santé voir de mortalité. Le seuil à risque (Zone orange et zone jaune) porte à 3.2 Km et recouvre des zones fréquentées par la population (la région de SIDI SALEM). Les personnes situées aux alentours du site pourraient donc subir des effets importants pour la santé.

Dans ce phénomène dangereux de dispersion du gaz toxique la direction et la vitesse du vent joue un rôle très important qui peuvent donner des zones de danger plus vaste, ou plus petite si la direction du vent est vers la mer.

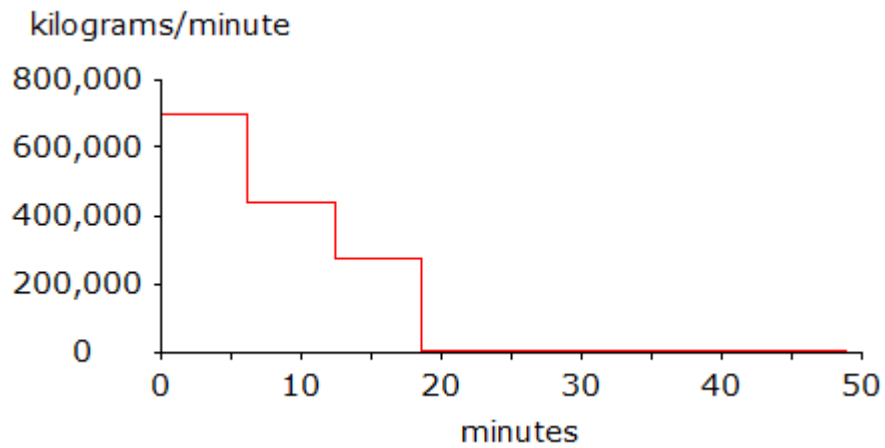
### 2.2 Simulation d'une dispersion du gaz toxique due à une rupture de 2 m de diamètre dans le bac de stockage :

#### a. Les zones de menace :



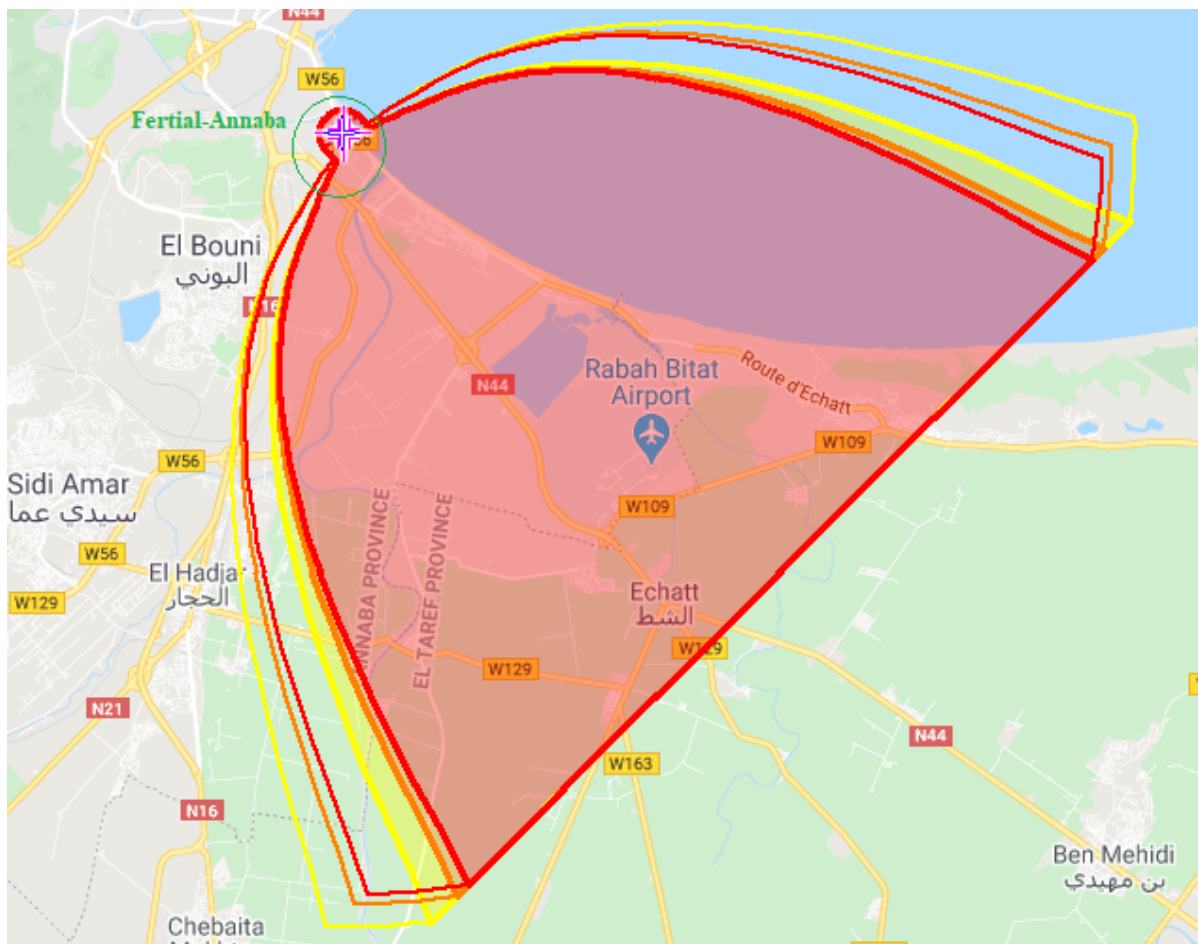
**Figure II.II.8 :** Zone de menace d'une dispersion du gaz toxique due à une rupture de 2 m de diamètre dans le bac de stockage.

**b. La force de la source :**



**Figure II.II.9 :** Force d'une dispersion du gaz toxique due à une rupture de 2 m de diamètre dans le bac de stockage.

**c. Illustrations des zones de menace sur la carte par le l'interface MARPLOT :**



**Figure II.II.10 :** Illustrations des zones de menace d'une dispersion du gaz toxique due à une rupture de 2 m de diamètre dans le bac de stockage avec l'interface MARPLOT.

#### d. Résultat et discussion :

Le seuil d'effet correspondant aux effets immédiats (Zone rouge) atteint plus de >10 Km dans le cas de la fuite majeure et atteint plusieurs zones fréquentées par le public. En sachant que les limites du logiciel de simulation ALOHA est 10 Km, nous met dans une image d'effets catastrophique du phénomène dangereux. Dans l'étude de danger du site l'analyse de l'accident majeure été estimé d'atteindre plus de 70 Km. Les personnes situées aux alentours du site pourraient donc subir des effets très graves pour la santé voir de mortalité et une pollution majeure de l'environnement.

Dans ce phénomène dangereux de dispersion du gaz toxique la direction et la vitesse du vent joue un rôle très important qui peuvent donner des zones de danger plus vaste, ou plus petite si la direction du vent est vers la mer.

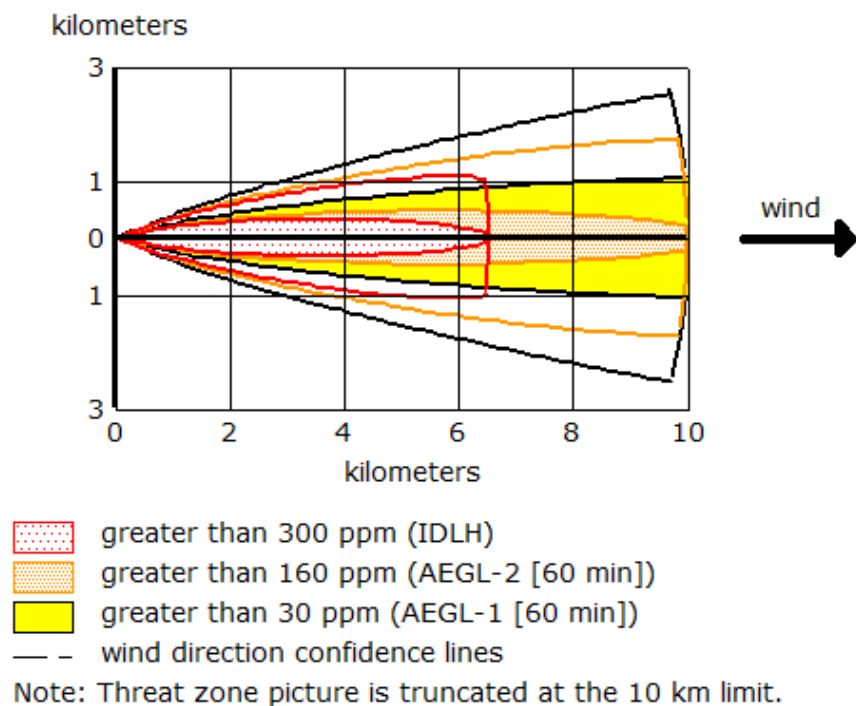
### 3. Simulation d'accident dans le pipeline :

Pour les caractéristiques du modèle, on encode une température opératoire égale à la température de service de  $-33^{\circ}\text{C}$  et la pression égale à la pression de service de 8.25 bar et le débit est de 600m/h. Concernant les conditions atmosphériques, nous avons fixé les conditions météorologiques normales pour la région d'Annaba.

La simulation réalisée pour le pipeline est une rupture ou une déconnexion du bras de chargement, des bateaux situés dans le port d'Annaba ; pour voir les différentes zones menacées par la dispersion du gaz toxique.

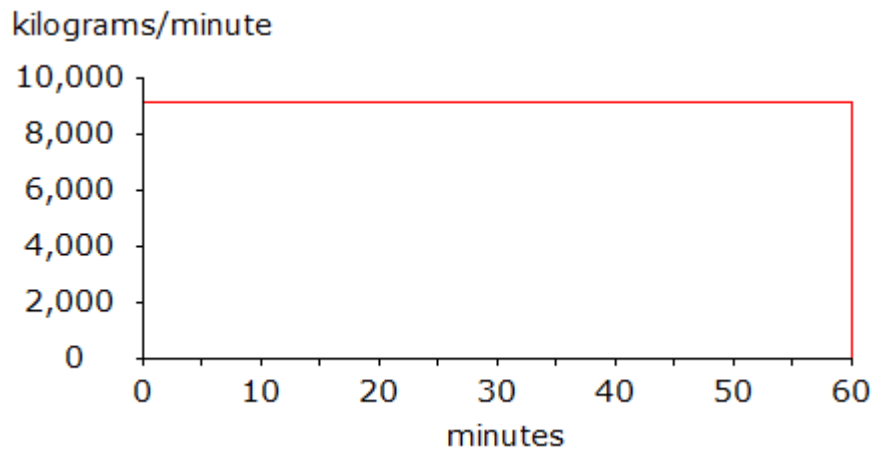
#### 3.1 Simulation d'une dispersion du gaz toxique due à une rupture du bras de chargement :

##### a. Les zones de menace :



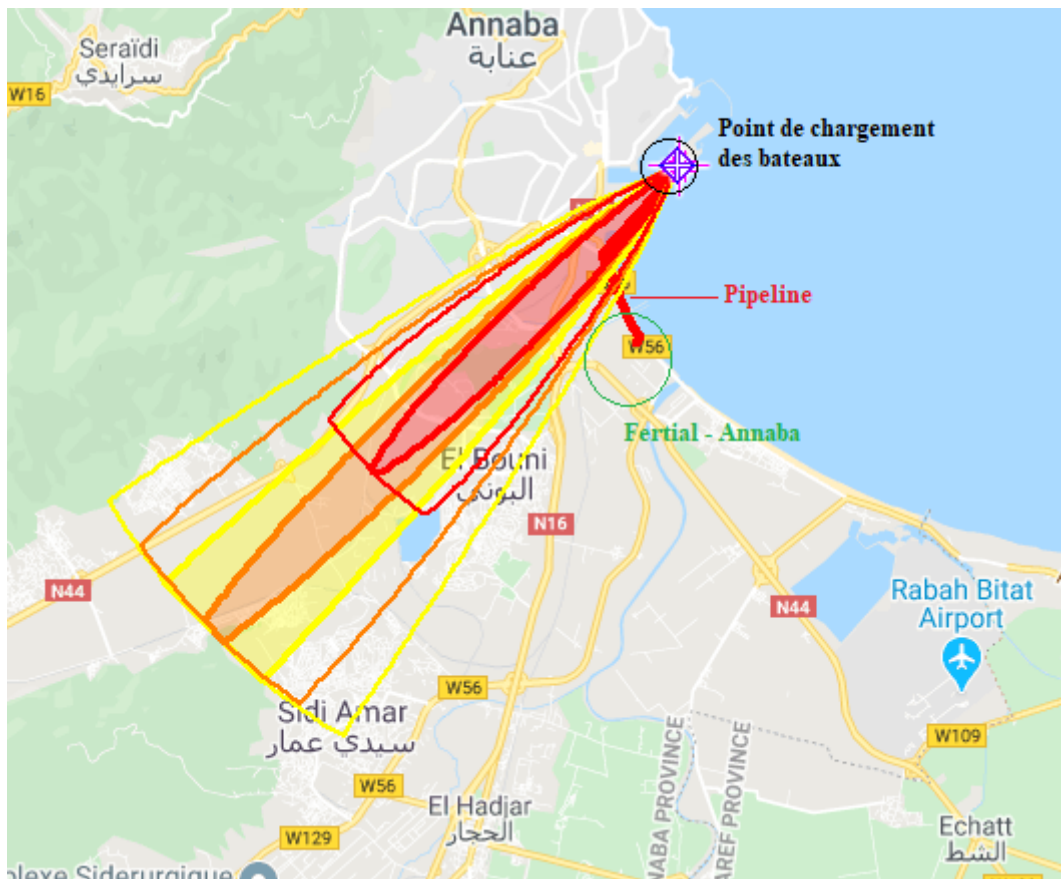
**Figure II.II.11 :** Zone de menace d'une dispersion du gaz toxique due à une rupture de bras de chargement du pipeline

**b. Force de la source :**



**Figure II.II.12 :** Force d'une dispersion du gaz toxique due à une rupture de bras de chargement du pipeline.

**c. Illustrations des zones de menace sur la carte par le l'interface MARPLOT :**



**Figure II.II.13 :** Illustrations des zones de menace d'une dispersion du gaz toxique due à une rupture de bras de chargement du pipeline avec l'interface MARPLOT.

#### d. Résultat et discussion :

Le seuil d'effet correspondant aux effets immédiats (Zone rouge) atteint 6.5 Km dans le cas de la défaillance du bras de chargement et atteint les zones fréquentées par le public (La région d'EL BOUNI). Les personnes situées aux alentours du site pourraient donc subir des effets très graves pour la santé voir de mortalité et une pollution majeure de l'environnement. Aussi pour le seuil à risque (Zone orange et zone jaune) porte plus de >10 Km et recouvre des zones fréquentées par la population (la région de SIDI Amar). Sachant que les limites du logiciel de simulation ALOHA est 10 Km. Et ainsi la zone de danger peut être plus grande. Les personnes situées aux alentours du site pourraient donc subir des effets importants pour la santé.

Dans ce phénomène dangereux de dispersion du gaz toxique la direction et la vitesse du vent joue un rôle très important qui peuvent donner des zones de danger plus vaste, ou plus petite si la direction du vent est vers la mer.

#### IV. Matrice de criticité : [17]

Après l'identification des risques, les problèmes potentiels et l'analyse des risques, une évaluation du risque est réalisée en identifiant la fréquence d'occurrence ainsi que la gravité des conséquences.

La matrice de criticité utilisée dans notre étude de cas, c'est la matrice définie dans la procédure HAZOP de l'entreprise FERTIAL. Les classes de gravité et de probabilité sont décrites en détails ci-après :

Probable	5					
Improbable	4					
Très improbable	3					
Extrêmement improbable	2					
Extrêmement rare	1					
<b>Fréquence</b>		1	2	3	4	5
<b>Gravité</b>		modéré	Sérieux	Majeur	Catastrophique	Désastreux

Classification du risque	Description
	Inacceptable
	Tolérable(ALARP)
	Acceptable

**Tableau II.II.4 :** Matrice de criticité utilisée par l'entreprise FERTIAL. [17]

## 1. Les niveaux de Gravité : [17]

Gravité	Personnel	Public	Environnement	Production/biens
Désastreux <b>G5</b>	Décès multiples. Effet majeur de santé publique	Un décès. Incapacité permanente. Effet majeur de santé publique.	Pollution majeure externe au site	Plus de 180 jours de perte de production.
Catastrophique <b>G4</b>	Un à trois décès. Incapacité permanente. Effet majeur de santé publique.	Blessure grave ou effet sur la santé. Une ou plusieurs journées de travail avec perte de temps ou des effets importants sur la santé	Pollution importante avec des conséquences environnementales	Plus de 30 jours et moins de 180 jours de perte de production.
Majeur <b>G3</b>	Blessure grave ou effet sur la santé. Une ou plusieurs journées de travail avec perte de temps ou des effets importants sur la santé	Blessures mineures ou effet sur la santé à moyen.	Une importante pollution externe au site.	Plus de 5 jours et moins de 30 jours de perte de production
Sérieux <b>G2</b>	Blessures mineures ou effet sur la santé. effet sur la santé à moyen.	Blessé léger. effets sur la santé mineure.	Déversement modéré dans la limite du site	Plus de 1 jour et moins de 5 jours de perte de production
Modéré <b>G1</b>	Blessé léger. effets sur la santé mineure.		Déversement sans conséquences sur l'environnement	Moins de 1 jour de la perte de production

**Tableau II.II.5** : Les niveaux de gravité des risques.



## 2. Les niveaux de probabilité : [17]

Probabilité	Description	Fréquence
Probable <b>P5</b>	Pourrait se produire plusieurs fois pendant la vie d'une installation	$>10^{-2}$
Improbable <b>P4</b>	Pourrait se produire une fois tous les 20 à 30 années de vie de l'usine sur 10 à 20 usines similaires	$10^{-2}$ à $10^{-3}$
Très improbable <b>P3</b>	Pourrait se produire une fois tous les 20 à 30 années de vie de l'usine sur 100 à 2 usines similaires. Est déjà survenu dans la société, mais des barrières correctives ont été prises	$10^{-3}$ à $10^{-4}$
Extrêmement improbable <b>P2</b>	Est déjà survenu dans l'industrie, mais des barrières correctives ont été prises	$10^{-4}$ à $10^{-5}$
Extrêmement rare <b>P1</b>	Événement physiquement possible mais n'a jamais ou rarement eu lieu sur une période de 20 à 30 ans pour un grand nombre de sites	$<10^{-5}$

Tableau II.II.6 : Les niveaux de probabilité des risques.

## V. Grille de maitrise : [20]

	M 1	M 2	M 3	M 4
<b>Cb 1</b>				
<b>Cb 2</b>				
<b>Cb 3</b>				
<b>Cb 4</b>				
<b>Cb 5</b>				
<b>Cb 6</b>				
<b>Cb 8</b>				
<b>Cb 9</b>				
<b>Cb 10</b>				
<b>Cb 12</b>				
<b>Cb 15</b>				
<b>Cb 16</b>				
<b>Cb 20</b>				
<b>Cb 25</b>				

Tableau II.II.7 : Grille de maitrise des risques. [20]

Les intervalles de la grille de maitrise :

- Risque faible : [1, 10]
- Risque moyen : [12, 27]
- Risque important : [30, 100]

	Risque faible
	Risque moyen
	Risque important

## **VI. Analyse des risques du bac de stockage T-101 :**

Nous avons choisi de faire notre application avec la méthode d'analyse HAZOP (HAZard and OPerability Study) ; car elle peut s'appliquer sur un sous-système ou une installation donc elle convient notre étude des risques industriels sur le bac de stockage et le pipeline dont il est primordial de maîtriser les paramètres physiques comme la température, la pression, le débit...etc. De plus, la méthode HAZOP s'est imposée comme l'un des outils les plus efficaces pour identifier les risques liés aux procédés industriels.

En outre, Nous avons décidé de compléter l'analyse HAZOP avec la méthode du nœud de papillon (Arbre de défaillance ; Arbre d'évènement), afin de compenser les limites de la méthode HAZOP et de renforcer notre travail.

***1. Tableaux d'Analyse HAZOP avec  
l'Evaluation des risques et les niveaux de  
Maitrise (Bac de stockage) [28], [17]***

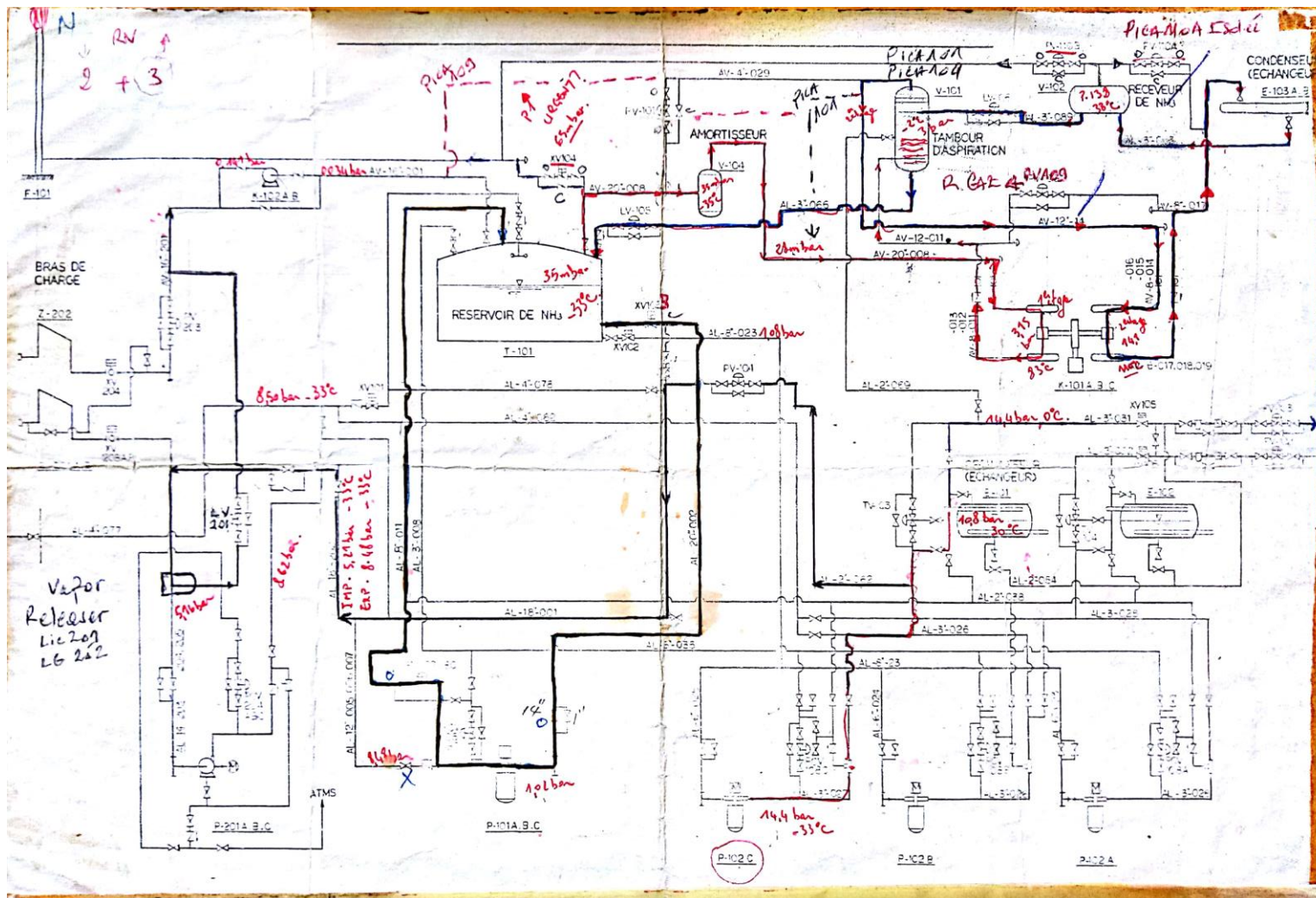


Figure II.II.14 : Schéma tuyauterie et instrumentation P&ID du bac de stockage.

N°	Mot guide	Paramètre	Déviation	Causes	Conséquences	Avant Réductions Des risques			Mesure de prévention et protection	Après Réductions Des risques					Recommandation	Après Recommandation				
						P	G	C		P	G	Cb	M	Cn		P	G	Cb	M	Cn
1	Plus	Pression	surpression	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Défaillances des compresseurs K101 (A, B, C), et de la torche F-101, et des soupapes de sécurité.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Rupture du bac T-101.</li> <li>▪ Explosion.</li> <li>▪ Dispersion du gaz toxique (Ammoniac).</li> </ul>	3	5	15	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Entretien des barrières de sécurité (compresseur K-101A.B.C, torche F-101).</li> <li>▪ Tarage réglementaire des soupapes de sécurité.</li> <li>▪ La couronne des rideaux d'eaux.</li> <li>▪ Lance moniteur mobile.</li> </ul>	2	5	10	1	10	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Contrôle périodique.</li> <li>▪ Respecter les périodicités des tests réglementaires.</li> <li>▪ Suivre et surveiller l'augmentation de la pression dans le bac.</li> <li>▪ Sensibilisation sur la culture de sécurité.</li> <li>▪ Faire des simulations d'accident.</li> <li>▪ La restauration du bac de stockage T-101.</li> <li>▪ Placer des détecteurs de gaz avec alarme.</li> </ul>	1	5	5	1	5
					<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Fissure.</li> <li>▪ Fuite majeure d'ammoniac.</li> </ul>	4	5	20		3	5	15	1	15		2	5	10	1	10



2	plus	Température	Température élevée	<ul style="list-style-type: none"> <li>Température ambiante et rayonnement solaire élevé.</li> <li>Exposition à un incendie ou une source de chaleur intense.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fatigue et détérioration des joints.</li> <li>Fuite petite/moyenne d'ammoniac.</li> <li>Dispersion du gaz toxique (Ammoniac).</li> </ul>	3	4	12	<ul style="list-style-type: none"> <li>Système de refroidissement.</li> <li>Calorifuge.</li> </ul>	2	4	8	3	24	<ul style="list-style-type: none"> <li>Contrôle périodique.</li> <li>Respecter les périodicités des tests réglementaires.</li> <li>Suivre et surveiller l'augmentation de la température dans le bac.</li> <li>Sensibilisation sur la culture de sécurité.</li> <li>Faire des simulations d'accident.</li> <li>Entretien du calorifuge.</li> <li>Placer des détecteurs de gaz avec alarme.</li> </ul>	1	4	4	3	12
3	Maintenance.	Opération	Erreur humain	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fatigue.</li> <li>Mauvaise conscience.</li> <li>Mal formation.</li> <li>Stress.</li> <li>Négligence.</li> <li>Personne non qualifié.</li> </ul>	Incendie.	3	3	9	<ul style="list-style-type: none"> <li>Permis de travail.</li> </ul>	2	3	6	1	6	<ul style="list-style-type: none"> <li>Travailler au moins 2 personnes dans un post.</li> </ul>	1	3	3	1	3
					Explosion.	3	5	15	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nécessité de l'habilitation.</li> <li>Signalisations.</li> <li>L'information sur la procédure de sécurité.</li> </ul>	2	5	10	1	10	<ul style="list-style-type: none"> <li>Travail à temps partiel.</li> <li>Sensibilisation sur la culture de sécurité.</li> </ul>	1	5	5	1	5
					Fuite petite/moyenne d'ammoniac.	4	4	16		3	4	12	1	12	<ul style="list-style-type: none"> <li>Formation du personnel.</li> <li>Fournir aux personnels toutes les conditions</li> </ul>	2	4	8	1	8

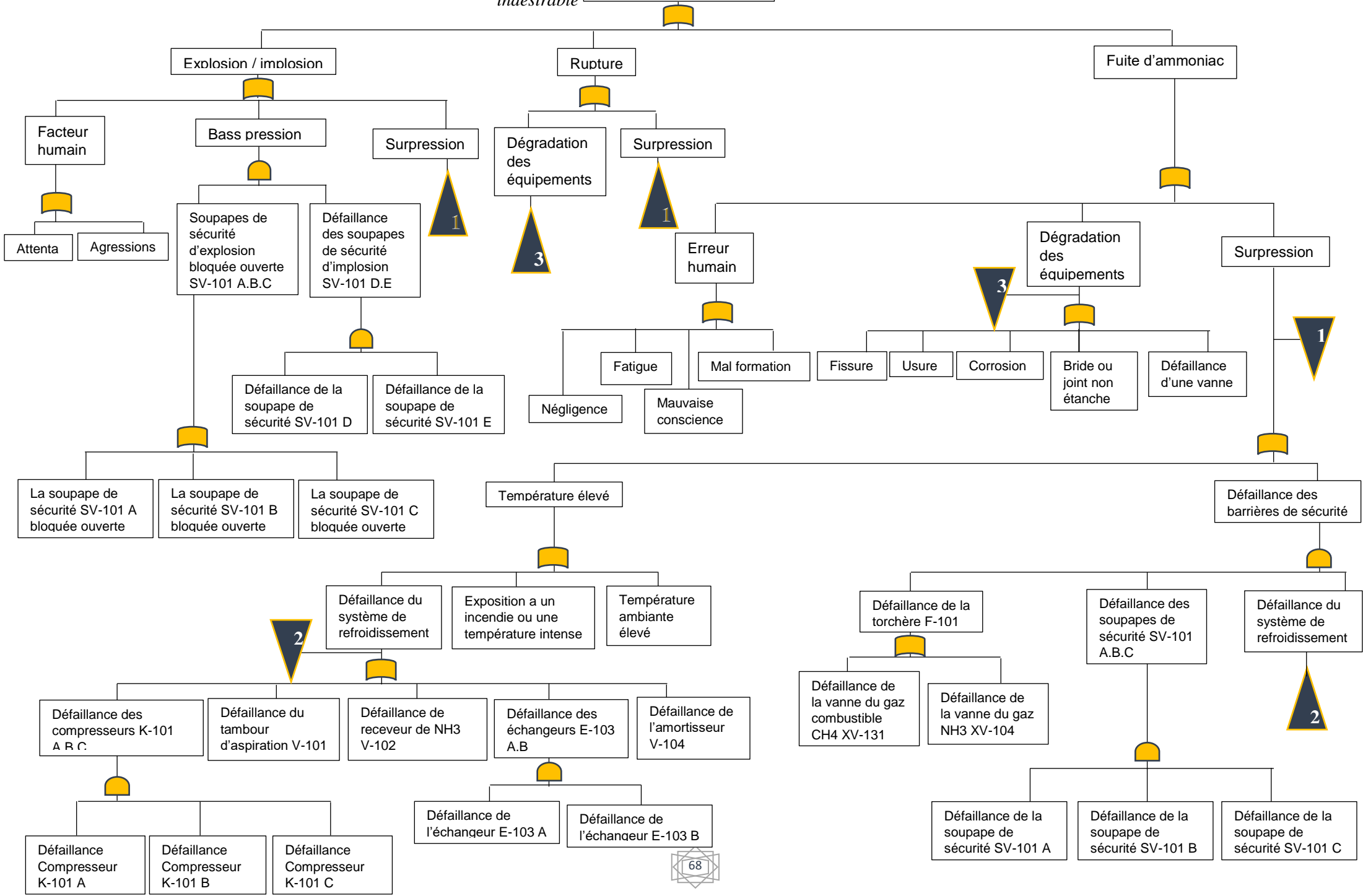




## ***2. Analyse par Arbre de défaillances***

***(Bac de stockage)***

*Evènement indésirable* Perte de confinement du bac de stockage T-101



## 2.1 Description des Symboles de l'AdD :




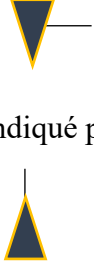
Symbole	Description
	Porte (ET)
	Porte (OU)
	<p>La partie de l'arbre qui suit le symbole</p> <p>Est transféré à l'emplacement indiqué par le symbole</p> 

Tableau II.II.9 : Description des Symboles de l'AdD.

## 2.2 Coupe minimales de l'AdD du bac de stockage :

D'après l'algèbre de Boole :

EI= Perte de confinement du bac :  $EI = EX + R + F$

- $Ex = FH + BP + SP \dots (1)$
- $R = DE + SP \dots (2)$
- $F = EH + DE + SP \dots (3)$

(1) + (2) + (3) :

$EI = FH + BP + SP + DE + SP + EH + DE + SP$

➤  $EI = FH + BP + EH + SP + DE$

$SP = TE + DBS$

$TE = DSR + ETI + TAE \dots (4)$

$DBS = DT \times DS \times DSR \dots (5)$

(4) + (5) :

$SP = (DSR + ETI + TAE) + (DT \times DS \times DSR)$

$SP = DSR + ETI + TAE + DT \cdot DS \cdot DSR$

$SP = DSR (1 + DT \cdot DS) + ETI + TAE$

$SP = DSR + ETI + TAE$

Donc :

➤  $EI = FH + BP + DE + EH + DSR + ETI + TAE$

Dont :

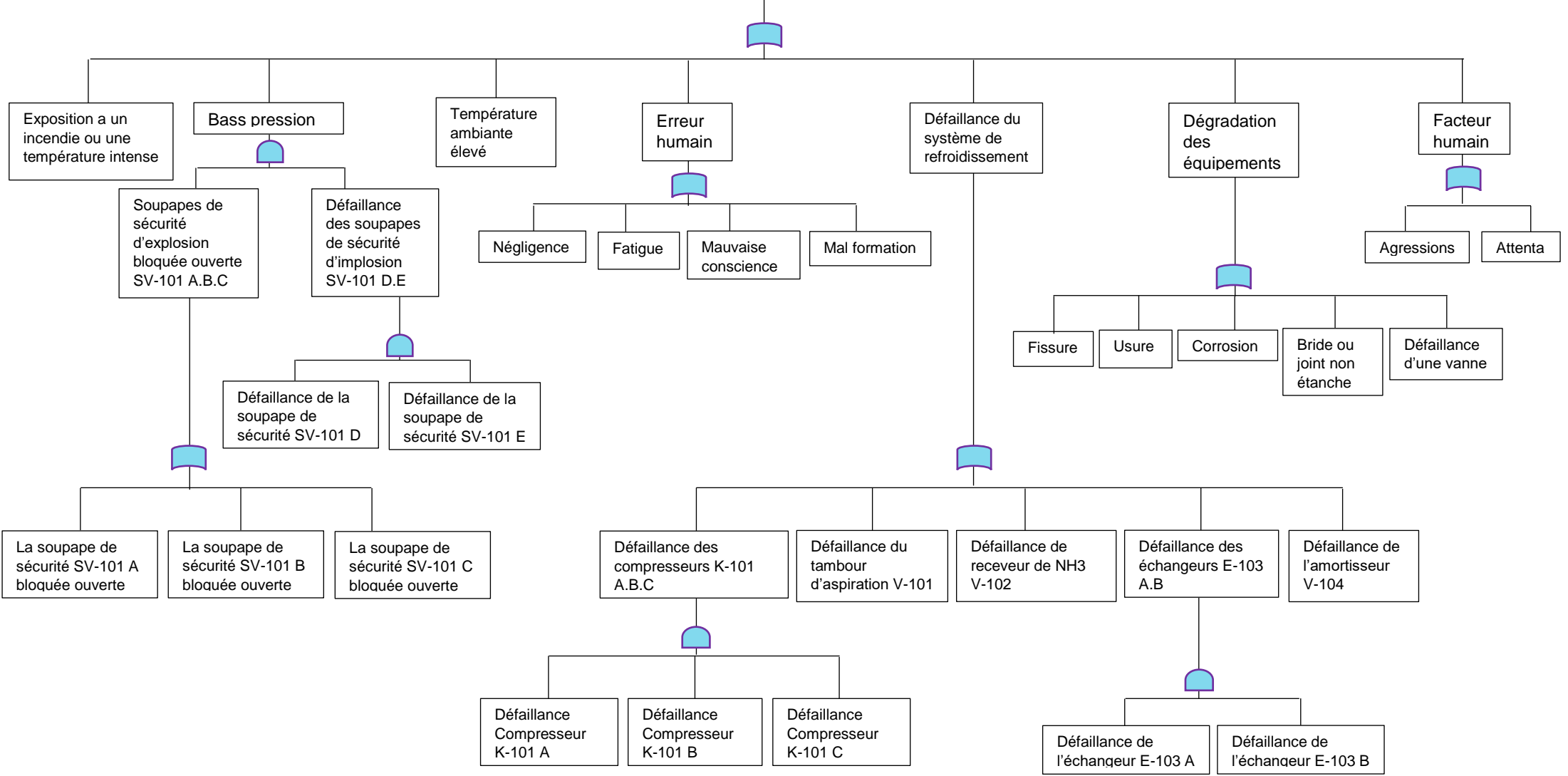
- EX : Explosion/Implosion
- R : Rupture
- F : Fuite d'ammoniac
- FH : Facteur humain
- BP : Bass pression
- SP : Surpression
- DE : Dégradation des équipements
- EH : Erreur humain
- TE : Température élevée
- DBS : Défaillance des barrières de sécurité
- DSR : Défaillance de système de refroidissement
- ETI : Exposition a un incendie ou une température intense
- TAE : Température ambiante élevée
- DT : Défaillance de la torchère
- DS : Défaillance des soupapes de sécurité

### **2.3 L'arbre de défaillance réduit du bac de stockage :**

D'après l'arbre réduit du bac de stockage on a 21 coupes minimales.

*Evènement indésirable*

Perte de confinement du bac de stockage T-101



### ***3. Analyse par Arbre d'évènement***

***(Bac de stockage)*** [23], [24], [27]

*Evènements  
génériques*

Système de  
refroidissement

Transmetteur  
de pression

Alarme

Opérateur en  
salle de contrôle

Torchère

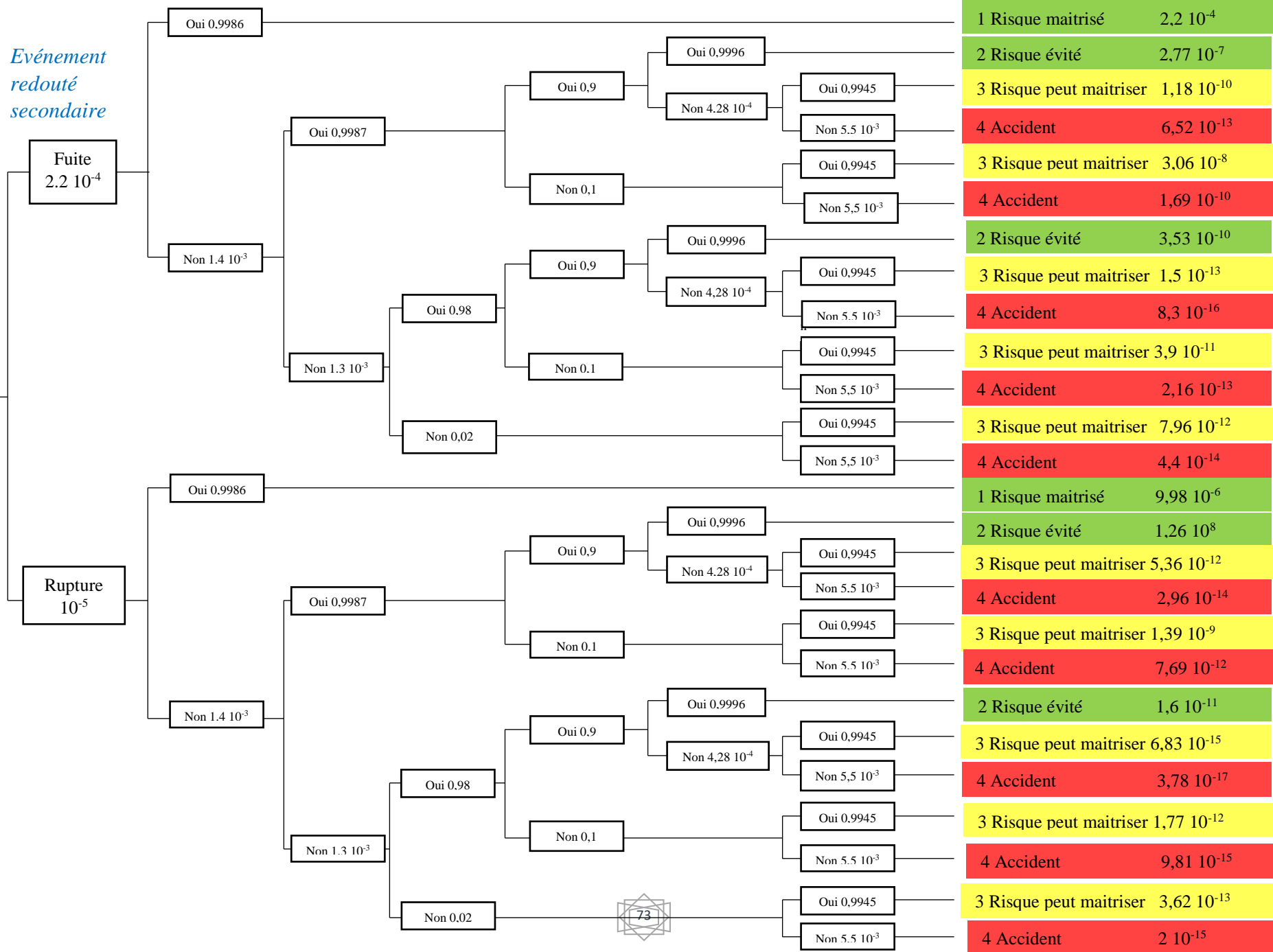
Soupapes de  
sécurité

*Conséquences*

*Evènement  
redouté  
secondaire*

*Evènement  
initiateur*

*Perte de  
confinement  
du bac de  
stockage*



### 3.1 Description des conséquences de l'Ade du bac de stockage :

<i>N° de conséquence</i>	<i>Description</i>
<b>1</b>	Risque maîtrisé, fonctionnement normale des barrières de sécurité.
<b>2</b>	Risque évité, gaz vers torchère, pollution mineure de l'environnement.
<b>3</b>	Risque peut maîtriser, Ouverture des soupapes de sécurité, pollution moyenne de l'environnement.
<b>4</b>	Accident, dispersion d'une grande quantité du gaz toxique, pollution majeur de l'environnement, peut provoquer des effets très graves pour la santé de la population voir de mortalité.

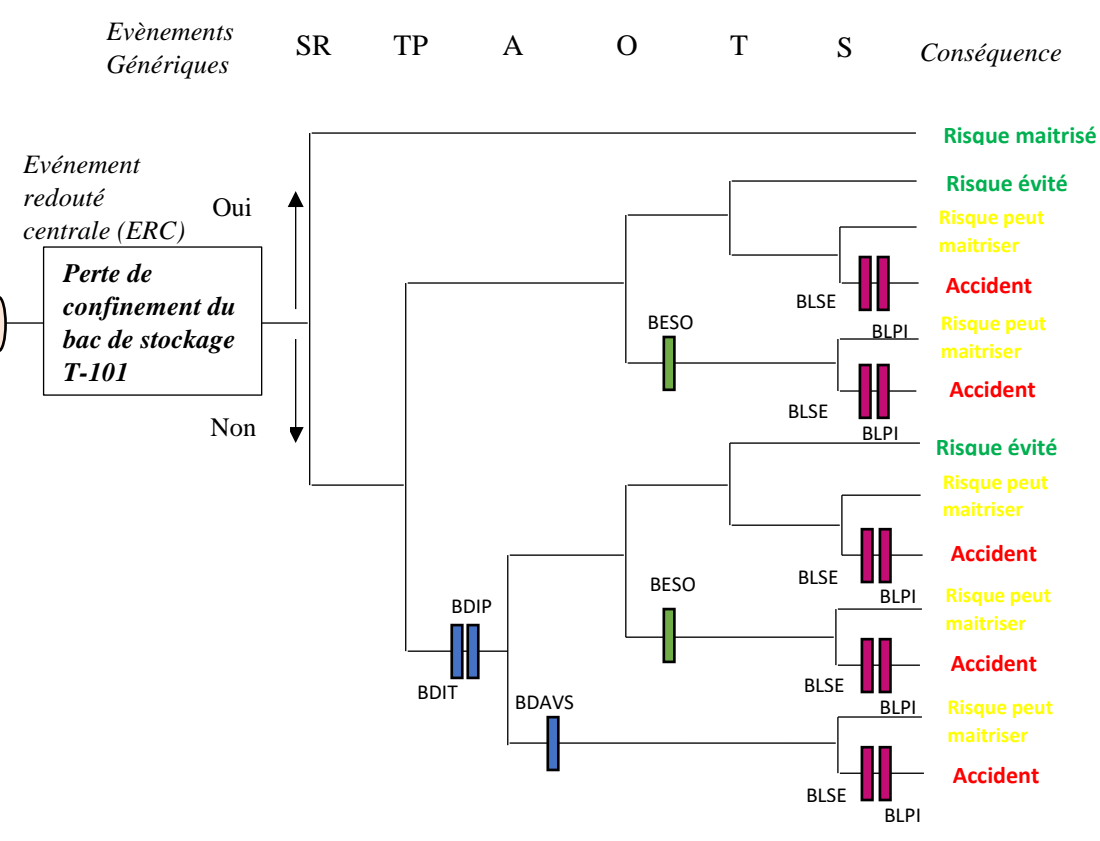
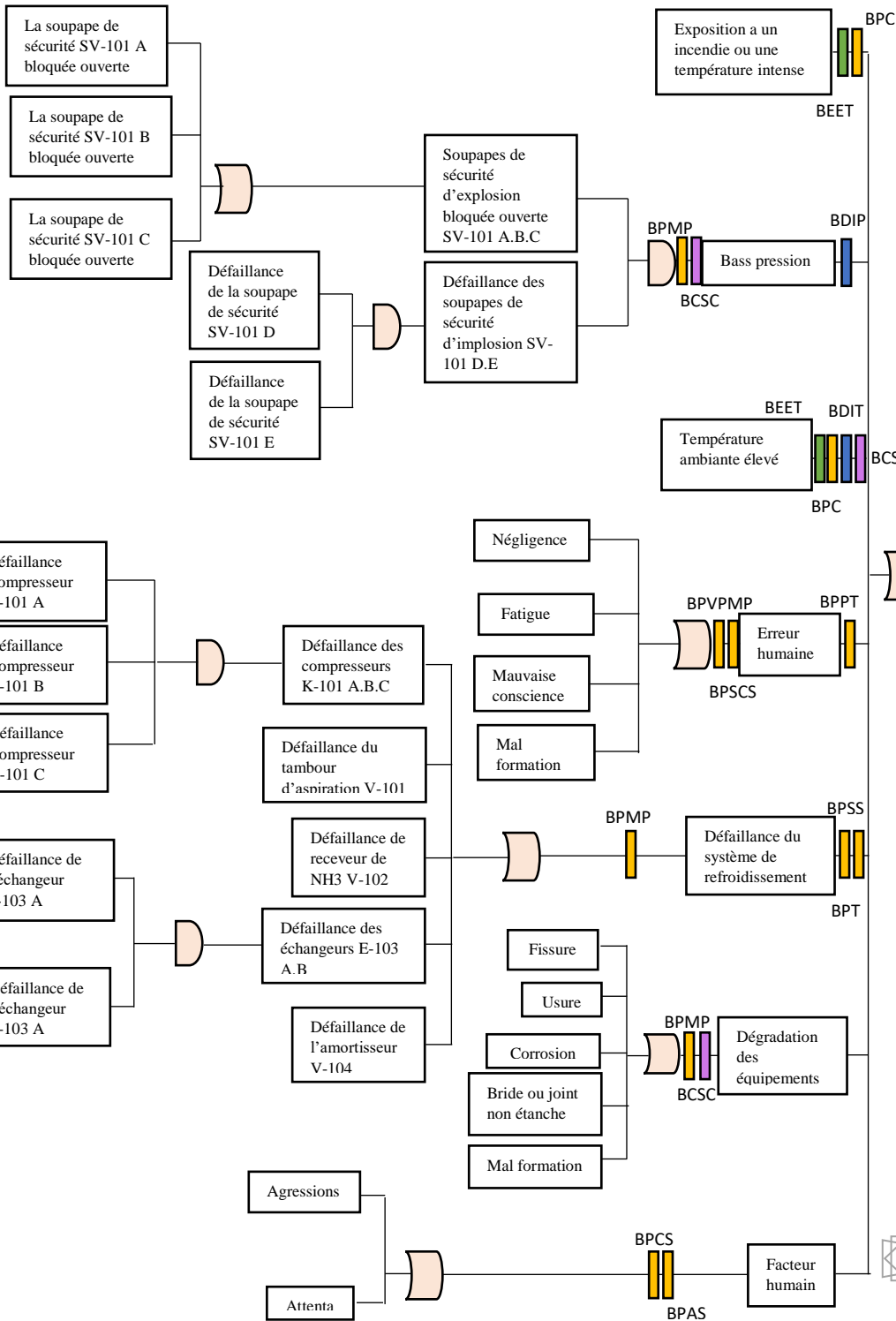
**Tableau II.II.10** : Description des conséquences de l'Ade du bac de stockage.

D'après l'arbre d'évènement on a 5 séquences d'accident dans chaque évènement redouté secondaire.



## ***4. Analyse par nœud de papillon***

***(Bac de stockage)***



#### 4.1 Description des barrières de sécurité du nœud du papillon : [21]






Barrière	Description
BP 	Barrière de prévention
BC 	Barrière de contrôle
BD 	Barrière de détection
BL 	Barrière de limitation
BE 	Barrière de éviter

Tableau II.II.11 : Description des barrières de sécurité du nœud du papillon.

#### 4.2 Liste des barrières de prévention et de protection du nœud du papillon (bac de stockage) :

- BPPT : Barrière préventif (permis de travail).
- BPSCS : Barrière préventif (sensibilisation, communication et signalisation).
- BPMP : Barrière préventif (maintenance préventif).
- BPCS : Barrière préventif (caméras de surveillance).
- BPC : Barrière préventif (calorifuge).
- BCSC : Barrière de contrôle (surveillance et contrôle).
- BEET : Barrière de éviter (éviter l'exposition direct à la température élevé et l'humidité).
- BESO : Barrière de éviter (éviter de mettre un seul opérateur en salle de contrôle lors du chargement).
- BDIT : Barrière de détection (indicateur de température).
- BDIP : Barrière de détection (indicateur de pression).
- BLSE : Barrière de limitation (système d'extinction incendie fixe).
- BLPI : Barrière de limitation (plans d'intervention).
- BPAS : Barrière préventif (agents de sécurité).
- BPSS : Barrière préventif (soupape de sécurité).
- BPT : Barrière préventif (torchère).
- BPVPMP : Barrière préventif (visite périodique médecin psychologue).

#### VII. Analyse des risques du pipeline de transbordement d'ammoniac :

***1. Tableaux de l'Analyse HAZOP avec  
l'Evaluation des risques et les niveaux de  
Maitrise (Pipeline) [28], [17]***



N°	Mot guide	paramètre	Déviation	Causes	Conséquences	Avant Réductions Des risques			Mesure de prévention et protection	Après Réductions Des risques					Recommandation	Après Recommandation				
						P	G	C		P	G	Cb	M	Cn		P	G	Cb	M	Cn
1	Plus	Débit	Débit élevé.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Inconscience ou absence du personnel responsable.</li> <li>▪ Défaut dans les pompes.</li> <li>▪ Faute dans le réglage de débit.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Rupture du pipeline.</li> <li>▪ Explosion.</li> <li>▪ Vibrations.</li> <li>▪ Détérioration des joints.</li> <li>▪ Dispersion du gaz toxique</li> </ul>	3	5	15	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Purgeur automatique vers retour gaz.</li> <li>▪ Signaux d'alerte et d'alarme dans la salle de contrôle.</li> <li>▪ Vanne de retour gaz en cas de défaillance des purgeurs automatique.</li> <li>▪ Vannes d'isollements.</li> <li>▪ Vanne d'arrêt d'urgence.</li> </ul>	2	5	10	3	30	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Sensibilisation du personnel.</li> <li>▪ Facilité et amélioré la communication entre les travailleurs.</li> <li>▪ Entretien préventif et inspection.</li> <li>▪ Contrôle périodique.</li> <li>▪ Respecter les périodicités des tests règlementaires.</li> <li>▪ Placer des détecteurs de fuite tout au long de la pipe.</li> <li>▪ Faire des Simulations.</li> </ul>	1	5	5	3	15
					<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Fuit petite / moyenne d'ammoniac.</li> <li>▪ Vibrations.</li> <li>▪ Détérioration des joints.</li> <li>▪ Dispersion du gaz toxique</li> </ul>	3	4	12		2	4	8	3	24		1	4	4	3	12

2	Plus	Pression	Surpression	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Défaillances de système retour gaz (purgeurs, vanne ZLV201).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Rupture. Explosion.</li> <li>▪ Dispersion du gaz toxique</li> </ul>	3	5	15	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Entretien du système retour gaz.</li> <li>▪ Vanne d'arrêt d'urgence.</li> <li>▪ Signaux d'alerte et alarme dans une salle de contrôle.</li> </ul>	2	5	10	3	30	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Entretien préventif et inspection.</li> <li>▪ Contrôle périodique.</li> <li>▪ Respecter les périodicités des tests réglementaires.</li> </ul>	1	5	5	3	15
					<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Fissure.</li> <li>▪ Grande fuite d'ammoniac.</li> <li>▪ Dispersion du gaz toxique</li> </ul>	4	5	20	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Vanne de retour gaz en cas de défaillance des purgeurs automatique.</li> <li>▪ Vannes d'isolements.</li> </ul>	3	5	15	3	45	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Placer des détecteurs de fuite tout au long de la pipe.</li> <li>▪ Faire des Simulations.</li> </ul>	2	5	10	3	30
3	Plus	Température	Température élevé	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Température ambiante et rayonnement solaire élevé.</li> <li>▪ Exposition à un incendie ou une source de chaleur intense.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Fatigue et détérioration des joints et bride.</li> <li>▪ Fuite petite / moyenne d'ammoniac.</li> </ul>	3	4	12	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Système retour gaz (purgeur, vanne).</li> <li>▪ Vanne d'arrêt d'urgence.</li> <li>▪ Signaux d'alerte et alarme dans une salle de contrôle.</li> <li>▪ Vannes d'isolements.</li> </ul>	2	4	8	2	16	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Entretien et contrôle périodique.</li> <li>▪ Refroidissement du pipe au moins 48h après le chargement.</li> <li>▪ Entretien du calorifuge.</li> </ul>	1	4	4	2	8

4	Autre	Composition	Défaillance du bras de chargement .	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Une fissure ou joint non étanche.</li> <li>▪ Une mauvaise soudure.</li> <li>▪ Déconnexion du bras du chargement.</li> <li>▪ Vieillesse.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Fuite petite / moyenne d'ammoniac.</li> <li>▪ Dispersion du gaz toxique</li> </ul>	4	4	16	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Maintenance préventive et corrective.</li> <li>▪ Vanne d'arrêt d'urgence.</li> <li>▪ Vannes d'isollements.</li> <li>▪ Une équipe d'intervention est toujours prêt à intervenir.</li> </ul>	3	4	12	3	36	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Entretien préventif, inspection et diagnostique.</li> <li>▪ Contrôle périodique.</li> <li>▪ Respecter les périodicités des tests règlementaires.</li> <li>▪ Organisation de plan de la maintenance préventive.</li> <li>▪ Placer des détecteurs de gaz avec une vanne d'arrêt auto.</li> </ul>	2	4	8	3	24
---	-------	-------------	-------------------------------------	---	---	---	---	----	---	---	---	----	---	----	---	---	---	---	---	----

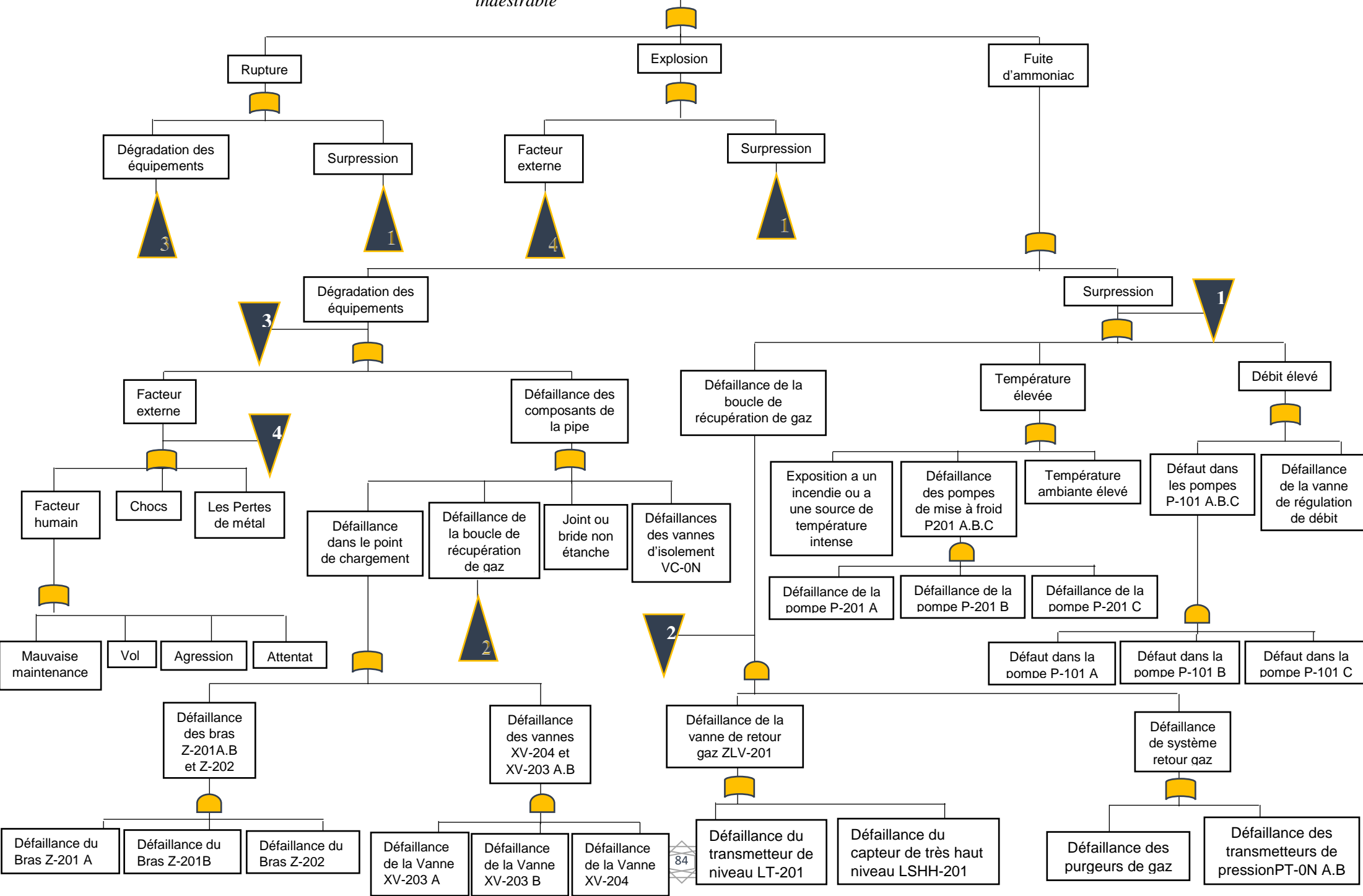
Tableau II.II.12 : Analyse HAZOP du pipeline.



## ***2. Analyse par Arbre de défaillance (Pipeline)***

Evènement indésirable

Perte de confinement du pipeline de transport de l'ammoniac



## 2.1 Coupe minimales de l'ADD du Pipeline :

EI= Perte de confinement de Pipeline

D'après l'algèbre de Boole :

$$EI= R + E + F$$

- $R= DE + SP \dots (1)$
- $E= FE + SP \dots (2)$
- $F= DE + SP \dots (3)$

(1) + (2) + (3) :

$$EI= DE + SP + FE + SP + DE + SP$$

➤  $EI= DE + FE + SP$

$$DE= FE + DCP \dots (4)$$

Alors : on remplace (4) dans EI :

$$EI= FE + DCP + FE + SP$$

$$EI= DCP + SP + FE$$

$$DCP= DPCH + DBRG + JBNE + DVI \dots (5)$$

$$SP= DBRG + TE + DEE \dots (6)$$

On remplace (5) et (6) dans EI :

$$EI= DPCH + DBGR + JBNE + DVI + DBRG + TE + DEE$$

Donc :

➤  $EI= DPCH + DBRG + JBNE + DVI + TE + DEE$

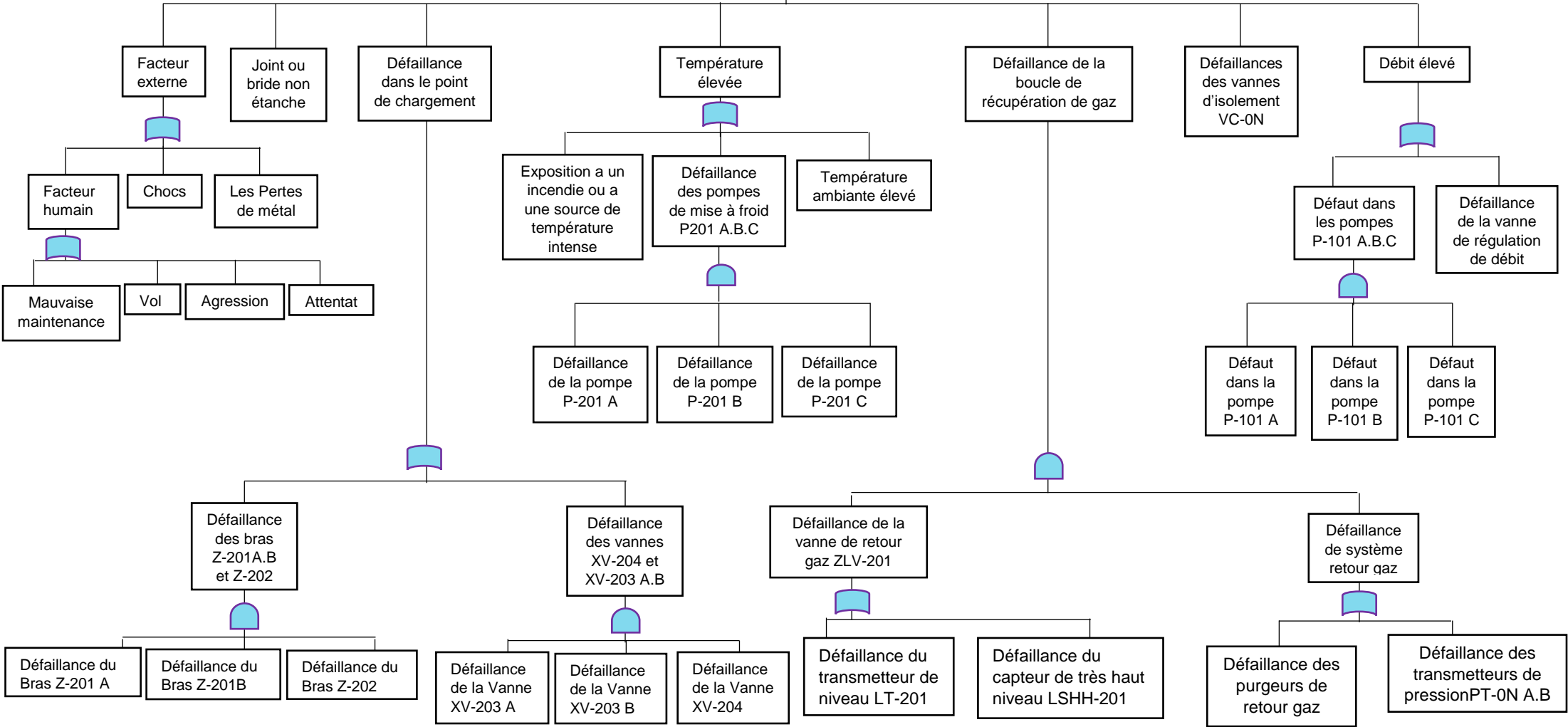
- E : Explosion
- R : Rupture
- F : Fuite d'ammoniac
- DE : Dégradation des équipements
- SP : Surpression
- FE : Facteur externe
- DCP : Défaillance des composants de la pipe
- DPCH : Défaillance dans le point de chargement
- DBRG : Défaillance de la boucle de récupération de gaz
- JBNE : Joint ou bride non étanche
- DVI : Défaillance des vannes d'isolement
- TE : Température élevée
- DEE : Débit élevé

## 2.2 L'arbre de défaillance réduite du Pipeline :

D'après l'arbre réduit du pipeline on a 19 coupes minimales.

*Evènement indésirable*

Perte de confinement du pipeline de transport de l'ammoniac



### ***3. Analyse par Arbre d'évènement***

***(Pipeline)*** [23], [24], [27]

*Événement  
générique*

Système de  
retour gaz

Détecteur  
de fuite

Alarme d'arrêt  
des pompes

Opérateur en  
salle de contrôle

Vannes  
d'isolements

Bouton d'arrêt  
d'urgence des  
pompes

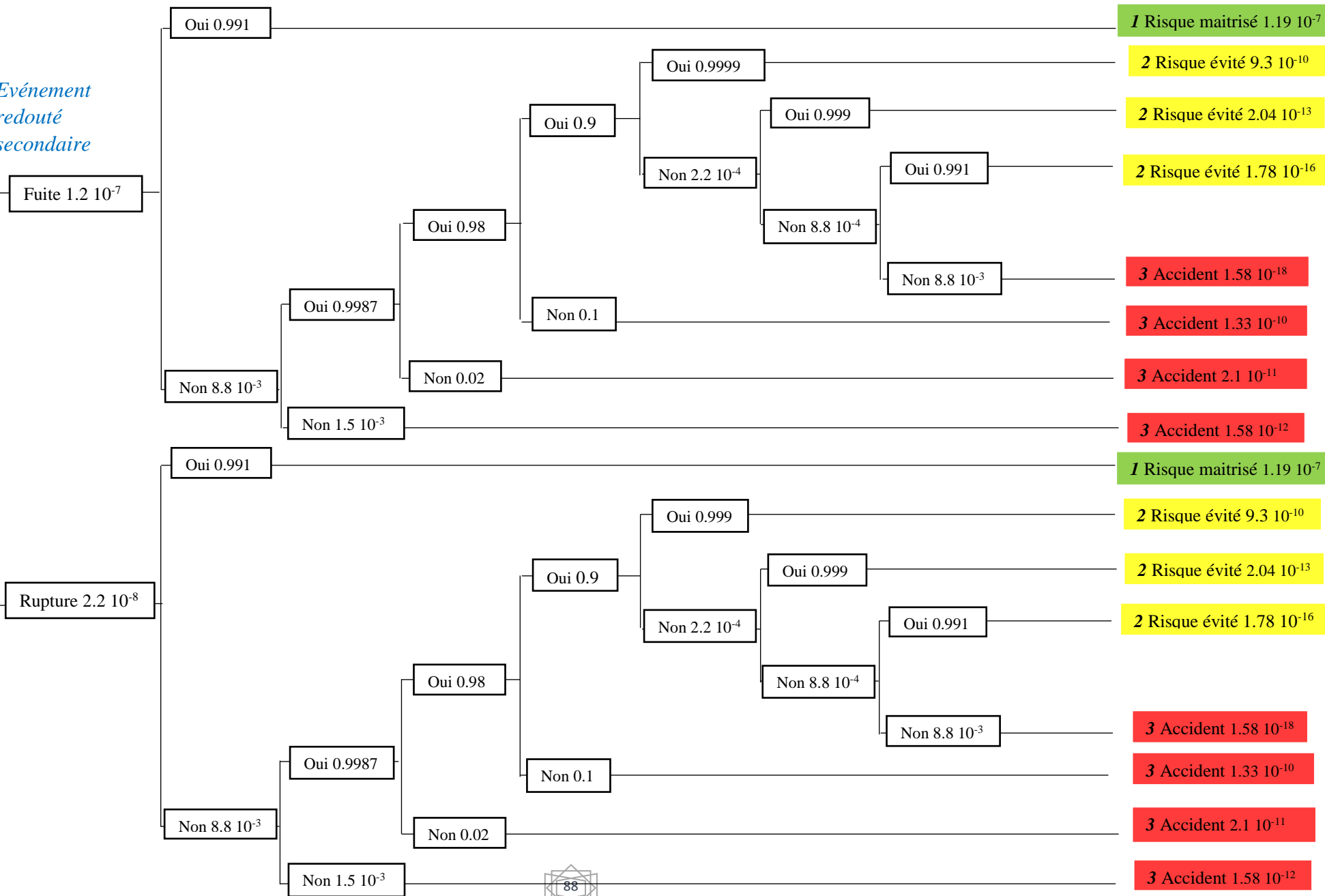
Vanne d'arrêt  
manuelle

*Conséquence*

*Événement  
redouté  
secondaire*

*Événement  
initiateur*

*Perte de  
confinement  
du pipeline*



### 3.1 Description des conséquences de l'Ade du pipeline :

<i>N° de conséquence</i>	<i>Description</i>
<b>1</b>	Risque maîtrisé, fonctionnement normale des barrières de sécurité.
<b>2</b>	Risque évité dispersion d'une petite quantité du gaz toxique, pollution mineur de l'environnement.
<b>3</b>	Accident, dispersion d'une grande quantité du gaz toxique, pollution majeur de l'environnement, peut provoquer des effets très graves pour la santé de la population voir de mortalité.

**Tableau II.II.13** : Description des conséquences de l'Ade du pipeline.

D'après l'arbre des évènements on a 4 séquences d'accident dans chaque évènement redouté secondaire.

## ***4. Analyse par nœud de papillon*** ***(Pipeline)***



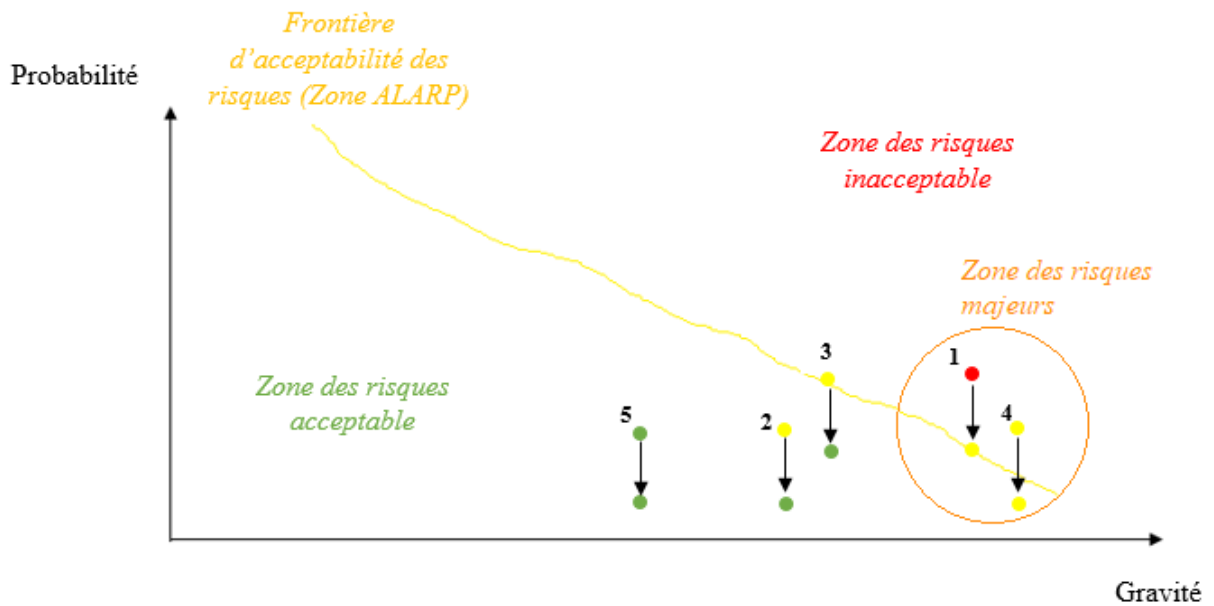


#### **4.1 Liste des barrières de prévention et de protection du nœud du papillon (pipeline) :**

- BPPT : Barrière préventif (permis de travail).
- BPSCS : Barrière préventif (sensibilisation, communication et signalisation).
- BPMP : Barrière préventif (maintenance préventif).
- BPCS : Barrière préventif (caméras de surveillance).
- BPC : Barrière préventif (calorifuge).
- BPSR : Barrière préventif (système de refroidissement).
- BCSC : Barrière de contrôle (surveillance et contrôle).
- BEET : Barrière de éviter (éviter l'exposition direct à la température élevé et l'humidité).
- BESO : Barrière de éviter (éviter de mettre un seul opérateur en salle de contrôle lors du chargement).
- BDIT : Barrière de détection (indicateur de température).
- BDIP : Barrière de détection (indicateur de pression).
- BDAVS : Barrière de détection (alarme visuelle et sonore).
- BLSE : Barrière de limitation (système d'extinction incendie fixe).
- BLPI : Barrière de limitation (plans d'intervention).

## VIII. Résultat et Conclusion :

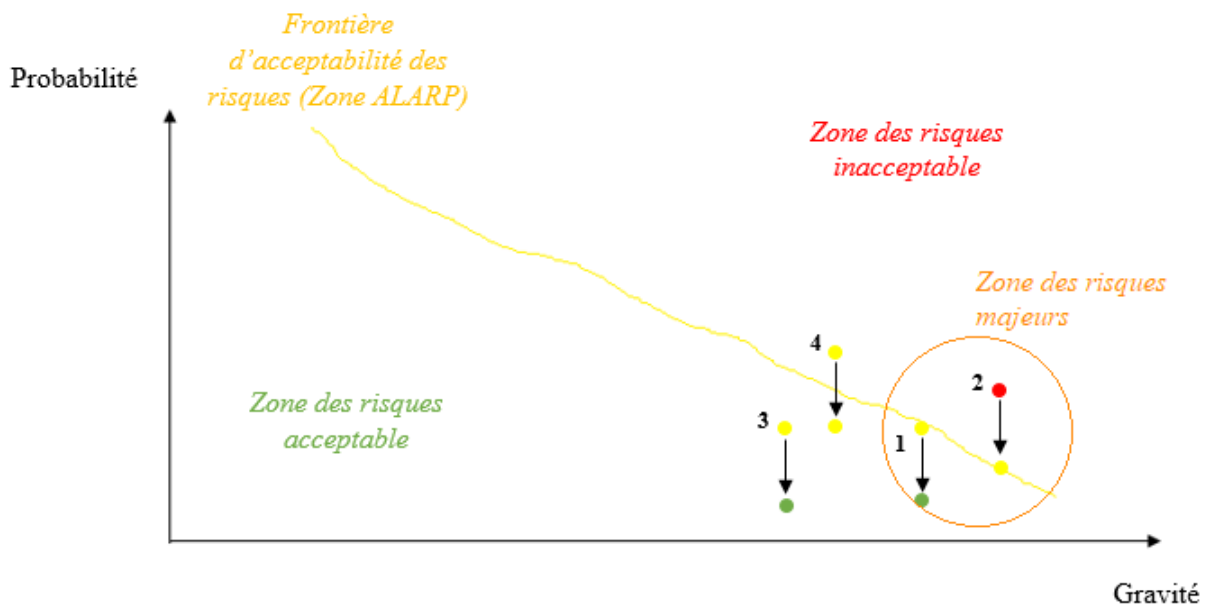
### 1. Représentation des risques dans le graphe des risques :



**Figure II.II.16 :** Représentation des risques du bac de stockage dans le graphe des risques.

N°	Description
1	Risque de dispersion toxique en raison de la pression.
2	Risque de dispersion toxique en raison d'une température élevée.
3	Risque de dispersion toxique en raison d'une erreur humaine.
4	Risque de dispersion toxique en raison du niveau du bac trop remplie.
5	Risque de dispersion toxique en raison d'alimentation électrique nul.

**Tableau II.II.14 :** Description des risques du bac de stockage représenté dans le graphe des risques.



**Figure II.II.17 :** Représentation des risques du pipeline dans le graphe des risques.

N°	Description
1	Risque de dispersion toxique en raison du débit élevé.
2	Risque de dispersion toxique en raison d'une surpression.
3	Risque de dispersion toxique en raison d'une température élevé.
4	Risque de dispersion toxique en cas de défaillance du bras de chargement.

**Tableau II.II.15 :** Description des risques du pipeline représenté dans le graphe des risques.

D'après les graphes des risques précédents; pour les deux cas de risque dans le bac et dans le pipeline, on constate que les points qui représentent les risques sont situés à proximité l'un de l'autre dans la zone des risques majeur qui par définition est un risque de grande gravité et de faible fréquence.

Dans le cas du bac de stockage, le risque le plus critique qui a été enregistré est la dispersion toxique due à la pression, qui a été représentée par le point rouge dans le graphe des risques, après la mise en œuvre des mesures de prévention et de protections, il a diminué dans la zone de risque tolérable ou ALARP.

Dans le cas du pipeline, le risque le plus critique qui a été enregistré de même que le bac de stockage, est la dispersion toxique due à une surpression, qui a été représentée par le point rouge dans le graphe des risques, après la mise en œuvre des mesures de prévention et de protections, il a diminué dans la zone de risque tolérable ou ALARP.

On constate alors que la pression est le paramètre le plus sensible pour provoquer des accidents dans les deux installations, donc ce paramètre dangereux doit être bien suivie et surveiller. Sans oublié les

autre paramétré aussi et que leur risques d'accident a été classé parmi les risques majeur. De plus, l'augmentation de ces paramètres est directement proportionnelle à l'augmentation du paramètre de pression.

## 2. Maitrise des risques par l'entreprise :

	M 1	M 2	M 3	M 4
Cb 1				
Cb 2				
Cb 3				
Cb 4				
Cb 5				
Cb 6	3.1		5	
Cb 8			2	
Cb 9				
Cb 10	1.1/ 3.2	4	1.3	
Cb 12	3.3			
Cb 15	1.2			
Cb 16				
Cb 20				
Cb 25				

Tableau II.II.16 : Maitrise des risques du bac de stockage par l'entreprise FERTIAL.

N°	Description du risque
1.1	Risque d'une rupture ou explosion due à une surpression.
1.2	Risque d'une fuite due à une surpression.
1.3	Risque d'une implosion due à une basse pression.
2	Risque d'une fuite due à une température élevé.
3.1	Risque d'un incendie dû à une erreur humaine.
3.2	Risque d'une explosion due à une erreur humaine.
3.3	Risque d'une fuite due à une erreur humaine.
4	Risque d'une rupture ou explosion due à un niveau haut.
5	Risque de défaillance de système de refroidissement due à une perte d'électricité.

Tableau II.II.17 : Description des risques du bac de stockage dans la grille de maitrise.

	M 1	M 2	M 3	M 4
Cb 1				
Cb 2				
Cb 3				
Cb 4				
Cb 5				
Cb 6				
Cb 8		3	1.2	
Cb 9				
Cb 10			2.1/ 1.1	
Cb 12			4	
Cb 15			2.2	
Cb 16				
Cb 20				
Cb 25				

**Tableau II.II.18 :** Maitrise des risques du pipeline par l'entreprise FERTIAL.

N°	Description du risque
1.1	<i>Risque d'une rupture ou explosion due à un débit élevé.</i>
1.2	<i>Risque d'une fuite due à un débit élevé.</i>
2.1	<i>Risque d'une rupture ou explosion due à une surpression.</i>
2.2	<i>Risque d'une fuite due à une surpression.</i>
3	<i>Risque d'une fuite due à une température élevée.</i>
4	<i>Risque d'une fuite due à une défaillance du bras de chargement.</i>

**Tableau II.II.19 :** Description des risques du pipeline dans la grille de maitrise.

Afin de voir le niveau de maîtrise des risques dans le bac de stockage et le pipeline par l'entreprise FERTIAL-Annaba, nous avons classé les risques dans les grilles de maitrise précédentes.

On note tout d'abord que le niveau de maitrise du bac de stockage par l'entreprise est légèrement supérieur à la moyenne, dont la majorité des risques sont réduits à un niveau tolérable ou ALARP. Le risque le moins maîtrisé est le risque de la basse pression, bien que sa probabilité d'occurrence soit faible, mais il ne faut jamais négliger les risques. Par mesure de sécurité, nous avons recommandé de connecter les soupapes de sécurité d'implosion à une source d'azote pour éviter la création d'un mélange explosif de NH<sub>3</sub> avec l'air ; de plus, parmi les recommandations l'emplacement des détecteurs de gaz avec des alarmes au niveau du bac de stockage pour détecter et intervenir rapidement à la dispersion du gaz toxique.

Nous recommandons aussi pour le bac de stockage une solution possible serait de construire un autre bac de secours ou de réserve en cas de problème dans le premier bac, l'ammoniac sera transféré dans le bac de secours, de cette façon le premier bac aura suffisamment de temps pour l'entretien et la maintenance et l'ammoniac sera conservé et le risque serait considérablement réduit.

Une autre solution possible pour le bac de stockage, proposer dans l'étude de danger par la société DNV ; Serait la construction d'une double enveloppe étanche résistant aux effets de pression et de température afin de limiter la dispersion du gaz toxique et l'évaporation de la nappe formée.

En outre, le niveau de maîtrise du pipeline par l'entreprise est faible, la majorité des risques se situant dans la zone de risque inacceptable, ce faible niveau de maîtrise est dû au manque des moyens de prévention des différents risques dans l'installation. Le risque le moins maîtrisé est le risque de surpression. Par mesure de sécurité, nous recommandons d'installer un système d'extinction ou un réseau d'arrosage tout au long du pipeline qui contribue d'une façon automatique ou manuel au refroidissement de la pipe et à la liquéfaction de l'ammoniac toxique en eau ammoniacale en cas de fuite. Le deuxième risque le moins maîtrisé est le risque de défaillance du bras de chargement, pour ce risque nous recommandons de placer des détecteurs de gaz coupler avec des moyens d'intervention automatique en cas de dispersion du gaz toxique (vannes de sectionnements, arrêt des pompes), dans les bras de chargement et tout au long du pipeline. De plus, parmi les recommandations, le contrôle réglementaire, maintenance et inspection, la sensibilisation et l'information du public, dispositif de coupure, plans d'urgence.

En conclusion, dans tous les sites industriels, la sécurité est très importante et doit être placé avant tout, et notamment pour les installations classé à risque d'accident majeur. L'analyse des risques est un outil qui nous aide à l'identification des risques et à connaître comment les maîtriser ; Bien que, la maîtrise des risques ne se réalise pas que avec l'analyse et l'évaluation des risques, mais aussi avec le suivi et l'entretien, la sensibilisation du personnel sur les risques et la mise en place des barrières de prévention et de protection, tout cela contribue à une bonne gestion des risques.

## ***Conclusion générale :***

Premièrement, nous avons commencé ce travail par définir les notions générales lié aux risques industriels en prélude à notre travail.

Ensuite, Après avoir cadré les concepts de risque industriel, nous avons abordé l'essentiel en ce qui concerne la gestion des risques, où nous avons vu les étapes à suivre pour atteindre la maîtrise des risque, et que l'analyse des risques prend une place centrale dans le processus de la gestion des risques.

Après, dans le 3ème chapitre nous avons présenté l'analyse des risques qui est le sujet principal de notre étude, où nous avons vu les différentes méthodes d'analyse des risques (classique, intégrée), et comment faire le bon choix de la méthode d'analyse a utilisée pour atteindre une bonne maitrise des risques.

En outre dans la partie pratique, nous avons fait une étude de cas du bac de stockage T-101 et le pipeline de transport de l'ammoniac dans le site industriel FERTIAL-ANNABA, où nous avons fait des simulations des évènements d'accident à l'aide du logiciel ALOHA. Ensuite l'analyse des risques par les méthodes d'analyse des risques HAZOP et la méthode du nœud de papillon (Arbre de défaillances et Arbre d'évènement), qui nous ont permis de connaitre les causes et les conséquences des évènements redouté, et leur probabilité d'occurrence, dont la pression est le paramètre le plus susceptible de conduire à un accident industriel, L'analyse des risques nous a permis aussi de réduire les risques à un niveau jugé tolérable ou acceptable comme suit :

Dans le bac de stockage d'ammoniac T-101 :

- Le risque d'une rupture ou une explosion à cause d'une surpression, avant recommandations a été jugé tolérable et d'une criticité égale à 10, après les recommandations le risque a réduit à un niveau tolérable de criticité 5.
- Le risque d'une fuite à cause d'une surpression, avant recommandations a été jugé inacceptable et d'une criticité égale à 15, après les recommandations le risque a réduit à un niveau tolérable de criticité 10.
- Le risque d'une implosion à cause d'une basse pression, avant recommandations a été jugé tolérable et d'une criticité égale à 10, après les recommandations le risque a réduit à un niveau tolérable de criticité 5.
- Le risque d'une fuite à cause d'une température élevé, avant recommandations a été jugé tolérable et d'une criticité égale à 8, après les recommandations le risque a réduit à un niveau acceptable de criticité 4.
- Le risque d'un incendie à cause d'une erreur humaine, avant recommandations a été jugé acceptable et d'une criticité égale à 6, après les recommandations le risque a réduit à un niveau acceptable de criticité 3.
- Le risque d'une explosion à cause d'une erreur humaine, avant recommandations a été jugé tolérable et d'une criticité égale à 10, après les recommandations le risque a réduit à un niveau tolérable de criticité 5.
- Le risque d'une fuite à cause d'une erreur humaine, avant recommandations a été jugé tolérable et d'une criticité égale à 12, après les recommandations le risque a réduit à un niveau tolérable de criticité 8.
- Le risque d'une rupture ou une explosion à cause du niveau haut d'ammoniac dans le bac, avant recommandations a été jugé tolérable et d'une criticité égale à 10, après les recommandations le risque a réduit à un niveau tolérable de criticité 5.



- Le risque d'une défaillance du système de refroidissement à cause d'une alimentation électrique nul, avant recommandations a été jugé acceptable et d'une criticité égale à 6, après les recommandations le risque a réduit à un niveau acceptable de criticité 3.

Dans le pipeline de transbordement d'ammoniac :

- Le risque d'une rupture ou une explosion à cause du débit élevé, avant recommandations a été jugé tolérable et d'une criticité égale à 10, après les recommandations le risque a réduit à un niveau tolérable de criticité 5.
- Le risque d'une fuite à cause du débit élevé, avant recommandations a été jugé tolérable et d'une criticité égale à 8, après les recommandations le risque a réduit à un niveau acceptable de criticité 4.
- Le risque d'une rupture ou une explosion à cause d'une surpression, avant recommandations a été jugé tolérable et d'une criticité égale à 10, après les recommandations le risque a réduit à un niveau tolérable de criticité 5.
- Le risque d'une fuite à cause d'une surpression, avant recommandations a été jugé inacceptable et d'une criticité égale à 15, après les recommandations le risque a réduit à un niveau tolérable de criticité 10.
- Le risque d'une fuite à cause d'une température élevé, avant recommandations a été jugé tolérable et d'une criticité égale à 8, après les recommandations le risque a réduit à un niveau acceptable de criticité 4.
- Le risque d'une fuite à cause d'une défaillance du bras de chargement, avant recommandations a été jugé tolérable et d'une criticité égale à 12, après les recommandations le risque a réduit à un niveau tolérable de criticité 8.

En fin, nous avons fini notre étude par proposer des solutions et des recommandations pour améliorer la prévention et augmenter le niveau de sécurité industrielle dans l'entreprise.

En conclusion, les risques industriels sont nombreux et différés d'un site à un autre, certains d'entre eux son imprévisible ou difficile à prédire. Les méthodes d'analyse nous aide a identifié et à suivre les risques existant et les maitriser, mais cela ne peut se produire que avec le suivi et l'application des recommandations et des mesures de prévention et de protection pour assurer la maitrise des risques, un autre point aussi très important qui consiste à la mise à jour de l'analyse des risques et des barrières de sécurité. Il faut donner l'importance à la sécurité avons tout dans notre vie industrielle et la sensibilisation de tout le personnel pour arriver à une bonne gestion dynamique des risques.

## **Bibliographie :**

1. Norme OHSAS 18001/2007 ; Management de santé et sécurité au travail, PDF.
2. Norme ISO 31001/2018 ; Management du risque, PDF.
3. Norme ISO 45001/2018 ; Management de santé et sécurité au travail, PDF.
4. Norme ISO 12100/2010 ; Sécurité des machines, PDF.
5. Université numérique ingénierie et technologie ; cours, cyber risques, classification des risques. Site internet, [www.unit.eu](http://www.unit.eu).
6. Loi n° 04-20 du 13 Dhou El Kaada 1425 correspondant au 25 décembre 2004 relative à la prévention des risques majeurs et à la gestion des catastrophes dans le cadre du développement durable.
7. l'INRS 2016 santé et sécurité au travail, prévention et risque industriel INRS, publication.
8. Georisques, installations classés pour la protection de l'environnement ICPE, site internet, [www.georisques.gouv.fr](http://www.georisques.gouv.fr).
9. Généralités risque industriel, 2014. [www.dimenc.gouv.nc](http://www.dimenc.gouv.nc), PDF.
10. Mémoire 2011. magister, urbanisation autour des sites industriels à haut risques- cas de Skikda, Melle Fatima CHAGUETMI.
11. INERIS-DRA, 2006, Rapport Omega 7, méthode d'analyse des risques générés par une installation industrielle.
12. INERIS-DRA 38, 16 mars 2004, Rapport final, Analyse de l'état de l'Art sur les grilles de criticité.
13. Norme IEC 61508-5, 2010, sécurité fonctionnelle des systèmes électriques et électroniques, électroniques programmables relatifs à la sécurité, PDF.
14. Thèse de doctorat, 2008, Pour une Meilleure Approche du Management des Risques, Mohamed-Habib MAZOUNI.
15. Article de Wikipédia, 7 août 2020, Ammoniac.
16. Les effets potentiels de l'ammoniac sur la santé, 13-8-2020, site internet Réponse SST.
17. Procédure FERTIAL-Annaba, 2015, Procédure HAZOP, PDF.
18. Institut supérieur OPTIME, 2007, EDD étude de danger des installations de fertial, PDF.
19. DNV, 2013, EDD étude de danger fertial-Annaba, PDF.
20. Mémoire 2013, License, Évaluation des risques professionnels dans un site industriel pour la fabrication de remorques, semi-remorques et équipements sur porteurs, Université Virtuelle de Tunis, Mohamed GHARIANI.
21. INRIS, 2001, Rapport final, ARAMIS Développement d'une méthode intégrée d'analyse des risques pour la prévention des accidents majeurs.
22. Mémoire, 2013, magister, MODELISATION ET SIMULATION NUMERIQUE POUR LA DISPERSION ATMOSPHERIQUE DE POLLUANT, TOUAHAR Bachir.
23. The norwegian petroleum industry, 2004, Application de IEC 61508 et IEC 61511 dans l'industrie du pétrole norvégien, PDF.
24. Gouvernemend Flamand (Belgique), 2009, Handbook of failiure frequencies, PDF.
25. Mémoire, 2014, Master, Implémentation de la sécurité dans le plan de maintenance au niveau de l'unité d'ammoniac, UBMA, BELACHI MERIEM.
26. Direction QHSEE, FERTIAL-ANNABA, 2019, Formation de sécurité pour le personnel ST, PPT.
27. ARTICLE, Techniques de l'ingénieur, 2012, Méthode LOPA principe et exemple d'application, olivier IDDIR.
28. Norme BS IEC 61882, 2001, Guide d'application de l'étude HAZOP, PDF.