Ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche scientifique
Université de M'hammed bougara du boumerdes
Département génie des procédées

Un mémoire en vue de l'obtention du diplôme de master en

Hygiène, sécurité industriel

Présenté par

GUEDIRA Mohammed EL houssine
HIZI Ishak

Thème :

Contribution à la performance des barrières de sécurité utilisant la méthode BORA
L'étude de cas de : sphère de stockage de GPL ON-SPEC modèle : **(RD-33-01A champ MLE)**

Soutenu le : 27/06/2021 devant le jury d'examen :

Mr. Djamel Abd Elhak	*rapporteur*
Mr. Hamouche Aksas	*président*
Mr. Belmokhtar Amine	*examinateur*

Année universitaire : 2020/2021

Dédicace 1

J'ai le grand plaisir de dédier ce travail à :

- Dieu tout-puissant, qui me préserve et me donne santé, longue vie et bonheur,

- Mon père : Dieu bénisse son âme

- Chère Mère : Tu représentes pour moi le symbole de la bonté, la source de la compassion et la seule qui a continué à m'encourager et à me soutenir tout au long de mes années d'études.

- Mes chers frères : WALID, AYMEN, ANES, OUSSAMA

- Ma chère sœur : AHLAM, un merci spécial à ma chère SANA.

A toute ma famille

A tous mes amis sans exception

HIZI Ishak

Dédicace 2

Avec toute la joie je dédie le fruit de mon travail à celle qui m'a toujours soutenu et me donne son amour, l'amour dont je ne peux pas vivre sans lui, ou en terminant ce travail, `` ma mère '' que j'aime très beaucoup.

Sans oublier mon cher père qui me donne la sagesse et met à ma disposition tout ce dont j'avais besoin.

Je dédie également ce mémoire à ma grand-mère et grand-père dieu bénit leurs âmes.

A mes frères et sœurs

À tous mes amis

GUEDIRA Mohammed El houssine

Remerciements

Tout d'abord, nous remercions Dieu tout-puissant et miséricordieux, qui nous a donné la force et la patience pour terminer ce travail.

Nous tenons à remercier notre Institut et leurs directeurs pour cette précieuse formation, en espérant que nous serons à la hauteur.

Nous remercions également tous les enseignants du département de Génie Appliqué pour leur aide et leur soutien durant ces trois années.

Nous remercions notre encadreur Mr "Abd ELhak", pour ses précieux conseils et son aide durant toute la période des travaux.

Nos vifs remerciements s'adressent également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à nos recherches, acceptant d'examiner nos travaux et de les enrichir de leurs propositions.

Nous remercions également tout le personnel de la SONATRACH Organisation FCP/Division Sécurité, dont le gentilhomme : BEDOUI, NAMOUS HOUCINE et un grand merci à « Bebba Lotfi » qui a joué un rôle majeur dans notre mémoire.

Enfin, nous remercions tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail de thèse.

Merci à tous

Sommaire

Dedicace 1 I

Dedicace 2 II

Remerciements III

Sommaire IV

Liste des tableaux V

List des figures VI

Abréviations VII

Résumé VIII

Introduction General 1

Chapitre I :Notions générales d'évaluation des barrières de sécurité et présentation de la méthode BORA 2

I.1.Introduction: 4

I.2. Processus de gestion des risques : 3

I.2.1.Analyse de risque 4

I.2.2. réduction de risque : 4

I.2.3. management de risqué : 5

I.2.3.1 La courbe de Farmer: 6

I.3. Concepts et définition liés aux barrières de sécurité 7

I.3.1. Définition de barrière de sécurité 7

I.3.2. Typologie des barrières de sécurité 7

I.3.2.1. Barrières techniques de sécurité 8

I.3.2.2. Les barrières de sécurités organisationnels 8

I.3.2.3. Barrières de sécurité humaine (BSH) : 8

I.3.3. Critère de performance des barrières de sécurité : 9

I.3.3.1. Efficacité 9

I.3.3.2. Temps de réponse: 11

I.3.3.3.Niveau de confiance: 11

I.4. Méthodes d'évaluation de la performance des barrières de sécurité 12

I.4.1.LOPA 12

I.4.2. Méthodologie de la méthode TRAM (Bouchet, 2001) : 13
I.5.BORA: Barrier and Operational Risk Analysis: 16
I.5.1. Objectif : 16
I.5.2. Les étapes de l'analyse BORA : 16
I.5.2.4. Modélisation des performances des barrières de sécurité (ADD) 17
I.5.2.5. Calcul de la fréquence de la conséquence indésirable sur la base des probabilités d'événements génériques 18
I.5.2.6. Identification des RIF (Risk Influence Factors) 18
I.5.3. Avantages et limites de la méthode BORA : 23
Chapitre II Application de la méthode BORA Etude de cas : STOCKAGE GPL ON SPEC SPHER 33-RD-01A 24
II.1. Présentation et situation géographique du champ 25
II.1.2. Aperçu des installations 26
II.1.3. Liens avec d'autres usines ou installations 30
II.2. Application de la méthode BORA sur le séparateur de premier étage 32
II.2.1. Description du système étudié 32
II.2.2. Etude HAZOP pour le système opérationnel 37
II.5.3. Description du scénario 41
II.5.4.éstimation dela fréqunce d'évènement intiatuer 41
II.5.5. Les PFD des systèmes de barrières contiennent 41
II.5.6. élaboration du diagramme de blocs barrières et de l'arbre de défaillance 42
II.5.7. Calcul de la probabilité moyenne de rupture des barrières A1, A2, A3 et A4 (Pave) 45
II.5.8. Calcul de la fréquence moyenne Fave de la conséquence du scénario 45
II.5.9. Diagramme d'influence de l'initiateur et des événements de base 45
Pour les autres barrières, les diagrammes d'influence sont les mêmes que les diagrammes précédents présentés comme mentionné ci-dessus. 48
II.5.10. Évaluation du poids (W) et du score (S) des RIF 48
II.5.10.3. Évaluation des scores RIF (Q) 50
II.5.11. Réajustement de la fréquence moyenne de l'événement de base A0, et des probabilités moyennes de rupture des barrières A1, A2, A3, A4 52
II.5.12. Calcul de la fréquence de révision des conséquences du scénario 56
II.5.13. Discussion des résultats 56
II.5.14. Interprétation des résultats et recommandations 57
References 59
Annexe 59

Liste des tableaux

tableau I 1 : Correspondance Niveau de confiance - réduction des risques pour les systèmes Fonctionnement à la sollicitation.....12
tableau I 2 : Équations requises par la méthode LOPA.....12
tableau I 3: Catégories de conséquences dans le modèle TRAM 14
Tabeau I 4 : Description des facteurs d'influence du risque (FIR).....19
Tableau I 5 : Exemple de pondération par normalisation 21
tableau I 6: Système générique pour le score RIF 21

Tabeau II 1 : La fiche technique de la sphère.....35
Tableau II 2: Table d'étude HAZOP 37
Tableau II 3: Description des scénarios étudiés 41
Tableau II 4: Les PFD des systèmes de barrières contiennent 41
Tableau II 5 : Classement des RIF.....48
Tableau II 6 : Evénements initiateur et de base calcul des poids RIF 49
Tableau II 7: Proposition de barème des statuts d'évaluation des RIF.....50
Tableau II 8: Détermination de Phigh et Plow en fonction des scores 52
Tableau II 9: la présentation des données du scénario (poids, scores et données révisées).....54
Tableau II 10: La présentation des données du scénario (poids, scores et données révisées) 56

List of figures

Figure I 1: processus de gestion des risques [ISO /CEI51, 1999].....4
Figure I 2: Diagramme de fermier (gravité – probabilité). [Farmer, 1967].....6
Figure I 3: Principe de la démarche ALARP. [Farmer, 1967].....7
Figure I 4 : Modèle d'arborescence des événements.....13
Figure I 5: illustration d'un schéma de barrière.....17
Figure I 6 : Exemple de l'influence du risque.....18
Figure I 7: les valeurs de Qi selon différentes valeurs de Plow et Phigh.....23

Figure II 1: Emplacement MLE CPF.....25
Figure II 2: SH-FCP- CPF.....26
Figure II 3: Réseau de rassemblement MLE.....27
Figure II 4: Schéma fonctionnel global MLE + CAFC.....29
Figure II 5: Diagramme du processus de production.....31
Figure II 6: Contrôle de la pression de stockage du GPL.....32
Figure II 7: stockage de GPL conforme aux spécifications.....34
Figure II 8: Expédition et stockage GPL.....35
Figure II 9: Stockage de GPL P&ID OF conforme aux spécifications.....36
Figure II 10: schéma fonctionnel barrière du scénario.....38
Figure II 11: ADD de barrière A2.....44
Figure II 12: ADD de barrière A3.....44
Figure II 13: ADD de barrière A4.....45
Figure II 14: diagramme d'influence de l'événement initiateur A-0.....46
Figure II 15: diagramme d'influence de l'événement initiateur A-21.....47
Figure II 16: diagramme d'influence de l'événement initiateur A-22.....47
Figure II 17: diagramme d'influence de l'événement initiateur A-22.....48
Figure II 18: La présentation des données du scénario.....57

Abréviations

AdD	Arbre de Défaillance
ARAMIS	Accidental Risk Assessment Methodology for Industries
BORA	Barrier and Operational Risk Analysis
DBB	Digramme Block Barrière
DCC	Défaillance de Cause Commune
ESD	Emergency Shutdown
HAZOP	Hazard and OPerability Study
IEC	International Electrotechnical
MORT	Management Oversight and Risk
MTO	Man, Technology and Organization
OARU	Occupational Accident Research
OREDA	Unit Offshore Reliability Data
P&ID	Piping & Instrument Diagram
PFD	Probability of Failure in Demand
PSA	Petroleum Safety Authority
PSV	Process Shutdown
QRA	Quatitative Risk Assessment
REX	Retour d'Expérience
RIF	Risk Influencing Factors
SIL	Safety Integrity Level
SIS	Système Instrumenté de Sécurité
THERP	Technique for Human Error Rate Prediction

Résumé

The risk management process based on qualitative, quantitative and semi-quantitative methods. Thus, these methods usually based on data come from different database (based on the EF). However, the problem is that these Experience Feedback EF-derived data may be affected by several factors, such as, organizational, human, operational, and technical factors that may affect the overall risk judgment. And to treat the problem. We apply a quantitative method that allows us to adjust the generic data (resulting from the EF) so that they correspond to the specific conditions of the installation studied. In fact, the BORA (barrier and operational risk analysis) method used to recalculate the frequencies of the adverse events according to the specific conditions related to the installation (RIF: Risk Influence Factors) which is the subject of our study.

In this study, we selected (ON-SPEC LPG STORAGE SPHER model: RD-33-01A MLE field) from SONATRACH Organization SH-FCP. We found that the facility studied was operating under good technical conditions,, organizational, operational and human. Consequently, the result of the accident scenario frequency studied (readjust) reduce by -12.5% compared to the generic frequency from the database.

keywords: Risk, Accident Scenarios, Generic Frequency, Safety Barriers, Risk Factor, Risk Analysis, Safety Barrier Performance

Le processus de gestion des risques repose sur des méthodes qualitatives, quantitatives et semi-quantitatives. Ainsi, ces méthodes généralement basées sur des données proviennent de différentes bases de données (basées sur l'REX). Cependant, le problème est que ces données dérivées Retour d'Expérience REX peuvent être affectées par plusieurs facteurs, tels que des facteurs organisationnels, humains, opérationnels et techniques pouvant affecter l'appréciation globale du risque. Et pour traiter le problème. Nous appliquons une méthode quantitative qui nous permet d'ajuster les données génériques (issues de REX) afin qu'elles correspondent aux conditions spécifiques de l'installation étudiée. En effet, la méthode BORA (analyse des risques barrières et opérationnels) a permis de recalculer les fréquences des événements indésirables en fonction des conditions spécifiques liées à l'installation (RIF : Risk Influencing Factor) objet de notre étude.

Dans cette étude, nous avons sélectionné (Sphère de GPL ON SPEC model : RD-33-01A MLE Field) de SONATRACH Organisation SH-FCP. Nous avons constaté que l'installation étudiée fonctionnait dans de bonnes conditions ; technique, organisationnel, opérationnel et humain. Et par conséquent, le résultat de la fréquence du scénario d'accident étudié (réajustement) est réduit de -12.5% par rapport à la fréquence générique de la base de données.

Mots-clés : Risque, Scénarios d'accident, Fréquence générique, Barrières de sécurité, Facteur de risque, Analyse de risque, Performance de la barrière de sécurité.

Introduction General

Le processus de gestion des risques nécessite la mise en place de barrières de sécurité de prévention et/ou de protection pour assurer la réduction du niveau de risque à un niveau soit tolérable, soit acceptable. Dans ce cadre, l'évaluation des barrières de sécurité permet de les démontrer dans le cadre de la démarche d'amélioration de la sécurité ou des études de risques. L'évaluation des performances des barrières de sécurité est un élément essentiel de tout processus de gestion des risques car elle influence directement l'évaluation et le jugement d'acceptabilité des risques d'une part, et nous donne les éléments d'entrée pour juger de la situation de notre installation en matière de sécurité. D'autre part. Par conséquent, dans toutes les études de sécurité, l'utilisation de données statistiques moyennes (données issues de différentes bases de données) pour calculer les fréquences des événements initiateurs, les événements de base et la probabilité de rupture des barrières...etc., mais le problème qui se pose réside dans la prise en compte des conditions particulières de l'installation à étudier, comme par exemple les facteurs organisationnels, humains, opérationnels et techniques qui influencent largement notre calcul.

Comment les conditions d'installation (facteurs) spécifiques affectant les risques techniques, humains, opérationnels et organisationnels influencent-elles les performances de la barrière de sécurité ? Par conséquent, dans ce contexte, ce projet de mémoire de master, nous avons traité ce problème en utilisant la méthodologie BORA (Barrier and Operational Risk Analysis) développée à l'Université Norvégienne des Sciences et Technologies (NTNU) est venu répondre à un tel problème. En effet, la méthode BORA utilisée pour analyser l'effet des barrières de sécurité mises en place pour prévenir et/ou protéger les accidents probables, et comment les conditions spécifiques de l'installation forment des facteurs influençant les risques techniques, humains, opérationnels et organisationnels (RIF) qui influencer les performances de la barrière de sécurité. Par conséquent, dans le cadre de l'obtention d'un master en HSI, nous avons préparé ce mémoire de fin d'études au sein du groupe SONATRACH Organisation SH-FCP dans le but d'appliquer la méthode BORA pour valider cette méthode sur un exemple d'application dans un procédé pétrochimique. En particulier, notre travail consiste à évaluer les barrières de sécurité pour équipements industriels appelés (Sphère de GPL ON modèle SPEC : RD-33-01A MLE field).

Pour atteindre cet objectif, nous avons divisé notre travail en deux parties :

- Une partie théorique comprenant un chapitre : l'objectif du premier chapitre est de présenter les différentes notions et définitions relatives aux barrières de sécurité (classement et critère de performance) et les méthodes d'évaluation de leur performance (principalement la description de la méthode BORA).

- Une partie expérimentale dédiée à l'application de la méthode BORA : Présentation de l'application de la méthodologie BORA à un système opérationnel ((Sphère de GPL ON modèle SPEC : RD-33-01A MLE field)), au sein du groupe SONATARACH Organisation SH-FCP ; nous avons appliqué la méthode BORA au système étudié selon les étapes le premier chapitre, nous avons choisi un scénario pour produire des résultats qui confirment l'utilité de cette méthode.

Bien entendu, ces deux chapitres sont encadrés par une introduction générale et une conclusion, complétées par des annexes.

Chapitre I :

Notions générales d'évaluation des barrières de sécurité et présentation de la méthode BORA

I.1.Introduction :

Au cours des derniers siècles, il y a eu un énorme développement dans les processus industriels, qui souhaitent générer de nombreux types de risques avec différents niveaux. Ces risques nécessitent donc un traitement pour les réduire à des niveaux tolérables afin d'éviter les pertes de vie et de propriétés ou tout type de pollution environnementale. Pour garantir cet objectif, les organisations doivent utiliser toutes leurs ressources pour minimiser les effets de leurs activités en fournissant un environnement opérationnel plus sain et «légalement» plus sûr en adoptant des pratiques efficaces de gestion des risques.

I.2. Processus de gestion des risques :

Gérer le risque signifie utiliser les meilleures ressources limitées pour minimiser un ensemble de risques que nous ne pourrons jamais réduire à zéro. Bien que la gestion des risques soit propre à chaque entreprise, mais son objectif reste le même : assurer la sécurité des personnes et des biens, pérenniser les activités et préserver les ressources et l'environnement c'est un processus par lequel les organisations traitent systématiquement les risques attachés aux leurs activités.

La définition de critères d'acceptabilité des risques ou, plus généralement, de critères de décision, est une étape clé du processus de gestion des risques qui motive la nécessité d'envisager de nouvelles mesures de réduction des risques en fonction du niveau de risque et d'influencer les modalités d'analyse et d'évaluation des risques. menée.

Le processus de gestion des risques décrit dans [ISO /CEI51, 1999] : montre la difficulté d'adopter des critères objectifs et standards pour accepter le risque mais c'est un moyen efficace pour parvenir à une approche structurée de la gestion des risques. Mis en œuvre de manière cohérente, il permet d'identifier, d'analyser, d'évaluer et de gérer les risques de manière uniforme et ciblée.

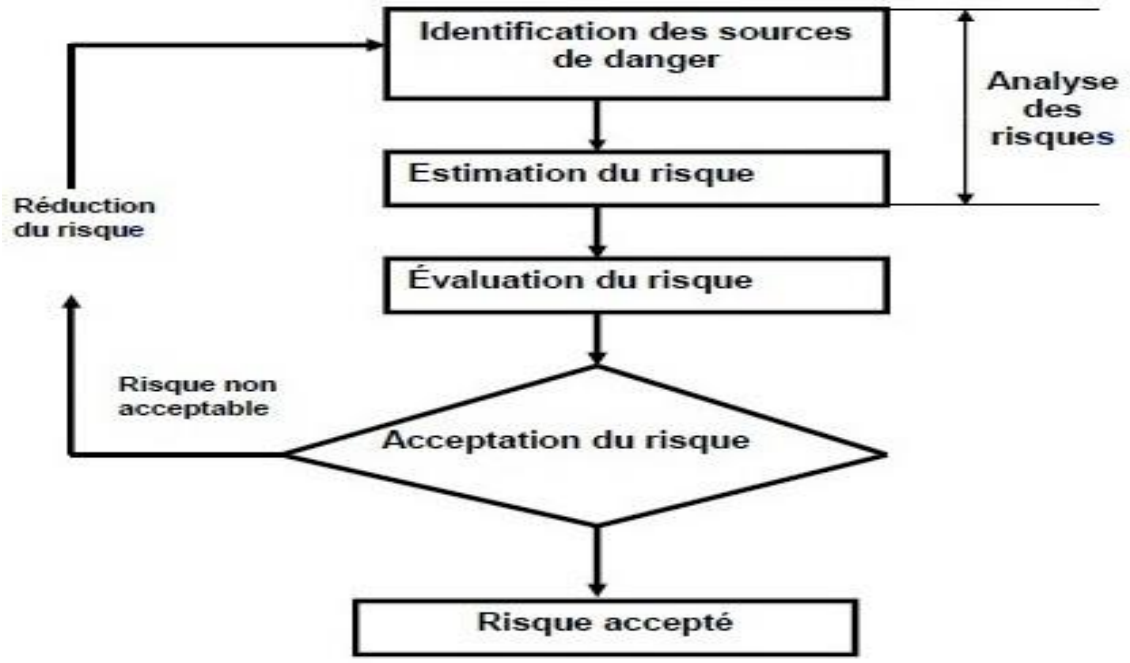


Figure I 1: *processus de gestion des risques [ISO /CEI51, 1999]*

I.2.1.Analyse de risque

L'analyse des risques vise en premier lieu à identifier les sources de danger et les situations associées pouvant entraîner des dommages aux personnes, à l'environnement ou aux biens. En d'autres termes c'est « l'utilisation systématique de l'information pour identifier les phénomènes dangereux et estimer le risque » [Hollangel, E (2004)]. Sachant que cette étape consiste en deux activités essentielles est l'identification des risques (les différents scénarios de risques possibles) et l'estimation des risques (des données à chaque scénario une valeur de probabilité d'occurrence et une gravité des conséquences). Il est également important de noter que les valeurs de gravité et de probabilité sont des valeurs prédéfinies par l'organisation en question, qui est généralement capitalisée sous forme de grille de risque avec des cotations et des catégories de fréquence d'occurrence. Et la gravité des conséquences et enfin avec des niveaux de risque limités, le cas échéant. [Hadef, 2019].

I.2.2. réduction de risque :

L'évaluation des risques est "Le processus de comparaison du risque estimé avec des critères de risque (seuils d'acceptabilité ou de tolérabilité) donnés pour déterminer l'importance du risque" [Johnson, W. G. (1980)].

La comparaison peut être effectuée par rapport à un référentiel préétabli afin de permettre une prise de décision concernant l'acceptation du risque ou la nécessité de son traitement. Sachant que ce critère d'acceptabilité sera réalisé selon plusieurs considérations comme par exemple ; le coût, les avantages, les préoccupations des parties prenantes et d'autres variables requises pour l'évaluation des risques [Hadef, 2019].

I.2.3. management de risqué :

Il existe deux manières de traiter le risque qui sont les suivantes : [Flemin, K. N, Silady, F.A (2002)].

- Prévenir l'accident en identifiant ou en installant des instruments ou des équipements qui réduiront la probabilité d'occurrence de l'événement.

- Réduire les effets d'un événement pouvant dégénérer en accident majeur. Pour cela, il faut jouer sur les moyens de protection.

Ainsi, à travers ces deux techniques, nous avons joué sur la réduction de la probabilité d'occurrence de l'événement indésirable ou de l'accident ou sur la réduction des dommages humains, environnementaux et matériels. Cette réduction se fait par des barrières de sécurité, soit de prévention, soit de protection, ou les deux, selon le cas [Hadef, 2019].

Toutes ces options constituent ce qu'on appelle des barrières de sécurité. Afin d'expliquer les options possibles, le concept de barrières de sécurité doit être discuté plus en détail plus loin dans ce chapitre.

Le risque zéro n'existe pas, par conséquent, la réduction du risque à un certain niveau n'est pas considérée comme un risque acceptable, selon OHSAS 18001 [OHS, 1999], un risque acceptable est un risque qui a été réduit à un niveau tolérable pour une organisation par rapport à ses obligations légales. Obligations et sa propre politique de santé et sécurité au travail. Selon le Guide ISO/IEC 51 [ISO, 1999], un risque acceptable est un risque accepté dans un certain contexte et basé sur les valeurs acceptées par l'entreprise.

Certaines industries fortement préoccupées par le risque (nucléaire, chimique) ont été amenées à définir des niveaux de risque acceptables sur la base des seules conséquences. C'est le principe des courbes de Farmer et de l'approche ALARP que nous allons présenter.

I.2.3.1 La courbe de Farmer :

Une courbe (également appelée courbe FN) exprimant la probabilité ou la fréquence de défaillance annuelle en fonction de l'intensité ou de la gravité des conséquences, souvent exprimée en nombre de victimes (F = « fatalités » = nombre de victimes, N = nombre ou fréquence des pannes).

Cette représentation distingue la zone de risque majeur (de forte gravité mais très peu

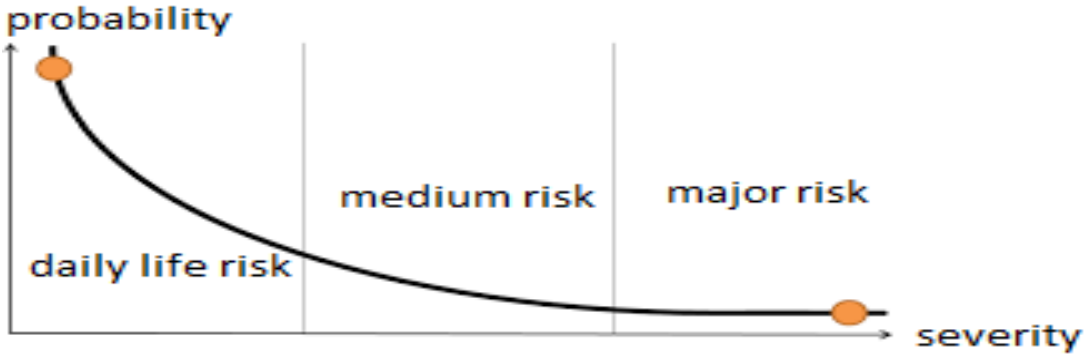


***Figure I 2**: Courbe de farmer (gravité – probabilité). [Farmer, 1967]*

fréquente) de celles de risque moyen et de risque « vie quotidienne » (ou risque banal).

Farmer [Farmer, 1967] a été le premier à proposer une telle représentation, qui permet d'exprimer les aspects sociaux et humains des risques, avec une application au domaine de la sûreté des installations nucléaires. Il a montré que les conséquences potentielles des défaillances nucléaires sont beaucoup moins graves (de plusieurs ordres de grandeur) que celles résultant d'accidents d'avion, d'incendies ou de ruptures de barrages.

Le travail dans le diagramme F (gravité) –N (probabilité – fréquence) définit trois régions (Figure I.3.) :

- Une zone (A) dans laquelle le risque est jugé intolérable (fréquence trop élevée ou conséquences trop élevées) ;

- Et une région intermédiaire (B) dans laquelle elle est considérée comme acceptable. Dans cette région, connue sous le nom de zone ALARP, le risque peut être réduit à un niveau aussi bas que raisonnable sans encourir de surcoûts prohibitifs ;

- Une région (C) dans laquelle il n'est plus perçu.

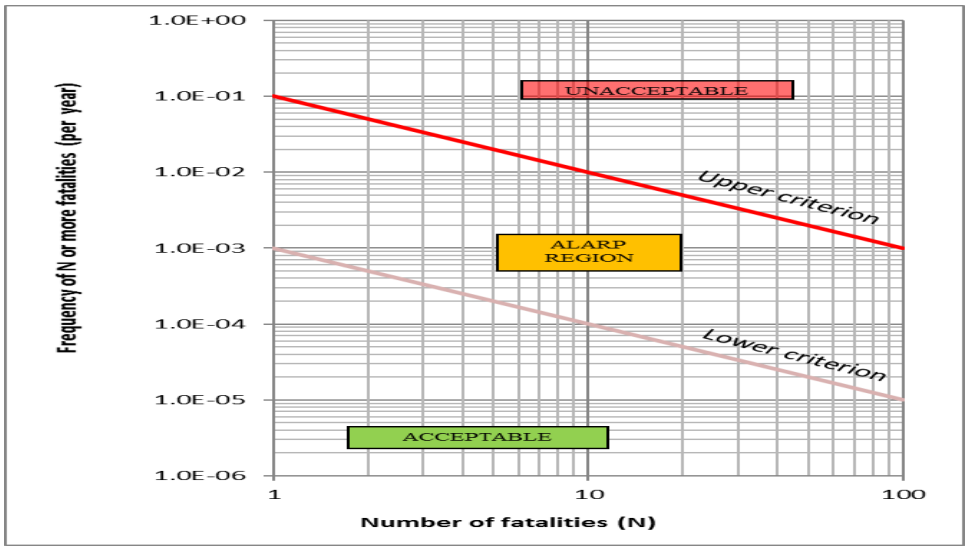


Figure I 3: *Principe de la démarche ALARP. [Farmer, 1967]*

ALARP (As Low As Reasonably Practicable) : Le principe utilisé pour définir un niveau de risque qui peut être efficacement atteint pour le système considéré et qui est acceptable pour tous ceux qui peuvent être affectés par la menace.

Dans la zone A, une action immédiate est requise pour améliorer la sécurité. Dans la zone ALARP, elles peuvent être entreprises en fonction des gains qu'elles procurent et des coûts des mesures de réduction des risques. Ce formalisme s'écarte du formalisme strictement économique puisque, si l'on se place dans la zone du risque intolérable, le but du projet est de s'en sortir coûte que coûte.

I.3. Concepts et définition liés aux barrières de sécurité

I.3.1. Définition de barrière de sécurité

Une barrière de sécurité est une procédure ou un élément matériel destiné à interrompre ou modifier le scénario d'un accident de manière à réduire la probabilité et/ou la gravité de l'accident. [Miche et Perinet, 2006]. Le terme « barrière de sécurité » englobe les barrières de sécurité techniques, les barrières de sécurité organisationnelles et les barrières humaines.

I.3.2. Typologie des barrières de sécurité

Des barrières de sécurité ont été utilisées pour prévenir les CRE (central redoute event) ou pour limiter les effets d'accidents. Il existe trois types de barrières de maîtrise des risques : les barrières techniques de sécurité, les barrières humaines et une combinaison de barrières techniques et humaines [OREDA [ROSS-site], EIREDA [Stein Hugean. 2005.], PDS [Vinnem, J.E, T.Huesbo, T.Seljelid, J. et Tveit, O. (2006)], NPRD 95[Goossens, L., & Hourtolou, D. (2003)].

I.3.2.1. Barrières techniques de sécurité

Constitué d'un dispositif de sécurité (passif ou actif) ou d'un système de sécurité instrumenté qui s'oppose à l'enchaînement des événements susceptibles de conduire à un accident : [Bouchet, 2001]

a) Dispositifs de sécurité :

- **Dispositif passif** : qui ne fait intervenir aucun système mécanique (ressort, levier...) pour assurer sa fonction de sécurité et qui ne nécessite aucune action humaine (sauf intervention de type maintenance), ni action d'une mesure technique, ni source de énergie externe pour assurer sa fonction. Dans cette catégorie on retrouve l'écran de protection mécanique ou thermique, le disque de rupture, le toit flottant des réservoirs, les parois de confinement et le bassin de rétention.

- **Dispositif actif** : Il s'agit d'un système mécanique (ressort, levier...) pour assurer sa fonction. Il peut nécessiter une source d'alimentation externe pour fonctionner. Sont inclus dans cette catégorie les soupapes de sécurité, les limiteurs de débit, les évents de réservoir avec ressorts, le clapet anti-retour.

b) Système de sécurité instrumenté :

Le système de sécurité instrumenté est une combinaison de capteurs, d'unités de traitement et d'actionneurs destinés à remplir une fonction ou sous-fonction de sécurité.

c) Système avec action de sécurité manuelle :

Les systèmes à action manuelle de sécurité sont des barrières mixtes à composants techniques et humains : l'opérateur est en interaction avec les éléments techniques du système de sécurité qu'il surveille ou sur lesquels il agit.

I.3.2.2. Les barrières de sécurités organisationnels

Ils sont constitués d'activités et de procédures humaines qui n'impliquent pas de barrières techniques de sécurité pour s'opposer au déroulement d'un accident. Les exemples incluent le respect des règles de circulation du site, les inspections périodiques, la maintenance préventive et les permis de travail.

I.3.2.3. Barrières de sécurité humaine (BSH) :

Définies par les éléments qui la composent : les barrières humaines de sécurité ont une composante humaine, le plus souvent associée à une composante technique (l'opérateur interagit au moins avec les éléments techniques du système qu'il surveille ou sur lesquels il agit). [Miche et Périnet, 2006].

I.3.3. Critère de performance des barrières de sécurité :

Dans le cadre du projet ARAMIS [Andersen et al, 2004]. L'évaluation des barrières de sécurité est réalisée selon trois critères afin d'atteindre un objectif de réduction des risques prédéterminé : l'efficacité, le temps de réponse et le niveau de confiance.

I.3.3.1. Efficacité

La capacité d'une barrière de sécurité à remplir une fonction de sécurité pendant la durée, dans un mode non dégradé et dans des conditions spécifiées ? L'efficacité est soit un pourcentage, soit une probabilité de la performance de la fonction de sécurité définie. Si l'efficacité est exprimée en pourcentage, elle peut varier pendant le temps de fonctionnement de la barrière de sécurité. Par exemple, une vanne qui n'est pas capable de se fermer complètement sur une demande de sécurité n'aura pas une efficacité de 100 %.

Mais une barrière de sécurité peut ne pas être efficace à 100 % ; elle sera alors considérée comme barrière de sécurité mais l'intensité du phénomène dangereux lié au fonctionnement de la barrière est alors évaluée en tenant compte de l'efficacité réelle de la barrière.

Ainsi, un rideau d'eau peut abattre un nuage (ATEX) de X%. Le rideau d'eau peut être considéré comme barrière mais le phénomène dangereux lié au fonctionnement du rideau d'eau fait intervenir la partie du nuage non abattue, soit (100-X)%. L'évaluation de l'efficacité repose avant tout sur les principes de « dimensionnement adapté » et de « résistance aux contraintes spécifiques ». [Élodie et Romuald ; 2014]

A) Dimensionnement adapté

Par exemple, l'efficacité d'un disque de rupture d'un réacteur dépend de la valeur de la pression de rupture et du diamètre de refoulement : c'est la vérification du dimensionnement adapté au scénario à maîtriser. Pour une soupape de sécurité située dans un bassin de rétention où est susceptible d'apparaître un incendie (pool fire), l'efficacité de la soupape pourra être remise en cause si elle n'est pas conçue pour résister aux effets thermiques du feu. Qu'en est-il de l'efficacité d'une activité de sécurité créée par l'homme ? La notion de dimensionnement adapté se transpose relativement facilement en interrogeant l'adaptation des éléments techniques aux capacités physiques et physiologiques humaines :

L'alarme est-elle audible ? La vanne est-elle maniable ? Des questions en apparence anodines mais qui permettent parfois de détecter des déficiences datant de la conception des installations (exemple : une alarme pour alerter l'exploitant reportée avec toutes les alarmes de défaut dans un local technique fermé et accessible uniquement au personnel de maintenance) ou des difficultés liées à la modification des installations au cours du temps (exemple : une soupape de sécurité déplacée pour faire place à un nouvel équipement sans que son accessibilité d'urgence n'ait été prise en compte comme critère impératif).

b) Résistance à des contraintes spécifiques :

La vérification de la notion de résistance à des contraintes spécifiques correspond à vérifier que les contraintes liées au contexte d'utilisation de la barrière (contraintes liées à l'environnement, à l'exploitation, aux produits mis en œuvre...)

ne pas remettre en cause le fonctionnement des éléments constitutifs de la barrière. Pour les barrières humaines, il s'agit de vérifier que les acteurs chargés de mener les actions de sécurité seront protégés du contexte accidentel du scénario : en cas d'intervention dans un nuage de gaz toxique, des équipements de protection individuelle sont-ils fournis ? Sont-ils adaptés pour protéger l'opérateur d'intervenir ? En cas d'intervention pour maîtriser un incendie, les moyens d'intervention sont-ils positionnés de manière à ne pas exposer l'opérateur qui devra les actionner ? C'est aussi parfois l'occasion de se poser la question du dimensionnement adapté : si l'opérateur doit revêtir une combinaison de type scaphandre, a-t-il toujours la liberté de mouvement nécessaire à l'opération à effectuer ?

I.3.3.2. Temps de réponse :

Le temps de réponse : correspond à l'intervalle de temps entre le moment où une barrière de sécurité, dans un contexte d'utilisation, est demandée et le moment où la fonction de sécurité assurée par cette barrière de sécurité est réalisée dans son intégralité. [Bouchet & al ; 2008].

Selon cette définition, le temps de réponse intègre :

- le temps nécessaire pour opérer une détection de l'incident suite à sa sollicitation
- le temps nécessaire pour transmettre l'information à la ou aux barrières de sécurité qui doivent remplir la fonction de sécurité.
- le temps nécessaire pour mener à bien l'action de sécurité.

Le temps de réponse de la barrière technique de sécurité peut être obtenu en principe de deux manières :

a) Ceci peut être réalisé en prenant des mesures de temps d'intervention, sur site, des barrières de sécurité (dispositifs de sécurité, équipements de sécurité et chaîne de sécurité complète),

b) Soit par la somme des temps de réponse des dispositifs constituant la barrière de sécurité. Ces temps de réponse peuvent être fournis par les fabricants.

Pour un SIS [Elodie et Romuald ; 2014], le temps de réponse total de la barrière est la somme des temps de réponse des trois sous-systèmes, capteur, unité de traitement, actionneur. Pour une barrière humaine, le temps de réponse est également susceptible d'être une somme des temps élémentaires de chacune des actions successives effectuées par les opérateurs chargés d'assurer la fonction de sécurité. Ainsi, une barrière de type « intervention sur détection d'incendie par une ronde de surveillance » doit comporter le délai de détection du phénomène (en fonction de la périodicité de la ronde), le délai des moyens d'intervention jusqu'à ce que la fonction de sécurité soit réalisée, mais aussi un temps nécessaire pour diagnostiquer la situation, et, dans le cas fréquent où plusieurs personnes interagissent (une cocarde, un personnel en attente recevant l'alerte, les pompiers entrant en intervention, ...), un temps important consacré à cette étape d'échange d'informations, de coordination, de prise de décision en amont de l'intervention, ou encore de gestion des perturbations pouvant survenir au cours de l'intervention.

I.3.3.3.Niveau de confiance :

Le niveau de confiance d'une barrière : est un indicateur de la probabilité de défaillance de la barrière de sécurité. Il correspond à un facteur de réduction du risque d'accident. [Bouchet& al ; 2008].

Facteur de réduction de risque : Lien entre NC et réduction de risque : L'évaluation des probabilités d'occurrence de phénomènes dangereux fait intervenir les facteurs de réduction de risque induits par les barrières de sécurité.

Le NC correspond à une réduction du risque (RR) telle que : $10^{NC}<RR<10^{NC+1}$, on retient souvent que le NC est associé à une réduction de risque de 10^{NC}

Dans une approche semi-quantifiée, si l'événement initiateur a une fréquence de 10-X/an et que le niveau de confiance de la barrière est NC correspondant de manière conservatrice à un

facteur de réduction de risque de 10NC, la fréquence d'occurrence de l'événement est alors de 10- (X + NC)

***Table I. 1** : Correspondance Niveau de confiance - réduction des risques pour les systèmes Fonctionnement à la sollicitation.*

Niveau de confiance (SIL)	Porobabilité de défaillance à la demande (PFDavg)	Reduction de risque (RR)
4	10^{-5}<PFD*avg*< 10^{-4}	10 000 < RR < 100 000
3	10^{-4}<PFD*avg*< 10^{-3}	1 000 < RR < 10 000
2	10^{-3}<PFD*avg*< 10^{-2}	100 < RR < 1 000
1	10^{-2}<PFD*avg*< 10^{-1}	10 < RR < 100
0	10^{-1}<PFD*avg*< 1	1 < RR < 10

I.4. Méthodes d'évaluation de la performance des barrières de sécurité

I.4.1.LOPA (layer of protection analysis)

La méthode LOPA est une évaluation des moyens de gestion des risques composée des principales étapes suivantes [CCPS, 2001] : scénarios d'accident (critères d'acceptabilité + choix d'un scénario), événement initiateur (identification et fréquence), IPL (identification et PFD), conséquences (identification et calcul de leurs fréquences), évaluation des risques au regard des critères d'acceptabilité .LOPA exige que les scénarios d'accidents soient composés d'un seul événement initiateur et d'une seule conséquence [CCPS, 2001] :

***Table I 2 :** Équations requises par la méthode LOPA*

La désignation	Equation
Équation pour déterminer les fréquences des scénarios d'accident	$f_i^c = f_i^I * \prod_{j=1}^{J} PFD_{ij}$
En fonction des conséquences de chaque accident, en multipliant la fréquence des scénarios accidentels retenus par la probabilité d'occurrence de chaque conséquence, puis en cas de :	
D'un feu	$f_i^c = f_i^I * \prod_{j=1}^{J} PFD_{ij} * P^{ignition}$
Quelqu'un exposé à ce feu	$f_i^c = f_i^I * \prod_{j=1}^{J} PFD_{ij} * P^{ignition} * p^{human\ presence}$
Blessures/brûlures dues à cet incendie pour les personnes exposées à cet incendie	$f_i^c = f_i^I * \prod_{j=1}^{J} PFD_{ij} * P^{ignition} * P^{human\ presence} * P^{injuries}$
Personne exposée à un produit chimique toxique pouvant provoquer une intoxication.	$f_i^c = f_i^I * \prod_{j=1}^{J} PFD_{ij} * P^{présense\ humaine} * P^{blessure}$

I.4.2. Méthodologie de la méthode TRAM (technical Risk audit méthdology) (Bouchet, 2001) :

La méthode TRAM a été développée par l'administration anglaise (Health and Safety Executive). C'est un outil d'audit et d'inspection des risques. Il permet l'évaluation des sites couverts par les directives Seveso I et II. TRAM est basé sur le modèle d'arbre d'événements (Figure I-4). Cette méthodologie utilisée afin de vérifier l'efficacité des barrières de sécurité dans une installation à haut risque :

	Barrrier 1	Barrrier 2 Failure	**Major accident**
Initiating event	failure		
		Success	Safe installation
	Success		Safe installation

Séquences de défaillance i

Figure I 4 : *Modèle d'arborescence des événements*

C'est une technique qui permet d'évaluer grossièrement à la fois les risques et les mesures de réduction liées aux risques pour des processus donnés. Ces mesures de réduction des risques (ou barrières) sont appelées « lignes de défense » (LOD). Ces LOD sont audités.

TRAM est défini comme une méthodologie conforme aux principes de la norme IEC 61508. Cette norme, produite par la Commission Electrotechnique Internationale (CEI), est relative à la sécurité fonctionnelle des systèmes électriques/électroniques/électroniques programmables, liée à la sécurité.

_ LOD (Ligne de défense) :

Dans TRAM, une ligne de défense (LOD) est définie numériquement comme suit :

$LOD = -(\log)_{10}(PFD)$

Avec PFD : probabilité de panne à la demande. Si le taux de sollicitation de la barrière est continu, alors la PFD est remplacée par la probabilité de défaillance à l'heure (PFU). Les lignes de défense sont réparties en 4 groupes : active, passive, physique et procédurale.

_ Catégorie de conséquences :

TRAM définit la catégorie de conséquences (Ci) des accidents résultant de défaillances sur une échelle allant de 1 à 7. En pratique, compte tenu de la sécurité des personnes et des conséquences environnementales, l'échelle utilisée est comprise entre 3 et 7. Mais cette échelle n'est pas fermée et Ci prend des valeurs supérieures à 7 : catégorie de conséquence C_i

$C_i = -(\log)_{10}(\alpha_N / m)$

Avec : 1 <Ci<7 ou généralement : Ci<7

C_i : la catégorie de conséquences de la séquence de défaillances ;

α_n : Critère d'acceptabilité choisi pour un accident causant N à 10N morts.

M : Nombre de séquences de pannes provoquant N à 10N morts.

Tableau I 3: *Catégories de conséquences dans le modèle TRAM*

Catégorie de résultat	Désignation
>7	***Accident catastrophique :*** *attaques hors site, grand nombre de morts, grande médiatisation, interrogatoire public, impact sur le cadre réglementaire et législatif.*
>6	***Accident majeur :*** *dégâts à l'extérieur du site, nombreux morts et blessés, premier titre à l'information nationale, interrogatoire public, poursuites judiciaires.*
>5	***Accident important :*** *quelques dégâts à l'extérieur du site, petit nombre de morts et/ou de nombreux blessés, à l'une des informations nationales, demande de dommages et intérêts, enquête et action en justice.*
>4	***Accident de petite ampleur :*** *perturbation au sein du site, décès limité aux ouvriers impliqués dans l'accident, quelques blessés graves, et publication dans l'information locale, demande réparation et enquête.*
>3	***Accident mineur :*** *limité à une petite partie du site, quelques blessés légers, perte de temps, aucune mention dans la presse, seulement une enquête de l'entreprise*
=3	*Accident limité à de légères conséquences.*

_ Classe de fréquence

En TRAM, la classe de fréquence (Fi) de la séquence de défaillance i est définie par :

$$\mathbf{F_i = - (log)_{10} (f_i)}$$

$\mathbf{F_i}$: les fréquences des événements initiateurs de la séquence de défaillance i.J

_ Évaluations des risques

Le risque Ri, dû à la séquence de défaillances i, relie la conséquence et la fréquence d'occurrence comme suit :

$$\mathbf{R_i = f_i\, C_i\, P_i}$$

Pi : probabilité que cette séquence de défaillances i évolue vers un accident de catégorie Ci.

$$\mathbf{P_i = \pi_j\, P_{i.j}}$$

$P_{i.j}$: probabilité de défaillance à la demande des barrières « j » dans la séquence de défaillance « i ».

Pour être acceptable, chacune des séquences de défaillance " i " doit vérifier :

F_i+ (LOD) exigées $\geq C_i$

Fi : classe de fréquence de la séquence de défaillance « Fi »

Avec : **$(LOD)_{exigées} = \sum_j LOD_i$**

Sachant que : **$(LOD)_i = -(\log)_{10}(P_{i.j})$**

$(LOD)_{exigeés}$ Donne l'acceptabilité des risques dont découle l'acceptabilité des systèmes de défaillance :

$LOD_{excés} = LOD_{disponibles}\ LOD_{exigées}$

Avec : $\begin{cases} 0 < LOD_{excés} > 1 \\ LOD_{excés} > 1 \end{cases}$

Pour que le système de défense soit acceptable, l'excès de LOD doit être positif pour toutes les séquences de pannes i. Si l'excès de LOD est positif et inférieur à 1, une analyse plus approfondie est nécessaire.

La quantification des LOD disponibles est le résultat d'audits.

_ Risque résiduel

Ainsi, en fonction du critère d'acceptation Nα choisi initialement, le risque résiduel est donné par :

$R_{Résiduel} = 10^{-(C_i + LOD_{excés})} = 10^{-(F_i + LOD_{disponibles})}$

I.5.BORA: Barrier and Operational Risk Analysis:

I.5.1. Objectif :

La méthode Bora (Analyse des barrières et des risques opérationnels/analyse des barrières et des risques opérationnels) est une méthode relativement nouvelle d'analyse qualitative et/ou quantitative de scénarios d'accidents. Il introduit la notion de RIF (techniques humaines opérationnelles et organisationnelles) et leur influence sur la performance de la barrière de sécurité [Aven et al, 2006]. Sachant qu'une barrière était définie comme « un équipement, des structures ou des règles qui pourraient arrêter le développement d'un accident » [Taylor, RJ 1988]. Il s'agit principalement d'un outil en phase opérationnelle pour estimer l'évolution du risque dû aux activités.

I.5.2. Les étapes de l'analyse BORA :

Pour la réalisation de la méthode les principales étapes sont les suivantes :

1. Sélection d'un scénario d'accident
2. Identification de l'ensemble des événements initiateurs pouvant être à l'origine du scénario accidentel
3. Attribution de fréquences génériques pour chaque événement initiateur
4. Identification des barrières et élaboration du schéma bloc barrière
5. Modélisation des performances des barrières de sécurité (en utilisant la méthode FTA)
6. le calcul de la fréquence de la conséquence indésirable sur la base des probabilités d'événements génériques
7. Identification des RIF (Risk Influencing Factors)
8. Attribution des poids et scores RIF
9. Réajustement (correction) des probabilités et des fréquences moyennes
10. Recalcule du risque

Et nous allons décrire chaque étape pour comprendre le fonctionnement de la méthode :

I.5.2.1. Sélection d'un scénario d'accident et de ses événements déclencheurs :

Dans le cadre de l'étude BORA, nous avons sélectionné un scénario d'accident parmi les scénarios que nous avons obtenus de l'étude de danger, et généralement, les scénarios issus d'une étude préalable des risques par des méthodes appropriées (comme HAZOP). De plus, l'analyse de scénarios par ces méthodes nous a permis de voir les différentes barrières de sécurité pour chaque scénario, ce qui nous aide à réaliser les puits de défaillance plus tard.

Les événements initiateurs (EI) sont les événements susceptibles de conduire à l'élaboration du scénario d'accident conduisant à l'issue étudiée. L'IE peut être sélectionné en se référant aux causes identifiées dans le HAZOP. Alternativement, il est possible d'utiliser des listes d'IE « typiques » pour examen.

I.5.2.2. Attribution générique de fréquences pour chaque événement initiateur :

Nous utilisons les commentaires (REX), nous analysons donc les données historiques sur les conséquences des événements indésirables. Selon l'auteur OSAMA, la technique la plus utilisée dans les études BORA dans l'évaluation quantitative des risques (QRA). Et puis, on utilise des fréquences de conséquences dues à IE spécifiques au lieu des fréquences (IE) directement. Et pour ce cas, on peut dire que nous avons pris en compte l'effet des barrières pour l'installation à étudier. Pour cela, nous avons utilisé l'expression suivante : [Johnson, W. G. (1980)].

f_(Gl; EI〗_i)=f_(GL,Total)* P_(〖EI〗_i) (I-1)

P_(〖EI〗_i)Pourcentage d'événements initiateurs qui provoquent l'événement initiateur global

f_(Gl; 〖EI〗_i)Fréquence générique de l'événement initiateur dû à certains événements initiateurs

f_(GL,Total)Fréquence totale des événements initiateurs

I.5.2.3. Identification des barrières et élaboration de schémas barrières (BBD)

Lors de la première étape d'identification des risques des scénarios accidentels à étudier, nous identifierons également les barrières de sécurité de prévention et de protection pour chaque scénario. Ensuite, nous proposons un modèle de risque de base basé sur la méthode BORA sur le schéma bloc barrière (DBB) pour décrire les séquences d'un scénario d'accident, il sert donc de base à une analyse quantitative.

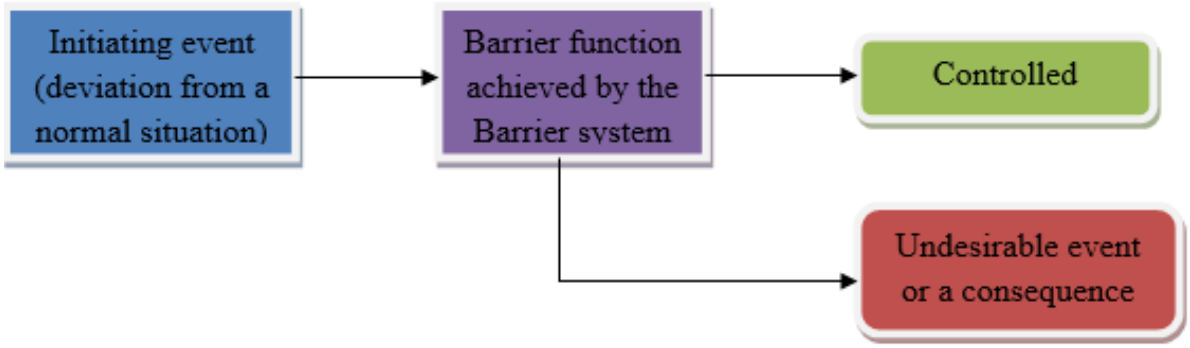


Figure I 5: *illustration d'un schéma de barrière*

Un système de barrière est un système qui est mis en œuvre pour exécuter une ou plusieurs fonctions de barrière [Fleming, K. N., & Silady, F. A. (2002).] . Ce système de barrière se compose de composants techniques et/ou d'opérations humaines ou des deux simultanément, selon le cas.

I.5.2.4. Modélisation des performances des barrières de sécurité (FTA)

La modélisation des performances des barrières ou systèmes de barrières de sécurité sera réalisée en méthode BORA à l'aide d'une analyse quantitative par la méthode d'Analyse par Arbre de Défaut (FTA). Cette analyse utilise des bases de données pour trouver les données nécessaires à notre étude telles qu'OREDA [EC (1998).], THERP [PSA. (2001).] et COREDATA [IEC : 61508. (1998), CEI : 61511. (2002).]

I.5.2.5. Calcul de la fréquence de la conséquence indésirable sur la base des probabilités d'événements génériques

Ce calcul repose sur deux méthodes : La première est l'utilisation de l'équation présentée à l'étape 2 qui donne directement les fréquences de la conséquence néfaste. Et donc, sur la base du DBB, les fréquences génériques pour les conséquences causées par les différents événements initiateurs peuvent être calculées comme suit :

$$f_{G,EI} = f_{EI_i} * Pf_{SB_1} * Pf_{SB_2} * \dots\dots * \quad \text{(I-2)}$$

Où:

- fEIi = Fréquence de l'événement initiateur i
- PfSBi = Probabilité de défaillance du système de barrière i

I.5.2.6. Identification des RIF (Risk Influence Factors)

Selon Haugen (2005), les facteurs influençant le risque sont des facteurs pouvant influencer la fréquence ou la probabilité d'occurrence d'un événement, ce sont des RIF identifiés par une carte d'influence. C'est donc le concept clé qui nous permet d'insérer des RIF(s) reflétant des conditions spécifiques sur la performance des barrières, puis dans les fréquences des événements initiateurs et les probabilités des événements de base. Comme par exemple :

- Caractéristiques personnelles : expérience de l'utilisation de l'extincteur. La charge de travail du conducteur
- Caractéristiques de la tâche : pression du temps
- Caractéristiques techniques du système : maintenance de l'alarme incendie
- Contrôle administratif : changement de chauffeurs
- Facteurs organisationnels : position de l'extincteur et de l'alarme incendie, communication entre chauffeur et chauffeur.

Pour une meilleure compréhension, nous avons décrit un exemple de diagramme d'influence du risque pour l'événement « Défaut de base pour la détection de fuites dans le test de fuite » qui est influencé par quatre RIF est illustré à la Figure II.4.

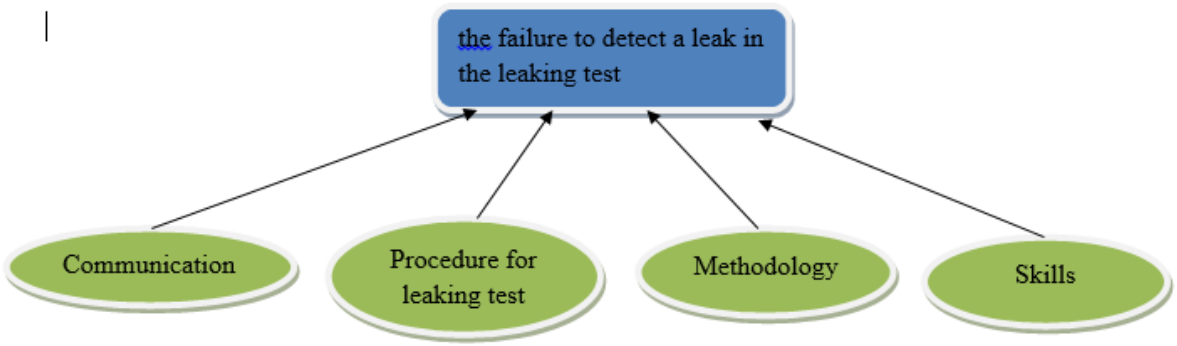


Figure I 6 : *Exemple de l'influence du risque*

Le tableau résume une liste de RIF basée sur une grande variété de sources (liste presque exhaustive)

***Tabeleau I 4** : Description des facteurs d'influence du risque (FIR)*

Group de RIF	RIF	Couvrir les aspects liés à
Personnel	Compétence	Compétence, expérience, connaissance du système et formation du personnel.
	Charge de travail / stress	Charge de travail générale sur les personnes (la somme de toutes les tâches et activités)
	Lieu de travail	Environnement de travail physique tel que le bruit, les vibrations, la lumière, l'utilisation de produits chimiques, etc.
	Fatigué	Fatigue de la personne, par exemple en raison de l'équipe de nuit et du recours intensif aux heures supplémentaires.
Tâche	Méthodologie	Méthodologie utilisée pour effectuer une tâche spécifique.
	Supervision de la tâche	Supervision de tâches spécifiques par un superviseur (par exemple, par le directeur des opérations ou la supervision mécanique).
	Complexité de la tâche	Complexité d'une tâche spécifique.
	Pression temporelle	Pression de temps dans la planification, l'exécution et la finition d'une tâche spécifique.
	Outils	Disponibilité et efficacité opérationnelle des outils nécessaires à la réalisation d'une tâche.
Système technique	Des pièces de rechange	Disponibilité des pièces de rechange nécessaires à l'exécution de la tâche.
	Conception d'équipement	Conception d'équipements et de systèmes tels que le type de bride (ANSI ou compact), le type de vanne, etc.
	Propriétés matérielles	Propriétés du matériau sélectionné vis-à-vis de la corrosion, de l'érosion. fatigue, articulation
	Complexité du processus	propriétés des matériaux, etc.
	IHM (Interface Homme Machine)	Complexité générale de l'usine de traitement dans son ensemble.
	Maintenabilité	Maintenabilité des équipements et des systèmes tels que l'accessibilité aux vannes et aux brides, l'espace pour utiliser les outils nécessaires, etc.
	/accessibilité	Comment les erreurs et les pannes sont détectées instantanément, en raison de l'alarme, de l'échec de démarrage, etc.
	Retour d'information du système	État de l'installation technique.
	procédure	Qualité et disponibilité des procédures permanentes et des descriptions de tâches/projets.

Contrôle administratif	Permis de travail	Le système de travail permet, au fur et à mesure de la demande, l'examen, l'approbation, le suivi et le contrôle.
	Instructions de travail	Qualité et disponibilité des descriptions de poste en tant qu'analyse et plans de sécurité d'emploi
Facteurs organisationnels	Documentation	Qualité, disponibilité et mise à jour des plans, P&ID, etc.
	Programmes	Étendue et qualité des programmes de maintenance préventive (PM), surveillance (CM), inspection, contrôle des travaux par une tierce partie, utilisation des listes de contrôle / contrôle gratuites,
	Travaux pratiques	etc. Un aspect important est si PM, CM, etc., est spécifié
	Surveillance	Pratique courante lors de l'exercice d'activités professionnelles. Facteurs comme si les procédures et les listes de contrôle sont utilisées et suivies, si les raccourcis sont acceptés, se concentrer sur le temps avant la qualité, etc.
	la communication	Communication entre les différents acteurs comme responsable de plateforme sectorielle, superviseurs, techniciens de zone, entreprises de maintenance, techniciens, etc.
	Propreté et nettoyage	Nettoyage général et ordre dans différentes zones de la plate-forme.
	Systèmes de soutien	Qualité des systèmes de support des données, etc.
	Critères d'acceptation	Définitions de critères d'acceptation spécifiques associés, par exemple : Etat de surveillance, de contrôle, etc.
	Activités simultanées	Quantité d'activités simultanées attendues (comme la maintenance et les modifications) et inattendues (comme l'arrêt).
	Gestion du changement	Changements et modifications des changements.

I.5.2.7. Attribution des poids et des notes FIR

Chaque RIF caractérisé par deux paramètres qui sont le poids (pour mesurer le degré d'influence de RIF sur la probabilité d'occurrence de (EI) et le score (exprime l'état RIF de l'installation étudiée).

- Pour calculer les poids

Nous appliquons une échelle quantitative de cinq points (10-8-6-4-2) de grande importance à la faible importance) pour donner les RIF en fonction des poids. Et nous utilisons des coefficients de pondération normalisés à la somme des poids des FIR influençant un événement de base [Duijm, N. J., Andersen, H. B., Hale, A., Goossens, L., & Hourtolou, D. (2004) ; Boutélis ; 2015].

Tableau I 5 : *Exemple de pondération par normalisation*

A-0-The failure of the regulating valve (PV-023A fails close).						
RIF	**Importance (Weights)**					**Normalized Weighting**
RIF	**High (10)**	**(8)**	**(6)**	**(4)**	**Low (2)**	
WA01Equipement Conception		×				0.444
WA02 Material proprieties				×		0.333
WA03 Maintenance			×			0.222
Weights	0	8	6	4	0	1
Total weight	18					1

- Pour calculer les scores :

Nous associons à chaque SRI une note de (A à F) sachant que A correspond aux meilleurs standards de l'industrie et F est la pire pratique de l'industrie. Et pour plus de détails voir le tableau I-7.

Tableau I 6: *Système générique pour le score RIF*

Score	Explication
A	L'état est la meilleure norme dans l'industrie
B	L'état correspond à un niveau supérieur à la moyenne de l'industrie
C	L'état est la moyenne de l'industrie
D	L'état est à un niveau légèrement inférieur à la moyenne
E	L'état est bien inférieur à la moyenne de l'industrie
F	L'État est la pire pratique de l'industrie

I.5.2.8. Réajustement des probabilités et des fréquences moyennes

Le réajustement sera effectué pour tenir compte des conditions particulières des installations selon la formule suivante :

P_rev (A) = P_moy (A)* ∑_ (t=1) ^n⁡〖W_i*Q_i 〗 (I-3)

Avec :

Précédent (A) = probabilité ajustée (révisée)

Pave (A) = probabilité moyenne de l'industrie (statistique) de l'occurrence de l'événement A

Wi = poids du RIF pour l'événement A

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

_(t=1)^n⁡(W_i=1) (I-4)

Détermination des valeurs Qi :

Nous devons associer un nombre à chaque score d'état de A-F, puis, nous avons calculé les scores en fonction des valeurs Plaw(A) ; limite inférieure pour Prev(A) et Phigh(A); la borne inférieure pourPréc(A) selon la relation suivante :

$$Q_i(S)\begin{cases}\frac{P_{low}}{P_{ave}}\,if & S=A\\ 1\ if & S=C\\ \frac{P_{high}}{P_{ave}}\ if & S=F\end{cases}$$

Et pour les autres valeurs, nous utilisons des relations linéaires entre les scores afin de les déterminer comme suit :

- S = B : nous supposons une relation linéaire entre Qi (A) et Qi (C), et nous utilisons SA = 1, SB = 2, SC = 3, SD = 4, SE = 5 et SF = 6. Et on utilise la relation suivante : (I-5)

$$Q_i(B)=\frac{P_{low}}{P_{ave}}+\frac{(SB-SA)*(1-\frac{P_{low}}{P_{ave}})}{SC-SA} \quad \text{(I-6)}$$

- • Pour déterminer les valeurs de Qi pour S = D et E, supposons une relation linéaire entre Qi (C) et Qi (F). Et on utilise les deux relations suivantes :

- $$Q_i(D)=1+\frac{(SE-SC)*(\frac{P_{high}}{P_{ave}}-1)}{SF-SC} \quad \text{(I-7)}$$

$$Q_i(E)=1+\frac{(SD-SC)*(\frac{P_{high}}{P_{ave}}-1)}{SF-SC} \quad \text{(I-8)}$$

La figure I-7 montre les différentes valeurs de Qi en fonction des différentes valeurs de P_{low} et P_{high}:

- ✓ Cas 1. $P_{low} = P_{ave} / 10$, and $P_{high} = 10 \cdot P_{ave}$
- ✓ Cas 2. $P_{low} = P_{ave} / 5$, and $P_{high} = 5 \cdot P_{ave}$
- ✓ Cas 3. $P_{low} = P_{ave} / 3$, and $P_{high} = 3 \cdot P_{ave}$
- ✓ Cas 4. $P_{low} = P_{ave} / 2$, and $P_{high} = 2 \cdot P_{ave}$

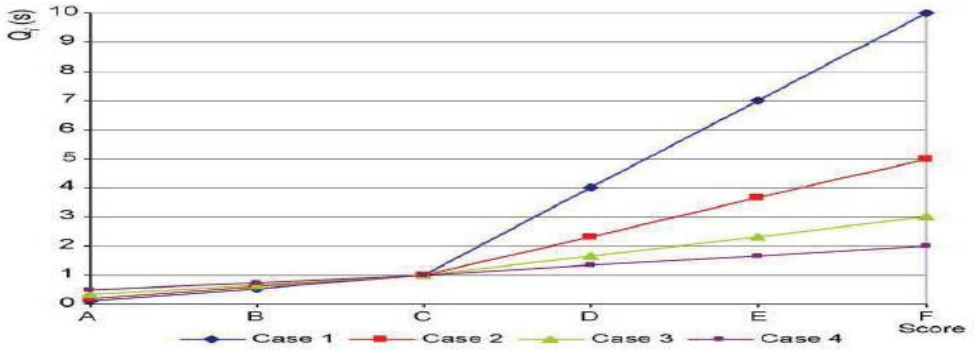


Figure I 7: *les valeurs de Qi selon différentes valeurs de Plow et Phigh*

I.5.2.9.Recalcul des risques

Afin de mettre à jour le calcul du risque de performance des barrières de sécurité en fonction des conditions spécifiques relatives au système étudié comme par exemple, les conditions humaines techniques, organisationnelles et opérationnelles.

I.5.3. Avantages et limites de la méthode BORA :

I.5.3.1. Avantages de la méthode BORA :

• C'est simple, et combine entre le qualitatif et le quantitatif.

• Il combine des connaissances de base des méthodes d'analyse des risques, telles que l'analyse d'arbre de défaillance, l'analyse d'arbre d'événements, in fine ; le risque peut être amélioré en utilisant des facteurs de risque.

• Dans la partie quantitative, il n'est pas difficile d'obtenir Wi (pondération du N°RIFi) et Qi (mesure de l'état du FRI n°i).

I.5.3.2. Limites de la méthode BORA :

• Les RIF ne sont pas indépendants tout le temps, ils s'influencent mutuellement. Par example. Prenons l'exemple du système ferroviaire. La pression temporelle peut influencer à la fois le maintien de l'alarme incendie et le mouvement des conducteurs. Même si, en décidant du poids des RIF, les jugements de l'expert donneront plus de poids à la pression liée au temps, ce n'est toujours pas précis, il vaut mieux brosser un tableau clair des relations entre les RIF.

• Les RIF ne sont pas clairement définis, selon Haugen (2005). Les facteurs influençant le risque sont des facteurs qui peuvent affecter la fréquence/probabilité qu'un événement se produise. Ce ne sont pas des barrières mais des facteurs qui affectent les performances des barrières, d'autres facteurs externes, etc. Il est un peu difficile de les distinguer avec les barrières.

Chapitre II

Application de la méthode BORA

Etude de cas : STOCKAGE GPL ON SPEC SPHER 33-RD-01A

II.1. Présentation et situation géographique du champ

Le champ gazier Menzel Ledjmet East (MLE) est un projet commercial développé conjointement par Sonatrach (SH) et First Calgary Petroleums Ltd. (FCP). Le champ MLE se situe dans le bloc Ledjmet 405b dans le bassin de Berkine en Algérie à environ 220 km au sud-est de Hassi Messaoud. Le concept de développement comprend un système de collecte sur le terrain, une installation centrale de traitement (CPF), une infrastructure et des pipelines d'exportation pour le gaz de vente, le GPL, le condensat et le pétrole. Tous les équipements MLE sont dimensionnés pour répondre à la fois au MLE et au CAFC GAS SWP. Les systèmes d'exportation de stockage et la plupart des équipements des services publics sont dimensionnés pour répondre également aux futures installations de CAFC TAGI Oil. Les futures installations de traitement du pétrole CAFC seront construites à côté de MLE CPF dans une phase future.

Le projet MLE comprenait principalement :

- 24 puits de gaz
- 6 collecteurs de gaz
- Une installation centrale de traitement (CPF), comprenant la compression du gaz de vente, le CO2
- Enlèvement, récupération du GPL, stockage des produits de stabilisation d'huile et de condensats et
- système de pompage
- Utilitaires associés
- 4 oléoducs d'exportation pour les ventes de gaz, de GPL, de condensats et de pétrole (au total 550 km)
- Flux de gaz riches et pauvres des puits de gaz CAFC

L'installation de traitement centrale produit 245 MMSCFD de gaz de vente (débit de conception) à partir de MLE, et le gaz CAFC produit 350 MMSCFD de gaz de vente (débit de conception).

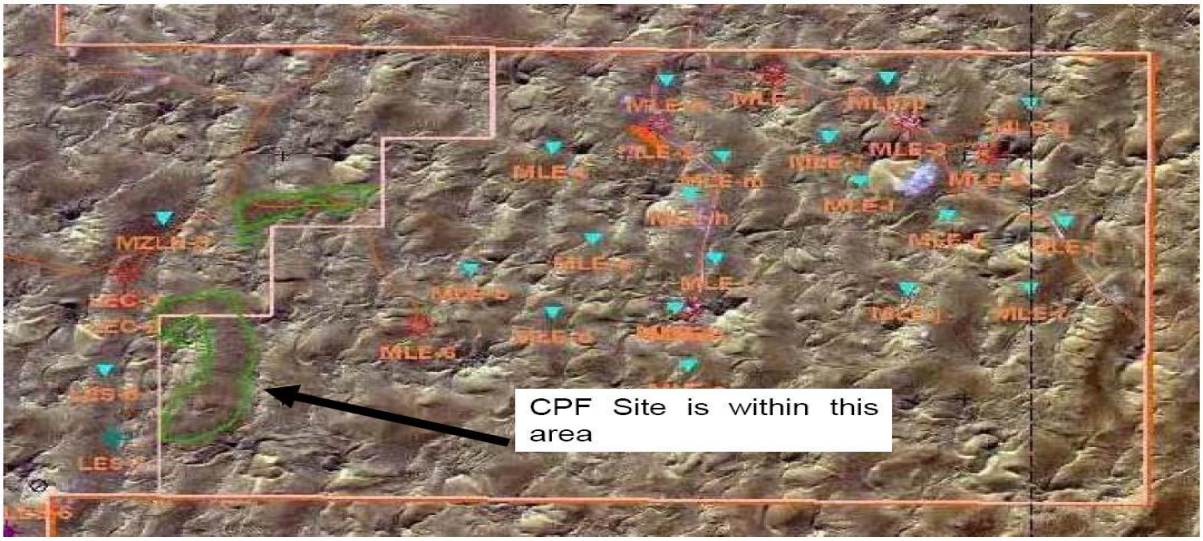


Figure II 1: *Emplacement MLE CPF*

Figure II 2: *SH-FCP- CPF*

II.1.2. Aperçu des installations

Les installations de traitement MLE collectent et traitent les fluides de puits des puits de gaz MLE et traitent les fluides de puits des puits de gaz riches et pauvres en CAFC afin de produire du gaz, du pétrole, des condensats et des produits GPL.

Pour le MLE, 24 puits sont proposés, chacun sur des sites de puits discrets. Les installations MLE et CAFC Gas sont constituées de :

• Installations du site de puits

• Collecte de collecteurs

• Pipeline de production jusqu'à l'installation centrale de traitement

• Le CPF, où le traitement est effectué

• Pipelines d'exportation de produits. Les pipelines d'exportation de MLE se raccordent à d'autres pipelines pour le transport ultérieur des produits d'exportation.

• Connexions pour les flux de gaz riches et pauvres en CAFC

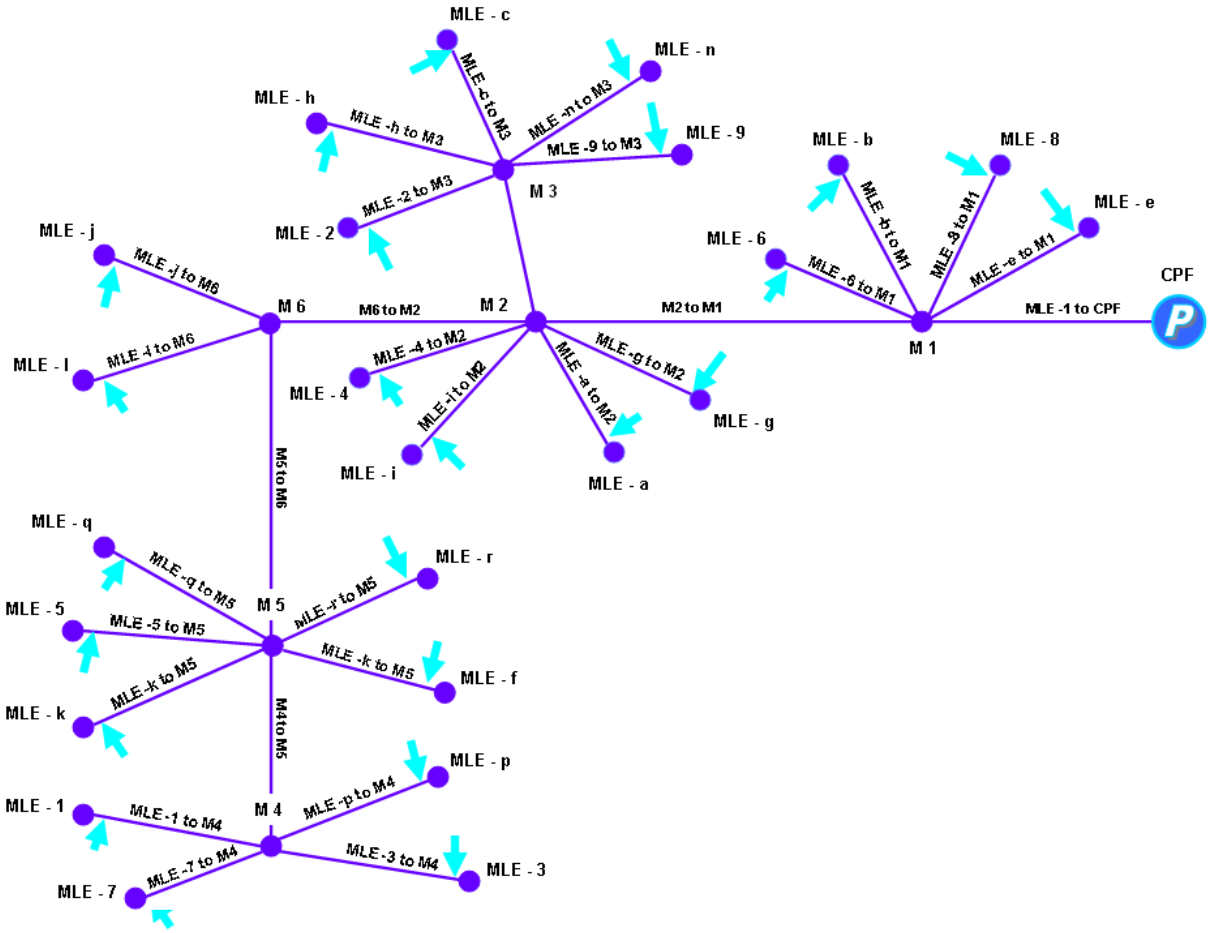


Figure II 3: *Réseau de rassemblement MLE*

Les installations de l'usine CPF traitent les fluides de puits pour produire du gaz de vente qui répond aux spécifications de valeur calorifique ; condensat et huile qui répondent aux spécifications de pression de vapeur et de densité et GPL qui répond aux spécifications de composition requises.

Les installations du CPF se composent de :

- Réception de production et slugcking
- Installations de prétraitement des gaz pour éliminer les impuretés H2S et mercure
- Élimination du CO2
- Déshydratation des gaz
- Refroidissement de gaz
- Installations de point de rosée pour éliminer les composants gazeux lourds (GPL) afin d'atteindre la spécification du pouvoir calorifique du gaz
- Compression et comptage des exportations de gaz
- Stabilisation des condensats
- Récupération GPL (Débutaniseur) et Traitement GPL
- Récupération des condensats Stockage et exportation de GPL

- Stockage et exportation de condensats
- Stockage et exportation de pétrole

Certaines dispositions ont été prises au niveau du MLE CPF pour l'intégration future des installations du Central Area Field Complex (CAFC TAGI OIL).

L'usine MLE est dimensionnée pour le flux combiné du système de collecte MLE et des flux de gaz riches et pauvres en CAFC.

Les installations de stockage et d'exportation de pétrole et de condensats sont conçues pour la production combinée de l'usine MLE et de l'usine de pétrole CAFC TAGI.

La plupart des services publics sont conçus pour alimenter également les futures installations pétrolières de CAFC TAGI.

Les installations de pipeline d'exportation comprennent des lanceurs de porcs ; vannes de sectionnement de ligne (conformément à la réglementation algérienne) ; installations de raccordement à l'infrastructure d'exportation existante.

La figure suivante montre le schéma fonctionnel global MLE + CAFC.

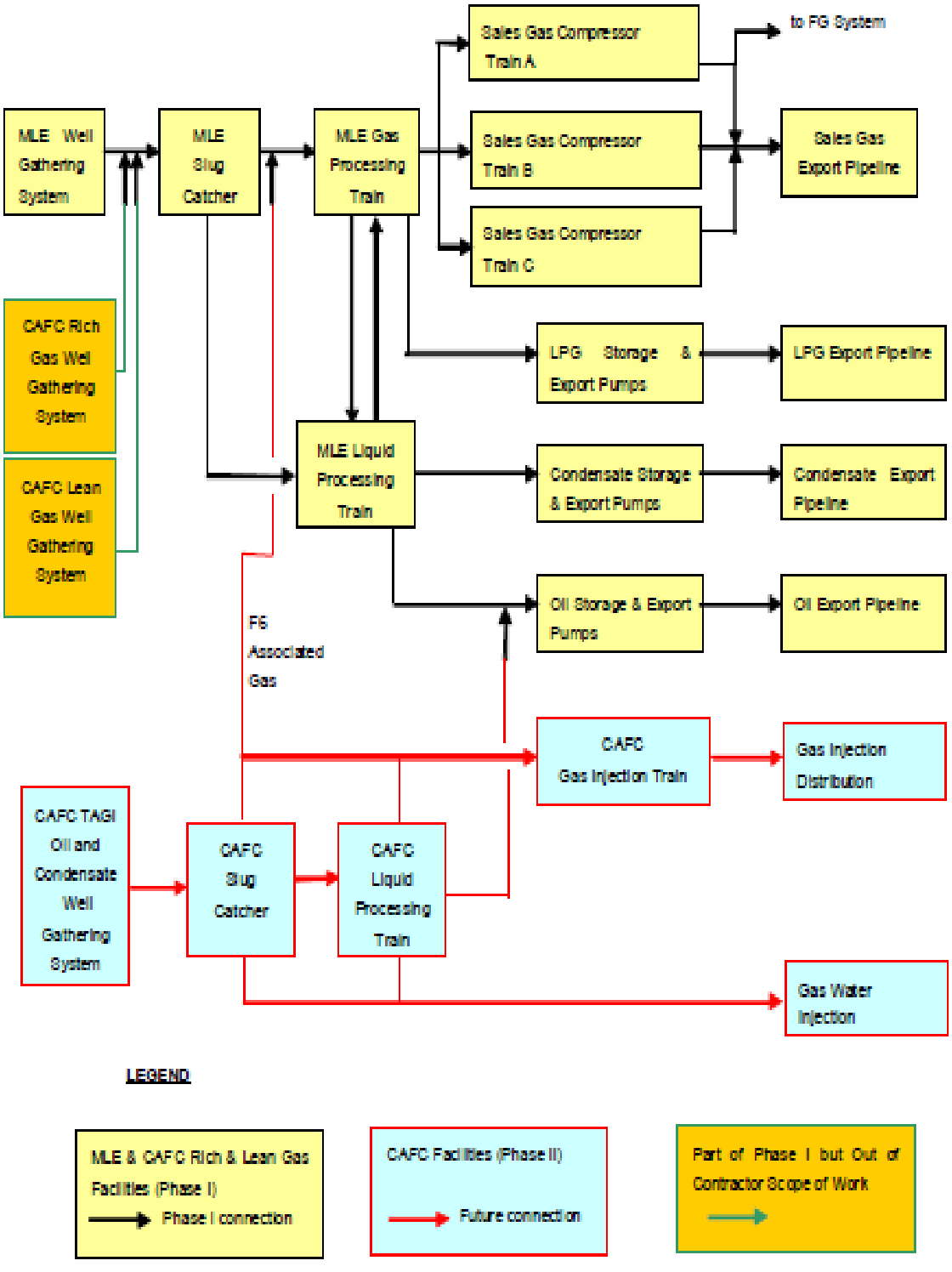


Figure II 4: *Schéma fonctionnel global MLE + CAFC*

II.1.3. Liens avec d'autres usines ou installations

Le champ de gaz MLE a les liens suivants avec d'autres usines/installations :

• **Ventes de gaz :** le gazoduc d'exportation est connecté à la canalisation principale à Gassi Touil

• **Produit GPL :** Le pipeline d'exportation de GPL est connecté à la canalisation principale à Gassi Touil

• **Produit de condensat :** le pipeline d'exportation de condensat est connecté à la canalisation principale à Gassi Touil

• **Produit pétrolier :** l'oléoduc d'exportation est connecté à la canalisation principale à Hassi Berkine

• **Alimentation électrique :** L'alimentation principale de l'Usine MLE provient du poste MLN (à 34 km de l'Usine) via deux OHL (Overhead Lines). Les OHL se terminent dans l'appareillage de commutation à isolation gazeuse (GIS) 60 kV, où le comptage fiscal électrique est intégré.

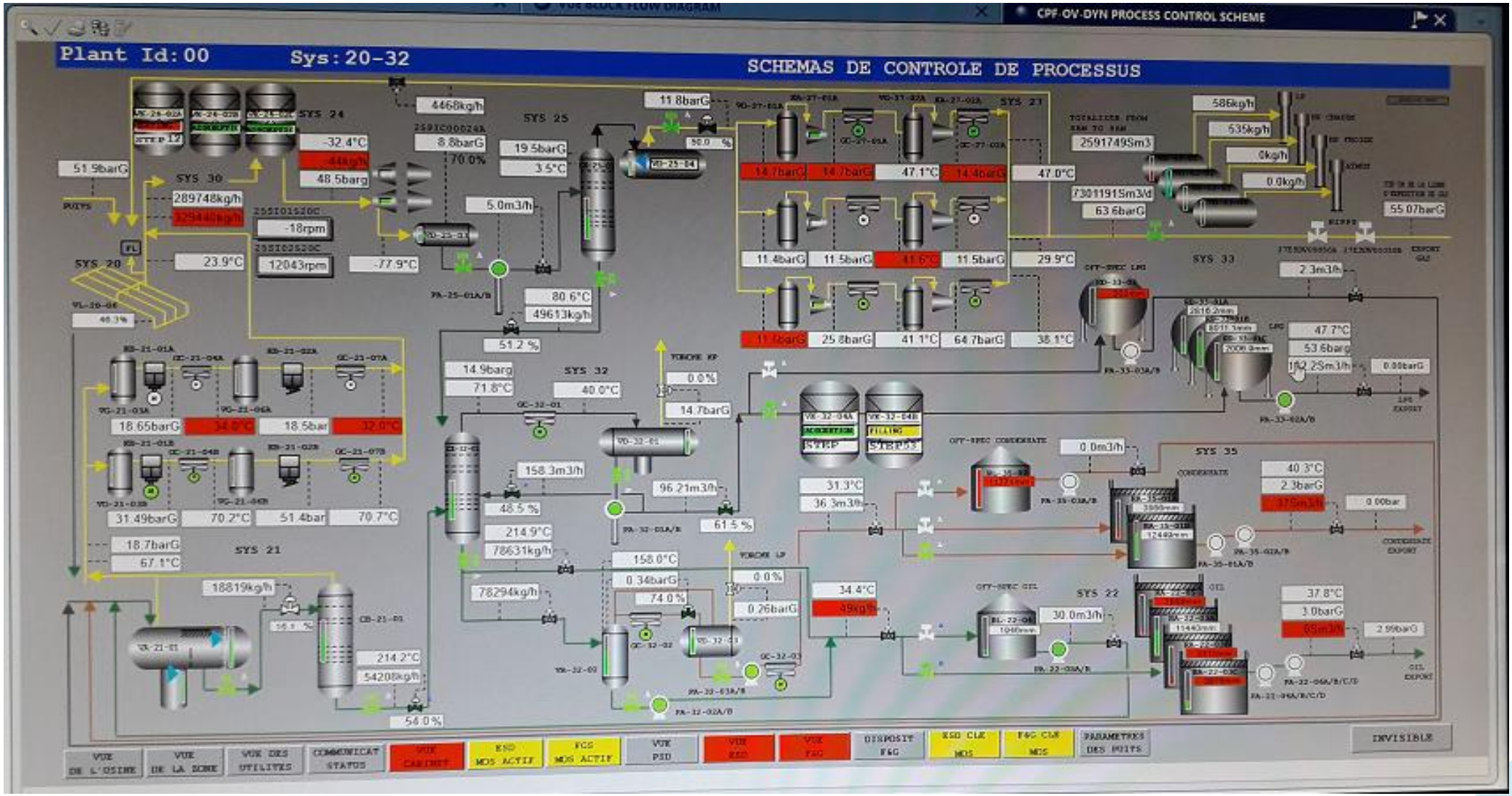


Figure II 5: *Diagramme du processus de production*

II.2. Application de la méthode BORA sur une sphère de stockage de GPL

L'analyse des risques par la méthode BORA nécessite la présence de certaines données et informations sur les différents paramètres d'évaluation des risques tels que, les fréquences des événements initiateurs, les données physico-chimiques du système, les probabilités de défaillance des différentes barrières. Et l'identification des RIF avec l'attribution de poids et de scores.

Ces données sont généralement obtenues à partir de l'historique du système (REX). En l'absence ou le manque de données sur l'état du système, d'autres sources telles que les banques de données et le jugement d'experts sont utilisées. Le choix des données se fait en respectant l'adaptation de ces données au système étudié en fonction de son historique et des systèmes similaires ayant le même mode de fonctionnement.

Dans cette partie expérimentale, la méthode BORA est appliquée à un système opérationnel (modèle ON-SPEC LPG STORAGE SPHER : champ RD-33-01A MLE).

II.2.1. Description du système étudié

Après traitement, le GPL est acheminé vers le système d'exportation. Il y a 3 sphères de stockage de GPL, chacune dimensionnée pour un stockage de 500 m3. Contrairement aux condensats et au pétrole, il n'y a pas de stockage prévu de GPL. Les réservoirs de stockage de GPL servent de stockage tampon pour offrir une flexibilité d'exploitation. Chaque sphère de stockage est maintenue à une pression d'environ 17 bar, légèrement supérieure

La pression maximale du point de bulle de fonctionnement en été. La pression dans les sphères On-Spec et Off-Spec est maintenue par une couverture de gaz du système de gaz combustible HP par le contrôleur de pression 33-PIC-00251 qui agit en mode plage fractionnée sur 33-PV-00251A/B.

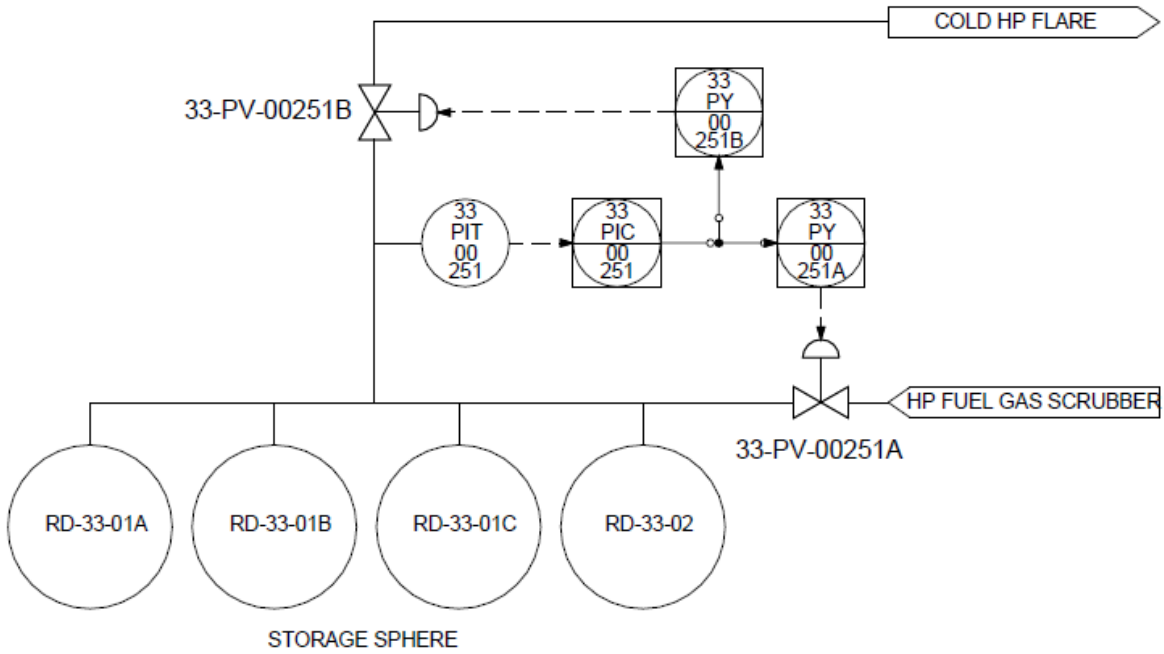


Figure II 6: *Contrôle de la pression de stockage du GPL*

Le GPL est exporté par les pompes d'exportation de GPL PA-33-02 A/B/C sans pompes de surpression. Les pompes sont dimensionnées comme 3 x 50 %. Le GPL est exporté via un

Fiscal Meter Package, UJ-33-01, par la boucle de contrôle de flux 33-FIC/FV-00751, puis s'écoule vers le pipeline d'exportation. Les signaux de niveau des trois sphères GPL sont envoyés sur le sélecteur de signal bas 33-FYLY-00255 : ce sélecteur sélectionne le signal de niveau le plus bas et l'envoie ensuite comme point de consigne au 33-FIC-00751. En cas de GPL, le pipeline d'exportation est hors service, le GPL est acheminé vers les lignes de décharge du premier étage de trois trains de compresseurs de gaz de vente, sous la boucle de contrôle de débit 33-FIC/FV-00254. Pendant le démarrage et les perturbations de l'usine, le produit GPL peut ne pas être produit conformément aux spécifications et, par conséquent, un réservoir de stockage de GPL hors spécifications, RD-33-02, est fourni pour permettre au produit hors spécifications d'être stocké pour une réutilisation ultérieure. Le GPL hors spécifications est envoyé pour réexécution par les 2 pompes GPL 100 % hors spécifications, PA-33-03 A/B vers le séparateur de condensats sous contrôle de débit : chaque pompe est équipée d'une boucle de contrôle de débit minimum (33-FIC-01251 A/02251 A) et la ligne de refoulement commune est régulée par la boucle de régulation de débit 33-FIC/FV-00252. Dans le cas où le GPL dans les sphères de GPL sur spécifications est hors spécifications, il peut être acheminé vers la sphère hors spécifications au moyen des pompes de réexécution de GPL PA-33-03 A/B et en agissant sur la logique de contrôle comme suit. Des commutateurs de sélection 33-FHS-00252 ont été fournis pour régler la fonction de la vanne de commande en fonction de l'acheminement de l'opération requis.

Le GPL peut être envoyé à :

- Séparateur de condensats ou sphères de GPL conformes aux spécifications (dans ces cas, 33-FIC/FV-00252 est la boucle de contrôle de débit et 33-FIC-01251 A/02251 A sont des protections de débit minimales)
- B. Sphère hors spécifications (dans ce cas, 33-FIC/FV-00252 est la protection à débit minimum et 33-FIC-01251 A/02251 A sont les boucles de contrôle de débit).

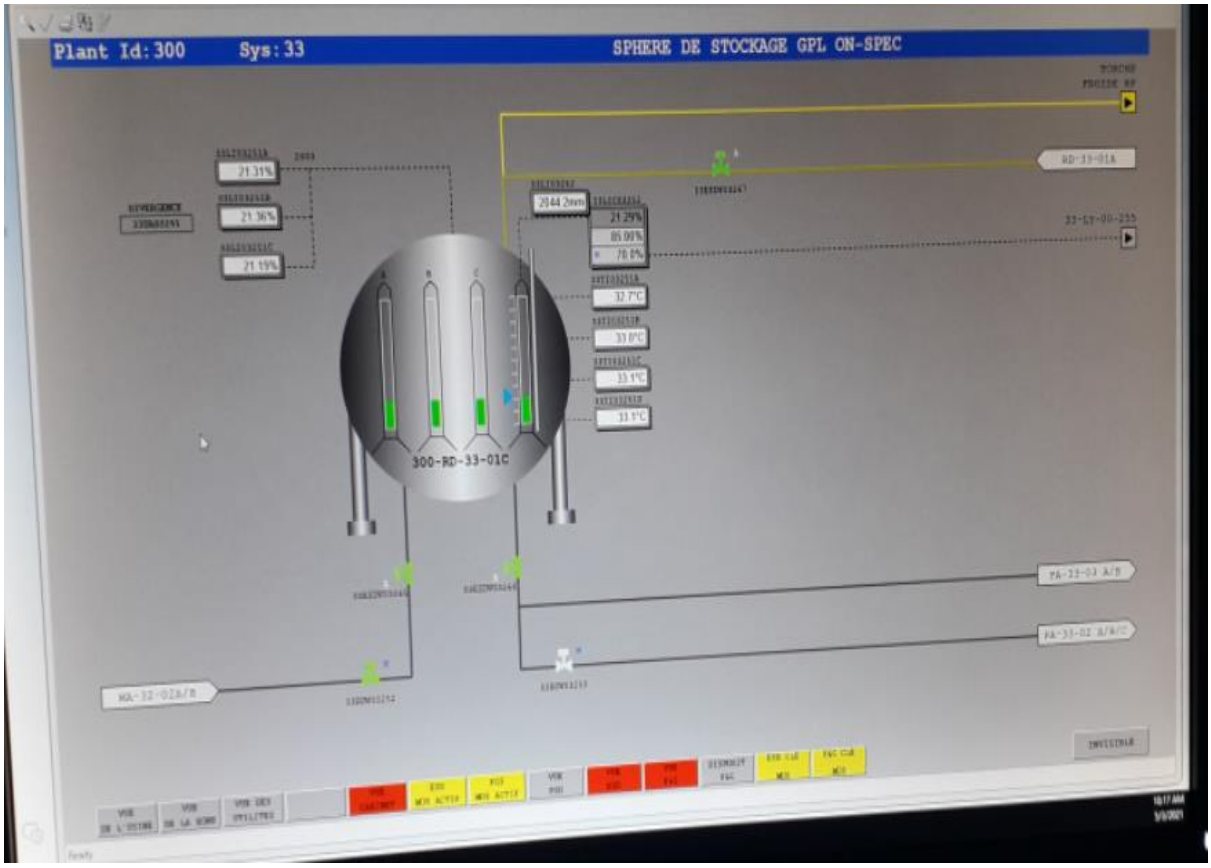


Figure II 7: *stockage de GPL conforme aux spécifications*

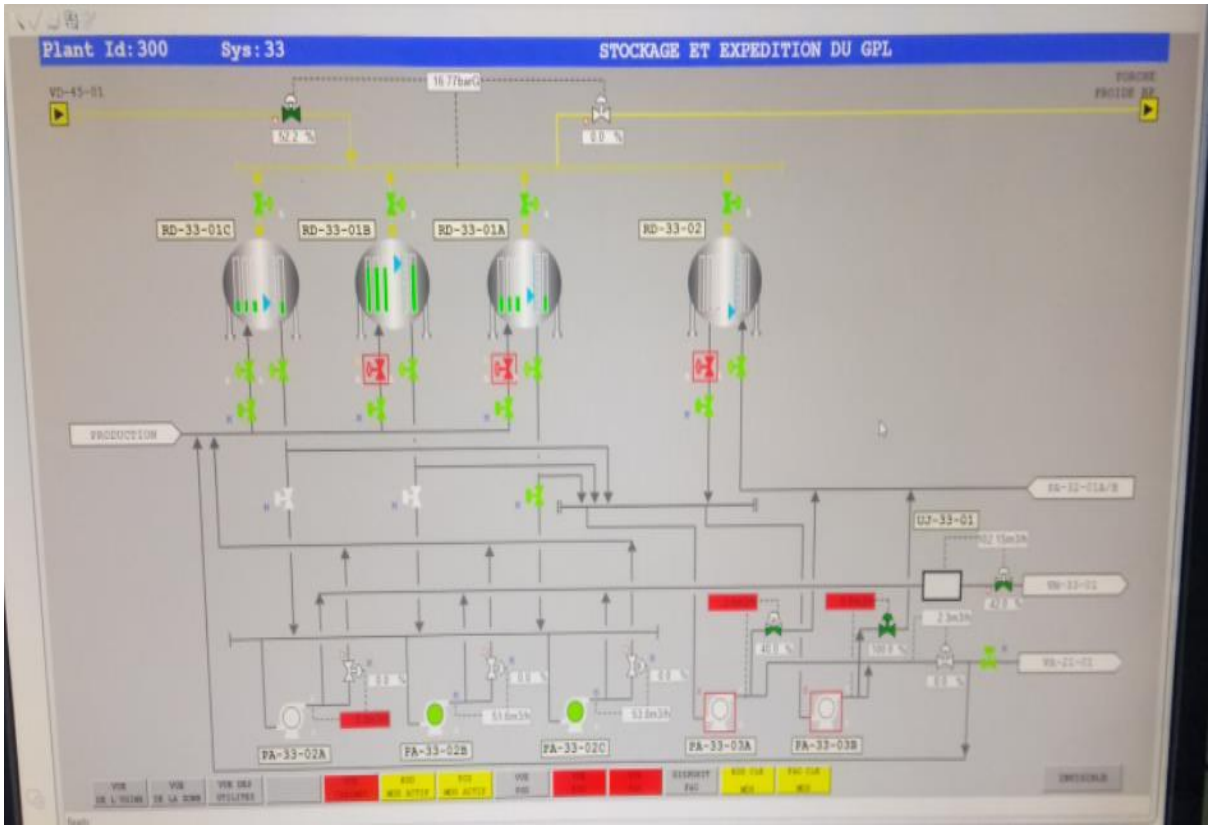


Figure II 8: *Expédition et stockage GPL*

II.2.1.1. La fiche technique de la sphère

Tableau II 1 : *La fiche technique de la sphère*

RD-33-01A	SPHÈRE DE STOCKAGE DE GPL CONFORME
Identifiant de taille	10320 mm
CAPACITÉ	500 m^3
PRESSION DE FONCTIONNEMENT/DE CONCEPTION	16.9/21 bar
TEMPÉRATURE DE CONCEPTION DE FONCTIONNEMENT	55÷59/-29C °
MATÉRIEL	LTCS + 3mm
GARNITURE D'ÉQUIPEMENT	HN-33-710-3L3A-V

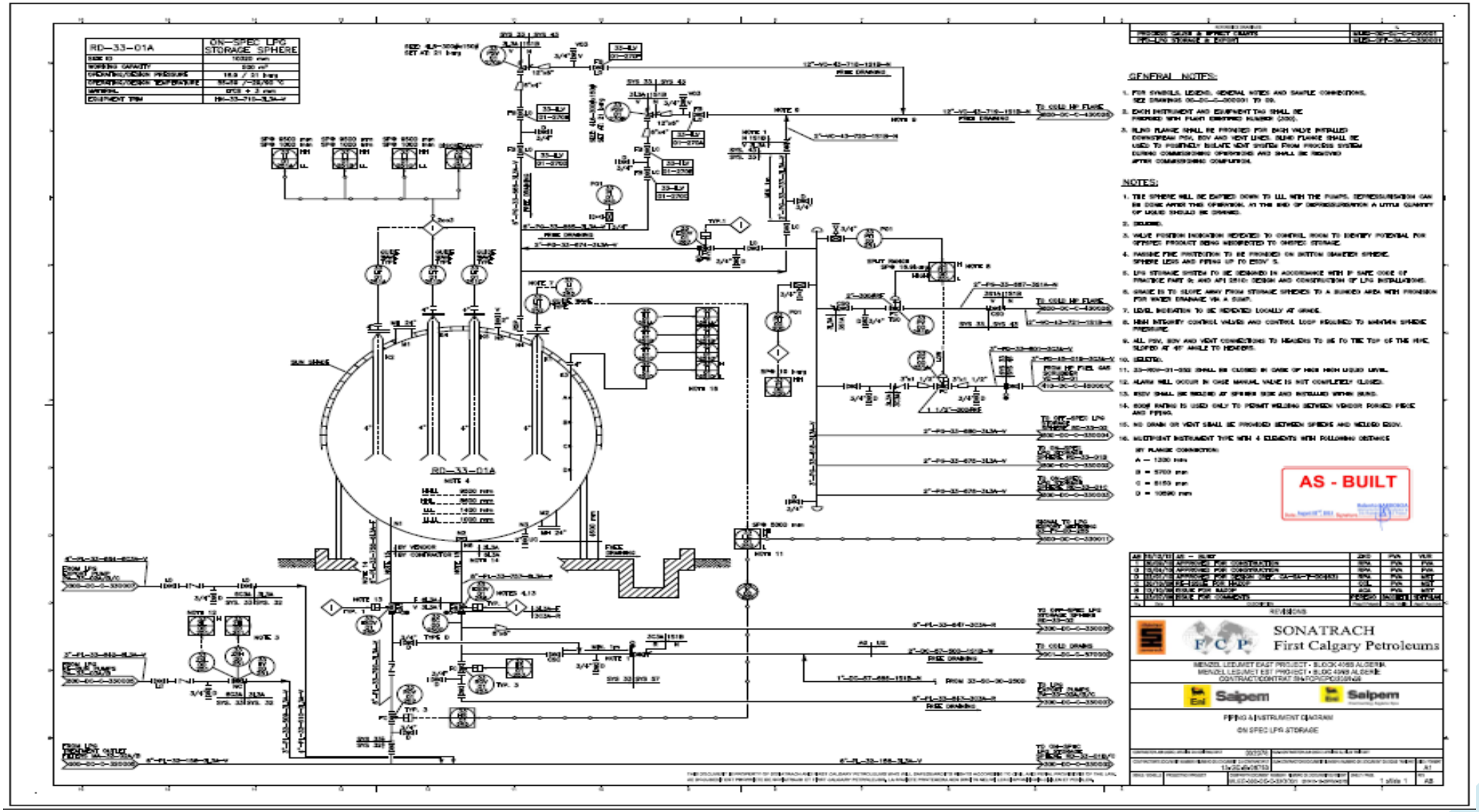


Figure II 9: *Stockage de GPL P&ID OF conforme aux spécifications*

Méthode BORA

II.2.2. Etude HAZOP pour le système opérationnel

Tableau II 2: *Table d'étude HAZOP*

Système étudié : STOCKAGE GPL ON SPEC SPHER RD-33-01A						
Paramètre	MG	Déviation	Causes	Conséquences	Barrières de sécurité	Recommandations
Pression	plus	Pression plus élevée	1. Remplissage excessif.	**1.1**. Surpression potentielle dans la sphère GPL	**1.1.1.** Trois transmetteurs de niveau sont disponibles (1 pour chaque sphère), afin que les mesures de niveau puissent être comparées. Alarme 33-LAH-01/02/03 252 (une pour chaque Sphère, du LIC concerné). 1.1.2. Le 33-LAHH-01 251 est Prévu dans la Sphère A pour fermer le 33-ESDV-01/02/03 265 dans les lignes d'entrée des Sphères A/B/C respectivement et pour fermer le 32-ROV-00 008 dans la ligne du traitement GPL en aval des pompes GPL. La même action est prise à partir de 33-LAHH-02 251 dans la sphère B et 33-LAHH-03 251 dans la sphère C 1.1.3. 33-PSV-270 A/B (un dans Standby) sont fournis dans la sphère GPL dimensionnée	1. Pensez à installer un ESDV dans la ligne reliant chaque sphère (On spec et Off spec) avec le collecteur de vapeur commun, remplaçant l'une des vannes manuelles spécifiées LO.

					également pour le remplissage excessif (pire scénario).	
			2. Feu de nape extérieure.	**2.1.** Surpression potentielle dans la Sphère GPL à potentiel BLEVE	**2.1.1.** Les détecteurs d'incendie et de gaz sont Fourni dans la zone GPL Sphère. Pour une détection d'incendie confirmée, activation automatique de l'ESD niveau 1 ; pour une détection de gaz confirmée, activation automatique du niveau PSD 0. Sphères GPL et connexes les pompes sont fournies avec Système d'arrosage automatique 2.1.2. Le 33-PIC-251 ouvrira autant que nécessaire le 33-PV-251B à la torche froide HP à 16,9, tout en fermant le 33-PV-251A de la ligne d'admission (mode split range). 2.1.3. 33-PAHH-200 fermer le 45-ESDV-00 001 (P&ID 45OO01) dans la ligne d'entrée d'alimentation en gaz combustible HP du laveur de gaz combustible HP à 19 bar	

					2.1. 4. 33-PSV-270 A/B (un dans Standby) sont fournis dans la sphère GPL dimensionnée également pour le feu.	
			3. Rayonnement solaire avec GPL piégé dans la Sphère.	**3.1.** Rayonnement solaire avec GPL piégé dans la Sphère.	**3.1.1.** Un pare-soleil est fourni au-dessus de chaque sphère pour réduire l'apport de chaleur du rayonnement solaire. **3.1.2.** Alarme 33-TAH 01/02/03 251. 3.1.3. 33-PSV-270 A/B (un en veille) sont fournis dans la sphère GPL dimensionnée également pour cela scénario. **3.1.4**. 33-TSV-259 est fourni dans le collecteur commun en amont des pompes	

					d'exportation, dimensionné pour la dilatation thermique. **3.1.5.** 33-TSV-260 est fourni dans le collecteur commun en aval des pompes d'exportation, dimensionné pour la dilatation thermique.	

NOTE : on a focalisé sur le paramètre pression parce qui il est le paramètre conduisant au le scenario de BLEVE / jet fire qui est le seul scenario critique dans ce système.

II.5.3. Description du scénario

Dans le tableau ci-dessous, il y a une description du scénario critique, qui est une surpression dans la sphère GPL avec explosion BLEVE suite à une augmentation critique de la pression causée par un feu de nappe externe.

Tableau II 3: *Description des scénarios étudiés*

Nom du scénario : Surpression dans la sphère GPL avec explosion BLEVE	
Description générale : une surpression dans la sphère GPL (RD-33-01A) avec explosion BLEVE provoquée par un feu de nappe externe sous la cuve.	
L'évènement initiateur : feu de piscine extèrne	
Fonctions barrières Les dommages peuvent être évités si la fonction barrières suivante fonctionne :	**Systèmes de barrière** Les dommages peuvent être évités sur la présence des systèmes de barrières suivants :
- Pour une détection incendie confirmée, activation automatique de l'ESD niveau 1 - Pour une détection de gaz confirmée, activation automatique du niveau PSD 0.	Système de détection d'incendie et de gaz (SIS SIL4)
- Ouverture autant que nécessaire du 33-PV-251B à la torche HP froide à 16,9 bar, tout en fermant le 33-PV-251A de la ligne d'entrée (mode split range).	33-PIC-251
- fermer le 45-ESDV-00 001 (P&ID 45OO01) dans la ligne d'alimentation en gaz combustible HP du laveur de gaz combustible HP à 19 bar	Système d'arrêt d'urgence 33-PAHH-200 (SIS)
- S'ouvre à 21 bar pour libérer le gaz de surpression vers la torche HP.	33-PSV-270A/B

II.5.4. Estimation de la fréquence de l'événement initiateur

La fréquence d'occurrence de l'événement initiateur du Feu de nappe externe (rejet mixte d'un diamètre de 7 mm) est de 4,00E-7/An

II.5.5. Les PFD des systèmes de barrières contiennent

Tableau II 4: *Les PFD des systèmes de barrières contiennent*

Composant	PFDs	Reference
Transmetteur de pression 33-PIT-251	3.5E-2	[ICSI 2009/09]
33-PAHH-200 (SIS)	1.5E-2	[ICSI 2009/09]
Alarme haute pression 33-PAHH-200	10^{-3}	[ICSI 2009/09]
Système de détection d'incendie et de gaz (SIS SIL4)	3.16E-5	[Rockwell-ISATR84.00.07]

Contrôleur d'indicateur de pression 33-PIC-251	10^{-1}	[ICSI 2009/09]
Vanne de pression 33-PV-251A/B	10^{-1}	[ICSI 2009/09]
Vanne d'arrêt d'urgence 45-ESDV-00 001	2.23E-2	[ICSI 2009/09]
Soupape de sécurité de pression 33-PSV-270A/B	10^{-2}	[ICSI 2009/09]

II.5.6. élaboration du diagramme de blocs barrières et de l'arbre de défaillance

Le schéma bloc barrière (BBD) est développé dans la Figure II-10. Dans ce schéma plusieurs barrières de sécurité sont mises en œuvre telles que : Un Système de Sécurité Instrumenté (SIS) qui assure la prévention contre l'incendie sous le stockage GPL qui est un système de détection d'incendie (SIL4), une deuxième barrière est le 33-PIC-251 afin d'ouvrir autant que nécessaire le 33-PV-251B à la torche froide HP à 16,9 bar, tout en fermant le 33-PV-251A de la ligne d'admission (mode split range) , et la troisième barrière qui ferme le 45-ESDV-00 001 (P&ID 45OO01) dans la ligne d'alimentation en gaz combustible HP du laveur de gaz combustible HP à 19 bar, alors nous avons comme dernière barrière 33-PSV-270A/ B qui s'ouvre à 21 bar pour libérer le gaz de surpression vers la torche HP.

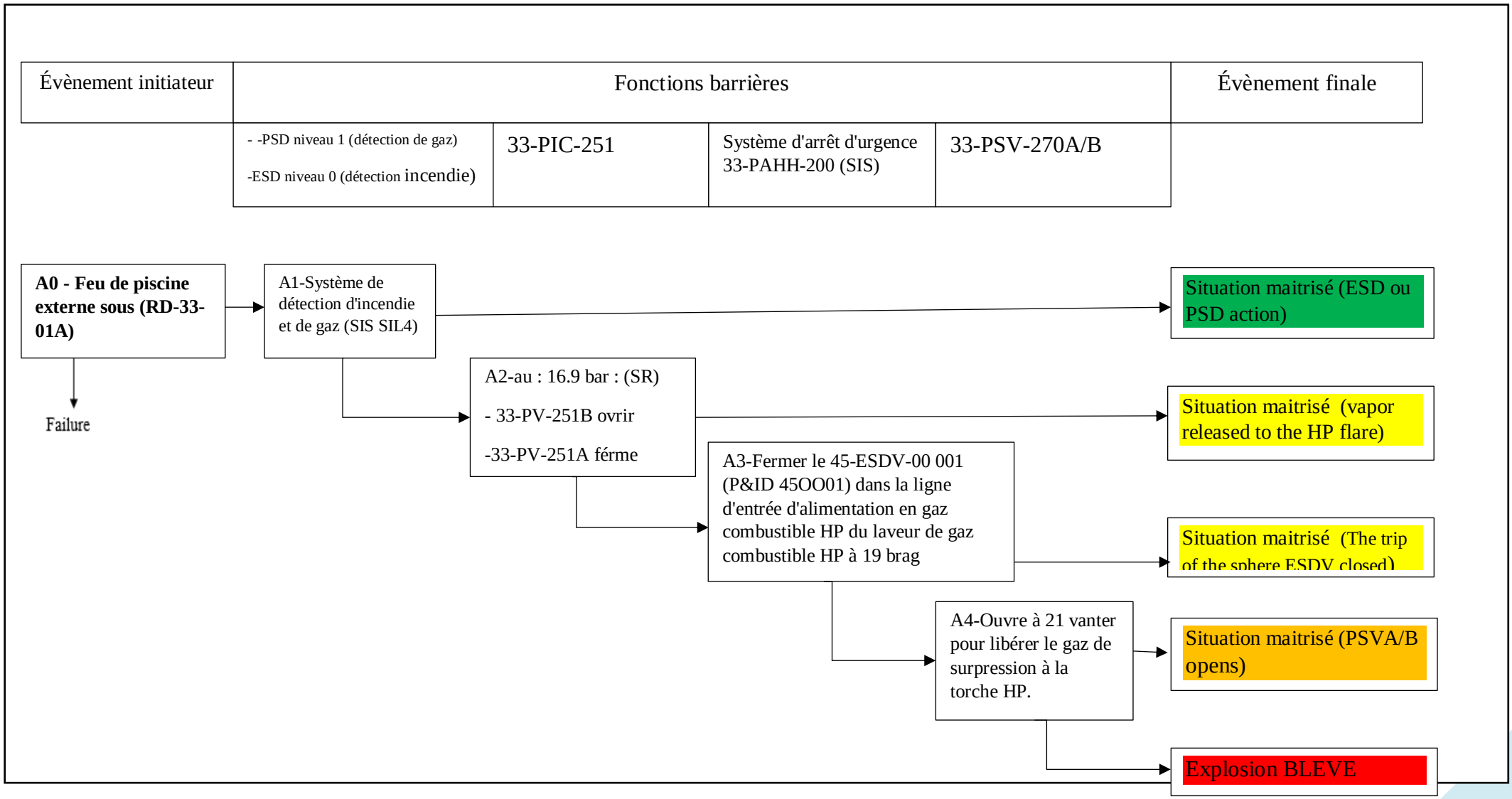


Figure II 10: schéma fonctionnel barrière du scénario

Dans ce cas, d'étude nous ne développerons pas de ADD pour la première barrière A-1 car le manque d'informations sur la conception et le mécanisme de fonctionnement nous le considérerons comme un SIL4 SIS donc basé sur le fait que son PFD sera 3.16E- 5 pour le reste de l'étude.

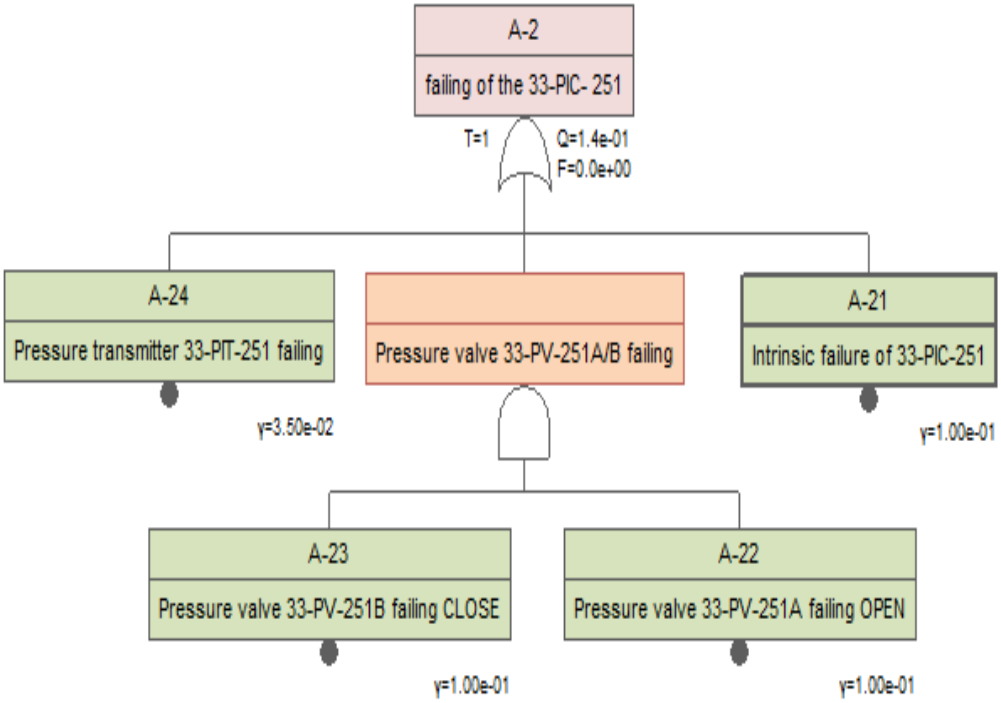


Figure II 11: *ADD de barrière A2*

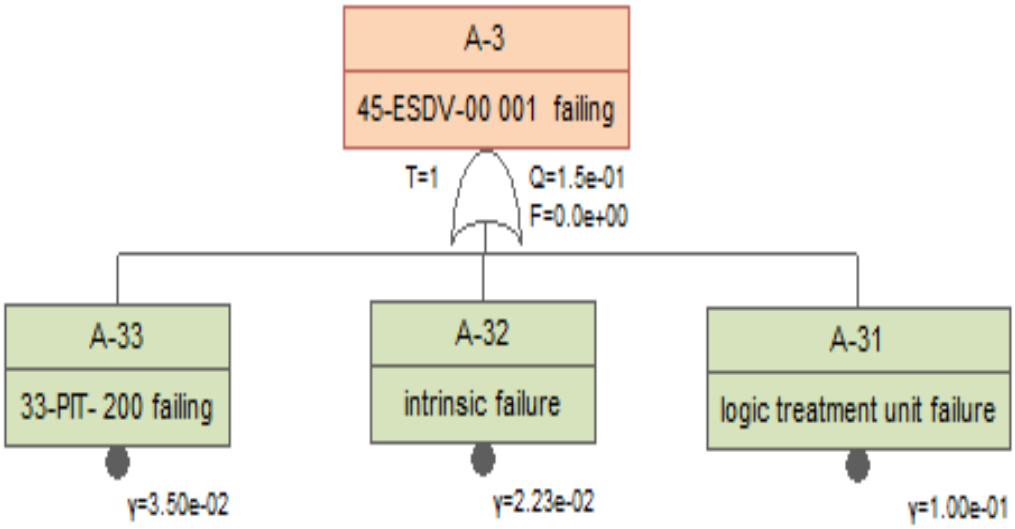


Figure II 12: *ADD de barrière A3*

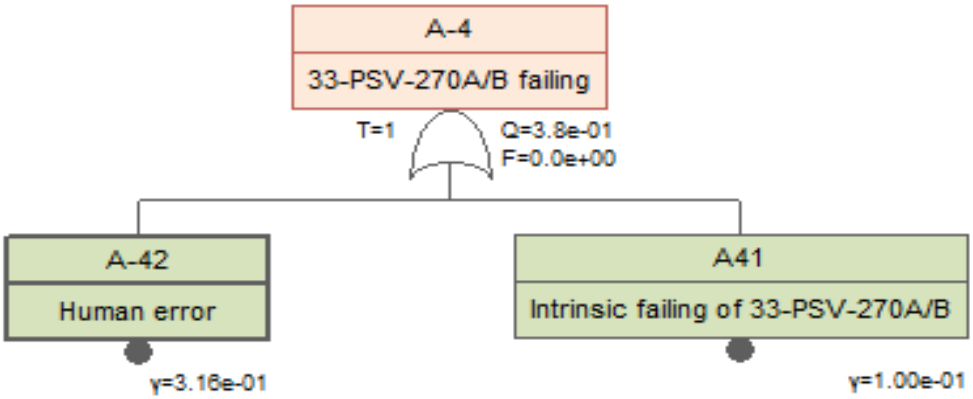


Figure II 13: *ADD de barrière A4*

II.5.7. Calcul de la probabilité moyenne de rupture des barrières A1, A2, A3 et A4 (Pave)

Après avoir développé les ADD de toutes les barrières de sécurité, et en utilisant les taux de défaillance des composants du système de barrière et l'utilisation du logiciel "Arber analyst", les probabilités moyennes (Pave) de ces événements ont été calculées et les résultats obtenus sont présentés dans le tableau II.16.

II.5.8. Calcul de la fréquence moyenne Fave de la conséquence du scénario

La fréquence générique des conséquences indésirables du scénario d'accident est calculée en multipliant la fréquence de l'événement initiateur et la probabilité de rupture des barrières (PFD), l'équation dépendra de la forme BBD :

F*ave*= F*ave* (A0). PFD*ave* (A1). PFD*ave* (A2). PFD*ave* (A3).PFD*ave* (A4**)**

F*ave* = 4.00E-7*3.16E-5*1.4E-1*1.5E-1*3.8E-1= 1.008672E-13/year

II.5.9. Diagramme d'influence de l'initiateur et des événements de base

Dans les figures ci-dessous, il y a une représentation des diagrammes d'influence de l'initiateur et des événements de base liés à la défaillance des barrières de sécurité.

- *Pour l'évènement initiateur A-0 :*

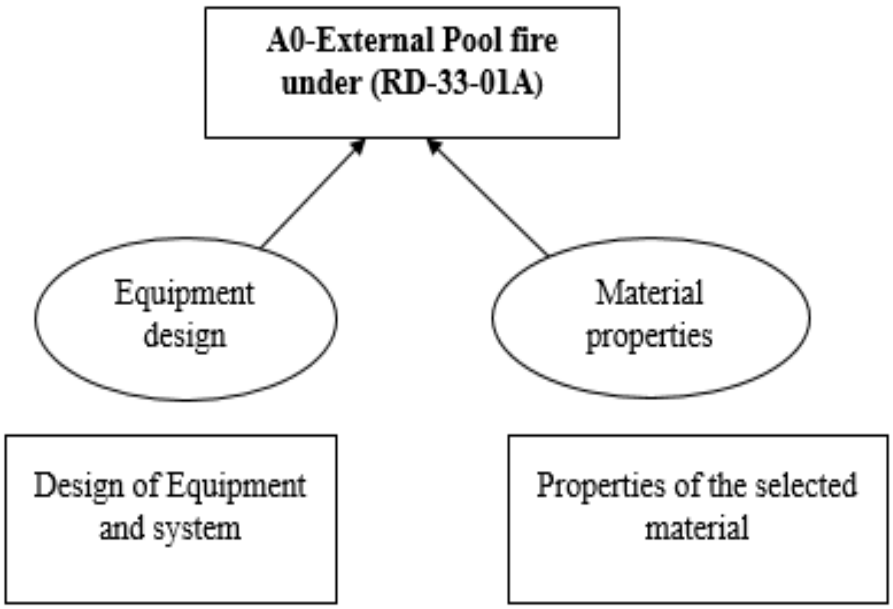


Figure II 14: *diagramme d'influence de l'événement initiateur A-0*

- *Pour la barrière A-2:*

Le même diagramme d'influence pour les événements de base : A24, A-33, A-31, tous ces événements sont liés à des équipements électroniques donc les mêmes RIF les influencent.

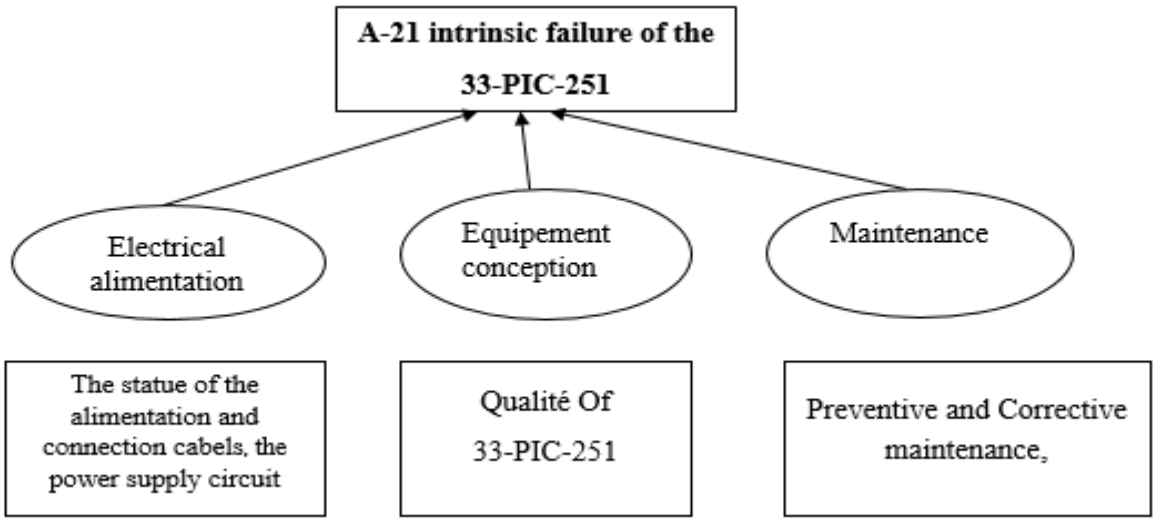


Figure II 15: *diagramme d'influence de l'événement initiateur A-21*

Le même diagramme d'influence pour les événements de base : A23, A32, A41 ; ces événements sont liés aux valves donc les mêmes RIF les influencent

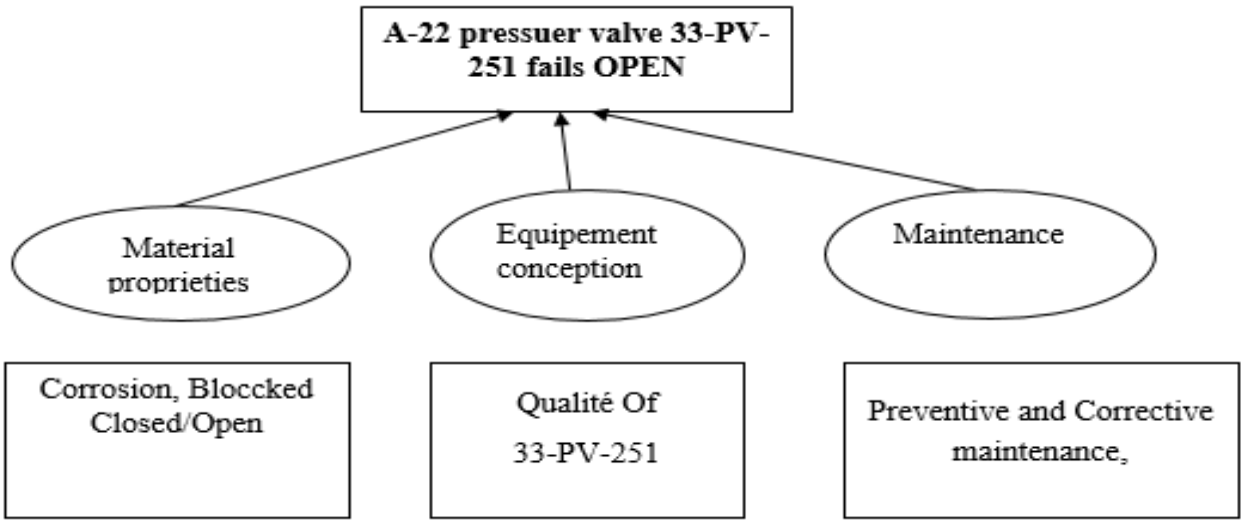


Figure II 16: *diagramme d'influence de l'événement initiateur A-22*

- *Pour la barrière A-4:*

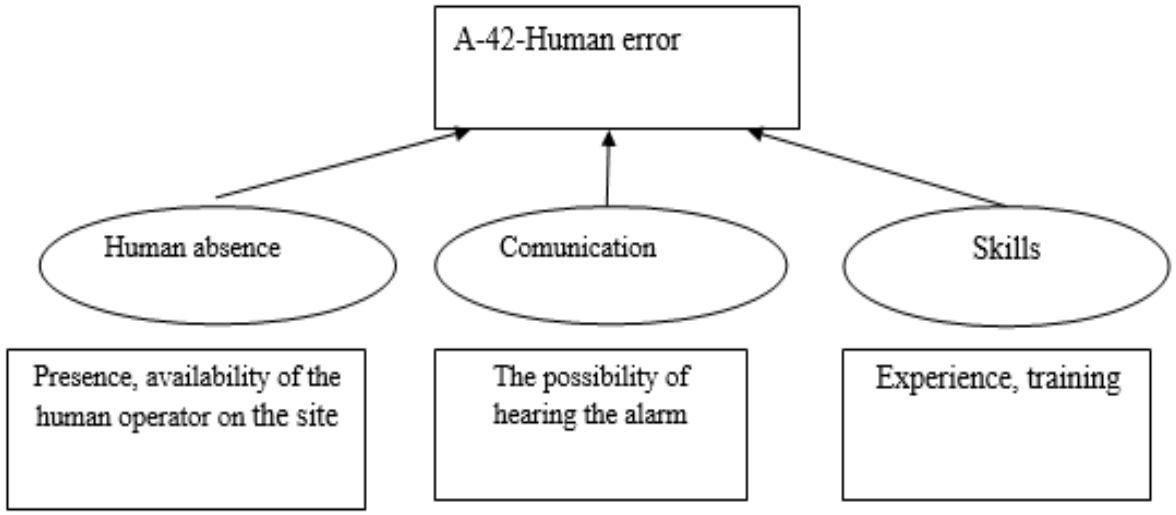


Figure II 17: *diagramme d'influence de l'événement initiateur A-22*

- *Pour la barrière,* ***A-3, A-4*** :

Pour les autres barrières, les diagrammes d'influence sont les mêmes que les diagrammes précédents présentés comme mentionné ci-dessus.

II.5.10. Évaluation du poids (W) et du score (S) des RIF

II.5.10.1. Tableau de classement des RIF

Après détermination du risque, des facteurs d'influence (RIF) pour l'initiateur et l'événement de base un classement doit être fait en fonction de leurs natures dans les différentes catégories ce facteur et leurs catégories sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau II 5 : *Classement des RIF*

Catégorie de RIF	RIFs
Caractéristiques humaines	Compétences
Caractéristiques techniques du système	Conception d'équipement Alimentation électrique Maintenance Propriétés matérielles
Facteurs organisationnels/opérationnels	Absence de l'opérateur humain la communication

II.5.10.2. Calcul du poids des RIF (importance des RIF)

Dans cette étape, une échelle de cinq points (de haute à faible importance) est appliquée. Quantitativement, l'importance des RIF est donnée par des poids sur l'échelle de 10 - 8 - 6 - 4

– 2. Les coefficients de pondération sont normalisés à la somme des poids pour les RIF influençant un événement de base doit être égal à l.

Dans les tableaux ci-dessous se trouvent les calculs des poids des RIF liés à l'initiateur et aux événements de base

Tableau II 6 : *Evénements initiateur et de base calcul des poids RIF*

RIF	Importance (Weights)					Pondération normalisée
	Haute (10)	(8)	(6)	(4)	Faible (2)	
A0 - Feu de nappe externe sous (RD-33-01A)						
WA01Conception d'équipements		×				0.666
WA02 Propriétés matérielles				×		0.333
poids	0	8	0	4	0	1
Poids total	12					1
A-21 Défaillance intrinsèque du 33-PIC 251 : *L'importance (poids) dans ce tableau est la même que l'importance des événements de base* ***A24, A-33, A-31****, cet événement est lié à donc il est influencé par les mêmes RIF.*						
WA211Conception d'équipement		×				0.333
WA212 Alimentation électrique		×				0.333
WA213Maintenance			×			0.25
poids	0	16	6	0	0	1
Poids total	24					1
A-22 La vanne de pression 33-PV 251 ne s'ouvre pas : *L'importance (poids) dans ce tableau est la même que l'importance des événements de base A23, A32, A41 auxquels cet événement est lié, il est donc influencé par les mêmes RIF.*						
WA221 Maintenance			×			0.2727
WA222 Propriétés de matérielles		×				0.36
WA223 Conception d'équipements		×				0.36
poids	0	16	6	0	0	1
Poids total	22					1
A-42- Erreur humaine						
WA421absence humaine	×					0.416
WA422 communication		×				0.333
WA423 compétences			×			0.25
poids	10	8	6	0	0	1
Poids total	24					1

II.5.10.3. Évaluation des scores RIF (Q)

Cette étape sert à déterminer le(s) statut(s) des RIF, cette évaluation s'appuie essentiellement sur des avis d'experts et des retours d'expérience, une échelle de détermination de statut est élaborée pour chaque RIF selon sa catégorie. Dans le tableau ci-dessous (Tableau II-7) représente les barèmes établis pour chaque RIF selon sa catégorie, ces barèmes sont normalement élaborés en collaboration avec des experts travaillant actuellement sur le système à l'étude.

***Tableau II 7**: Proposition de barème des statuts d'évaluation des RIF*

Caractéristiques humaines	
SCORE	Caractéristique du score de compétence RIF
A	Des personnes expérimentées avec une haute qualité et une réalisation parfaite du travail
B	Des personnes expérimentées, avec une parfaite réalisation du travail
C	Personnes expérimentées avec une réalisation de travail satisfaisante
D	Personne non expérimentée, niveau acceptable et il réalise normalement son travail
E	Personne non expérimentée, avec une mauvaise réalisation du travail
F	Non expérimenté, sans formation, et très mauvaise réalisation du travail
Caractéristiques techniques du système	
SCORE	Caractéristique du score de Conception d'équipement RIF
A	Excellente conception des équipements et barrières incluses dans le système technique
B	Très bonne conception des équipements et barrières incluses dans le système technique
C	Bonne conception
D	Pas vraiment bonne conception
E	Mauvaise conception des équipements et barrières incluses dans le système technique
F	Très mauvaise conception
SCORE	Caractéristique du score d'alimentation électrique RIF
A	Excellent état du système technique d'alimentation électrique
B	Très bien état du circuit d'alimentation
C	Un bon état du circuit d'alimentation
D	Un mauvais état du circuit mais ça marche toujours
E	Un mauvais état du circuit, des coupures de courant
F	Un état dégradé du circuit, pas d'alimentation
SCORE	Caractéristique du score de maintenance RIF
A	Excellent entretien avec les meilleurs équipements (préventif/correctif), très bonne maintenance et procédures de tests périodiques, la meilleure inspection de liste de contrôle
B	Très bon entretien, entretien des puits et procédures d'essais périodiques
C	Un bon entretien

D	Mauvais entretien avec une maintenance simple et des procédures de test périodiques, pas d'étalonnage des équipements au bon moment
E	Mauvais entretien, tests périodiques, procédures d'inspection et d'étalonnage
F	Très mauvais entretien sans procédures
SCORE	Caractéristique du score de propriétés matérielles RIF
A	Matériau de haute qualité avec une haute résistance aux conditions météorologiques et aux chocs, un long défaut d'âge (rentabilité) dans les conditions maximales d'utilisation.
B	Un matériel de bonne qualité qui a une résistance aux intempéries et aux chocs avec un âge par défaut raisonnable dans les conditions d'utilisation Maximum
C	Pas vraiment de bonne qualité de matériau qui a une résistance d'acceptabilité aux conditions climatiques et aux chocs, âge par défaut raisonnable dans les conditions normales d'utilisation.
D	Mauvaise qualité du matériau, mais il peut résister aux conditions météorologiques, à une faible résistance aux chocs et à un âge par défaut acceptable dans des conditions d'utilisation raisonnables.
E	Matériau de mauvaise qualité avec une faible résistance aux intempéries et aux chocs.
F	Matériel de très mauvaise qualité.
Facteurs organisationnels/opérationnels	
SCORE	Caractéristique du score d'absence d'opérateur humain RIF
A	Présence d'opérateur humain 24h/24 avec un très bon système de changement de vitesses et un nombre suffisant d'opérateurs
B	Présence d'un opérateur humain 24h/24 avec un bon système de changement de vitesses
C	Présence d'un opérateur humain avec un système de déplacement simple et un nombre suffisant d'opérateurs
D	Absence de certains opérateurs mais le nombre est suffisant pour la plupart des cas
E	Absence remarquable des opérateurs sans système de changement de vitesse suffisant et mauvais
F	Une absence totale des opérateurs
SCORE	Caractéristique du score de communication RIF
A	Excellente communication l'information diffuse au bon moment
B	Très bonne communication
C	Une bonne communication
D	Pas vraiment une bonne communication, mais généralement l'information se diffuse dans un délai acceptable
E	Mauvaise communication, aussi l'information ne diffuse pas au bon moment
F	Non-communication

Comme à l'étape précédente, l'évaluation des scores (Qi) des RIF pour tous les événements initiateurs et de base est effectuée. En effet, la détermination des scores (Qi) se fait en associant à chaque RIF un score allant de A-F (Tabel-II-9). Cela peut se faire de différentes manières, et la méthode proposée est la suivante :

- Détermination du FRR
- Détermination du score des RIF (Si)
- Détermination de Phigh et Plow en fonction des scores comme le tableau ci-dessous :

Tabeleau II 8: *Détermination de Phigh et Plow en fonction des scores*

score	P*high*	P*low*
A	P*ave**2	Pave /2
B,C	P*ave**3	P*ave*/3
D,E	P*ave**5	P*ave*/5
F	P*ave**10	P*ave*/10

- Puis on met pour i = 1, 2,3, ...n;

II.5.10.4. Évaluation des scores RIF pour l'événement initiateur A0

F*ave*= 4.00E-7/Year

S (A0) = B (2)… (Le pire score de RIF influençant sur l'événement de base)

So: F*high*= F*ave**3= 4.00E-7*3 =1.2E-6

And F*low*=F*ave*/3 $=\frac{4.00E-7}{3}=$ 1.33E-7

Pour le RIF WA01 : Conception d'équipements

S (WA01) = B (2)

$$Q01\ (B) = \frac{F_{low}}{F_{ave}} + \frac{(SB-SA)*(1-\frac{F_{low}}{F_{ave}})}{(SC-SA)} = \frac{1.33E-7}{4.00E-7} + \frac{(2-1)*(1-\frac{1.33E-7}{4.00E-})}{(3-1)} = 0.66625$$

Pour le RIF WA02 : Propriétés matérielles

S (WA02) = B (2)

Q02 (B) = Q01 (B) =0.66625

II.5.11. Réajustement de la fréquence moyenne de l'événement de base A0, ET des probabilités moyennes de rupture des barrières A1, A2, A3, A4

La correction de la fréquence moyenne de l'événement de base A0 et de la probabilité moyenne de rupture des barrières A1, A2, A3 et A4 est la suivante :

F*rev*(A0) = 4.00E-7* [(0.333 * 0.66625) +(0.666* 0.66625)]= 2.6623E-7

F*rev*(A0) = 2.6623E-7

Et de la même manière on calcule les probabilités révisées de rupture des barrières A1, A2, A3 et A4.

Tableau II 9: *la présentation des données du scénario (poids, scores et données révisées)*

Barrière	Evénement initiateur/de base	*Pave*	*Plow*	*Phigh*	RIFs	Wi	Wi normal -ised	Si	Qi	MF	*Prev*
A0	A0 - Feu de piscine externe sous (RD-33-01A)	**4.00E-7**	1.33E-7	1.2E-6						6.65E-1	2.662E-7
					A01 Conception d'équipements A02 Propriétés matérielles	8 4	0.666 0.333	B B	0.666 0.666		
A2	Défaillance du 33-PIC -251	**1.4 E-1**									**9.4E-2**
	A21 Défaillance intrinsèque du 33-PIC-251	**1E-1**	0.05	0.2						0.687	**6.87E-2**
					A211 Conception d'équipements A212 Entretien A213Alimentation électrique	8 6 8	0.333 0.25 0.333	A B C	0.5 0.75 1		
	A22 Vanne de pression 33-PV-251A défaut OUVERT	**1E-1**	0.05	0.2						0.586	**5.86E-2**
					A221 Conception d'équipements A222 Entretien A223 Alimentation électrique	8 6 8	0.2727 0.36 0.36	A A B	0.5 0.5 0.75		
	A23 Défaillance de la soupape de pression 33-PV-251B Fermer	**1E-1**	0.05	0.2						0.654	**6.54E-2**
					A321 Conception d'équipements A232 Propriétés matérielles A233 Entretien	8 4 6	0.2727 0.36 0.36	B B A	0.75 0.75 0.5		
	A24 Défaillance du transmetteur de pression 33-PIT-251	**3.5E-2**	0.0175	0.07						0.682	**2.38E-2**
					A241 Conception d'équipement A242Entretien A243Alimentation électrique	8 6 8	0.33 0.25 0.333	A B C	0.5 0.75 1		
					A421 Absence humaine A422 Communication A423 Compétences	10 8 6	0.416 0.333 0.25	A A C	0.316 0.316 1		

A3	45-ESDV- 00 001 en panne	**1.5 E-1**									**1E-1**
	A31 Défaillance logique de l'unité de traitement	**1E-1**	0.05	0.2						0.654	**6.54E-2**
					A311 Conception d'équipements A312 Propriétés matérielles A313 Entretien	8 4 6	0.2727 0.36 0.36	B B A	0.75 0.75 0.5		
	A32 Défaillance intrinsèque	**2.23E-2**	7.43E-3	6.69E-2						0.610	**1.36E-2**
					A321 Conception de l'équipement A322 Entretien A323 Alimentation électrique	8 6 8	0.333 0.25 0.333	A B C	0.333 0.666 1		
	A33 33-PIT-200 en panne	**3.5E-2**	1.75E-2	7E-2						0.687	**2.404E-2**
					A331 Conception d'équipements A332 Entretien A333 Alimentation électrique	8 6 8	0.333 0.25 0.333	A B C	0.5 0.75 1		
A4	33-PSV-270A/B en panne	**3.8E-1**									**1.6E-1**
	A41 Défaillance intrinsèque de33-PSV-270A/B	**1E-2**	3.33E-3	3E-2						0.541	**5.41E-3**
					A411 Conception d'équipements A412 Propriétés matérielles A413 Entretien	8 4 6	0.2727 0.36 0.36	B B A	0.6665 0.6665 0.333		
	A42 Erreur humaine	**3.16 E-1**	1.05E-1	9.48E-1						0.486	**0.153**

II.5.12. Calcul de la fréquence de révision des conséquences du scénario

La fréquence révisée des conséquences du scénario est calculée comme suit :

F*rev*(A)=F*rev*(A0).PFD*rev*(A1).PFD*rev*(A2).PFD*rev*(A3).PFD*rev*(A4)

F*rev*(A)= 2.662E-7*3.16 E-5*9.4E-2*1E-1*1.6E-1

F*rev*(A)= **1.2651-14/year**

II.5.13. Discussion des résultats

Les résultats de l'analyse quantitative du scénario sont résumés dans le tableau II.10 et la figure II.18.

La fréquence de l'événement initiateur (feu de piscine externe sous (RD-33-01A)) est de 4,00E-7 par an en utilisant des données génériques, après la révision de cette fréquence elle est devenue de 2,662E-7 par an. Donc, il y a une diminution de -66,5%. De même pour la fréquence générique du scénario (explosion BLEVE), il y a une diminution de -12,5% après utilisation des données ajustées.

La probabilité de barrière A2 (Défaillance de la fonction 33-PIC-251), A3 (Défaillance dans le SIS : Système d'arrêt d'urgence 33-PAHH-200) et A4 (Défaillance de la soupape de sécurité PSV) ; il y a une réduction de -67,14%, -66,66% et -42,1% avec succès.

Tableau II 10: *La présentation des données du scénario (poids, scores et données révisées)*

Événement	génériques	corrigé	Rapport (%)
F(A0)	**4.00E-7**	**2.662E-7**	-66.5%
P (A1)	**3.16 E-5**	**3.16 E-5**	-0.00%
P (A2)	**1.4 E-1**	**9.4E-2**	-67.14%
P (A3)	**1.5 E-1**	**1E-1**	-66.66%
P (A4)	**3.8E-1**	**1.6E-1**	-42.1%
F (A) /year	**1.008E-13/year**	**1.2651E-14/year**	-12.5%

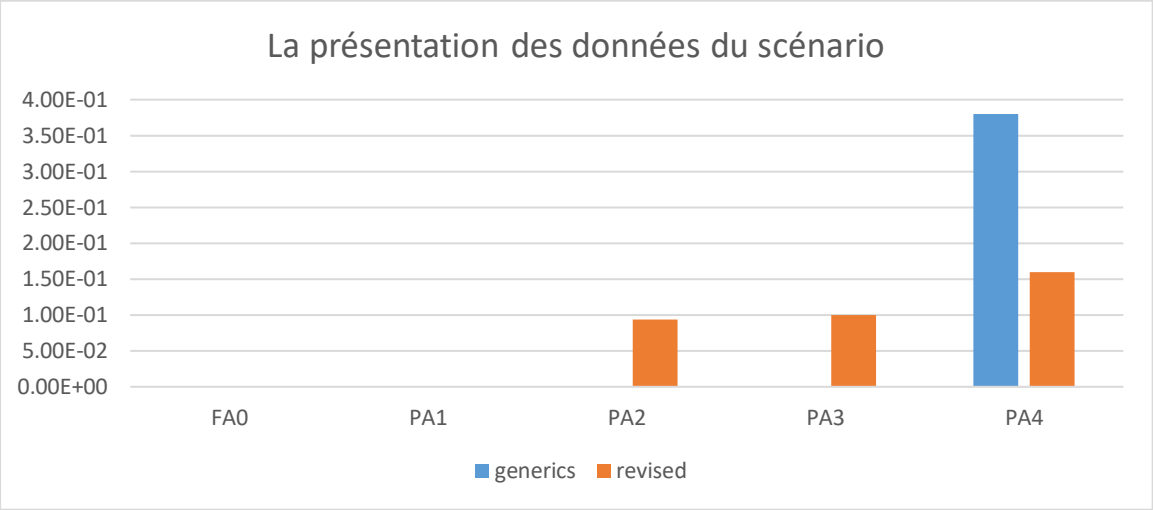


***Figure II 18**: La présentation des données du scénario*

II.5.14. Interprétation des résultats et recommandations

Le but de cette partie pratique est d'étudier l'effet des Facteurs d'Influence de Risque (RIF) sur les événements de base et la rupture des barrières, de réajuster et corriger la fréquence générique d'occurrence du scénario d'accident et les probabilités génériques de rupture des barrières, ceci a été réalisé en cette analyse et c'était précisément le but de l'analyse d'un scénario d'accident A (explosion BLEVE) pour confirmer et valider les résultats. La méthodologie BORA apporte des corrections très importantes ; cela a été démontré par l'analyse de scénarios.

Comme discuté dans les commentaires sur les résultats obtenus par l'analyse BORA, La fréquence de conséquence générique du scénario est de 1.008E-13/an par an en utilisant les données génériques, après révision de cette fréquence elle est devenue 1.2651E-14/an par an. En conséquence, il y a une diminution de -12,5% et la conséquence est devenue tolérable.

Ceci explique l'utilité de cette approche, et cela dans un système opérationnel ; les RIF jouent un rôle clé dans la correction et le réajustement des résultats obtenus avec des données moyennes (génériques).

Cette étude nous permet de proposer des recommandations précises dans tous les aspects humains, techniques et organisationnels :

- Inspection des systèmes électriques pour confirmer qu'ils sont en bon état
- Inspecter les barrières et s'assurer qu'il n'y a pas de corrosion pouvant affecter le fonctionnement du système.
- La formation du personnel et la création d'une procédure sérieuse d'évaluation des compétences et l'affectation de personnel expérimenté pour effectuer des tâches de haute technologie spécifiques et sensibles.
- S'assurer de la bonne conception des équipements et des barrières inclus dans le système technique.

Conclusion générale

Le retour d'expérience (REX) sur les accidents majeurs montre que des facteurs de différentes dimensions : technique, humaine, opérationnelle et organisationnelle influencent les circonstances d'occurrence et l'élaboration des scénarios d'accident. A cet effet, et pour traiter la question de la fiabilité des données issues des bases de données utilisées pour les études d'évaluation des performances des barrières de sécurité. Nous avons utilisé la méthode BORA pour recalculer le scénario de risque choisi pour notre étude en fonction des conditions spécifiques liées à l'installation faisant l'objet de notre étude (stage pratique).

D'après les résultats obtenus à partir de l'application de la méthode BORA, nous avons constaté que l'installation étudiée au niveau du groupement SH-FCP fonctionnait dans très bonnes conditions ; la disponibilité et la qualité des opérateurs nécessaires au bon fonctionnement des différentes structures de l'entreprise ainsi que la coordination entre elles (service d'exploitation, de maintenance et de sécurité principalement), la disponibilité des pièces de rechange, la programmation et la mise en place de mesures préventives et maintenance corrective.

A cet effet, nous avons constaté que la fréquence de conséquence générique du scénario est de 1,008E-13/an par an en utilisant des données génériques, après révision de cette fréquence elle est devenue 1,2651E-14/an par an. En conséquence, il y a une diminution de -5%, et la conséquence est devenue tolérable.

En perspective, nous envisageons d'étudier la dépendance entre les facteurs d'influence des RIF pour une meilleure précision.

Les résultats ont montré que la réduction des risques évaluée uniquement en fonction de la fréquence des accidents calculée à l'aide des valeurs génériques de paramètres entrées (sans tenir compte des facteurs opérationnels humains, organisationnels) ne peut pas être suffisante et peut induire en erreur le processus de prise de décision. Cependant, les bases de données et le jugement d'experts, qui ont basé sur l'analyse BORA, ne sont pas dans tous les cas crédibles, Fiables et objectives.

References

- *CCPS. (2001). Layer of protection analysis simplified process risk assessment. New York: Center for Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers.*
- *DNV ENERGY, DNV Belgium NV.N° Rapport EP002718 N° 5.*
- *Duijm, N. J., Andersen, H. B., Hale, A., Goossens, L., & Hourtolou, D. (2004). Evaluating and managing safety barriers in major hazard plants. In PSAM 7—ESREL '04, Berlin, Germany.*
- *EC (1996). Council Directive 96/82/EC of 9 December 1996 on the control Of major-accident hazards involving dangerous substances (Seveso II-directive).*
- *Fleming, K. N., & Silady, F. A. (2002). A risk informed defense-in-depth framework for existing and advanced reactors. Reliability Engineering& System Safety, 78(3), 205–225.*
- *Goossens, L., & Hourtolou, D. (2003). What is a barrier? ARAMIS working Document.*
- *Hadef H; 2019, « apport de concertation en gestion des risques majeur en Algérie », thèse de doctorat en science soutenue à l'université de Batna 2.*
- *Hollnagel, E. (2004). Barrier and accident prevention. Hampshire, UK: Ashgate.*
- *ISO:13702. (1999). Petroleum and natural gas industries—Control and Mitigation of fires and explosions on offshore production installations—Requirements and guidelines. Geneva: International Organization for Standardization.*
- *Johnson, W. G. (1980). MORT safety assurance systems. New York: Marcel Dekker.*
- *Outils d'analyse des risques générés par une installation industrielle INERIS-DRA (Version 1 du 20 mai 2003).*
- *Stein Haugen.(2005). Lecture materials on risk analysis in NTNU.Norway.*
- *Taylor, R. J. (1988). Analysemetodertilvurderingafvåbensikkerhed. Glumsø, DK: Institute for Technical Systems Analysis.*
- *TerjeAven b, SnorreSkleta, and Jan Erik Vinnem. (2006). Barrier and operational risk analysis of hydrocarbon releases (BORA-Release): Part I. Method description. Journal of Hazardous Materials, Volume 137, Issue 2, 21 September 2006, Pages 681-691.*
- *HazOp Worksheets MLEG-00-AP-X-75OO30-Attachment1 first session*
- *MLEG-00-SP-J-87OO01 10-HA-E-48103 DATE 02-Mar-11 SHEET 1 OF 286*

Annexe

SH-FCP
Association Sonatrach - First Calgary Petroleums
Gisements de Ledjmet (Bloc 405b)

HSE Policy

The OC SH-FCP management, determined to consolidate the process of continuous improvement of HSE performance in activities and operations, undertakes to establish, respect and communicate to all interested parties the following principles:

- Management of all its activities and operations in accordance with the requirements of applicable legal prescriptions, compliance obligations and international reference standards;
- Protecting the health and safety of workers, contractors, visitors, including suppliers and providers, and local communities;
- The engagement for the accidents reduction at the workplace, including the vehicles and roads control in the operative areas;
- The conservation of biodiversity and environmental values in the OC SH-FCP area of operations.

Under the framework of this Policy and according to SONATRACH and Eni HSE Policies, the OC SH-FCP is committed to:

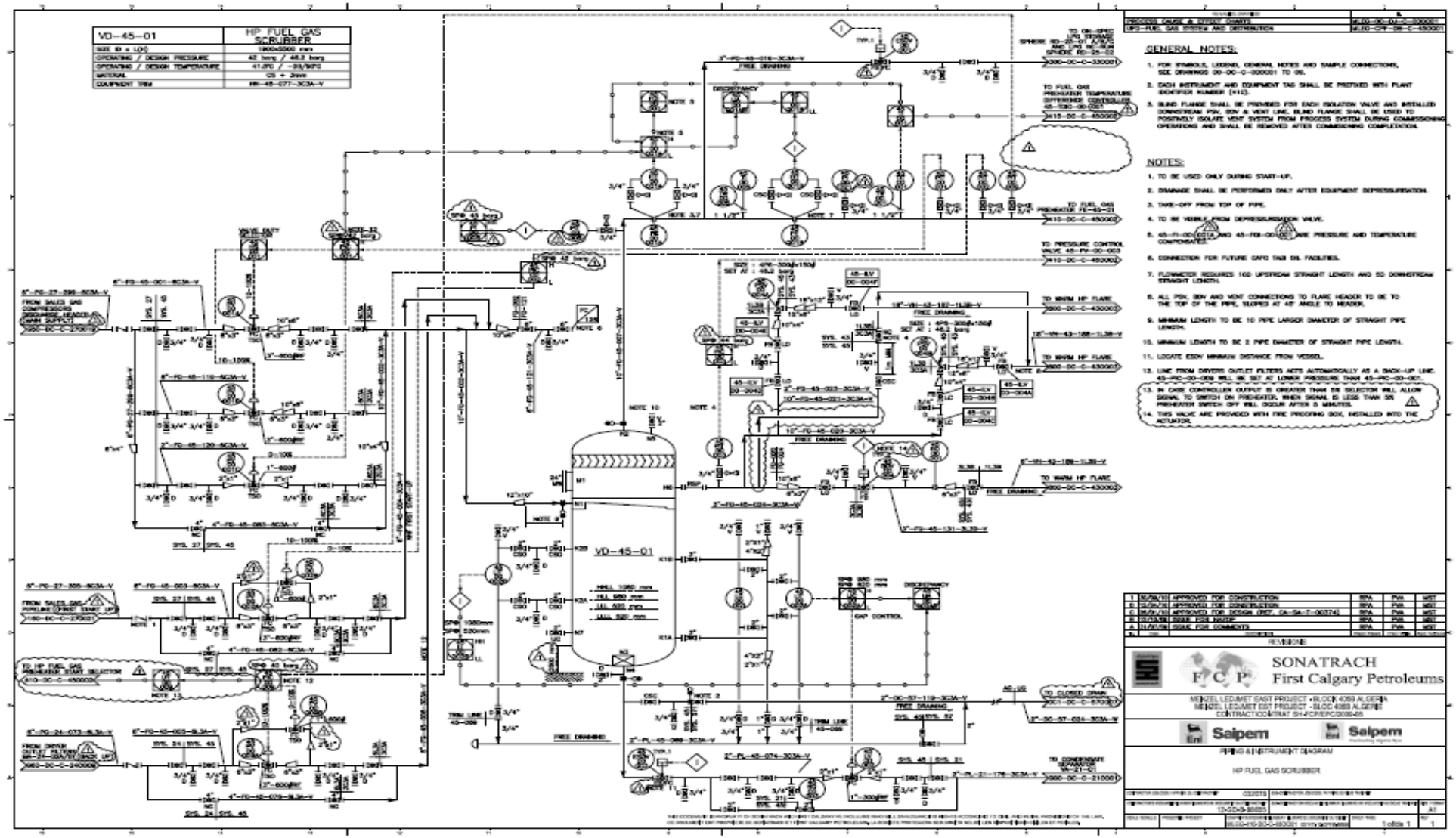
- Identify and assess the internal and external factors able to influence the ability to achieve the objectives of the HSE Integrated Management System;
- Implement the actions and measures necessary to satisfy the compliance obligations related to the risks and opportunities identified as part of the analysis of the context and the expectations of its stakeholders;
- Promote a visible and active Health, Safety & Environment culture in which all employees and service providers lead by example and share the responsibilities on performance;
- Develop and maintain competent personnel and encourage such competence through training and sharing information, knowledge and experience;
- Develop and maintain suitable emergency preparedness plans and response capability;
- Select contractors and suppliers who apply standards, practices and systems compatible with the OC SH-FCP HSE principles and policies;
- Verify and evaluate periodically the principles of this policy and the HSE Integrated Management System to demonstrate the compliance and continual improvement in HSE performances, regularly reported to the Co-General Directors;
- Establish annual management review and define long term HSE measurable objectives to achieve the commitments of the managers to this policy and define related programs to meet the targets.

This HSE Policy is communicated and applies to the employees and all contractors working for/or on behalf of the OC SH-FCP.

Hassi Messaoud, 01st September 2021.

Co-General Director	Co-General Director
Lakhdar BRAHMI	Antonio SIMONETTI

pol hse 001 SH-FCP r01


VD-45-01
HP FUEL GAS SCRUBBER
GENERAL NOTES:
NOTES:
SONATRACH
First Calgary Petroleums
Saipem
Saipem
PIPING & INSTRUMENT DIAGRAM
HP FUEL GAS SCRUBBER