

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**  
**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**  
**Ecole Nationale Polytechnique**



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
Ecole Nationale Polytechnique

Mémoire de projet de fin d'études pour l'obtention du  
diplôme d'ingénieur d'état en Qualité Hygiène Sécurité  
Environnement et Gestion des risques Industriels

**Département MRIE**



**Évaluation de la performance de système  
instrumenté de sécurité (application sur un ballon  
de gaz combustible de l'UTBS-HMD)**

Réalisé par : BOUZIANE Haithem  
HASROURI Fethi

Sous la direction de : M. B. AOUFI                      Responsable HSE SH-DP  
M. A. KERTOUS                                              Maitre-assistant  
M. F. LEGUEBEDJ                                          Maitre-assistant

Présenté et soutenu publiquement le 21/06/2018

**Composition du Jury :**

Président :	M. A. CHERGUI	Professeur	ENP
Rapporteurs :	M. A. KERTOUS	Maitre-assistant	ENP
	M. F. LEGUEBEDJ	Maitre-assistant	ENP
Examineurs :	M. M. BOUBAKEUR	Maitre-assistant	ENP



**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**  
**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**  
**Ecole Nationale Polytechnique**



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
Ecole Nationale Polytechnique

Mémoire de projet de fin d'études pour l'obtention du  
diplôme d'ingénieur d'état en Qualité Hygiène Sécurité  
Environnement et Gestion des risques Industriels

**Département MRIE**



**Évaluation de la performance de système  
instrumenté de sécurité (application sur un ballon  
de gaz combustible de l'UTBS-HMD)**

Réalisé par : BOUZIANE Haithem  
HASROURI Fethi

Sous la direction de : M. B. AOUIFI                      Responsable HSE SH-DP  
M. A. KERTOUS                                              Maitre-assistant  
M. F. LEGUEBEDJ                                          Maitre-assistant

Présenté et soutenu publiquement le 21/06/2018

**Composition du Jury :**

Président :	M. A. CHERGUI	Professeur	ENP
Rapporteurs :	M. A. KERTOUS	Maitre-assistant	ENP
	M. F. LEGUEBEDJ	Maitre-assistant	ENP
Examineurs :	M. M. BOUBAKEUR	Maitre-assistant	ENP

## Dédicaces

*Je dédie ce travail :*

*A ma mère et ma grand-mère*

*A Yassine et toute ma famille*

*A Abdeljalil et tous mes amis*

Fethi

*Je dédie ce travail :*

*A mon père et ma mère*

*A mon frère et mes sœurs*

*A Mohamed KACHOUR et tous mes amis*

*Haithem*

## **Remerciements**

Le travail présent dans ce mémoire a été effectué au sein de l'entreprise Sonatrach division de production sous la responsabilité de M. AOUI Belkacem, responsable HSE. Nous tenons à lui adresser nos sincères remerciements ainsi qu'à l'ensemble du personnel des deux départements HSE et exploitation, qui par leurs disponibilités, nous avons pu réaliser ce travail.

Nous tenons ensuite à adresser toute notre gratitude à notre cher enseignant Mr KERTOUS Aboubakar qui nous a toujours convenablement orientés, son regard critique nous a permis de structurer ce travail et de l'améliorer en permanence.

Nos remerciements vont également à Monsieur Farid LEGUEBEDJ, Enseignant à l'école polytechnique, d'avoir accepté la lourde tâche de promoteur. Ses compétences, sa grande rigueur scientifique, la qualité et la précision de ses remarques nous ont permis d'améliorer ce modeste manuscrit.

Nous aimerions aussi remercier les membres du jury, Monsieur CHERGUI Abdelmalek, Professeur à l'ENP, qui nous a faits l'honneur de présider ce jury et Monsieur BOUBAKEUR Mohamed, enseignant à l'ENP, qui a bien voulu accepter d'examiner et de juger ce travail.

Nous adressons nos remerciements au corps professoral de la Filière QHSE-GRI qui nous ont guidés durant ces 3 dernières années.

Enfin nos remerciements, vont pour nos amis et tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

## ملخص

الغرض من هذا العمل هو تحليل وتقييم عوائق السلامة ولتلبية المتطلبات المعيارية (المعايير IEC 61508، IEC 61511) من خلال استخدام الأساليب النوعية والكمية لتقييم أداء الأنظمة المجهزة بالسلامة SIS، من خلال تحديد مستوى السلامة SIL والاحتمالات الفعلية للفشل المتعلقة ببيئة التشغيل لمرفق تخزين غاز الوقود في UTBS-HMD، واقتراح إجراءات التحسين لتحقيق الامتثال المعياري.

**الكلمات المفتاحية:** شجرة الاخطاء, تحليل المخاطر, تقييم المخاطر, BORA, SIS, SIL, LOPA,

## ABSTRACT

The purpose of this work is to analyze and evaluate the safety barriers and to meet the normative requirements (Standards IEC 61508, IEC 61511), through the use of qualitative and quantitative methods to evaluate the performance of safety instrumented systems SIS, by determining the Safety Integrity Level SIL and the actual probabilities of failure related to the operating environment of the UTBS-HMD fuel gas storage facility, and proposing improvement actions to achieve normative compliance.

**Keywords:** SIS, SIL, BORA, LOPA, Failure Tree, Risk Analysis, Risk Assessment.

## Résumé

Le but de ce travail est d'analyser et d'évaluer les barrières de sécurité et de répondre aux exigences normatives (Normes CEI 61508, CEI 61511), par l'utilisation des méthodes qualitatives et quantitatives, afin d'évaluer la performance des systèmes instrumentés de sécurité SIS, en déterminant le niveau d'intégrité de sécurité SIL et les probabilités de défaillance réelles liées à l'environnement de l'exploitation de l'installation ballon de gaz combustible de l'UTBS-HMD, et en proposant des actions d'amélioration pour atteindre la conformité normative.

**Mots clés :** SIS, SIL, BORA, LOPA, Arbre de défaillance, Analyse des risques, Évaluation des risques.

## Tables des matières

Liste des tableaux	
Liste des figures	
Liste des abréviations	
Introduction générale.....	13
Chapitre 1 : description du champ d'étude.....	16
Introduction.....	17
1.1. Présentation du groupe SONATRACH.....	17
1.1.1. Présentation des sites SH DP de Hassi Messaoud.....	18
1.1.2. Présentation de la division sécurité.....	19
1.2. Description générale de l'UTBS.....	21
1.2.1. Situation géographique.....	22
1.2.2. Description de l'environnement de l'UTBS.....	22
1.2.3. Description des installations.....	27
1.3. Cadre d'étude.....	34
1.3.1. Description du système ballon de gaz combustible (G01-VN-45-01).....	34
1.3.2. Description du système de contrôle et de régulation.....	35
1.3.3. Description du système d'alarme existant dans le ballon de gaz combustible...	36
1.3.4. Description du système de surveillance.....	37
1.3.5. Description de système d'arrêt d'urgence ESD.....	38
1.3.6. Système de détection de gaz : .....	41
Conclusion.....	42
Chapitre 2 : Analyse des risques.....	43
Introduction.....	44
2.1. Description de la démarche d'analyse retenue.....	44
2.2. Décomposition structurelle et fonctionnelle.....	46
2.2.1. Décomposition structurelle et fonctionnelle du ballon de gaz combustible.....	46
2.2.1.1. Sous système de contrôle et de régulation.....	46
2.2.1.2. Sous système de surveillance.....	47
2.2.1.3. Sous système d'alarme.....	47
2.2.1.4. Sous système d'arrêt d'urgence.....	48
2.2.1.5. Sous système de protection.....	50
2.3. Identification des événements indésirables.....	50
2.3.1. Principe de la méthode HAZOP.....	50
2.3.2. Déroulement de la méthode HAZOP.....	50
2.3.3. Avantage de HAZOP.....	51
2.3.4. Limite deHAZOP.....	51

2.3.5.	Applcation de la méthode HAZOP sur le système de gaz combustible .....	51
	Conclusion.....	59
	Chapitre 3 : Estimation des risques.....	60
	Introduction .....	61
3.1.	Estimation de la gravité des risques du ballon de gaz combustible .....	61
3.2.	Estimation des fréquences et évaluation de l'acceptabilité des risques du ballon de gaz combustible .....	62
3.2.1.	Introduction à la Notion de SIL .....	63
❖	Rappel sur les normes IEC 61508 et IEC 61511 .....	63
❖	Définition de SIS .....	63
❖	Distinction entre SIF et SIS .....	64
❖	Définition de SIL .....	65
3.2.2.	Méthodes de détermination de SIL .....	65
❖	Déroulement de la méthode LOPA .....	66
❖	Avantages de la méthode LOPA .....	67
❖	Limites de la méthode LOPA .....	67
❖	Établissement des critères d'acceptabilité du risque .....	69
❖	Développement des scénarios d'accidents .....	69
❖	Identification des fréquences des événements initiateurs.....	72
❖	Identification des PFD des couches de protection indépendantes.....	78
❖	Détermination des fréquences des scénarios .....	83
❖	Exploitation de l'AdE relatif au scénario d'accident S1 .....	83
❖	Exploitation de l'AdE relatif au scénario d'accident S2.b .....	86
❖	Exploitation de l'AdE relatif au scénario d'accident S2.a.....	89
	Conclusion.....	93
	Chapitre 4 : Réduction des risques.....	94
	Introduction .....	95
4.1.	Réduction du risque et amélioration de la sécurité du ballon de gaz combustible.....	95
4.2.	Dimensionnement.....	100
4.3.	Simulation .....	101
4.3.1.	Application de simulation par le software Indusoft.....	102
4.3.2.	Description du système .....	102
4.3.3.	Simulation de fonctionnement du système (fonctionnement normal) .....	103
4.3.4.	Simulation de fonctionnement du système SIS (fonctionnement avec défauts)..	103
4.3.5.	Proposition d'amélioration de sécurité par un autre SIS .....	104
4.4.	Etude économique pour le nouveau SIS .....	106
	Conclusion.....	107

Chapitre 5 : Analyse des barrières de sécurité par la méthode BORA.....	108
Introduction .....	109
5.1. Méthodologie BORA (Barrier and Operational Risk Analysis).....	109
5.2. Les principales étapes d'une analyse BORA.....	110
5.2.1. Identification des barrières et le développement du diagramme block barrière ..	110
5.2.2. Modélisation de la performance des barrières de sécurité.....	110
5.2.3. Elaboration des diagrammes d'influence.....	110
5.2.4. Affectation des poids et des scores de RIF .....	111
5.2.5. Réajustement (correction) des probabilités et des fréquences moyennes .....	112
5.2.6. Calcul de probabilités moyennes réel de défaillance des barrières.....	113
5.2.7. Calcul de la fréquence moyenne de conséquence du scénario (S2. a).....	113
5.3. Application de la méthode BORA.....	113
5.3.1. Développement de diagramme block barrière et arbres de défaillance .....	113
5.3.1.1. Arbre de défaillance du système de régulation (évènement initiateur) .....	114
5.3.1.2. Arbres de défaillance des couches de protection .....	115
5.3.2. Ajustement des valeurs de probabilité par l'intégration des facteurs .....	116
d'influence du risque (FIS).....	116
5.3.3. Exemple de calcul .....	126
5.3.4. Discussion des résultats obtenus .....	127
Conclusion.....	128
Conclusion Générale .....	129
Références bibliographiques .....	131
Annexes.....	135

## Liste des tableaux

Tableau 1- 1: Données environnementales du l'UTBS. ....	23
Tableau 1- 2: Caractéristiques principales de l'équipement.....	34
Tableau 2- 1 :Sous système de contrôle et de régulation. ....	46
Tableau 2- 2 : Sous système de surveillance.....	47
Tableau 2- 3 : Sous système d'alarme.....	48
Tableau 2- 4 : Sous système d'arrêt d'urgence .....	49
Tableau 2- 5 : Sous système de protection.....	50
Tableau 2- 6 : HAZOP pour le sous système ballon de gaz combustible (G01-VN-45-01) (1/6) .....	53
Tableau 2- 7 : HAZOP pour le sous système ballon de gaz combustible (G01-VN-45-01) (2/6) .....	54
Tableau 2- 8 : HAZOP pour le sous système ballon de gaz combustible (G01-VN-45-01) (3/6) .....	55
Tableau 2- 9 : HAZOP pour le sous système ballon de gaz combustible (G01-VN-45-01) (4/6) .....	56
Tableau 2- 10 : HAZOP pour le sous système ballon de gaz combustible (G01-VN-45-01) (5/6) .....	57
Tableau 2- 11 : HAZOP pour le sous système ballon de gaz combustible (G01-VN-45-01) (6/6).....	58
Tableau 3- 1 : Gravité de certaines des conséquences issues de l'analyse HAZOP.....	62
Tableau 3- 2: Les niveaux SIL pour un mode de fonctionnement à faible sollicitation .....	65
Tableau 3- 3 : Les niveaux SIL pour un mode de fonctionnement à fort sollicitation.....	65
Tableau 3- 4 : scénarios à évaluer .....	70
Tableau 3- 5 : Sélection des IPL à retenir dans les scénarios d'accidents.....	71
Tableau 3- 6: Définition des événements de base de l'AdD relatif à l'événement initiateur l'Ei.1 .....	74
Tableau 3- 7 : Définition des événements de base de l'AdD relatif à l'événement initiateur l'Ei.2.a.....	76
Tableau 3- 8 : Fréquences des événements initiateurs à retenir dans les scénarios .....	77
Tableau 3- 9 : Définition des événements de base de l'AdD relatif à la défaillance de l'IPL.2 PSHH-11013 .....	79
Tableau 3- 10: Définition des événements de base de l'AdD relatif à la défaillance de l'IPL.1 "LSHH-11007".....	80
Tableau 3- 11 : Définition des événements de base de l'AdD relatif à la défaillance de système d'alarme de haut niveau LAH-11009.....	82
Tableau 3- 12: PFD des IPLs .....	83
Tableau 3- 13: Tableau de synthèse .....	92
Tableau 4- 1 : Définition des événements de base de l'AdD relatif à la défaillance de l'IPL "LSHH-11007'".....	96
Tableau 4- 2: Données sur les composants du système déluge.....	106
Tableau 5- 1: Système générique pour le score des RIF.....	111
Tableau 5- 2:Probabilités de défaillances des événements de base. ....	116
Tableau 5- 3: Les résultats de la méthode BORA pour l'évènement initiateur (perte de contrôle de niveau). ....	121
Tableau 5- 4 : Les résultats de la méthode BORA pour l'évènement initiateur (perte de contrôle de niveau) (suite).....	122
Tableau 5- 5: Les résultats de la méthode BORA pour la couche de protection (SIS 1). ....	123
Tableau 5- 6 : Les résultats de la méthode BORA pour la couche de protection (SIS 1) (suite) .....	124
Tableau 5- 7: Les résultats de la méthode BORA pour la couche de protection (SIS 2).....	125
Tableau 5- 8: les résultats de l'analyse quantitative du scénario S2a.....	127

## Liste des figures

Figure 1- 1: Organigramme Hassi Messaoud.....	19
Figure 1- 2: Structure de la division sécurité. ....	21
Figure 1- 3: Situation géographique de l'UTBS. ....	22
Figure 1- 4: Les six champs satellites existants de la région d'Hassi-Messaoud Sud. ....	25
Figure 1- 5 : Process de l'unité UTBS. ....	26
Figure 1- 6: Train de traitement .....	27
Figure 1- 7: FOUR ET REBOUILLEUR.....	29
Figure 1- 8: AEROREFRIGERANTS .....	29
Figure 1- 9: Système hors spécification. ....	30
Figure 1- 10: Détail d'un train de compression.....	31
Figure 1- 11: Ballon de gaz combustible. ....	35
Figure 1- 12: Boucle de régulation du niveau de condensat dans le ballon de gaz.....	35
Figure 1- 13: Boucle de régulation de la pression de gaz dans le ballon de gaz.....	36
Figure 1- 14: Architecture de la boucle de sécurité LSHH-11007.....	38
Figure 1- 15: Architecture de la boucle de sécurité 20-LSLL-01007 .....	39
Figure 1- 16: Architecture de la boucle de sécurité PSHH-11013.....	40
Figure 1- 17: Architecture de la boucle de sécurité PSSLL-11013.....	40
Figure 1- 18: soupape de sécurité PSV-11001 .....	40
Figure 1- 19: Model IR 2100.....	41
Figure 1- 20: automate programmable PLC F&G. ....	41
Figure 2- 1 : Démarche d'analyse des risques proposée. ....	45
Figure 2- 2 : Ballon de gaz combustible .....	52
Figure 3- 1 : La grille de criticité adoptée par SH & BP.....	62
Figure 3- 2 : Lien entre l'IEC 61508 et l'IEC 61511 (d'après IEC 61511-1).....	63
Figure 3- 3 : présente le cas de deux SIF gérées par un même SIS. ....	64
Figure 3- 4 : : exemple d'un arbre de défaillances .....	68
Figure 3- 5 : AdE du scénario relatif à l'évènement initiateurs "Défaillance PC-11012". ....	72
Figure 3- 6 : AdE du scénario relatif à l'évènement initiateurs "Défaillance de LC-11009". .	72
Figure 3- 7 : AdE du scénario relatif à l'évènement initiateurs "Défaillance de la vanne SDV-11010". ....	72
Figure 3- 8 : Construction de l'AdD à l'aide de GRIF 2017.....	73
Figure 3- 9 : AdD réduite relatif à l'évènement initiateur l'Ei.1.....	74
Figure 3- 10: l'AdD pour l'évènement non souhaité "perte de contrôle de niveau du condensat dans le ballon de gaz combustible.....	76
Figure 3- 11 : Arbre de défaillances relatif à la défaillance de l'IPL1 .....	78
Figure 3- 12: Arbre de défaillances relatif à la défaillance de l'IPL "LSHH-11007" .....	80
Figure 3- 13 : AdD relatif à la défaillance de système d'alarme de haut niveau LAH-11009. ....	82
Figure 3- 14 : Exploitation de l'AdE relatif à une perte de contrôle de la pression de gaz dans le ballon de gaz combustible .....	84
Figure 3- 15: Exploitation de l'AdE relatif à la fermeture intempestive de la vanne SDV-11010 .....	87
Figure 3- 16 : Exploitation de l'AdE relatif à la perte de contrôle de niveau de condensat dans le ballon.....	90
Figure 4- 1: Arbre de défaillances relatif à la défaillance de l'IPL "LSHH-11007'" .....	96
Figure 4- 2 : Exploitation de l'AdE relatif à la perte de contrôle de niveau de condensat dans le ballon après l'ajout du nouveau SIS.....	98
Figure 4- 3 : Architecture de la boucle de sécurité LSHH-11007' .....	100
Figure 4- 4 : la représentation des composants du nouveau SIS sur le système de gaz combustible .....	101
Figure 4- 5 : Système de contrôle et SIS du ballon de fuel gas.....	102
Figure 4- 6 : Simulation de fonctionnement du système (fonctionnement normal).....	103

Figure 4- 7 : Simulation d'un ESD par une sécurité très haut niveau LSHH .....	104
Figure 4- 8 : simulation du nouveau SIS sur le système étudié .....	105
Figure 4- 9 : la reaction du nouveau SIS à une LSHH= 68% .....	105
Figure 4- 10 : Simulation d'un défaut sur le nouveau SIS proposé.....	106
Figure 5- 1: Illustration d'un diagramme block barrière.....	110
Figure 5- 2 : Diagramme d'influence de risque. ....	111
Figure 5- 3: Diagramme Block Barrière relatif au scénario d'accident S2a. ....	114
Figure 5- 4: l'AdD pour l'événement initiateur perte de contrôle de niveau du condensat ..	114
Figure 5- 5: Arbre de défaillances relatif à la défaillance de l'IPL "LSHH-11007' .....	115
Figure 5- 6 : Arbre de défaillances relatif à la défaillance du SIS 2 "LSHH-11007.....	115
Figure 5- 7: Diagramme d'influence de la défaillance du capteur LIC 11009. ....	116
Figure 5- 8: Diagramme d'influence de la défaillance de la vanne de régulation. ....	117
Figure 5- 9: Diagramme d'influence de la défaillance de DCS. ....	117
Figure 5- 10: Diagramme d'influence de la défaillance de la vanne manuel.....	118
Figure 5- 11 : Diagramme d'influence de la défaillance de l'opérateur. ....	118
Figure 5- 12: Diagramme d'influence de la défaillance du capteur. ....	119
Figure 5- 13: Diagramme d'influence de la défaillance de la vanne. ....	119
Figure 5- 14 : Diagramme d'influence de la défaillance du traitement logique. ....	120
Figure 5- 15 : Diagramme d'influence de la défaillance du traitement logique. ....	120
Figure 5- 16 : Résumé des résultats pour le scénario S2a.....	127

## Liste des abréviations

AdD	Arbre de Défaillance
AdE	Arbre d'événement
ALARP	As Low As Reasonably Practicable
BDD	Bloc Diagramme Barrière
BORA	Barrier and Operational Risk Analysis
BP	Basse Pression
BPCS	Basic Process Control System
CEI	Commission Électrotechnique Internationale
CINA	Centre Industriel Nord
CIS	Centre Industriel Sud
DCS	Distributed Control System
E/E/PE	Electrical/ Electronic/ Programmable Electronic
EI	Événement Initiateur
ENS	Événement Non Souhaité
ESD	Emergency Shut Down
EUC	Equipement Under Control
FI	Flow Indicator
FIC	Flow Indicator Controller
GPL	General Public License
HAZOP	Hazard and Operability Stud
HSE	Health, Safety and Environment
HEH	Haoud El Hamra
IEC	International Électrotechnique Commission
INERIS	Institut de l'Environnement Industriel et des Risques
IPL	Independent Protection Layer
LAH/L	Level Alarm High/Low
LC	Level Control
LG	Level Glass
LIC	Level Indicator controller
LIE	Limite Inférieur d'Explosivité
LOPA	Layer of Protection Analysis

LSHH	Level Security High High
LSLL	Level Security Low Low
LTS	Level transmitter Security
LV	Level Valve
PAH/L	Pressure Alarm High/Low
PC	Pressure Control
PDF	Probability of Failure on Demand
PFD <sub>avg</sub>	Probability of Failure on Demand Average
PFH	Probability of Failure per Hour
PG	Pressure Glass (manometer)
PIC	Pressure Indicator Controller
P&ID	Piping and Instrumentation Diagram
PIS	Pressure Indicator security
PLC	Programmable Logic Controller
PSD	Process Shut Down
PSHH	Pressure Security High High
PSLL	Pressure Security Low Low
PSV	Pressure Safety Valve
PTS	Pressure Transmitter security
PV	Pressure Valve
RIFs	Risque Influencing Factors
RRF	Risk Reduction Factor
SdF	Sûreté de Fonctionnement
SDV	Shut Down Valve
SIF	Safety Instrumented Function
SIL	Safety Integrity Level
SIS	Safety Instrumented System
TBP	Très Basse Pression
TMR	Triple Modular Redondant
TOR	Toute Ou Rien
UTBS	Unité de Traitement de Brut Sud

### **Introduction générale**

Le développement de l'ère industrielle s'est accompagné d'un changement d'échelle radical des risques associés, notamment des risques technologiques majeurs liés à l'activité industrielle, notamment l'industrie pétrolière.

En Algérie l'industrie pétrochimiques est le secteur industriel le plus touché par ces accidents majeurs, où la culture de la sécurité industrielle est la plus développée par rapport aux autres secteurs, c'est pour cette raison que notre étude a porté sur le groupe de Sonatrach.

En dépit de l'automatisation du processus industriel de cette entreprise, il peut présenter des risques potentiels pour les personnes, les biens et l'environnement. Pour cela, divers moyens de sécurité sont mis en œuvre pour réduire ces risques.

En premier lieu, la conception du procédé et le choix des équipements participent à la réduction du risque, en second lieu, on agit sur les systèmes de contrôle des commandes du procédé en prévoyant des redondances. Ces approches ne sont pas toujours suffisantes, pour augmenter la réduction du risque.

Il y a lieu de prévoir des systèmes de sécurité qui entrent en action lorsque le procédé se trouve dans des conditions anormales de fonctionnement ou lorsqu'une situation dangereuse risque de se développer. Il existe différents types de barrières de sécurité, on peut en citer la sécurité active instrumentée dont les systèmes instrumentés de sécurité (SIS, Safety Instrumented System) sont les plus répandus et utilisés.

Un système instrumenté de sécurité est un ensemble de composants agencés d'une façon spécifique pour remplir une fonction de sécurité qui peut être un sujet à défaillance ou une source de danger, son fonctionnement doit être analysé et son niveau de fiabilité et d'intégrité doit être démontré afin de déterminer s'il va remplir sa fonction de sécurité lorsqu'il est sollicité. Le problème qui se pose est la difficulté d'estimer le risque que présente le processus industriel et d'évaluer la diminution du risque que doit apporter ces systèmes instrumentés de sécurité.

Les experts en matière de sécurité industrielle ont élaboré des méthodes qualitatives et quantitatives comme HAZOP, LOPA, AdD, BORA... pour l'analyse de ces diverses barrières, ces dernières nous donnent des résultats qui nous permettent de proposer des solutions techniques pour éviter les risques.

L'enjeu principal de cette étude consiste à analyser et évaluer la performance des barrières de sécurité existantes au niveau du ballon de gaz combustible installé, et de répondre aux exigences des assureurs, à travers l'utilisation de ces méthodes, dans le but de vérifier la conformité des normes (CEI 61508, CEI 61511) et de proposer des améliorations, le cas échéant, pour réduire les risques associés à cette installation. Pour atteindre cet objectif, nous allons suivre une démarche d'analyse et de maîtrise des risques.

La question au quelle doit répondre ce mémoire est **comment procéder à l'évaluation de ces barrières de sécurité tout en vérifiant leurs performances ?**

## ***Introduction Générale***

---

Nous allons, d'abord, étudier le fonctionnement de notre système afin d'identifier les scénarios critiques et les événements initiateurs conduisant à la survenance d'accidents majeurs.

Ensuite, nous allons étudier les barrières de sécurité mises en place par l'entreprise du point de vue conformité du niveau de sécurité offert, et de proposer des améliorations ou la conception de nouvelles barrières. Les solutions proposées tiennent compte du coût que doit supporter l'entreprise pour atteindre la maîtrise du risque en adéquation des exigences de sécurité auxquelles doivent satisfaire les barrières.

Enfin, une analyse quantitative sera effectuée afin de permettre l'identification des probabilités réelles de défaillance en tenant compte des facteurs d'influence liés à l'environnement et à l'exploitation.

Le présent mémoire est subdivisé en cinq chapitres :

**Le premier chapitre** comporte une brève présentation du groupe Sonatrach, de l'unité de traitement de brut sud (UTBS), comportant le système "Ballon de gaz combustible (G01-VN-45-01)", faisant l'objet de la présente analyse et de maîtrise des risques.

**Le deuxième chapitre** est organisé en deux parties, la première partie comporte une brève description de la démarche d'analyse des risques retenue et une introduction à l'analyse fonctionnelle permettant la décomposition et la compréhension de notre système.

Dans la deuxième partie, nous allons aborder et expliquer la méthode HAZOP et sa méthodologie, dans le but d'identifier les différents scénarios critiques.

**Le troisième chapitre** s'intéresse à l'analyse des barrières de sécurité, il est divisé en deux parties, dans la première partie, on aborde les généralités sur les systèmes instrumentés de sécurité, à travers une estimation des risques et une évaluation des barrières (LOPA et l'AdD). La deuxième partie est consacrée à la détermination des SIL (requis et réels) par ces méthodes dans le but d'identifier le scénario le plus critique.

**Le quatrième chapitre** est structuré en deux blocs, dans le premier bloc, nous allons proposer une solution conduisant vers la réduction de la fréquence d'occurrence du scénario jugé inacceptable. Cette réduction est faite par l'addition d'une couche de protection qu'elle sera présentée sous forme d'un nouveau SIS.

Dans le deuxième bloc, on présentera une application d'une simulation développée par le logiciel INDUSOFT, et ce dans le but de confirmer l'efficacité du système instrumenté de sécurité SIS en cas de dérives suites à des défauts. Nous allons terminer ce chapitre par une étude économique du coût de la réalisation du nouveau SIS.

**Le cinquième chapitre** est présenté en deux parties, la première est dédiée à la description de la méthodologie BORA. Nous allons commencer par présenter la méthodologie en expliquant son principe et ses différentes étapes d'application.

Dans la deuxième partie, nous allons analyser les SIS pour leur allouer un SIL selon la démarche BORA qui permet de prendre en compte les conditions d'exploitation dans lesquelles évoluent le système, en comparant les résultats des deux méthodes (BORA et LOPA).

## ***Introduction Générale***

---

Enfin, ce mémoire sera clôturé par une conclusion générale décrivant l'essentiel de cette étude, suivie des perspectives à prévoir pour les prochains travaux.

*Chapitre 1*  
*Description du champ d'étude*

## **Introduction**

La connaissance du système est le point clé de toute démarche d'analyse des risques, elle exige la présence d'informations pertinentes sur celui-ci. Ces informations concernent dans un premier temps, la structure et les fonctions du système, son environnement, les dangers qui lui sont associés, les risques d'agressions externes etc. Dans un second temps, et pour une bonne maîtrise des risques, des informations sur les barrières de sécurité mises en œuvre pour prévenir l'apparition d'une situation dangereuse (barrières de prévention) ou d'en limiter les conséquences (barrières de protection) doivent être disponibles.

Vu l'importance de cette étape d'analyse, ce premier chapitre est organisé en trois parties, nous présenterons sommairement le groupe SONATRACH, avant de se focaliser sur notre cas d'étude : Unité de Traitement de Brut Sud (UTBS), où nous allons voir son organisation, ses processus et les unités qui la constituent plus particulièrement le système de gaz combustible (G01-VN-45-01), qui fera l'objet de notre étude. Finalement nous allons justifier le choix de ce système.

### **1.1. Présentation du groupe SONATRACH**

Sonatrach est la compagnie nationale algérienne pour la recherche, la production, le transport par canalisation, la transformation et la commercialisation des hydrocarbures dérivés.

Elle intervient également dans d'autres secteurs tels que la génération électrique, les énergies nouvelles et renouvelables et le dessalement d'eau de mer. Elle exerce ses métiers en Algérie et partout dans le monde où des opportunités se présentent [1].

Sonatrach est divisé en quatre Activités : Exploration-Production, Transport par Canalisations, Liquéfaction Raffinage & Pétrochimie et Commercialisation. La Division Production (DP) fait partie intégrante de l'Activité Exploration-Production. Les sites de production de la Division Production sont répartis selon les dix Directions Régionales suivantes:

La Direction Régionale de Hassi Messaoud comprenant les sites de Production suivants :

- CIS, CINA, UTBS, ZCINA, Unités Satellites, El Borma, BBK et Mesdar.
- La Direction Régionale de Rhourde Nous.
- La Direction Régionale de Rhourde El Baguel.
- La Direction Régionale de Gassi Touil.
- La Direction Régionale de Hassi R'Mel comprenant les sites de production suivants :
  - Centre, Nord, Sud, Djebel Bissa, Oued Noumer et Ait Kheir.
- La Direction Régionale d'Haoud Berkaoui incluant les sites de Guellala et Benkehla.
- La Direction Régionale d'In Amenas.
- La Direction Régionale de Stah.
- La Direction Régionale de Tin Fouye Tabankort (TFT).

- La Direction Régionale d'Ohanet [1].

### **1.1.1. Présentation des sites SH DP de Hassi Messaoud**

La direction régionale d'Hassi Messaoud, fait partie de la division Exploration-Production de l'entreprise SONATRACH. Elle est chargée de la production du champ d'Hassi Messaoud et de la gestion de toutes les divisions qui lui sont rattachées. Le champ de Hassi Messaoud se situe à 850 km Sud-Sud Est d'Alger et à 350 km des frontières tunisiennes. De par sa superficie et ses réserves, il est le plus grand gisement de pétrole d'Algérie et l'un des champs les plus complexes du monde [1].

Le gisement pétrolier de Hassi-Messaoud à une superficie de 6000 Km<sup>2</sup> est subdivisé géographiquement en deux zones nord et sud [1].

Cette répartition remontante, historiquement parlant, à l'exploitation du champ par deux compagnies françaises (CFPA au nord et la SNREPAL au sud), a engendré la création de deux centres de production [1].

L'organigramme présenté dans la figure (1-1) illustre l'organisation hiérarchique au niveau de la Direction Régionale du site Sonatrach Division Exploration-Production de Centre Industriel Sud.

Le Directeur Régional est situé au sommet de l'organigramme. L'organigramme ici présenté détaille également l'organisation de la Direction Régionale d'Hassi Messaoud dans laquelle est inclus l'UTBS [1].

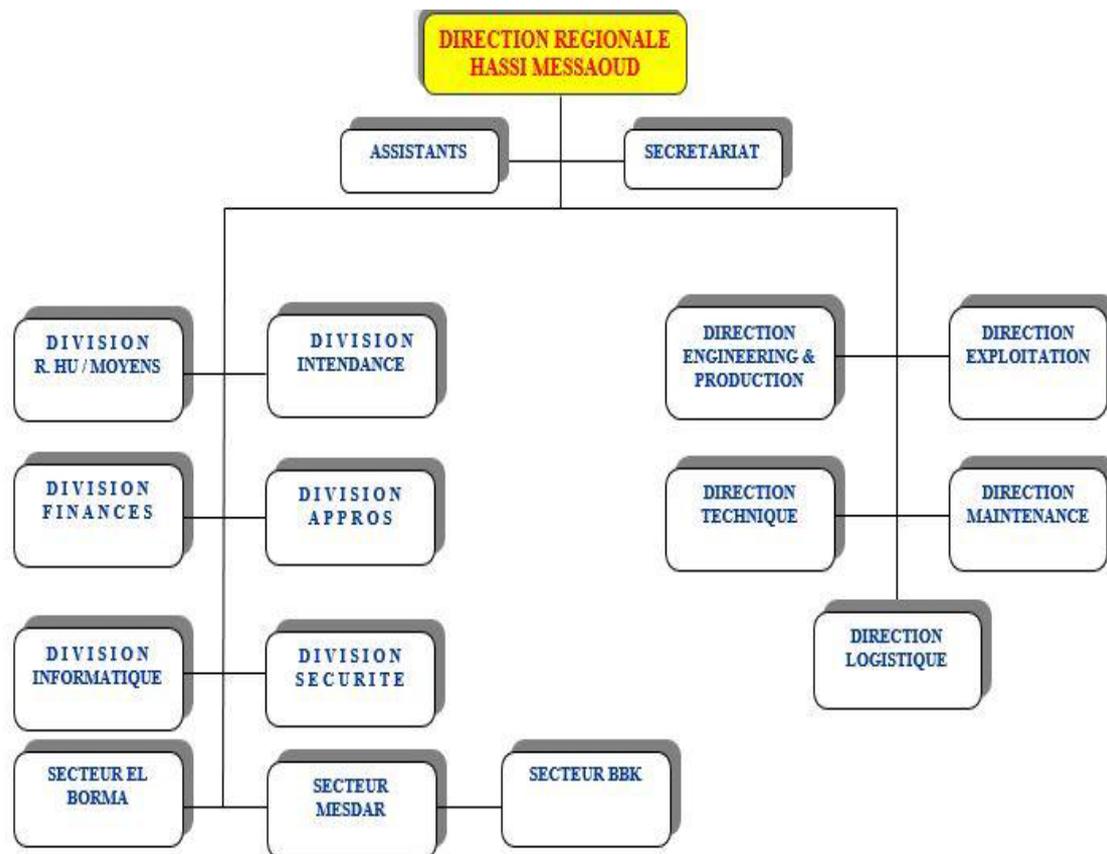


Figure 1- 1:Organigramme Hassi Messaoud. [1]

### 1.1.2. Présentation de la division sécurité

La division sécurité et environnement, siégée à la base 24/02, a pour missions principales :

- 1-La protection et la préservation du personnel.
- 2-La préservation et la conservation du patrimoine industriel.
- 3-La protection de l'environnement.

La division est formée de trois secteurs d'activités :

- 1-Secteur prévention.
- 2- Secteur intervention champs, CINA et ZCINA.
- 3- Secteur intervention CIS et UTBS.

#### 1.1.1.1. Secteur sécurité prévention

Le secteur Prévention est composé de 4 quatre services :

- Service prévention champ.
- Service prévention CIS et UTBS.
- Service prévention CINA et ZCINA.
- Service protection de l'environnement.

Le secteur prévention a pour mission :

- L'inspection pour vérifier la conformité aux normes et règlements en vigueur relatifs à la sécurité industrielle.
- L'établissement des bilans d'accidents et la préconisation de mesures correctives.
- Enquêter sur les accidents travail et accident matériel ou sur l'environnement.
- Elaboration et suivi de programmes de sensibilisation et de formation.
- Activité étude et ingénierie.
- Gestion des travaux quotidiens et programmés (permis de travail, plan de prévention...etc.)
- Gestion des modifications.
- Participation à l'élaboration des différentes procédures.
- Inspection des chantiers de SNUBBING, forage et WORK-OVER.
- Intervention sur tous les types de sinistres (fuite, incendie...).

#### **1.1.1.2. Service protection de l'environnement**

Le secteur protection de l'environnement a pour mission :

- Sensibilisation du personnel aux problèmes liés à l'environnement.
- Mise en œuvre de la politique environnementale adoptée par l'entreprise, pour la mise en conformité avec les règlements en vigueur et aux engagements.
- Mise en place de procédures de gestion des produits chimiques.
- Programmation des missions d'inspection et contrôle de réalisation des audits.
- Détermination des aspects environnementaux pour chaque activité de la direction régionale.

#### **1.1.1.3. Secteurs intervention**

Ont pour mission :

- L'intervention sur les installations en cas d'incident ou accidents.
- L'évacuation des blessés vers les infirmeries et hôpitaux.
- La vérification et le contrôle permanent des engins et équipement anti-incendie.
- La surveillance des travaux à chaud et /ou critiques.
- L'entretien périodique des réseaux anti-incendie et des extincteurs.
- L'assistance au démarrage des unités après révisions.
- L'organisation des séances d'exercices d'entraînement.
- Le contrôle et la vérification des systèmes de protection des unités.

1.1.1.4. Organigramme de la division sécurité et environnement

Les différentes structures de la division sécurité sont représentées par l'organigramme ci-dessous :

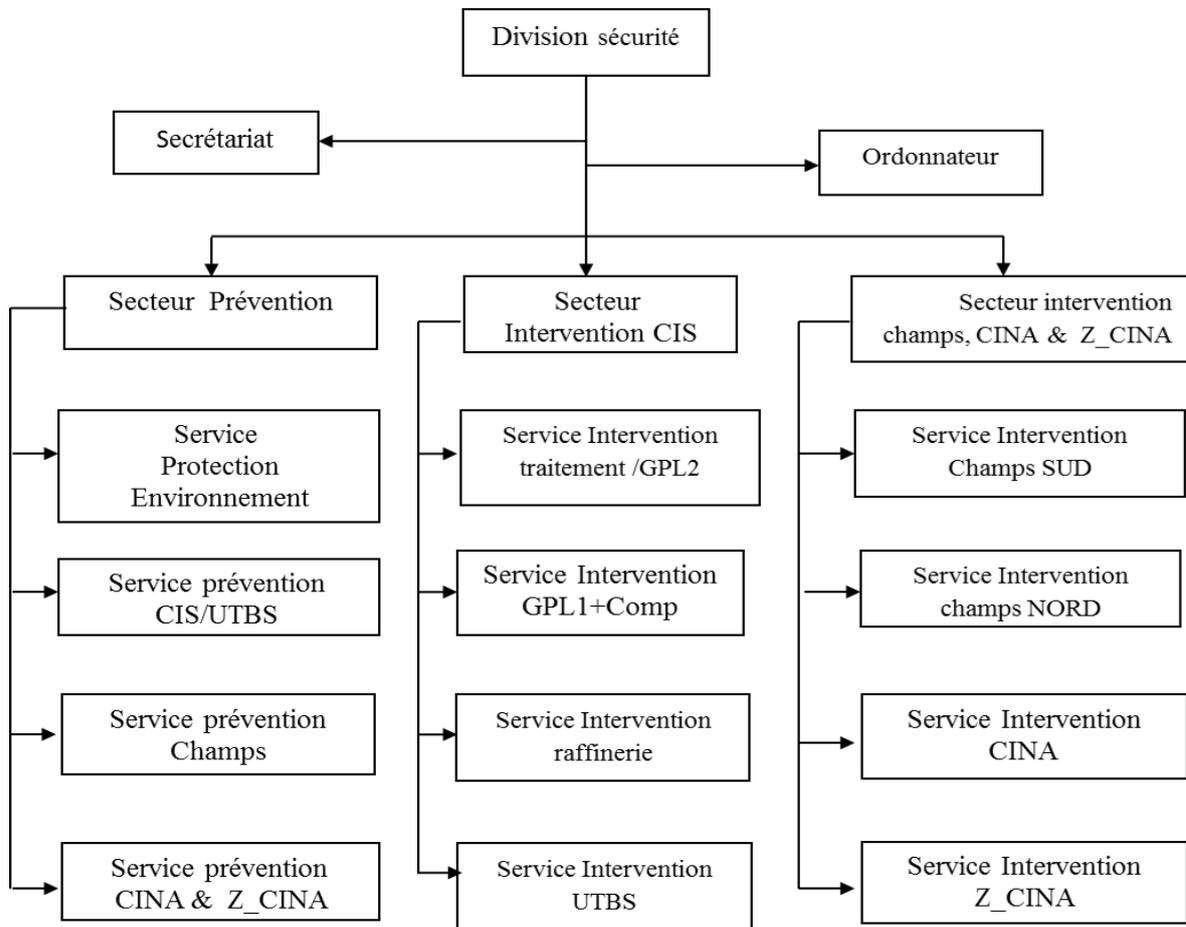


Figure 1- 2: Structure de la division sécurité.[1]

1.2. Description générale de l'UTBS

La société SONATRACH a réalisé une nouvelle unité de traitement de brut sur le champ de Hassi Messaoud Sud dénommée UTBS. Cette nouvelle unité va permettre d'améliorer la qualité du brut, la sécurisation des installations et l'augmentation de la production de brut. Grâce à cette réalisation, l'exploitation du gisement de Hassi Messaoud va être optimisée compte tenu du volume considérable de ses réserves, de la qualité de ses hydrocarbures et de la complexité de ses réservoirs.

Cette unité comprend trois unités de traitement d'huile d'une capacité de production moyenne de 100 000 barils/jour, chacune, de quatre réservoirs de stockage d'huile stabilisée de 50 000 m<sup>3</sup>, chacun, de quatre trains de compression de gaz de flash et d'un réseau de collecte et d'expédition de brut d'eau et de gaz [2].

### 1.2.1. Situation géographique

L'unité UTBS est implantée à environ 7 km au Sud-Ouest de la ville de Hassi Messaoud.

Hassi Messaoud fait partie de la wilaya de Ouargla dont le chef-lieu est la ville de Ouargla, située à environ 80 km au Nord-Ouest de Hassi Messaoud (Fig.1-3) [2].



Figure 1- 3: Situation géographique de l'UTBS [2].

### 1.2.2. Description de l'environnement de l'UTBS

#### 1.2.2.1. Spécificités environnementales :

Les principales spécificités environnementales pour le projet UTBS sont liées à son implantation dans le désert du Sahara, et plus précisément, le Grand Erg Oriental. Les conditions climatiques typiques d'une zone désertique constituent la principale particularité environnementale du système [2].

Le site UTBS est classé en sismicité négligeable (zone 0) par le Règlement Parasismique Algérien.

La région est dépourvue de zones naturelles protégées, la faune et la flore sont peu représentées sur la zone d'étude.

Aucune habitation n'est située à proximité de l'assiette de l'UTBS.

Le réseau routier est constitué de routes développées par SONATRACH et donne accès aux infrastructures d'exploitation pétrolière. Deux routes passent à proximité de l'UTBS mais ces dernières sont à accès restreint et l'UTBS est clôturé.

La plus proche activité industrielle (puits MD160 d'injection de gaz) est implantée à une distance de 200 mètres par rapport à la clôture de l'UTBS.

### 1.2.2.2. Données environnementales

Le tableau (1-1) regroupe les données environnementales de L'UTBS.

**Tableau 1- 1: Données environnementales du l'UTBS.**

Température de l'air	Température minimale (Cas Hiver) est de $-5^{\circ}\text{C}$ . Température maximale sous abri (Cas été) est de $55^{\circ}\text{C}$ . Une température maximale de $25^{\circ}\text{C}$ sera considérée pour le cas de l'hiver Une température ambiante moyenne sur une période de 24h sera prise égale $5^{\circ}\text{C}$ .
Humidité relative à $40^{\circ}\text{C}$	Maximum : 50 Minimum : 20
Le vent	Vent extrême : $200\text{km/h}$ ; $55,5\text{ m/s}$ ; $189\text{daN/m}^2$ . Vent normal : $151\text{km/h}$ ; $42\text{m/s}$ ; $108\text{daN/m}^2$ .
La pluie	La pluviométrie annuelle est négligeable, mais possibilité d'orages (intensité maximale $45\text{mm}$ en 24h en été) ; Hauteur annuelle $120\text{mm}$

### 1.2.2.3. Le rôle de l'UTBS :

L'UTBS est une unité de traitement de brut destinée à recevoir et traiter l'huile non stabilisée provenant de six champs satellites (figure1-4) existants de la région d'Hassi-Messaoud Sud et d'expédier l'huile stabilisée vers le centre de stockage situé à Haoud El Hamra via le pipeline 24'' CIS-HEH.

Le traitement consiste à dessaler et à stabiliser le brut provenant des satellites. Le gaz associé est utilisé comme gaz combustible, l'excédent étant envoyé vers l'unité de GPL située au CIS. L'eau nécessaire au lavage du brut provient de deux puits d'eau d'Albien.

Les eaux huileuses traitées sont envoyées vers l'unité d'injection d'eau située à OMN77, en secours ou vers le bassin d'évaporation [2].

L'UTBS comprend les unités suivantes :

➤ UN réseau de collecte de brut (07 pipelines) pour acheminer l'huile non stabilisée des satellites existants vers la nouvelle installation et une ligne de pipe reliant CIS-UTBS ;

➤ Trois trains de traitement de brut (identique) de 100 000 barils par jour. Chaque train de traitement d'huile comprend :

- (1 x 100%) Séparateur triphasique (PX0-VA-20-01).
- (1 x 100%) Séparateur diphasique (PX0-VA-20-02).
- (1 x 100%) Réchauffeur d'huile (2 calandres PX0-GA-20-01 A/B).
- (1 x 100%) Package de dessalage (PX0-UZ-21-01).
- (1 x 100%) Colonne de stabilisation (PX0-CB-21-01).
- (3 x 50%) Pompes de recirculation du rebouilleur (PX0-PA-21-01 A/B/C).
- (1 x 100%) Rebouilleur (PX0-FA-21-01)
- (1 x 100%) Les systèmes d'utilités :
  - Système de gaz combustible (G01-VN-45-01).
- Traitement des eaux huileuses.
- Une unité de compression comportant 4 trains.
- Une unité de traitement d'huile hors-spec et un bac de stockage d'huile hors-spec.
- Quatre bacs de stockage d'huile stabilisée.
- Une pomperie d'expédition de l'huile stabilisée.
- UN système de comptage d'huile stabilisée.
- Une unité de traitement des eaux huileuses.
- Des pipelines d'expédition (huile stabilisée, gaz associé, eau traitée).
- Les systèmes utilités nécessaires aux unités de procédés. [2]

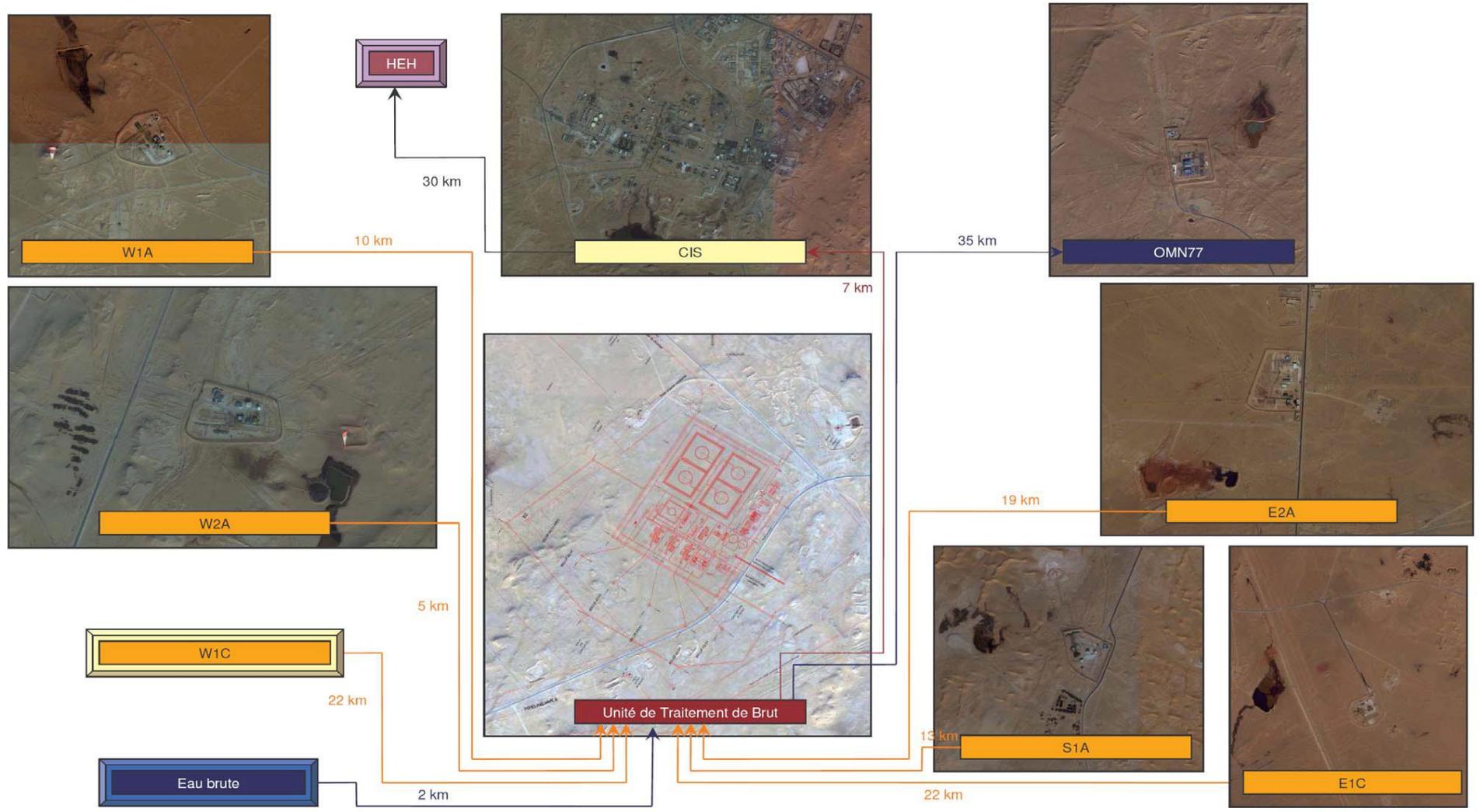


Figure 1- 4: Les six champs satellites existants de la région d'Hassi-Messaoud Sud. [3]

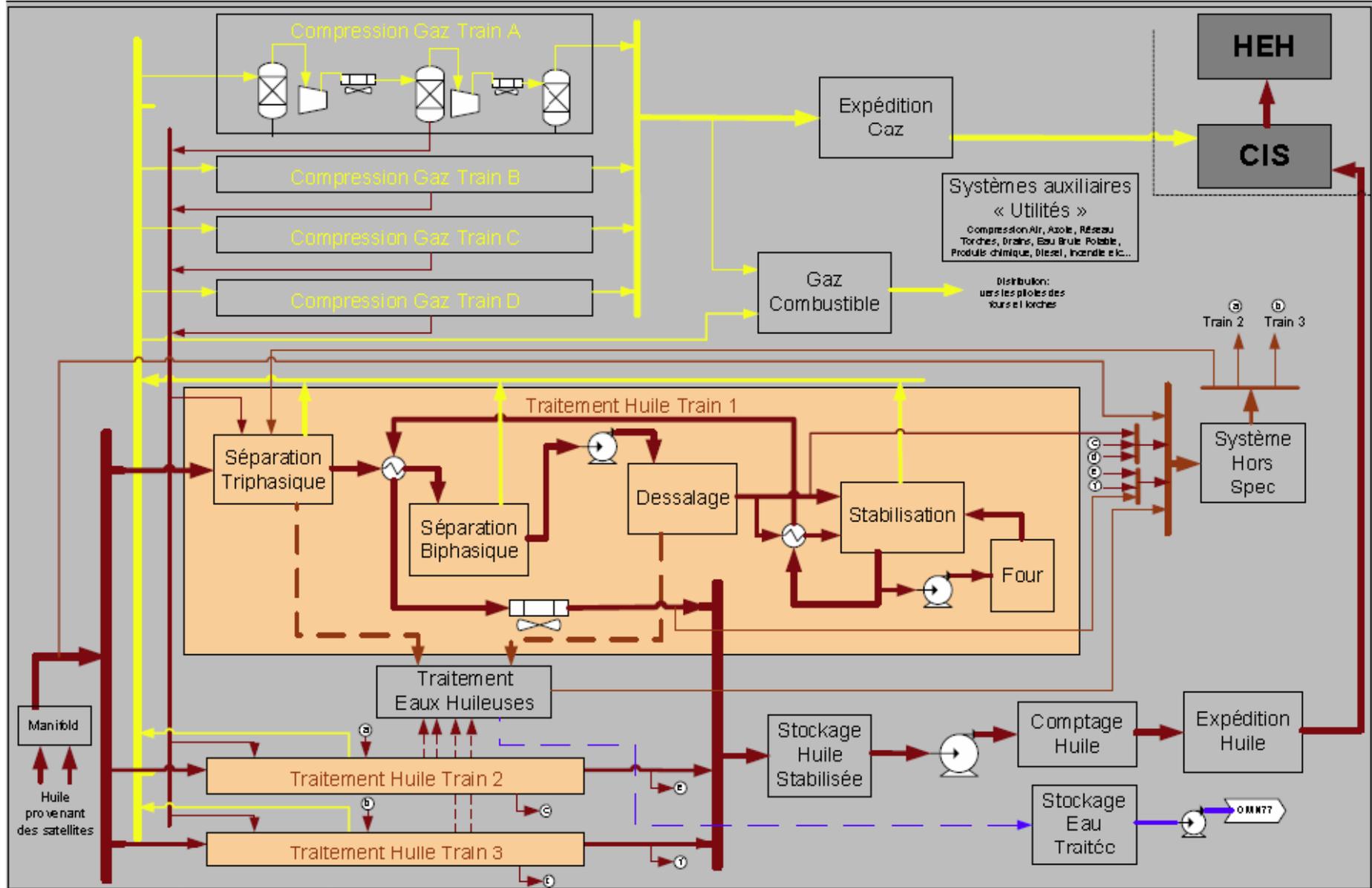


Figure 1- 5 : Process de l'unité UTBS. [3]

### 1.2.3. Description des installations

#### ➤ Réseau de collecte de brut

Les installations sont conçues pour traiter le brut en provenance des six champs satellites existants de Hassi Messaoud Sud, dont trois sont situés à l'Est de l'unité (E1C, E2A et S1A) et trois situés à l'Ouest (W1A, W2A et W1C).

Les raccords au niveau des satellites sont équipés de deux vannes manuelles et le pipeline permet d'exporter le brut soit à l'UTBS soit au CIS. Ainsi, le traitement du brut sera assuré par le CIS en cas d'impossibilité d'acheminement du brut vers l'UTBS [3].

#### Traitement de brut

##### • Séparation

Cette première étape consiste à séparer le brut, du gaz et de l'eau.

Tous les gaz issus des séparations sont envoyés vers le système de compression et l'eau vers le traitement des eaux huileuses.

Le brut est réchauffé jusqu'à 70°C dans un échangeur brut non traité/brut stabilisé constitué de deux calandres disposées en série. Le brut réchauffé alimente le deuxième étage du séparateur bi-phasique. (Figure1-6) [3].

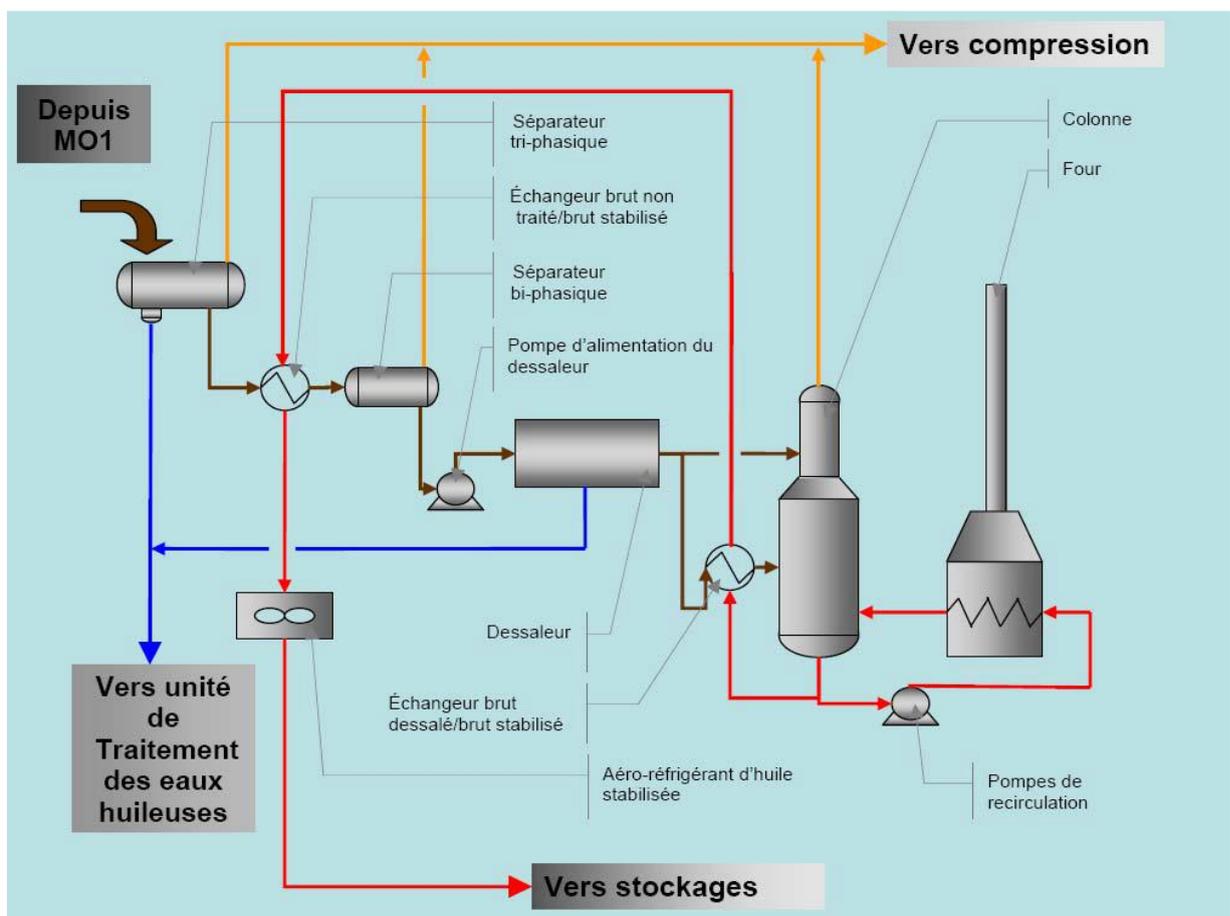


Figure 1- 6: Train de traitement

- **Dessalage**

Le système de dessalage est constitué de deux dessaleurs électrostatiques en série avec injection d'eau de lavage à l'entrée du second dessaleur. L'eau extraite du deuxième étage sous contrôle de niveau d'interface est entièrement recyclée vers l'entrée du premier étage par l'intermédiaire d'une pompe (2 x 100%). L'eau extraite du premier étage est envoyée sous contrôle de niveau d'interface vers l'unité de traitement des eaux huileuses. Chaque dessaleur électrostatique est équipé d'une vanne de mélange à son entrée. L'eau de lavage provient de deux puits d'eau (albien) forés par le Maître d'ouvrage [3].

- **Stabilisation**

Le brut dessalé est ensuite envoyé vers une colonne de stabilisation munie de vingt-et-un plateau à Clapets fixes. L'alimentation de la colonne est réalisée à deux niveaux :

- 80% du débit total alimente la colonne au niveau du plateau n°13 après réchauffement de la charge dans un échangeur brut dessalé/brut stabilisé constitué de deux calandres disposées en série [3].

- 20% du débit total du brut alimente la colonne au niveau du plateau de tête et constitue le reflux de la colonne.

Une injection d'eau de lavage est prévue pour permettre le nettoyage des plateaux dans le cas où du sel se dépose.

Cette injection est normalement fermée. Le rebouillage est effectué grâce à un four (Figure1- 7).

La circulation est réalisée en mode forcé par l'intermédiaire des pompes de recirculation (3 x 50%).

La température en sortie de four est régulée par la quantité de gaz combustible admise dans les brûleurs.

Le brut stabilisé s'écoule vers le stockage après refroidissement successif dans l'échangeur brut dessalé/brut stabilisé, dans l'échangeur brut non traité/brut stabilisé puis dans un aéroréfrigérant (Figure1-8).



*Figure 1- 7: Four et Rebouilleur [3]*



*Figure 1- 8: Aéroréfrigérant [3]*

➤ **Stockage – Expédition de brut**

Le brut stabilisé est ensuite stocké dans quatre bacs à toit flottant ayant chacun une capacité brute de 50 000 m<sup>3</sup>.

La pomperie d'expédition est composée de pompes de gavage (4 x 33%) et de pompes d'expédition (4 x 33%).

La ligne d'expédition d'huile stabilisée de trente pouces (30'') à partir de l'UTBS se raccorde sur la nouvelle ligne vingt-quatre pouces (24'') reliant le CIS à Haoud El Hamra (HEH). Le point de raccordement est situé à l'intérieur du CIS, à proximité des pompes d'expédition existantes et proche de la gare de racleurs, au départ vers HEH. Le raccordement se fait sur la partie aérienne de la canalisation, avant son enfouissement.

La ligne est équipée de gares de racleur départ/arrivée et elle est pourvue de vannes de sectionnement [3].

➤ **Système hors-spec**

Lorsque le brut ne respecte pas une des spécifications ou en cas de non-fonctionnement des trains (By-Pass de l'unité), la production peut être déviée temporairement vers le système

« hors spécification » ou « hors-spec » pour être ultérieurement réinjectée dans le procédé.

Dans le cas où le brut provient du manifold d'entrée (by-pass de l'unité) ou des dessaleurs, il est dirigé vers le séparateur « Hors-spec » pour un premier dégazage, puis est transféré, sous contrôle de pression, vers le séparateur « gaz boot » pour un dégazage à pression atmosphérique.

Dans le cas où le brut provient de la sortie des trains de stabilisation, il est directement dirigé vers le séparateur « gaz boot » de brut hors spécification. Ensuite, le brut s'écoule gravitairement du séparateur « gaz boot » vers le réservoir de stockage d'huile « hors spécification » d'une capacité brute de 20 000 m<sup>3</sup> [3].

Les effluents provenant du ballon de torche Très Basse Pression (TBP), du réservoir de drains fermés, du système de traitement des eaux huileuses ou du système de traitement des drains ouverts sont renvoyés vers le réservoir de stockage d'huile hors spécification.

Le brut stocké est ensuite recyclé à l'aide d'une pompe (2 x 100%) dans le procédé en amont de l'échangeur brut non traité/brut stabilisé (Figure 1-9) [2].

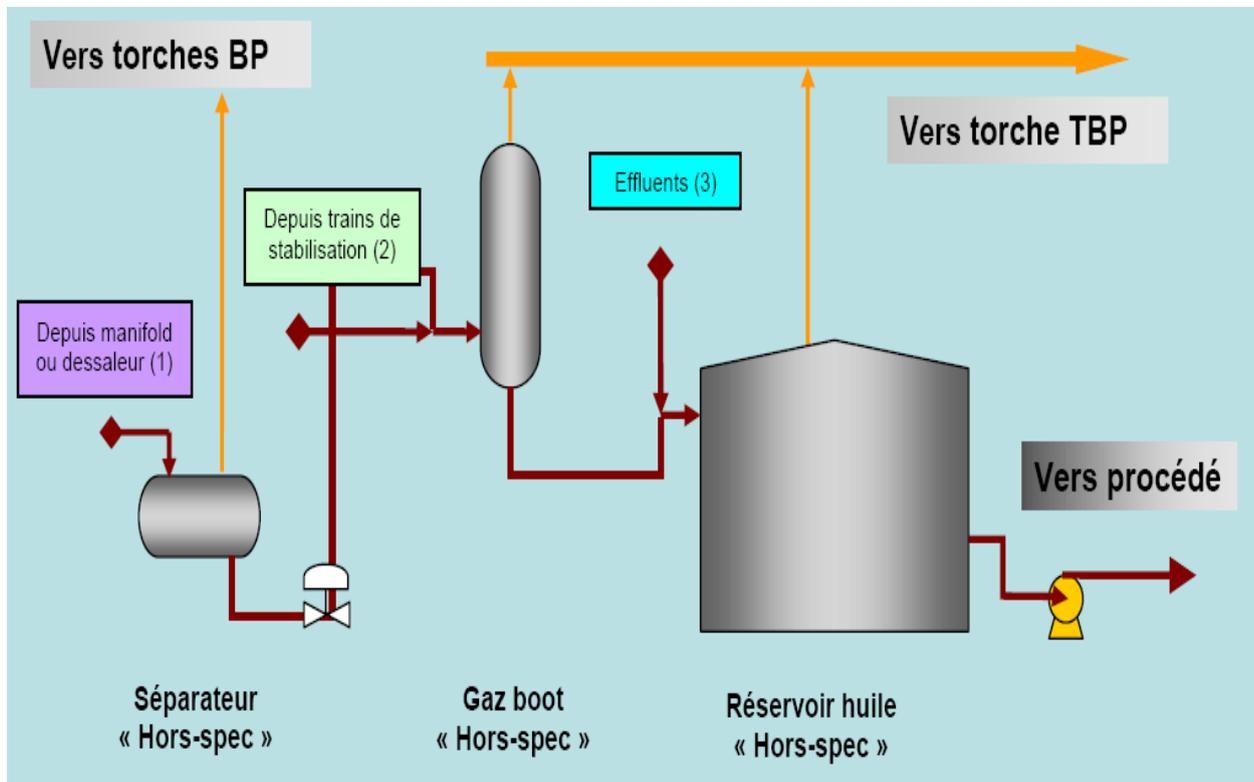


Figure 1- 9: Système hors spécification [3]

### ➤ Compression – Expédition du gaz

Une partie des gaz associés au brut à l'entrée de l'UTBS servira de gaz combustible pour les besoins de l'usine, l'excédent sera envoyé vers l'unité de GPL située au CIS.

### ➤ Compression du gaz

La station de compression sera composée de quatre trains de compression (4 x 33%).

Les gaz associés au brut, venant des séparateurs et des colonnes de stabilisation des trains de traitement, sont rassemblés dans un manifold puis dirigés vers les trains de compression. Chaque train de compression est isolable et équipé d'un clapet anti-retour. Le gaz est alors envoyé dans un séparateur appelé « KO drum gaz flash BP » où une séparation fine gaz-liquide a lieu. Ce séparateur est équipé d'un matelas dévésiculateur afin de limiter l'entraînement de liquide présent sous forme de gouttelettes vers le compresseur centrifuge aval [3].

À la sortie, le gaz est envoyé à l'aspiration du premier étage du compresseur centrifuge. Le gaz est ensuite refroidi grâce à un aéroréfrigérant.

L'ensemble de ces opérations est réalisé une seconde fois sur les condensats (gaz) via un

séparateur appelé « KO drum inter étage ». Une troisième séparation est effectuée par un séparateur appelé « KO drum de décharge » avant d'être envoyé vers la ligne d'export (Figure1-10) [3].

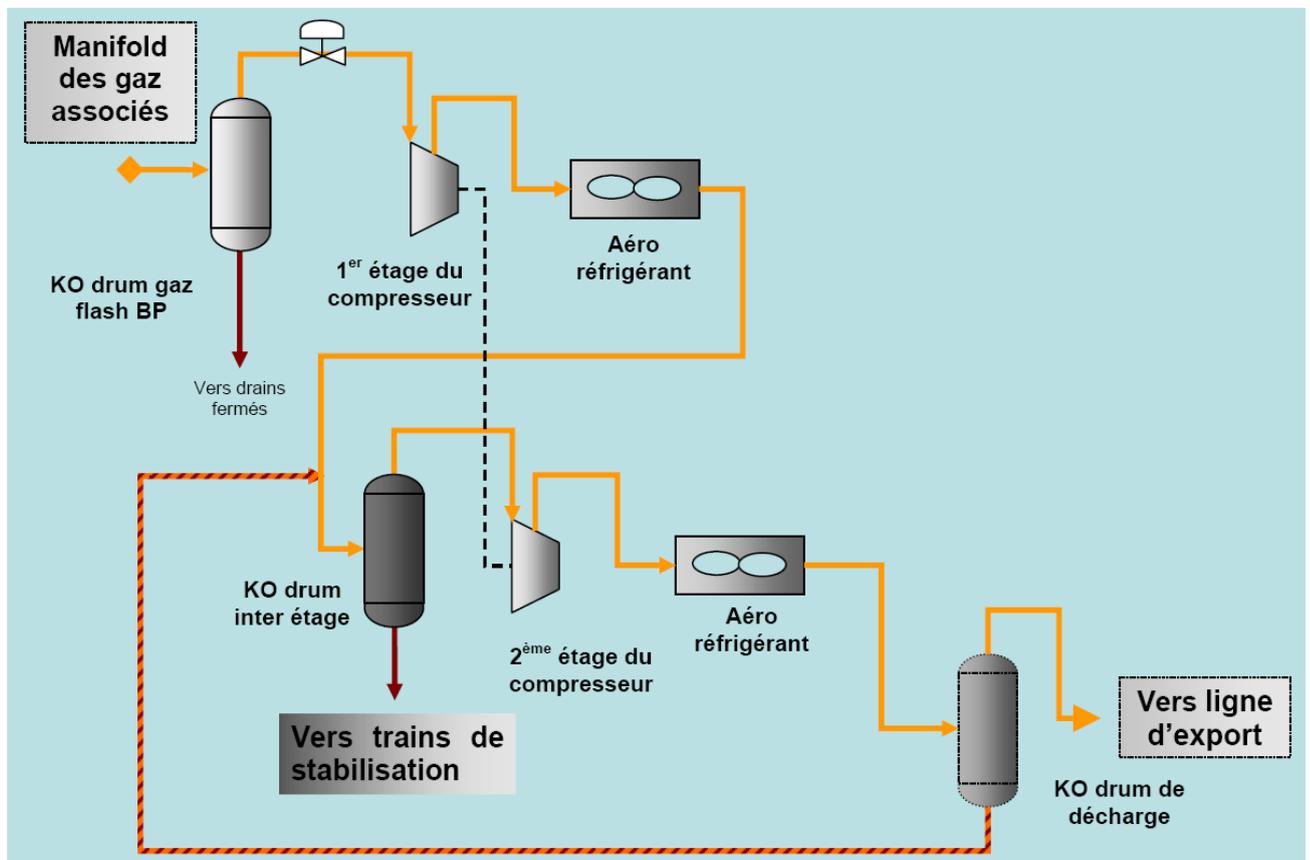


Figure 1- 10: Détail d'un train de compression [3]

➤ **Expédition du gaz**

Le gaz issu des trains de compression est exporté vers le CIS par un pipeline de seize pouces (16’’).

Des gares permettent d’envoyer un racleur dans ce pipeline. Ce pipeline se connecte sur le manifold « GPL 28 Bar » au niveau du CIS par l’intermédiaire d’un piquage réalisé en charge. Une vanne de sectionnement est installée au point de raccordement [3].

➤ **Traitement des eaux huileuses**

L’unité de traitement des eaux huileuses est dimensionnée pour traiter les eaux huileuses de procédé ainsi que les eaux pré-déshuilées des drains ouverts.

L'eau huileuse est traitée à travers d’un package de traitement des eaux huileuses dont le fonctionnement est le suivant :

1- L'eau huileuse passe d'abord dans un ballon dégazeur. Le dégazeur a deux fonctions :

- Permettre le dégazage de l'huile présente dans l'eau.

- Faciliter la coalescence et la séparation de l'huile de la phase aqueuse.

2- Le gaz est envoyé vers la torche TBP.

3- L'huile monte à la surface et se déverse dans un compartiment à partir duquel elle est pompée (2 x 100%) et envoyée vers le stockage d'huile hors-spec.

4- L'eau partiellement traitée coule par gravité vers l'unité de flottation. L'unité de flottation permet de faire monter à la surface l'huile grâce à de fines bulles de gaz. La couche de mousse présente à la surface est écrémée et elle est renvoyée vers le dégazeur par une pompe (2 x 100%), afin de concentrer l'effluent huileux. Une injection d'un réducteur d'oxygène est prévue en amont du flotteur afin d'en améliorer le rendement.

5- L'eau traitée est dirigée vers le réservoir tampon d'eau traitée d'une capacité de 240 m<sup>3</sup>.

6- Expédition de l'eau traitée vers le raccord au puits d'injection d'eau (OMN 77).

Lors d'indisponibilité du système d'expédition ou de réception à OMN 77, et après remplissage du réservoir tampon d'eau traitée, la production totale d'eau est envoyée dans un bassin d'évaporation. Ce bassin est dimensionné pour un débit d'eau de trois trains de production pendant dix jours, additionné éventuellement du débit provenant des drains ouverts (cas dimensionnant : déluge d'un train de traitement). Il est divisé en trois compartiments isolables pour des besoins de maintenance [3].

#### ➤ **Eau brute et eau potable**

##### ❖ **Eau brute**

L'eau brute provient de deux forages éruptifs à 60°C dans la couche aquifère albien situé à moins d'un kilomètre de l'UTBS. Les puits sont forés par le Maître d'Ouvrage. Le point de raccordement se situe au niveau de la bride de tête de puits [3].

L'eau est expédiée au travers d'une canalisation munie de gares de racleur. En arrivant à l'UTBS, une filtration (2 x 100%) équipée d'un système de lavage alimente un réservoir de 1200 m<sup>3</sup> et assure le remplissage des réservoirs d'eau incendie [3].

À la sortie du réservoir de stockage, une pompe (2 x 100 %) alimente :

- Les dessaleurs (eau de lavage),
- Le système de nettoyage des plateaux des colonnes de stabilisation,
- Le réseau d'eau de service procédé.

Les lignes de distribution d'eau dans le procédé sont munies de clapet anti-retour [3].

##### ❖ **Eau potable**

Un réservoir de 30 m<sup>3</sup> alimente les bâtiments « vie » de l'UTBS en eau potable qui est produite à partir d'un puits dans l'Eocène. Un traitement (unité de potabilisation) et une injection d'hypochlorite de sodium permettent d'assurer la potabilité. Une pompe (2 x 100%) de 10 m<sup>3</sup> /h alimente le réseau.

#### ➤ **Systèmes de drainage**

Le système de drain fermé collecte les hydrocarbures provenant essentiellement de vidanges et de rinçages des équipements et des lignes. Il transfère gravitairement ces effluents

depuis les points de vidange jusqu'aux unités de traitement, dans des conditions optimales pour l'environnement, la santé et la sécurité du personnel intervenant.

Les drains fermés sont collectés et réceptionnés dans le ballon des drains fermés. Ce ballon respire sur la torche TBP. Les effluents récupérés sont renvoyés par une pompe (2 x 100%) vers le réservoir d'huile hors spécification pour être ensuite réinjectés en entrée des trains de traitement d'huile [3].

➤ **Gaz combustible**

En fonctionnement normal, le gaz combustible est prélevé dans le manifold des gaz associés (en amont des trains de compression).

En situation de secours ou de démarrage, le gaz combustible provient du CIS au travers de la canalisation d'export de gaz de l'UTBS vers CIS.

Le gaz combustible traverse d'abord le ballon de gaz combustible (G01-VN- 45-01), puis un filtre (2 x 100%) dans lequel les solides et liquides sont arrêtés. Le gaz est réchauffé au travers d'un réchauffeur électrique à contact direct permettant une surchauffe de 5°C avant d'être distribué dans le réseau [3].

Le gaz combustible alimente en basse pression les systèmes suivants :

- Les fours de rebouillage.
- Le balayage des réseaux de torche.
- Les pilotes des torches.
- La couverture du réservoir de stockage d'huile hors spécification.

➤ **Réseau de torche**

Les objectifs des systèmes de torchage sont de réduire au minimum les émissions à l'atmosphère de produits toxiques, inflammables ou explosifs.

L'unité UTBS comprend trois réseaux de torche :

- Une torche Très Basse Pression (TBP), qui collecte les gaz du ballon du séparateur « gaz boot » de brut hors spécification, du réservoir d'huile hors spécification, du ballon de drains fermés et du système de traitement des eaux huileuses.

- Trois torches Basse Pression (BP), auxquelles sont connectés les équipements de chaque train de stabilisation, le séparateur d'huile hors spécification et les équipements du système de gaz combustible

- Une torche compression commune aux quatre trains de compression

Chaque sous système est équipé d'un ballon de torche qui sépare le gaz à torcher des liquides éventuels. Les ballons de torche sont chacun équipés d'une pompe (2 x 100%) permettant d'évacuer les liquides vers le bac de stockage d'huile hors spécification.

**NB : Rappelons que Notre étude a porté sur le système ballon de gaz combustible (G01-VN-45-01) qui sera décrit en détail dans la partie suivante.**

### 1.3. Cadre d'étude

#### 1.3.1. Description du système ballon de gaz combustible (G01-VN-45-01)

L'UTGA (unité de traitement de gaz) est équipée d'un ballon de gaz combustible (G01-VN-45-01) qu'est alimenté en direct par le collecteur commun de gaz de flash. Il s'agit de réservoir qui récupère le gaz et le condensat en provenance de l'unité, en fonctionnement normale. En cas d'indisponibilité du gaz de flash provenant de l'unité, notamment au démarrage, le système de gaz combustible est alimenté sous contrôle de pression PC-11012 en gaz provenant de CIS, via le pipeline d'expédition de gaz [2].

Rôle de ballon de gaz combustible (G01-VN-45-01) :

Le ballon de gaz combustible (G01-VN-45-01) permet de séparer Le liquide éventuel présent dans le gaz de flash.

Le condensat, grâce à un contrôleur de niveau LC-11009, est envoyé vers le réservoir des drains fermés

La phase gaz (Le gaz combustible) alimente en basse pression les systèmes suivants :

Le four de rebouillée.

Le balayage des réseaux de torche.

Les pilotes des torches.

La couverture du réservoir de stockage d'huile hors spécification.

Le tableau suivant contient les caractéristiques principales de l'équipement.

**Tableau 1- 2: Caractéristiques principales de l'équipement**

Equipment	G01-VN-45-01
Service	Ballon de gaz combustible
Pression opératoire	4.5 bar
Température opératoire	70° C
Dimensionnement	1 m / 3 m

La figure (1-11) représente un schéma simplifié de système ballon de gaz combustible (G01-VN45-01).

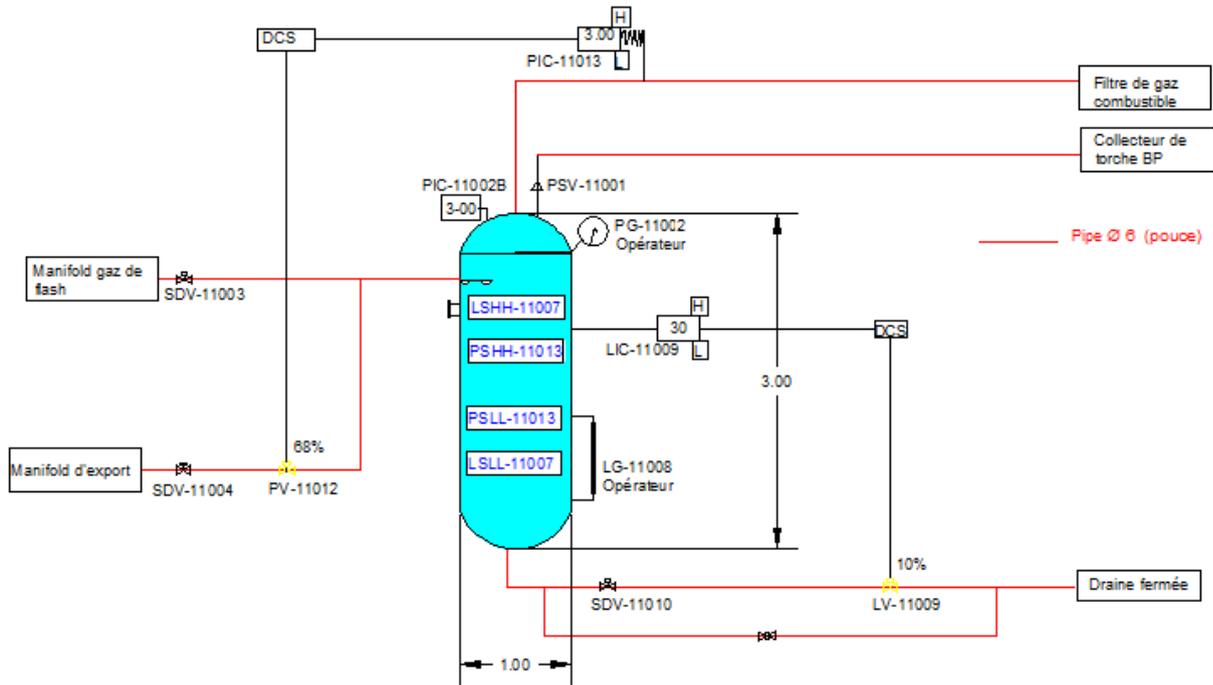


Figure 1- 11: Ballon de gaz combustible.

### 1.3.2. Description du système de contrôle et de régulation

Le principe de fonctionnement de ballon de gaz combustible (G01-VN-45-01) est basé sur des paramètres de fonctionnement (le niveau et la pression) ; chaque paramètre suivi par un système de contrôle et de régulation pour garder sa valeur opératoire normale parce qu'une déviation d'un de ces paramètres de son mode opératoire normale peut causer une situation potentiellement dangereuse [2].

Les systèmes de contrôle et de régulation de ces paramètres (pression et niveau) opératoires sont décrits ci- dessous :

#### 1.3.2.1. Régulation de niveau de condensat dans le ballon

En fonctionnement normal, le niveau de condensat dans le ballon de gaz combustible (G01-VN-45-01) est réalisé par le contrôleur de niveau de type TOR « tout ou rien » **LC-11009** avec deux seuils, haut et bas. Il constitué d'un capteur de niveau **LIC-11009**, qui ouvre la vanne de sortie condensats **LV-11009** sur niveau haut et la ferme sur niveau bas pour garder un niveau de **31,6 – 63,2 %** (voir figure1-12) [2].

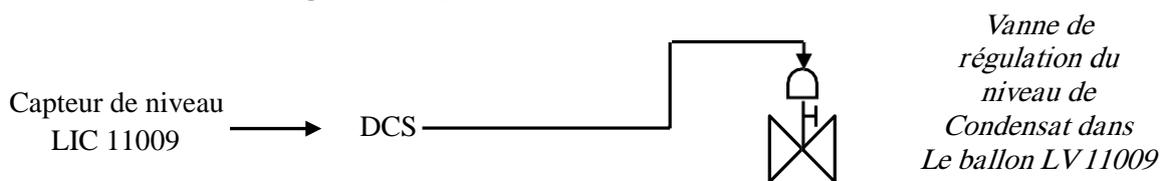
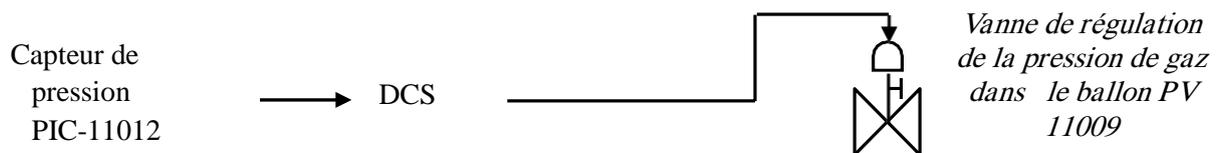


Figure 1- 12: Boucle de régulation du niveau de condensat dans le ballon de gaz combustible (G01-VN-45-01)

### 1.3.2.2. Régulation de la pression de gaz dans le ballon

En fonctionnement normal, la pression dans le ballon de gaz combustible (G01-VN-45-01) est celle du collecteur de gaz de flash qui est contrôlé par le « Système de répartition de charge et de contrôle de pression d'aspiration » de la compression [2].

Dans le cas où la quantité de gaz de flash est insuffisante par rapport aux besoins en gaz combustible (par exemple lors du déclenchement de l'unité de traitement de gaz ou au démarrage pour le séchage du four), le contrôleur de pression PC-11012 (voir figure.1-13) qui constitué d'un capteur de pression PIC-11012 (avec deux seuils, haut et bas), va ouvrir la vanne d'entrée gaz PV- 11012 afin d'admettre du gaz du pipeline d'expédition de gaz « gaz de secours » vers le ballon de gaz combustible et d'obtenir ainsi la pression voulue **3 – 5,5 bar** .



*Figure 1- 13: Boucle de régulation de la pression de gaz dans le ballon de gaz combustible (G01- VN-45-01)*

### 1.3.3. Description du système d'alarme existant dans le ballon de gaz combustible

Un système d'alarme est une barrière technique de sécurité/dispositifs de sécurité, intervient en cas de présence d'une déviation suite à une perturbation dans la régulation d'un paramètre de procédé, à cause de défaillance de système de contrôle et de régulation, pour alerter les opérateurs, afin qu'ils interviennent pour rendre le système à l'état de fonctionnement normal.

Les systèmes d'alarme existants dans le ballon de gaz combustible (G01-VN-45-01) sont :

#### 1.3.3.1. Alarme de haut niveau de condensat (LAH-11009)

L'alarme LAH-11009 intervient en cas d'augmentation de niveau (lorsque le niveau dans le ballon de gaz combustible (G01-VN-45-01) atteint le seuil  $63,2\%=592,5\text{mm} \leq L < 74\%=700\text{ mm}$ ) suite à une augmentation de production de condensat.

En cas où le niveau augmente et atteint le seuil  $L \geq 63,2\%=592,5\text{mm}$  le capteur de niveau LIC-11009 devrait indiquer cette déviation et le transmetteur de niveau LT-11009 envoyer un signal à l'unité de traitement DCS, cette dernière traite le signal reçu et l'adapte à une action d'ouverture de la vanne de sortie condensats LV-11009 et une alarme audio-visuelle pour alerter les opérateurs, afin qu'ils interviennent pour rendre le système à l'état de fonctionnement normal via la vanne manuelle de by-pass [2].

#### 1.3.3.2. Alarme de bas niveau de condensat (LAL-11009)

L'alarme LAL-11009 intervient en cas d'abaissement de niveau (lorsque le niveau dans le ballon de gaz combustible (G01-VN-45-01) atteint le seuil  $21\%=200\text{ mm} < L \leq 31,6\%=299,6\text{mm}$ )

En cas où le niveau diminué et atteint le seuil  $L \leq 31,6\%$ , le capteur de niveau **LIC-11009** devrait indiquer cette déviation et le transmetteur de niveau **LT-11009** envoyer un signal à l'unité de traitement DCS, cette dernière traite le signal reçu et l'adapter à une action de fermeture de la vanne de sortie condensats **LV-11009** et une alarme audio-visuelle pour alerter les opérateurs, afin qu'ils interviennent pour rendre le système à l'état de fonctionnement normal [2].

### **1.3.3.3. Alarme de basse pression de gaz (PAL-11012)**

L'alarme PAL-11012 intervient en cas d'abaissement de la pression de gaz dans le ballon de gaz combustible (G01-VN-45-01), lorsque la pression de gaz à l'intérieur de ballon de gaz combustible (G01-VN-45-01) diminuée et atteint le seuil ( $2 < P < 3 \text{ bar}$ ), suite à un déclenchement de l'unité de traitement de gaz ou défaillance de la vanne de régulation de la pression de gaz PV- 11012 (bloquée en position de fermeture)

En cas où la pression diminuée de seuil  $P < 3 \text{ bar}$  le capteur de pression PV-11012 devrait indiquer cette déviation et le transmetteur de pression PT-11012 envoyer un signal à l'unité de traitement DCS, cette dernière traite le signal reçu et l'adapter à une alarme audio-visuelle pour alerter les opérateurs [2].

### **1.3.3.4. Alarme de haute pression de gaz (PAH-11012)**

L'alarme PAH-11012 intervient en cas d'augmentation de la pression de gaz (lorsque la pression de gaz dans le ballon de gaz combustible (G01-VN-45-01) atteinte le seuil  $5,5 < P < 6,5 \text{ bar}$ ). Suite à une défaillance de la vanne de régulation de la pression de gaz PV-11012 (bloquée en position d'ouverture)

En cas où la pression augmente du seuil  $5,5 < P \text{ bar}$  le capteur de pression PIC-11012 devrait indiquer cette déviation et le transmetteur de pression PT-11012 envoyer un signal à l'unité de traitement, cette dernière traite le signal reçu et l'adapter à une alarme audio-visuelle pour alerter les opérateurs [2].

## **1.3.4. Description du système de surveillance**

Le système de surveillance est une barrière à action manuelle de sécurité, ce système est fonctionné en parallèle avec le système de régulation. Le système de surveillance constitue d'un sous-système de surveillance de la pression de gaz, et un sous-système de surveillance de niveau de condensat, dans le ballon de gaz combustible

Le sous-système de surveillance de la pression de gaz dans le ballon de gaz combustible constitue d'un manomètre PG-11002 et un opérateur sur site [2].

Le sous-système de surveillance de niveau de condensat dans le ballon de gaz combustible constitue d'un niveau à glass LG-11008 et un opérateur sur site qui intervient via la vanne manuelle de by-pass.

Les éléments suivants devront être vérifiés régulièrement. La périodicité de la vérification est une fois toutes les six heures (1 fois/6 h).

La vérification peut être visuelle. L'exploitant établira la liste des valeurs à relever ainsi que la périodicité du relevé [2].

**1.3.5. Description de système d'arrêt d'urgence ESD**

Le système d'ESD (Emergency Shut Down), connu aussi sous le nom SIS, permet en cas de détection de conditions anormales potentiellement dangereuses, résultantes de perturbation de système de contrôle et défaillance de système de surveillance et d'alarme, d'effectuer de manière sûre et automatique, un arrêt d'urgence des installations/des équipements/des machines et la dépressurisation (avec action de l'opérateur), afin de protéger le personnel et le matériel.

L'ESD est basé sur des modules à microprocesseurs équipés de logiciels résidents pour l'acquisition de données et pour la mise en œuvre des fonctions logiques combinées et séquentielles [2].

Le système ESD a une fonction indépendante de système de contrôle et de régulation, il est destiné uniquement à l'arrêt d'urgence. Le système ESD est constitué de plusieurs systèmes instrumentés de sécurité (PSD) :

Process Shut Down) ont la même unité de traitement (PLC TRICONEX) et chaque PSD a un facteur de déclenchement donné [2].

Les PSD constituant le système ESD sont :

**1.3.5.1. Sécurité de très haut niveau dans le ballon LSHH-11007**

Le système de sécurité LSHH-11007 est une barrière technique de sécurité/système instrumenté de sécurité autonome, consiste à assurer l'arrêt de l'unité gaz combustible, en cas de détection d'un niveau très haut dans le ballon gaz combustible (74%) [2].

Le système instrumenté de sécurité 20 LSHH-11007 est composé de :

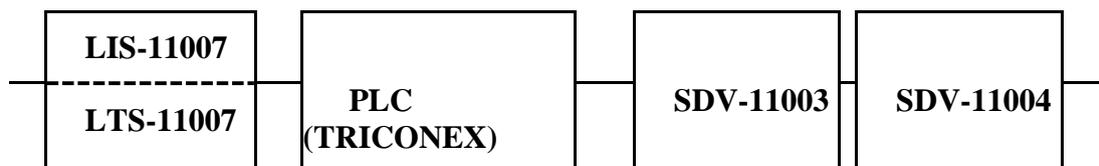
Capteur, transmetteur de niveau (LIS-11007, LTS-11007) mesure le niveau très haut à l'intérieur de ballon de gaz combustible (74%) et envoi un signal à l'unité de traitement.

Unité de traitement PLC (TRICONEX) (2oo3) (deux sur trois) traite le signal de très haut niveau et l'adaptation par l'action sur les actionneurs.

Les actionneurs : sont des vannes TOR SDV-11003, SDV-11004.

Lorsque le capteur de niveau LIS-11007 indique un niveau très haut (74%), le transmetteur de niveau LTS-11007 envoie un signal à l'unité de traitement PLC, puis cette dernière devrait traiter le signal reçu et l'adapter par l'action de fermeture des vannes d'entrée de gaz dans le ballon SDV- 11003, SDV-11004 [2].

L'architecture de système instrumenté LSHH-11007 est représentée dans la figure (1-14).



**Figure 1- 14: Architecture de la boucle de sécurité LSHH-11007.**

### 1.3.5.2. Sécurité de très bas niveau dans le ballon LSSL-11007 :

Le système de sécurité LSSL-11007 est une barrière technique de sécurité/système instrumenté de sécurité autonome, consiste à assurer l'arrêt de l'unité gaz combustible, en cas de détection de très bas niveau dans le ballon gaz combustible (21 %) [2].

Le système instrumenté de sécurité 20-LSSL-01013 est composé de :

- ❖ Capteurs, transmetteurs de niveau (LIS-11007, LTS-11007) mesure le niveau très bas dans le ballon gaz combustible (21 %) et envoi un signale à l'unité de traitement.
- ❖ Unité de traitement PLC (TRICONEX) (2oo3) traite le signal de très bas niveau et l'adaptation par l'action sur l'actionneur.
- ❖ La vanne (TOR) (SDV-11010).

Lorsque le capteur de niveau LIS-11007 indique un niveau très bas (21 %), le transmetteur de niveau LTS-11007 envoi un signal à l'unité de traitement PLC, puis cette dernière devrait traite le signal reçu et l'adapter par l'action de fermeture sur la vanne sortie condensats du ballon de gaz combustible (SDV-11010). L'architecture de système instrumenté LSSL-11007 est représentée dans la figure (1-15).

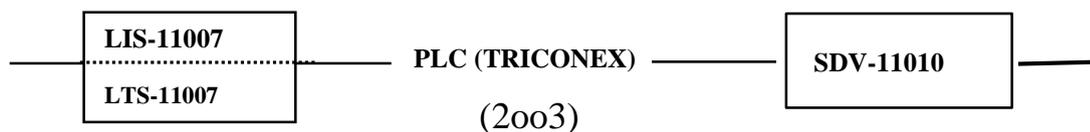


Figure 1- 15: Architecture de la boucle de sécurité 20-LSSL-01007 [2]

### 1.3.5.3. Sécurité de très haute pression de gaz sortie PSHH-11013 :

Le système de sécurité PSHH-11013 est une barrière technique de sécurité/système instrumenté de sécurité autonome, consiste à assurer l'arrêt total de l'unité gaz combustible, en cas de détection d'une très haute pression de gaz à la sortie du ballon (6.5 bar) [2].

Le système instrumenté de sécurité PSHH-11013 est composé :

- ❖ Capteur, transmetteur de pression (PIS-11013, PTS-11013) vote (1oo1) mesure la pression très haute à la sortie du ballon de gaz combustible (6.5 bar) et envoie un signal à l'unité de traitement.
- ❖ Unité de traitement PLC (TRICONEX) (2oo3), traite le signal de très haute pression et l'adaptation par l'action sur les actionneurs.
- ❖ Les actionneurs : sont des vannes TOR SDV-11003, SDV-11004.

Lorsque le capteur de pression PIS-11013 indique une pression très haute (6.5 bar) le transmetteur de pression PTS-11013 envoi un signal à l'unité de traitement PLC, puis cette dernière devrait traiter le signal reçu et l'adapter par l'action de fermeture sur les vannes d'entrée de gaz dans le ballon SDV-11003, SDV-11004.

L'architecture de système instrumenté PSHH.11013 est représentée dans la figure (1-16).

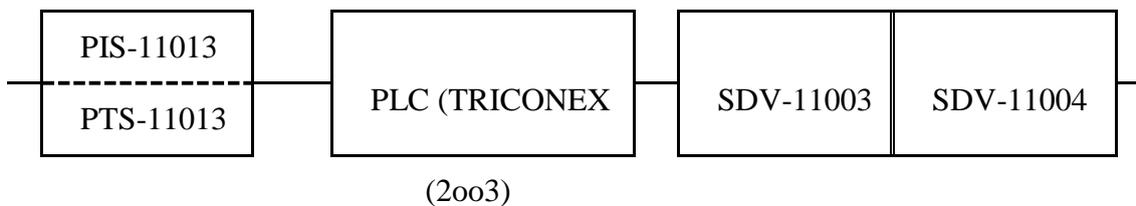


Figure 1- 16: Architecture de la boucle de sécurité PSHH-11013. [2]

**1.3.5.4. Sécurité de très basse pression de gaz PSL-11013 :**

Le système de sécurité PSL-11013 est une barrière technique de sécurité/système instrumenté de sécurité autonome, consiste à assurer l'arrêt total de l'unité gaz combustible, en cas de détection d'une pression très basse à la sortie du ballon (2 bar). [2]

Le système instrumenté de sécurité PSL-11013 est composé de :

- ❖ Capteur, transmetteur de pression (PIS-11013, PTS-11013) vote (1001) mesure la pression très basse à la sortie du ballon de gaz combustible (2 bar) et envoi un signal à l'unité de traitement.
- ❖ Unité de traitement PLC (TRICONEX) (2003) traite le signal de très basse pression et l'adaptation par l'action sur l'actionneur.
- ❖ L'actionneur : est la vanne (TOR) (SDV-11010).

Lorsque le capteur de pression PIS-11013, indique une pression très basse (2 bar) le transmetteur de pression PTS-11013 envoi un signal à l'unité de traitement PLC, puis cette dernière devrait traiter le signal reçu et l'adapter par l'action sur la vanne sortie condensats du ballon de gaz combustible (TOR) (SDV-11010).

L'architecture de système instrumenté PSL-11013 est représentée dans la figure (1-17).

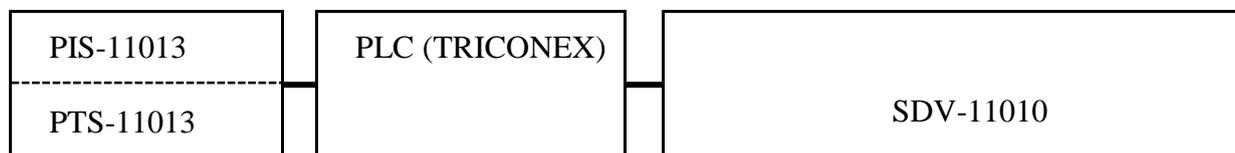


Figure 1- 17: Architecture de la boucle de sécurité PSL-11013 [2]

**1.3.5.5. Soupape de sécurité :**

Lorsque la pression à l'intérieur de séparateur triphasique augmente à cause de défaillance de système de contrôle, de surveillance et de système d'arrêt d'urgence PSHH-11013 un niveau de protection intervient pour limiter la surpression, c'est la soupape de sécurité PSV-11001 A/B qui a u seuil de tarage de 7.5 Bar [2].



Figure 1- 18: soupape de sécurité PSV-11001

**1.3.6. Système de détection de gaz :**

Les matériels de sécurité sont installés pour protéger le personnel, les matériels et l'environnement du site et permettre l'évacuation du personnel en toute sécurité en cas d'accident ou d'incident. Les matériels de sécurité regroupent les systèmes de détection d'incendie, les matériels fixes de lutte contre l'incendie et les extincteurs mobiles ou portatifs.

Le système de détection Feu et Gaz a pour objectifs de détecter au plus tôt toute situation dangereuse et anormale, d'avertir et alerter le personnel et les personnes présentes dans l'environnement proche de l'unité et d'initier les actions visant à maîtriser ou limiter les conséquences de l'incident détecté [4].

Le système de détection F&G est totalement distinct et indépendant de tout autre système destiné à la protection des installations. Conçu de manière à être à sécurité intégrée, il comprend également des fonctions d'auto-vérification (monitoring de lignes).

Un détecteur ponctuel de gaz inflammable est implanté à proximité du package de gaz combustible. Les détecteurs de gaz inflammable ponctuel sont de type IR de référence IR 2100 de GENERAL MONITORS Le détecteur ponctuel à infrarouges modèle IR2100 surveille en permanence les gaz combustibles dans les concentrations inférieures à la Limite inférieure d'explosivité (LIE) et fournit un signal analogue de 4 à 20 mA proportionnel à la concentration 0 à 100% de la LIE qu'il détecte [4].



*Figure 1- 19:Model IR 2100 [4]*

L'automate F&G est de type TMR il est alimenté par deux sources d'énergie indépendantes, chacune capable de répondre aux besoins du système sans perte d'informations.

Les informations en provenance des détecteurs F&G sont affichées sur un synoptique F&G placé en salle de contrôle ainsi que sur les stations opérateurs de la salle de contrôle.



*Figure 1- 20: automate programmable PLC F&G.*

**❖ Justification du choix de cette installation**

Nous avons adopté le système de gaz combustible pour remédier aux incidents causés par le débordement du condensât. En effet, selon le témoignage des ingénieurs responsables, la redondance du problème met en doute la fonctionnalité et l'efficacité du système existant, le liquide dépassait le niveau maximal où une partie débordait et l'autre partie été transférée vers le four, ceci a conduit à l'arrêt du processus et à la mise en alerte de l'unité de production.

**Conclusion**

Nous avons pu à travers ce chapitre situer le champ de notre étude et déterminer le système critique (le système ballon de gaz combustible (G01-VN-45-01)) induisant à la survenue des risques majeurs. Nous avons donné une description détaillée de chaque sous système du ballon de gaz combustible, afin de décrire ses différents équipements et composants présentant des données indispensables pour l'accomplissement des prochaines étapes de notre étude.

*Chapitre 2*  
*Analyse des risques*

## **Introduction**

Ce chapitre sera consacré dans un premier temps, à décrire la démarche d'analyse que nous allons suivre pour la maîtrise des risques.

Dans un second temps, nous allons donner une analyse technique et fonctionnelle du système du ballon de gaz combustible (G01-VN-45-01), ensuite, nous allons faire une analyse préliminaire par la méthode HAZOP, dans le but d'identifier les scénarios d'accidents critiques.

### **2.1. Description de la démarche d'analyse retenue**

Le synoptique de la démarche de maîtrise des risques est présenté dans la figure 2-1.

Ce synoptique commence par une définition du système selon sa décomposition suivant les aspects fonctionnels, structurels et temporels.

Cette étape a pour but l'acquisition d'informations pertinentes sur celui-ci, en effet, pour la maîtrise des risques industriels, nous sommes tenus de récolter les informations sur les barrières de sécurité existantes, afin de prévenir l'apparition d'une situation dangereuse (barrières de prévention) ou d'en limiter les conséquences (barrières de protection) qui doivent faire l'objet d'une analyse approfondie, en vue de déterminer le niveau de sécurité requis et de le comparer au niveau de sécurité réel.

Le déploiement de cette démarche nécessite l'usage des méthodes de sûreté de fonctionnement appropriées. Dans notre cas, les méthodes HAZOP, LOPA et AdD ont été retenues. Ces méthodes constituent le cadre méthodologique de notre travail, seront reprises en détail dans cette partie.

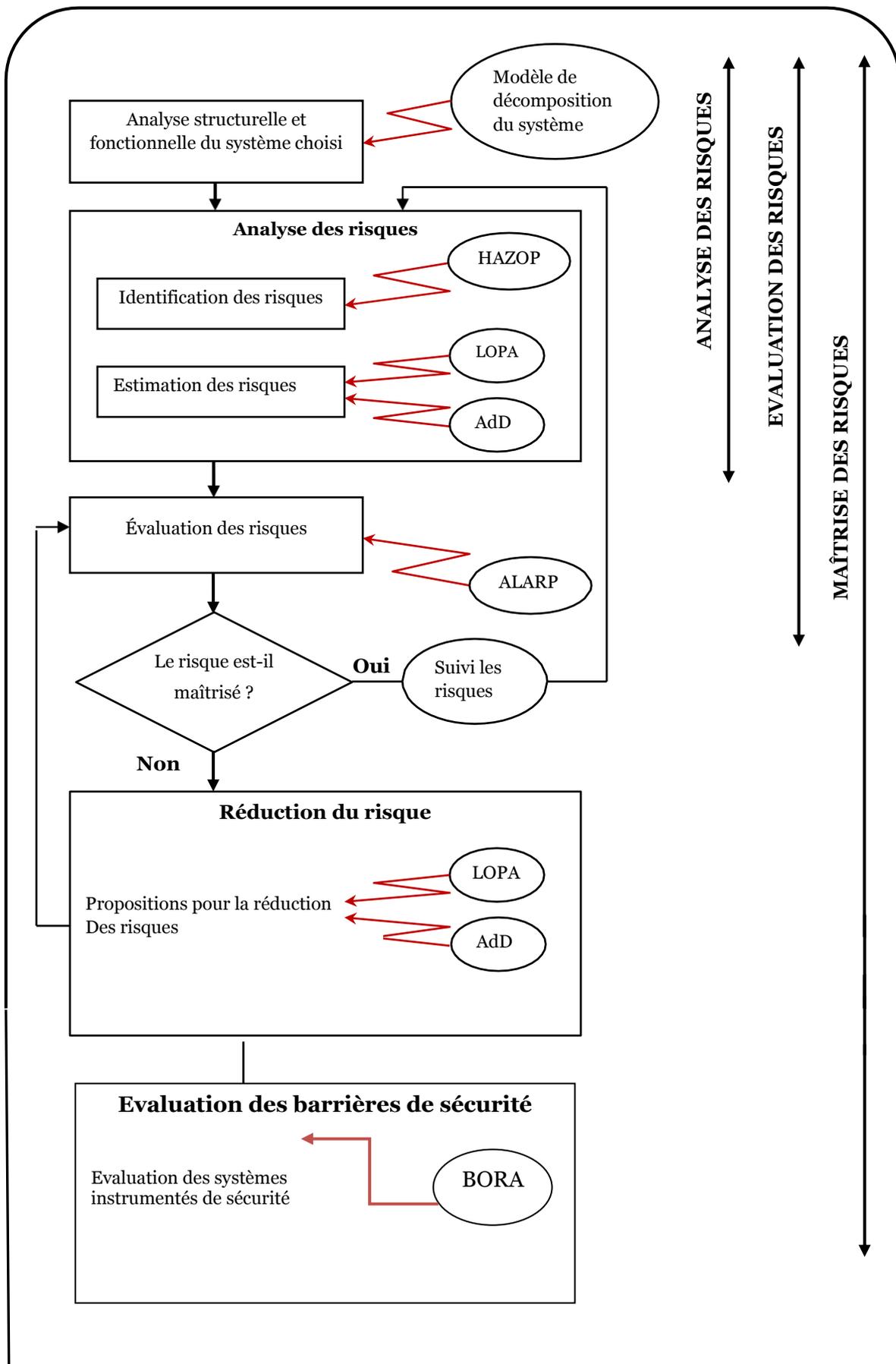


Figure 2- 1 : Démarche d'analyse des risques proposée.

## 2.2. Décomposition structurelle et fonctionnelle

Avant toute analyse de risques, on prévoit une décomposition du système étudié. Il s'agit d'une décomposition structurelle et fonctionnelle, le système est décomposé en sous systèmes, chaque sous système est décomposé à son tour en équipements et chaque équipement en composants avec la définition des fonctions dans chaque phase de décomposition [5].

Cette étape consiste à recueillir les premières informations relatives au système et à ses caractéristiques techniques et fonctionnelles [7]. Les résultats sont généralement présentés sous forme de tableaux.

### 2.2.1. Décomposition structurelle et fonctionnelle du ballon de gaz combustible

La décomposition structurelle et fonctionnelle est une étape importante permettant de comprendre davantage le système ballon de gaz combustible (G01-VN-45-01). Les résultats de cette décomposition sont présentés comme suit.

#### 2.2.1.1. Sous système de contrôle et de régulation

Le contrôle dans le ballon de gaz combustible concerne le niveau de condensat et La pression de gaz dans ce ballon.

Tableau 2- 1 :Sous système de contrôle et de régulation.

Sous système	Équipement	Composant
Ss1 : sous système de contrôle et de regulation [contrôle et régulation des paramètres de procédé].	E1.1: boucle de régulation de niveau de condensat (LC-11009) [contrôle et régulation de niveau de ondensat dans le ballon].	C1.1.1 : (capteur LIC-11009, transmetteur LTC-11009) de niveau [mesure le niveau de condensat dans le ballon et le transmet vers le DCS].
		C1.1.2: DCS (solver) [adaptation du niveau de liquide dans le ballon à une action sur la vanne LV-11009 et une alarme audio-visuel].
		C1.1.3: la vanne LV-11009 [ouverture et fermeture sur alarme (LAH, LAL) pour réguler le niveau de condensat dans le ballon].
	E1.2 : boucle de régulation de pression (PC-11012) [contrôle et régulation de pression de gaz dans le ballon].	C1.2.1: (capteur PIC-11012, transmetteur PTC-11012) de pression [mesure la pression de gaz à la sortie de ballon vers le filtre de gaz combustible].
		C1.2.2: DCS (solver) [adaptation de l'abaissement de la pression de gaz dans le ballon par action sur la vanne PV-11012 et une alarme audio-visuel].
		C1.2.3: La vanne PV-11012 [ouverture en pourcentage, afin d'admettre du gaz de secours, pour réguler la pression de gaz vers le ballon en fonction de la pression de gaz à la sortie de ballon].

**2.2.1.2. Sous système de surveillance**

Le sous système de surveillance est fonctionné en parallèle avec le système de régulation. Le système de surveillance constitue d'un équipement de surveillance de la pression de gaz, et un autre de surveillance de niveau de condensat, dans le ballon de gaz combustible. La décomposition du sous système de surveillance est représentée dans le tableau (2-2) suivant :

*Tableau 2- 2 : Sous système de surveillance*

Sous système	Équipement	Composant
<p><b>SS2:sous système de surveillance</b> [faire surveiller les paramètres de procédé par l'opérateur]</p>	<p><b>E2.1:</b>équipement de surveillance de la pression de gaz dans le ballon [surveiller la pression de gaz dans le ballon].</p>	<p><b>C2.1.1:</b> Manomètre PG-11002 [mesure la pression de gaz dans le ballon].</p>
		<p><b>C2.1.2:</b> L'opérateur humain [vérifier régulièrement la pression de gaz dans le ballon chaque six heures et établir la liste des valeurs à relever].</p>
	<p><b>E2.2:</b>équipement de surveillance de niveau de condensat dans le ballon [surveiller le niveau de condensat dans le ballon].</p>	<p><b>C2.2.1:</b> Niveau à glass LG-11008 [mesure le niveau de condensat dans le ballon].</p>
		<p><b>C2.2.2:</b> L'opérateur humain [vérifier régulièrement le niveau de condensat dans le ballon chaque six heures et établir la liste des valeurs à relever].</p>
		<p><b>C2.2.3:</b>La vanne manuelle de by-pass</p>

**2.2.1.3. Sous système d'alarme**

Dans le cas où le système de contrôle et de régulation ne répond pas à cause de défaillance d'un ou des composants de la boucle, le système d'alarme devrait intervenir pour alerter les opérateurs afin qu'ils interviennent pour rendre le système à l'état normal.

La décomposition du sous système de surveillance et d'alarme est représentée dans le tableau (2-3) suivant :

Tableau 2- 3 : Sous système d'alarme

Sous système	Équipement	Composant
Ss3: Sous système d'alarme [faire alerter l'opérateur par un signal audio visuel].	E3.1: Alarme de haut niveau de condensat LAH-11009 [faire alerter les opérateurs en cas de haut niveau].	C3.1.1: (capteur LIC-11009, transmetteur LTC-11009) de niveau [mesure le niveau de condensat dans le ballon et le transmet vers le DCS].
		C3.1.2: DCS (solver) [adaptation du niveau de liquide dans le ballon à une alarme audio-visuel].
		C3.1.3: L'opérateur humain [intervient pour éliminer la déviation avec plusieurs actions].
		C3.1.4: La vanne manuelle de by-pass
	E3.2: Alarme de bas niveau de condensat LAL-11009 [faire alerter les opérateurs en cas de bas niveau].	C3.2.1: (capteur LIC-11009, transmetteur LTC-11009) de niveau [mesure le niveau de condensat dans le ballon et le transmet vers le DCS].
		C3.2.2: DCS (solver) [adaptation du niveau de liquide dans le ballon à une alarme audio-visuel].
		C3.2.3: L'opérateur humain [intervient pour éliminer la déviation avec plusieurs actions].
	E3.3: Alarme de haute pression (PAH-11012) [faire alerter les opérateurs en cas de haute pression].	C3.3.1: (capteur PIC-11012, transmetteur PTC-11012) de pression [mesure la pression de gaz à la sortie de ballon vers le filtre de gaz combustible].
		C3.3.2: DCS (solver) [adaptation de la mesure de haute pression de gaz dans le ballon à une alarme audio-visuel].
		C3.3.3: L'opérateur humain [intervient pour éliminer la déviation avec plusieurs actions].
	E3.4: Alarme de basse pression (PAL-11012) [faire alerter les opérateurs en cas de basse pression].	C3.4.1: (capteur PIC-11012, transmetteur PTC-11012) de pression [mesure la pression de gaz à la sortie de ballon vers le filtre de gaz combustible].
		C3.4.2: DCS (solver) [adaptation de la mesure de basse pression de gaz dans le ballon à une alarme audio-visuel].
C3.4.3: L'opérateur humain [intervient pour éliminer la déviation avec plusieurs actions].		

#### 2.2.1.4. Sous système d'arrêt d'urgence

Le système ESD « emergency shut down », connu aussi sous le nom SIS, L'ESD permet en cas de détection de conditions anormales potentiellement dangereuses, d'effectuer de manière sûre et automatique, un arrêt d'urgence. Le tableau 2-4 représente sa décomposition structurelle et fonctionnelle.

Tableau 2- 4 : Sous système d'arrêt d'urgence

Sous système	Équipement	Composants
<p><b>Ss4 : ESD (Emergency Shut Down) [assurer l'arrêt total du système de gaz combustible].</b></p>	<p><b>E4.1 :</b> LSHH-11007 [sécurité de très haut niveau de condensat].</p>	<p><b>C4.1.1 :</b> (capteur LIS-11007, transmetteur LTS-11007) de très haut niveau [mesure le niveau très haut de condensat dans le ballon].</p>
		<p><b>C4.1.2 :</b> PLC (solver) TRICONEX [adaptation de la mesure de très haut niveau de condensat dans le ballon à une action sur les vannes SDV-11003, SDV-11004].</p>
		<p><b>C4.1.3 :</b> la vanne SDV-11003 [fermeture sous un signal de très haut niveau pour couper l'alimentation de ballon en gaz et en condensat]</p>
		<p><b>C4.1.4 :</b> la vanne SDV-11004 [fermeture sous un signal de très haut niveau pour couper l'alimentation de ballon en gaz de secours].</p>
	<p><b>E4.2 :</b> LSLL-11007 [sécurité de très bas niveau de brut].</p>	<p><b>C4.2.1 :</b> (capteur LIS-11007, transmetteur LTS-11007) de très bas niveau [mesure le niveau très basde condensat dans le ballon].</p>
		<p><b>C4.2.2 :</b> PLC (solver) TRICONEX [adaptation de la mesure de très bas niveau de condensat dans le ballon à une action sur la vanne SDV-11010].</p>
		<p><b>C4.2.3 :</b> la vanne SDV-11010 [fermeture sous un signal de très bas niveau pour couper la sortie de condensat].</p>
	<p><b>E4.3 :</b> PSHH-11013 [sécuritéde très haute pression de gaz dans leballon].</p>	<p><b>C4.3.1 :</b> (capteur PIS-11013, transmetteur PTS-11013) de très haute pression [mesure la pression très haute de gaz dans le ballon].</p>
		<p><b>C4.3.2 :</b> PLC (solver) TRICONEX [adaptation de la mesure de très haute pression de gaz dans le ballon à une action sur les vannes SDV-11003, SDV-11004].</p>
		<p><b>C4.3.3 :</b> la vanne SDV-11003 [fermeture sous un signal de très haute pression pour couper l'alimentation de ballon en gaz et en condensat]</p>
		<p><b>C4.3.4 :</b> la vanne SDV-11004 [fermeture sous un signal de très haute pression pour couper l'alimentation de ballon en gaz de secours].</p>
	<p><b>E4.4 :</b> PSLL-11013 [sécurité de très basse pression de gaz dans le ballon]</p>	<p><b>C4.4.1 :</b> (capteur PIS-11013, transmetteur PTS-11013) de très basse pression [mesure la pression très basse de gaz dans le ballon].</p>
<p><b>C4.4.2 :</b> PLC (solver) TRICONEX [adaptation de la mesure de très basse pression de dans le ballon à une action sur la vannes SDV-11010].</p>		
<p><b>C4.4.3 :</b> la vanne SDV-11010 [fermeture sous un signal de très basse pression pour couper la sortie de condensat].</p>		

### 2.2.1.5. Sous système de protection

En cas de présence d’une déviation potentiellement dangereuse et le système d’arrêt d’urgence ESD défaillant, un niveau de protection intervient pour minimiser les conséquences qui peuvent survenir.

Le tableau 2-5 montre les différents composants du sous système de protection :

Tableau 2- 5 : Sous système de protection

Sous système	Équipement	Composant
<b>Ss.5: Sous système de protection</b> [intervient pour minimiser les conséquences d’une déviation ou d’un accident]	<b>E5.1</b> : protection contre la surpression [intervenir en cas d’une surpression].	<b>C5.1.1</b> : la soupape de sécurité PSV-11001 [dimensionnée pour évacuer le gaz bloqué].
	<b>E5.2</b> : protection contre les nuages explosifs [intervenir en cas d’une fuite].	<b>C5.2.1</b> : détecteur de gaz IR 2100 [détection de gaz].
		<b>C5.2.2</b> : PLC (solver) F&G [adapter la détection de gaz à une alarme audio-visuel]

- **Commentaire**

Les résultats de cette analyse technique et fonctionnelle du ballon de gaz combustible constitueront une base de donnée pour l’application de la démarche d’analyse des risques que nous avons proposée, et qui fera l’objet du présent chapitre.

## 2.3. Identification des événements indésirables

Une fois l’analyse structurelle et fonctionnelle du système étudié est faite, l’identification des événements indésirables sera faite par l’application d’une des méthodes d’analyse préliminaire. Dans notre cas nous avons choisi la méthode HAZOP qui va être décrite brièvement dans cette étape.

### 2.3.1. Principe de la méthode HAZOP

La méthode HAZOP est un outil qualitatif très utilisé en particulier dans l’industrie pétrochimique. Généralement HAZOP représente une extension de l’analyse des modes de défaillance et leurs effets (AMDE). Elle consiste à détecter des problèmes potentiels qui peuvent causer un écart par rapport à la conception d’origine et à voir les causes et les conséquences de ces écarts. Cette méthode est mise en œuvre à la fin de phase de conception et précisément au début de phase de réalisation des systèmes industriels puisqu’elle s’appuie sur les plans de circulation des fluides et les schémas détaillés PID (Piping and instrumentation diagram) du système étudié [6], [8].

### 2.3.2. Déroulement de la méthode HAZOP

Après avoir décomposé le système en parties (lignes de circulation), tous les paramètres

associés au fonctionnement du système doivent être identifiés, généralement les paramètres rencontrés concernent la température, la pression, le débit et le temps [6]. Ces derniers peuvent subir des contraintes intrinsèques ou extrinsèques qui vont rendre anormal le fonctionnement du système.

Citons par exemple :

Augmentation / diminution de débit.

Diminution / élévation de la température ou de pression.

Dépassement de temps...etc.

Ces variations (dérives potentiels) des paramètres engendrent des conséquences potentielles et pour prévenir ces conséquences, HAZOP identifie pour chaque dérive les moyens de détection et les différentes barrières de sécurité prévues pour réduire l'occurrence des accidents.

Dans notre étude de cas, cette méthode sera appliquée dans un but d'identification des différents scénarios d'accidents.

### **2.3.3. Avantage de HAZOP**

HAZOP est une méthode très adaptée à l'étude de dangers dans le domaine des procédés tel que le domaine chimique [8].

### **2.3.4. Limite de HAZOP**

HAZOP permet difficilement d'analyser les événements résultant de la combinaison simultanée de plusieurs défaillances [8].

### **2.3.5. Application de la méthode HAZOP sur le système de gaz combustible**

L'application de la méthode HAZOP nécessite l'usage des P&ID (ANNEXE 1). Dans notre cas, nous avons utilisé les schémas de principe du système (fig 2-2).

Dans ce cas, l'usage de la méthode HAZOP débute par l'identification des nœuds.

Quatre nœuds ont été retenus (fig. 2-2) :

Nœud 1 = Ligne depuis manifold de gaz de flash \_ ballon de gaz combustible ;

Nœud 2 = Ballon de gaz combustible ;

Nœud 3 = Ligne depuis ballon \_ compresseur 1er étage ;

Nœud 4 = Ligne depuis ballon\_ réservoir de drain fermé ;

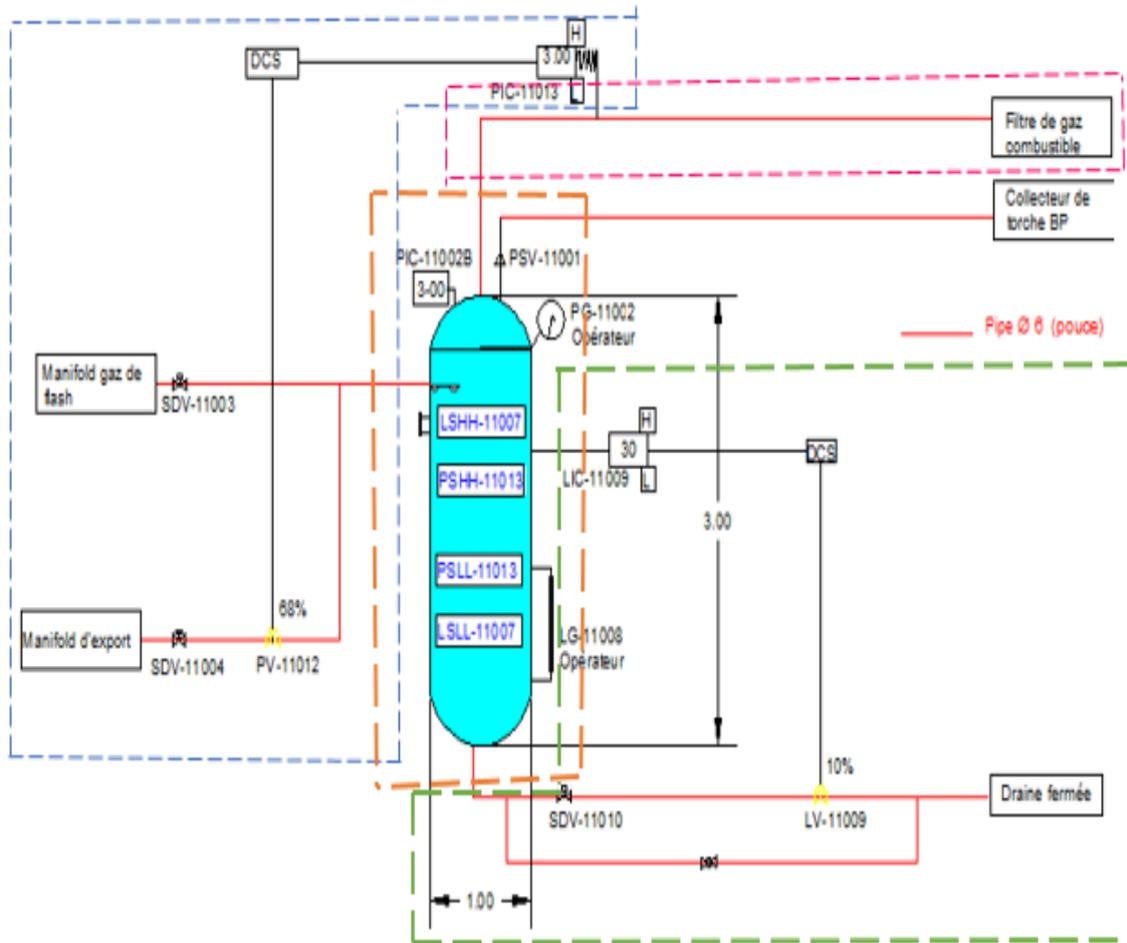


Figure 2- 2 : Ballon de gaz combustible

Nous nous limitons dans notre étude HAZOP au nœud ballon de gaz combustible.

Les résultats d'analyse HAZOP de ce nœud sont présentés dans les tableaux des pages suivantes :

Tableau 2- 6 : HAZOP pour le sous système ballon de gaz combustible (G01-VN-45-01) (1/6)

<b>EQUIPEMENT : ballon de gaz combustible</b>						
G01-VN-45-01: ballon de gaz combustible conditions opératoires : 4.5 bar g et 70°C conditions design : 7.5 bar g et 90°C						
paramètre	Mot-clé	Deviation	Causes	Consequences	Moyens de détection	Protection
Débit de gaz à l'entrée du ballon	Plus de	plus de débit à l'entrée de ballon	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Augmentation de pression dans le manifold d'aspiration (phénomène transitoire) ou à cause de Déclenchement des trains de compression</li> <li>2. Ouverture trop importante de la vanne PV-11012 à cause de :                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- dérive du capteur PIC-11012.</li> <li>- défaillance de la vanne (bloquée ouverte).</li> </ul> </li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. (1, 2) Augmentation de pression de gaz dans le ballon de gaz combustible.</li> <li>2. (1, 2) Légère augmentation de la consommation de gaz combustible au niveau du balayage des réseaux torche (orifices de restriction).</li> </ol>	-	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. (1) PG-11002 et opérateur, contrôle de pression PC 11012 avec alarme</li> </ol>
Débit de gaz à l'entrée du ballon	Moins de/ pas de	Moins de débit à l'entrée de ballon	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Diminution de pression dans le manifold d'aspiration (phénomène transitoire).</li> <li>2. Fermeture trop importante de la PV- 11012 à cause de :                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- dérivé du capteur PIC-11012.</li> <li>- Défaillance de la vanne (bloquée fermée)</li> </ul> </li> <li>3. Fermeture intempestive de la SDV-11003.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. (1, 2, 3) Diminution de pression du système gaz combustible.</li> </ol>	-	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. (1) PG-11002 et opérateur, contrôle de pression PC 11012 avec alarme.</li> </ol>

Tableau 2- 7 : HAZOP pour le sous système ballon de gaz combustible (G01-VN-45-01) (2/6)

Parametre	Mot-clé	Deviation	Causes	Consequences	Moyens de détection	Protection
<b>Débit de gaz à la sortie du ballon</b>	Plus de	plus de Débit de gaz à la sortie.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Consommation plus importante au niveau des fours.</li> <li>2. Ouverture trop important de la vanne LV- 11009 (débit de liquide sortant) à cause de : <ul style="list-style-type: none"> <li>- dérivé du capteur LIC-11009.</li> <li>- défaillance de la vanne (bloquée ouverte).</li> </ul> </li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. (1) Baisse de pression dans le système gaz combustible due à la perte de charge enligne.</li> </ol>	-	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. (2) contrôle de niveau PC-11009 avec alarme, LG-11008 et opérateur.</li> </ol>
<b>Débit de gaz à la sortie du ballon</b>	Moins de/pas de	moins de Débit de gaz à la sortie.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Consommation moins importante ou arrêt des fours.</li> <li>2. Fermeture trop importante de la LV 11009 (débit de liquide sortant) à cause de : <ul style="list-style-type: none"> <li>- dérivé du capteur LIC-11009.</li> <li>- Défaillance de la vanne (bloquée fermée).</li> </ul> </li> <li>3. Fermeture intempestive de la SDV-11010</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. (1) Augmentation de pression dans le système gaz combustible due à la réduction de perte de charge enligne.</li> <li>2. (2) Augmentation de niveau de liquide dans le ballon de gaz combustible.</li> </ol>	-	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. (1) PG-11002 et opérateur, contrôle de pression PC 11012 avec alarme.</li> <li>2. (2) contrôle de niveau PC-11009 avec alarme, LG-11008 et opérateur.</li> </ol>

Tableau 2- 8 : HAZOP pour le sous système ballon de gaz combustible (G01-VN-45-01) (3/6)

paramètre	Mot-clé	déviati on	Causes	conséquences	Moyens de detection	Protection
Niveau de condensat dans le ballon	plus de	Niveau de condensat dans le ballon élevé	<p>1. Perte de contrôle de niveau à cause de :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Défaillance du capteur de niveau LIC- 11009.</li> <li>- Défaillance de la LV 11009 (bloquée fermée) (débit de liquide sortant).</li> <li>- Défaillance de DCS</li> </ul> <p>2. Fermeture intempestive de la SDV-11010 ou la SDV-11010 restée fermée après le redémarrage du système.</p> <p>3. Non purge des coalesceurs</p>	<p>1. (1, 2, 3) Arrêt du système de gaz combustible par déclenchement de LSHH-11007.</p> <p>2. (1, 2, 3) Entraînement de liquide vers les filtres coalesceurs, puis vers les rebouilleurs.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Capteur</li> <li><input type="checkbox"/> LG-11008</li> </ul> l'opérateur.	<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Alarme de haut niveau dans le ballon LAH-11009 et l'opérateur, et sécurité LSHH-11007 qui arrête le système gaz combustible et ferme les SDV-11003 et 11004.</li> </ul>
Niveau de condensat dans le ballon	Moins de	Bas niveau de condensat dans le ballon	<p>1. Ouverture trop importante de la vanne LV-11009 (débit de liquide sortant) à cause de :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- dérivé du capteur LIC-11009.</li> <li>- Défaillance de la vanne LV-11009 (bloquée ouverte).</li> </ul> <p>2. Moins de débit de gaz à l'entrée</p>	<p>1. (1, 2) Baisse de niveau de liquide</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Capteur</li> <li><input type="checkbox"/> LG-11008</li> </ul> l'opérateur.	<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Alarme de bas niveau dans le ballon LAL-11009 et l'opérateur, et sécurité LSLL-11007 qui arrête le système gaz combustible et ferme les SDV-11010</li> </ul>

Tableau 2- 9 : HAZOP pour le sous système ballon de gaz combustible (G01-VN-45-01) (4/6)

paramètre	Mot-Clé	Deviation	Causes	Consequences	Moyens de Detection	Protection
<b>Température à l'intérieur du ballon</b>	Plus de	Température à l'intérieur du ballon Élevée	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Cas feu externe.</li> <li>2. Unité à l'arrêt sous le soleil</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. (1, 2) Surpression.</li> <li>2. (1, 2) Arrêt de système de gaz combustible par déclenchement de SIS PSHH-11013.</li> <li>3. (1) Éclatement de séparateur si: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Le SIS PSHH-11013 défaillant.</li> <li>• La soupape de sécurité PSV-11001 bloquée fermée.</li> </ul> </li> <li>4. (1) BLEVE du ballon de gaz combustible.</li> <li>5. Perte de produit, des biens et de système.</li> <li>6. Impact environnementale.</li> <li>7. Perte de production</li> </ol>		<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Protection active au feu(déluge).</li> <li><input type="checkbox"/> Système de refroidissement</li> <li><input type="checkbox"/> Soupape de sécurité 20-PSV-010008.</li> <li><input type="checkbox"/> Température design de 90°C prend en compte</li> <li><input type="checkbox"/> Arrêt d'urgence par un bouton poussoir en locale et en salle de contrôle.</li> </ul>
<b>Température à l'intérieur du ballon</b>	Moins de	Température à l'intérieur du ballon Moins	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Arrêt ou dysfonctionnement du réchauffeur.</li> <li>2. Refroidissement en ligne sur le réseau de distribution</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. (1, 2) Risque de condensation en ligne enaval.</li> <li>2. (2) Endommagement des brûleurs et éventuellement de la sole du four</li> </ol>		<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Alarme TDAL 11026, et ligne calorifugée en aval</li> </ul>

Tableau 2- 10 : HAZOP pour le sous système ballon de gaz combustible (G01-VN-45-01) (5/6)

Parametre	Mot-clé	Deviation	Causes	Consequences	Moyens de détection	Protection
<b>Pression de gaz dans le ballon</b>	Plus de	Surpression	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Consommation</li> <li>2. Perte de contrôle de pression à cause de :                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Défaillance du capteur de pression PIC-11012.</li> <li>- Défaillance de DCS</li> <li>- Défaillance de la l'entrée).</li> </ul> </li> <li>3. Feu externe.</li> <li>4. Colmatage du filter coalesceur</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. (1, 2) Arrêt du système de gaz combustible par déclenchement de PSHH-11013.</li> <li>2. (1, 2) Éclatement de ballon de gaz combustible, qui peut causer en présence d'une source d'ignition une boule de feu, jet enflammé ou flashfire.</li> <li>3. (1, 2) Formation d'un nuage explosif.</li> <li>4. (3) BLEVE du ballon de gaz combustible.</li> <li>5. (1, 2, 3) Perte de produit, des biens et de système.</li> <li>6. (1, 2, 3) Impact environnementale.</li> <li>7. (1, 2, 3) Perte de production.</li> <li>8. (4) Détérioration éventuelle des cartouches du coalesceur.</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Capteur de pression PIC-11012.</li> <li><input type="checkbox"/> PG-11002 et l'opérateur.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Alarme de pression haute PAH11012,</li> <li><input type="checkbox"/> Sécurité PSHH 11013 qui arrête le système gaz combustible et ferme les SDV 11003 et 11004.</li> <li><input type="checkbox"/> Soupape de sécurité PSV-11001</li> </ul>
<b>Pression de gaz dans le ballon</b>	Moins de	Basse pression de gaz dans le ballon	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Moins de débit à l'entrée de ballon.</li> <li>• Plus de débit de gaz à la sortie du ballon.</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>2. Chute de pression dans le ballon</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Capteur de pression PIC-11012.</li> <li><input type="checkbox"/> PG-11002 et l'opérateur.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Contrôle de pression PC-11012 qui ouvre la PV 11012 de la source secours de gaz combustible provenant du gaz export</li> <li><input type="checkbox"/> Alarme de pression basse PAL-11012,</li> <li><input type="checkbox"/> sécurité PSL-11013 qui arrête le système gaz combustible.</li> </ul>

Tableau 2- 11 : HAZOP pour le sous système ballon de gaz combustible (G01-VN-45-01) (6/6)

Paramètres	Mot-clé	Deviation	Causes	Consequences	Moyens de détection	Protection
		fuite autre	<p><b>1.</b> Ruptures de piquages, fuites de brides, de joints.</p> <p><b>2.</b> Perte d'étanchéité au niveau des PSV.</p> <p><b>3.</b> Corrosion.</p> <p><b>4.</b> Agression externe.</p>	(1, 2, 3, 4) Fuite de gaz à l'atmosphère et éventuellement inflammation (jet enflammé ou flash fire) en présence d'une source d'ignition	<input type="checkbox"/> Détecteur de gaz de type IR2100	<input type="checkbox"/> Intervention de l'opérateur par plusieurs actions.

**Conclusion**

Ce chapitre a fait l'objet d'une application de la démarche d'analyse sur un procédé industriel à savoir le ballon de gaz combustible.

Les résultats de l'analyse technique et fonctionnelle du ballon de gaz combustible constitueront une base de données pour l'application de la démarche d'analyse des risques.

Les résultats de la méthode HAZOP, nous ont permis d'identifier les scénarios d'accidents critiques, ces derniers seront analysés davantage par la méthode LOPA dans le chapitre suivant.

*Chapitre 3*  
*Estimation des risques*

## **Introduction**

Étant donné que le risque est la combinaison de la probabilité d'occurrence d'une déviation et de gravité de ses conséquences, dans ce chapitre, et dans un premier temps nous allons estimer la gravité des conséquences des déviations en se basant sur les résultats d'analyse HAZOP du chapitre précédent et sur le critère arrêt de production (perte financière).

Dans un second temps, l'estimation des probabilités ou des fréquences d'occurrence des déviations grave (selon l'estimation de la gravité) sera faite par les deux méthodes d'analyse des risques, la méthode LOPA combinée par la méthode AdD.

### **3.1. Estimation de la gravité des risques du ballon de gaz combustible**

L'examen des tableaux d'analyse HAZOP précédents, montre que la recherche des causes et des conséquences des déviations crédibles, est rendue facile grâce à la décomposition du système présentée dans l'étape 1 de cette démarche de maîtrise des risques. L'analyse par la méthode HAZOP nous a permis de déterminer les différents scénarios pouvant conduire à des conséquences graves. Il ressort que les conséquences les plus graves selon le critère perte de production sont :

**(S1)** : Éclatement de ballon de gaz combustible & formation d'un nuage de gaz extrêmement inflammable (possibilité de formation d'une boule de feu ou flash fire en présence d'une source d'ignition).

**(S2)** : Les phénomènes dangereux (Jet enflammé, UVCE ou flash fire).

**(S3)** : L'entraînement de liquide vers le four (l'arrêt de four par détection de la fumée de combustion de condensat, libération de l'agent extincteur CO<sub>2</sub> et la mousse et par conséquent l'arrêt de l'unité de traitement de gaz).

L'évaluation de la criticité des conséquences des déviations, s'effectue dans notre cas, sur la base de la grille de la figure suivante :

Probabilité \ Gravité	1 Improbable $1E-6 > F$ (/an)	2 Rare $1E-6 \leq F < 1E-5$ (/an)	3 Peu fréquent $1E-5 \leq F < 1E-4$ (/an)	4 Occasionnelle $1E-4 \leq F < 1E-3$ (/an)	5 Fréquent $1E-3 \leq F$ (/an)
1: négligeable • Dégradation de la capacité de l'installation à moins de 10%	Zone de risques acceptables				
2: Modéré • Dégradation de la capacité de l'installation à moins de 50%		Zone de risques tolérables			
3: critique • Blessures graves • Arrêt de l'unité (train).				Zone de risques inacceptables	
4: catastrophique • La mort; • Arrêt de l'usine				Zone de risques inacceptables	

figure 3- 1 : La grille de criticité adoptée par SH & BP [3].

Les conséquences identifiées ci-dessus sont de différentes catégories de gravité allant de modérée au catastrophique. L'estimation de la gravité de ces conséquences (tableau 3-1) est faite selon le critère perte de production établi dans la grille de criticité (figure 3-1)

Tableau 3- 1 : Gravité de certaines des conséquences issues de l'analyse HAZOP.

S <sub>i</sub>	Conséquences	Gravité	Description
S1	Éclatement de ballon de gaz combustible & formation d'un nuage de gaz extrêmement inflammable.	4	Arrêt de l'unité de traitement (possibilité d'arrêt de l'usine)
S2	Jet enflammé, UVCE ou flash fire	4	Arrêt de l'unité de traitement (possibilité d'arrêt de l'usine)
S3	Entraînement de liquide vers le four	3	Arrêt de l'unité de traitement (possibilité d'arrêt de l'usine)

### 3.2. Estimation des fréquences et évaluation de l'acceptabilité des risques du ballon de gaz combustible

Evidemment, l'évaluation de la criticité des conséquences dont les gravités sont maximales (tableau 3-1), dans l'analyse HAZOP nécessite l'acquisition des données sur ces conséquences en termes de probabilités d'occurrence. Pour cela, on va appliquer la méthode LOPA.

### 3.2.1. Introduction à la Notion de SIL

#### ❖ Rappel sur les normes IEC 61508 et IEC 61511

La norme IEC 61508-4 définit la sécurité fonctionnelle comme un sous-ensemble de la sécurité globale qui se rapporte au système commandé *Equipment Under Control* (EUC) et qui dépend du fonctionnement correct du système E/E/EP relatif à la sécurité, des systèmes relatifs à la sécurité basée sur une autre technologie et des dispositifs externes de réduction de risque.

La norme IEC 61511-1 définit la sécurité fonctionnelle comme un sous-ensemble de la sécurité globale qui se rapporte au processus et au système de commande de processus et au BPCS, qui dépend du fonctionnement correct du système instrumenté de sécurité (SIS) et d'autres couches de protection.

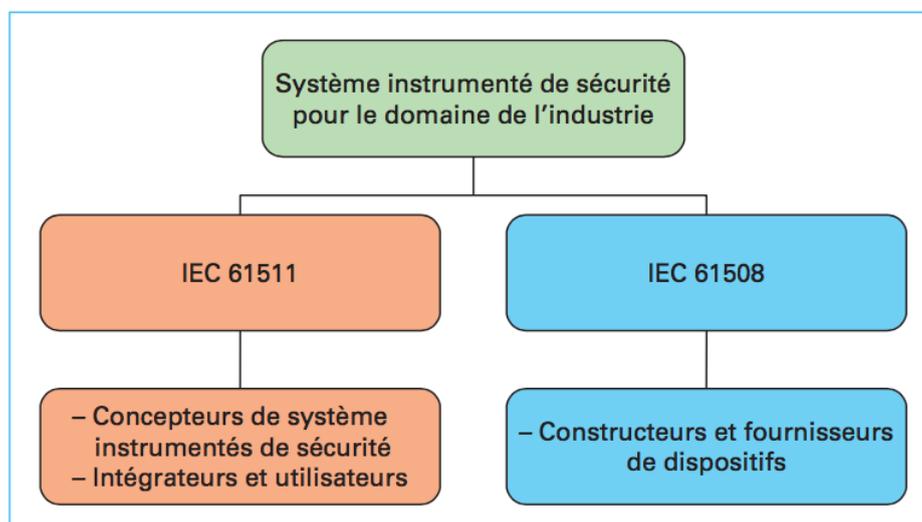


figure 3- 2 : Lien entre l'IEC 61508 et l'IEC 61511 (d'après IEC 61511-1)

#### ❖ Définition de SIS

Un SIS est un ensemble d'éléments permettant d'assurer la mise dans un état sûr, lorsque le procédé s'engage dans une voie comportant un risque réel pour le personnel et l'environnement (explosion, feu ...).

L'objectif premier assigné à un SIS est la détection des situations dangereuses (augmentation de la température ou de pression, fuite de gaz ...) pouvant mener à un accident (incendie, explosion, rejet d'un produit dangereux ...) et de mettre ensuite en œuvre un ensemble de réactions nécessaires à la mise en sécurité, en un temps spécifié, de procédé sous contrôle.

Une SIF (Safety Instrumented Function) peut être décomposée en trois principales sous-fonctions :

- Une sous-fonction détection assurée par des capteurs ou détecteurs chargés d'identifier une dérive de paramètre (pression, température, niveau, etc.) par rapport à une valeur seuil ;
- Une sous-fonction traitement de l'information assurée par un système de traitement logique chargé de recevoir les informations issues des capteurs et de les traiter afin de générer des ordres de commande vers les actionneurs ;
- Une sous-fonction actionneurs/éléments finaux mettre le système dans une position de sécurité.

#### ❖ Distinction entre SIF et SIS

Les notions de SIS et SIF ne doivent pas être confondues :

- **Système instrumenté de sécurité (SIS)** : ensemble de matériels qui composent le système de sécurité. Il comprend tous les capteurs, les logiques et les actionneurs ;
- **Fonction instrumentée de sécurité (SIF)** : automatisme de sécurité composé d'un ou de plusieurs capteurs, d'une logique et d'un ou de plusieurs actionneurs dans le but de remplir une fonction de sécurité.

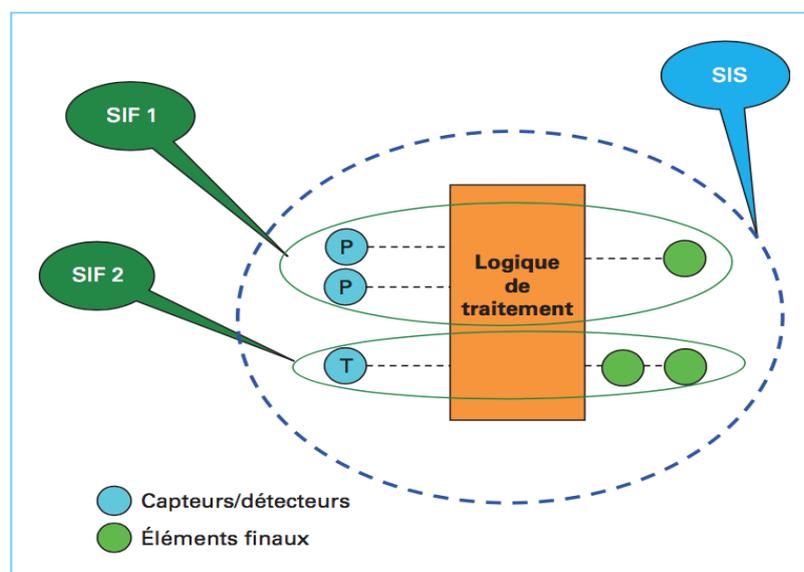


figure 3- 3 : présente le cas de deux SIF gérées par un même SIS.

**Une fonction instrumentée de sécurité (SIF) est réalisée par un système instrumenté de sécurité (SIS). Un SIS contient généralement plusieurs SIF**

Les normes IEC 61508 et 61511 définissent différents modes de fonctionnement d'une SIF. Dans le cadre de cet article, nous ne nous intéresserons qu'aux définitions rapportées dans l'IEC 61511. D'après cette norme, deux modes de fonctionnement sont à différencier :

- **Mode sollicitation** : « Lorsqu'une action spécifiée (par exemple, fermeture d'une

vanne) est effectuée en réponse aux conditions du processus ou à d'autres sollicitations. Dans l'éventualité d'une défaillance dangereuse de la fonction instrumentée de sécurité, un danger potentiel n'apparaît qu'en cas de défaillance dans le procédé ou dans le BPCS ».

- **Mode demande continu** : « Lorsqu'en cas de défaillance dangereuse de la fonction instrumentée de sécurité, un danger potentiel apparaît, sans autre défaillance, sauf si une action est entreprise pour le prévenir ».

❖ **Définition de SIL**

SIL est l'acronyme de « Safety Integrity Level », On le définit comme l'un des 4 niveaux discrets utilisés pour spécifier les exigences en intégrité des fonctions de sécurité qui doivent être allouées aux systèmes associés.

C'est une représentation statistique de l'intégrité du S.I.S. en cas de demande générée par le process.

Un système de sécurité à faible sollicitation de niveau de SIL « i » a une probabilité de défaillance à la sollicitation de  $10^{-(i+1)} < PFD_{avg} < 10^{-i}$ .

Un système de sécurité à forte sollicitation de niveau SIL « i » a une probabilité de défaillance dangereuse par heure de  $10^{-(i+5)} < PFH < 10^{-(i+4)}$

**Tableau 3- 2: Les niveaux SIL pour un mode de fonctionnement à faible sollicitation**

SIL	PFD <sub>avg</sub>	RRF (Risk Reduction Factor)
1	$10^{-2} \leq PFD_{avg} < 10^{-1}$	$100 \leq RRF < 10$
2	$10^{-3} \leq PFD_{avg} < 10^{-2}$	$1000 \leq RRF < 100$
3	$10^{-4} \leq PFD_{avg} < 10^{-3}$	$10000 \leq RRF < 1000$
4	$10^{-5} \leq PFD_{avg} < 10^{-4}$	$100000 \leq RRF < 10000$

**Tableau 3- 3 : Les niveaux SIL pour un mode de fonctionnement à fort sollicitation**

SIL	PFH	RRF (Risk Reduction Factor)
1	$10^{-6} \leq PFH < 10^{-5}$	$10 < RRF \leq 100$
2	$10^{-7} \leq PFH < 10^{-6}$	$100 < RRF \leq 1000$
3	$10^{-8} \leq PFH < 10^{-7}$	$1000 < RRF \leq 10000$
4	$10^{-9} \leq PFH < 10^{-8}$	$10000 < RRF \leq 100000$

**3.2.2. Méthodes de détermination de SIL**

Quatres méthodes pour déterminer le niveau de sécurité :

Les normes internationales de sécurité fonctionnelle CEI 61508 et CEI 61511 définissent une démarche d'analyse du niveau d'intégrité d'un système de sécurité. Elles autorisent, suite à une analyse de risque, la détermination du niveau d'intégrité de sécurité requis (SIL) pour une fonction instrumentée de sécurité. La norme CEI 61511 décrit

différentes méthodes de détermination de SIL, mais aucune n'est à privilégier. L'INERIS détaille ici deux approches qualitatives, le “**graphe de risque**” et la “**grille de criticité**” ainsi que les deux approches quantitatives “**LOPA**” (Layer of Protection Analysis) et “**l'arbre de défaillance**”.

### **3.2.2.1. LOPA (Layer of Protection Analysis)**

Contrairement aux techniques d'évaluation des risques purement qualitatives, l'analyse des couches de protection fournit une estimation de la fréquence d'un événement redouté, cette méthode intègre les couches de protection de l'entreprise.

L'analyse des couches de protection est une méthode semi-quantitative orientée barrières [10], qui est destinée à la maîtrise des risques d'accidents majeurs. Généralement, le principe de cette méthode consiste en premier lieu à identifier les différents scénarios d'accidents d'une installation.

En effet, il s'agit à partir d'un événement redouté défini à priori par une analyse qualitative des risques du type HAZOP [18], de déterminer l'enchaînement des événements pouvant conduire à cet événement. Il s'agit ensuite d'évaluer la robustesse des couches de protection mises en place selon une approche semi-quantitative. Cette dernière permet d'évaluer la probabilité de défaillance à la demande (PFD) de chaque couche de protection.

Une fois les événements initiateurs sont identifiés et leurs fréquences d'occurrence sont ajustées, LOPA permet la détermination de la fréquence de réalisation de chaque scénario d'accident par multiplier la fréquence d'occurrence de cet événement initiateur par le produit des PFD des couches de protection existantes. Une fois le scénario d'accident est estimé en terme de fréquence de la conséquence, il reste à décider si ce scénario d'accident est acceptable ou non. Cette décision sera prise au travers d'une évaluation de ce risque par rapport aux critères d'acceptabilité arrêtés au début d'analyse.

#### **❖ Déroulement de la méthode LOPA**

La démarche généralement retenue [10] [15] pour réaliser une analyse par la méthode LOPA est la suivante :

- Comme tout outil d'analyse des risques, l'établissement des critères d'acceptabilité et de sélection des scénarios d'accidents à évaluer se révèle indispensable et préalable.
- Développement des scénarios d'accidents.
- Identification des fréquences des événements initiateurs.
- Identification des couches de protection indépendantes et leurs probabilités de défaillances à la demande.
- Détermination des fréquences des scénarios d'accidents.
- Évaluation des scénarios d'accidents par rapport aux critères d'acceptabilité.

### ❖ Avantages de la méthode LOPA

LOPA présente les avantages suivants [10] [16] :

- LOPA est un outil performant et efficace d'évaluation des risques et des mesures de réduction de ces risques.
- LOPA est un outil praticable et flexible permettant de déterminer la réduction apportée par chaque mesure de réduction (IPL) en lui attribuant des probabilités de défaillance à la demande (PFD).
- En la comparant à d'autres méthodes d'analyse des risques telle que l'arbre de défaillance, la méthode LOPA exige moins du temps et moins de coûts pour sa réalisation. Cette caractéristique lui confère la possibilité d'être appliquée à un grand nombre de scénarios qui sont quantitativement difficiles à évaluer.
- Elle aide les établissements à décider si le risque est acceptable ou inacceptable.
- Elle permet aussi de déterminer le SIL associé au SIS.
- LOPA est un outil d'estimation des conséquences aux limites

### ❖ Limites de la méthode LOPA

Cependant LOPA présente des limites [10] [17] :

- LOPA est un outil qui ne peut pas être appliqué pour tous les scénarios d'accidents surtout ceux qui présentent des combinaisons de défaillances.
- LOPA est une méthode ne pouvant pas répondre à des quantifications rigoureuses entachées d'incertitude, les ordres de grandeurs utilisées par LOPA peuvent donner lieu à des résultats erronés.
- En pratique, il est souvent difficile de résumer une probabilité de défaillance en seule valeur numérique (par exemple  $10^{-2}/\text{an}$ ).
- L'objectivité et la signification des résultats de LOPA dépendent fortement de la qualité des données historiques disponibles. Cependant, statistiquement parlant, il est souvent difficile de trouver des données fiables d'où la nécessité de faire appel à d'autres sources tels que les jugements d'experts.

#### 3.2.2.2. Arbre de défaillances "AdD"

L'arbre des défaillances est un diagramme tel que ce lui de la figure (3-4), qu'on construit pour un système bien défini. Son sens de parcours est inverse de celui d'un arbre d'événement [9], l'arbre de défaillances appelé aussi arbre des causes, arbre des défauts, est une méthode purement quantitative qu'est utilisée largement dans le domaine de la sûreté de

fonctionnement [14]. C'est une démarche d'analyse arborescente et probabiliste [11], qui consiste à calculer la probabilité de l'événement sommet à partir des probabilités des événements de base [12].

Elle offre un cadre privilégié à l'analyse déductive qui consiste à rechercher les diverses combinaisons possibles d'événements conduisant à la réalisation d'un événement indésirable, et permet de représenter simplement ces combinaisons sous forme graphique au moyen d'une structure arborescente de portes logiques (figure 3-4) [13].

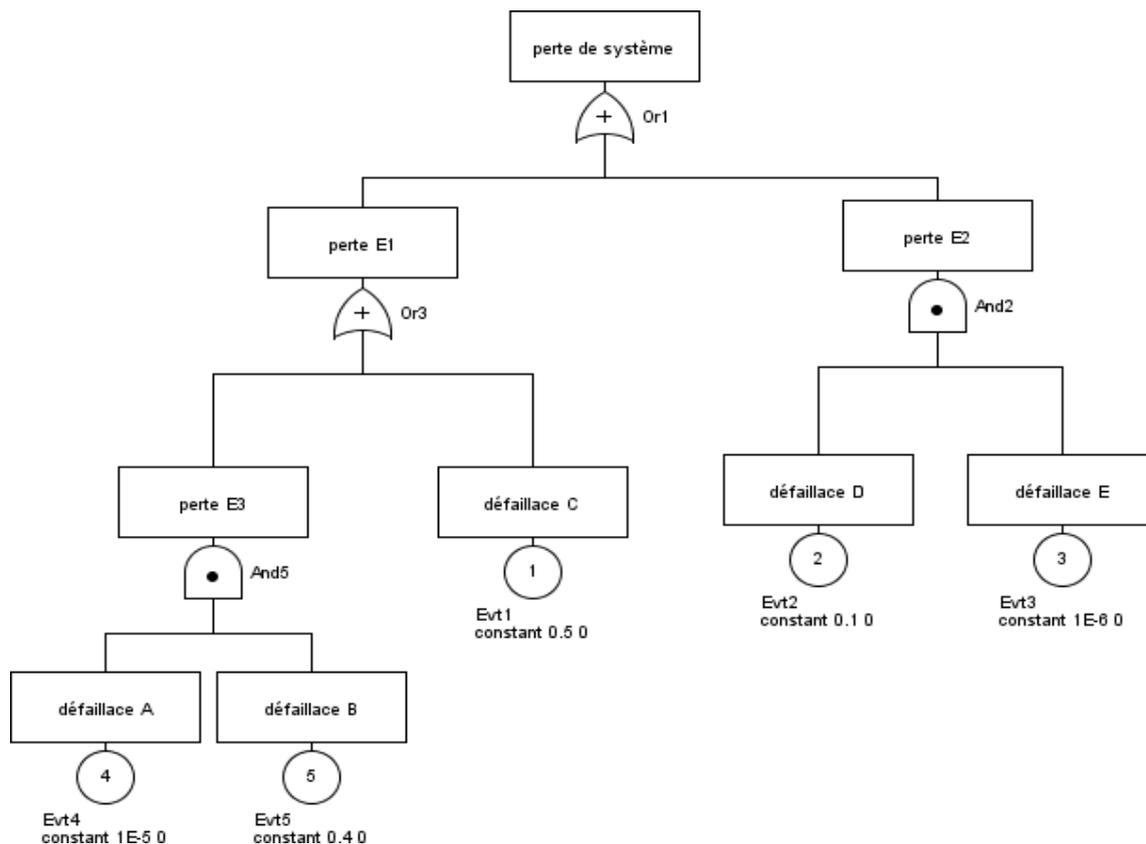


figure 3- 4 : : exemple d'un arbre de défaillances

### 3.2.2.3. Application de la méthode LOPA

Evidemment, dans l'analyse HAZOP, l'évaluation de la criticité des conséquences dont les gravités sont maximales (tableau 3-1), nécessite l'acquisition des données sur ces conséquences en termes de probabilités d'occurrence. Pour cela, on va appliquer la méthode LOPA.

Pareillement, la méthode semi-quantitative LOPA est utilisée pour évaluer les couches de protection indépendantes et déterminer s'il existe suffisamment de couches de protection contre un scénario d'accident donné. L'application de cette méthode est présentée dans ce qui suit :

### ❖ Établissement des critères d'acceptabilité du risque

Cette étape est un préalable à l'analyse des risques. Dans notre cas, l'évaluation de l'acceptabilité des scénarios d'accident est faite à partir d'une grille de criticité, adoptée par BP et SONATRACH [3] (Annexe 2). Le critère sélectionné pour estimer les conséquences est la perte de production. Les critères retenus dans cette grille d'évaluation sont fonction du contexte et aussi des objectifs poursuivis dans la démarche de gestion des risques de l'entreprise SONATRACH. L'établissement de ces critères d'acceptabilité est réalisé à partir d'une estimation des conséquences à un certain ordre de magnitude de gravité et aussi de probabilité d'occurrence des événements indésirables des scénarios d'accidents engendrés. Ces critères selon la grille de criticité (Annexe 2) sont :

- Pour les conséquences de gravité 4, la fréquence du risque doit être inférieure à  $1 \text{ E-}6/\text{ans}$ .
- Pour les conséquences de gravité 3, la fréquence du risque doit être inférieure à  $1 \text{ E-}5/\text{ans}$ .
- Pour les conséquences de gravité 2, la fréquence du risque doit être inférieure à  $1 \text{ E-}4/\text{ans}$ .
- Pour les conséquences de gravité 1, la fréquence du risque doit être inférieure à  $1 \text{ E-}3/\text{ans}$ .

### ❖ Développement des scénarios d'accidents

La méthode LOPA s'inspire des différents composants des scénarios (l'événement initiateur, les IPLs et la conséquence significative en termes de gravité) à partir des données trouvées et développées par l'application de la méthode HAZOP sur le ballon de gaz combustible.

Dans notre cas, on donne la priorité aux conséquences dont les gravités sont critiques ou catastrophiques (niveau 3 & 4 dans le tableau 3-1), et qui apparaissent fréquemment dans les résultats de HAZOP (estimation qualitative de la fréquence). Ces scénarios sont présentés dans le tableau (2-8, 2-10).

#### • Sélection des scénarios à évaluer

Parmi les conséquences présentées dans le tableau (3-1), on peut citer les deux conséquences :

- Eclatement du ballon de gaz combustible et formation d'un nuage de gaz inflammable ;
- Entraînement du liquide vers le four.

Il s'agit des scénarios graves qui seront analysés davantage par la méthode LOPA. D'après l'analyse par HAZOP, ces conséquences sont causées par les événements initiateurs

suivants :

- La conséquence "éclatement du ballon de gaz combustible et formation d'un nuage de gaz inflammable" peut être engendrée par un excès de pression (surpression). Cette dernière peut être à l'origine de défaillance de la boucle de régulation de pression. Ce scénario est montré dans le tableau 3-4

- La conséquence "Entraînement de liquide vers le four" peut être engendrée par un surremplissage. Cette déviation peut être à l'origine de défaillance de la boucle de régulation du niveau de condensat ou d'une fermeture intempestive de la SDV-11010 sortie condensat. Deux événements initiateurs peuvent conduire à cette conséquence, chacun d'eux et la conséquence constituent un sous-scénario d'accident. Ces sous-scénarios sont montrés dans le tableau 3-4

**Tableau 3- 4 : scénarios à évaluer**

Si		Événement initiateur		Conséquences
<b>S1</b>	<b>S1</b>	Ei.1	Perte de contrôle de la pression de gaz dans le ballon (Défaillance PC-11012).	Éclatement de ballon de gaz combustible & formation d'un nuage de gaz extrêmement inflammable.
<b>S2</b>	<b>S2.a</b>	Ei.2.a	Perte de contrôle de niveau de condensats dans le ballon (Défaillance LC-11009).	Entraînement de liquide vers le four
	<b>S2.b</b>	Ei.2.b	Fermeture intempestive de la vanne SDV-11010	

Chacun de ces évènements initiateurs sera le point de départ d'un scénario d'accident, d'où le nombre de scénarios d'accidents qui est de l'ordre de trois. Donc, l'étape suivante consiste à l'élaboration de ces trois scénarios par l'application de la méthode AdE (d'où trois AdE à construire).

Or, l'élaboration de chaque AdE nécessite en plus, la définition de son évènement initiateur et l'ordonnancement des évènements intermédiaires qui sont dans notre cas des couches de protection indépendantes (IPL). Dans ce contexte, le recours à la méthode HAZOP permet de lister toutes les barrières de sécurité. Parmi ces barrières identifiées au préalable par la méthode HAZOP, il existe celles qui sont qualifiées IPLs et celles qui sont qualifiées non IPLs. Ensuite, Les couches de protection indépendantes retenues pour chaque scénario suite à l'application des exigences de la méthode LOPA sur notre système sont les suivantes (tableau 3-5) :

Tableau 3- 5 : Sélection des IPL à retenir dans les scénarios d'accidents.

Scénario	IPL		Type
	IPL1	IPL2	
S1	IPL1	PSHH-11013	Système instrumenté de sécurité SIS
	IPL2	PSV-11001	dispositif de sécurité
S2.a	IPL1	LSHH-11007	Système instrumenté de sécurité SIS
S2.b	IPL1	LAH-11009/Op/vanne manuelle de by-pass	Systemes à Action Manuelle de Sécurité
	IPL2	LSHH-11007	Système instrumenté de sécurité SIS

**Justification de non IPL**

**Pour le scénario S1**

- L’alarme de haute pression PAH-11012 n’est pas considérée comme une IPL parce qu’elle dépend de l’événement initiateur (l’alarme PAH-11012 est donnée par le même capteur PIC-11012 et même unité de traitement de la boucle de régulation). Dans ce cas le critère d’indépendance de la barrière est non rempli (voir le tableau (2-2) analyse technique et fonctionnelle).
- Le système de surveillance de la pression de gaz dans le ballon de gaz combustible (manomètre PG-11002/opérateur) n’est pas considéré comme une IPL parce qu’il n’arrive pas à prévenir l’événement initiateur à chaque fois ou il apparait (la probabilité de défaillance de cette barrière est presque  $\approx 1$ ). Dans ce cas le critère d’efficacité de la barrière est non rempli, cette barrière nécessite une augmentation de son efficacité pour qu’elle devienne une IPL.

**Pour le scénario S2.a et S2.b**

- L’alarme de haut niveau de condensat LAH-11009 n’est pas considéré comme une IPL parce qu’elle dépend de l’événement initiateur (l’alarme LAH-11009 est donnée par le même capteur LIC- 1109 et même unité de traitement de la boucle de régulation). Dans ce cas, le critère d’indépendance de la barrière est non rempli (voir les tableaux (2-2) analyse technique et fonctionnelle).
- Le système de surveillance du niveau de condensat dans le ballon de gaz combustible (LG-11008 /opérateur) n’est pas considéré comme une IPL parce qu’il n’arrive pas à prévenir l’événement initiateur à chaque fois ou il apparait (la probabilité de défaillance est presque  $\approx 1$ ). Dans ce cas le critère d’efficacité de la barrière est non rempli, Cette barrière nécessite une augmentation de son efficacité pour qu’elle devienne une IPL.
- **Développement des scénarios sous forme des AdE**

Les évènements initiateurs énumérés précédemment ainsi que la liste des IPL retenus dans le tableau 3-5 nous permettent finalement de dresser les trois AdE suivants.

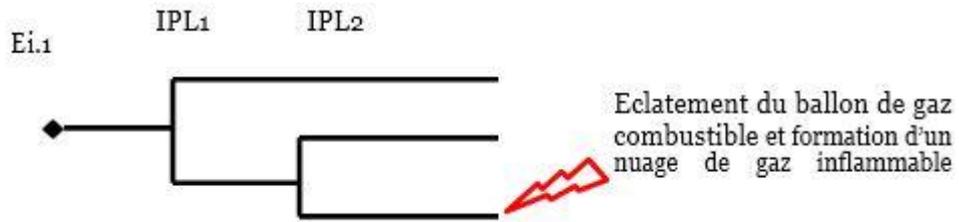


figure 3- 5 : AdE du scénario relatif à l'évènement initiateurs "Défaillance PC-11012".

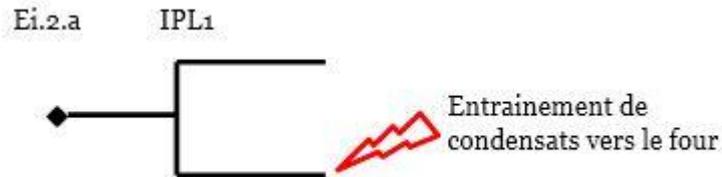


figure 3- 6 : AdE du scénario relatif à l'évènement initiateurs "Défaillance de LC-11009".

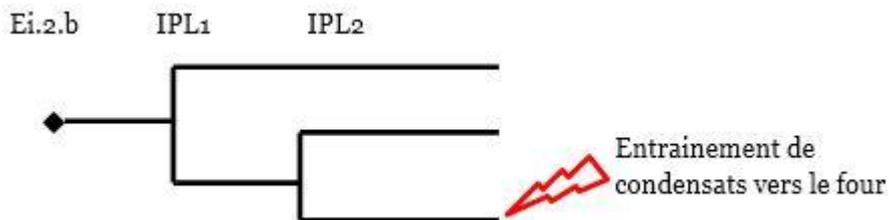


figure 3- 7 : AdE du scénario relatif à l'évènement initiateurs "Défaillance de la vanne SDV-11010".

❖ **Identification des fréquences des événements initiateurs**

L'estimation qualitative des événements initiateurs est insuffisante. Une estimation quantitative/semi quantitative se révèle nécessaire afin de pouvoir estimer les fréquences des scénarios d'accidents et les juger comme étant acceptables ou pas. Ces fréquences sont estimées généralement en nombre de réalisation des événements par ans. Le tableau 3-8 présente les fréquences d'occurrence des événements initiateurs.

- **Identification de la fréquence d'évènement initiateur Ei.1**

La fréquence de l'évènement initiateur Ei.1 : perte de contrôle de la pression de gaz (défaillance de la boucle de régulation de la pression de gaz PC-11012) sera calculée par l'application de la méthode AdD. L'application de cette méthode est faite par le logiciel GRIF 2017 (figure 3-8).

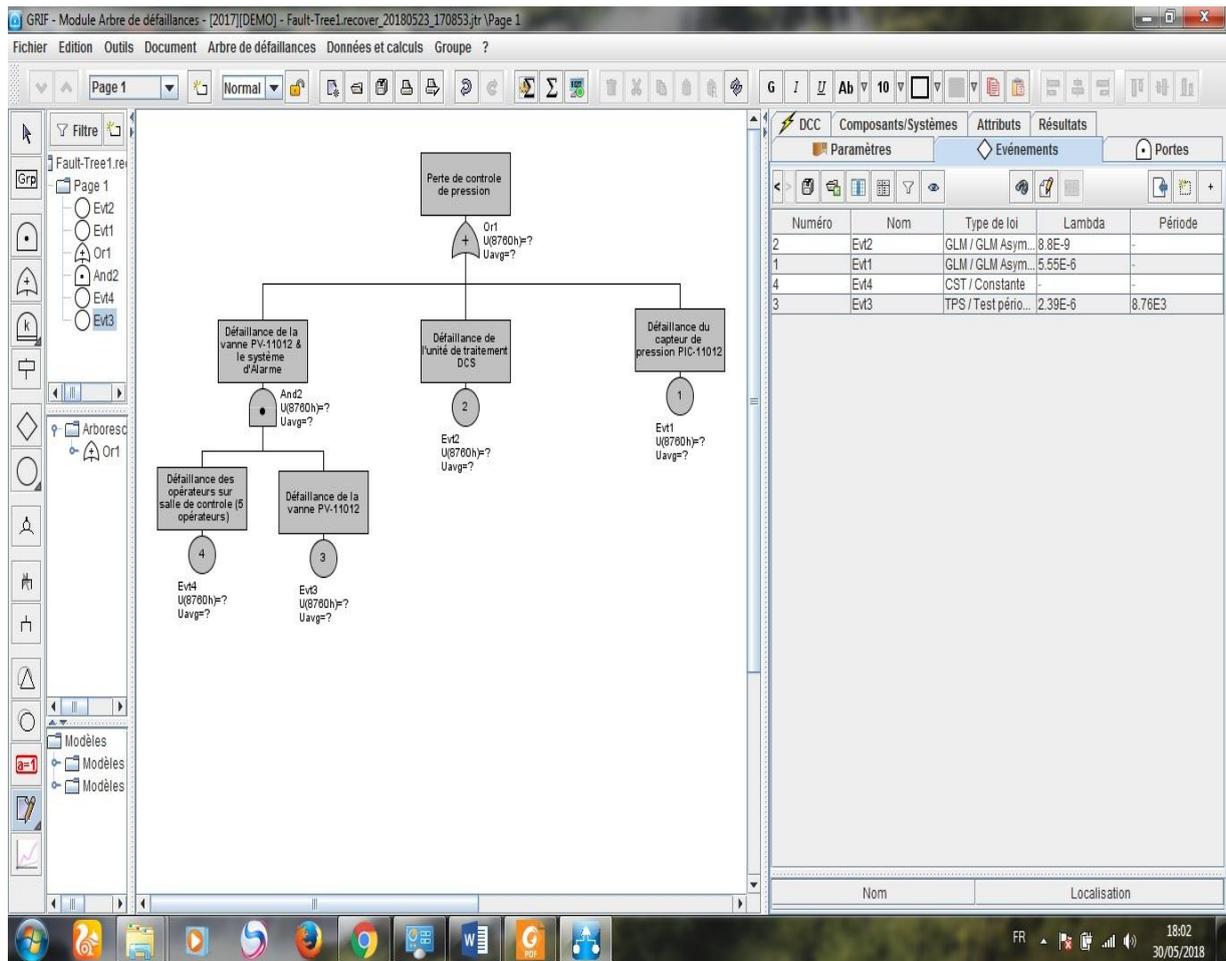


figure 3- 8 : Construction de l'Add à l'aide de GRIF 2017

La figure 3-9 montre l'Add pour l'événement non souhaité "perte de contrôle de la pression du gaz dans le ballon de gaz combustible".

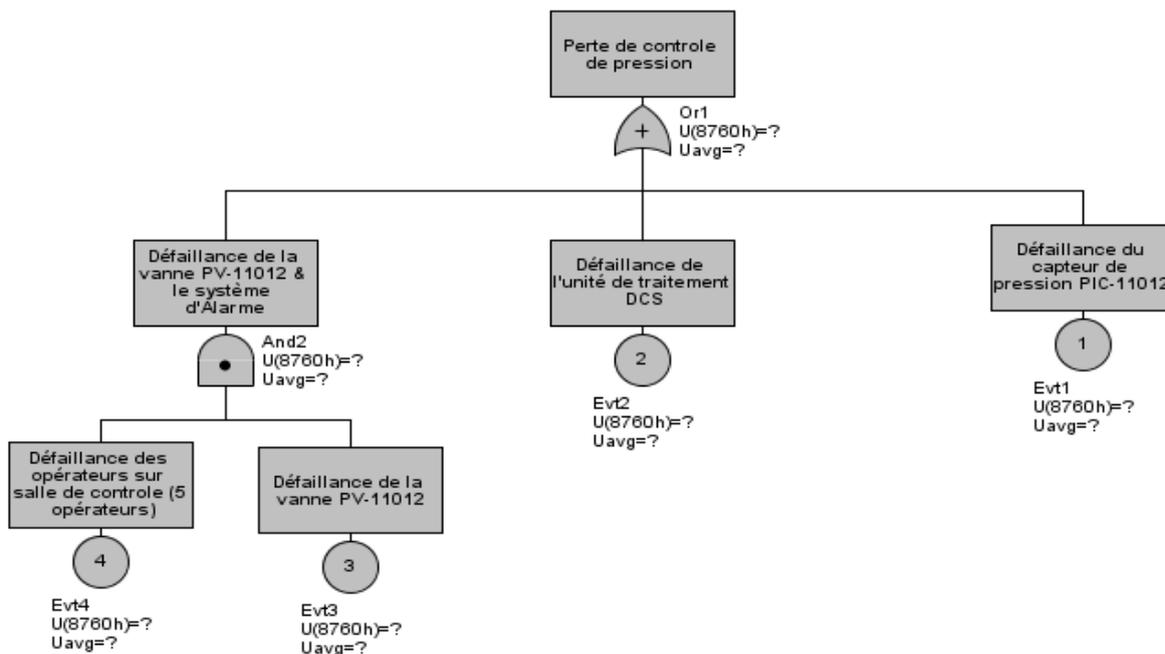


figure 3- 9 : AdD réduite relatif à l'événement initiateur l'Ei.1

Dans le tableau (3-6), les différents événements de base de l'AdD relatifs à l'ENS "Perte de contrôle de la pression de gaz dans le ballon de gaz combustible" (fig 3-9), sont définis avec leurs probabilités d'occurrence ou taux de défaillance ( $\lambda$ ) estimés par la loi testes périodiques simple.

Tableau 3- 6: Définition des événements de base de l'AdD relatif à l'événement initiateur l'Ei.1

Evti	La signification	$\lambda$ ( $h^{-1}$ )	Pr	M	References
<b>Evt 1</b>	défaillance du capteur de pression PIC-11012	5.5E-06	-	0.25	[28] Donnée par le concepteur.
<b>Evt 2</b>	défaillance de DCS	8.8E-09	-	0.25	[26], donnée par le concepteur.
<b>Evt 3</b>	Défaillance la vanne PV- 11012 (bloquée ouverte)	2.39E-06	-	Période de teste 8760 h	[30] Donnée par le concepteur.
<b>Evt 4</b>	Défaillance des opérateurs sur salle de contrôle	-	1.00E-10		[23]

**a) Traitement qualitatif**

Ce traitement consiste à la recherche des coupes minimales de l'AdD ou des scénarios critiques. Ces coupes représentent les plus petites combinaisons d'événements pouvant conduire à l'occurrence de l'ENS. Une fois ces coupes sont déterminées, l'AdD est représenté sous forme d'une expression booléenne.

Ce traitement a montré l'existence de 3 coupes minimales dont 2 sont d'ordre 1 et 1 est d'ordre 2.

$$S = \text{Evt 1} + \text{Evt 2} + \text{Evt 3} * \text{Evt 4} \quad (3.1)$$

Cette première évaluation qualitative du risque de surpression nous a permis d'apprécier qualitativement les chances de réalisation des scénarios critiques selon leur ordre.

**b) Traitement quantitative**

La fréquence de l'ENS est calculée à l'aide de logiciel GRIF 2017:  $F(s) = 5.55E-06/h$ . Donc la fréquence de l'événement initiateur (Ei.1 : Perte de contrôle de pression de gaz dans le ballon de gaz combustible) est de  $F(Ei.1) = 4.86 E-02 / an$ .

- **Identification de la fréquence d'événement initiateur Ei.2.a**

La fréquence de l'événement initiateur (Ei.2.a : perte de contrôle de niveau de condensat dans le ballon) sera calculée par l'application de la méthode AdD. L'application de cette méthode est faite par le logiciel GRIF 2017 (figure 3-10)

La figure 3-10 montre l'AdD pour l'événement non souhaité "perte de contrôle de niveau du condensat dans le ballon de gaz combustible".

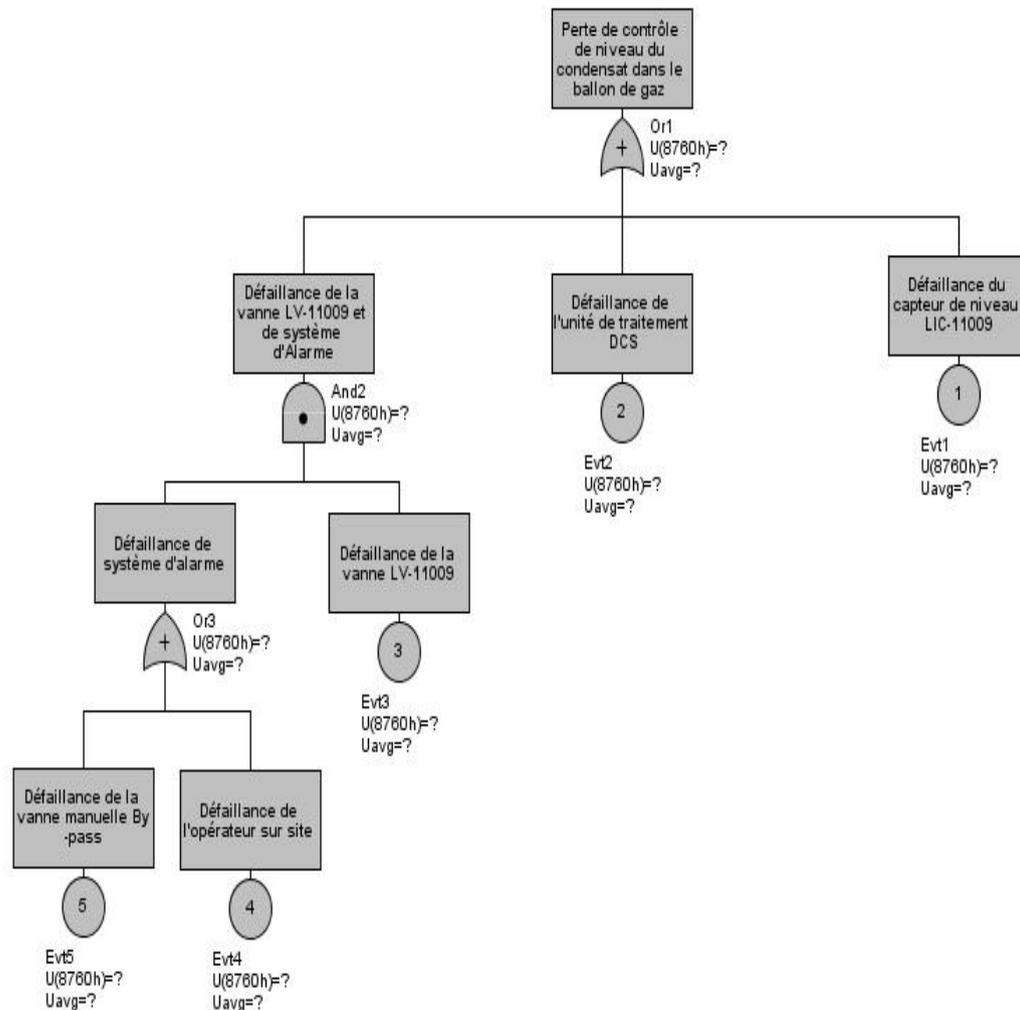


figure 3- 10: l'AdD pour l'événement non souhaité "perte de contrôle de niveau du condensat dans le ballon de gaz combustible

Dans le tableau (3-7), les différents événements de base de l'AdD relatifs à l'ENS "Perte de contrôle de niveau du condensat dans le ballon de gaz combustible" (fig 3-10), sont définis avec leurs probabilités d'occurrence ou taux de défaillance ( $\lambda$ ) estimés par la loi testes périodiques simple.

Tableau 3- 7 : Définition des événements de base de l'AdD relatif à l'événement initiateur l'Ei.2.a

Evti	La signification	$\lambda$ (h <sup>-1</sup> )	pr	M	References
<b>Evt 1</b>	défaillance du capteur de niveau LIC-11009	3.3E-06	-	0.25	[27] Donnée par le concepteur.
<b>Evt 2</b>	défaillance de DCS	8.8E-09	-	0.25	[26] donnée par le concepteur.
<b>Evt 3</b>	Défaillance la vanne LV- 11009 (bloquée fermée)	1.15E-06	-	Période de teste 8760 h	[30] Donnée par le concepteur.
<b>Evt 4</b>	Défaillance de l'opérateur sur site	-	1.00E-02		[23]
<b>Evt 5</b>	Défaillance de la vanne manuelle de By-pass	-	5.87E-02		[19], [21]

**a) Traitement qualitatif**

Ce traitement consiste à la recherche des coupes minimales de l'AdD ou des scénarios critiques. Ces coupes représentent les plus petites combinaisons d'événements pouvant conduire à l'occurrence de l'ENS. Une fois ces coupes sont déterminées, l'AdD est représenté sous forme d'une expression booléenne.

Ce traitement a montré l'existence de 4 coupes minimales dont 2 coupes minimales sont d'ordres 1 et 2 sont d'ordres 2.

$$S = \text{Evt 1} + \text{Evt 2} + \text{Evt 3} * \text{Evt 4} + \text{Evt 3} * \text{Evt 5} \tag{3.2}$$

Cette première évaluation qualitative du risque de surpression nous a permis d'apprécier qualitativement les chances de réalisation des scénarios critiques selon leur ordre.

**b) Traitement quantitative**

La fréquence de l'ENS est calculée à l'aide de logiciel GRIF 2017 :  $F(s) = 3, 38E-06/h$

Donc la fréquence de l'événement initiateur (Ei.2.a : Perte de contrôle de niveau du condensat dans le ballon de gaz combustible) est de  $F(Ei.2.a) = 2, 96 E-02 /an$ .

- **Identification de la fréquence d'événement initiateur Ei.2.b**

La fréquence de l'événement initiateur (Ei.2.b : fermeture intempestive de la vanne SDV- 11010) est de  $F(Ei.2.b) = 1.00E-02 /an$ . Cette fréquence est estimée sur la base des données issues de la littérature [22], [23].

Le tableau 3-8 montre les fréquences d'occurrences des événements initiateurs à retenir dans les scénarios d'accident développés au préalable :

*Tableau 3- 8 : Fréquences des événements initiateurs à retenir dans les scénarios*

Ei	Événement initiateur	Fréquences F (/an)	Source
Ei.1	Perte de contrôle de la pression de gaz PC- 11012 dans le ballon.	4.86E-02	Calculé par l'AdD (fig 3-9)
Ei.2.a	Perte de contrôle de niveau de condensats LC- 11009 dans le ballon.	2.96 E-02	Calculé par l'AdD (fig 3-10)
Ei.2.b	Fermeture intempestive de la vanne SDV-11010	1.00E-02	[ICSI, 2009], [OREDA, 2002]

❖ **Identification des PFD des couches de protection indépendantes**

Dans cette section, on va déterminer les probabilités de défaillance à la demande des IPLs identifiées dans le tableau 3-5.

**Identification de la PFD du SIS (PSHH-11013)**

L'IPL (SIS PSHH-11013) est composée d'un capteur de pression (PIS-11013), unité de traitement PLC et deux vannes SDV-11003, SDV-11004

Pour calculer la probabilité de défaillance sur sollicitation de cette IPL, on va appliquer la méthode AdD dont l'événement non souhaité est la défaillance de l'IPL.

**a) Construction del'Add**

La construction de l'Add (figure 3-11) est faite par le logiciel GRIF 2017.

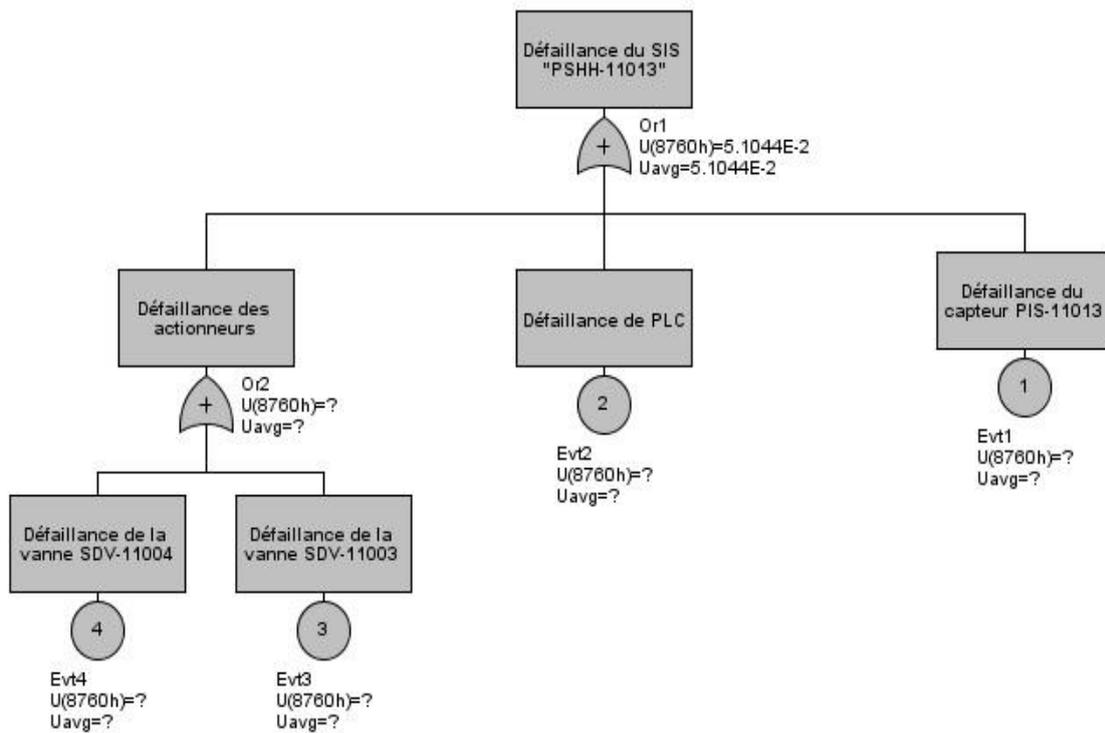


figure 3- 11 : Arbre de défaillances relatif à la défaillance de l'IPL1.

Dans le tableau (3-9), les différents événements de base de l'Add relatifs à l'ENS défaillance du SIS PSHH-11013 (figure 3-11), sont définis avec leurs probabilités de défaillance à la demande PFD.avg

Tableau 3- 9 : Définition des événements de base de l'Add relatif à la défaillance de l'IPL.2 PSHH-11013

Evti	La signification	PFD.avg	Source
Evt 1	défaillance de capteur de pression PIC-11013	2.43E-02	[28], donnée par le concepteur [EM3, 2009]
Evt 2	défaillance de PLC	4.06E-04	[26], donnée par le concepteur [INVENSYS, 2009]
Evt 3	Défaillance de la vanne SDV-11003 (8'')	1.36E-02	[31], donnée par le concepteur [PNEUMAX, 2008].
Evt4	Défaillance de la vanne SDV-11004 (6'')	1.36E-02	[31], donnée par le concepteur [PNEUMAX, 2008]

### b) Traitement del'Add

Le traitement de cet arbre est fait à l'aide de logiciel GRIF 2017. Il s'agit de traitement qualitatif et un traitement quantitatif.

- **Traitement qualitatif de l'Add** : Le traitement qualitatif de l'Add (figure 3-11) montre l'existence de quatre coupes minimales d'ordre 1. L'Add est représenté sous forme d'une expression boolienne suivante :

$$S = \text{Evt1} + \text{Evt2} + \text{Evt3} + \text{Evt4} \quad (3.3)$$

- **Traitement quantitatif de l'Add** : La PFD de l'IPL1 "PSHH-11013" calculée à l'aide de logiciel GRIF 2017 est : **PFD IPL1 = 5, 10E-02**, d'après les tableaux donnés par la norme IEC61511[18], le SIL réel est **SIL 1 [25]**.

#### Identification de la PFD de l'IPL PSV-11001 :

La PFD de l'IPL2 "PSV-11001" est de **PFD IPL = 1.00E-02 [32]** donnée par le concepteur.

#### Identification de la PFD du SIS(LSHH-11007)

L'IPL (SIS LSHH-11007) est composée d'un capteur de niveau (LIS-11007), une unité de traitement PLC et Deux vannes TOR (SDV-11003, SDV-11004).

Pour calculer la PFD du SIS LSHH-11007, on va appliquer la méthode Add dont l'événement non souhaité est "la défaillance du SIS LSHH-11007".

a) Construction del'Add

La construction de l'Add figure (3-12) est faite par le logiciel GRIF 2017.

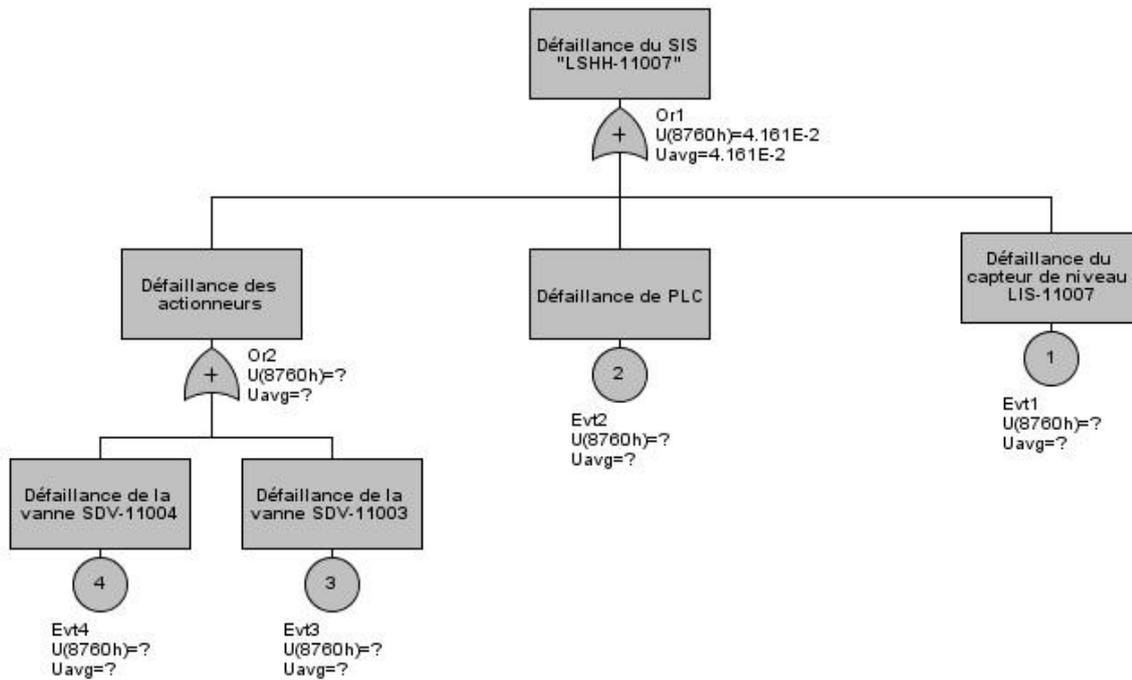


figure 3- 12: Arbre de défaillances relatif à la défaillance de l'IPL "LSHH-11007

Dans le tableau (3-10), les différents événements de base de l'Add relatif à l'ENS défaillance du SIS LSHH-11007 (figure 3-12), sont définis avec leurs probabilités de défaillance à la demande PFD.avg :

Tableau 3- 10: Définition des événements de base de l'Add relatif à la défaillance de l'IPL.1 "LSHH-11007"

Evti	La signification	PFD.avg	Source
Evt 1	défaillance de capteur de niveau LIS-11007	1.46E-02	[28], donnée par le concepteur [EM3, 2009].
Evt 2	défaillance de PLC	4.06E-04	[26], donnée par le concepteur [INVENSYS, 2009].
Evt 3	Défaillance de la vanne SDV-11003 (8'')	1.36E-02	[31], donnée par le concepteur [PNEUMAX, 2008].
Evt 4	Défaillance de la vanne SDV-11004 (6'')	1.36E-02	[31], donnée par le concepteur [PNEUMAX, 2008].

**b) Traitement de l'Add**

Le traitement de cet arbre est fait à l'aide de logiciel GRIF 2017. Il s'agit de traitement qualitatif et un traitement quantitatif

- **Traitement qualitatif de l'Add** : Le traitement qualitatif de l'Add (figure 3-12) est fait par le logiciel GRIF 2017. Ce traitement a montré l'existence de 4 coupes minimales d'ordre 1. L'Add est représenté sous forme d'une expression booléenne suivante :

$$S = \text{Evt1} + \text{Evt2} + \text{Evt3} + \text{Evt4} \quad (3.4)$$

- **Traitement quantitatif de l'Add** : La PFD de l'IPL1 "LSHH-11007" calculée à l'aide de logiciel GRIF 2017 est : **PFD IPL1 = 4.16E-02**, d'après les tableaux donnés par la norme IEC61511[18], le SIL réel est **SIL 1 [25]**.

**Identification la PFD de l'IPL (alarme LAH-11009/Op/vanne manuelle)**

L'IPL (alarme LAH-11009/OP/vanne manuelle) est composée d'un capteur de niveau (LIC- 11009), une unité de traitement DCS, un opérateur sur site qui fait l'action sur la Vanne manuelle de by-pass

Pour calculer la probabilité de défaillance sur sollicitation de cette IPL (LAH-11009) on va appliquer la méthode Add dont l'événement non souhaité est la défaillance de l'IPL

**b) Construction del'Add**

La construction de l'Add (figure 3-13) est faite par le logiciel GRIF 2017

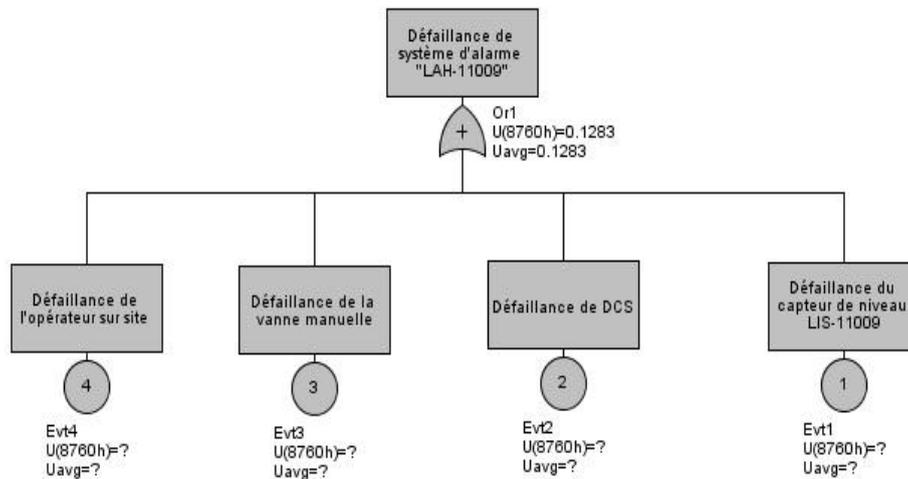


figure 3- 13 : AdD relatif à la défaillance de système d’alarme de haut niveau LAH-11009

Dans le tableau 3-11, les différents événements de base de l’AdD relatif à l’ENS défaillance de système d’alarme LAH-11009 (figure 3-13), sont définis avec leurs probabilités de défaillance à la demande PFD.avg

Tableau 3- 11 : Définition des événements de base de l’AdD relatif à la défaillance de système d’alarme de haut niveau LAH-11009

Evti	La signification	PFD.avg	Source
<b>Evt 1</b>	défaillance du capteur de niveau LIC-11009	6.44E-02	[27], donnée par le concepteur
<b>Evt 2</b>	Défaillance de DCS	1.77E-04	[26], donnée par le concepteur [INVENSYS, 2009]
<b>Evt 3</b>	Défaillance de la vanne manuelle	5.87E-02	[19], [21], [20]
<b>Evt 4</b>	Défaillance de l’opérateur sur site	1E-02	[29] Estimé sur [LOPA, 2001], [24]

**c) Traitement del’AdD**

Le traitement de cet arbre est fait à l’aide de logiciel GRif 2017. Il s’agit de traitement qualitatif et un traitement quantitatif.

- **Traitement qualitatif de l'AdD** : Le traitement qualitatif de l'AdD (figure 3-13) montre l'existence de 4 coupes minimales d'ordre 1. L'AdD est représenté sous forme d'une expression booléenne suivante :

$$S = \text{Evt1} + \text{Evt2} + \text{Evt3} + \text{Evt4} \tag{3.5}$$

- **Traitement quantitatif de l'AdD** : La PFD de l'IPL1 " système d'alarme de haut niveau de condensat LAH-11009" calculée à l'aide de logiciel GRIF 2017 est : **PFD IPL = 1,283E-1.**

Le tableau 3-12 montre les couches de protection indépendantes retenues et leurs PFDavg :

Tableau 3- 12: PFD des IPLs

Si	IPL		PFDavg	Source
S1	IPL1	PSHH-11013	5, 10E-02	Calculer par l'application de la méthode AdD. [32]
	IPL2	PSV-11001	1, 00E-02	
S2.a	IPL1	LSHH-11007	4. 16E-02	Calculer par l'application de la méthode AdD.
S2.b	IPL1	LAH-11009/Op/vanne manuelle de by-pass	1.28E-01	
	IPL2	LSHH-11007	4. 16E-02	

❖ **Détermination des fréquences des scenarios**

Les scenarios d'accidents développés par la méthode LOPA sont représentés sous forme des AdE (fig 3-14, fig 3-15 et fig 3-16). Le choix de cette méthode nous permet de donner une représentation claire à partir d'un évènement initiateur sur l'enchaînement des évènements pouvant conduire ou non à un accident potentiel, en précisant leurs fréquences, ainsi, il peut estimer la dérive du système en envisageant de manière systématique le fonctionnement ou la défaillance des barrières de sécurité.

❖ **Exploitation de l'AdE relatif au scénario d'accident S1**

Ce scénario (éclatement de ballon de gaz combustible et formation d'un nuage de gaz extrêmement inflammable) est dû à une surpression dans le ballon de gaz combustible. Cette dérive de fonctionnement peut être à l'origine d'une défaillance du système de régulation de la pression de gaz dans le ballon (capteur PIC-11012, Unité de traitement DCS ou la vanne PV-11012). Deux couches de protection indépendantes sont mises en place afin d'empêcher la survenance d'un accident à savoir, le SIS "PSHH-11013" et la soupape de sécurité PSV-11001. La figure 3-14 montre un AdE qui correspond à ce scénario d'accident.

## Scénario S.1.A

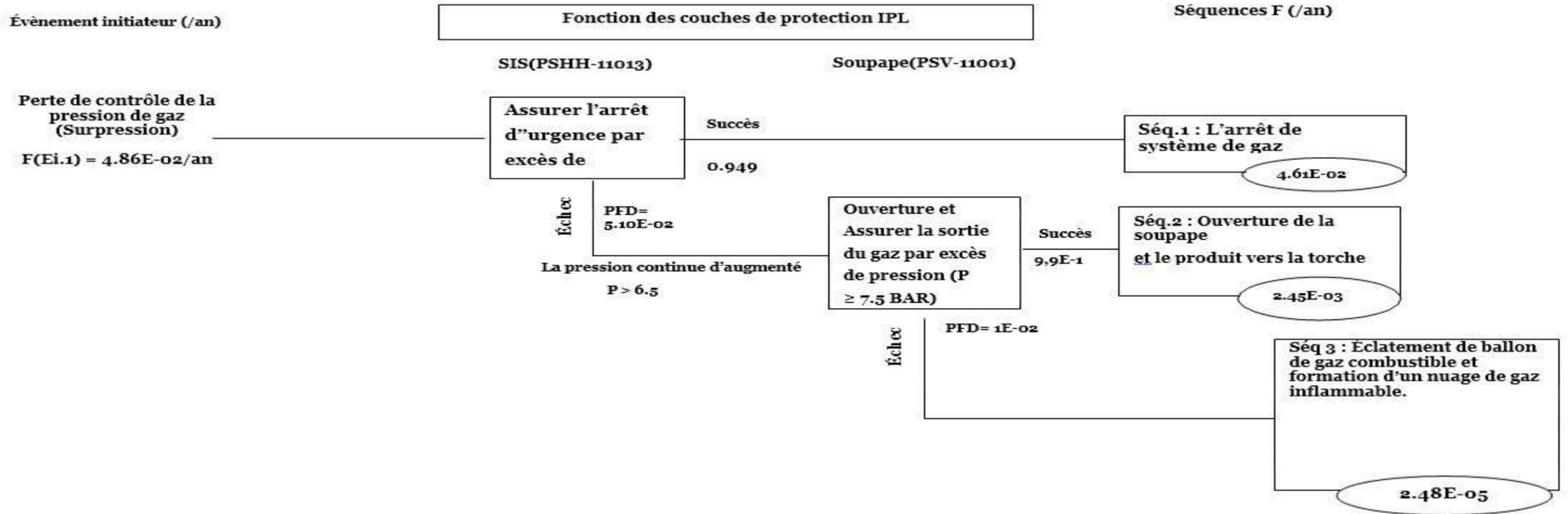


figure 3- 14 : Exploitation de l'AdE relatif à une perte de contrôle de la pression de gaz dans le ballon de gaz combustible

### Interprétation

- Dans la première séquence, la survenue de l'évènement initiateur conduit au déclenchement du système instrumenté de sécurité "PSHH-11013" pour limiter la déviation « Surpression ». Suite à cela, l'arrêt du système de gaz combustible aura lieu.
- La deuxième séquence est la résultante de l'échec d'accomplissement de la fonction (détection et contrôle) assignée à l'IPL "PSHH-11013" ce qui va mener au sollicitation de la deuxième IPL "PSV-11001" qui s'ouvre pour dégager le gaz bloqué.
- Dans La troisième séquence, la non réponse des deux IPLs a fait que l'éclatement du ballon de gaz combustible (si la pression atteint le seuil 15 bar) et la formation d'un nuage de gaz extrêmement inflammable peuvent conduire aux autres phénomènes dangereux en présences des événements intermédiaires.

### Calcul des fréquences des conséquences :

La détermination des fréquences des scénarios d'accidents, se fait en appliquant la relation suivante :

$$f_i^C = f_i^I \times \prod_{j=1}^n PFD_{ij} \quad (3.6)$$

$f_i^C$  : fréquence de scénario

$f_i^I$ : fréquence de la conséquence associée à l'évènement initiateur i à l'origine du scénario d'accident.

$PFD_{ij}$  : barrière de sécurité indépendante (IPL) numéro j vis-à-vis du scénario d'accident.

Cette procédure de calcul des fréquences de multiples scénarios d'accidents nous aidera surtout à établir la comparaison par rapport aux critères d'acceptabilité élaborés préalablement et aussi de juger si ces risques sont acceptables ou non.

### Application numérique:

- L'arrêt de système de gaz combustible :

$$f_i^C = f_i^I \times \prod_{j=1}^n (1 - PFD_{ij}) \quad (3.7)$$

$$f_i^C = (4.86E-02) \times (1 - (5.1E-02))$$

$$f_i^C = 4.61E-02 \text{ /an}$$

**Ouverture de la soupape et le produit vers la torche :** Equation (3.6)

$$f_i^C = (4.86E-02) \times (5.1E-02) \times (9.9E-01)$$

$$f_i^C = 2.45E-03 \text{ /an}$$

**Eclatement de ballon de gaz combustible et formation d'un nuage de gaz inflammable :** Equation (3.6)

$$f_i^C = (4.86E-02) \times (5.1E-02) \times (1E-02)$$

$$f_i^C = 2.48E-05 \text{ /an}$$

$$PFD_{ij} = \frac{\text{la fréquence de risque acceptable}}{f_{ic}} \quad (3.8)$$

**Application numérique :**

Pour  $f_i^C = 2.48E-05 \text{ /an}$  et la fréquence de risque acceptable  $= 10^{-6}/\text{an}$  ; on a PFD

$$= \frac{10^{-6}/\text{an}}{2.48E-5/\text{an}} = 4.03 \times 10^{-2}$$

Donc le SIL attribué à cette fonction est un SIL 1.

**Commentaire : le SIL réel est conforme au SIL requis.**

#### ❖ Exploitation de l'AdE relatif au scénario d'accident S2.b

Ce scénario est dû à une fermeture intempestive de la vanne TOR sortie condensat SDV- 11010. Deux couches de protection indépendantes sont mises en place afin d'empêcher la survenance d'un incident à savoir, l'alarme de haut niveau LAH-11009, le SIS "LSHH-11007". La figure 3-15 présente l'AdE qui correspond à ce scénario d'incident.

**Scénario S2.b**

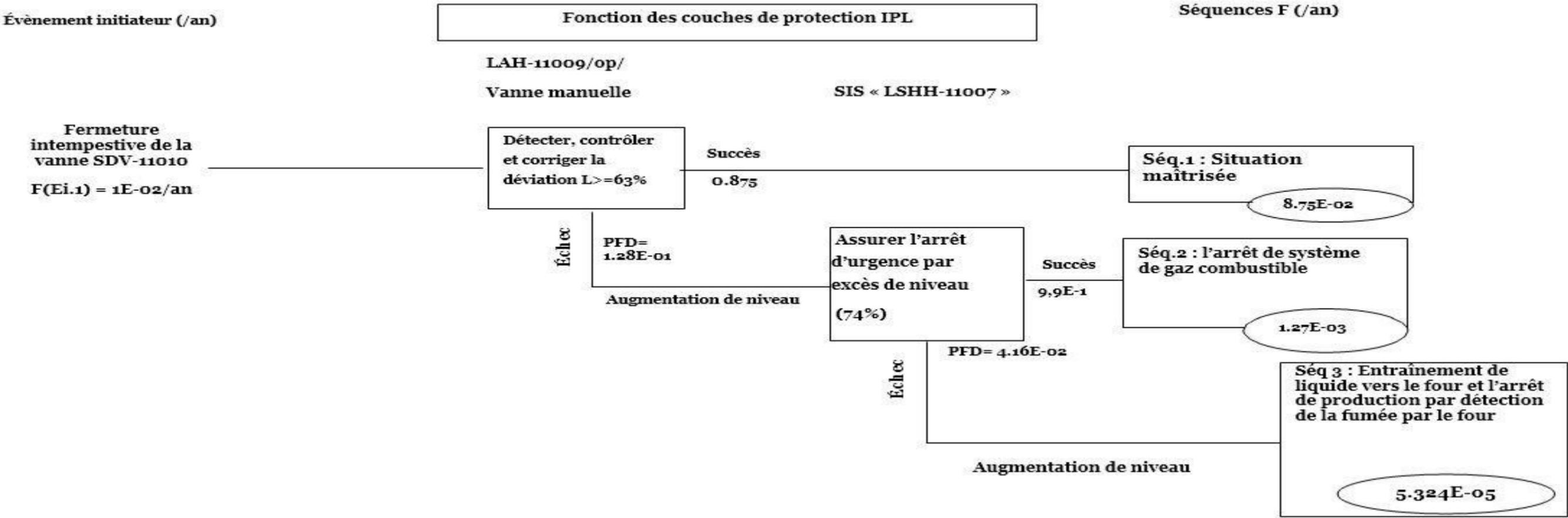


figure 3- 15: Exploitation de l'AdE relatif à la fermeture intempestive de la vanne SDV-11010.

### Interprétation

- Dans la première séquence la survenue de l'évènement initiateur conduit au déclenchement de l'alarme de haut niveau LAH-11009 indiquant à l'opérateur l'occurrence de la déviation « sur-remplissage » afin qu'il intervienne pour rendre le système à l'état de fonctionnement normale, en agissant sur la vanne manuelle de by-pass.
- La deuxième séquence est la résultante de l'échec d'accomplissement de la fonction (détection et contrôle) assignée à l'IPL1 "LAH-11009" ce qui va mener au sollicitation de la deuxième IPL "LSHH-11013", qui assure l'arrêt d'urgence du système de gaz combustible.
- Quant à la troisième séquence est la résultante de l'échec d'accomplissement de la fonction (arrêt d'urgence) assignée à l'IPL "LSHH-11007" ce qui va mener au entraînement de liquide vers le four et libération de l'agent extincteur CO<sub>2</sub> et la mousse par détection de fumée de combustion de condensat dans le four.

### Calcul des fréquences des conséquences :

Détermination des fréquences des scénario d'accidents on appliquons la relation suivante :  
Equation (3.6)

$f_i^c$  : fréquence de scénario

$f_i^I$ : fréquence de la conséquence associée à l'évènement initiateur i à l'origine du scénario d'accident.

$PF_{ij}$  : barrière de sécurité indépendante (IPL) numéro j vis-à-vis du scénario d'accident.

Cette procédure de calcul des fréquences de multiples scénarios d'accidents nous aidera surtout à établir la comparaison par rapport aux critères d'acceptabilité élaborés préalablement et aussi de juger si ces risques sont acceptables ou non.

### Application numérique :

**Situation maitrisée :** Equation (3.7)

$$f_i^c = (1.00E-02 \text{ an}^{-1}) \times (1-1.28E-01)$$

$$f_i^c = 8.75E-02/\text{an}$$

**L'arrêt de système de gaz combustible :** Equation (3.6)

$$f_i^c = (1.00E-02 \text{ an}^{-1}) \times (1.28E-01) \times (9.9E-1)$$

$$f_i^c = 1.27E-03/\text{an}$$

**Entraînement de liquide vers le four et l'arrêt de production par détection de la fumée dans le four : Equation (3.6)**

$$f_i^C = (1.00E-02 \text{ an}^{-1}) \times (1.28E-01) \times (4.16E-02)$$

$$f_i^C = 5.324E-05/\text{an}$$

**Application numérique : Equation (3.8)**

Pour  $f_i^C = 5.324E-05 \text{ /an}$  et la fréquence de risque acceptable  $= 10^{-5}/\text{an}$  ; on a PFD

$$= \frac{10^{-5}/\text{an}}{5.324E-5/\text{an}} = 1.87 \times 10^{-1}$$

Donc le SIL attribué à cette fonction est un SIL **1**.

**Commentaire : le SIL réel est conforme au SIL requis**

❖ **Exploitation de l'AdE relatif au scénario d'accident S2.a**

Ce scénario est dû à un sur-remplissage du ballon de gaz combustible. Cette déviation peut être à l'origine d'une défaillance du système de régulation de niveau de condensat dans le ballon (capteur de pression LIC-11009, unité logique, la vanne de régulation de niveau LV-11009). Une couche de protection indépendante est mise en place afin d'empêcher la survenance d'un incident à savoir, le SIS "LSHH-11007". La figure 3-16 montre un AdE qui correspond à ce scénario d'incident.

**Scénario S2.a**

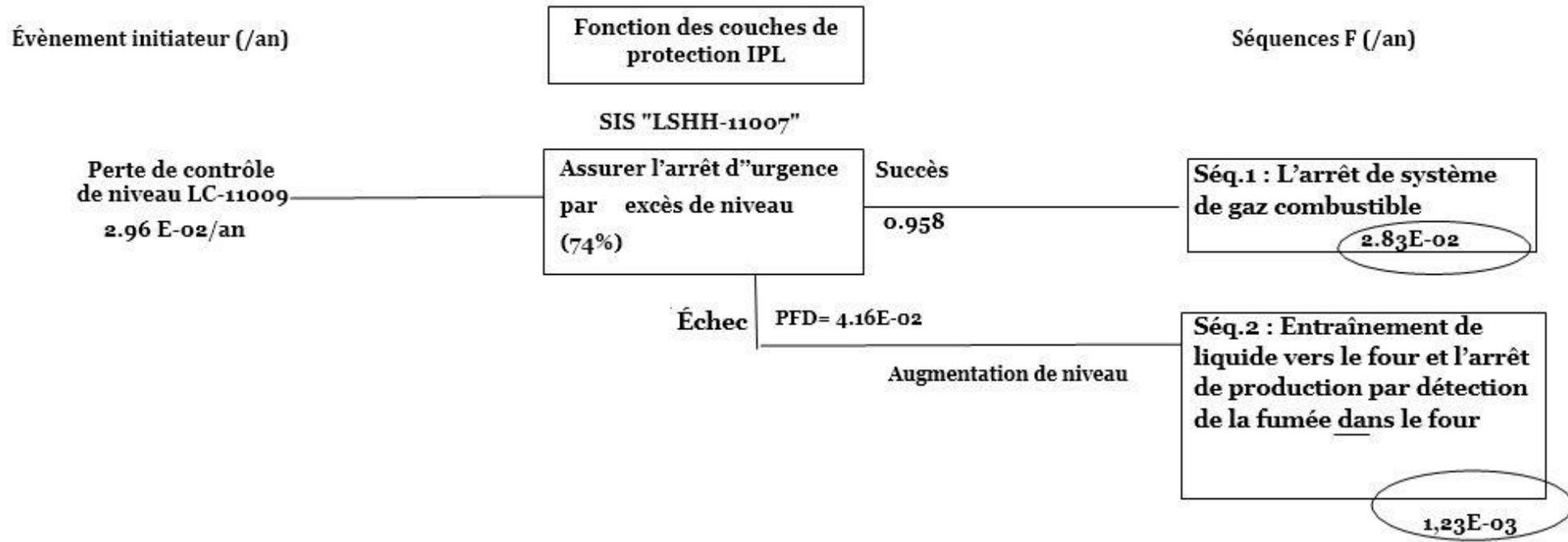


figure 3- 16 : Exploitation de l'AdE relatif à la perte de contrôle de niveau de condensat dans le ballon.

**Interprétation**

- Dans la première séquence la survenue de l'évènement initiateur conduit au déclenchement de système instrumenté de sécurité "LSHH-11007" pour limiter la déviation « Sur-remplissage ». Suite à cela, l'arrêt du système de gaz combustible.
- Quant à la deuxième séquence est la résultante de l'échec d'accomplissement de la fonction (arrêt d'urgence) assignée à l'IPL "LSHH-11007", ce qui va mener à l'entraînement de liquide vers le four et libération de l'agent extincteur CO2 et la mousse par détection de fumée de combustion de condensat dans le four.

**Calcul des fréquences des conséquences :**

Application numérique :

**L'arrêt de système de gaz combustible :** Equation (3.7)

$$f_i^C = (2.96E-02 \text{ an}^{-1}) \times (1 - (4.16E-02))$$

$$f_i^C = 2.83E-02/\text{an}$$

**Entraînement de liquide vers le four et l'arrêt de production par détection de la fumée dans le four :** Equation (3.6)

$$f_i^C = (2.96E-02 \text{ an}^{-1}) \times (4.16E-02)$$

$$f_i^C = 1.23E-03/\text{an}$$

**Application numérique :** Equation (3.8)

$$\text{Pour } f_i^C = 1.23E-03/\text{an} ; \text{ on a } \text{PFD} = \frac{10^{-5}/\text{an}}{1.23E^{-3}/\text{an}} = 8.13 \times 10E^{-3}$$

Donc le SIL attribué à cette fonction est un **SIL 2**.

**Commentaire :** le SIL réel n'est pas conforme au SIL requis et cela nécessite un renforcement des barrières de sécurité.

Le tableau 3-13 montre les scénarii retenus et la fréquence pour chaque scénario ainsi leur criticité ( $C = Gr * Pr$ )

**Rappel :** rappelons que l'estimation de la gravité des séquences est faite selon le critère perte de production.

Tableau 3- 13: Tableau de synthèse

Scénario Si	Événement initiateur Ei		F (Ei) (/an)	IPLs et leurs PFDS				Conséquences	F (scénario) (/an)	C=P*G	
				SIS (PSHH- 11013)	PSV- 11001	LAH- 11009/OP /vanne manuelle	SIS (LSHH- 11007)			(Conséquence)	
										Gr	Pr
S1	Ei.1	Perte de contrôle de pression de gaz dans le ballon	4.86E-02	5.10E-02	1.00E-02	-	-	Éclatement de ballon de gaz combustible et formation d'un nuage de gaz extrêmement inflammable	2.48 E-05	4	3
S2.a	Ei.2.a	Perte de contrôle de niveau de condensat dans le ballon	2,96E-02	-	-	-	4.16 E-02	Entraînement de liquide vers le four et l'arrêt de production par détection de la fumée dans le four	1.23 E-03	3	5
S2.b	Ei.2.b	Fermeture intempestive de la vanne SDV-11010	1.00 E-02	-	-	1.28E- 01	4.16 E-02		5.324 E-05	3	3

## **Conclusion**

Après avoir calculé les niveaux de SIL (réels et requis) pour les trois scénarios, nous avons trouvé que le scénario S2.a (entraînement du condensat vers le four causé par une perte de contrôle de niveau de condensat dans le ballon) nécessite une réduction de risque vue la non conformité de ses niveaux de SIL (réel et requis) et la fréquence importante de son événement indésirable qui est de l'ordre de  $10^{-3}$ .

La réduction de la fréquence d'occurrence de ce scénario peut être envisagée de plusieurs manières : en réduisant la fréquence d'occurrence de l'événement initiateur Ei.2.a, en améliorant la fiabilité du système de sécurité (IPL) identifiée (LSHH-11007) ou en ajoutant des autres IPLs.

***Chapitre 4***  
***Réduction des risques***

## **Introduction**

D'après les résultats du chapitre 3, nous avons trouvé que le scénarios S2.a est jugé inacceptable et nécessite un renforcement des barrières de sécurité

Nous allons proposer d'ajouter un nouveau SIS pour la réduction de la fréquence d'occurrence de ce scénario.

Ce chapitre sera consacré pour le calcul de la fréquence d'occurrence de ce scénario après la mise en place du nouveau SIS et le dimensionnement de ce dernier.

Une simulation du système étudié sera faite afin de confirmer l'efficacité du système instrumenté de sécurité en cas de dérives suite à des défauts qui peuvent affecter le système de contrôle.

### **4.1. Réduction du risque et amélioration de la sécurité du ballon de gaz combustible**

Pour réduire la fréquence de l'événement indésirable (entraînement de liquide vers le four), nous proposons un nouveau système instrumenté de sécurité avec un capteur de niveau (LIS-11007'), PLC et deux actionneurs (vanne TOR « SDV-11000' » et une pompe volumétrique). Ce SIS se déclenche pour un niveau égale à 630 mm (68%). Dès l'ouverture de la vanne SDV-11000' le débit se partage en deux (50 % de débit vers la torche et 50% vers le ballon), la pompe volumétrique assurera le partage du débit (50%,50%). L'objectif est de diminuer le niveau du condensat jusqu'à la plage de niveau de la boucle de régulation.

#### **❖ Identification de la PFD du SIS (LSHH-11007')**

L'IPL (SIS LSHH-11007') est composée d'un capteur de niveau (LIS-11007'), Une unité de traitement PLC et deux actionneurs (vanne TOR « SDV-11000' » et une pompe volumétrique).

Pour calculer la PFD du SIS LSHH-11007', nous allons appliquer la méthode Add dont l'événement non souhaité est "la défaillance du SIS LSHH-11007'".

#### **a) Construction de l'Add**

La construction de l'Add figure (4-1) est faite par le logiciel GRIF 2017.

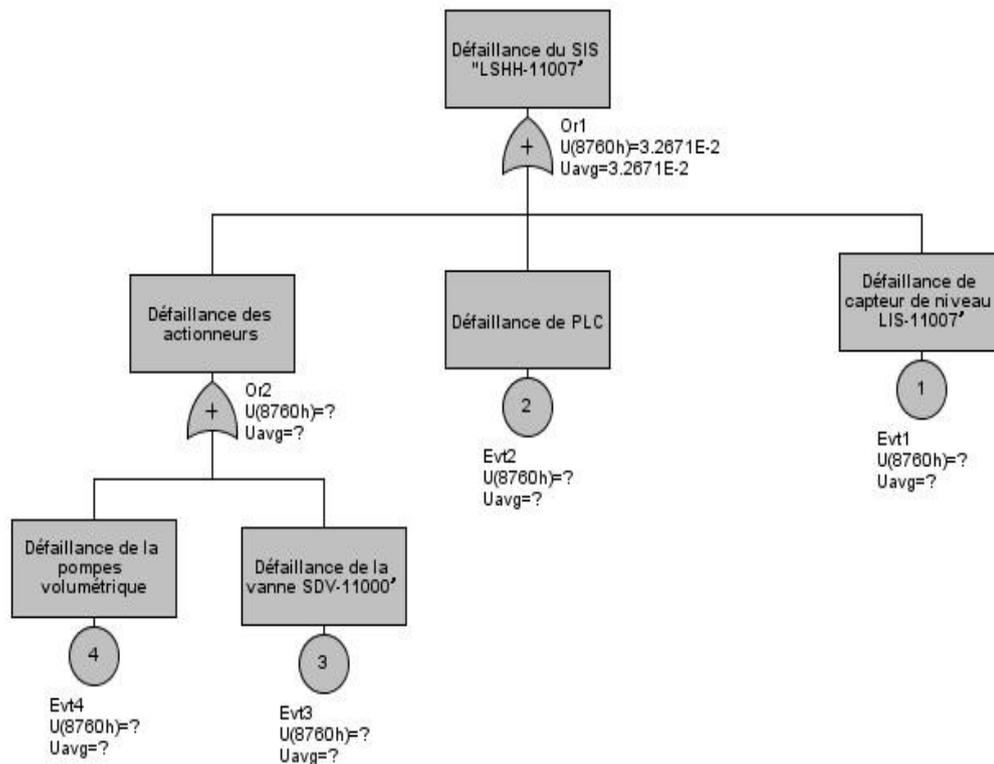


Figure 4- 1: Arbre de défaillances relatif à la défaillance de l'IPL "LSHH-11007"

Dans le tableau (4-1), les différents événements de base de l'AdD relatifs à l'ENS défaillance du SIS LSHH-11007' (figure 4-1), sont définis avec leurs probabilités de défaillance à la demande PFD.avg :

Tableau 4- 1 : Définition des événements de base de l'AdD relatif à la défaillance de l'IPL "LSHH-11007"

Evt <sub>i</sub>	La signification	PFD.avg	Source
Evt 1	défaillance de capteur de niveau LIS-11007'	1.46E-02	[27], donnée par le concepteur [EM3, 2009].
Evt 2	défaillance de PLC	4.06E-04	[26], donnée par le concepteur [INVENSYS, 2009].
Evt 3	Défaillance de la vanne SDV-11000 (6'')	1.36E-02	[31], donnée par le concepteur [PNEUMAX, 2008].
Evt 4	Défaillance de la pompes volumétrique	4.4E-03	INERIS

**b) Traitement de l'AdD**

Le traitement de cet arbre est fait à l'aide de logiciel GRIF 2017. Il s'agit de traitement qualitatif et un traitement quantitatif.

- **Traitement qualitatif de l'AdD** : Le traitement qualitatif de l'AdD (figure 4-1) est fait par le logiciel GRIF 2017. Ce traitement a montré l'existence de 4 coupes minimales d'ordre 1. L'AdD est représenté sous forme d'une expression boolienne suivante :

$$S=Evt1+Evt2+Evt3+Evt4 \quad (4.1)$$

- **Traitement quantitatif de l'AdD** : La PFD de l'IPL1 "LSHH-11007'" calculée à l'aide de logiciel GRIF 2017 est : **PFD IPL= 3.26E-02**, d'après les tableaux donnés par la norme IEC61511[18], le niveau de **SIL est égal à 1**.

❖ **Exploitation de l'AdE relatif au scénario d'accident S2.a après la mise en place du nouveau SIS**

Ce scénario est dû à un sur-remplissage du ballon de gaz combustible. Cette déviation peut être à l'origine d'une défaillance du système de régulation de niveau de condensat dans le ballon (capteur de pression LIC-11009, unité logique, la vanne de régulation de niveau LV-11009). Deux couches de protection indépendantes sont mises en place afin d'empêcher la survenance d'un incident à savoir, le SIS "LSHH-11007'", le SIS "LSHH-11007". La figure 4-2 présente l'AdE qui correspond à ce scénario d'incident.

Scénario S2.a après l'ajout du nouveau SIS

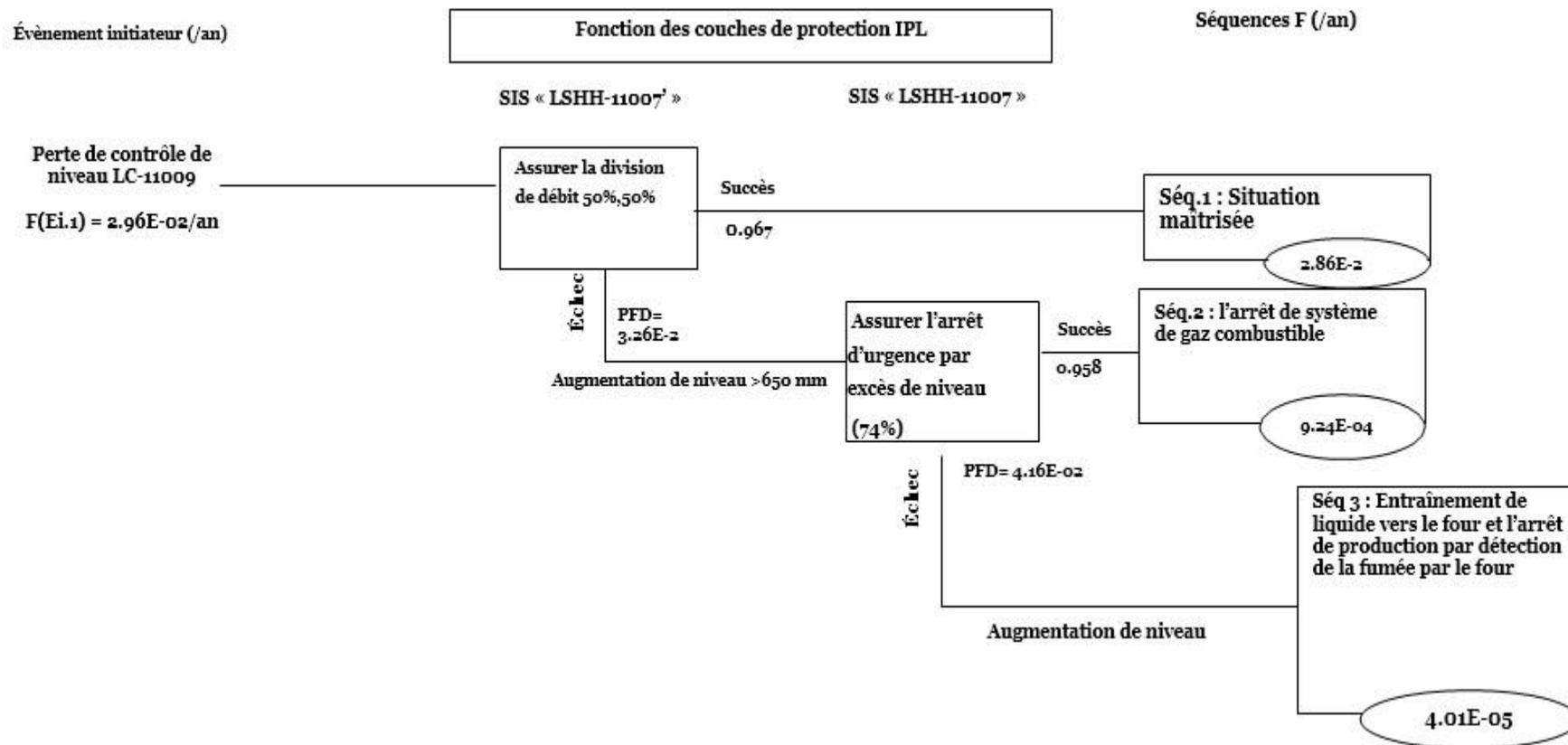


Figure 4- 2 : Exploitation de l'AdE relatif à la perte de contrôle de niveau de condensat dans le ballon après l'ajout du nouveau SIS

**Calcul des fréquences des conséquences :**

Détermination des fréquences des scénarios d'accidents, nous appliquons la relation suivante : Equation (3.6)

$f_i^c$  : fréquence de scénario

$f_i^I$ : fréquence de la conséquence associée à l'événement initiateur  $i$  à l'origine du scénario d'accident.

$PFD_{ij}$  : barrière de sécurité indépendante (IPL) numéro  $j$  vis-à-vis du scénario d'accident.

Cette procédure de calcul des fréquences de multiples scénarios d'accidents nous aidera surtout à établir la comparaison par rapport aux critères d'acceptabilité préalablement élaborés et aussi de juger si ces risques sont acceptables ou non.

**Application numérique :**

**Situation maîtrisée :** Equation (3.7)

$$f_i^c = (2.96E-02 \text{ an}^{-1}) \times (1 - (3.26E-02))$$

$$f_i^c = 2.86E-02/\text{an}$$

**L'arrêt de système de gaz combustible :** Equation (3.6)

$$f_i^c = (2.96E-02 \text{ an}^{-1}) \times (3.26E-02) \times (1 - (4.16E-2))$$

$$f_i^c = 9.24E-04/\text{an}$$

**Entraînement de liquide vers le four et l'arrêt de production par détection de la fumée dans le four :** Equation (3.6)

$$f_i^c = (2.96E-02 \text{ an}^{-1}) \times (3.26E-02) \times (4.16E-02)$$

$$f_i^c = 4.01E-05/\text{an}$$

**Application numérique :** Equation (3.8)

Pour  $f_i^c = 4.01E-05 / \text{an}$  et la fréquence de risque acceptable  $= 10^{-5} / \text{an}$  ; on a  $PFD = \frac{10^{-5} / \text{an}}{4.01E-05 / \text{an}} = 2.49 \times 10^{-1}$

Donc le SIL attribué à cette fonction est un SIL 1.

**Commentaire :** le SIL réel est conforme au SIL requis, donc les barrières de sécurité mises en place sont suffisantes.

**4.2. Dimensionnement**

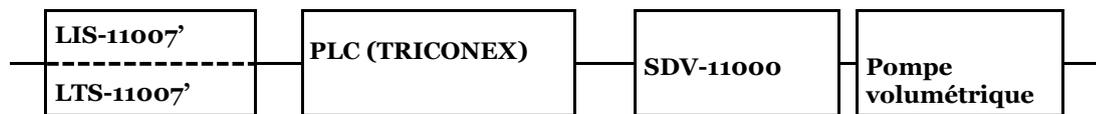
Dans cette partie nous allons définir les composants du nouveau SIS et leurs caractéristiques.

Le système instrumenté de sécurité LSHH-11007' est composé de :

- ❖ Capteur, transmetteur de niveau (LIS-11007', LTS-11007') mesure le niveau très haut à l'intérieur de ballon de gaz combustible (**68%**) et envoi un signal à l'unité de traitement.
- ❖ Unité de traitement PLC (TRICONEX) (2003) traite le signal de très haut niveau et l'adaptation par l'action sur les actionneurs.
- ❖ Les actionneurs : sont la vanne TOR SDV-11000 et une pompe volumétrique

Lorsque le capteur de niveau LIS-11007' indique un niveau très haut (**68%**), le transmetteur de niveau LTS-11007' envoi un signal à l'unité de traitement PLC, puis cette dernière devrait traiter le signal reçu et l'adapter par l'action d'ouverture de la vanne SDV-11000' et la mise en marche de la pompe volumétrique pour assurer le partage du débit (50%,50%).

L'architecture de système instrumenté LSHH-11007' est représentée dans la figure (4-3).



*Figure 4- 3 : Architecture de la boucle de sécurité LSHH-11007'*

Les différents événements de base de l'AdD relatifs à l'ENS défaillance du SIS LSHH-11007' (figure 4-1), sont définis avec leurs probabilités de défaillance à la demande PFD.avg (tableau 4-1).

Dans la (figure 4-4), nous positionnons les nouveaux composants du nouveau SIS sur le système de gaz combustible.

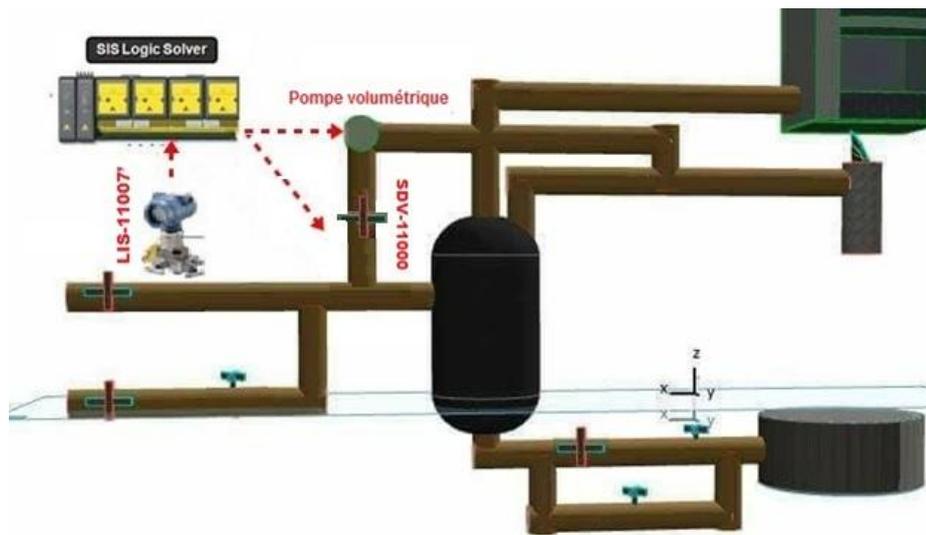


Figure 4- 4 : la représentation des composants du nouveau SIS sur le système de gaz combustible

### 4.3. Simulation

En général, il existe deux types de système d'instrumentation dans les procédés industriels classé dangereux : un système de contrôle et un système de sécurité.

Le système de contrôle dans notre cas est appelé DCS (Distributed Control System) qui sert à contrôler le procédé d'une manière continue. Il reçoit les données des instruments de mesure implantés aux différents endroits dans l'installation à commander, traite ces données selon les programmes prédéfinis et envoie les commandes appropriées aux différents actionneurs (vannes, pompes ...etc.)

Dans ce qui suit, on présentera une application de simulation développée par le software INDUSOFT, et ce dans le but de confirmer l'efficacité du système instrumenté de sécurité SIS en cas de dérives suites à des défauts qui peuvent affecter le système de contrôle.

4.3.1. Application de simulation par le software Indusoft

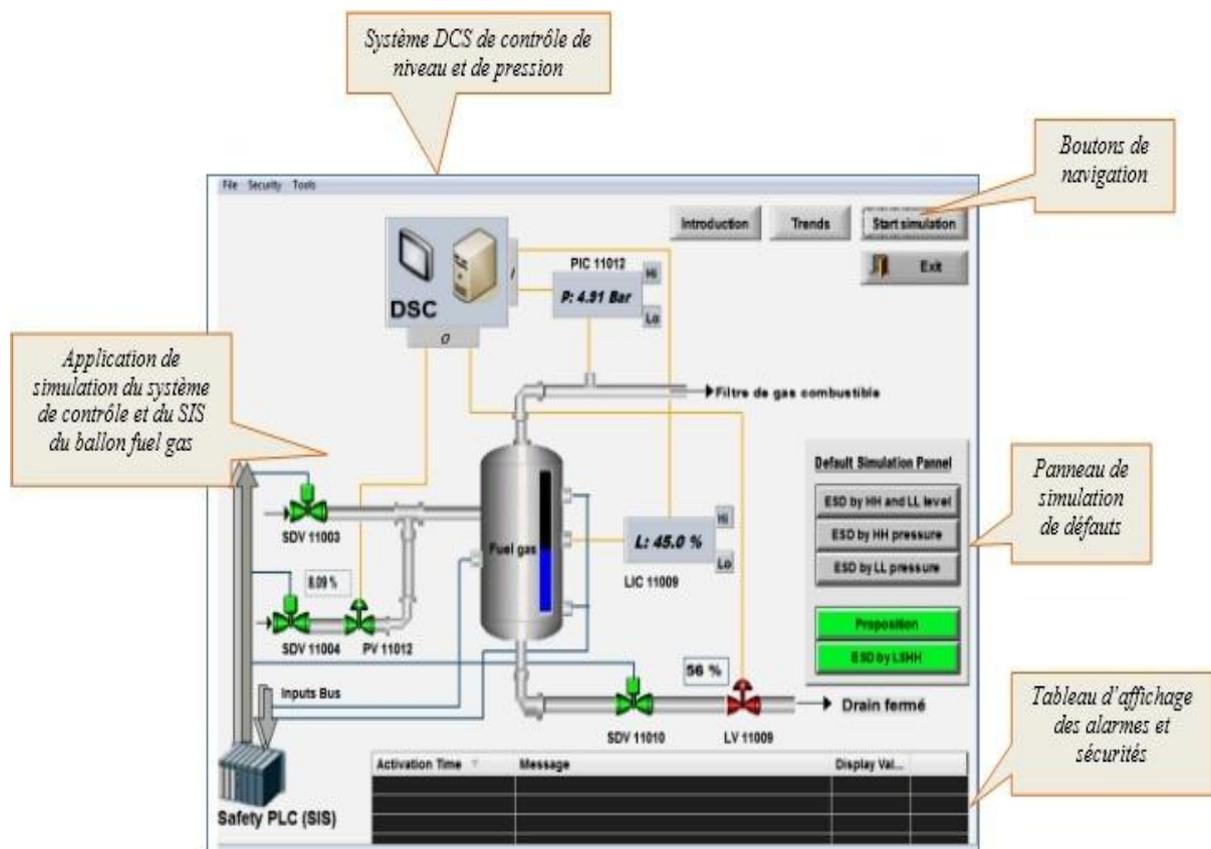


Figure 4- 5 : Système de contrôle et SIS du ballon de fuel gas

4.3.2. Description du système

Le système considéré dans notre application est représenté par la figure 1-11, ce système représente un réservoir de fuel gaz alimenté par l'unité à 4.5 bar et le gaz provenant de Gassi Touil à 28 bar. Le système de contrôle est assuré par le DCS, un contrôleur de niveau LIC11009, une vanne régulatrice de niveau LV11009, un contrôleur de pression PIC11012 et une vanne régulatrice de pression PV11012.

Les valeurs de pression et de niveau sont affichées directement sur les contrôleurs de pression et de niveau respectivement. Les pourcentages d'ouverture ou de fermeture des vannes régulatrices sont affichés à coté de ces derniers.

Le système instrumenté de sécurité SIS est composé d'un automate de sécurité Silé 2oo3 (2 Out Of 3), deux vannes de sécurité (Shut Down Valves) SDV11003 et SDV11004 et une vanne de sécurité de sortie SDV11010.

En fonctionnement normal, le DCS prend le contrôle et toutes les vannes SDV sont en position ouverte, en cas de dérive dangereux le système SIS prend automatiquement le

contrôle en commandant le process vers une position de sécurité prédéfinie, en activant un arrêt d'urgence ESD par la vanne SDV appropriée.

**N.B :** une vanne en vert est une vanne ouverte ou en cours d'ouverture, et une vanne rouge est une vanne fermée ou en cours de fermeture.

**4.3.3. Simulation de fonctionnement du système (fonctionnement normal)**

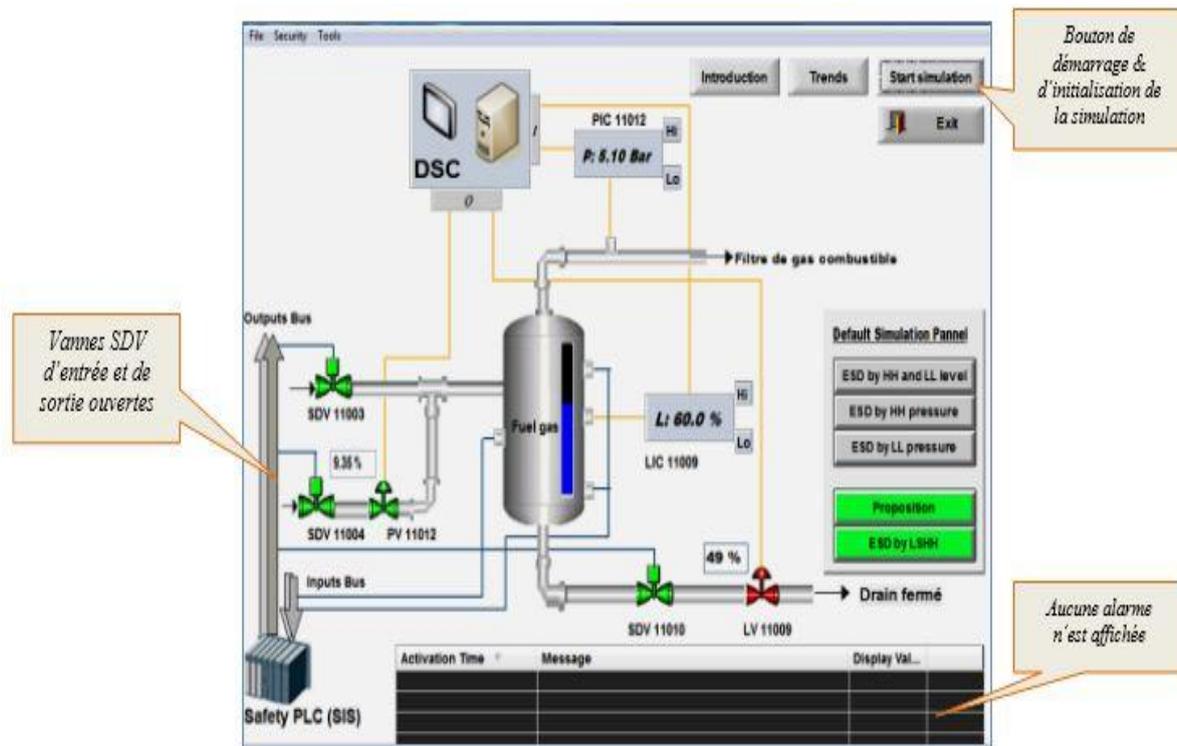


Figure 4- 6 : Simulation de fonctionnement du système (fonctionnement normal)

En appuyant sur le bouton « Start simulation » le DCS prend le contrôle de remplissage et de vidange du ballon selon les données reçues des capteurs.

En fonctionnement normal, les trois vannes SDV sont ouvertes, le DCS ordonne la vanne PV11012 de s'ouvrir pour recevoir de l'effluent, la vanne LV11009 étant fermée.

Quand le niveau atteint la LAH ou la pression atteint la valeur PAH, la vanne PV11012 se ferme et la vanne LV11009 se ferme.

**4.3.4. Simulation de fonctionnement du système SIS (fonctionnement avec défauts)**

❖ **Simulation d'un ESD par une sécurité très haut niveau LSHH**

Dans le même scénario le niveau de liquide remonte dans le ballon car la sortie est fermée et l'entrée est toujours ouverte, dans ce cas le SIS va actionner un Shut Down quand le niveau atteint la valeur LSHH (très haut niveau comme l'indique la figure suivante :

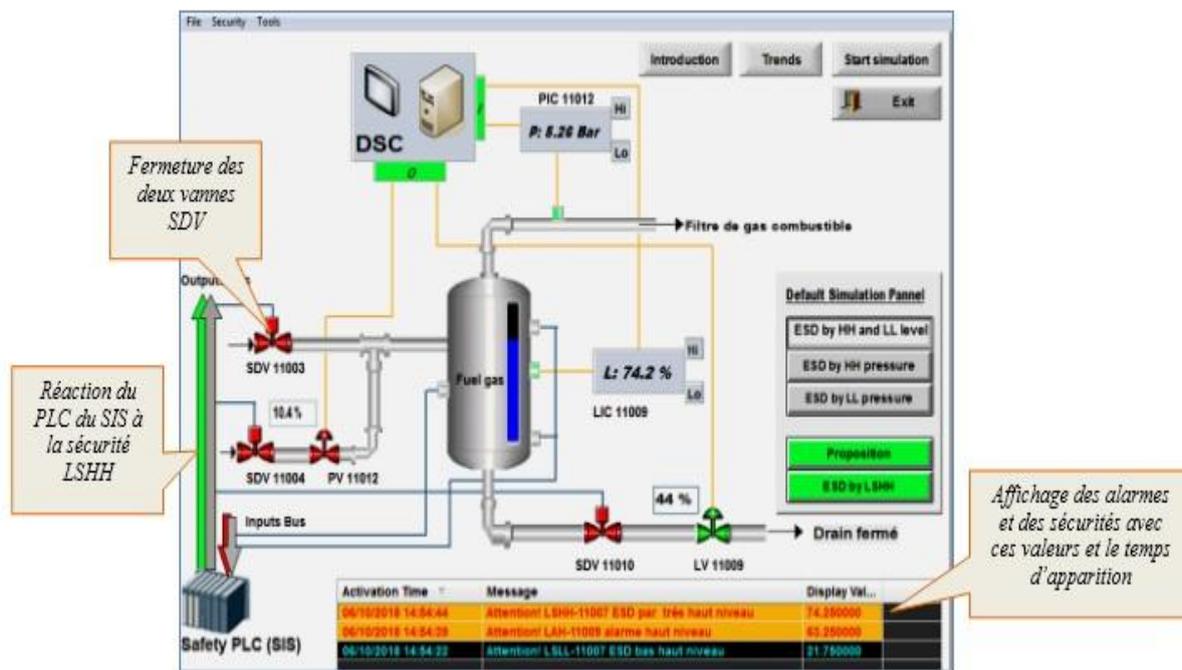


Figure 4- 7 : Simulation d'un ESD par une sécurité très haut niveau LSHH

### 4.3.5. Proposition d'amélioration de sécurité par un autre SIS

Pour le scénario d'un ESD par une sécurité LSHH le SIS existant ne réagit qu'après le niveau de 74%. Une défaillance au niveau d'un composant de ce SIS peut ne pas donner lieu à une situation gravement dangereuse, de ce fait, nous avons proposé l'installation d'un nouveau SIS composé d'un Automate de sécurité, une pompe volumétrique, une vanne SDV, les instruments de mesure, le câblage d'acheminement des données et une tuyauterie d'évacuation de 50% de l'effluent d'entrée vers torche.

Ce système va bien réagir avant que le niveau atteigne la valeur de 74%.

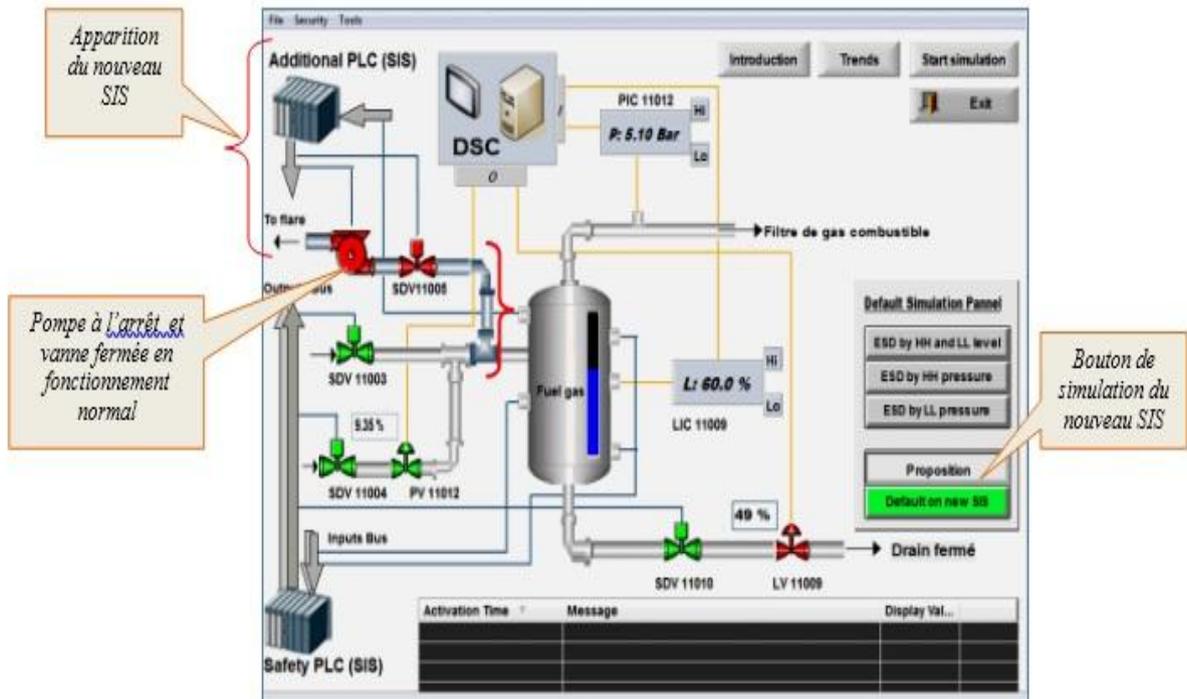


Figure 4- 8 : simulation du nouveau SIS sur le système étudié

Premièrement, en appuyant sur le bouton « Proposition », notre nouveau SIS apparaîtra et réagira selon les conditions qui lui sont assignées.

Pour simuler un défaut qui conduit à une déviation de très haut niveau, on appui sur le bouton « ESD by HH and LL ». Ceci simulera un blocage de la vanne de sortie LV11009 en position fermée malgré qu’elle s’affiche ouverte en couleur verte.

Lorsque le niveau atteint la valeur de sécurité LSHH = 68%, le nouveau SIS réagira en activant l’ouverture de la vanne SDV11000 et le démarrage de la pompe pour évacuer le 50% du débit d’entrée de l’effluent vers la torche, comme illustre la figure ci-après.

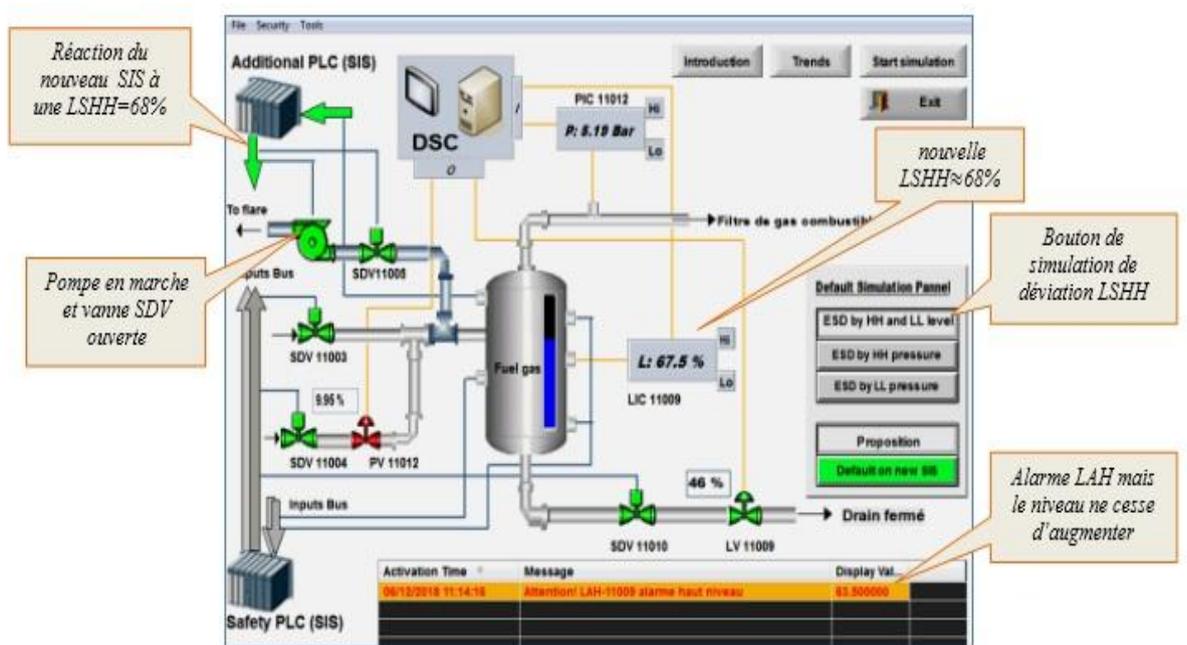


Figure 4- 9 : la réaction du nouveau SIS à une LSHH= 68%

❖ Simulation d'un défaut sur le nouveau SIS proposé

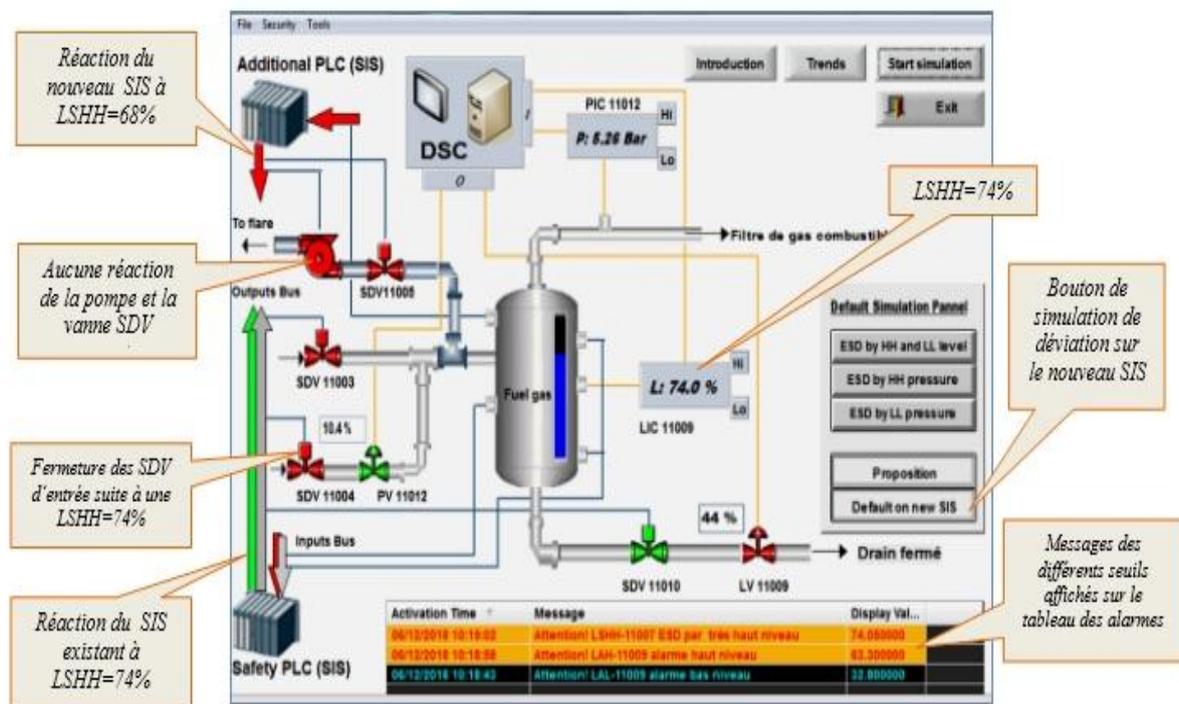


Figure 4- 10 : Simulation d'un défaut sur le nouveau SIS proposé

4.4. Etude économique pour le nouveau SIS

Les données sur les composants de nouveau SIS sont présentées dans le tableau 5-6.

En raison de l'indisponibilité des données financières sur les composants actuels du SIS, nous avons pris une moyenne des prix des composants qui sont sur le marché. Nous avons utilisé les probabilités de défaillance calculée par la méthode LOPA.

La fiabilité de chaque composant est donnée par :

$$R_i = 1 - PFD_{avg_i} \tag{4.2}$$

Tableau 4- 2: Données sur les composants du système déluge

Composant	PFDavg	Fiabilité R	Prix (\$)	Prix (DZ)
Capteur de LIS 11007'	1.46E-02	0.9854	300	36435
La vanne SDV-11000'	1.36E-02	0.9864	1000	121450
La pompes volumétrique	4.4E-03	0.9956	3500	425075
Solveur logique PLC	4.06E-04	0.9995	100	12145

Le coût du nouveau SIS est égal à 4900 \$ (595105 DZ), c'est un cout faible par rapport au revenu de cette entreprise, nous pouvons dire qu'avec cette proposition nous allons aider l'entreprise à fournir une prévention parfaite pour son installation.

## **Conclusion**

Dans ce chapitre, après l'ajout du nouveau SIS et son dimensionnement, nous avons trouvé que la proposition d'ajouter un autre SIS s'avère indispensable du fait que la défaillance sur le SIS existant peut conduire à des accidents extrêmement graves, cette proposition nous a permis d'atteindre la conformité voulue.

La simulation des différents scenarios de réaction du process est illustrée par le développement d'une application par le logiciel de supervision Indusoft afin d'avoir une image plus claire sur le système étudié, ainsi d'avoir la réaction des deux systèmes instrumentés de sécurité (LSHH-11007 et LSHH-11007') en cas d'une déviation dangereuse.

***Chapitre 5***  
***Analyse des barrières de sécurité par la***  
***méthode BORA***

## **Introduction**

Le projet BORA est un projet de recherche mené dans la période 2003-2006 où l'objet principale était de réaliser une démonstration de la modélisation et une analyse des barrières vis-à-vis des plateformes de production en offshore, y compris les éléments des barrières humaines, techniques et organisationnelles. Les barrières devraient être incluses avant et après la réalisation des événements imprévus, soit pour prévenir les événements de se produire, si non pour éliminer les conséquences. L'analyse se présente sous une forme quantitative autant que possible, avec les restrictions imposées par les modèles et les données disponibles. L'analyse est effectuée de telle manière qu'elle permettra d'identifier les défaillances et les combinaisons qui comportent des risques. Cela peut également être utilisé pour identifier les mesures nécessaires pour contrôler le risque et maîtriser l'effet des modifications et changement de configuration, ainsi que pour révéler l'effet des facteurs d'influence sur les barrières et leurs performances dans un système opérationnel. [33]

Dans ce chapitre nous nous intéresserons aux barrières de sécurité actives mises en place dans les systèmes critiques étudiés afin de réduire les risques d'accidents majeurs identifiés.

Nous avons appliqué la méthode BORA pour corriger les probabilités de défaillances des équipements. Les résultats obtenus grâce à cette méthode vont être comparés aux résultats obtenus par la méthode LOPA.

### **5.1. Méthodologie BORA (Barrier and Operational Risk Analysis)**

La méthodologie BORA ou l'analyse des barrières et des risques opérationnels (Barrier and Operational Risk Analysis) a été développée à l'Université Norvégienne de Sciences et Technologies (NTNU). Son objectif est de faire une analyse détaillée et quantitative de la performance des barrières. BORA permet de quantifier la probabilité de défaillance ( $PFD_{avg}$ ) des barrières de sécurité mais permet également de prendre en compte les facteurs techniques, opérationnels et organisationnels, qui influent sur la performance des barrières. Ces derniers sont utilisés pour ajuster la probabilité des défaillances de base conduisant à l'échec de la barrière. [35]

La méthodologie BORA combine plusieurs outils : le bloc diagramme barrière (BDD) qui permet de situer la fonction de la barrière de sécurité dans le scénario d'accident, l'arbre de défaillance (AdD) utilisé pour identifier les défaillances et la séquence de ces derniers qui conduisent à l'échec de la barrière et finalement, le diagramme d'influence qui permet d'identifier les facteurs influençant la performance et de corriger la probabilité des événements de base. La méthode BORA est implémentée selon les étapes explicitées ci-après.

## 5.2. Les principales étapes d'une analyse BORA

Les étapes d'une analyse BORA sont les suivantes :

### 5.2.1. Identification des barrières et développement du diagramme block barrière

La première étape consiste à illustrer un modèle de base de risque qui couvre un ensemble représentatif des scénarios d'accident. Le but est d'identifier, illustrer et décrire les scénarios qui pourraient conduire à la conséquence indésirable sur un système.

Le modèle de base du risque constitue la base pour l'analyse qualitative et quantitative du risque, des conséquences indésirables et les barrières de sécurité mises en place pour prévenir ces conséquences. Le modèle de base du risque est illustré par le diagramme block barrières (DBB) comme montré dans la figure 5-1. Un diagramme block barrières se compose d'un événement initiateur, des flèches qui indiquent la séquence des événements, les fonctions de la barrière, et les résultats possibles. Une flèche horizontale indique que le système de barrière remplit sa fonction, alors que la flèche vers le bas indique l'échec de la fonction [36].

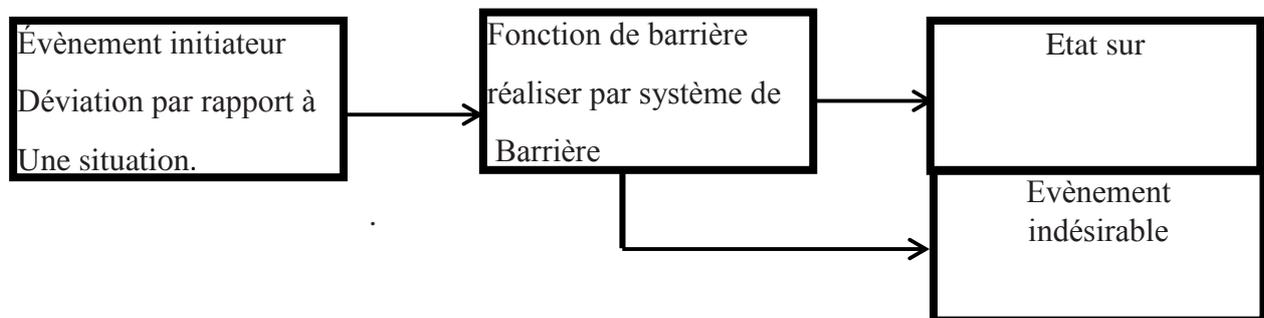


Figure 5- 1: Illustration d'un diagramme block barrière [36].

### 5.2.2. Modélisation de la performance des barrières de sécurité

Cette étape consiste à modéliser la performance des barrières de sécurité. Le but de cette modélisation est d'analyser la performance spécifique des barrières de l'installation et permettre d'achever une analyse spécifique des conditions des ressources humaines, opérationnelles, organisationnelles et les facteurs techniques. Elle est établie à l'aide de l'arbre de défaillance (AdD) en prenant en compte comme événement de tête l'échec de la barrière de sécurité [34].

### 5.2.3. Elaboration des diagrammes d'influence

Cette étape consiste à construire un diagramme qui permet d'intégrer l'effet des conditions du système sur les probabilités des événements de base de l'arbre de défaillance et les performances de la barrière [36].

Les conditions du système sont représentées par des facteurs influençant le risque ou RIF (Risk Influencing Factors). Il existe 5 catégories de RIFs : système technique, tâche, contrôle administratif, facteur organisationnel et personnel, elles sont détaillées dans l'annexe (4).

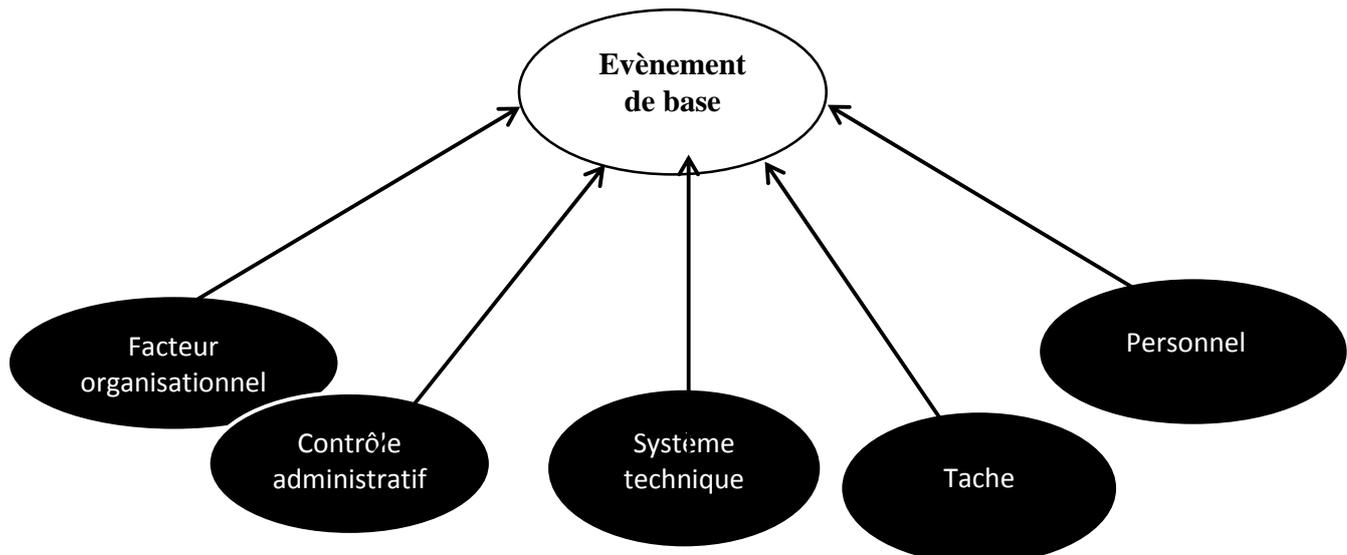


Figure 5- 2 : Diagramme d'influence de risque.

#### 5.2.4. Affectation des poids et des scores de RIF

Les RIF sont caractérisés par un "Poids" et un "Score". Le poids nous dit combien le RIF influe sur la probabilité (un grand poids implique une forte influence, un poids faible implique une faible influence) et le score détermine l'état du RIF pour l'installation étudiée. A titre d'exemple, la probabilité de faire une erreur lors du remplacement d'un joint de bride peut dépendre de la compétence du mécanicien de faire le travail et la contrainte du temps lorsque le travail est effectué. Si la compétence est élevée, la probabilité sera faible, tandis que si la situation de travail est stressante la probabilité peut augmenter.

Un score doit être attribué pour chaque RIF identifié. Il varie de A à F tel que A correspond aux meilleures pratiques par rapport au standard (norme) de l'industrie et F au pire. Le score nous renseigne sur l'état du RIF pour l'installation étudiée. [36]

L'identification des RIFs et l'attribution de leurs poids et de leurs scores, se fait à partir des résultats des interviews effectuées auprès des personnes chargées de l'exploitation.

Le tableau (5-1) donne la signification des scores.

Tableau 5- 1: Système générique pour le score des RIF

Score	Explication
<b>A</b>	Etat qui correspond à la meilleure norme dans l'industrie
<b>B</b>	Etat qui correspond à un niveau supérieur à la moyenne de l'industrie
<b>C</b>	Etat qui correspond à la moyenne de l'industrie
<b>D</b>	Etat qui correspond à un niveau légèrement inférieur à la moyenne de l'industrie
<b>E</b>	Etat qui correspond à un niveau nettement inférieur à la moyenne de l'industrie
<b>F</b>	Etat qui correspond au pire pratique dans l'industrie

**5.2.5. Réajustement (correction) des probabilités et des fréquences moyennes**

Dans cette étape, les probabilités des évènements de base vont être corrigées en tenant compte des scores et des poids des RIFs identifiés pour chaque évènement [2]

$$P_{rev}(A) = P_{moy}(A) \cdot \sum_{i=1}^n W_i \cdot Q_i \tag{5.1}$$

Où :

A : évènement de base.

Prev (A) = Probabilité révisée (ajustée).

Pmoy (A) = Probabilité moyenne de l'industrie (Statistique) de l'occurrence de l'évènement (A)

Wi = poids du RIF pour l'évènement A, i : pour l'évènement A.

Qi = mesure du score de RIF, n : est le nombre de RIF.

Avec :

$$\sum_{i=1}^n W_i = 1$$

Le défi consiste maintenant à déterminer les valeurs appropriées pour Qi et Wi.

Pour déterminer les Qi, nous avons besoin d'associer à chaque score un nombre d'état de A-F. Le moyen proposé pour déterminer le Qi est :

- Déterminer Plow(A) comme la limite inférieure pour Prev (A), (par retour d'expérience)
- Déterminer Phigh (A) comme la limite supérieure pour Prev (A), (par retour d'expérience)
- Ensuite, mettre pour i = 1, 2, ... n ;

Les formules utilisées pour calculer numériquement les poids des Rifs sont données ci-dessous :

$$Q_i = \begin{cases} P_{low}/P_{moy} & , S = A \\ \frac{P_{low}}{P_{moy}} + \frac{(S_a - S_a) \left(1 - \frac{P_{low}}{P_{moy}}\right)}{S_c - S_a} & , S = B \\ 1 & , S = C \\ 1 + \frac{(S_D - S_C) \left(\frac{P_{high}}{P_{moy}} - 1\right)}{S_F - S_A} & , S = D \\ 1 + \frac{(S_E - S_C) \left(\frac{P_{high}}{P_{moy}} - 1\right)}{S_F - S_{AC}} & , S = E \\ P_{high}/P_{moy} & , S = F \end{cases} \tag{5.2}$$

Avec :  $SA=1$ ,  $SB=2$ ,  $SC=3$ ,  $SD=4$ ,  $SE=5$  et  $SF=6$ .

### **5.2.6. Calcul des probabilités moyennes de défaillance des barrières réelles**

Après avoir développé les AdD de toutes les barrières de sécurité, et à l'aide de l'outil GRIF 2007, L'évaluation de l'arbre de défaillance se fera avec les probabilités ajustées des événements de bases. Nous avons calculé les probabilités moyennes réelle de ces événements, et les résultats obtenus sont présentés dans le tableau (5-2) afin de déterminer le degré d'intégrité du SIS étudié.

### **5.2.7. Calcul de la fréquence moyenne de conséquence du scénario (S2. a)**

La fréquence de conséquence indésirable générique du scénario d'accident (**S2. A**) est calculée en multipliant la fréquence de l'évènement initiateur et les probabilités de défaillance ajustée des barrières (PFDave), selon l'équation suivante :

$$Fave (A) = Fave (A0). PFDave (A1). PFDave (A2). \quad (5.3)$$

## **5.3. Application de la méthode BORA**

Dans notre étude on va appliquer cette méthode sur un scénario critique (scénario S2a) dans le but de corriger les probabilités de défaillance des équipements. Les étapes de la méthode BORA sont les mêmes étapes que l'on a suivies dans la partie précédente (les étapes de la méthode LOPA) avec la présence d'autres étapes nous permettant de quantifier la probabilité de défaillance (PFDavg) des barrières de sécurité et permet également de prendre en compte les facteurs techniques, opérationnels et organisationnels, qui influent sur la performance des barrières. Ces derniers sont utilisés pour ajuster la probabilité des défaillances de base conduisant à l'échec de la barrière.

### **5.3.1. Développement de diagramme block barrière et arbres de défaillance**

Le système contrôle de niveau est utilisé dans le but de garder la valeur opératoire normale de condensat parce qu'une déviation de ce paramètre de son mode opératoire normale peut causer une situation potentiellement dangereuse.

Le système de contrôle et de régulation de ce paramètre opératoire est décrit dans le chapitre 2.

Nous avons relevé un scénario critique faisant intervenir le système instrumenté de sécurité comme une barrière de protection. La figure 5-3 représente le diagramme bloc barrière correspondant au scénario **S2a**.

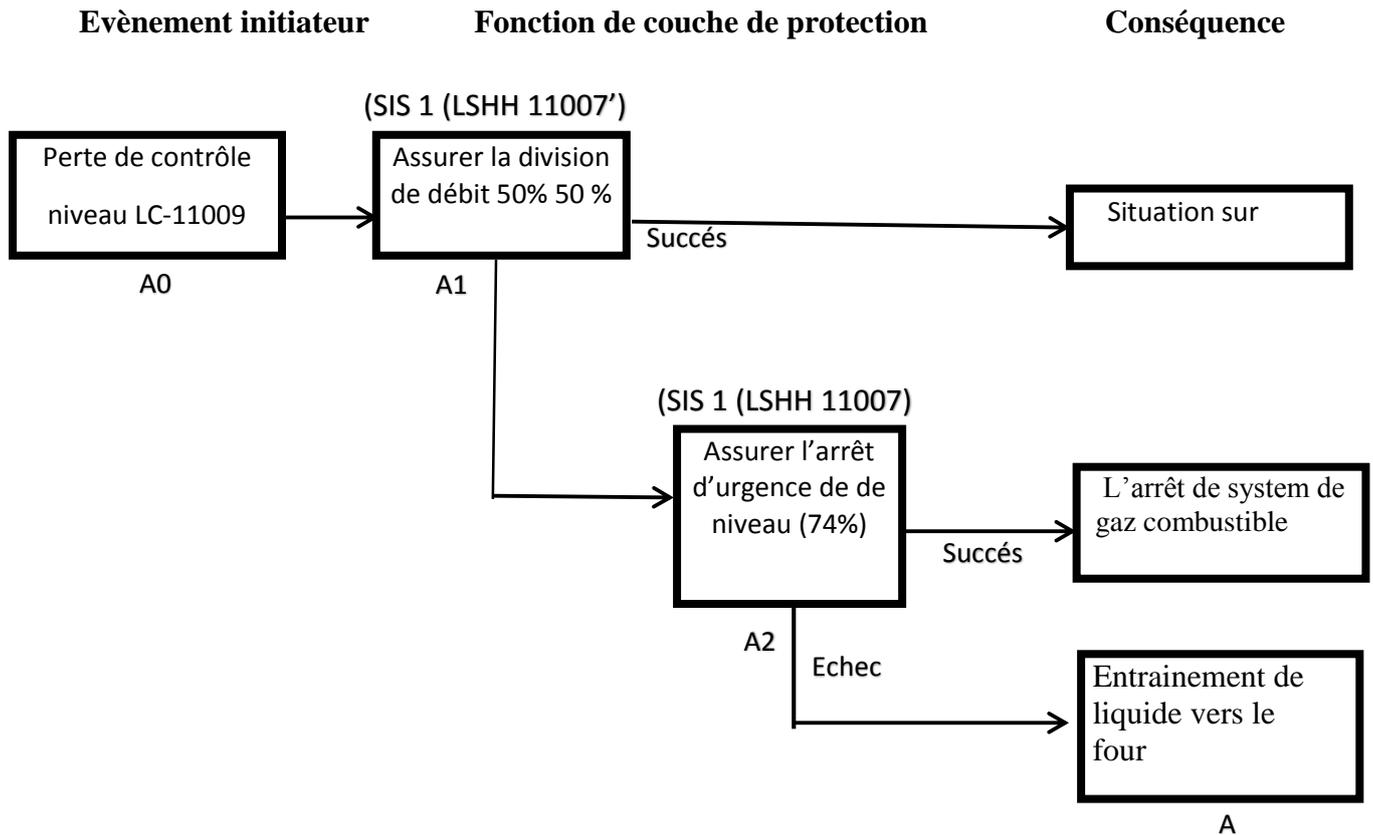


Figure 5- 3: Diagramme Block Barrière relatif au scénario d'accident S2a.

### 5.3.1.1. Arbre de défaillance du système de régulation (évènement initiateur)

L'arbre de défaillance correspondant à la défaillance du système de régulation qui est l'évènement initiateur de notre scénario critique est présenté dans la figure 5-4

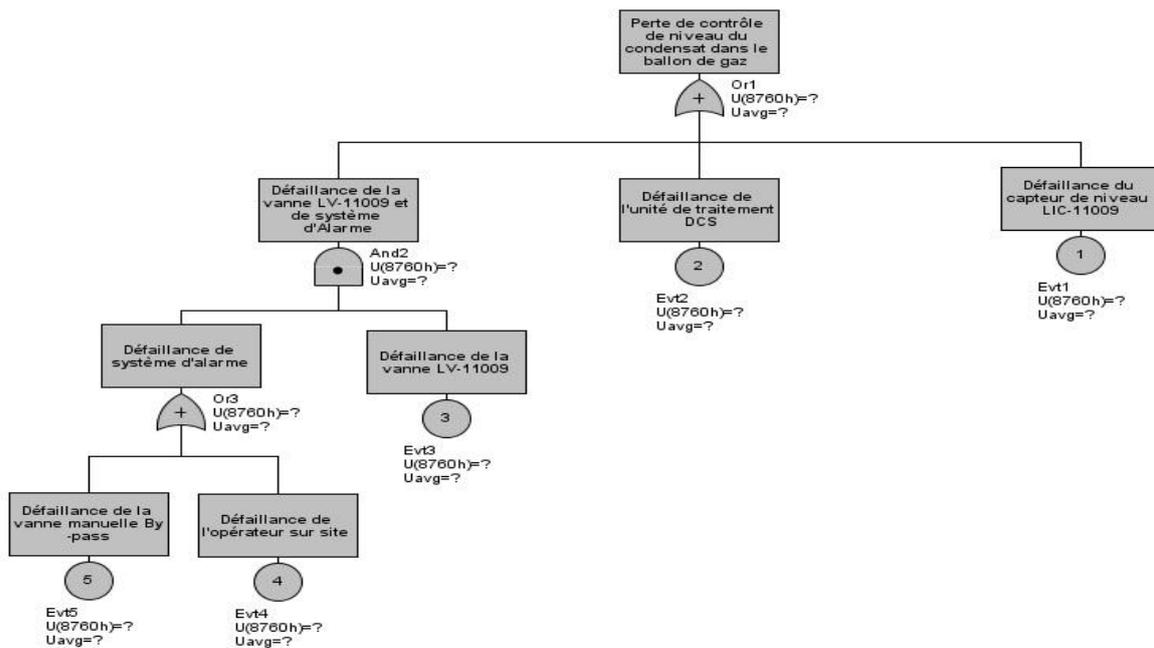


Figure 5- 4: l'AdD pour l'évènement initiateur perte de contrôle de niveau du condensat.

5.3.1.2. Arbres de défaillance des couches de protection

➤ SIS 1 (LSHH 11007')

L'arbre de défaillance correspondant à la défaillance du système instrumenté de sécurité (LSHH 11007) qui est la première couche de protection de notre scénario critique est présenté dans la figure 5-5.

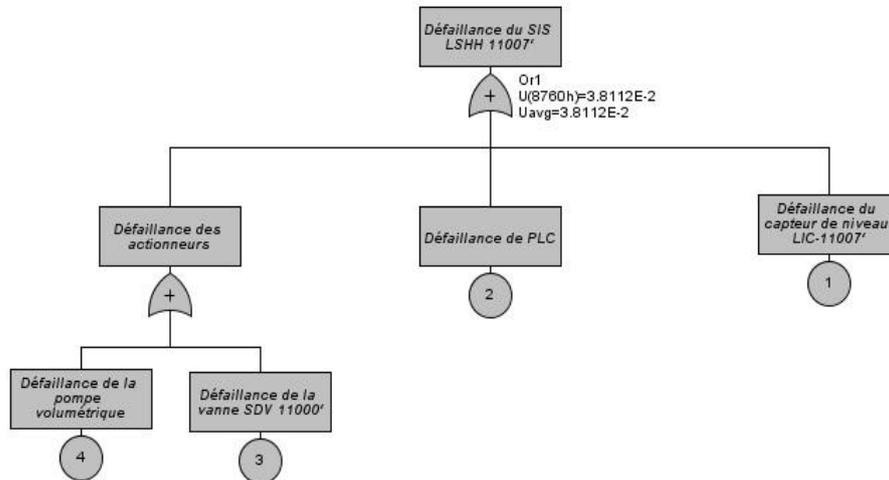


Figure 5- 5: Arbre de défaillances relatif à la défaillance de l'IPL "LSHH-11007'.

➤ SIS 2 (LSHH 11007)

L'arbre de défaillance correspondant à la défaillance du système instrumenté de sécurité (LSHH 11007) qui est la deuxième couche de protection de notre scénario critique est présenté dans la figure 5-6.

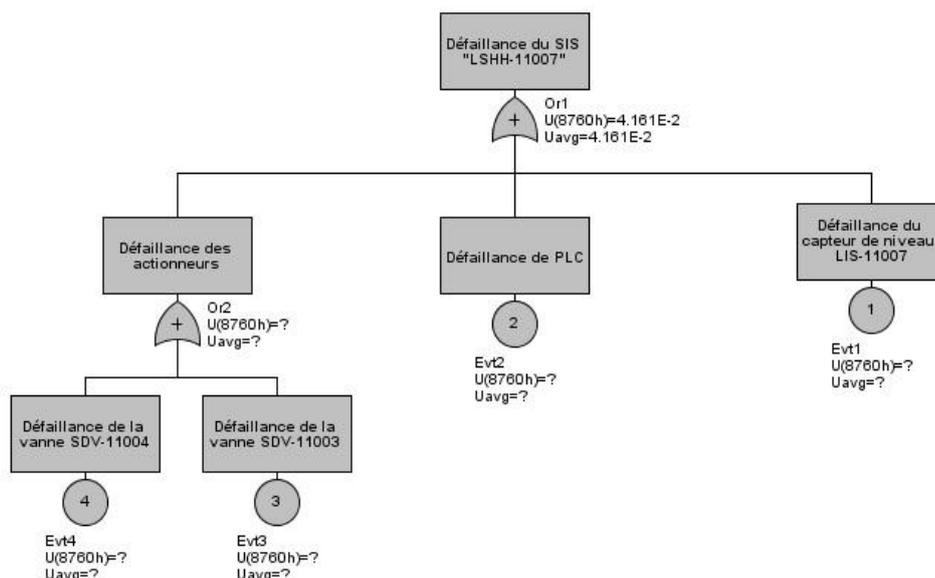


Figure 5- 6 : Arbre de défaillances relatif à la défaillance du SIS 2 "LSHH-11007.

Les évènements de base ainsi que les probabilités de défaillance (OREDA, 2002) qui leur correspondent sont présentés dans le Tableau 5-2.

Tableau 5- 2: Probabilités de défaillances des événements de base.

Composants	P <sub>low</sub>	P <sub>moy</sub>	P <sub>high</sub>
Défaillance de PLC	4.06E-05	4.06E-04	7.71E-04
Capteur LIS 11007et 11007'	1.4E-03	1.46E-02	2.77E-02
Défaillance de la vanne SDV 11004 et 11003	1.36E-03	1.36E-02	2.58E-02
Défaillance de la vanne manuelle BY PASS	5.87E-03	5.87E-02	1.11E-01
Erreur humaine	1.00E-03	1.00E-02	1.9E-02
Défaillance du capteur LIS 11009	3.3E-07	3.3E-06	6.27E-06
Défaillance de DCS	8.8E-10	8.8E-09	1.67E-08
Défaillance de la vanne de régulation LIV 11009	1.15E-07	1.15E-06	2.19E-06
Défaillance de la vanne SDV-11000' (6'')		1.36E-02	2.58E-02
Défaillance de la pompes volumétrique	4.4E-04	4.4E-03	8.36E-03

### 5.3.2. Ajustement des valeurs de probabilité par l'intégration des facteurs d'influence du risque (FIS)

Les figures ci-dessous représentent les diagrammes d'influence des évènements de base pouvant menées à la défaillance de système de régulation (évènement initiateur) et à la défaillance de système instrumenté de sécurité (barrière de sécurité) :

➤ Pour l'évènement initiateur S2a

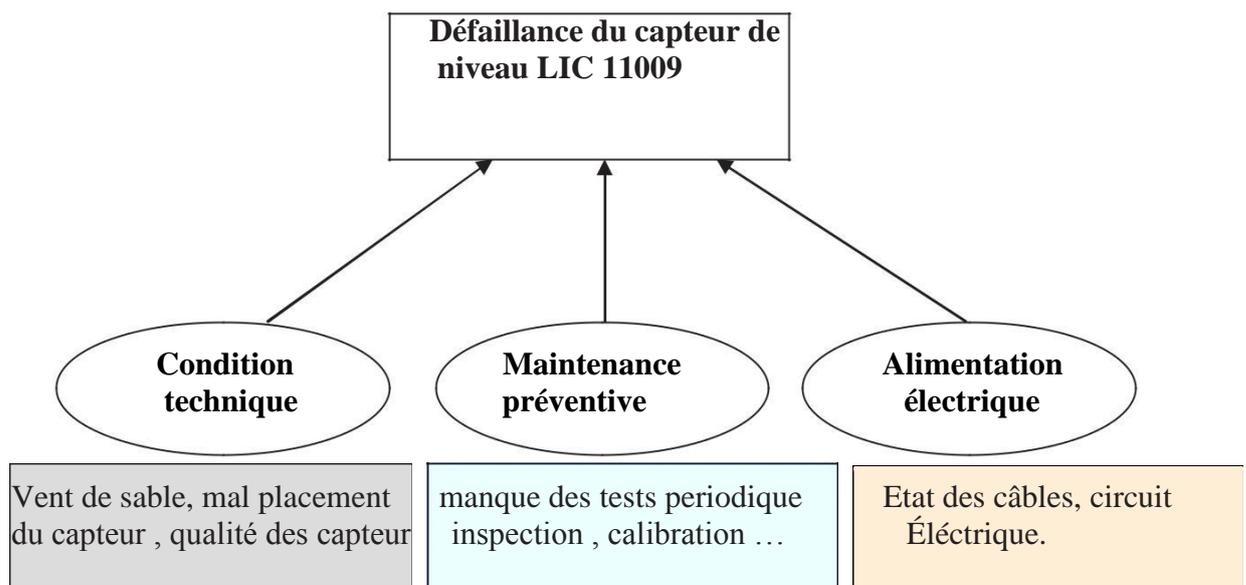


Figure 5- 7: Diagramme d'influence de la défaillance du capteur LIC 11009.

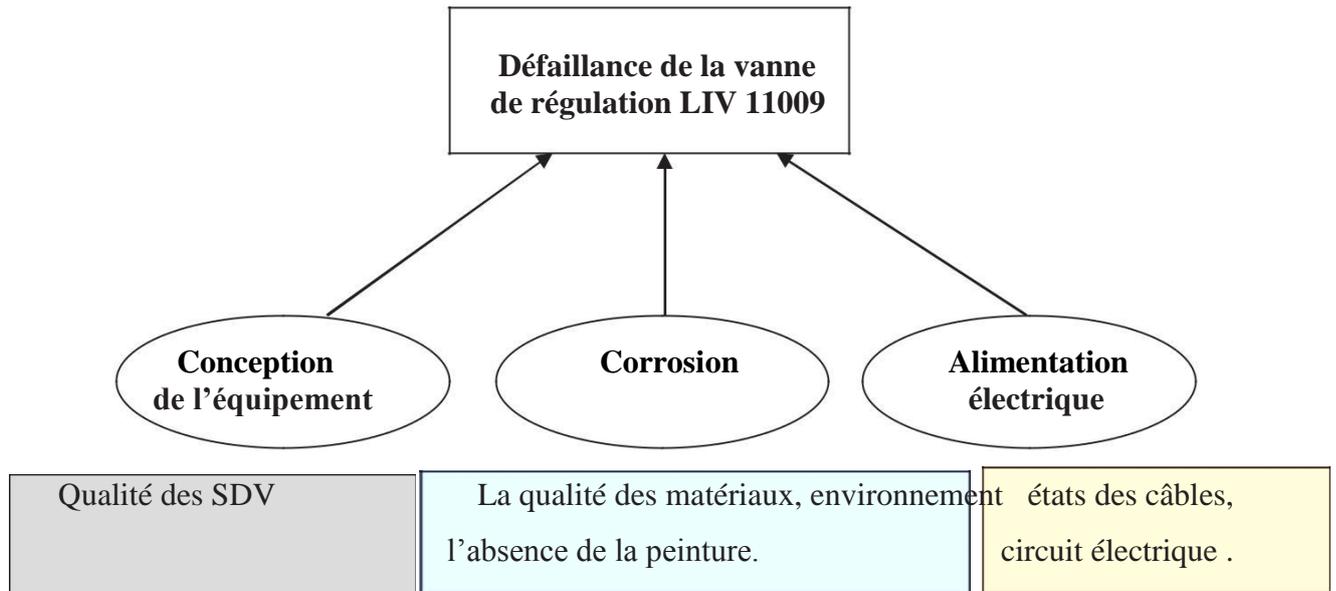


Figure 5- 8: Diagramme d'influence de la défaillance de la vanne de régulation.

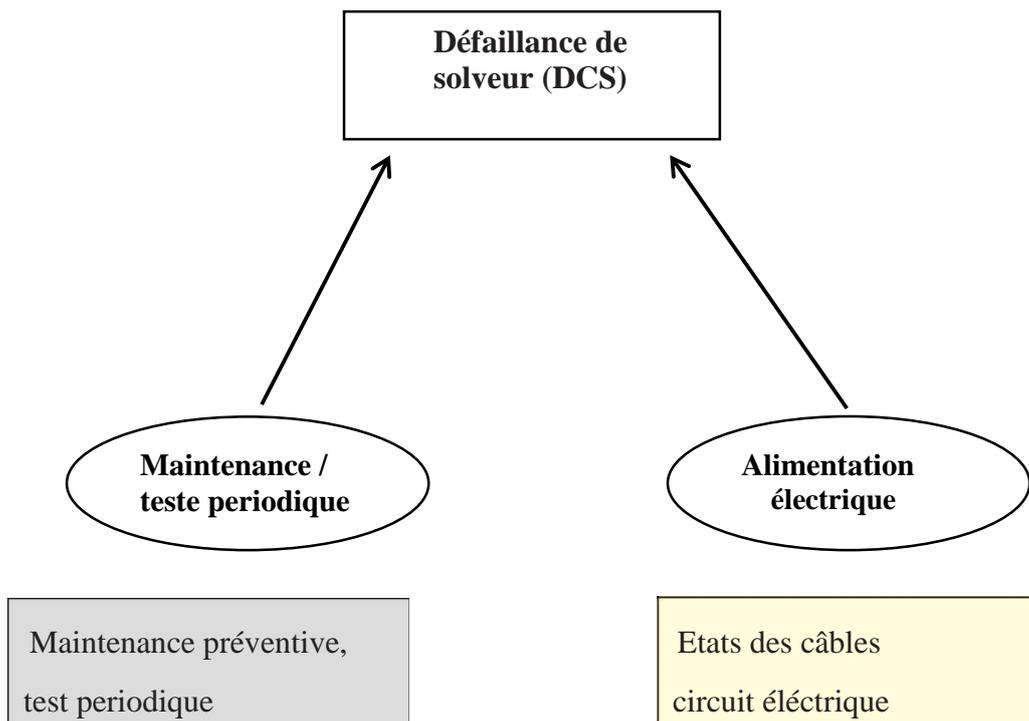


Figure 5- 9: Diagramme d'influence de la défaillance de DCS.

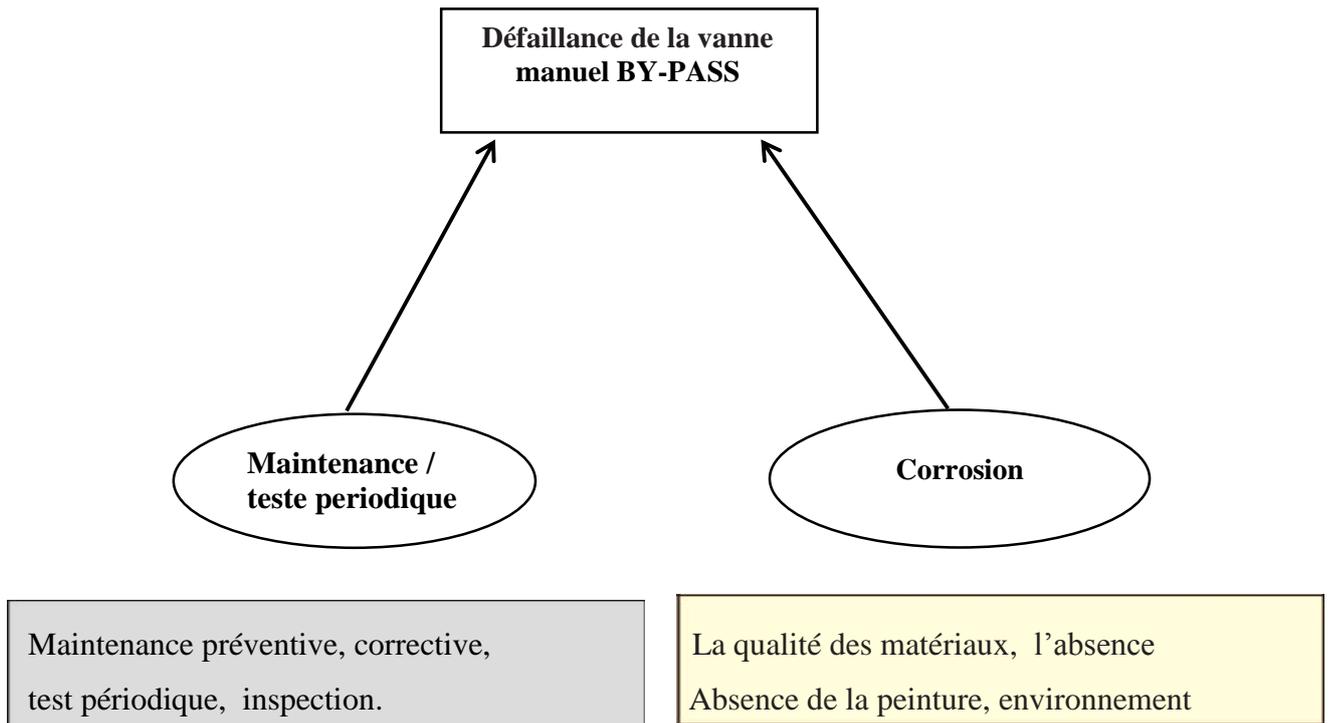


Figure 5- 10: Diagramme d'influence de la défaillance de la vanne manuel.

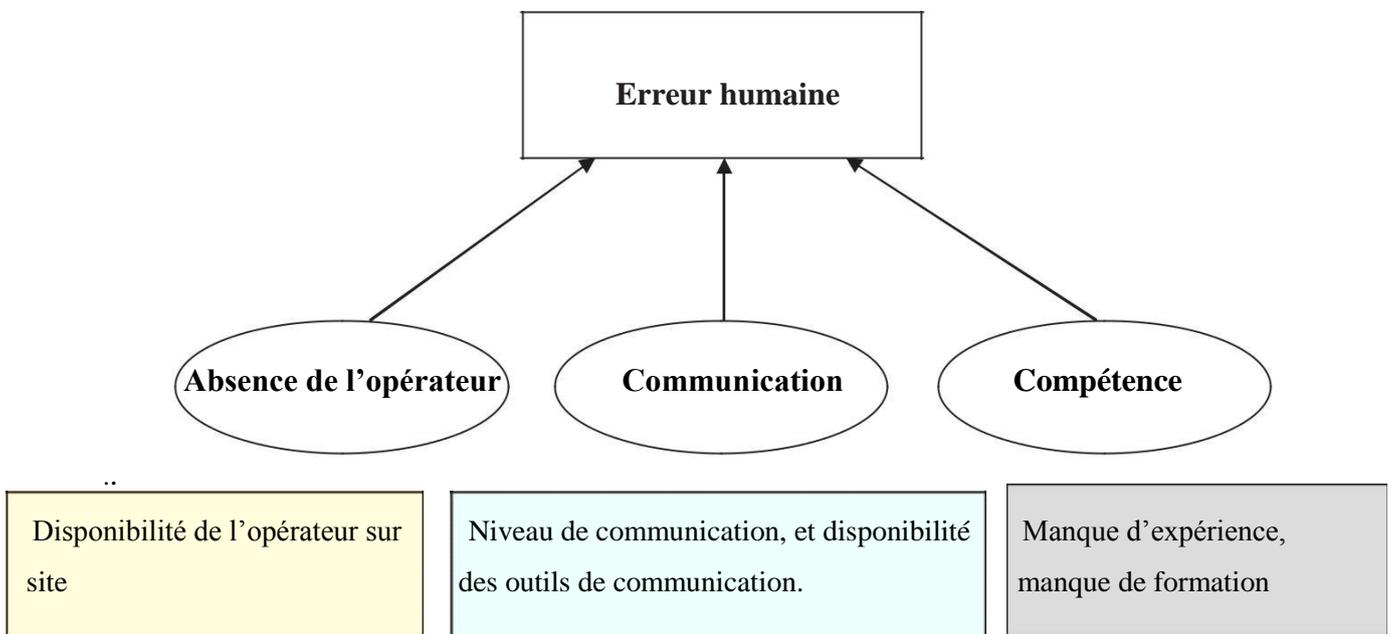
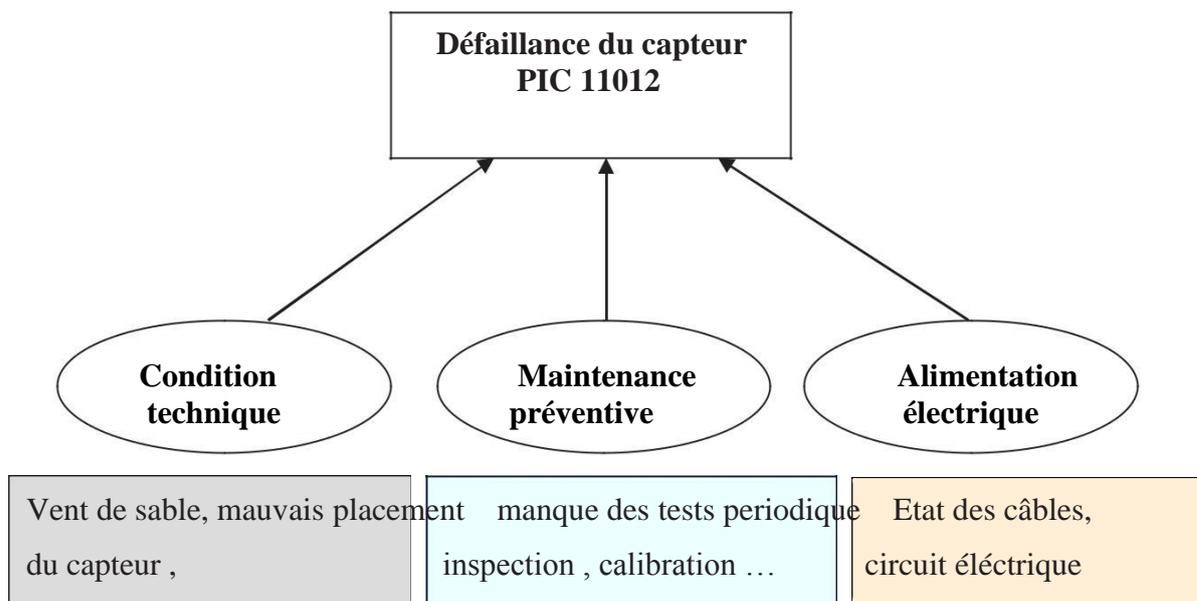
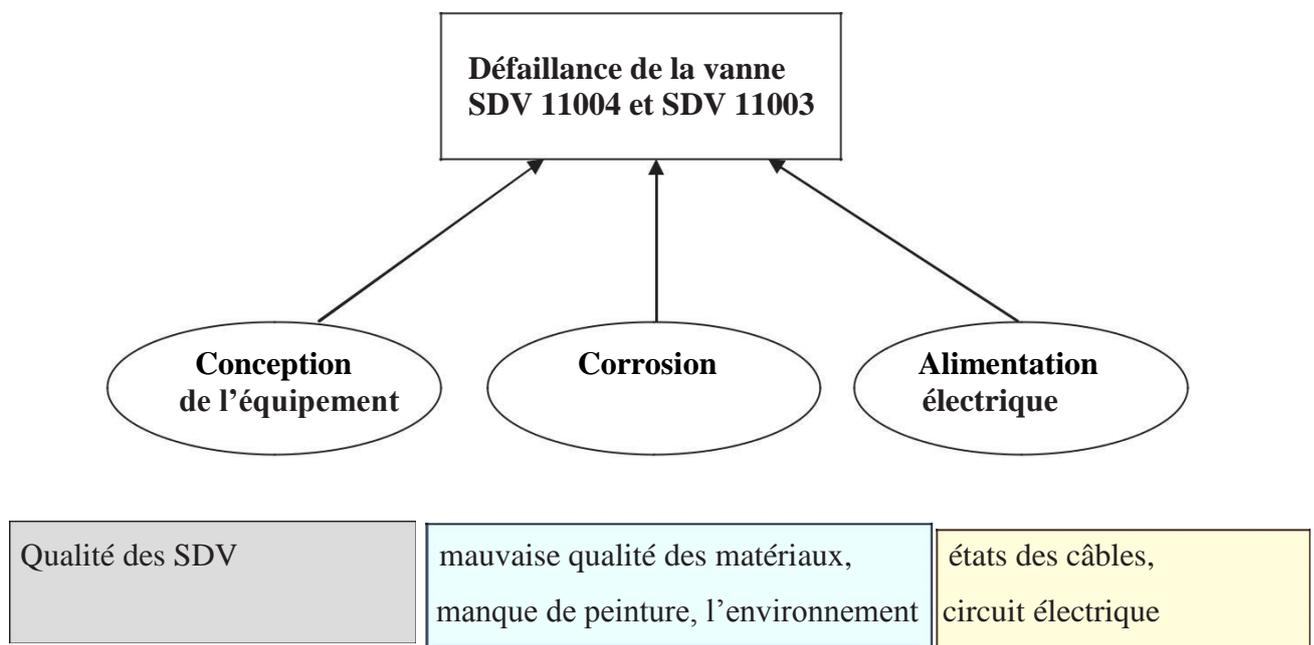


Figure 5- 11 : Diagramme d'influence de la défaillance de l'opérateur.

➤ Pour la barrière de sécurité « SIS » de S2a :



*Figure 5- 12: Diagramme d'influence de la défaillance du capteur.*



*Figure 5- 13: Diagramme d'influence de la défaillance de la vanne.*

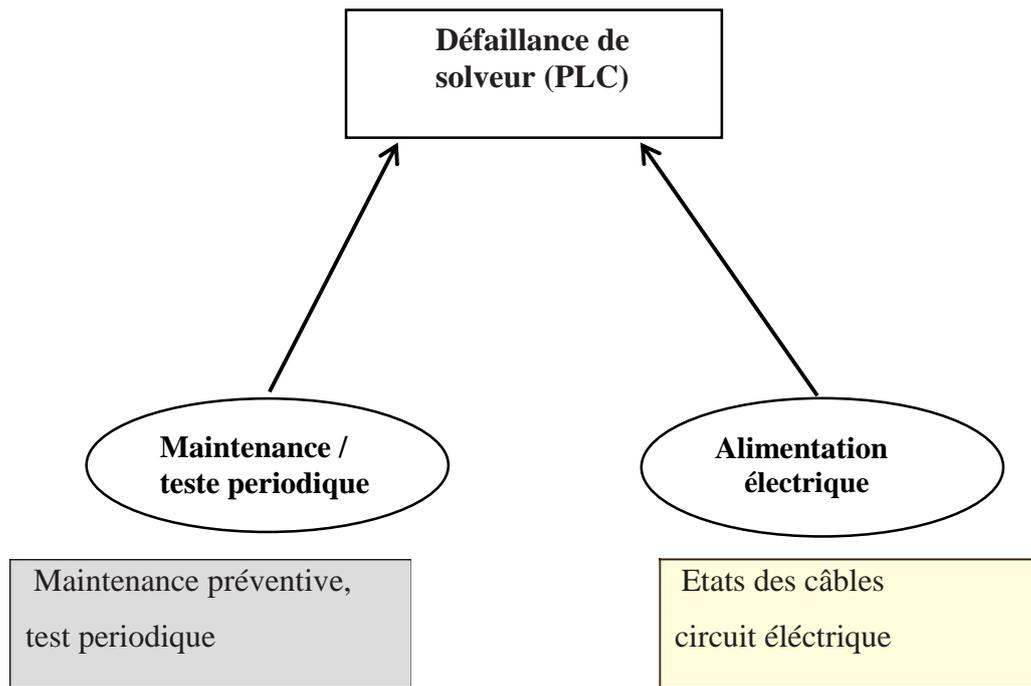


Figure 5- 14 : Diagramme d'influence de la défaillance du traitement logique.

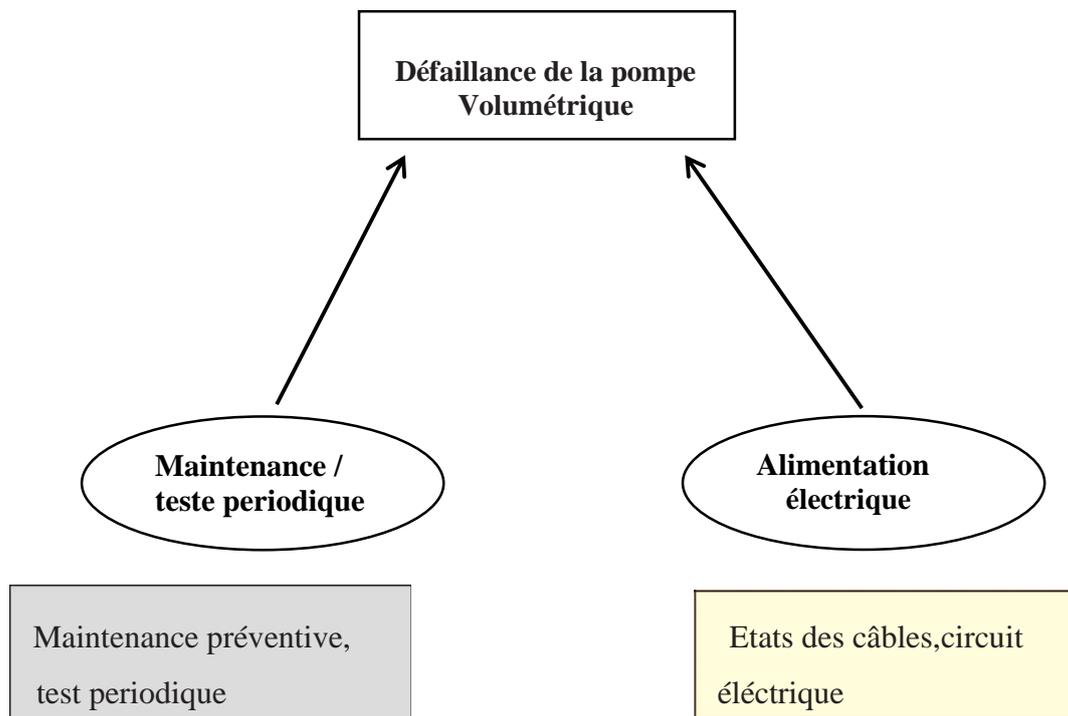


Figure 5- 15 : Diagramme d'influence de la défaillance du traitement logique.

L'affectation des scores et des poids des RIFs ainsi que les valeurs ajustées des probabilités de défaillances sont présentées dans les tableaux (5-3) et (5-5). (5-7).

Tableau 5- 3: Les résultats de la méthode BORA pour l'évènement initiateur (perte de contrôle de niveau).

Evènement de tête	Evènement de Base	$P_{low}$	$P_{moy}$	$P_{high}$	RIFs	$W_i$	$W_i$ normalisé	$S_i$	$Q_i$	MF	Prév
	Défaillance du capteur de niveau LIC 11009	3.3E-07	3.3E-06	6.27E-06						0.7292	2.4063E-06
					Alimentation électrique	10	0.42	B	0.55		
					Maintenance préventive	8	0.33	C	1		
					Condition technique	6	0.29	E	0.58		
	Défaillance de la vanne LIV 11009	1.15E-07	1.15E-06	2.19E-06						0.793	9.119E-07
					Alimentation électrique	10	0.42	B	0.55		
					Corrosion	10	0.42	D	1.30		
					Conception de l'équipement	4	0.16	A	0.1		
	Défaillance de solveur DCS	3.8E-10	3.8E-09	1.67E-08						0.561	4.936E-09
					Alimentation électrique	10	0.42	B	0.55		
					Maintenance /teste	8	0.33	C	1		

Tableau 5- 4 : Les résultats de la méthode BORA pour l'évènement initiateur (perte de contrôle de niveau) (suite)

	Défaillance de la vanne manuelle	5.87E-03	5.87E-02	1.11E-01					1.1624	6.823E-02
					Maintenance / teste periodique	8	0.44	C	1	
					Corrosion	10	0.56	D	1.29	
	Erreur humaine	1.00E-03	1.00E-02	1.9E-02					0.7609	7.609E-03
					Compétence	8	0.33	B	0.55	
					Communication	6	0.25	A	0.1	
					Absence de l'opérateur	10	0.42	D	1.32	
	<b>Défaillance du système de régulation</b>	<b>2.17E-02 /ans</b>								

Tableau 5- 5: Les résultats de la méthode BORA pour la couche de protection (SIS 1).

Evènement de tête	Evènement de Base	P <sub>low</sub>	P <sub>moy</sub>	P <sub>high</sub>	RIFs	W <sub>i</sub>	W <sub>i</sub> normalisé	S <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub>	MF	Prév
	Défaillance du capteur de niveau LIS 11007'	1.46E-03	1.46E-02	2.77E-02						0.711	1.038E-02
					Alimentation électrique	10	0.42	B	0.55		
					Maintenance préventive	8	0.33	C	1		
					Condition technique	6	0.25	E	0.6		
	Défaillance de la vanne SDV 11000	1.36E-03	1.36E-02	2.58E-02						0.7804	1.0613E-02
					Alimentation électrique	10	0.42	B	0.55		
					Corrosion	10	0.42	D	1.27		
					Conception de l'équipement	4	0.16	A	0.1		
	Défaillance de solveur PLC	4.06E-05	4.06E-04	7.71E-04						0.561	2.277E-04
					Alimentation électrique	10	0.42	B	0.55		

Tableau 5- 6 : Les résultats de la méthode BORA pour la couche de protection (SIS 1) (suite)

					Maintenance/teste periodique	8	0.33	D	1	
	Défaillance de la pompe volumétrique	4.4E-04	4.4E-03	8.36E-03					0.748	3.291E-03
					Maintenance /tests periodique	8	0.44	C	1	
					Alimentation électrique	10	0.56	B	0.55	
Défaillance du SIS LSHH 11007'	<b>3.267E-02</b>									

Tableau 5- 7: Les résultats de la méthode BORA pour la couche de protection (SIS 2)

Evènement de tête	Evènement de base	P <sub>low</sub>	P <sub>moy</sub>	P <sub>high</sub>	RIFs	W <sub>i</sub>	W <sub>i</sub> normalisé	S <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub>	MF	Prév
	Défaillance du capteur de niveau LIS 11007	1.46E-03	1.46E-02	2.77E-02						0.711	1.038E-02
					Alimentation électrique	10	0.42	B	0.55		
					Maintenance préventive	8	0.33	C	1		
					Condition technique	6	0.25	E	0.6		
	Défaillance de la vanne SDV 11004 et SDV 11003	1.36E-03	1.36E-02	2.58E-02						0.7804	1.0613E-02
					Alimentation électrique	10	0.42	B	0.55		
					Corrosion	10	0.42	D	0.27		
					Conception de l'équipement	4	0.16	A	0.1		
	Défaillance de solveur PLC	4.06E-05	4.06E-04	7.71E-04						0.561	2.277E-04
					Alimentation électrique	10	0.42	B	0.55		
					Maintenance /tests périodique	8	0.33	C	1		
Défaillance du SIS 11007 LSHH	<b>3.152E-02 /ans</b>										

### 5.3.3. Exemple de calcul

#### Pour l'évènement initiateur

##### ➤ Défaillance du capteur de niveau LIC 11009

Pour calculer la probabilité révisée(ajustée) il faut appliquer la formule suivante : Equation (5.1).

D'abord nous allons calculer le  $Q_i$  : nous avons le RIF alimentation électrique est de score : **Si = B**.

Pour déterminer les valeurs de  $Q_i$  pour  $S_i = B$ , nous supposons une relation linéaire entre  $Q_i(A)$  et  $Q_i(C)$ , et nous utilisons  $S_A = 1$ ,  $S_B = 2$ ,  $S_C = 3$ ,  $S_D = 4$ ,  $S_E = 5$ , et  $S_F = 6$ .

Ensuite, nous avons :

$$Q_i = \frac{P_{Low}}{P_{Moy}} + \frac{(S_B - S_A) (1 - \frac{P_{Low}}{P_{Moy}})}{(S_C - S_A)} = \frac{3.3E-07}{3.3E-06} + \frac{(2 - 1) (1 - \frac{3.3E-07}{3.3E-06})}{(3 - 1)} \quad (5.4)$$

$$Q_i = 0,55.$$

Maintenant, nous allons passer vers un autre RIF qui est la maintenance préventive de score : **Si = C** alors d'après les formules de  $Q_i$  on a :

$$Q_i = 1.$$

Pour le RIF condition technique de score : **Si = E** on a :

$$Q_i = 1 + \frac{(S_E - S_C) (\frac{P_{High}}{P_{Moy}} - 1)}{(S_F - S_C)} = 1 + \frac{(5 - 3) (\frac{6.27E-06}{3.3E-06} - 1)}{(6 - 3)}$$

$$Q_i = 0,58.$$

Après le calcul des scores de RIF, nous allons passer vers une autre étape qui est l'affectation des poids des RIFs, et l'identification de ce dernier se fait à partir des résultats des interviews effectués auprès des personnes chargées de l'exploitation et les résultats sont présentés dans la formule suivante :

$$MF = \sum_{i=1}^n W_i \cdot Q_i \quad (5.5)$$

$$MF = (0.42 * 0.55) + (0.33 * 1) + (0.29 * 0.58)$$

$$MF = 0,7292.$$

##### ➤ Le calcul de la probabilité révisée (ajustée) de défaillance du capteur

Nous avons la formule suivante :

$$P_{rev}(A) = P_{moy}(A) \cdot \sum_{i=1}^n W_i \cdot Q_i \leftrightarrow P_{rev}(A) = P_{moy}(A) \cdot MF \quad (5.6)$$

$$\text{Où : } P_{rev} = (3.3E-06) * (0.7292) \leftrightarrow P_{rev} = 2.4063E-06 / h$$

Et de la même manière, nous calculons les probabilités révisées de défaillance des autres Equipements.

5.3.4. Discussion des résultats obtenus

La fréquence générique de l'évènement initiateur (perte de contrôle de niveau) est **2.96E-02** par an en utilisant les données génériques, après la révision de cette fréquence elle est devenue **2.17 E-2** par an. Par conséquent, il y a une diminution de **26.7%**.

La même chose pour les probabilités de défaillance des barrière IPL 1 (SIS : division du débit) et IPL 2 (SIS : arrêt d'urgence de niveau) après la révision de ces probabilités nous avons trouvé une diminution de **25.448%** et **24.23%** respectivement.

Les résultats de l'analyse quantitative du scénario **S2a** se résument dans le tableau 4.8 et la figure 5-16.

Tableau 5- 8: les résultats de l'analyse quantitative du scénario S2a.

Evènement	Résultats de la méthode LOPA	Résultats de la méthode BORA	Différence %
Evènement initiateur	2.96E-02	2.17 E-02	26.70 %
IPL 1 (SIS1)	3.267E-02	2.435E-02	25.448%
IPL 2 (SIS 2)	4.16 E-02	3.152 E-02	24.230%
Conséquence	<b>4.022 E-05</b>	<b>1.665E-05</b>	58.590%

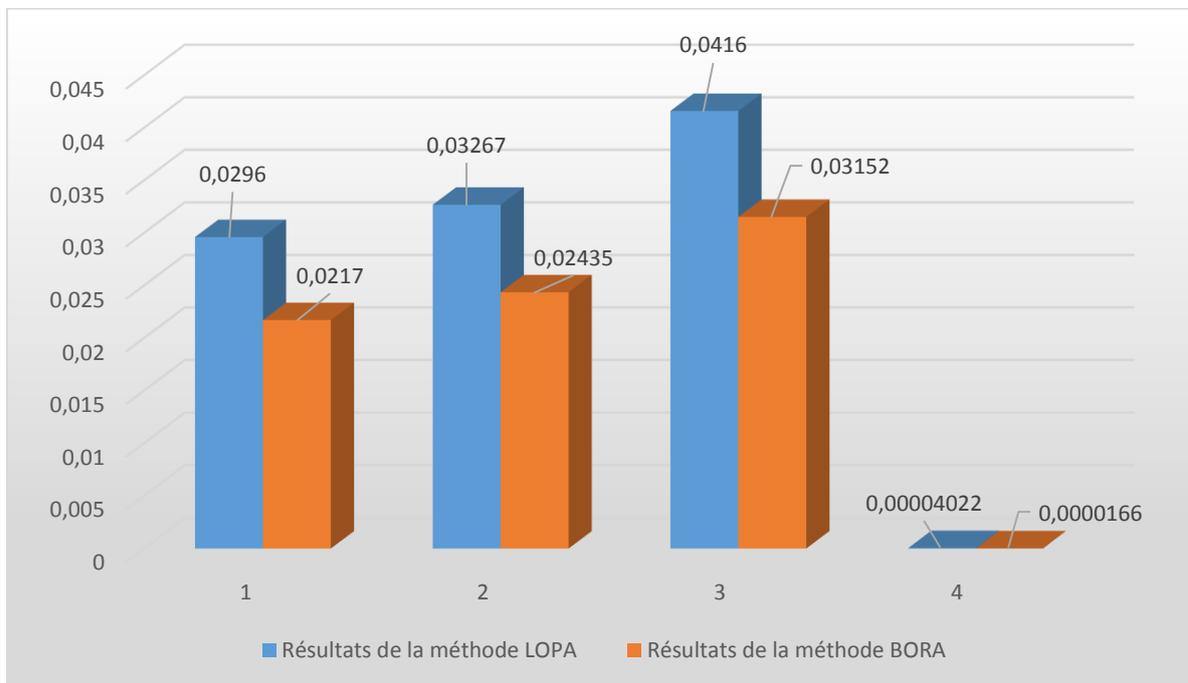


Figure 5- 16 : Résumé des résultats pour le scénario S2a.

## **Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons appliqué la méthode BORA sur un système opérationnel (ballon de gaz combustible), nous avons pris un scénario d'accident critique (entraînement du liquide vers le four), nous avons étudié l'effet des facteurs d'influence (RIF) sur les événements de base et la probabilité de défaillance des barrières et réajusté la fréquence générique de conséquence de ce scénario et les probabilités génériques de défaillance des barrières.

Nous avons eu des résultats remarquables où nous avons constaté la diminution de 25 % des PFDs réel des barrières par rapport au PFDs calculées par LOPA.

## ***Conclusion Générale***

---

### **Conclusion Générale**

Le présent travail s'inscrit dans une démarche d'analyse et de maîtrise des risques inhérents aux procédés industriels complexes.

L'objet de ce travail est d'analyser et d'évaluer la performance des systèmes instrumentés de sécurité mis en œuvre sur un procédé industriel pour l'amélioration de sa sécurité. L'analyse des couches de protection (LOPA) a été choisie pour servir de cadre méthodologique pour notre travail. La première étape de la démarche que nous avons adoptée, consiste en une analyse technique et fonctionnelle du procédé qui nous a permis d'identifier l'une la partie névralgique à savoir le ballon de gaz combustible « G01-VN-45-01 ». L'identification des scénarios d'accidents majeurs est faite par la méthode HAZOP. Plusieurs scénarios d'accidents ont été analysés dont les conséquences sont :

- L'éclatement du ballon de gaz combustible.
- L'entraînement du condensat vers le four.

Ces derniers sont analysés par la méthode LOPA afin d'identifier et d'évaluer les barrières de sécurité mises en place pour faire face à ces scénarios.

La méthode AdD a été combinée à la méthode LOPA, dans le but d'estimer dans un premier temps, les fréquences d'occurrence des événements initiateurs « perte de contrôle de la pression de gaz & perte de contrôle de niveau de condensat dans le ballon » et les PFD des IPLs (PSHH-11013, LSHH-11007 et LAH-11009).

Les résultats donnés à l'issue de cette application montrent que le scénario « entraînement du condensat vers le four » dont l'évènement initiateur est la perte du contrôle du niveau de condensat dans le ballon est jugé inacceptable en vue de la non-conformité de ses niveaux de SIL (réel et requis) et la fréquence importante d'occurrence de ce scénario, égale à  $1,23 \times 10^{-3}/\text{an}$ , d'où la nécessité d'une réduction de risque pour améliorer la sécurité du procédé étudié, pour ce faire nous avons renforcé les barrières de sécurité par l'ajout d'un nouveau SIS "LSHH-11007'", après calcul, on obtient le nouveau SIL, conforme et répond aux exigences des deux normes (CEI 61508, CEI 61511).

Une simulation du système étudié avec les deux SIS (ancien SIS et celui proposé) est faite par le logiciel de supervision INDUSOFT, on a constaté que le SIS est une barrière de protection automatique et instantanée envers les déviations dangereuses.

L'utilisation simultanée des deux SIS donne une plus grande fiabilité au bon fonctionnement de l'installation.

## ***Conclusion Générale***

---

L'application de la méthodologie BORA, nous a permis de corriger les valeurs de probabilité de défaillance des composants du SIS prises des bases de données, par l'apport des données résultant des conditions d'exploitation réelles dans lesquelles évoluent ces SIS.

### **Perspectives**

- Application de ces solutions pour une industrie ayant une installation similaire.
- Amélioration de la maîtrise des risques au niveau de l'installation de ballon de gaz combustible.

### **Références bibliographiques**

- [1]. DNV Team, Manuel Opérateur, Etudes « Risk Assessment » des unités industrielles de la Division Production à Hassi Messaoud Sud, Sonatrach DP/UTBS/HMD, 18-Déc-2010, 104 pages.
- [2]. L. Cohen Solal, J. Thouvenel et B. Sellier, Manuel Opérateur, Réalisation d'une Unité de Traitement de Brut à Hassi Messaoud Sud, Sonatrach DP/UTBS/HMD, 21-Sep-2009, 1048 pages.
- [3]. SOF CONSEIL, Mayia Fernandez & Francis Armengaud, Étude de Dangers, Réalisation d'une Unité de Traitement de Brut à Hassi Messaoud Sud, Document Sonatrach DP/UTBS/HMD, 30-Avril-2008, 697 pages.
- [4]. GENERALE MONITORS, Modèle IR2100 Détecteur à infrarouges pour mesure ponctuelle dans les applications de gaz d'hydrocarbures, Détection feu & gaz, Document Sonatrach DP/UTBS/HMD, 2002, 350 pages.
- [5]. S. Saadi, Méthodologie d'intervention pour l'étude de sûreté de fonctionnement des ouvrages d'épuration et de la sécurité de l'environnement, Thèse de magister soutenue à l'Université de Batna, 1997, 181 pages.
- [6]. B. Debray, S. Chaumette, S. Descouriere et V. Trometter, Méthodes d'analyse des risques générés par une installation industrielle, Rapport du Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable (MEDD), réalisé dans le cadre de formalisation du savoir et des outils dans le domaine des risques majeurs, INERIS, Direction des Risques Accidentels (DRA-35), rapport Ω-7, Octobre 2006, 140 pages.
- [7]. D. Tazi, Externalisation de la maintenance et sécurité : une analyse bibliographique, Les Cahiers de la Sécurité Industrielle, ICSI, décembre 2010, 78 pages.
- [8]. Norme CEI 61882. Etudes de danger et d'exploitabilité (étude HAZOP) – Guide d'application. Commission Electrotechnique Internationale, Genève, Suisse, 2001.
- [9]. J. Bessis, La probabilité et l'évaluation des risques, Édition MASSON, PARIS, janvier 1984, 132 pages.
- [10]. CCPS, Layer Of Protection Analysis, simplified process assessment, Center for Chemical Process Safety of the American Institute for Chemical Engineers, New York, 2001.
- [11]. A. Desroches Concepts et méthodes probabilistes de base de la sécurité. Édition Lavoisier, France, 1995.
- [12]. N. Liminos, Arbres de défaillance. Édition HERMES, PARIS, 1991, 182 pages.

## ***Références bibliographiques***

---

- [13]. M. Stamatelatos, W. vesely, Fault Tree Handbook with Aerospace Applications, Édition NASA, Washington, august 2002, 205 pages.
- [14]. A. Villemeur, Sûreté de fonctionnement des systèmes industriels, Collection de la Direction des Études et Recherches d'EDF, Édition Eyrolles, 1988, 784 pages.
- [15]. Chunyang Wei, William J. Rogers and S. Sam Mannan, Layer of protection analysis for relative chemical risk assessment, Journal of Hazardous Materials, vol. 159, 2008, pp.19 – 24.
- [16]. Kirkwood and B. Tibbs, Developments in SIL determination, Comput. & Cont. Eng. Journal. vol. 16, 2005, pp. 21-27.
- [17]. A. S. Markowski, Piping Risk Assessment (pfLOPA), ELSESEDIMA RO, May 2007, pp. 15-16.
- [18]. Norme CEI 61511. Sécurité fonctionnelle - Systèmes instrumentés de sécurité pour le domaine de la production pour processus – Parties 1 à 3, janvier 2003-juillet 2003. Commission Electrotechnique Internationale, Genève, Suisse, 2003.
- [19]. V. De Dianous, Ch. BOUISSOU, A ADJADJ, Intégration de la dimension probabiliste dans l'analyse des risques – partie 2 : données quantifiées, Programme EAT-DRA-34 - Opération j, INERIS, 2006, 146 pages.
- [20]. EIReDA, European Industry reliability Data Bank, 1998.
- [21]. PCAG 6K (Planning Case Assessment Guide), HSE, Août 2004.
- [22]. Groupe d'échange "Fréquence des Evénements" de l'ICSI, Fréquence des Evénements Initiateurs et d'Accident, Les Cahiers de la Sécurité Industrielle, Institut pour une Culture de Sécurité Industrielle ICSI, Septembre 2009, 31 pages.
- [23]. OREDA. Offshore reliability data handbook, 4th Edition, Høvik: Det Norske Veritas, 2002.
- [24]. B. Telle, F. Vanderhaegen, et J. Gautiez, Étude de faisabilité d'une méthode d'intégration des facteurs humains dans les activités d'analyse de sécurité et de développement des systèmes de transports terrestres guidés. Vers un modèle d'analyse de la fiabilité humaine basée sur l'évaluation des conséquences de l'activité humaine sur le système. Rapport technique, INRETS 13, 1997.

## Références bibliographiques

---

- [25]. SOF CONSEIL, S. Droumaguet & B. Sellier, RAPPORT DE CALCULS DES NIVEAUX SIL des Fonctions de Sécurité de l'Unité de Traitement de Brut à Hassi Messaoud, Document Sonatrach DP/UTBS/HMD, 21-Juin-2010, 90 pages.
- [26] Invensys, Certification TUV Triconex” - Tricon version 10.3 and up TMR Logic Solver –  $\lambda$  de défaillance, MTTF & PFDavg Calculation - BPCS & ESD - donnée par le concepteur. Document Sonatrach DP/UTBS/HMD, 10-Août-2009.
- [27]. R. De Miscault, P. Delas & A. Gros, Feuilles de données transmetteurs de niveau (donnée par le concepteur), Document SONATRACH DP/UTBS/HMD, 21- août-2009, 22 pages.
- [28]. R. De Miscault, P. Delas & A. Gros, Feuilles de données transmetteurs de pression (donnée par le concepteur), Document SONATRACH DP/UTBS/HMD, 08-October-2009.
- [29]. SOF CONSEIL, Mayia Fernandez & Francis Armengaud, Étude de Dangers, Réalisation d'une Unité de Traitement de Brut à Hassi Messaoud Sud, Document Sonatrach DP/UTBS/HMD, 30-Avril-2008, 697 pages.
- [30]. D. Lemaire, P. Delas & A. Gros, Feuilles de données - Vannes de Contrôle (donnée par le concepteur), Document SONATRACH DP/UTBS/HMD, 22-août-2008, 114 pages.
- [31]. G. Romera, P. Delas & A. Gros, Feuilles de données - Vannes TOR (donnée par le concepteur), Document SONATRACH DP/UTBS/HMD, 25-Septembre-2008, 119 pages.
- [32]. D. Lemaire, P. Delas & A. Gros, Feuilles de données - Soupapes de Sûreté (donnée par le concepteur), Document SONATRACH DP/UTBS/HMD, 01-October-2008, 137 pages.
- [33]. Boutelis, O. (2015). "Etude de l'applicabilité de la méthode BORA (Barrier and Operational Risk Analysis) dans le contexte de l'industrie pétrolière algérienne" mémoire de magistère. Batna : Institut d'Hygiène & Sécurité Industrielle - Université de Batna.
- [34]. Aven, T., Sklet, S., & Vinnem, J. E. (2006). Barrier and operational risk analysis of hydrocarbon releases (BORARelease); part I Method description. *Journal Of Hazardous Materials*, A137, 681-691.
- [35]. Aven, T., Sklet, S., & Vinnem, J. E. (2003). Barrier and operational risk analysis of hydrocarbon releases (BORA-Release). *Journal of Hazardous Materials*, A137, 692-708.

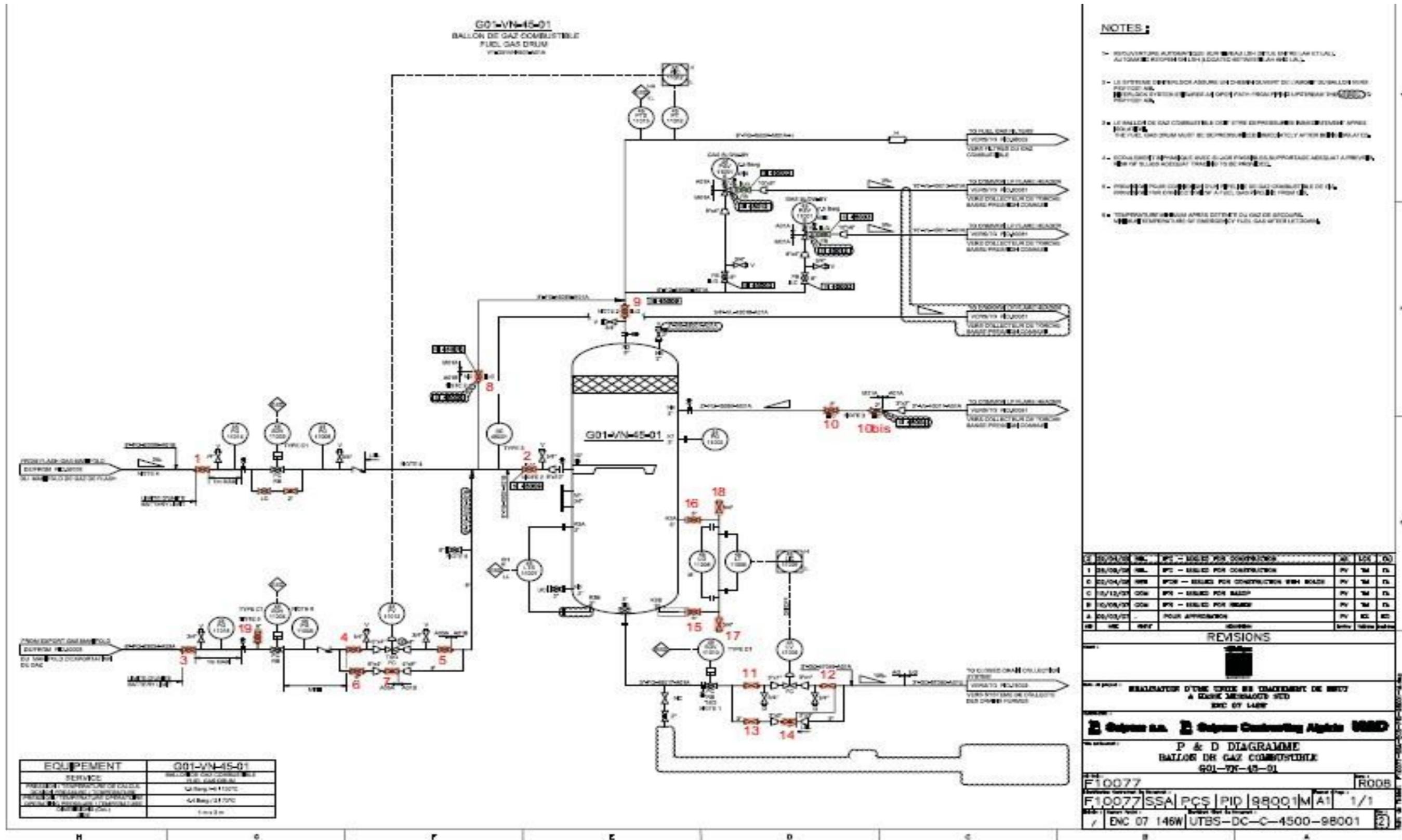
## ***Références bibliographiques***

---

- [36]. Aven, T., Sklet, S., & Vinnem, J. E. (2006). Barrier and operational risk analysis of hydrocarbon releases (BORARelease); part I Method description. *Journal Of Hazardous Materials*, A137, 681-691.

# *Annexes*

Annexe 1 : PI&D du ballon de gaz combustible



Annexe 2: la grille de criticité

Health and Safety - BP Workers and contractors	Health and Safety - 3rd Parties	Environmental Impact	Financial Loss	Reputation	Severity Level	1 ( $<10^{-6}$ /yr)	2 ( $10^{-6}$ to $10^{-5}$ /yr)	3 ( $10^{-5}$ to $10^{-4}$ /yr)	4 ( $10^{-4}$ to $10^{-3}$ /yr)	5 ( $10^{-3}$ to $10^{-2}$ /yr)	( $10^{-2}$ to $10^{-1}$ /yr)	( $10^{-1}$ to 1 /yr)	>1/yr
>200 acute or chronic (actual or alleged) fatalities	>50 acute or chronic (actual or alleged) fatalities	>100,000 bbls of oil in sensitive coastal waters; >1,000,000 bbls of oil in other coastal waters (e.g. Exxon Valdez). Prolonged regional/global contamination (e.g. Chernobyl)	>\$10 billion	Global outrage, global brand damage and/or affecting international legislation.	A	Medium	High	High	High	High	Out of the bounds of either risk matrix		
>50 acute or chronic (actual or alleged) fatalities	>10 acute or chronic (actual or alleged) fatalities	>10,000 bbls of oil in sensitive coastal waters. >100,000 bbls of oil in other coastal waters (e.g. Amoco Cadiz 1974). Short term damage at regional level (e.g. Sandoz warehouse fire). Prolonged contamination affecting extensive nature conservation or	\$1-10 billion	International media coverage. Regional outrage, for example North America, Europe. Regional brand damage. Likely to lead to change of regulations at regional level.	B	Medium	Medium	High	High	High			
>10 acute or chronic (actual or alleged) fatalities	1 or more acute or chronic (actual or alleged) fatalities. Multiple permanent injuries or irreversible health effects.	>10,000 bbls Oil, >1,000 bbls oil in sensitive area, >100 Te of classified material (e.g. Alvenus 1984, Sea Prince 1995). Long Term damage affecting extensive area.	\$100 million - \$1 billion	Regional media coverage or severe national outrage. Threat of, or loss of license to operate for affected business/site. Likely to lead to change of regulations at National level.	C	CRR	Medium	Medium	High	High			
1 to 10 acute or chronic (actual or alleged) fatalities. Multiple permanent injuries or irreversible health effects.	Permanent injury or irreversible health effect affecting single person. Non permanent injuries or short term health effects affecting multiple people.	Uncontained release of reportable quantity (e.g. >100 bbls oil, less if in sensitive location or >10 Te of classified material). Extensive short term pollution/contamination affecting limited area.	\$10 to \$100 million	National media attention or severe local outrage. Prosecution by regulator.	D	CRR	CRR	Medium	Medium	High	High	High	High
Single permanent / disabling injuries. Multiple first aid injuries.	Single loss time injuries. Multiple first aid injury.	Release offsite with immediate remediation or onsite release with prolonged damage	\$1 to \$10 million	State media coverage	E	Out of the bounds of either risk matrix			Medium	Medium	High	High	High
Single loss time injuries. Multiple first aid injury.	Single first aid injury	Onsite release that is remediated immediately	\$100,000 to \$1 million	Local media coverage	F				CRR	Medium	Medium	High	High
Single first aid injury	No offsite impacts	Contained onsite release	<\$100,000	No community notification	G				CRR	CRR	Medium	Medium	High

## 2. La grille de criticité

La grille présentée ci-dessus est une grille certifiée de SONATRACH. Cette grille de criticité unique est composée de cinq niveaux de probabilité et quatre niveaux de gravité (5×4). Ces derniers nous permettront d'évaluer et de juger l'acceptabilité ou non des scénarios d'accident de LOPA toute en prenant en compte leurs effets et caractéristiques de ces derniers, puis en les comparants aux critères d'acceptabilité de la matrice. Les échelles de cotation de la fréquence d'occurrence et de la gravité sont fournies ci-dessous

### 2.1. Échelle de probabilité

Dans cette grille d'évaluation l'échelle de probabilité possède un caractère ordinal. Elle comprend cinq niveaux allant de probable au fréquent. Chaque échelon est décrit qualitativement et semi-quantitativement avec un seul critère qui est la probabilité d'occurrence des scénarios d'accident. On remarque bien dans chaque échelon une description qualitative (Improbable de se produire durant la durée de vie de l'installation...etc.) Et en même temps semi-quantitative ( $10^{-6}$  /an.  $10^{-4}$  /an...etc.) (Voir la matrice).

Niveau de probabilité	Définitions	Fréquence (/an)
1- Extrêmement rare	Scénario physiquement vraisemblable mais non rencontré au niveau mondial	< $10^{-6}$ (moins de 1 fois tous les 1000 000 ans)
2- Rare	Scénario s'étant déjà produit dans ce secteur d'activité mais restant très improbable compte tenu des mesures correctives	$10^{-5}$ – $10^{-6}$ (entre 1 fois tous les 100 000 ans et 1 fois tous les 1000 000 ans)
3- Peu fréquent	Scénario qui pourrait se produire dans ce secteur d'activité	$10^{-4}$ – $10^{-5}$ (entre 1 fois tous les 10 000 ans et 1 fois tous les 100 000 ans)
4- Occasionnel	Scénario pouvant se produire dans ce secteur d'activité et pour une installation similaire	$10^{-3}$ – $10^{-4}$ (entre 1 fois tous les 1000 ans et 1 fois tous les 10 000 ans)
5- Fréquent	Scénario s'étant déjà produit dans ce secteur d'activité et pour une installation similaire ou scénario pouvant se produire plusieurs fois pendant la durée de vie de l'installation	$\geq 10^{-3}$ (supérieur ou égale à 1 fois tous les 1000 ans)

## 2.2. Échelle de gravité

Dans cette grille d'évaluation l'échelle de gravité possède aussi un caractère ordinal. Elle comprend quatre niveaux allant de négligeable au catastrophique. Chaque niveau est qualifié linguistiquement selon l'importance et l'ampleur des conséquences engendrées par les scénarios d'accident sur les personnes et les biens (installations système.).

Trois critères sont retenus pour estimer la gravité :

**Critère 1** : Les blessures des personnes qui peuvent être superficielles, mineures, graves et mortelles. Critère 2 : l'impact sur l'environnement

**Critère 2** : la perte financière.

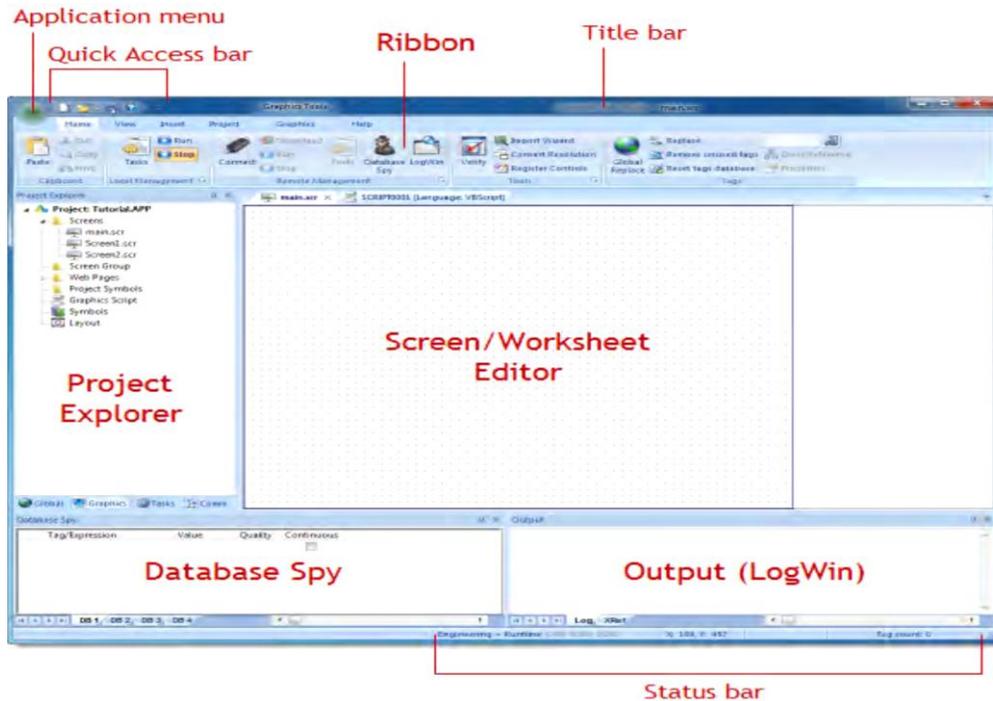
Voyons dans la matrice une estimation semi-quantitative de la perte financière (\$100 million < \$1billion, \$10 million to < \$100 million). Et en fonction de ces deux dimensions humaine et économique qu'on puisse estimer la gravité des conséquences de **Catastrophique (A), Critique (B), Modérée (C) et Négligeable (D)**.

Niveau de gravité	Sécurité des personnes	Environnement	Perte financière
<b>A</b>	Event resulting in more than 200 fatalities	Event resulting in global outrage, global brand damage and/or affecting international legislation. > 100 000 bbls of oil in sensitive coastal waters; > 1 000 000 bbls of oil in other coastal waters (e.g. Exxon Valdez). Prolonged regional/global contamination (e.g. Chernobyl)	Greater than 10 billion
<b>B</b>	Event resulting in 50 to 200 fatalities	Event resulting in international media coverage. Regional outrage, for example North America, Europe. Regional brand damage. Likely to lead to change of regulations at regional level. > 10 000 bbls of oil in sensitive coastal waters. > 100 000 bbls of oil in other coastal waters (e.g. Amoco Cadiz 1974). Short term damage at regional level (e.g. Sandoz warehouse fire). Prolonged contamination affecting extensive nature conservation or residential, e.g. Seveso.	\$1 billion < \$10 billion
<b>C</b>	Event resulting in 10 to 50 fatalities	Event resulting in regional media coverage or severe national outrage. Threat of, or loss of license to operate for affected business/site. Likely to lead to change of regulations an National level. > 10 000 bbls Oil, > 1 000 bbls oil in sensitive area, > 100 Te of classified material (e.g. Alvenus 1984, Sea Prince 1995). Long Term damage affecting extensive area.	\$100 million < \$1 billion

<b>D</b>	Event resulting in 1 to 10 fatalities	Event resulting in national media attention or severe local outrage. Prosecution by regulator. Uncontained release of reportable quantity (e.g. > 100 bbls oil, less if in sensitive location or > 10 Te classified material). Extensive short term pollution/contamination. Prolonged pollution/contamination affecting limited area.	\$10 million to < \$100 million
<b>E</b>	Event resulting in 1 or more disabling injuries	Event resulting in global outrage, global brand damage and/or affecting international legislation. > 100 000 bbls of oil in sensitive coastal waters; > 1 000 000 bbls of oil in other coastal waters (e.g. Exxon Valdez). Prolonged regional/global contamination (e.g. Chernobyl)	\$1 million to < \$10 million

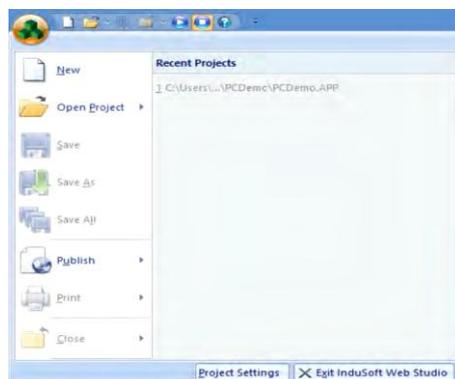
### Annexe 3 : Description du logiciel Indusoft Web Studio

Le logiciel InduSoft est une collection puissante d'outils d'automatisation qui inclut tous les modules requis pour le développement des interfaces graphiques, la commande des systèmes, les systèmes d'acquisition de données et des techniques de supervision et de commande à une distance.



#### - Application Menu

Ce bouton de Menu ouvre un menu d'applications windows standard comme : New, Open, Save, Print, and Close...etc.



#### - Quick Access Toolbar

C'est un toolbar détachable toolbar qui contient des commandes indépendantes du ruban «Ribbon »



### - Ribbon Interface

C'est une interface conviviale qui contient plusieurs menus et toolbars dans un seul ruban, la plupart des applications sont dans ce ruban, et elles sont organisées par groupes et tabulations selon l'utilisation générale.

### - Home tag

Ce menu est contient les outils d'édition, de lancement de l'application...etc. Il est utilisé pour manager le projet dans l'environnement de développement.



### - View tab

Cette fenêtre est utilisée pour ajuster l'apparence de l'environnement de développement lui même



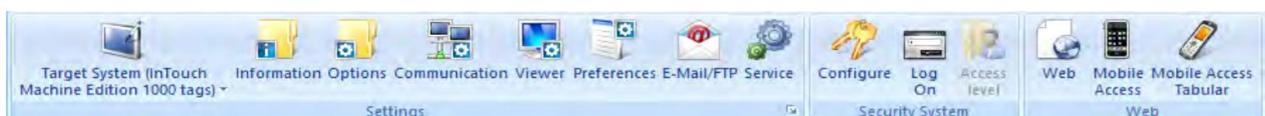
### - Insert tab

Cette tabulation du ruban est utilisée pour insérer de nouvelles étiquettes « tags », worksheets et d'autres composants dans le projet.



### - Project tab

Cette tabulation du ruban est utilisée pour configurer les paramètres du projet



### - Graphics tab

La tabulation « **Graphics** » du ruban est utilisée pour dessiner les écrans du projet, c'est-à-dire pour designer les graphiques du projet



### - Format tab

Cette tabulation est utilisée pour ajuster et arranger les formes des objets dans l'écran du projet.



### - Help tab

Cette fenêtre fournit l'aide supplémentaire lors de l'utilisation du software.



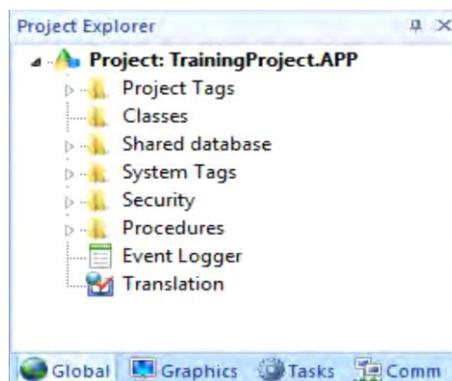
### - Project Explorer

Cette fenêtre organise toutes les screens, worksheets et d'autres items inclus dans le projet et les présente dans une vue arborescente expansible.

Cette fenêtre comprend 4 sélections principales : Global, Graphics, Tasks, et Comm.

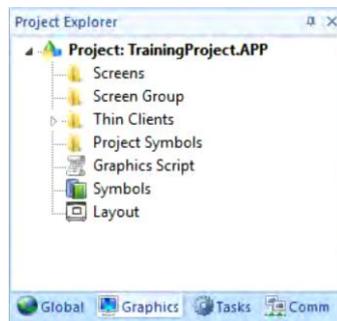
### - Global tab

Cette tabulation contient les bases de données des étiquettes du projet, ainsi que d'autres caractéristiques applicables sur le projet en entier par exemple : Security system, VBScript procedures et translation.



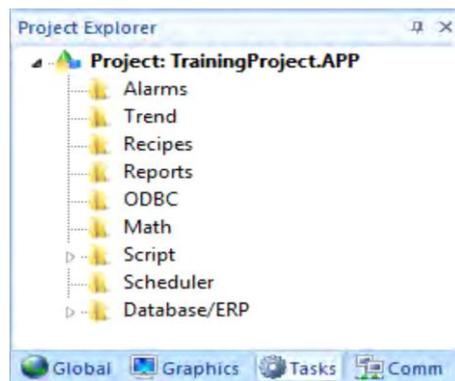
### - **Graphics tab**

Cette tabulation contient les screens, screen groups, et symbols du projet.



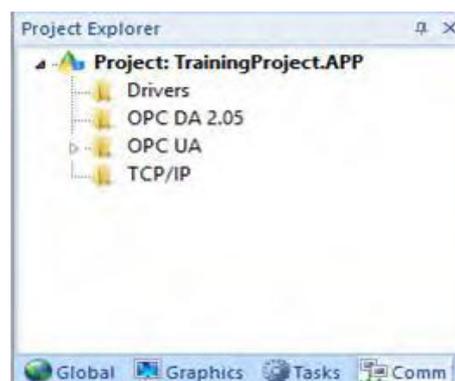
### - **Tasks tab**

Cette tabulation organise les worksheets qui travaillent en arrière plan des tâches (ex : les tâches « server-based maintenance » qui ne sont pas directement reliées à l'écran des opérations ou à la machine Input/Output, durant le temps d'exécution du projet).



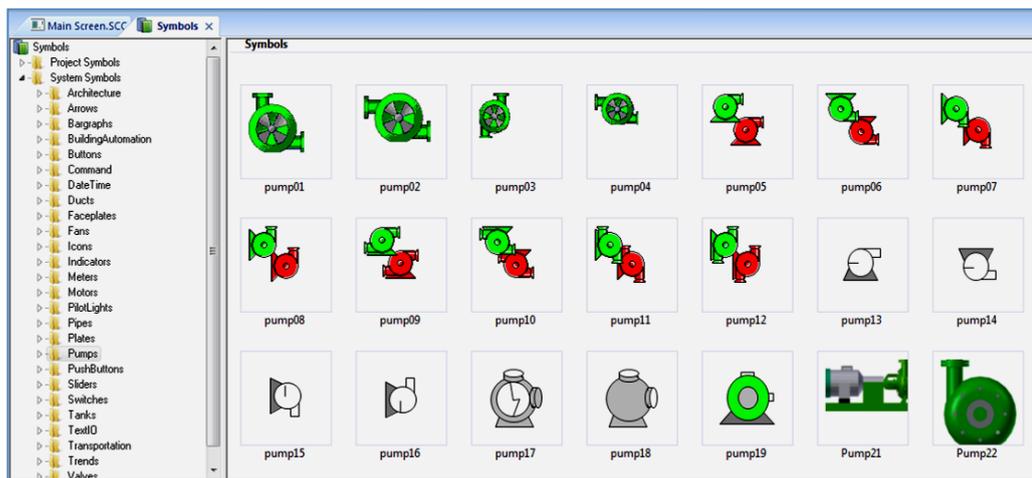
### - **Comm tab**

Cette tabulation organise les worksheets qui contrôlent la communication avec les appareils périphériques, en utilisant les pilotes de communication directs ou les protocoles communs.



**- Bibliothèque des symboles**

La bibliothèque des symboles de « Indusoft » contient une large sélection des symboles préinstallés avec l'environnement de développement du logiciel, ex : les boutons poussoirs, les manomètres, les voyants lumineux, les réservoirs, les pompes ...etc.



## **Annexe 4 : Catégorie des facteurs d'influence de risque RIF et leurs descriptifs**

Tableau : Description des facteurs d'influence de risque RIF		
Groupe de RIF	RIF	Couvrant les aspects liés à
Personnel	Compétence	Compétence, expérience, connaissance du système de formation du personnel
	Charge de travail/stress	Charge de travail générale sur les personnes (la somme de toutes les tâches et activités)
	Milieu de travail	environnement de travail physique (bruit, vibration, lumière, utilisation de substances Chimiques
	Fatigue	fatigue de la personne, par exemple en raison du quart de nuit et une vaste utilisation des heures Supplémentaires
Tâche	Méthodologie	méthodologie utilisée pour effectuer une tâche Spécifique
	supervision de la tâche	Supervision des tâches spécifiques par un superviseur (p. ex., par le gestionnaire des opérations ou supervision mécanique
	Complexité de la tâche	Complexité d'une tâche spécifique.
	Pression du temps	Pression du temps dans la planification, l'exécution et la finition d'une tâche spécifique
	Outils	Disponibilité et efficacité opérationnelle des outils nécessaires pour effectuer une tâche.
	Pièces de rechange	Disponibilité des pièces de rechange nécessaires pour effectuer la tâche.
Système technique	Conception de l'équipement	Conception d'équipements et de systèmes tels que le type de bride (ANSI ou compact), type de vanne, etc.
	Propriétés des matériaux	Propriétés du matériau sélectionné en ce qui concerne la corrosion, l'érosion. fatigue, joint propriétés des matériaux, etc.
	Complexité du processus	Complexité générale de l'usine de processus dans son ensemble.

	HMI (Interface homme-machine)	Interface homme-machine comme facteurs ergonomiques, étiquetage du matériel, positionner les commentaires des soupapes, des alarmes, etc.
	Maintenabilité /accessibilité	Maintenabilité des équipements et des systèmes tels que l'accessibilité aux valves et brides, espace pour utiliser les outils nécessaires, etc.
	Rétroaction du système	Comment les erreurs et les échecs sont instantanément détectés, à cause de l'alarme, défaut de démarrage, etc.
	Condition technique	Condition de l'installation technique.
Contrôle administratif	Procédures	Qualité et disponibilité des procédures permanentes et des descriptions de tâche/projet
	Permis de travail	Système de travail permet, comme la demande, examen, approbation, suivi et contrôle
	Instructions de travail	Qualité et disponibilité de descriptions de travail comme analyse de sécurité des tâches et plans d'isolement
	Documentation	Qualité, disponibilité et mise à jour des dessins, P & ID, etc.
Facteurs organisationnels	Programmes	Étendue et la qualité des programmes de maintenance préventive (PM), surveillance (CM), inspection, 3ème contrôle du parti du travail, utiliser des listes de contrôle/commande libre, etc. Un aspect important est si PM, CM, etc., est Spécifié
	Pratique de travail	Pratique courante au cours de l'accomplissement d'activités professionnelles. Facteurs comme s'il procédures et listes de contrôle sont utilisés et suivi, si les raccourcis sont acceptées, se concentrent sur le temps avant la qualité, etc.
	Supervision	Supervision sur la plateforme comme le suivi des activités, suivi de plans, délais, etc.
	Communication	Communication entre les différents acteurs comme directeur de plateforme secteur, superviseurs, zone techniciens, entrepreneurs de maintenance, techniciens, etc.
	Propreté et nettoyage	Nettoyage général et l'ordre dans différents zones sur la plate-forme.

	Systeme de soutien	Qualité des systèmes de support de données, etc.
	Critères d'acceptation	Définitions des critères d'acceptation spécifiques associés par exemple : État de surveillance, inspection, etc.
	Activités simultanées	Quantité d'activités simultanées, soit prévu (comme les maintenances et modifications) et imprévus (comme arrêt)
	Gestion des changements	Changements et modifications des changements