

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE DU 20 AOUT 1955 SKIKDA

Institut des Sciences et Techniques Appliquées

ISTA

Département : Hygiène, Sécurité et Environnement

Mémoire de fin cycle

En vue de l'obtention du diplôme de Master.

Filière : Hygiène et Sécurité Industrielle

Spécialité : Sécurité des Procédés Pétrolière et Gazière

Évaluation des risques liés à un bac de stockage de brut à l'aide de l'approche HAZOP-LOPA

Présenté et Soutenu publiquement le : 03 / 07 /2024

Par :

AHCENE DJABALLAH Khawla

NACIB Ikram

Devant le jury composé de :

Président :	Dr. OTMANI Amira	U- 20 Août 1955. Skikda
Rapporteur :	Pr. INNAL Fares	U- 20 Août 1955. Skikda
Examinatrice :	Dr. OMEIRI Hanane	U- 20 Août 1955. Skikda
Invité :	Ing. FANIT Smail	/

1ère Promotion

Juillet 2024



Remerciement



Remerciement

Avant tous, on remercie ALLAH, le tout puissant, de nous avoir donné la santé, la patience, la Puissance et la volonté pour réaliser ce travail, et on dits (Alhamdoliallah).

En premier lieu, Nous remercions notre encadreur le professeur INNAL FARES Pour l'intérêt qu'il a porté pour notre mémoire, pour son aide précieuse tout au long de la réalisation ce projet.

Nous tenons à remercier toutes les personnes qui ont contribué au succès de notre stage et qui nous ont aidées lors de la rédaction de ce mémoire en particulier Monsieur l'inspecteur MESSISHA Omar Pour sa gentillesse, Sa disponibilité et sa contribution générale à l'élaboration de ce travail.

Nous remercions également toute l'équipe pédagogique de l'institut des sciences et techniques appliquées et les intervenants professionnels responsables de notre formation, pour avoir assuré la partie théorique de celle-ci.

Nous tiens à témoigner toute ma reconnaissance aux personnes suivantes, pour leur aide dans la réalisation de ce mémoire :

Madame OMEIRI Hanane Docteur à l'Université du 20 Août 1955 Skikda, Enseignante à l'Institut des Sciences et Techniques Appliquées (ISTA).

Madame BEN SASSI CHaima Docteur à l'Université du 20 Août 1955 Skikda, Enseignante à l'Institut des Sciences et Techniques Appliquées (ISTA).

Merci à tous.

Dédicace

*À MES CHERS PARENTS,
À MES SŒURS : YOUSRA ET WISSALE,
À MON FRÈRE HOUSSEM,
À TOUS MES PROCHES,
À CEUX QUI M'AIMENT,
À CEUX QUE J'AIME.*



KHAWLA

À MES PARENTS ;

À MES FRÈRES TAHA YACINE ET ABDERRAHMANE;

À MA PETITE SŒUR RAHMA ;

À TOUTE MA FAMILLE ;

À MES AMIES.



IKRAM

Résumé

L'objectif de ce travail est d'évaluer les risques inhérents à un bac de stockage de pétrole brut (bac 102) situé au niveau de la RTE. A cet effet, une évaluation des risques a d'abord été élaborée à l'aide de la méthode HAZOP afin d'identifier les scénarios d'accident potentiels, en termes de déviations, causes et conséquences, et de définir les moyens adaptés de prévention. Ensuite, la méthode LOPA a été utilisée pour le calcul de la fréquence du scénario incendie déclenché au niveau du bac de stockage, en quantifiant les différentes causes et barrières de sécurité associées. Les résultats obtenus montrent que ce risque est acceptable car la fréquence établie est inférieure à celle considérée comme tolérable ($1E-4$). Ceci indiquant que les barrières de sécurité existantes sont suffisantes pour assurer la réduction nécessaire du risque d'incendie et qu'aucune exigence de sécurité n'a été identifiée concernant le système d'extinction automatique (SIL 0).

Mots clés : IEC 61508, IEC 61511, HAZOP, LOPA, SIL, SIS, stockage de brut.

ملخص :

الهدف من هذا العمل هو تقييم المخاطر الكامنة في خزان تخزين النفط الخام (الخزان 102) الموجود عند مستوى RTE. ولتحقيق هذه الغاية، تم تطوير تقييم المخاطر أولاً باستخدام طريقة HAZOP من أجل تحديد سيناريوهات الحوادث المحتملة، من حيث الانحرافات والأسباب والعواقب، وتحديد وسائل الوقاية المناسبة. بعد ذلك، تم استخدام طريقة تحليل طبقات الحماية لحساب تكرار سيناريو الحريق في خزان التخزين، من خلال تقييم الأسباب المختلفة وحواجز السلامة المرتبطة بها. وتظهر النتائج التي تم الحصول عليها أن هذا الخطر مقبول لأن التردد المحدد أقل من التردد المسموح به ($1E-4$ / عام). ويشير ذلك إلى أن حواجز الأمان الموجودة كافية لضمان التخفيض اللازم لمخاطر الحريق وأنه لم يتم تحديد متطلبات السلامة فيما يتعلق بنظام الإطفاء الآلي (SIL 0).

الكلمات المفتاحية: IEC 61508, IEC 61511, HAZOP, LOPA, SIL, SIS, تخزين النفط الخام.

Abstract

The objective of this work is to assess the risks inherent to a crude oil storage tank (tank 102) located at the RTE level. To this end, a risk assessment was first developed using the HAZOP method in order to identify potential accident scenarios, in terms of deviations, causes and consequences, and to define appropriate means of prevention. Then, the LOPA method was used to calculate the frequency of the fire scenario triggered at the storage tank, by quantifying the different causes and associated safety barriers. The results obtained show that this risk is acceptable because the established frequency is lower than that considered tolerable ($1E-4$). This indicates that the existing safety barriers are sufficient to ensure the necessary reduction of the fire risk and that no safety requirements have been identified regarding the automatic extinguishing system (SIL 0).

Key words: IEC 61508, IEC 61511, HAZOP, LOPA, SIL, SIS, crude oil storage.

Liste des tableaux

N°	Tableau	Page
I.1.	La différence entre la norme CEI 61511 et la norme CEI 61508.	14
I.2.	Les différents niveaux de SIL définis par la norme IEC 61508.	19
I.3	SIL en mode forte demande ou demande continue.	21
II.1	Etat actuel du réseau.	26
II.2	Différents produits stockés au niveau du parc de stockage.	31
II.3	La liste des entreprises effectuant des travaux à la RTE.	37
III.1	Exemple de tableau pour HAZOP.	54
III.2	Grille de criticité adoptée par RTE.	65
III.3	Classement de la gravité.	65
III.4	Classement de la probabilité	66
III.5	Classification de risque	66
III.6	Les résultats de l'application de la méthode HAZOP sur le bac S102.	67
IV.1	Tableau d'analyse de LOPA (exemple)	77
IV.2	Domaines d'expertise des différents participants à une revue LOPA.	79
IV.3	Probabilité de défaillance à la sollicitation pour les barrières actives.	85
IV.4	Probabilité de défaillance à la sollicitation pour les barrières passives (ICSI)	85
IV.5	Probabilité de défaillance à la sollicitation pour les barrières humaines.	56
IV.6	Probabilité de défaillance à la sollicitation pour les barrières humaines.	86
IV.7	Probabilité de défaillance à la sollicitation pour les barrières mentionnées dans le scénario (ICSI)	89
IV.8	La fréquence des événements initiateurs mentionnés dans le scénario (ICSI)	90
IV.9	Les résultats de l'application de la méthode LOPA	91

Liste des figures

N°	Figure	page
I.1	Diagramme de Farmer (gravité – probabilité).	4
I.2	Relation entre les notions de danger et de risque.	4
I.3	Le processus de la gestion des risques.	7
I.4	Grille de l'acceptabilité du risque.	9
I.5	La norme CEI 61808 générique et ses normes filles selon le secteur d'activité concerné.	11
I.6	Relations entre l'IEC 61511 et l'IEC 61508.	13
I.7	Constituants d'un système instrumenté de sécurité.	17
II.1	Organigramme de SONATRACH.	24
II.2	Réseau de transport brut et condensat.	25
II.3	Les produits exploités par TRC.	26
II.4	La place de la RTE dans l'organigramme du SONATRACH.	27
II.5	Organigramme de RTE.	28
II.6	Emplacement du site RTE.U	29
II.7	procès de transport des hydrocarbures liquide – terminal arrivé oléoduc-	33
II.8	procès de transport des hydrocarbures gazeux – terminal arrivé gazoduc-	33
II.9	Bac à toit flottant, type ponton annulaire.	40
II.10	Type double pont, le caisson recouvre toute la surface du réservoir.	41
II.11	Les réseaux accordés du bac au niveau de l'RTE.	41
II.12	Les dimensions et les composants à l'extérieure d'un bac de stockage hydrocarbure de l' RTE.	42
II.13	Les composants et Les systèmes anti-incendie placés au niveau du bac de stockage hydrocarbure de l'RTE.	43
III.1	Principales étapes d'une analyse de risque.	49
III.2	Signification de l'abréviation HAZOP.	52
III.3	Déroulement de la méthode.	54
III.4	Exemple de bac à toit flottant' type ponton annulaire.	56
III.5	Les accessoires d'accès au réservoir.	57
III.6	Exemple d'une soupape ouvert.	58
III.7	Exemple d'évacuation des eaux pluviales.	59
III.8	Exemple de circuit à mousse.	60

III.9	Joint (Kérosène ou Gazole).	61
III.10	Exemple d'un trou d'homme sur le toit.	61
III.11	Exemple d'une béquille.	62
III.12	Les vannes de réservoir.	62
IV.1	Répartition des méthodes d'analyse.	78
IV.2	Différentes couches de protection suivant LOPA.	80
IV.3	Schéma de réception stockage expédition du brut.	87
IV.4	Description du système anti incendie du bac 102.	88
IV.5	Principe d'IPL selon le CCPs.	88

Annexe	Page
Annexe A	105

Liste des abréviations

Abréviation	
PIB	le produit intérieur brut.
SIS	Safety Instrumented System.
SIF	Safety Instrumented function.
CEI	Commission électronique internationale.
ISO	International organisation for standardization .
R	Risque .
P	Probabilité d'occurrence.
G	Gravité des conséquences.
FERMA	The Federation of European Risk Management Associations.
E/E/EP	Electrique/Electronique/Electronique programmable.
HAZOP	Hazard and operability study (Etude de Danger et Operation).
ADE	Arbre d'Evènement.
AMDEC	L'Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité.
ALARP	As Low As Reasonably Practicable (aussi faible que raisonnablement possible).
EN	Norme européenne.
NF	Norme Française.
Pr EN	Projet de norme européenne.
SIL	Safety Integrity Levels (niveaux d'intégrité de sécurité).
PFD avg	probabilité moyenne de défaillance dangereuse.
EUC	Equipement Under Control (l'équipement à protéger).
BPCS	Basic Process Control System .
SRS	Système relative à la sécurité.
ESD	Emergency Shutdown Systems.
ATS	Automatic Train Stop.
PLC	Automate programmable.
RTE	Région transport Est.
TEP	Tonne d'équivalent pétrole ;
GNL	Gaz Naturel Liquéfié.
GPL	Gaz pétrole liquéfié.
AMT	Amont.
TRC	Transport par Canalisation.
COM	Commercialisation.
GK1, GK2, GK3, GK4	Des pipes des gaz.
NK1	La ligne de condensat.
GM3	Milliards de mètres cubes contractuels.
MTEP	Millions de tonnes équivalent pétrole.
STC	Systèmes Transport par Canalisation.
TM	Millions de Tonnes Métriques.
DRGS	Direction Régionale Skikda.
RA2K	Raffinerie de Skikda (TOPPING).
PEC	Pipeline Est-Ouest.

RA1K	Raffinerie de Skikda.
STEP	Station de Transfert d'Énergie par Pompage.
OK1	Oleoduct Skikda 1
POI	Plan d'organisation interne.
FIR	Force d'intervention Rapide.
PAM	Plan d'Assistance Mutuelle.
ORSEC	Organisation des SECours.
STS	Système de télésurveillance.
RGK1	Le raccordement de la nouvelle pipe
NC	Non communiquée.
EDV	Division Etude et Développement.
BRQ	Bulletin de Reporting quotidien.
°C	Degré Celsius.
USD	L'unité de stockage et de dosage.
HSE	Hygiène, sécurité et environnement. (Heath, Safety and Environment)
TF	Taux de fréquence.
TG	Taux de gravité.
M	Mètre
KM	kilo mètre
AF	Analyse fonctionnelle.
ADC	Arbre des causes.
APR	Analyse Préliminaire des Risques.
ICI	Imperial Chemical Industries.
UIC	Union des Industries Chimiques.
P&ID	pipe ling and Instrumentation Diagramme.
D1, D2, D3, D4	Vannes de purge.
LAH	Niveau Alarm High (alarme haute level).
LSHH	Niveau Commutateur Haut Haut (level switch High High)
V1	Vanne 1 manuelle.
PCV	Pressure Control Valve (valve de contrôle de pression)
PSV	Pressure Safety Valve (soupape de sécurité de pression).
PV	Pressure Valve (Vanne de Pression).
LOPA	Layer Of Protection Analysis.
CCPs	Center for Chemical Process Safety
IPL	Independent Protection Layer.
SIF	Safety Integrity Function.
ICSI	Institut pour une Culture Industrielle.

Table des matières

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des annexes

Liste des abréviations

Introduction générale01

CHAPITRE I : TERMES RELATIFS A LA SECURITE FONCTIONNELLE

I.1. Introduction	03
I.2. Notions et concepts	03
I.2.1. Notions généraux.....	03
I.2.1.1. Définition de danger	03
I.2.1.2. Définition de risque	03
I.2.1.3. Définition de sécurité.....	05
I.2.1.3.1. Principe de sécurité.....	05
I.2.2. Notions de sécurité fonctionnelle	06
I.2.2.1. Définition de la sécurité fonctionnelle	06
I.2.2.2. Systèmes relatifs aux applications de sécurité.....	06
I.3. La gestion de risques	07
I.3.1. Définition de la gestion des risques	07
I.3.2. Les étapes de la gestion des risques.....	08
I.3.2.1. L'analyse des risques	08
I.3.2.2. L'évaluation du risque	08
I.3.2.3. L'acceptation du risque.....	08
I.3.2.4. Réduction (maîtrise) du risque	09
I.4. Cadre normatif.....	09
I.4.1. Norme IEC 61508	09
I.4.1.1. Limites de la norme CEI 61508.....	11
I.4.2. Norme IEC 61511	12
I.5. La sécurité fonctionnelle.....	15
I.5.1. Système instrumenté de sécurité (SIS).....	15
I.5.1.1. Définition	15
I.5.1.2. Des exemples sur SIS.....	16
I.5.1.3. L'importance du SIS	16
I.5.1.4. Equipement sous contrôle (équipement commandé) (EUC)	16
I.5.1.5. Système de contrôle de processus de base (BPCS).....	17
I.5.1.6. Les Constitutions d'un SIS.....	17
I.5.2. Intégrité de sécurité	18

I.5.2.1. Intégrité de sécurité du logiciel.....	18
I.5.2.2. Intégrité de sécurité systématique.....	18
I.5.2.3. Fonction de sécurité de l'élément	18
I.5.2.4. Intégrité de sécurité.....	18
I.5.3. Niveau intégrité de sécurité.....	18
I.5.4. Mode de fonctionnement	19
I.5.4.1. Mode faible sollicitation.....	19
I.5.4.1. Mode sollicitation élevée	19
I.5.4.1. Mode continu.....	19
I.5.5. Paramètres de performance de sécurité des SIS	19
I.5.5.1. Probabilité moyenne de défaillance à la demande.....	19
I.5.5.2. Probabilité de défaillance dangereuse par heure (PFH).....	20
I.5.5.3. Fonction Instrumentée de sécurité (SIF)	21
I.6. Conclusion.....	22

Chapitre II : Présentation du complexe RTE TRC

II.1. Introduction	23
II.2. Présentation générale de SONATRACH.....	23
II.2.1. L'activité de transport par canalisation en Algérie.....	23
II.3. Présentation de la région TRASPOT EST (RTE).....	27
II.3.1. Identification de l'unité	28
II.3.2. Situation géographique	28
II.3.3. Activités industrielles	29
II.3.4 Constitution de la Région de Transport Est	30
II.3.5. Les réalisations de RTE.....	31
II.4. Structures de la RTE en relation avec les entreprises extérieures	33
II.4.1 Moyens d'intervention communs.....	34
II.5. Les différentes entreprises extérieures effectuant des travaux au terminal Skikda	35
II.5.1 Statistiques des accidents / incidents.....	38
II.5.2 Observations et commentaires	38
II.6. Bacs à toit flottant.....	39
II.6.1 Toit flottant.....	39
II.6.1.1. Toit à "simple pont" (ponton annulaire).....	39
II.6.1.2. Toit à double pont.....	40
II.7. Les différents risques au niveau du parc RTE	43
II.7.1. Les risques fréquents	43
II.7.1.1. risque de corrosion.....	43
II.7.1.2. Risque Electrique.....	43

II.7.1.2.1. L'électricité dynamique.....	43
II.7.1.2.2. L'électricité statique.....	44
II.7.1.2.3. L'électricité atmosphérique	44
II.7.1.3. Risque Mécanique	44
II.7.1.4. Risque Pression	44
II.7.2. Les Risque Rares.....	44
II.7.2.1. Risques de Débordement d'un Réservoir.....	45
II.7.2.1.1. Le Boilover.....	45
II.7.2.1.2. Le Slop over	45
II.7.2.2. Risque de fuite importante	45
II.7.2.3. Risque d'incendie	45
II.8. Conclusion.....	46

Chapitre III : Analyse qualitative liés au bac de stockage de brut 102

III.1. Introduction.....	48
III.2. Généralité et définition sur l'analyse des risques	48
III.3. Importance d'analyse des risques	48
III.4. Approche d'analyse des risques	49
III.4.1. Analyse qualitative.....	50
III.4.2. Méthodes d'analyse des risques.....	50
III.4.2. Méthodes qualitative	50
III.4.2.1. Définition.....	50
III.4.2.2. Quelques méthodes qualitatives	50
III.4.3. HAZard and OPerability HAZOP	51
III.4.3. Historique et domaine d'application de l'HAZOP.....	51
III.4.4. Objectif de la méthode HAZOP.....	53
III.4.5. Déroulement de la méthode HAZOP	53
III.4.5.1. Les avantages et les limites de la méthode	55
III.4.5.1.1. Les avantages de la méthode.....	55
III.4.5.1.2. Limites de la méthode	55
III.4.6. Application de la méthode HAZOP	55
III.4.6.1. Critère de choix du système d'étude	55
III.4.6.2. Description du système.....	55
III.4.6.2. 1.Les accessoires du réservoir 102.....	56
III.4.6.2.1.1. Accessoires d'accès au réservoir 102.....	56
III.4.6.2.1.2. Les accessoires de sécurité.....	57
III.4.6.2.1.3. Accessoires de contrôle et d'entretien.....	60

III.4.6.3. L'application de la méthode	64
III.4.6.4. Etablissement des critères d'acceptabilité.....	64
III.4.6.7. Les feuilles HAZOP	67
III.4.6.8. Recommandations	73
III.5. Conclusion	74

Chapitre IV : Détermination du SIL requis à l'aide de la méthode LOPA

IV.1. Introduction.....	75
IV.2. Présentation de la méthode LOPA (Layer Of Protection Analysis).....	75
IV.2.1. Origine de la méthode.....	75
IV.2.2. Déroulement d'une revue LOPA	76
IV.2.2.1. Compétences nécessaires.....	76
IV.2.2.2. Objectif de la méthode	77
IV.2.3. Domaine d'expertise	79
IV.2.4. Description des différentes couches de protection	80
IV.2.5. Principales étapes de la méthode	80
IV.3. Quantification des probabilités de défaillance des barrières	84
IV.3.1. Barrières actives	84
IV.3.2. Barrières passives	85
IV.3.3. Barrières humaines	86
IV.4. Présentation du bac 102.....	87
IV.4.1. Présentation du SIS anti incendie du bac 102.....	88
IV.5. Mise en œuvre de la méthode LOPA.....	88
IV.5.1. Analyse des scénarios	88
IV.5.2. les feuilles de la méthode LOPA	91
IV.6. Conclusion	92
Conclusion générale	94
Glossaire	96
Bibliographie	102
Annexe A.....	106

Introduction générale

Introduction générale

Les énergies fossiles représentent aujourd'hui plus de trois quarts de la consommation mondiale d'énergie primaire, dans les transports, l'industrie et l'habitat. Elles sont également largement majoritaires (plus des deux tiers) dans la production de l'électricité, malgré la progression continue de la part des énergies renouvelables.

Quant au pétrole brut, en 2022, l'Algérie se classait au 16^{ème} rang mondial en termes de production de pétrole, avec environ 1 million de barils par jour (Mb/j), et 3^{ème} rang africain derrière le Nigeria et l'Angola.

L'Algérie a consommé 45,2 milliards de m³ de gaz naturel, son économie est entièrement dépendante de l'exportation du pétrole et du gaz, contribuant à 30% de son PIB (le produit intérieur brut).

Le stockage du pétrole brut est une étape cruciale dans l'industrie pétrolière. Les bacs de stockage, souvent de grande taille, permettent de conserver d'importantes quantités de brut avant leur traitement ou leur transport. Cependant, ces installations présentent des risques potentiels considérables, tant pour la sécurité des personnes que pour l'environnement.

L'évaluation des risques liés au bac de stockage de brut est un processus essentiel pour garantir la sécurité des installations pétrolières et la protection de l'environnement. En identifiant les dangers potentiels, en estimant les risques et en mettant en place des mesures de prévention et de mitigation adaptées, il est possible de réduire considérablement la probabilité d'accidents et leurs conséquences.

Plusieurs outils et méthodes peuvent être utilisés pour mener à bien l'évaluation des risques liés à un bac de stockage de brut. Le choix de la méthode la plus adaptée dépend de la complexité du système, des données et des ressources disponibles.

L'approche HAZOP-LOPA est un outil précieux pour l'évaluation des risques liés au stockage de brut. Elle permet d'identifier les risques existants, d'évaluer leurs conséquences et de proposer des mesures pour les réduire. L'utilisation de cette

approche contribue à améliorer la sécurité des installations de stockage de brut et à prévenir les accidents majeurs.

L'enjeu principal de ce travail sera d'évaluer les risques existants du bac de stockage de brut 102 au niveau de la région transport RTE de SKIKDA (DRGS) à l'aide de l'approche HAZOP-LOPA. Afin de réaliser cet objectif, le plan de travail adopté sera composé de quatre chapitres :

Le premier chapitre : *Termes relatives aux systèmes instrumenté de sécurité.* Ce chapitre sera réservé à la terminologie figurant dans ce mémoire et la présentation des éléments nécessaires liés à notre étude.

Le deuxième chapitre : *Présentation du complexe et du système étudié.* Dans ce chapitre nous présenterons le complexe RTE et les bacs existants dans ce dernier.

Le troisième chapitre : *Analyse qualitative des risques (HAZOP).* Il Consistera à présenter la méthode qualitative HAZOP (Hazard and Operability) en termes de domaine d'application, objectifs et déroulement. Aussi, la définition du système étudié (le bac de stockage de brut 102) sera réalisée au cours de ce chapitre. Les résultats de l'analyse des risques effectuée à l'aide de la méthode HAZOP seront fournis à la fin de ce chapitre.

Le quatrième chapitre : *Détermination du SIL requis à l'aide de la méthode LOPA.* A travers ce chapitre, nous mettrons à profit la méthode LOPA pour déterminer le niveau de sécurité requis (SIL : *safety integrity level*) pour le système anti-incendie du bac de stockage 102.

Ce mémoire sera clos par une conclusion générale résumant le travail réalisé.



CHAPITRE I :
TERMES
RELATIFS A LA
SECURITE
FONCTIONNELLE

I.1. Introduction

Les sources de dangers sont toujours présentées et surtout dans les installations industrielles et avec certaines situations ces dangers peuvent se développer en risques pour les personnes, les biens et l'environnement.

Donc, la sécurité établit plusieurs dispositifs doivent être mise en œuvre pour réduire les conséquences d'un dysfonctionnement. Parmi les moyens de prévention les plus utiles et importants les systèmes instrumentés de sécurités (SIS) qui utilisent pour mettre en œuvre des fonctions instrumentées de sécurités (SIF) afin de mettre le procédé surveillé dans une position repli de sécurité.

Dans ce chapitre, nous allons identifier certains termes et définitions relatifs à la gestion des risques et à la sécurité en général. Ensuite, nous avons défini des notions relatives à la sécurité fonctionnelle et nous citons les principales normes de sécurité, à travers ces derniers, nous avons montré un aperçu global de la sécurité fonctionnelle.

I.2. Notions et concepts

I.2.1. Notions généraux

I.2.1.1. Définition de danger

Selon les références CEI 61508, 2010 et DESROCHES, 1995, le danger désigne une nuisance potentielle pouvant porter atteinte aux biens (détérioration ou destruction), à l'environnement, ou aux personnes. Les dangers peuvent avoir une incidence directe sur les personnes, par des blessures physiques ou des troubles de la santé, ou indirecte, au travers de dégâts subis par les biens ou l'environnement.

I.2.1.2. Définition de risque [1]

La norme ISO 31000, 2009 indique qu'un risque est souvent exprimé en termes de combinaison des conséquences d'un événement et de sa vraisemblance ;

- Le risque peut être défini comme une quantification d'un danger associant une mesure de l'occurrence d'un événement redouté (probabilité, fréquence) et une estimation de la gravité de ses conséquences.
- Le risque peut être aussi défini comme « Combinaison de la probabilité d'occurrence d'un dommage et de la gravité de ce dernier »

On matérialise les définitions précédentes par la formule :

$$\text{Risque (R)} = \text{Probabilité (P)} \times \text{Gravité (G)}$$

G : la gravité des conséquences ;

P : Probabilité d'occurrence.

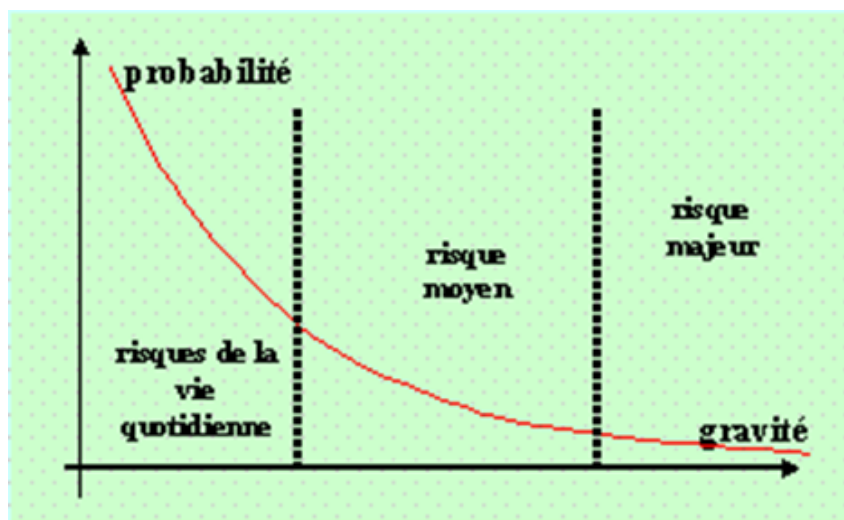


Figure I.1 : Diagramme de Farmer (gravité – probabilité) [2]

La figure I.2 permet de bien apprécier l'interaction entre les notions de danger et de risque.

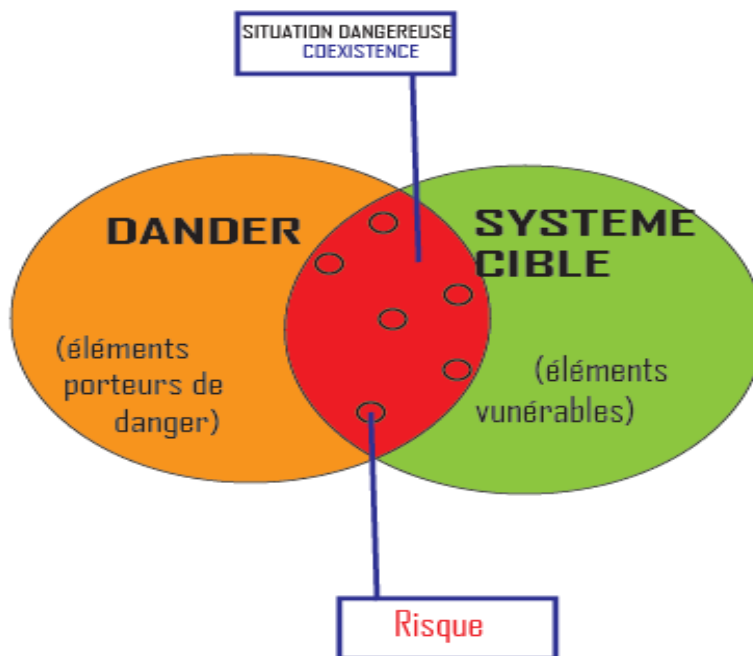


Figure I.2 : Relation entre les notions de danger et de risque.

I.2.1.3. Définition de sécurité [3]

Selon le guide ISO/CEI 73, 2002, la sécurité est l'absence de risque inacceptable, de blessure ou d'atteinte à la santé des personnes, directement ou indirectement, résultant d'un dommage au matériel ou à l'environnement

I.2.1.3.1. Principe de sécurité

Les mesures de sécurité se caractérisent selon le mode d'action en sécurité passive et sécurité active.

- **La sécurité passive :** La sécurité passive désigne tous les éléments mis en jeu pour réduire les conséquences d'un accident lorsque celui-ci n'a pu être évité. Elle agit par sa seule présence, sans intervention humaine ni besoin en énergie.

Cependant, il ne faut pas réduire la sécurité passive à la limitation des conséquences des accidents (l'isolation électrique est une mesure passive et préventive) [4].

- **La sécurité active :** La sécurité active désigne tous les éléments mis en jeu afin d'éviter les accidents. Elle nécessite une action, une énergie et un entretien (exemple : détecteur, vannes, etc.).

La sécurité d'une installation repose sur l'utilisation de ces deux modes d'action. Une préférence est donnée au mode passif quand il est techniquement possible. Des critères de qualité sont exigés pour le mode actif, notamment la tolérance à la première défaillance : doublement de l'organe de sécurité (redondance). La sécurité fonctionnelle reste l'un des moyens les plus importants pour la prise en compte des risques. D'autres moyens de réduction ou d'élimination des risques, tels que la sécurité intégrée dans la conception, sont également d'une importance essentielle [4].

I.2.2. Notions de sécurité fonctionnelle

Les systèmes instrumentés de sécurité contribuent à obtenir la réduction de risque nécessaire dans le but d'atteindre l'objectif de risque tolérable.

Un système E/E/EP :

- met en œuvre les fonctions de sécurité requises et nécessaires pour atteindre un état de sécurité de l'équipement commandé, ou maintenir l'équipement commandé dans un état de sécurité, et

- est prévu pour atteindre, par lui-même ou grâce à d'autres systèmes E/E/EP relatifs à la sécurité ou dispositifs externes de réduction de risque, l'intégrité de sécurité nécessaire des fonctions de sécurité requises.

I.2.2.1. Définition de la sécurité fonctionnelle

Selon les normes IEC 61061 et IEC 61061, 1998, la sécurité fonctionnelle est le sous ensemble de la sécurité globale se rapportant à la machine et au système de commande de la machine qui dépend du fonctionnement correct des systèmes électriques de commande relatifs à la sécurité, des systèmes relatifs à la sécurité basés sur une autre technologie et des dispositifs externes de réduction de risque [5].

Suivant la norme IEC 61508, 2010, la sécurité fonctionnelle est le sous ensemble de la sécurité globale qui dépend du bon fonctionnement d'un système ou d'un équipement en réponse à ses entrées.

La sécurité fonctionnelle couvre les produits ou systèmes mettant en œuvre des solutions de protection fondées sur diverses technologies : Mécanique, hydraulique, pneumatique, électrique, électronique, électronique programmable, optique, etc. [6]

I.2.2.2. Systèmes relatifs aux applications de sécurité

Un système E/E/PE (électrique/électronique/électronique programmable de sécurité) relatif aux applications de sécurité comprend tous les éléments du système nécessaires pour remplir la fonction de sécurité. C'est-à-dire, depuis le capteur, en passant par la logique de contrôle et les systèmes de communication, jusqu'à l'actionneur final, tout en incluant les actions critiques de l'opérateur.

Les systèmes de sécurité sont définis en termes d'absence de risque inacceptable de blessure ou de préjudice à la santé des personnes. Les dommages aux personnes peuvent être directs ou indirects, comme des dommages aux biens ou à l'environnement par exemple. Certains systèmes peuvent être principalement conçus pour se prémunir contre des pannes ayant des implications économiques majeures. Ceci signifie que dans l'esprit, à objectifs techniques comparables ou identiques, il n'y a pas de différence entre un système de sécurité et un système de contrôle commande. L'IEC 61508, 2002 et l'IEC 61511, 2003 peuvent donc être utilisées pour développer n'importe quel système E/E/PE comportant des fonctions

critiques, telles que la protection des équipements, des biens ou de la productivité [6, 7].

I.3. La gestion de risques

La gestion du risque fait partie intégrante de la culture de toute organisation. C'est le processus continu d'amélioration dans lequel les organisations traitent les risques qui s'attachent à leurs activités.

I.3.1. Définition de la gestion des risques

The Federation of European Risk Management Associations (FERMA) a identifié la gestion des risques comme « un processus continu d'amélioration qui commence avec la définition de la stratégie et se poursuit avec l'exécution de celle-ci. Elle devrait traiter systématiquement de tous les risques qui entourent les activités de l'organisation, que celles-ci soient passées, présentes et surtout futures » [8].

La gestion des risques peut encore être définie comme « l'ensemble des activités coordonnées en vue de réduire le risque à un niveau jugé tolérable ou acceptable, qui nécessite un usage adapté de méthodes et outils » selon les normes ISO/CEI 51 et ISO/CEI 73.

I.3.2. Les étapes de la gestion des risques

La gestion des risques constitue un processus qui s'organise selon les étapes suivantes :

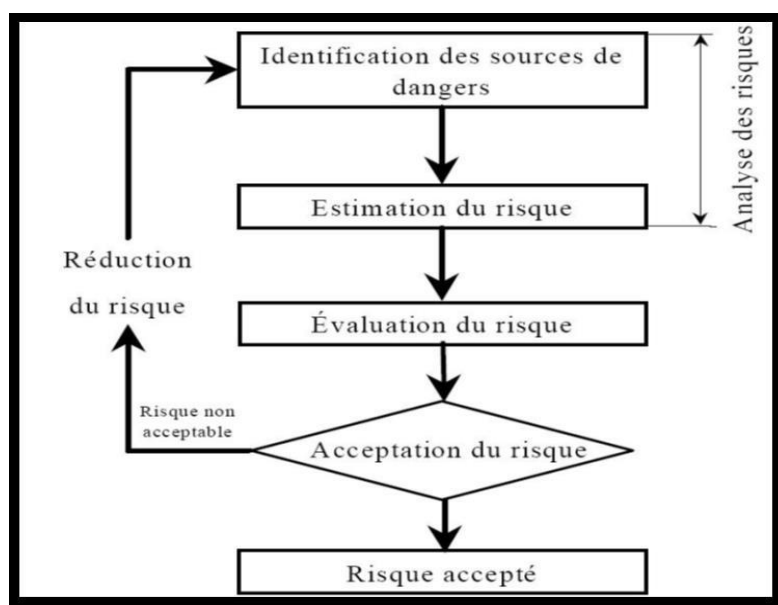


Figure I.3 : Le processus de la gestion des risques [9]

I.3.2.1. L'analyse des risques [10,11].

L'analyse des risques est définie comme l'utilisation des informations disponibles pour identifier les phénomènes dangereux et estimer le risque, selon le guide ISO/CEI 51 ,1999; et se compose de deux points nécessaires :

- **L'identification des sources de dangers** : dans cette étape on doit :
 - comprendre le système d'étude.
 - Identifier les sources de danger et les scénarios associés qui peuvent entraîner des dommages.
- **L'estimation du risque** : il s'agit d'estimer les risques en vue de hiérarchiser les risques identifiés au cours de l'analyse et de pouvoir comparer ultérieurement ce niveau de risque aux critères de décision. Cette estimation doit considérer les deux composantes du risque : la fréquence d'occurrence et la gravité des conséquences.

- l'estimation de risque peut être faite par des méthodes telles que : HAZOP, ADE, AMDEC, etc. [12].

I.3.2.2. L'évaluation du risque

L'évaluation du risque après avoir analysé les risques, il est nécessaire de comparer le niveau de risque estimé à celui jugé tolérable ou acceptable [12].

Le processus de l'évaluation des risques comporte :

- L'identification des dangers ;
- La compréhension de la nature de ces dangers ;
- L'évaluation des conséquences (à court et à long terme) ;
- L'évaluation de la probabilité de leur occurrence.

I.3.2.3. L'acceptation du risque

La définition de critères d'acceptabilité du risque est une étape clé dans le processus de gestion du risque dans la mesure où elle va motiver la nécessité de considérer de nouvelles mesures de réduction du risque et rétroactivement, influencer les façons de mener l'analyse et l'évaluation des risques.

A partir de ces deux paramètres le niveau de risque l'acceptabilité du risque sera définie.

La zone verte (I) : correspond à un risque jugé comme tolérable ;

La zone jaune (II) : pour laquelle il sera nécessaire de démontrer que le risque a bien été réduite jusqu'à un niveau aussi bas que raisonnablement réalisable (ALARP) ;

La zone rouge (III) : correspond à un risque intolérable.

Voir ci-dessous un exemple de grille d'acceptabilité

Echelle de Gravité (Ordre décroissant A à E)	Echelle de Probabilité (Ordre croissant E à A)				
	E	D	C	B	A
Désastreux	Yellow	Red	Red	Red	Red
Catastrophique	Yellow	Yellow	Red	Red	Red
Sérieux	Yellow	Yellow	Yellow	Red	Red
Modéré	Green	Green	Yellow	Yellow	Red
Mineur	Green	Green	Green	Green	Yellow

Figure I.4. : Grille de l'acceptabilité du risque [13].

Chaque scénario encore positionné dans cette zone rouge devra faire l'objet d'une démarche de réduction du risque par la mise en œuvre de barrière jusqu'à atteindre un niveau de risque tolérable et au pire ALARP [13].

I.3.2.4. Réduction (maîtrise) du risque

La réduction du risque doit être considérée lors que le risque jugé inacceptable. Il s'agit de mettre en lumière les barrières de sécurité nécessaire pour but de la réduction de sa probabilité d'occurrence (barrières de prévention) ou d'en limiter la gravité des conséquences (barrières de protection).

- La prévention des accidents se rapporte à l'élimination de dangers ou sur la diminution de l'occurrence d'événements redoutés par l'amélioration de la sécurité des dispositifs de contrôle ou par l'implantation des moyens empêchant l'apparition ou la propagation des dangers (SIS...).
- La protection vient après l'échec des moyens de prévention et se rapporte à l'atténuation des conséquences d'un accident par des moyens limitant les dommages (systèmes de secours, procédures d'urgence).

I.4. Cadre normatif

I.4.1. Norme IEC 61508 [6, 14-19]

La norme internationale de sécurité IEC 61508 est une norme internationale établie par la Commission électronique internationale et appliquée dans l'industrie

traitant de sécurité fonctionnelle. Elle est devenue avec ses normes filles les plus récentes et les plus connues des acteurs de la sécurité dans les secteurs industriels.

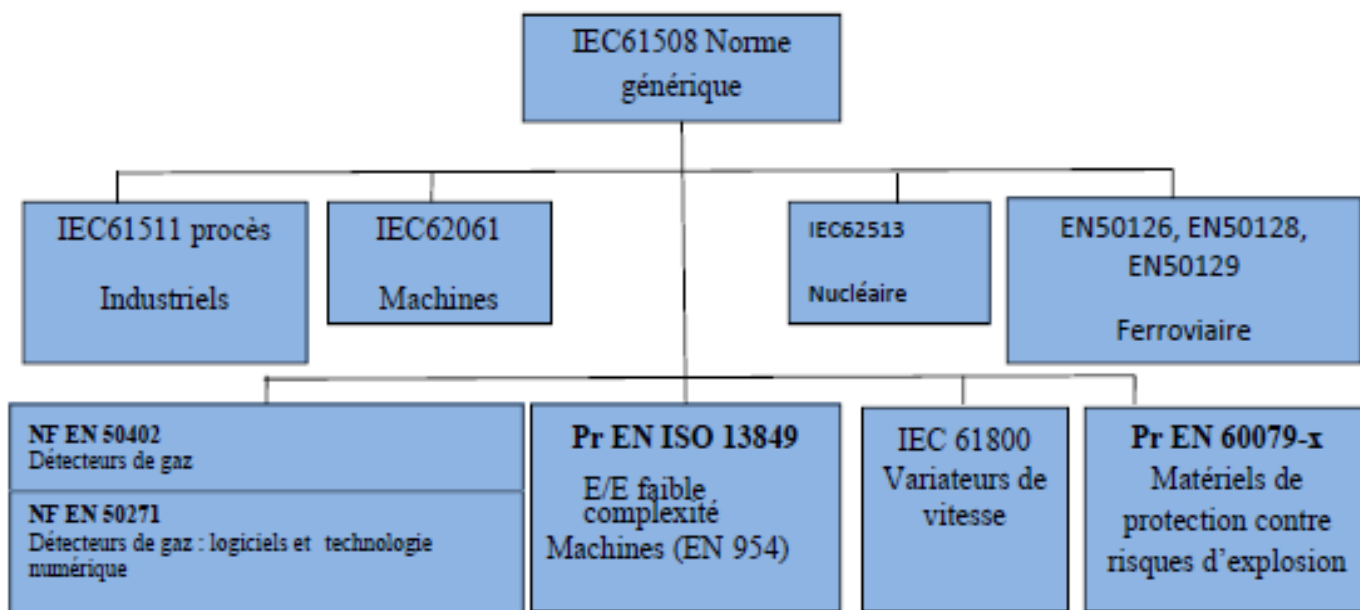
La norme CEI 61508 est un ensemble de règles et de recommandations ont été adoptés afin de développer une politique technique rationnelle et cohérente concernant tous les systèmes électriques relatifs à la sécurité. L'objectif principal de cette norme est de faciliter le développement de normes internationales de produit et d'application sectorielle basées sur la série CEI 61508. L'avantage de cette norme est qu'elle propose des moyens de justification sur l'ensemble du cycle de vie d'un produit en fonction du niveau de sécurité que l'on souhaite atteindre.

La norme IEC 61508 se compose de sept volets comme suit :

- ✓ 61508-1 présente les définitions des prescriptions générales.
- ✓ 61508-2 traite les prescriptions spécifiques aspect matériel des systèmes E/E/EP.
- ✓ 61508-3 dédiée à la présentation des prescriptions spécifiques, aspect logiciel, des systèmes E/E/EP. Elle est développée dans la troisième partie de la norme.
- ✓ 61508-4 présente les définitions et les abréviations utilisées.
- ✓ 61508-5 donne des exemples de méthode pour la détermination des niveaux d'intégrité de sécurité.
- ✓ 61508-6 fournit les guides d'application des parties 2 et 3 de la norme.
- ✓ 61508-7 présente les techniques et les mesures recommandées lors de la validation des systèmes E/E/EP.

La complexité de la norme IEC 61508 a conduit ses concepteurs à développer des normes relatives à des secteurs précis.

La figure I.5. Présente la norme CEI 61808 générique et ses normes filles selon le secteur d'activité concerné.



La figure I.5. : La norme CEI61808 générique et ses normes filles selon le secteur d'activité concerné.

Cette norme permet de définir des exigences relatives aux spécifications, à la conception, à l'installation, à l'exploitation et à l'entretien d'un SIS, afin d'avoir toute confiance dans sa capacité à amener le procédé dans un état de sécurité.

La norme CEI 61511 restreint le périmètre aux systèmes pour des applications SIL 1 à 3 (les applications SIL 4 ne pouvant être traitées par un SIS seul). Les applications qui nécessitent l'utilisation d'une fonction instrumentée de sécurité de niveau d'intégrité de sécurité SIL 4 sont rares dans l'industrie de processus. Ces applications doivent être évitées en raison de la difficulté d'atteindre et de maintenir de tels niveaux élevés de performance tout au long du cycle de vie de sécurité [20].

I.4.1.1.Limites de la norme CEI 61508

Les limites de la norme IEC 61508 sont liées à la complexité et à la difficulté de son utilisation. Plusieurs utilisateurs de l'IEC 61508 ont mentionné la nécessité d'être guidés, tant que ses notions paraient complexes, et difficiles à mettre en œuvre.

Beaucoup de prescriptions ne sont pas assignées à une certaine gamme des niveaux d'intégrité de sécurité ou à la complexité de la conception. Ceci rend la norme difficile à utiliser pour de petits projets et rend la gestion de la sécurité fonctionnelle trop chère pour des petites et moyennes entreprises.

La norme IEC 61508 définit l'intégrité de sécurité comme propriété de l'installation complète de sécurité, du capteur à l'actionneur. En outre, les parties 2 et 3 de cette norme entrent dans le détail dans ; la conception et validation des systèmes E/E/EP de sécurité.

Pour réaliser la fonction de sécurité, l'utilisateur met en œuvre plusieurs sous-systèmes : capteur, unité de traitement, actionneur. Dans chacun des sous-systèmes, des composants peuvent être mis en redondance. La PFDavg de l'ensemble doit être calculée à partir des caractéristiques des composants et des architectures du système de sécurité.

Rappelons également que les données des entrées spécifiées dans la norme sont bien souvent difficiles à obtenir et sont souvent des approximations (taux de couverture de diagnostic, modes communs de défaillances, . . .). La PFDavg devrait être aussi renommée, car sa dénomination prête confusion. Il ne s'agit nullement d'une défaillance à la sollicitation classique, mais d'une indisponibilité moyenne sur un intervalle de temps spécifié.

I.4.2. Norme IEC 61511 [20, 21,7]

La norme sectorielle CEI 61511 concerne les systèmes instrumentés de sécurité pour le secteur les processus industriels. Cette norme présente une approche relative aux activités liées au cycle de vie de sécurité, pour satisfaire à ces normes minimales. Cette approche a été adoptée afin de développer une politique technique rationnelle et cohérente. Dans la plupart des cas, la meilleure sécurité est obtenue par une conception de processus de sécurité intrinsèques, chaque fois que cela est possible, combinée, au besoin, avec d'autres systèmes de protection, fondés sur différentes technologies (chimique, mécanique, hydraulique, pneumatique, électrique, électronique, électronique programmable) et qui couvrent tous les risques résiduels identifiés. Elle comprend trois parties :

1. Cadre, définitions, exigences pour le système, le matériel et le logiciel,
2. Lignes directrices pour l'application de la CEI 61511-1,
3. Conseils pour la détermination des niveaux exigés d'intégrité de sécurité.

La norme IEC 61511 est l'une des déclinaisons de la norme IEC 61508. Les SIS constituent l'objet principal de ces deux normes, mais ils y sont considérés différemment selon les métiers auxquels elles s'adressent (figure 1.6) [20].

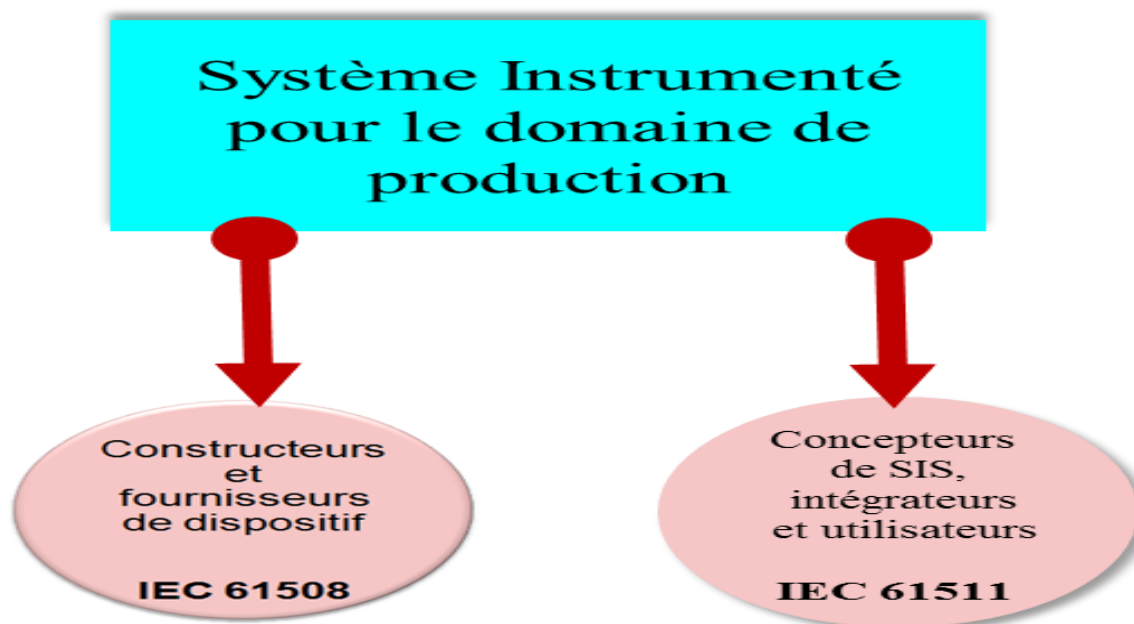


Figure I.6 :Relations entre l'IEC 61511 et l'IEC 61508 [31]

Et voici un tableau qui présente les principales différences entre la norme CEI 61511 et la norme CEI 61508 :

Tableau I.1 : La différence entre la norme CEI 61511 et la norme CEI 61508.

Aspect	CEI 61508	CEI 61511
DOMAINE D'APPLICATION	Générique, applicable à tous les systèmes E/E/EP	Spécifique aux industries de transformation (chimie, pétrochimie, etc.)
PUBLIC CIBLE	Fabricant et développeurs de SIS de composant (Constructeurs et fournisseurs de dispositif).	Utilisateurs finaux et intégrateurs de systèmes dans les industries de transformation (Concepteurs de SIS et les intégrateurs).
Cycle de vie couvert	Complet de la conception à la décommissions.	Cycle de vie complet avec un accent particulier sur la phase opérationnelle et de maintenance.
Approche de la sécurité	Basée sur une approche systématique et rigoureuse des risques.	Basée sur l'application des principes de la CEI 61508 dans le contexte des industries de transformation.
Niveau d'intégrité de sécurité (SIS)	Définis pour les systèmes E/E/EP, avec des critères de probabilité de défaillance.	Utilise les niveaux de SIL définis par la CEI 61508 adaptés aux besoins spécifiques des industries de transformation.
Analyse des risques	Nécessite une analyse détaillée des risques pour déterminer les SIL nécessaires.	Requiert l'utilisation de techniques d'analyse des risques adaptées aux processus industriels.
Exigences de conception	Très détaillées, couvrant les aspects matériels et logiciels.	Moins détaillées que la CEI 61508, mais adaptées aux besoins des industries de transformation.
Validation et vérification	Exigences strictes pour les tests et la validation des systèmes et composants de sécurité.	Focus sur la validation et la vérification des SIS dans un contexte de transformation industrielle.
Maintenance et exploitation	Aborde la maintenance et la gestion des modifications, mais avec un focus moindre que la CEI 61511	Accent fort sur la maintenance, la gestion des modifications et la performance opérationnelle des SIS.

Il existe d'autres normes internationales cruciales relatives aux systèmes instrumenté de sécurité (SIS) comme la norme EN 50126 [22] qui s'intéresse essentiellement aux applications ferroviaires. Elle permet de spécifier les principaux concepts de la sûreté de fonctionnement des systèmes tels que : la fiabilité, la disponibilité et la sécurité,... Cette norme est constituée de deux normes filles. L'EN 50128 [23] est destinée à la partie logicielle des systèmes de protection ferroviaire. L'EN 50129 [24] concerne les systèmes électroniques de sécurité pour la signalisation [4].

I.5. La sécurité fonctionnelle

Les systèmes instrumentés de sécurité contribuent à obtenir la réduction de risque nécessaire dans le but d'atteindre l'objectif de risque tolérable.

Un système E/E/EP

- met en œuvre les fonctions de sécurité requises et nécessaires pour atteindre un état de sécurité de l'équipement commandé, ou maintenir l'équipement commandé dans un état de sécurité, et
- est prévu pour atteindre, par lui-même ou grâce à d'autres systèmes E/E/EP relatifs à la sécurité ou dispositifs externes de réduction de risque, l'intégrité de sécurité nécessaire des fonctions de sécurité requises [6].

I.5.1. Système instrumenté de sécurité (SIS)

Les systèmes instrumentés de sécurités sont parmi les plus utiles mesures de prévention car ils prennent automatiquement action afin d'atteindre un niveau de risque tolérable et acceptable.

Les systèmes instrumentés de sécurité assurent, avec les autres systèmes de protection, un état sécuritaire lorsque les conditions anormales sont présentes.

I.5.1.1. Définition

Un SIS autrement dit boucle de sécurité ; Système Electrique, Electronique, Electronique programmable relatif à la sécurité ; ou système relative à la sécurité (SRS) définie

Pour la norme CEI 61508 : c'est un système met en œuvre les fonctions de sécurité requises pour atteindre ou maintenir un état de sécurité de l'EUC et il est prévu pour atteindre, par lui-même ou grâce à d'autres systèmes E/E/PE relatifs à la

sécurité, et aux éléments externes de réduction de risque, l'intégrité de sécurité nécessaire pour les fonctions de sécurité requise [4].

Pour la norme CEI 61511 : système instrumenté utilisé pour mettre en œuvre une ou plusieurs fonctions instrumentées de sécurité. Un SIS se compose de n'importe quelle combinaison de capteur(s), d'unité logique(s) et d'élément(s) terminal (aux). [20].

I.5.1.2. Des exemples sur SIS

- ✓ Système d'arrêt d'urgence (ESD : Emergency Shutdown Systems), utilisé, par exemple, dans les industries chimique et pétrochimique ;
- ✓ Système d'arrêt automatique de train (ATS : Automatic Train Stop), utilisé dans le domaine ferroviaire ;
- ✓ Système de freinage de l'automobile ;
- ✓ Airbags ;
- ✓ Système de détection de surface d'un avion ;
- ✓ Equipements médicaux critiques de traitement et de surveillance [25].

I.5.1.3. L'importance du SIS

- ✓ **Sécurité des personnes** : Les SIS protègent les travailleurs et le public en minimisant les risques d'accidents graves, comme les explosions, les fuites de gaz toxiques, ou les incendies.
- ✓ **Protection des installations** : Ils protègent les équipements et les infrastructures en détectant rapidement des conditions anormales et en prenant des mesures pour éviter des dommages matériels, comme la protection des bacs de stockage.
- ✓ **Préservation de l'environnement** : Les SIS contribuent à prévenir les déversements de produits chimiques et autres incidents environnementaux qui pourraient avoir des conséquences désastreuses sur l'écosystème.
- ✓ **Conformité réglementaire** : Les entreprises doivent souvent se conformer à des normes et réglementations strictes concernant la sécurité industrielle. Les SIS aident à répondre à ces exigences.
- ✓ **Réduction des coûts** : En évitant les accidents et en limitant les dommages matériels, les SIS peuvent réduire les coûts associés aux réparations, aux interruptions de production, et aux responsabilités juridiques.

I.5.1.4. Equipement sous contrôle (équipement commandé, EUC)

Equipment Under Control : équipement sous contrôle, équipement à protéger : équipement, machines, appareils ou installations utilisés pour la fabrication, le traitement, le transport, les activités médicales ou autres [6].

I.5.1.5. Système de contrôle de processus de base (BPCS)

Basic Process Control System (BPCS) est un système qui répond aux signaux d'entrée provenant du processus, de ses équipements associés, d'autres systèmes programmables et/ou d'un opérateur, et qui génère des signaux de sortie faisant fonctionner le processus et ses équipements associés de la manière souhaitée [6].

I.5.1.6. Les Constitutions d'un SIS

Un SIS est un système visant à mettre le procédé en un état stable lorsque le procédé s'engage dans une voie comportant un risque réel (explosion, feu, . . .), [21].

Un SIS se compose de trois couches comme le montre la figure I.7 :

- **Sous-système «Eléments d'entrée (S) »** : constitué d'un ensemble d'éléments d'entrée (capteurs, détecteurs) qui surveillent l'évolution des paramètres représentatifs du comportement de l'EUC (température, pression, débit, niveau...).
- **Sous-système « Unité Logique (LS) »** : **comprend** un ensemble d'éléments logiques (PLC, API) qui récoltent l'information en provenance du sous-système Set réalisent le processus de prise de décision qui s'achève éventuellement, si l'un des paramètres dévie au-delà d'une valeur-seuil, par l'activation du sous-système FE.
- **Sous-système «Eléments Finaux (FE)»** : agit directement (vanne d'arrêt d'urgence) ou indirectement (vanne solénoïdes, alarme) sur le procédé pour neutraliser sa dérive en le mettant, en général, dans un état sûr.

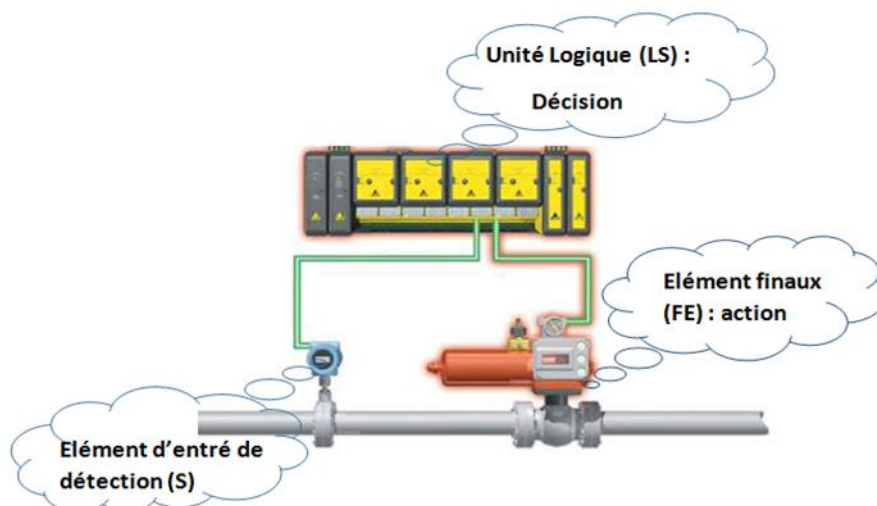


Figure I.7. : Constituants d'un système instrumenté de sécurité [26].

I.5.2. Intégrité de sécurité [6,17]

Probabilité pour qu'un système relatif à la sécurité (SRS) exécute de manière satisfaisante les fonctions de sécurité requises dans toutes les conditions spécifiées et pour une période de temps spécifiée.

I.5.2.1. Intégrité de sécurité du logiciel

Partie de l'intégrité de sécurité d'un système relatif à la sécurité qui se rapporte aux défaillances systématiques dans un mode de défaillance dangereuse imputable au logiciel.

I.5.2.2. Intégrité de sécurité systématique

Partie de l'intégrité de sécurité d'un système relatif à la sécurité qui se rapporte aux défaillances systématiques dans un mode de défaillance dangereux.

I.5.2.3. Fonction de sécurité de l'élément

Partie d'une fonction de sécurité mise en œuvre par un élément.

I.5.2.4. Intégrité de sécurité

Probabilité pour qu'un système E/E/PE relatif à la sécurité exécute de manière satisfaisante les fonctions de sécurité spécifiées dans toutes les conditions énoncées et dans une période de temps spécifiée.

I.5.3. Niveau intégrité de sécurité

Safety Integrity Level (SIL) : niveau discret, parmi quatre possibles, permettant de spécifier les prescriptions concernant l'intégrité de sécurité des fonctions de sécurité à allouer aux SIS.

Les SIS sont classés en quatre niveaux SIL qui se caractérisent par des indicateurs discrets positionnés sur une échelle de un à quatre niveaux (Tableau I.2). Les SILs sont employés pour spécifier les exigences de sécurité des fonctions de sécurité réalisées par des systèmes E/E/EP relatifs à la sécurité selon la norme IEC 61508. Le SIL "quatre" désigne le degré de sécurité le plus élevé du fait de l'exigence forte de sécurité imposée et le niveau SIL un désigne l'exigence la plus faible [27].

Tableau I.2 : Les différents niveaux de SIL définis par la norme IEC 61508 [18]

Sollicitation	Demande faible	Demande élevée
Niveau d'intégrité		
<i>SIL</i>	<i>PFD_{avg}</i>	<i>PFH</i>
1	$PFD_{avg} \in [10^{-2}, 10^{-1}]$	$PFH \in [10^{-6}, 10^{-5}]$
2	$PFD_{avg} \in [10^{-3}, 10^{-2}]$	$PFH \in [10^{-7}, 10^{-6}]$
3	$PFD_{avg} \in [10^{-4}, 10^{-3}]$	$PFH \in [10^{-8}, 10^{-7}]$
4	$PFD_{avg} \in [10^{-5}, 10^{-4}]$	$PFH \in [10^{-9}, 10^{-8}]$

I.5.4. Mode de fonctionnement [17]

Le mode de fonctionnement concerne la façon dont une fonction de sécurité est prévue d'être utilisée par rapport à la fréquence des sollicitations dont elle fait l'objet et qui peut être : mode faible sollicitation, mode sollicitation élevée, mode continu.

I.5.4.1. Mode faible sollicitation

Pour lequel la fréquence des sollicitations sur la fonction de sécurité n'est pas supérieure à une par an.

I.5.4.1. Mode sollicitation élevée

Pour lequel la fréquence des sollicitations sur la fonction de sécurité est supérieure à une par an.

I.5.4.1. Mode continu

Pour lequel la sollicitation sur la fonction de sécurité est continue.

I.5.5. Paramètres de performance de sécurité des SIS

La norme IEC 61508 [18] spécifie deux indicateurs de la sécurité relatifs aux systèmes électroniques programmables dédiés aux applications de sécurité. Ces deux paramètres utilisés pour l'évaluation des performances des SIS suivant les deux modes de défaillance cités par les normes de sécurité. Ces modes sont le mode de défaillances dangereuses et le mode de défaillances sûres. Ces indicateurs sont donnés sous forme de probabilités de défaillance dangereuse (PFD) et de défaillance en sécurité (PFH).

I.5.5.1. Probabilité moyenne de défaillance à la demande

Il est utile de rappeler certains principes et hypothèses de base largement utilisés dans la norme IEC 61508 [18] et ses normes filles.

La probabilité moyenne de défaillance μ_a la demande, notée PFD_{avg} n'est pas définie dans le volume 4 de la norme IEC 61508, malgré son utilisation dans plusieurs définitions et abréviations. Cette probabilité représente tout simplement l'indisponibilité moyenne d'un système E/E/EP relatif μ_a la sécurité, qui rend ce dernier incapable d'effectuer correctement sa fonction de sécurité, lorsqu'il est faiblement sollicité [28].

La dénomination PFD utilisée dans la norme est d'autant moins adéquate. Elle désigne la probabilité de défaillance dangereuse à la sollicitation. La PFD_{avg} (Average Probability of Failure on Demand) est la mesure d'une indisponibilité moyenne sur une période spécifiée. Cette probabilité se distingue formellement d'une indisponibilité asymptotique (quand elle existe) ou stationnaire [21]. Cette distinction s'impose notamment pour les systèmes testés périodiquement et ne possédant pas de régime stationnaire. Elle est systématiquement ignorée, aussi bien dans la norme que par certains auteurs d'articles traitant du calcul des différentes architectures de base des SIS [21, 28-30].

Le Tableau I.2 ci-dessus montre les niveaux SIL et les exigences probabilistes correspondantes exprimées en termes de PFD_{moy} suivant le mode de fonctionnement.

I.5.5.2. Probabilité de défaillance dangereuse par heure (PFH)

La probabilité d'une défaillance dangereuse par heure (PFH) : Probability of a dangerous Failure per Hour, est parfois appelée fréquence des défaillances dangereuses, ou taux de défaillances dangereuses, ou nombre de défaillances dangereuses par heure. La probabilité de défaillance par heure n'est pas aussi citée dans la partie 4 de la norme IEC 61508-4 destinée aux définitions. Elle est indiquée dans le Tableau II.2 pour le mode de fonctionnement continu ou à demande élevée [18, 28].

Le Tableau I.4 montre les niveaux SIL et les exigences probabilistes correspondantes exprimées en termes de PFH suivant le mode de fonctionnement.

Tableau I.3 : SIL en mode forte demande ou demande continue.

Niveau d'intégrité de sécurité SIL	Probabilité de défaillance dangereux PFH
1	$PFH \in [10^{-6}, 10^{-5}]$
2	$PFH \in [10^{-7}, 10^{-6}]$
3	$PFH \in [10^{-8}, 10^{-7}]$
4	$PFH \in [10^{-9}, 10^{-8}]$

I.5.5.3. Fonction Instrumentée de sécurité (SIF)

SIF : Safety Instrumented Function: fonction de sécurité réalisée par un SIS avec un niveau d'intégrité de sécurité (SIL: Safety Integrity Level) spécifique, qui est nécessaire pour assurer la sécurité fonctionnelle (prévue pour assurer ou maintenir un état de sécurité de l'équipement à protéger par rapport à un événement dangereux spécifique) [6].

I.6. Conclusion

La sécurité fonctionnelle représente un enjeu crucial de la conception à l'exploitation des systèmes industriels modernes. A travers ce chapitre, nous avons exploré les fondamentaux de la sécurité fonctionnelle, en définissant les notions de base de sécurité en générale et de sécurité fonctionnelle des systèmes de sécurité. Nous avons mis en lumière les étapes de la gestion des risques, ces sont des étapes essentielles pour identifier, évaluer, et réduire les risques liés à l'utilisation des systèmes industriels.

Le cadre normatif, incluant des normes internationales telles que l'IEC 61508, joue un rôle déterminant en fournissant des directives et des exigences spécifiques pour garantir un niveau de sécurité acceptables. Ces normes encadrent les actions et les pratiques à adopter pour assurer la fiabilité et la sécurité des systèmes.

En abordant les systèmes instrumentés de sécurité, nous avons défini ces systèmes et illustré leur rôle crucial dans la prévention des incidents. De plus, nous avons discuté des différentes modes de fonctionnement et la notion d'intégrité de sécurité a été clarifiée, avec une attention particulière sur les niveaux d'intégrité de sécurité (SIL) qui déterminent les exigences de performance des systèmes.

Chapitre II : **Présentation** **du complexe** **RTE TRC.**

II.1. Introduction

SONATRACH est une entreprise publique algérienne la plus importante en Algérie et en Afrique, elle a été créée pour exploiter et commercialiser les ressources en hydrocarbures du pays ; Elle intervient dans l'exploration, le transport par canalisation, la production et le raffinage. Elle est classée 1ere compagnie en Afrique et 18eme dans le monde.

II.2. Présentation générale de SONATRACH [33]

Issue de la nationalisation des hydrocarbures en 1971, l'entreprise publique algérienne SONATRACH a été créée pour exploiter et commercialiser les ressources en hydrocarbures du pays. Ses activités diversifiées touchent toute la chaîne de production : exploration, exploitation, transport, raffinage. Elle s'est diversifiée dans la pétrochimie et le dessalement d'eau de mer.

La Société Nationale pour la Recherche, la Production, le Transport, la Transformation et la Commercialisation des Hydrocarbures, SONATRACH, est la première entreprise d'Algérie et d'Afrique. SONATRACH emploie environ 50 000 salariés (120 000 avec ses filiales) et produit annuellement 232,3 millions de TEP (2005), dont 11,7 % (24 millions de TEP) pour le marché intérieur. Elle est le 12^{ème} groupe pétrolier au niveau mondial, le 2^{ème} exportateur de GNL et de GPL et le 3^{ème} exportateur de gaz naturel.

Le groupe SONATRACH a divisé ses activités opérationnelles en 4 activités :

- l'activité Amont, AMT (recherche, exploration et production),
- l'activité transport par canalisation (TRC) des hydrocarbures liquides et gazeux,
- l'activité Aval (raffinage, pétrochimie),
- L'activité Commercialisation (COM).

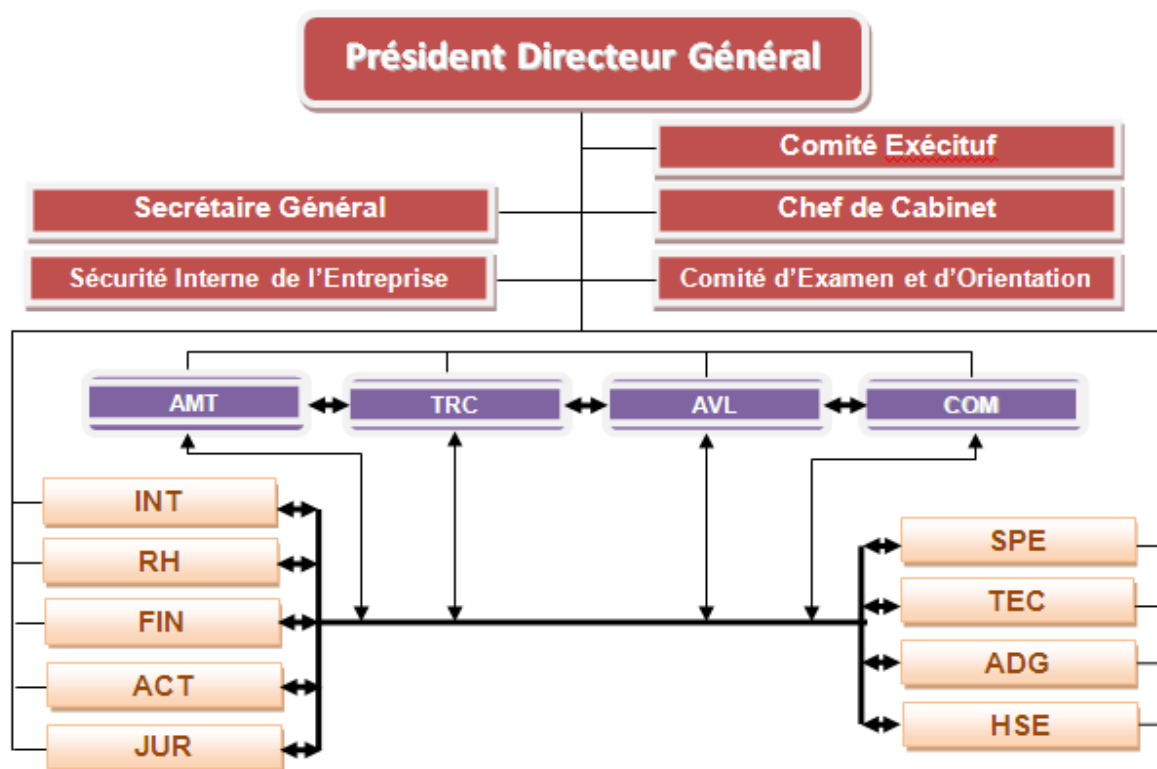


Figure II.1 : Organigramme de SONATRACH.

II.2.1. L'activité de transport par canalisation en Algérie [32]

Le transport par canalisation en Algérie est géré par l'entreprise nationale dénommée 'TRC' (transport par canalisation) dont le siège est situé à Sidi-Arsine, Baraki, Alger. Cette entreprise est représentée sur tout le territoire national par des directions régionales.

La structure d'exploitation de TRC gère un réseau qui totalise 11 Gazoducs et 15 Oléoducs (Pétrole, Condensât, GPL) (figureII-2) ; d'autres ouvrages rentreront en exploitation dans le proche avenir. Cette gestion est assurée par les Divisions Exploitation et Maintenance. Quant à la construction de nouvelles installations, celle-ci est assurée par la Division Développement. La longueur totale de pipeline est de 17500kms environ destinés à l'exportation du gaz naturel. L'Enrico Mattei(GEM) relie l'Algérie à l'Italie, via la Tunisie, et le Pedro Duran Farell (GPDF) relie l'Algérie à l'Espagne, via le Maroc.

La maintenance constitue une fonction vitale de l'Activité Transport par Canalisation. Elle est les principales maintenances du réseau transport par canalisation et intervient sur le parc des machines tournantes de TRC.

TRC gère plusieurs projets qui sont en cours de réalisation :

La construction de l'oléoduc LZ2 (oléoduc Arzew) permettra à TRC de renforcer et de sécuriser sa chaîne GPL. Le GZ4 (gazoduc Arzew), qui traverse six wilayas, assurera le transport du gaz naturel algérien de Hassi R'Mel à Béni Saf et alimentera le gazoduc Algérie - Espagne - Europe, le Medgaz, et alimentera, également, les centrales électriques de Hadjret Enouss et de Terga, le futur complexe d'aluminium et de pétrochimie à Béni saf et l'alimentation des postes de distribution publique (Sonalgaz).

Le GK3/GK4 (gazoduc Skikda) est destiné à augmenter la capacité des gazoducs GK1 et GK2 et alimentera le futur gazoduc intercontinental Galsi.

Le NK1 assurera l'évacuation du condensat de Haoud El Hamra à Skikda et alimentera en priorité le futur Topping de condensat qui est en cours de construction vers Skikda.

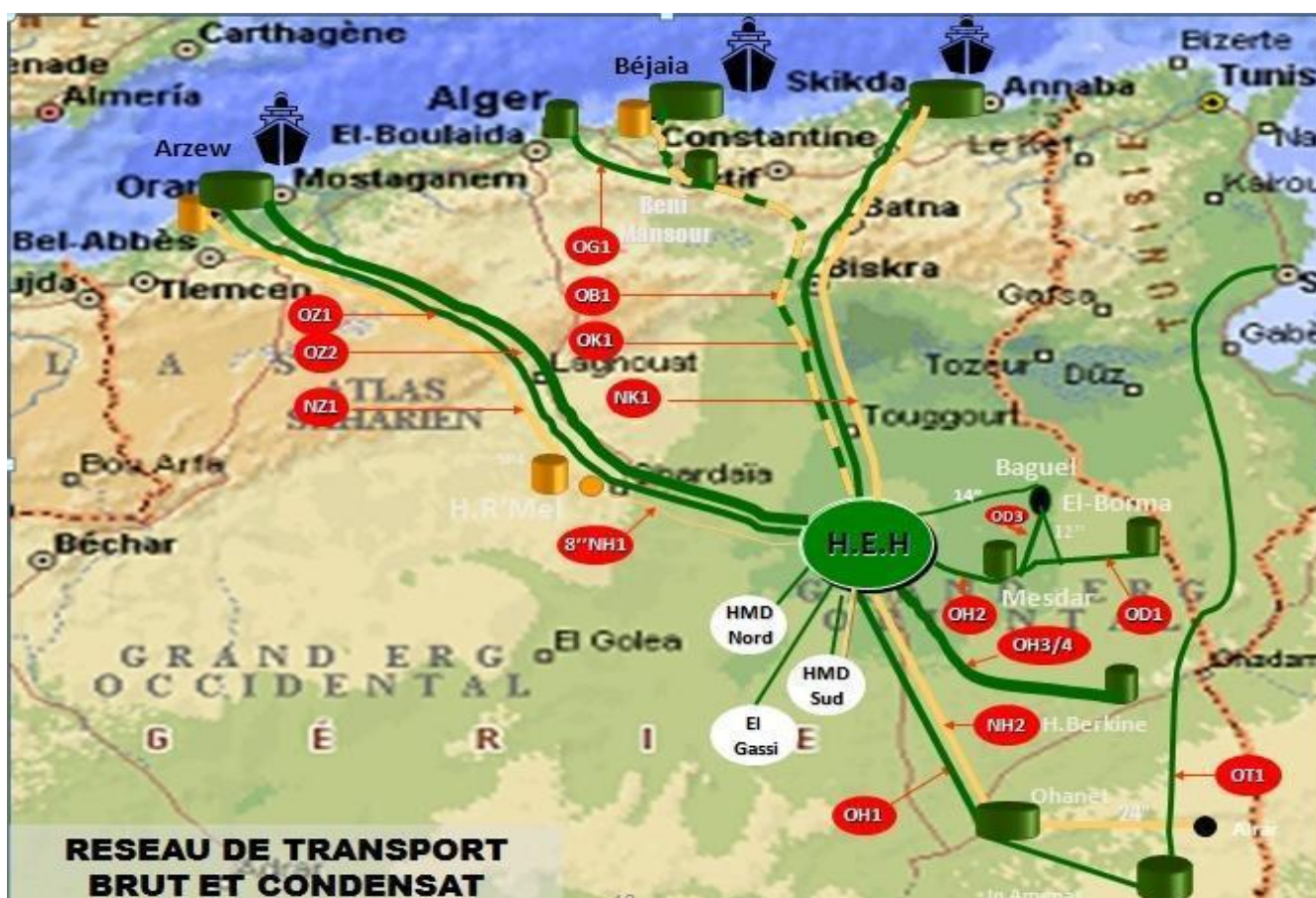


Figure II.2 : Réseau de transport brut et condensat.

Tableau II.1 : Etat actuel du réseau.

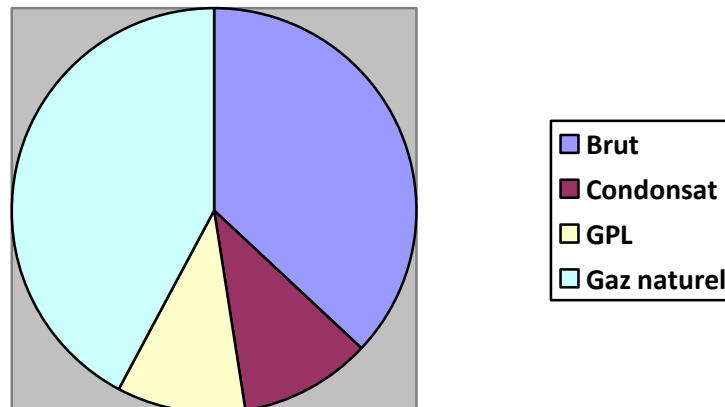
	BRUT	CONDONSA T	GPL	GAZ NATIRE L	TOTAL
NOMBRE DE STC	7	2	2	8	19
LONGEUR (KM)	4970	1072	2390	7462	18894
CAPASITE TOTAL	148	23	16	138	322
UNITE	MILLION DE TM			GM3	MTEP

GM3 : Milliards de mètres cubes contractuels.

MTEP : Millions de tonnes équivalent pétrole.

STC : Systèmes Transport par Canalisation.

TM : Millions de Tonnes Métriques.

**Figure II.3** : Les produits exploités par TRC.

II.3. Présentation de la région TRASPORT EST (RTE)

Notre étude a eu lieu au niveau de la région transport Est RTE de SKIKDA (DRGS). La variété des produits transportés et leurs natures (brut et condensat) font de cette entreprise un lieu de travail à haut risque.

RTE est l'une des activités SONATRACH donc elle est concernée par les différents changements apportés par SONATRACH

La région transport Est, est l'une des sept régions de la Division Exploitation de l'activité transport par canalisation TRC de SONATRACH.

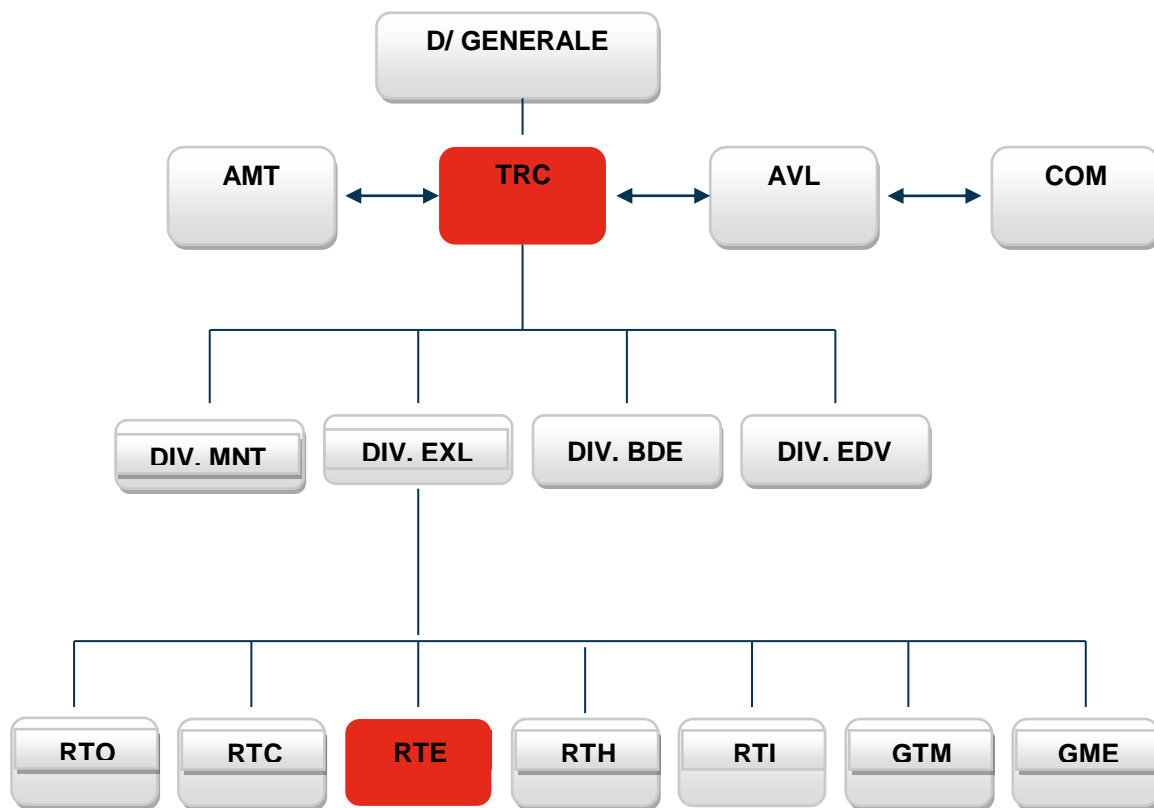


Figure II.4 : La place de la RTE dans l'organigramme du SONATRACH.

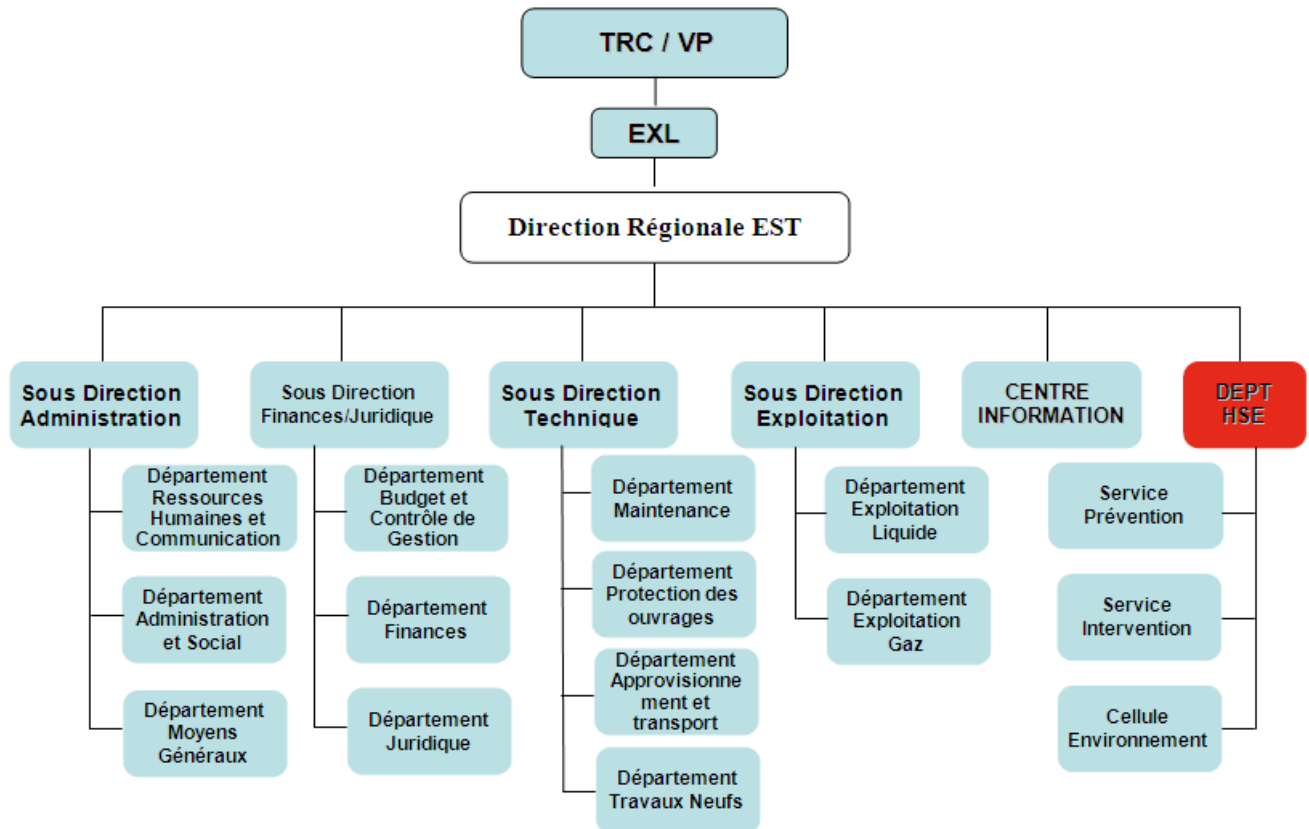


Figure II.5 : Organigramme de RTE.

II.3.1. Identification de l'unité

- Nom de l'unité : **Direction Régionale Skikda (DRGS).**
- Année de mise en exploitation : **1971**
- *L'unité est classée :* au sens du décret exécutif 98- 339, relatif aux établissements classés dans la première catégorie, des installations soumises à autorisation du ministre chargé de l'environnement, ceci conformément à la nomenclature prévue à l'article premier du décret.
- La Direction comprend un effectif de 939 agents dont 364 cadres, 473 agents de maîtrise et 102 agents d'exécution hautement qualifiés.

II.3.2. Situation géographique

Le site RTE objet de cette étude est situé au niveau de la wilaya de Skikda au Nord

Est de l'Algérie. Il s'étend sur une superficie de près de 113 hectares, et est implanté sur le côté sud-ouest de la zone industrielle de Skikda, située dans le Golfe de Stora comme représenté dans les figures ci-après,

Cette zone industrielle est implantée à environ 3 km du centre de la ville de Skikda, à environ 3 km de Hammadi Krouma. L'agglomération la plus proche est Hamrouche Hamoudi, est mitoyenne du dépôt RTE et Allaoua Teghan qui est à environ 100 m au sud de RTE.

Le site RTE est limité :

- ✗ au Nord par la raffinerie RA2K,
- ✗ à l'Est par la société Linde Gaz, PEC, la raffinerie RA1K et sa STEP,
- ✗ au Sud par l'agglomération Allaoua Teghan,
- ✗ à l'Ouest par l'agglomération Hamrouche Hammoudi.



Figure II.6 : Emplacement du site RTE.

II.3.3. Activités industrielles [35]

- Activité principale : **Transport des hydrocarbures liquide et gazeux par canalisation et stockage du pétrole brut.**
- Activité secondaire : **Entretien et maintenance des équipements.**

La région de Skikda assure le transport du pétrole brut et gaz naturel respectivement en provenance de Haoud El Hamra et Hassi R'Mel et les acheminent vers les terminaux arrivées oléoduc et gazoduc à Skikda.

Le brut est envoyé par des turbopompes dans un oléoduc OK1 (34") depuis

la région de Haoud El Hamra vers le terminal, en passant par des stations de pompage.

Une fois réceptionné et stocké dans des réservoirs de 51200 m³ chacun, après une décantation de 24H à 48H, le contenu des bacs est expédié en grande partie (90%) vers la raffinerie et le port pétrolier de Skikda pour exportation.

Quant au gaz naturel, du centre national de dispatching gaz de Hassi R'mel via les gazoducs GK1 (40") (à l'arrêt suite au problème de corrosion) et GK2 (42"), est successivement comprimé dans des stations de compression. Reçu au terminal arrivée gaz, subira une filtration préliminaire dans une batterie de séparateurs (06) pour être ensuite dirigé vers les vannes de régulation de pression et rampes de comptage; Les principaux clients sont l'unité de liquéfaction et fractionnement du gaz naturel et la centrale thermique, tous les deux situées à l'intérieur de la zone industrielle de Skikda.

II.3.4. Constitution de la Région de Transport Est

La région transport Est comporte les ensembles suivants :

- 3 Stations de pompages (turbopompes).
- 5 Stations de compression (chacune : 04 turbocompresseurs GE MS 3002 /Cooper Bessemer).
- Terminal arrivée oléoduc 34" (OK 34).

Au niveau de ce terminal, le pétrole brut est réceptionné, stocké, transféré vers les installations portuaires ou livré au complexe de raffinage RA1K de Skikda.

- Terminal arrivée gaz naturel (GK 1 40" et GK 2 42").

Au niveau de ce terminal, le gaz naturel est réceptionné, il en est fait un comptage puis il est livré au complexe de raffinage RA1K de Skikda, à la centrale thermique ou au complexe CP1K.

- Parc de stockage du brut contenant 15 en exploitation et 03 en construction d'une capacité de 51200 m³ chacun et une pompe booster pour chaque bac [5].

- Les pompes de chargement au nombre de 10.
- Installation d'expédition du brut vers les boues du sea-line contenant des filtres, motopompes et la robinetterie associées (en cours de construction par FMC).

- la RTE dispose d'installations annexes telles que divers bâtiments administratifs, un magasin central. une sous-station électrique, deux laboratoires pour les analyses chimiques, une

infirmierie, une salle de conférences équipée pouvant contenir 260 personnes avec des salles attenantes. Tout comme elle dispose de deux parcs ce stockage de matériel. d'une station de carburant et d'un terrain de sport.

Tableau II.2 : Différents produits stockés au niveau du parc de stockage.

Nature	Conditions de stockage	Lieu de stockage	Dispositifs de sécurité
Pétrole brut	14 bacs toit flottant 51200 m ³	Parc de stockage terminal terrestre	1 cuvette de rétention par bac (25 600 m ³) Halon 1211 en couronne (automatique / détection couronne du bac) Réseau de mousse (5 couronnes sur un bac, 10 déversoirs, actionnement manuel par véhicule anti-incendie)
Condensat	4 bacs 51200 m ³	Parc de stockage terminal	
Eau de ballast et huiles récupérées	3 bacs 5000 m ³	Station de déballastage de l'ancien port (hors	

II.3.5. Les réalisations de RTE

Dans le cadre du développement de la Direction Régionale de Skikda, des actions d'envergure ont été initiées. Ces dernières ont pour but d'augmenter les capacités de transport et de stockage ainsi que l'amélioration de la souplesse de l'exploitation. Parmi ces actions, nous citerons, la rénovation et la modernisation de tous les systèmes de contrôle/commande des stations de compression.

Cinq nouveaux réservoirs sont en cours de construction dont deux sont pratiquement achevés. Ils contribueront à augmenter les capacités de stockage en pétrole brut et en condensât. D'autres projets d'importance cardinale ont été initiés par l'Activité, en l'occurrence l'édification de dix-sept bacs de stockage. Ce projet qui est

en cours de maturation augmentera sensiblement-les capacités de stockage de TRC. L'Est bénéficiera, également, d'un nouveau projet. Il s'agit du gazoduc GK3.II alimentera le futur méga train du complexe GLIK, le futur gazoduc Galsi reliant l'Algérie à l'Italie ainsi que les villes de l'Est algérien. L'oléoduc NKI est un autre projet en cours de réalisation. Destiné à alimenter le futur Topping condensât de Skikda, il transportera du condensât depuis Hassi Messaoud et In Amenas.

1971 – 2008 : 36 ans de réalisations

- **1971** : Mise en service du gazoduc GKI-40" (ligne nue).
- **1972** : Mise en service de l'oléoduc OK 1/34" (ligne, stations SPIet SP3, Terminal Arrivée)
- **1976** : Mise en service des stations de compression SCB et SCD du gazoduc GKI (phase 2).
- **1978** : Mise en service des stations de compression SCA. SCC et SCE du gazoduc GKI (phase 3).
- **1980** : Mise en service du nouveau port pétrolier de Skikda.
- **1988** : Mise en service de la station de pompage SP4 à Boumegueur sur l'oléoduc OKI/34".
- **1998** : Mise en service de la station de pompage SP2 à Djemaa sur l'oléoduc OKI/34".
- **2001** : Mise en service du gazoduc GK2/42" reliant Hassi R'mel à Skikda.
- **2005** : Mise en service de la station SP3 Bis sur l'oléoduc OKI-34".
- **2006** : Mise en service des postes de chargement en mer SPMI & SPM2.

La figure suivante (**figure II.7**) présente les procès de transport des hydrocarbures liquide.

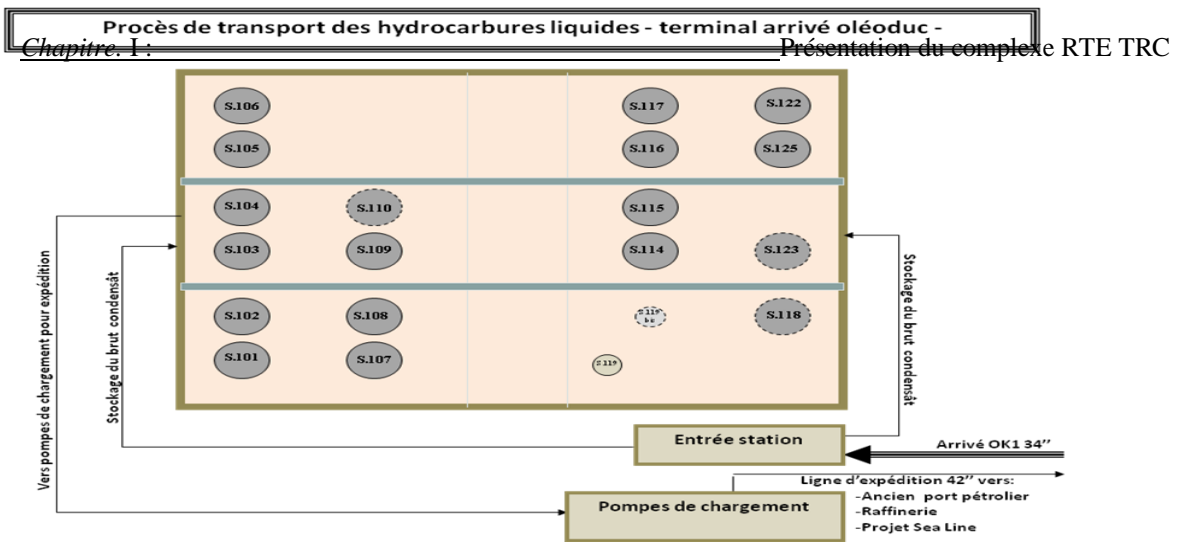


Figure II.7 : procès de transport des hydrocarbures liquides –terminal arrivé oléoduc-

La figure suivante (**figure II.8**) présente les procès de transport des hydrocarbures gazeux.

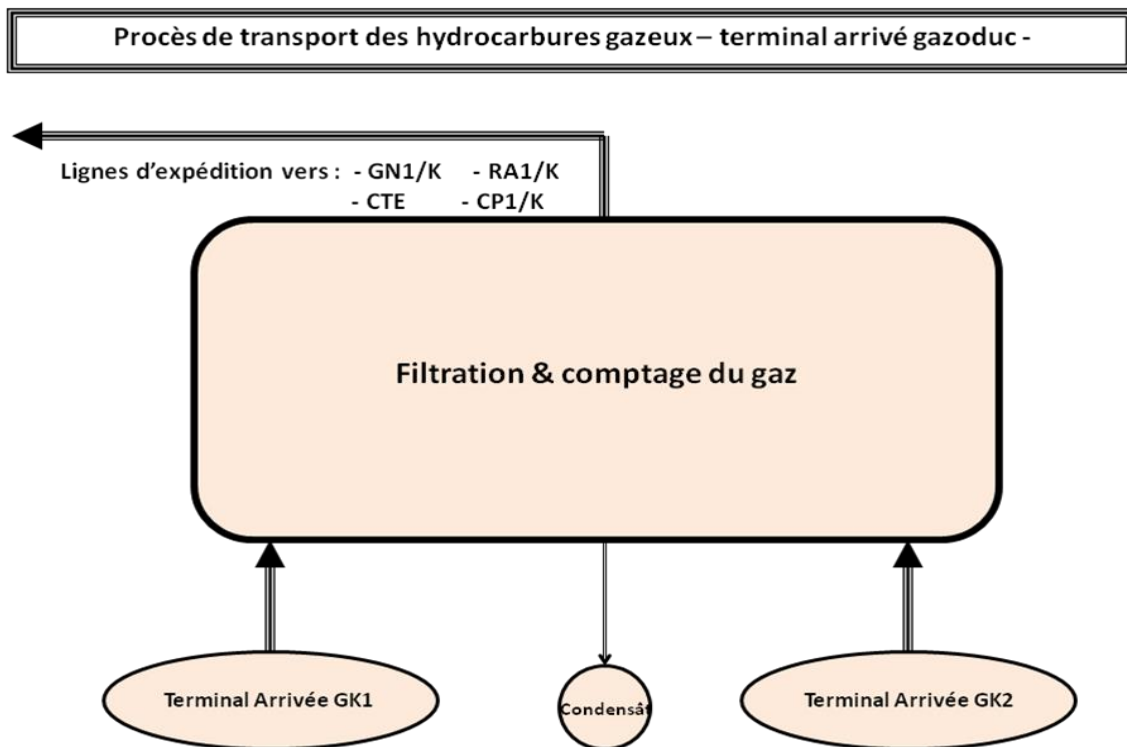


Figure II.8 : procès de transport des hydrocarbures gazeux –terminal arrivé gazoduc-

II.4. Structures de la RTE en relation avec les entreprises extérieures

Dans le cadre de notre étude, nous avons visité les différentes structures qui sont

en relation directe avec les entreprises extérieures. Il s'agit en l'occurrence de :

- **Sous-direction exploitation** : qui assure l'exploitation au niveau des terminaux arrivés liquides et gaz (dont il y a plusieurs chantiers de réalisation à l'intérieur du parc) ; et les stations de pompages et de compressions
- **Département Travaux Neufs** : c'est la structure qui assure le suivi de tous les nouveaux projets de la région.
- **Département Protection des ouvrages** : c'est la structure qui assure l'intervention sur la ligne en cas d'incident et elle prend en charge tout rénovation et réhabilitation des équipement.
- **Département maintenance** : le suivi des opérations effectuées par les entreprises tiers en matière d'entretien
- **Département juridique** : c'est la structure qui traite les cahiers de charge et les contrats des travaux avec les EE.
- **Département Moyens Généraux** : Il se compose de trois services : Intendance, intérieure et Entretien Bâtiments.

Le département a la tâche d'assurer la restauration du personnel, la dotation du mobilier et matériel de bureau des différents services de la Direction ainsi que les stations, l'accueil des délégations étrangères, de la prise en charge et des réservations des billets pour les missionnaires, l'organisation des festivités diverses (remises des médailles...), et le nettoyage des locaux.

Pour répondre aux différentes taches l'unité a décidé de faire appel à la sous-traitance, par conséquent la cantine, le transport et l'entretien sont prises en charge par des prestataires.

Les cadres du département élaborent les cahiers de charges ainsi que la supervision des travaux effectués par les sous-traitants, leurs avancements et leurs conformités.

II.4.1 Moyens d'intervention communs

Chaque unité dispose de ses propres moyens d'intervention dont l'organisation est décrite dans un plan d'organisation interne (POI).

Dans le cas où un accident survient et que les moyens propres à l'unité concernée se révèlent insuffisants pour le maîtriser, la FIR (Force d'intervention Rapide) intervient.

La Protection Civile peut intervenir en renfort de la FIR dans le cas où l'ampleur de l'accident le nécessite.

Un Plan d'Assistance Mutuelle (PAM) a également été établi : il s'agit d'un plan d'organisation des interventions mettant en œuvre, outre les moyens de l'unité concernée par l'intervention, la FIR, les moyens d'une ou de plusieurs unités avoisinantes et la protection civile. Son déclenchement et le commandement des opérations sont du ressort du directeur de l'unité. Les unités assistantes ont un rôle de soutien.

Le degré le plus haut en termes d'intervention est l'activation du plan ORSEC.

Le Plan ORSEC est le plan d'organisation des secours destiné à faire face à des événements d'une importance exceptionnelle, catastrophe ou sinistre de grande envergure.

Le déclenchement du plan et le commandement des opérations sont du ressort du Wali, saisi par le Directeur de l'unité concernée

II.5. Les différentes entreprises extérieures effectuant des travaux au terminal Skikda

Au cours de ces deux dernières années la direction régionale Est a lancé plusieurs projets dont l'ampleur est considérable, par conséquent elle a fait appel à des entreprises extérieures, nationale et internationale, pour la réalisation de ces travaux ; ces derniers ont fait appelle aussi à des sous-traitants pour effectuer quelques parties des projets fixés par les cahiers des charges.

Les principaux projets en cours de réalisation au niveau de la direction de transport Est sont :

- Réalisation du terminal arrivé et de la station condensat NK1, projet effectué par l'entreprise ABB/SARPI (une association entre Sonatrach et l'italien ABB).
- Réalisation de la ligne de condensat NK1 ; projet effectué par l'entreprise Egyptienne PETROJET.

- Réalisation du système de télésurveillance STS ; projet effectué par l'entreprise CEGELEC.

Le raccordement du nouveau pipe RGK1 ; projet effectué par l'entreprise russe STROY TRANS GAZ.

Suite à l'envergure de ces projets ; les risques qui présentent sont considérable, de plus la plupart des travaux s'effectue à l'intérieure du parc de stockage (à haut risque) ; donc un simple incident causé par la négligence ou l'ignorance des travailleurs peut mener à des conséquences très graves.

La liste des entreprises effectuant des travaux au sein du terminal arrivé et au siège de la direction régionale du transport est la suivante :

Tableau II.3 : La liste des entreprises effectuant des travaux à la RTE.

Entreprises	Nature des Travaux	Nombre du personnel
ABB / SARPI / GTP	Projet NK1 (station)	385
PONTICELLI / KENZA	Réalisation du réseau de refroidissement à mousse (Terminal + Stations)	171
EQUITRA	Réalisation d'un bassin de stockage des boues (bourbier)	63
SOMIZ SPA / SAMI	Réhabilitation du bac S107	34
ENTREPOSE	Reconstruction des bacs S105/S106	31
GCCI	Sous-traitant d'ENTREPOSE	21
BINAMA Sarl	Réalisation de la nouvelle locale sécurité avec les installations anti incendie	13
Entreprise Tadjine	Sous-traitant CEGELEC	13
ENCC	Construction du bac S110	05
CEGELEC	Système de télésurveillance STS	75
PETROJET	Réalisation de la ligne de condensat NK1	NC
Stroy Trans Gaz	Réalisation du pipe RGK1	NC
EVOLUTECH	Sous-traitant CEGELEC	NC
CPECC (Chine)	Projet Topping Condensat	NC
GENITECH	Convention de maintenance des équipements de froid	A la demande

NC : non communiquée.

Remarque : pour les cinq dernières entreprises, le nombre de personnes se trouvant au site est fluctuant selon la demande pour certaines et non communiquée pour d'autres.

Chaque entreprise est supervisée par la structure qui correspond à son projet, sauf les projets à échelle nationale (comme le projet de système de télésurveillance STS réalisé par CEGELEC) sont suivis directement par la division Etude et

Développement (EDV) située au siège TRC.

II.5.1 Statistiques des accidents / incidents

Les statistiques des accidents / incidents causés par les entreprises extérieures ne sont pas mentionnées dans les rapports annuels, seulement les BRQ (bulletin de Reporting quotidien) contient des informations sur les accidents de ces entreprises, de plus, on ne mentionne généralement que les accidents graves et visuels.

La source qui déclare les accidents, dans la plus part des cas, est les superviseurs et les agents de SONATRACH (souvent Les responsables et les agents des entreprises extérieures ne déclarent pas les accidents, par peur de sanction ou par peur de subir des pénalités empêchant, d'après eux, l'avancement de leurs projets).

Dans l'année 2007 il n'était mentionné que 7 accidents de travail des agents des EE, (étouffements, malaises, plaies, contusion de la jambe et des points de suture) avec un nombre des journées perdues égal à 48.

Pour la direction Régionale Est il y'avait 24 accidents avec 6458 journées perdues (un décès équivalent à 6000 journées perdues).

La majorité des accidents / incidents sont causés par les agents de sécurité interne DSP (chutes, efforts excessifs ou faux mouvements, lésions, exposition ou contact avec la température).

II.5.2 Observations et commentaires

- Le RTE est une zone à haut risque, dont les projets en cours sont considérables, il faut donc un système de gestion fiable et rigoureux pour la bonne marche de tous les travaux.
- Suite aux multiplicités des travaux sur les sites RTE, l'entreprise doit assurer une bonne coordination entre les différentes entreprises et bien gérer la Co-activité.
- Le grand nombre des ouvriers à l'intérieur du terminal arrivé rend la supervision HSE très difficile.

Tous ces points nécessitent une gestion organisée et efficace des travaux sur les sites RTE, ainsi nous allons proposer dans les chapitres suivant un système de

management des entreprises extérieures.

II.6. Bacs à toit flottant [35]

II.6.1 Toit flottant

Les toits flottants couvrent et flottent sur la surface du liquide contenu dans les réservoirs équipés de ce type de toit.

Ils présentent trois avantages :

- réduction des pertes par évaporation ;
- diminution des risques d'incendie ;
- diminution de la pollution atmosphérique (odeurs).

Ceci est obtenu par l'élimination presque totale de l'espace vapeur au-dessus du liquide. Les pertes à l'atmosphère de produits volatils par "respiration" (vidange et remplissage alternatifs et changement de température entre le jour et la nuit) sont ainsi pratiquement éliminées.

Il existe différents types de toits flottants :

II.6.1.1. Toit à "simple pont" (ponton annulaire)

Un toit flottant à simple pont est constitué d'un ponton annulaire formé de caissons compartimentés, l'intérieur de l'anneau étant bouché par une surface métallique étanche. Le rapport entre la surface des caissons et la surface totale du toit est fonction de la taille du réservoir, et aussi de la portance offerte par le liquide stocké. On sait que cette portance (poussée d'Archimède), dépend du poids du volume déplacé par le toit, donc de la densité du liquide stocké.

Les caissons de ponton constituent un matelas d'air qui protège le liquide contre une trop importante élévation de température due à la chaleur solaire.

La partie centrale, d'une seule couche de tôles, est libre de gonfler pour libérer l'espace nécessaire aux vapeurs qui peuvent se former. Les vapeurs ainsi

emprisonnées sous le pont central constituent elles-mêmes une couverture isolante.

Ces vapeurs se recondensent quand la température extérieure diminue. Les pontons sont compartimentés par des cloisons radiales, ce qui assure la flottaison du toit, même si la partie centrale et deux compartiments au maximum sont percés.

Le drainage des eaux de pluie est nécessaire, car la pluie, la neige, qui tombent sur le toit flottant, diminuent la flottabilité, augmentent la corrosion. Ces eaux doivent être évacuées à l'extérieur du réservoir par un tuyau flexible.

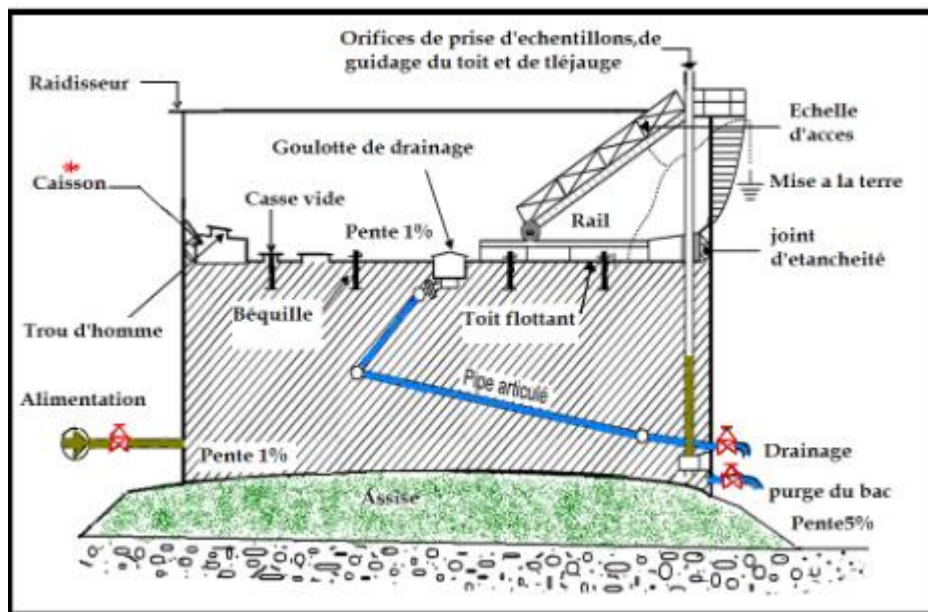


Figure II.9 : Bac à toit flottant, type ponton annulaire.

II.6.1.2. Toit à double pont

Le toit à double pont est constitué par 2 couches de tôle d'acier, séparées par un espace vide d'environ 40 cm compartimenté en caissons indépendants renforçant la structure du toit.

Ce type de toit est préféré pour les bacs de grand diamètre pour les raisons suivantes :

- Meilleure flottabilité en cas de surcharge (neige, pluie, ...) ;
- Meilleur drainage des eaux de pluie ;

- Vulnérabilité moindre aux vents violents ;
- Meilleure isolation thermique durant la saison chaude limitant la vaporisation de produit.

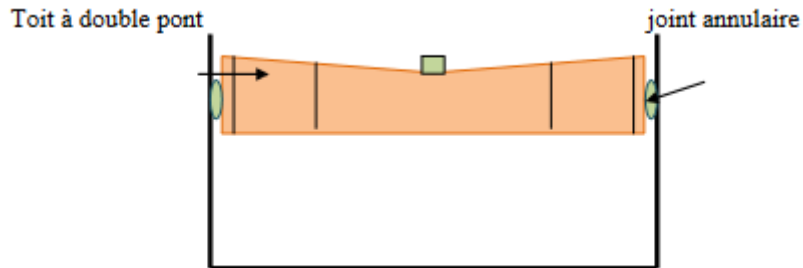


Figure II.10 : Type double pont, le caisson recouvre toute la surface du réservoir.

Voici des informations sur les bacs du RTE :

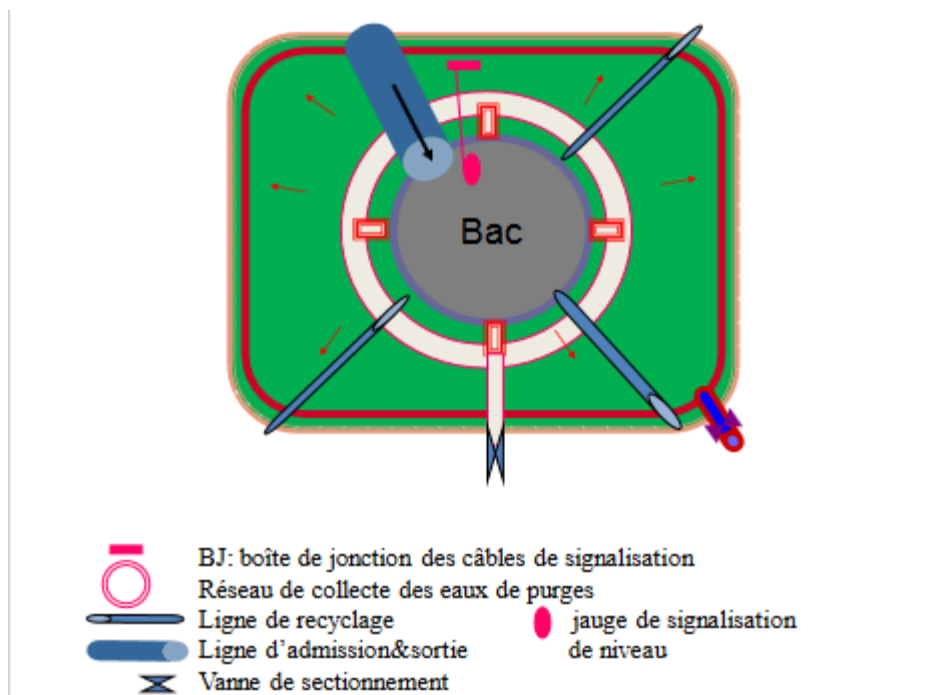


Figure II.11 : Les réseaux accordés du bac au niveau de l'RTE.

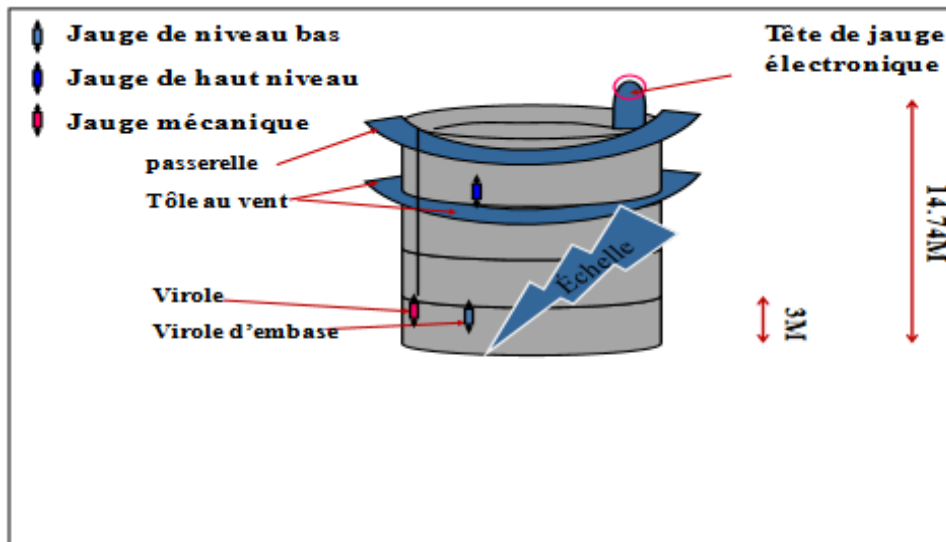


Figure II.12 : Les dimensions et les composants à l'extérieur d'un bac de stockage hydrocarbure de l' RTE.

- Diamètre : 66.75M
- Capacité : 51 200 M3
- Densité max. à recevoir : 0,825
- Chaque bac est lié à la terre par un câble électrique (03) prise de terre)
- Plusieurs (03 ou +) BJ sont connectées à une BJ centrale en dehors des cuvettes de rétention.
- Il y a que certains bacs qui possèdent une jauge mécanique
- Chaque bac est couvert par une double toiture, dont l'espace entre les deux est séparé en chambre indépendantes les unes des autres, accessibles d'en haut par des caissons pour faciliter l'entretien de l'installation ;
- Un trou d'homme pour d'éventuels travaux de nettoyage ;
- Un système de drainage qui va récupérer les eaux de pluies vers la fosse de purge ;
- Un Reniflard qui assure la respiration du bac ;
- Des béquilles amovibles pour gagner plus d'espace pour le pétrole ;
- Une jauge manuelle centrale pour l'échantillonnage ;
- Il existe deux systèmes anti-incendie, Hallon & mousse(USD).

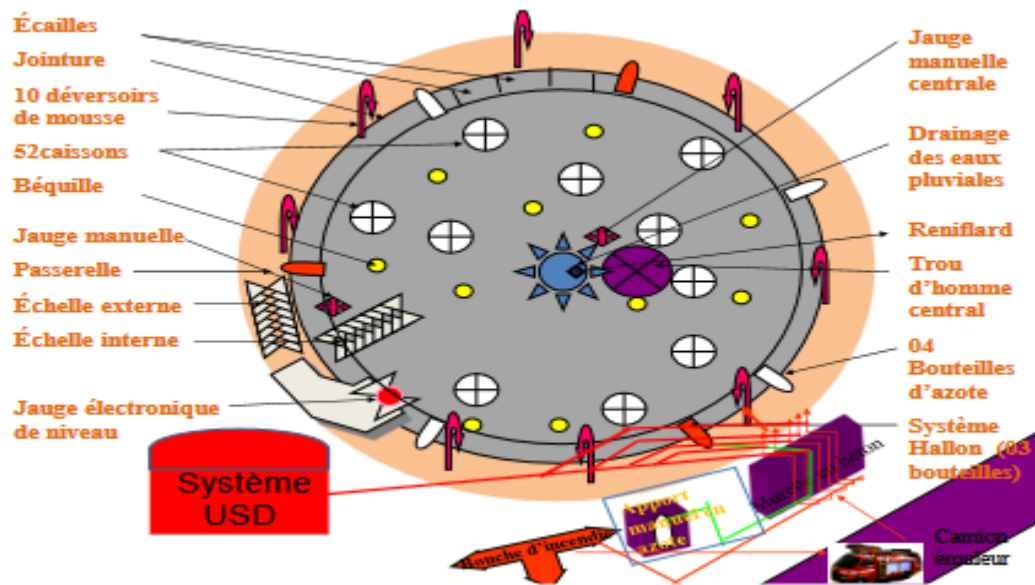


Figure II.13 : Les composants et Les systèmes anti-incendie placés au niveau du bac de stockage hydrocarbure de l'RTE.

II.7. Les différents risques au niveau du parc RTE [36]

On peut les classer selon leurs fréquences d'apparition : risques fréquents et risques rares.

II.7.1. Les risques fréquents

II.7.1.1. risque de corrosion

Dans le cas de RTE le phénomène de corrosion s'attaque aux bacs de stockage des hydrocarbures (brut). Ce phénomène attaque en particulier les fonds des bacs.

On distingue trois types de corrosion : chimique, électrochimique et bactérienne (la plus répandue et la plus coûteuse au niveau de RTE)

La lutte contre la corrosion, d'effectue par :

- Les revêtements ;
- L'apport des électrons ;
- Les inhibiteurs de corrosion ;
- Les bactéricides ;
- L'entretien des bacs de stockage ;

II.7.1.2. Risque Electrique

Dans les réservoirs, le risque électrique peut être engendré par : l'électricité dynamique, statique ou atmosphérique.

II.7.1.2.1. L'électricité dynamique

Elle est due à l'échauffement par surcharge, causé par la défectuosité des

systèmes de protection, des conducteurs et appareils électriques. Il est recommandé d'installer des systèmes antidéflagrants.

II.7.1.2.2. L'électricité statique

Elle est le résultat d'un phénomène connu sous le nom d'électrification par contact.

Les mesures de prévention contre l'électricité statique sont :

- ☒ La mise à la terre et l'établissement des liaisons équipotentielles entre les éléments du réservoir :
- ☒ La réduction de frottement.

II.7.1.2.3. L'électricité atmosphérique

Elle due à l'énergie libérée par la foudre dans un temps très court. Cette énergie développée aux points de choc peut allumer les vapeurs d'hydrocarbures.

La prévention contre l'électricité atmosphérique est : l'établissement des liaisons équipotentielles entre les éléments du réservoir, la mise à la terre et l'installation de parafoudres.

II.7.1.3. Risque Mécanique

Du aux mouvements du toit flottant. Durant le stade initial du remplissage d'un bac avec un hydrocarbure à bas point d'éclair (<20°C).

Même quand le point de remplissage est relié à la robe et cette dernière reliée électriquement a la terre.

Pour parer à ce risque, la vitesse de remplissage n'excède pas 1 m/s jusqu'au moment où le toit flottant sera à flot.

II.7.1.4. Risque Pression

Les produit stockés émettent des gaz dont la pression dépend de la température à laquelle l réservoir est exposé par suite au rayonnement solaire.

Les surpressions peuvent être dangereuses. Afin d'éviter ce danger, les bacs à toit flottant présentent l'avantage de limiter l'atmosphère gazeuse au-dessus du liquide, en outre ces toits munis de reniflards avec un arrête flamme. Ces reniflards aident à maintenir une pression de gaz, compatible avec la résistance du réservoir.

Afin de limiter les pertes par vaporisation, les bacs sont peints avec une peinture réfléchissante (Grise claire) limitant l'échauffement du réservoir par la chaleur du soleil.

II.7.2. Les Risque Rares

II.7.2.1. Risques de Débordement d'un Réservoir

Le débordement d'un réservoir, provient généralement d'un défaut de surveillance ou de l'expansion thermique, (phénomène de Boilover). Il doit donner lieu à des mesures particulières effectuées dans un ordre déterminé :

- ☒ Arrêter le remplissage ;
- ☒ Mettre en fonction le circuit de refroidissement ou arroser à la lance le toit et la paroi du réservoir ;
- ☒ Recouvrir le produit se trouvant dans la cuvette par une couche de mousse de protection ;

En Cas de fuite importante sur la paroi, procéder à la vidange du réservoir et pomper parallèlement les hydrocarbures se trouvant dans une citerne.

En cas de fuite par le fond, procéder comme ci-dessus, et maintenir une garde d'eau en cas de fuites non visibles à la partie inférieure du réservoir, en attendant la vidange de celui-ci.

II.7.2.1.1. Le Boilover

C'est la vaporisation brutale d'un volume d'eau chauffé provenant d'un réservoir d'hydrocarbure en feu.

II.7.2.1.2. Le Slop-over

Ce phénomène survient lors de lutte contre l'incendie d'hydrocarbure dans un réservoir. La surface du liquide en feu (en flamme) est à une température largement supérieure à celle d'ébullition de l'eau ; et quand l'eau l'atteint, elle se à bouillir et à sortir du réservoir et/ou de la cuvette de rétention

II.7.2.2. Risque de fuite importante

Dans le cas d'un écoulement de liquide important :

- ☒ Introduire de l'eau dans le réservoir jusqu'au niveau de la fuite, si celle-ci est située au bas de réservoir ;
- ☒ Si la fuite est en haut, il n'y a pas bien souvent assez de place, dans ce cas soutirer le produit.

II.7.2.3. Risque d'incendie

- ☒ Les différentes sources d'incendie au niveau du parc du stockage sont d'origine chimique, électrique, physique et thermique ;
- ☒ Un feu ne peut se produire si l'on supprime l'un des trois éléments du triangle de feu.

Ce sera le combustible ou le comburant puisque les sources d'énergie sont

trop nombreuses et difficilement contrôlables.

L'incendie d'un réservoir à toit flottant est généralement localisé à ces débuts à la périphérie du toit.

Si l'incendie est peu important, l'extinction peut être envisagée à l'aide du système d'extinction par le Halon ou d'extincteurs portatifs, dans des conditions particulières.

Si l'incendie est important et que le toit a été détérioré ou coulé, l'extinction s'obtiendra au moyen de la mousse projetée depuis le bas, par l'unité de stockage et de dosage (USD) tout en refroidissant la paroi.

II.8. Conclusion

Les statistiques des accidents / incidents causés par les entreprises extérieures ne sont pas mentionnées dans les rapports annuels, seulement les BRQ (bulletin de Reporting quotidien) contient des informations sur les accidents de ces entreprises, de plus, on ne mentionne généralement que les accidents graves et visuels.

La source qui déclare les accidents, dans la plus part des cas, est les superviseurs et les agents de SONATRACH (souvent Les responsables et les agents des entreprises extérieures ne déclarent pas les accidents, par peur de sanction ou par peur de subir des pénalités empêchant, d'après eux, l'avancement de leurs projets).

Dans l'année 2007 il n'était mentionné que 7 accidents de travail des agents des EE, (étouffements, malaises, plaies, contusion de la jambe et des points de suture) avec un nombre des journées perdues égal à 48.

Pour la direction Régionale EST il y'avait 24 accidents avec 6458 journées perdues (un décès équivalent à 6000 journées perdues).

La majorité des accidents / incidents sont causés par les agents de sécurité interne DSP (Chutes, efforts excessifs ou faux mouvements, lésions, exposition ou contact avec la température) donc :

- ✗ Le RTE est une zone à haut risque, dont les projets en cours sont considérables, il faut donc un système de gestion fiable et rigoureux pour la bonne marche de tous les travaux.
- ✗ Suite aux multiplicités des travaux sur les sites RTE, l'entreprise doit assurer une bonne coordination entre les différentes entreprises et bien gérer la Co-activité.
- ✗ Le grand nombre des ouvriers à l'intérieur du terminal arrivé rend la

supervision HSE très difficile.

Tous ces points nécessitent une gestion organisée et efficace des travaux sur les sites RTE, ainsi nous allons proposer dans les chapitres suivant un système de management des entreprises extérieures.

Chapitre III :
Analyse
qualitative des
risques liés au bac
de stockage de
brut 102

III.1. Introduction

Dans ce chapitre on s'intéresse à mettre en pratique ce que nous avons développé dans les chapitres précédents.

Pour mieux connaître la sécurité des processus industriels, nous avons opté une méthode d'analyse dysfonctionnelle c'est la méthode « HAZOP » Qui permet d'identifier les scénarios d'accidents possibles.

III.2. Généralité et définition sur l'analyse des risques

L'analyse du risque est définie dans le Guide ISO/CEI 51 :1999 comme « l'utilisation des informations disponibles pour identifier les phénomènes dangereux et estimer le risque ».

L'analyse des risques vise à atteindre les objectifs suivants :

- ✓ Identifier les dangers et prendre en conscience les risques qui peuvent planer sur les activités des parties prenantes et engendrer des dommages sur les personnes, les biens et l'environnement.
- ✓ Mettre des mesures correctives et préventives en fonction de la criticité des risques identifiés.
- ✓ Hiérarchiser les risques et les mesures de maîtrise de ses derniers.

L'analyse des risques : identifier les sources de dangers et les situations associées qui peuvent conduire à des dommages sur les personnes, environnement ou les biens. L'analyse des risques permet aussi de mettre en lumière les barrières de sécurité existante en vue de prévenir l'apparition d'une situation dangereuse (barrière de prévention) ou d'en limiter les conséquences (barrière de protection).

Consécutivement à cette identification il s'agit d'estimer les risques en vue de les hiérarchiser identifiée au cours de l'analyse et de pouvoir comparer ultérieurement ce niveau de risque aux critères de décision [11].

III.3. Importance d'analyse des risques

L'analyse des risques permet de tenir compte du contexte particulier de l'installation étudiée en considérant notamment :

- ✓ Les conditions particulières d'exploitation : phase normale ou transitoire (arrêt, démarrage) ;

- ✓ L'environnement immédiat de l'installation considéré (possibilité de synergies d'accidents ou d'effets dominos...);
- ✓ L'environnement général du site (cibles potentielles d'un accident majeur, agression externes..).

III.4. Approche d'analyse des risques

Risque d'inspection basée exige d'entreprendre une analyse de risque pour les systèmes et l'équipement d'étude. La forme de cette analyse peut changer considérablement, selon des circonstances, s'étendant des approches qualitatives descriptives aux approches quantitatives numériques. Cependant, dans toutes les approches, l'analyse de risque devrait contenir les étapes suivantes :

- ✓ Identification des mécanismes potentiels de détérioration et modes d'échec ;
- ✓ Evaluation de la probabilité de l'échec de chaque mécanisme ;
- ✓ Identification des scénarios d'accidents comportant l'échec de l'équipement ;
- ✓ Evaluation des conséquences résultant de l'échec d'équipement ;
- ✓ Détermination des risques de l'échec d'équipement ;
- ✓ Rang et catégorisation de risque.

Nous pouvons observer trois approches pour l'analyse des risques :

- ✓ Qualitative ;
- ✓ Semi quantitative ;
- ✓ Quantitative.

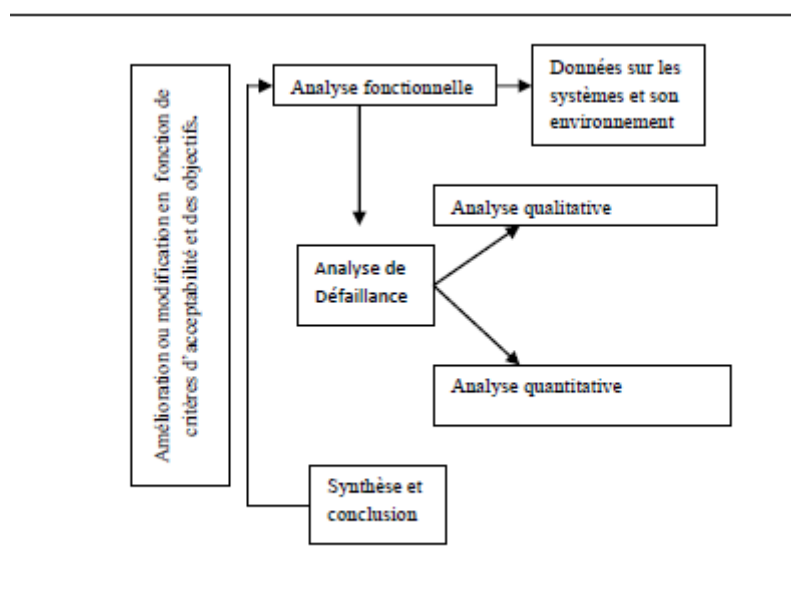


Figure III.1. Principales étapes d'une analyse de risque.

III.4.1. Analyse qualitative

Cette analyse à qualifier certains paramètres de la sûreté de fonctionnement d'un système précédemment étudié. Lors de cette étape on définit clairement l'objectif de l'étude et on précise les limites de résolution de l'analyse. La considération des éléments précédents, doit aboutir à la proposition d'une décomposition du système en composants, puis on procédera ensuite aux choix judicieux des méthodes les plus adaptées aux objectifs de l'étude au système à analyse et aux moyens dont on dispose. Ce qui permet par la suite d'aboutir à une modélisation du système et des défaillances l'affectant.

III.4.2. Méthodes d'analyse des risques [37]

Comme on a vu auparavant l'analyse des dangers et les situations associées qui peuvent causer des dommages sur les personnes, les biens, ou l'environnement est très important. Et pour la réussite de cette étape on a adopté plusieurs mesures notamment les outils ou les méthodes employées.

Les outils d'analyse des risques : sont des méthodes utilisées pour connaître les scénarios d'accidents possibles et ainsi, estimer les risques (la probabilité et la gravité) mentionnés dans ces scénarios.

Il y a un grand nombre d'outils (méthodes) pour identifier des dangers et des risques associés à un procédé ou une installation. Et il existe deux catégories des méthodes d'analyse des risques selon l'objectif sont : les méthodes qualitatives et les méthodes quantitatives.

III.4.2. Méthodes qualitative

III.4.2.1. Définition

Une étude qualitative s'appuie sur des opinions, des avis, des compréhensions des comportements et des impressions pour obtenir des informations sur erreur (défaillance des équipements) et leurs causes et conséquences possibles...

III.4.2.2. Quelques méthodes qualitatives

On a quelques méthodes qualitatives sont les plus utilisés dans l'industrie pétrochimie :

- L'analyse fonctionnelle AF ;

- Analyse des modes de défaillances et leurs effets et leur criticité (AMDEC) ;
- Arbre des causes (ADC) ;
- Analyse Préliminaire des Risques (APR) ;
- Hazard and OPerability (HAZOP).

Remarque : Pour analyser les dysfonctionnements du bac de stockage 102 que nous avons étudié, nous avons utilisé la méthode HAZOP.

III.4.3. HAZard and OPerability HAZOP [37]

Norme : CEI 61882 : 2001 « Etude de Danger et d'Exploitabilité » « HAZOP »

L'étude de danger et d'exploitabilité est une technique structurée et systématique a été développée par la société Imperial Chemical Industriel. Elle est appliquée à l'examen d'un système et utilisé pour les risques liés aux personnel et aux équipements, en vue d'identifier les causes et les conséquences et cherche des moyens adaptés de prévention.

Une caractéristique d'une méthode HAZOP est la session d'examen des systèmes thermo-hydrauliques pour lesquels des paramètres comme : débit ; température ; niveau ; pression... sont particulièrement importants pour la sécurité de l'installation.

III.4.3. Historique et domaine d'application de l'HAZOP

La méthode HAZOP, pour Hazard Opérability, a été développée par la société Imperial Chemical Industries (ICI) au début des années 1970. Elle a depuis été adaptée dans différents secteurs d'activité .L'Union des Industries Chimiques(UIC) a publié en 1980 une version française de cette méthode dans son cahier de sécurité n°2 intitulé «étude de sécurité sur schéma de circulation des fluides ».

Considérant de manière systématique les dérives des paramètres d'une installation en vue d'identifier les causes et les conséquences, cette méthode est particulièrement utile pour l'examen de systèmes thermo-hydrauliques, pour lesquels des paramètres comme le débit, la température, la pression, le niveau, la concentration sont particulièrement importants pour la sécurité de l'installation.

De par nature, cette méthode requiert notamment l'examen de schémas et plans de circulation des fluides ou schémas P&ID (pipe ling and Instrumentation Diagramme).

Pour chaque partie constitutive du système examiné (ligne ou maille), la génération (Conceptuelle) des dérives est effectuée de manière systématique par la conjonction de mots clés comme : **plus de ; moins de...**des paramètres associés au système concerné.

Des paramètres couramment rencontrés concernant la **température ; la pression ; le débit ; la concertation...**

Mot clé	+	paramètre	=	dérive	
Moins de				pression	Pression trop basse
Plus de				Température	Temperature plus haut
Pas de				Niveau	Capacité vide

Le groupe de travail doit déterminer les causes et les conséquences potentielle de chaque dérives et à identifier les moyens existants et prévenir l'occurrence. Et si les mesures insuffisantes le groupe propose des améliorations [37].

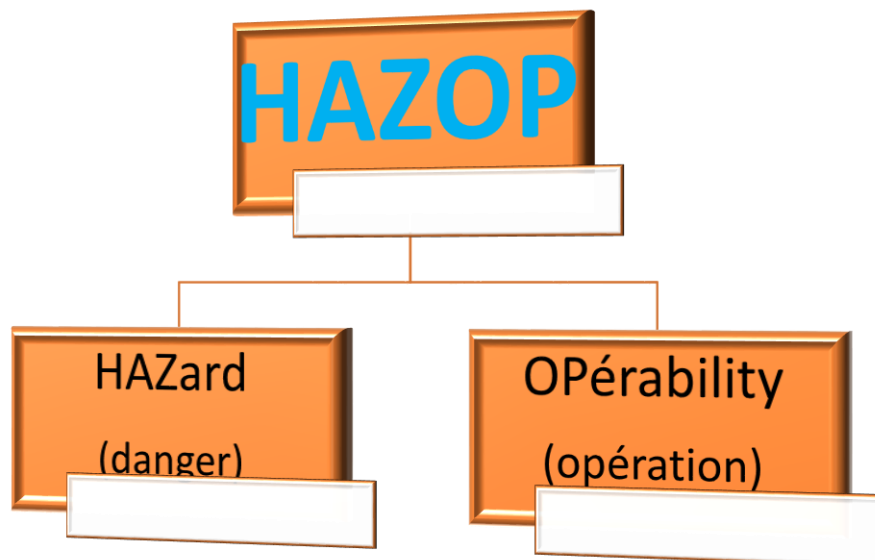


Figure III.2. : Signification de l'abréviation HAZOP.

III.4.4. Objectif de la méthode HAZOP [37]

HAZOP est une technique structurée et systématique appliquée à l'examen d'un système défini en vue de :

1. Identifier de danger potentiel dans le système, le danger peut se limiter à la proximité immédiate du système ou étendre ses effets bien delà, comme dans le cas des dangers environnementaux ;
2. Identifier des problèmes potentiels d'exploitabilité posés par le système et en particulier, l'identification des causes des perturbations du fonctionnement et des déviations dans la production susceptible d'entraîner la fabrication de produit non conformes ;
3. Evaluer les causes et les conséquences des déviations par une évaluation semi quantitative, et proposer des actions d'amélioration.

III.4.5. Déroulement de la méthode HAZOP [37]

- La méthode HAZOP suit le déroulement ou la séquence correspondant à l'analyse en procédant des entrées aux sorties dans une séquence logique, il existe deux séquences d'examen possible « élément d'abord » et « mot guide d'abord » ;
- Choisir une partie du plan de conception comme point de départ et expliquer ensuite l'intention de conception de la partie et identifier les éléments pertinents et toutes les caractéristiques associées à ces éléments ;
- Choisir des éléments et déterminer le mot guide qui doit être appliqué en premier ;
- Examiner la première interprétation applicable au mot guide dans le paramètre étudié ;
- Pour identifier la déviation, on recherche ses causes et ses conséquences possibles, dans certaines applications, il est utile de classer les déviations en fonction du niveau de gravité et de probabilité, basé sur l'utilisation de grille de criticité ;
- Vérifier la présence de mécanisme de détection et indication, de protection qui peuvent être n'empêche pas l'examen ou l'indication du problème d'exploitabilité potentiel, ni les tentatives de réduire la probabilité de manifestation d'un tel problème ou d'atténuer ses conséquences ;
- Vérifier qu'il existe des actions d'améliorations selon l'évaluation de la déviation ;

- Répéter ensuite le processus pour toutes les autres interprétations de ce mot guide, puis pour un autre mot guide, puis pour chaque déviation, puis pour chaque élément de la partie étudiée. Après l'examen complet d'une partie, le processus est répété jusqu'à ce que toutes les parties aient été analysées.

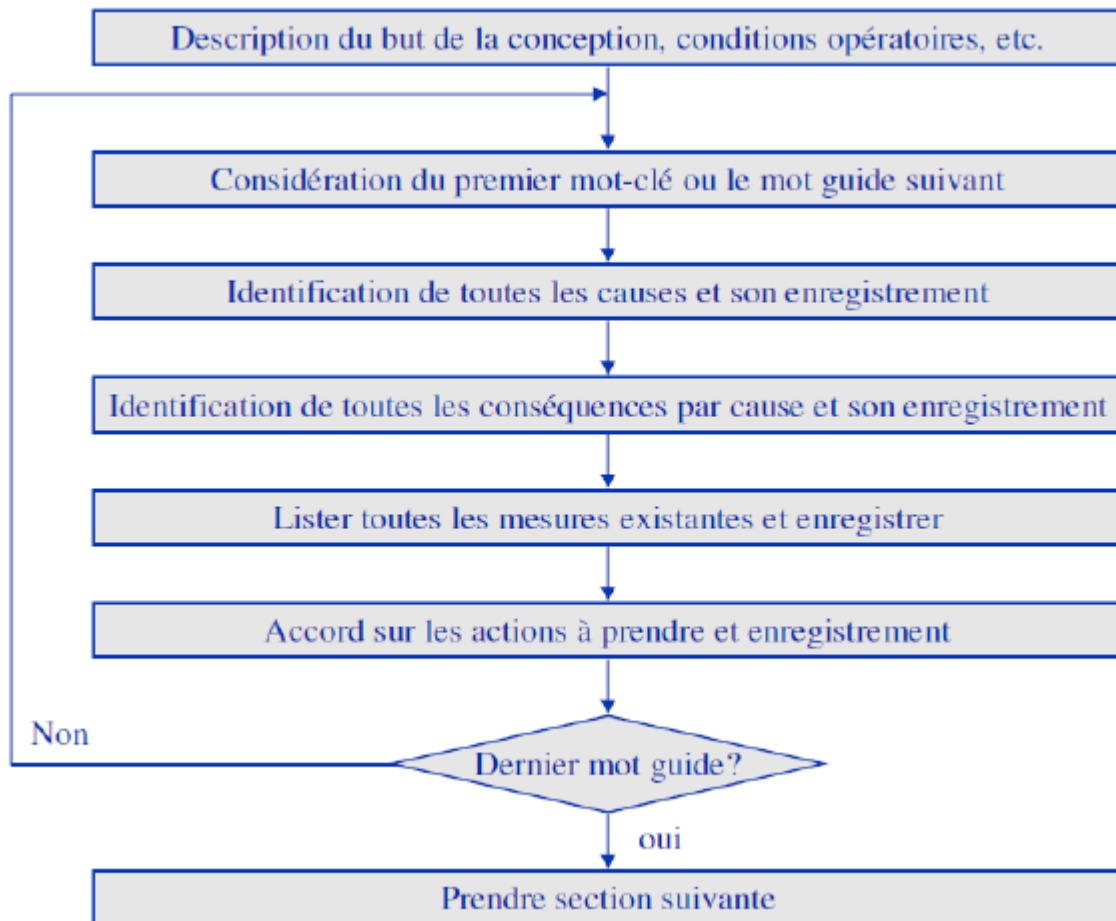


Figure III.3. : Déroulement de la méthode.

Un exemple de tableau pouvant être utilisé est présenté dans la figure suivante :

Tableau III.1. : Exemple de tableau pour HAZOP [38]

Date :								
Ligne ou équipement :								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
N°	Mot clé	Paramètre	causes	conséquences	détection	Sécurité existante	Proposition (amélioration)	observation

III.4.5.1. Les avantages et les limites de la méthode [37]

III.4.5.1.1. Les avantages de la méthode

- ✓ HAZOP est un outil particulièrement efficace pour les thermo-hydrauliques ;
- ✓ Méthode semi quantitative à utilisation simple ;
- ✓ Elle présente un caractère systématique et méthodique.

III.4.5.1.2. Limites de la méthode

Dans certains cas, cette méthode peut être perçue comme point faible puisqu'elle ne peut pas traiter les défaillances complexes faisant intervenir plusieurs processus. HAZOP permet difficilement l'analyse des événements résultant de la combinaison simultanée de plusieurs défaillances. Il est parfois difficile d'affecter un mot guide à une portion bien délimitée du système étudié. Cela complique singulièrement l'identification exhaustive des causes potentielles d'une déviation.

III.4.6. Application de la méthode HAZOP

III.4.6.1. Critère de choix du système d'étude

Le rôle de l'entreprise RTE est le transport du pétrole brut et du condensat, envoyés par des turbopompes dans un oléoduc OK1 (34") depuis la région de Haoud el Hamra vers le terminal. En passant par des stations de pompage, ils sont ensuite stockés et le contenu des bacs est expédié en grande partie (90 %) vers la raffinerie et le port pétrolier de Skikda pour exportation.

En raison du processus de stockage avant la distribution, les bacs présentent plusieurs risques importants et les travailleurs, les biens ainsi que l'environnement sont exposés à ces risques. Nous avons choisi le bac 102 pour éviter les risques liés à ce bac.

III.4.6.2. Description du système [33,34]

☞ *Description des bacs de stockage à toit flottant 102*

Le bac de stockage à toit flottant comprend une structure flottante directement posée sur le liquide. Ces réservoirs (bacs), Ces structures flottantes ont pour mission principale de réduire les pertes par évaporation en raison du produit volatil.

✓ **Le toit flottant** : est un disque mobile qui flotte sur le liquide en suivant les mouvements de descente et de montée du produit. Pour permettre ces déplacements, un espace annulaire libre existe entre le toit et la robe de la cuve. Il est obturé par un système d'étanchéité qui permet au toit de coulisser sans entraves à l'intérieur de la robe.

Il existe deux types de toit flottant :

✓ **Toit à ponton annulaire** : Caisson recouvre jusqu'à 50% surface du liquide.

Partie centrale libre de gonfler pour libérer espace aux vapeurs qui peuvent se former.

✓ **Toit à double pont** : c'est le cas de la DRG SKIKDA, constitué de 2 couches de tôles, séparées par un espace vide d'environ 40cm compartimenté en caissons renforçant la structure du toit.

Les réservoirs de stockage à toit flottant éliminent la perte de produit pendant le remplissage et réduisent les pertes par "respiration"

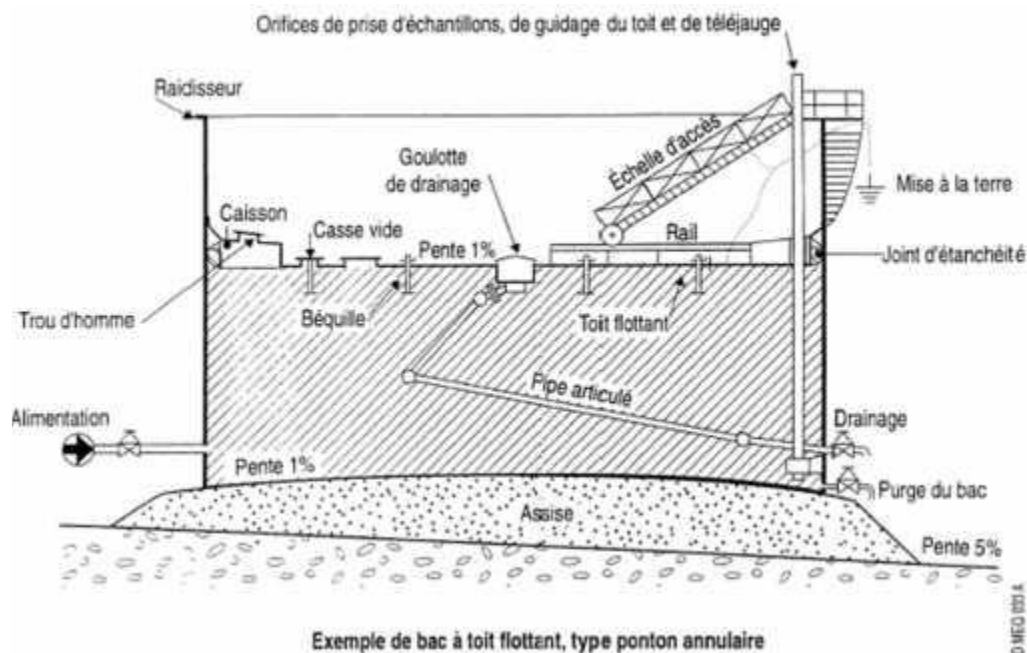


Figure III.4. :Exemple de bac à toit flottant' type ponton annulaire.

III.4.6.2. 1.Les accessoires du réservoir 102

III.4.6.2.1.1. Accessoires d'accès au réservoir 102

Les accessoires d'accès aux réservoirs comprennent : cuvette de rétention, escaliers, passerelles et échelle mobile.

- **La cuvette de rétention**

Une cuvette de rétention est une capacité destiné à recevoir les hydrocarbures s'écoulant accidentellement des réservoirs.

Une telle capacité peut être obtenue par délimitation d'un espace de terrain autour ou à proximité des réservoirs, à l'aide de merlons ou de murs, ou par formation d'une excavation autour ou à proximité de ceux-ci.

La capacité réelle d'une cuvette est celle qui est calculée suivant ses dimensions géométriques, sans tenir compte de la présence des réservoirs implantés dans cette cuvette.

- **Un escalier**

Un escalier d'accès à mains courants. Avec marches orientales.

- **Une échelle**

Une échelle mobile pour les bacs à toit flottant, cette échelle est menée d'une crinoline, lorsque la hauteur dépasse 10m, un escalier d'accès avec main courante.

- **Les passerelles**

Des passerelles ou plateforme fixes, menés de garde-corps, sont disposées de façons à permettre l'accès sans risque aux orifices de jaugeage et de respiration à moins que le toit soit bordé par un garde-corps dans la partie intéressée.



Figure III.5. : Les accessoires d'accès au réservoir.

III.4.6.2.1.2. Les accessoires de sécurité

Les accessoires de sécurité sont indispensables à l'exploitation du bac en toute sécurité, ses accessoires sont :

▪ Soupapes de sécurité

La nature du brut l'exige pour l'évacuation du gaz, la soupape est menée d'un ressort qui permet son ouverture automatiquement en cas de surpression à l'intérieur du bac, et se ferme automatiquement lorsque les conditions normales ont été rétablies.

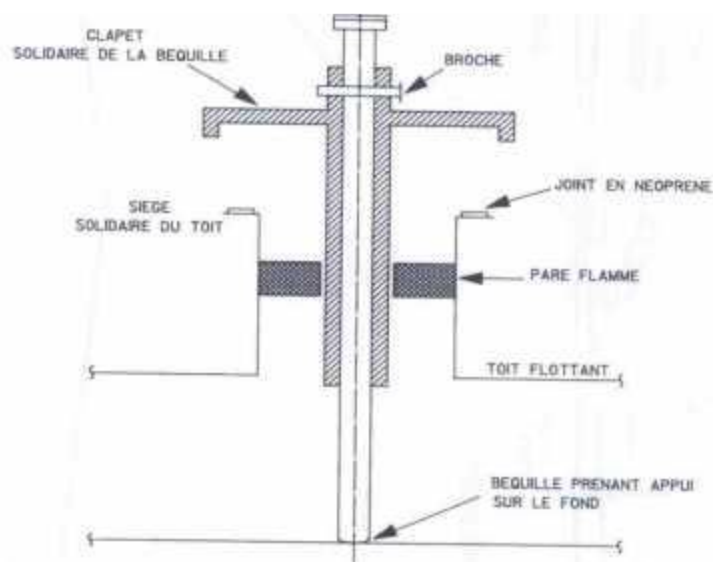


Figure III.6. : Exemple d'une soupape ouvert.

▪ arrêtes-flammes

Ces appareils sont destinés à empêcher la pénétration d'une flamme dans le réservoir. Ils sont constitués par des grilles ou des empilages de tôles endurcies d'aluminium, ils agissent par disparition de la chaleur et sont construits de la manière à ne pas créer que très peu de perte de charge. On place des arrêtes-flammes sur des événements ou à la sortie de soupapes de sécurité.

▪ La mise à la terre

Les réservoirs doivent être mis à la terre, de cette façon ils forment des cages faraday dont l'intérieur est préservé de toute influence électrique et l'écoulement des charges atmosphériques se fait dans des bonnes conditions.

Les réservoirs de DRG Skikda sont mis à la terre (03 mises à la terre chacun) étant donné qu'ils sont de grand diamètre, leur mise à la terre se fait en plusieurs points symétriques de leur robe (une prise tous les 20m).

Les mises à la terre ont plusieurs buts :

- ✓ Ecoulement au sol des charges électrostatiques produites par l'écoulement du produit dans les parois des réservoirs.

- ✓ Ecoulement au sol des courants de foudre (charges électriques résultant de la foudre) pour éviter tout amorçage d'arc et les destructions matériels qui pourraient en résulter.
- ✓ Ecoulement au sol des courants forts dus au défaut d'isolement du réseau électrique.

- **Drain d'évacuation des eaux de pluviales du toit**

L'évacuation des eaux pluviales est faite par des flexibles ou des tubes articulés.

De plus, en cas de bouchage de ce système, un drain de sécurité permet à l'eau de s'écouler dans le produit afin d'éviter que le toit ne coule.

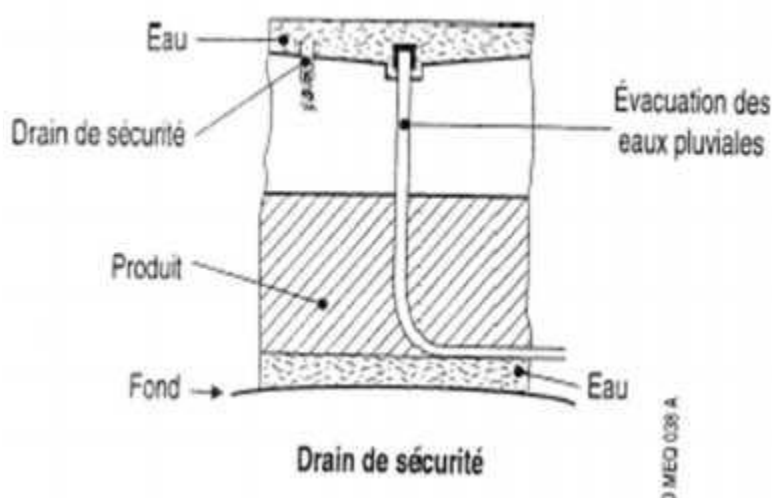


Figure III.7. : Exemple d'évacuation des eaux pluviales.

- **Circuit mousse**

Des diffuseurs placés en haut de la robe étalent sur la surface de du liquide un tapis de mousse capable d'étouffer les flammes en cas d'incendie. Pour assurer une couverture rapide et uniforme répartir judicieusement plusieurs diffuseurs installés sur le tour de réservoirs.

- **Les déversoirs**

Tubes défecteurs : qui ont pour but de ramener le jet de mousse contre la paroi du déversoir, la mousse découle le long de cette dernière jusqu'à la surface des hydrocarbures laquelle elle s'étale.

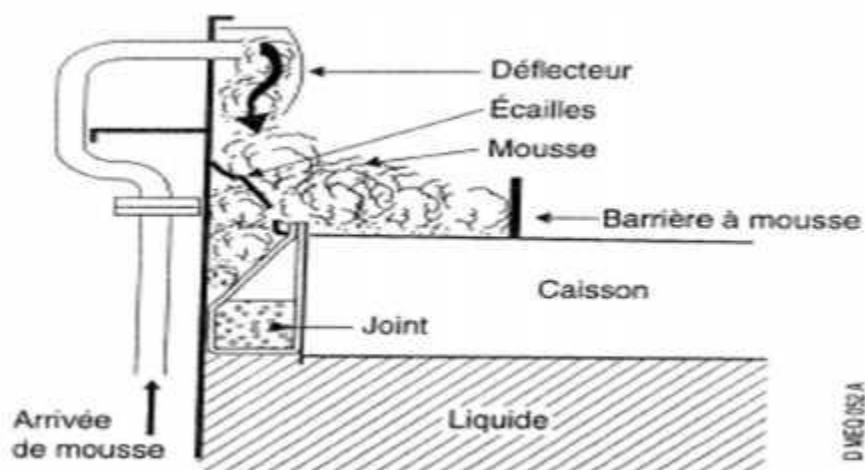


Figure III.8. : Exemple de circuit à mousse.

▪ **Système fixe de refroidissement :**

C'est une canalisation circulaire où se trouvent les têtes d'arrosage en gardant un certain intervalle. Les tuyaux d'alimentation en eau vers chaque réservoir sont raccordés avec la canalisation principale à incendie.

▪ **Système de détection et extinction automatique USD :**

- ✓ Composantes du système :
- ✓ USD (unité de stockage et de dosage).
- ✓ Bouteilles d'Azote.
- ✓ Des fusibles, contres poids.
- ✓ La couronne et les buses de diffuseurs.
- ✓ Fonctionnement du système :

Lorsque la température atteint 92°C les fusibles fonctionnent, provoquent la chute du contre poids sur le toit, qui percute la bouteille d'Azote, la libération de ce dernier à 125 bar percute à son tour l'USD.

III.4.6.2.1.3. Accessoires de contrôle et d'entretien

▪ **Joint d'étanchéité**

L'étanchéité entre le toit flottant et la robe du bac est assurée par des joints qui peuvent être réalisés de différentes manières. De plus, afin d'améliorer l'étanchéité entre robe et toit, de nombreux bacs sont équipés d'un système de double joint primaire et secondaire.

L'étanchéité entre la robe et le toit est maintenue par un "boudin" compartimenté rempli de kérosène ou de gazole. Ce dispositif est peu utilisé car en cas de percement, le joint perd son étanchéité.

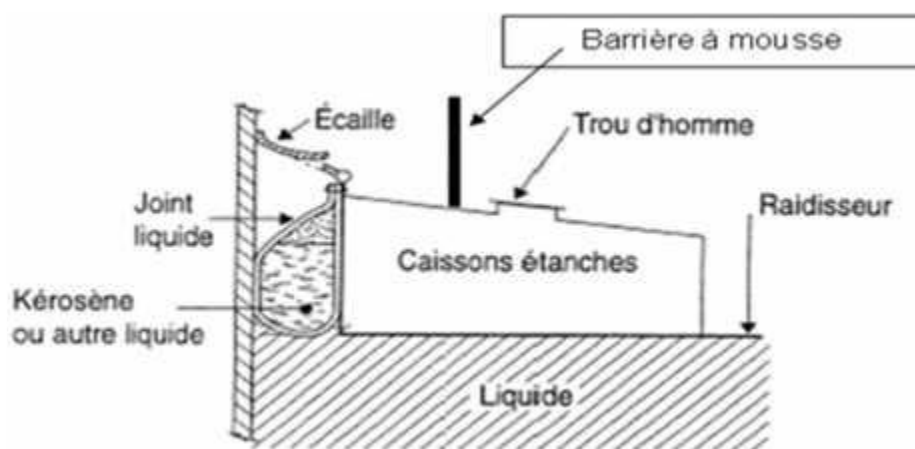


Figure III.9. : Joint (Kérosène ou Gazole).

▪ Trous d'homme

Les trous d'homme pour l'inspection des réservoirs et le nettoyage.



Figure III.10. : Exemple d'un trou d'homme sur le toit.

▪ Les caissons

Les caissons des toits flottants sont munis d'orifice permettant le contrôle de leur atmosphère.

▪ Les béquilles

Lorsque la hauteur du liquide ne permet plus de maintenir le toit en flottaison, son supportage est assuré par des béquilles. Le nombre de béquilles nécessaires dépend de la taille du bac.



Figure III.11. : Exemple d'une bécquille.

- **Système de jaugeage**

Le jaugeage, sert au prélèvement des échantillons. L'entrée des hydrocarbures dans les réservoirs doit se faire par le bas.

- **Un indicateur de niveau**

Il sert à indiquer le niveau de pétrole au niveau du bac, il est relié à la salle de contrôle par un transmetteur.

- **Réseaux de drainage des eaux de purge**

Équipé de quartes vannes (D1, D2, D3, D4) servent à la purge de l'eau après la décantation.

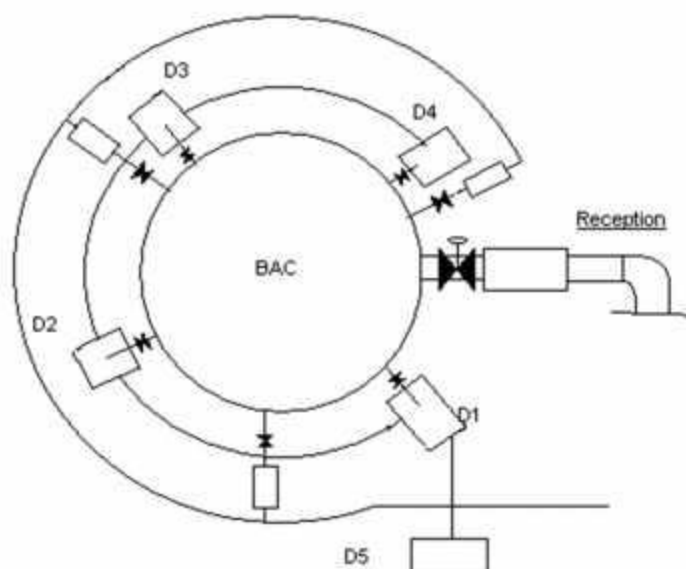


Figure III.12. : Les vannes de réservoir.

- **Les pompes booster d'expédition**

Les pompes booster fonctionnent en utilisant une source d'énergie, comme un moteur électrique ou à combustion, pour entraîner une roue ou une membrane qui aspire le liquide et le force à travers un orifice de sortie à une pression plus élevée. La pression d'augmentation fournie par la pompe permet de surmonter les résistances hydrauliques du système et de garantir un débit et une pression d'eau adéquats aux points de distribution.

✎ **La décomposition du bac « cas de bac S 102 »**

Le bac est pour le stockage du pétrole brut.

On considère le bac comme un système, et ces sous-systèmes sont :

1. Entrée principale :

- 1) Accès
- 2) Merlon
- 3) Cuvette de rétention

2. Ligne de réception/expédition :

- 1) Vanne pied de bac
- 2) Ligne de remplissage
- 3) Joint d'expansion
- 4) Vanne d'évent

3. Réseau de recyclage :

- 1) Vanne r1, r2, r3
- 2) Joints d'expansion r'1, r'2, r'3
- 3) Ligne de recyclage

4. Réseau drainage

5. Robe :

- 1) Escalier hélicoïdal
- 2) Trous d'homme
- 3) Le Corps du bac (robe) tôle en acier (viroles)
- 4) La mise à la terre

6. Toit flottant :

- 1) Echelle mobile
- 2) Caissons
- 3) Le joint d'étanchéité «joint primaire »
- 4) L'indicateur de niveau

- 5) La mise à la terre
- 6) Guide du toit
- 7) Béquilles
- 8) Soupapes de respiration
- 9) Circuit d'évacuation eaux pluviales
- 10) Joint secondaire à écaille

7. Réseau anti incendie :

- 1) Processus de détection / fil thermosensible
- 2) USD
- 3) Des fusibles, contres poids
- 4) La couronne et les buses de diffuseurs
- 5) Vanne principale du réseau
- 6) Circuit de pré-mélange
- 7) Circuit de refroidissement
- 8) Déversoirs / Générateur de la mousse

8. Système de pompier :

- 1) Pompe Booster d'expédition.
- 2) Clapet anti retour.
- 3) Vanne motorisé d'admission.
- 4) Tuyauterie.
- 5) Fosse de pompe.

III.4.6.3. L'application de la méthode

Nous avons effectué un stage pratique au sein de l'unité RTE (Région de Transport Est) sur le bac de stockage 102 dans le but d'analyser les risques qui lui sont associés à l'aide de la méthode HAZOP

III.4.6.4. Etablissement des critères d'acceptabilité

Dans notre cas, l'évaluation de l'acceptabilité et de sélection des scénarios d'accident sera faite à la base de la grille de criticité présentée ci-dessous :

Tableau III.2. : Grille de criticité adoptée par RTE.

Gravité	1				
	2				
	3				
	4				
		1	2	3	4
		Probabilité			

Avec :

Echelle des gravités :

Tableau III.3. : Classement de la gravité

Gravité	Personnel	Environnement	Public	Production/biens
G4	Plusieurs décès	Pollution hors limites de longue durée	Décès	Domage important et arrêt total de la production
G3	Incapacité permanente ou 1 décès	Pollution interne non maîtrisée ou pollution hors limite maîtrisée	Blessures significatives	Domage localisé et arrêt partiel d'unité
G2	Blessures significatives (AAA)	Pollution interne maîtrisée	Blessures mineures	Domages mineurs et arrêt bref de la production
G1	Blessure mineures (ASA)	Mineure	Pas d'incidence	Pas de dommage, pas d'arrêt de production

Echelle des occurrences :

Tableau III.4. : Classement de la probabilité

Probabilité	Description	Fréquence
P4	Très probable S'est produit fréquemment au sein de Sonatrach.	1/ an
P3	Probable S'est produit (ou pourrait se produire) au sein de Sonatrach, pourrait se produire pendant la durée de vie de l'installation	10^{-2} à 10^{-1} /an
P2	Peu probable Déjà (ou pourrait se) rencontré dans une organisation similaire à Sonatrach	10^{-4} à 10^{-2} /an
P1	Improbable Jamais rencontré ou entendu parler mais physiquement possible (ou rarissime)	$<10^{-4}$ /an

Niveaux de risque :

Tableau III.5. : Classification de risque

Classification de risque	Description
	Acceptable
	ALARP – améliorable
	Inacceptable

III.4.6.7. Les feuilles HAZOP

Tableau III.6. : Les résultats de l'application de la méthode HAZOP sur le bac S102.

RTE TRC

Equipement : Bac de pétrole brut 102.

Déviation		Causes	Conséquences	Moyens de détection	Protection	Gravité		
Paramètre	Mot clé					P	G	C
Température	Plus de	- Incendie au voisinage. - Effet thermiques externes (feu sur le toit, feu de cuvette, Augmentation de la température ambiante)	- Evaporation du Brute et augmentation de pression. - Dilatation de liquide confiné.	- Indicateur de température - Opérateur humain.	- Procédure d'intervention ; - Couronne de refroidissement ; - Moyens d'extinctions fixes et mobiles. - Alarme TAH sur le transmetteur TT ; - Operateur humain - Indicateur de	3	4	12
		- Haute température du brut venant des séparateurs. - Conditions climatiques.	- Brut instable. -Possibilité			3	4	12

			d'inflammation au d'auto inflammation.		Température			
		-Elimination insuffisante de chaleur défaut de refroidissement. -Feu extérieur ;	- Explosion de type boil-over.			2	4	12
		- erreur opérateur. - Défaillance de la boucle de régulation de la T.			- Alarme PAH sur le transmetteur PT ; - Operateur humain			
		- variation de pression.	- Refoulement des pompes.	- Operateur humain - Soupapes de respiration				

		<ul style="list-style-type: none"> -changement climatique ; - un feu au voisinage du bac ; -défaillance du système de refroidissement. 	<ul style="list-style-type: none"> -corrosion de la tuyauterie ; - Fissuration des cordonsde soudure ; - Rupture du bac. -Fissure au niveau de la virole. -fuite au niveau de la ligne deréception/expédition. -Incendie. 	<ul style="list-style-type: none"> - Operateur humain - -Indicateu de temperature 		3	4	12
Débit	Plus de	<ul style="list-style-type: none"> - Défaillance de clapet anti-retour de l'un des bacs voisins - Fuit dans la ligne d'expédition ou la purge de la ligne d'expédition 	<ul style="list-style-type: none"> - Libération de le pétrole brute. - Débordements du bac Risque 	<ul style="list-style-type: none"> - Soupape de sécurité. 	<ul style="list-style-type: none"> - Soupape de sécurité - Matérielles extinction fixe et 	4	2	8

		reste ouverte.	d'incendie/explosion		mobile			
	Moins de	<ul style="list-style-type: none"> - Vanne du bac fermé défaillante ou vanne du bac fermée (V₁ ou V₂ ou V₃) - Clapet anti retour défaillante fermée. 	<ul style="list-style-type: none"> - Augmentation de pression - Rupture du bac libération du condensat - Risque d'incendie/explosion. 	/	<ul style="list-style-type: none"> - Système d'extinction existant fixe et mobile 	3	3	9
Pression	Plus de	<ul style="list-style-type: none"> - Défaillance de détecteur de niveau LAH et LSHH ; - Défaillance de la boucle de régulation. - Défaillance de vanne de purge ; - Défaillance de vanne manuelle V1 (reste fermée) élévation 	<ul style="list-style-type: none"> - Rupture possible du bac - Débordement du pétrole brut - Ouverture des soupapes sur circuit de mise en froid. - Ouverture des soupapes au 	<ul style="list-style-type: none"> - Signalisation dans la salle de contrôle. - Moyens d'extinctions fixes. -Et mobiles - Alarme TAH sur le transmetteur 	<ul style="list-style-type: none"> - Ouverture de la vanne de garde manuelle et dépressurisation vers les torches. - Extracteur au toit du bac (PCV,PSV) - Procédure d'intervention - Couronne de Refroidissement 	4	2	8

		de température ; -feu externe ((feu sur le toit, feu de cuvette, ...))	refoulement des pompes incendie.		- Système de Refroidissement soupape.			
Pression	Moin de	- Cavitation de pompes 55IP03/04 - Vanne au refoulement des Pompes fermé. - Vanne 55HV401 défectueuse. - Vanne à l'aspiration du bac fermée. - Défaillance de la boucle de régulation.	- Surpression du bac ; - Expansion Thermique et Flash (boil-off) du brut dans le bac et possibilité de rupture (éclatement) du toit ; - Feu dans le bac avec Possibilité de BoilOver ; - Endommagement de La Garniture des Pompes 551P03 /04 ;	- Manomètre au refoulement des pompes.	- Refroidissement des pompes 55IP.	1	3	3
NIVEAU	PLUS E DE	- Très haut débit d'alimentation - Défaillance de vanne manuelle (reste ouverte) - Non fonctionnement de pompes refoulement.	- Echange thermique. - Charge excessive sur les viroles. - Ouverture de la vanne 'PV' ensuite la 'PSV'.	- Gérer parsalle de contrôle. - Détecteur de niveau.	- Fermeture des vannes de remplissage du bac.	4	3	12

			Débordement du bac -Risque d'incendie/explosion					
	MOIN DE	-Défaillance de clapet anti retour -Fuites, - Bouchages dans les tubes. -Evaporation du brut à cause des variations de la pression et de température. -Rupture du bac ou problème dans les vannes -Défaillance dans les pipes.	-Rejet du brut à l'extérieur. -Création d'une atmosphère explosive (dispersion) -Incendie -Explosion	-gérer par salle de contrôle. -détecteur de niveau	-Vérification visuelle par un agent sur terrain -Arrêt de remplissage	3	2	6

III.4.6.8. Recommandations :

- Prévoir un système automatique de contrôle de la pression.
- considérer la nécessité d'installer des détecteurs de gaz
- Vérifier les moyens de prévention au niveau des séparateurs ;
- Vérifier l'existence de l'évent de purge (casse-vide) au niveau du toit du bac ;
- Ajouter une mesure contre la cavitation des pompes (arrêt automatique) : PSSL à l'aspiration ;
- Ajouter une mesure contre la cavitation des pompes (arrêt automatique) ;
- considérer la nécessité d'installer des détecteurs de gaz
- vérifier si le joint du toit est retardant du feu ;
- Vérifier l'existence d'une détection feu sur l'ensemble de la pomperie et système de déluge.
- Utiliser des gages et des matériaux de contrôle de qualité certifiée par des organismes mondiaux expédition du brut.

III.5. Conclusion

Les principaux dangers identifiés lors d'une HAZOP sur le bac de stockage 102 peuvent inclure : fuites et déversements, incendies et explosions, défaillances structurales, contamination du produit, problèmes de santé et de sécurité.

L'analyse HAZOP permet également d'identifier les barrières existantes en place pour atténuer ces dangers. Ces barrières peuvent inclure des procédures d'exploitation, des systèmes de sécurité, des formations pour le personnel, etc.

L'analyse HAZOP doit aboutir à des recommandations pour améliorer la sécurité du bac de stockage de brut. Ces recommandations peuvent porter sur la conception du bac, les procédures d'exploitation, la formation du personnel, les systèmes de sécurité, etc.

Dans le chapitre suivant, nous évaluerons de la performance probabilité de système instrumenté de sécurité installé contre les incendies provoqués par les éléments indésirables identifiés dans le tableau HAZOP.

Chapitre IV :

Détermination du SIL requis à l'aide de la méthode LOPA

IV.1. Introduction

L'HAZOP est l'outil adéquat (Crowl, 2001), qui répond à notre premier besoin, c'est-à-dire l'identification des scénarios et surtout les événements initiateurs qui mènent à la survenance d'accidents. Les événements initiateurs vont être les intrants de la méthode LOPA. Ces équipements ou systèmes, appelés barrières de sécurité, sont implantés dans les process industriels dans le but d'assurer le fonctionnement en sécurité. Il est important que ces barrières répondent aux exigences de certaines normes et certains niveaux de performance. Pour cela en utilisant la méthode LOPA pour déterminer le niveau d'intégrité de sécurité SIL.

IV.2. Présentation de la méthode LOPA (Layer Of Protection Analysis)

Contrairement aux techniques d'évaluation des risques purement qualitatives, l'analyse des couches de protection permet d'estimer la fréquence d'un événement redouté. Cette méthode intègre les couches de protection de l'entreprise, tant organisationnelles¹ que techniques. La méthode LOPA évalue la réduction du risque en analysant la contribution des différentes couches (des caractéristiques intrinsèques du process jusqu'aux mesures de secours) en cas d'accident. Elle est utilisée pour déterminer quel SIL est assigné à chaque FIS et elle permet de déterminer combien de couches de protection sont nécessaires pour ramener le risque à un niveau tolérable.

L'objectif est de calculer le risque résiduel exprimé en fréquence d'accident par an, ce qui impose de quantifier les fréquences d'occurrence des événements initiateurs et les probabilités de défaillances de chaque couche.

IV.2.1. Origine de la méthode [20]

La genèse de la méthode LOPA est présentée par le CPPS. D'après cet ouvrage, la méthode LOPA trouve ses origines dans deux publications :

– à la fin des années 1980, le Chemical Manufacturers Association (maintenant American Chemistry Council) publie Responsible Care Process Safety Code of Management Practices» qui introduit la notion de couches de protection et qui recommande de les prendre en considération dans le cadre du système de management.

- en 1993, le Center of Chemical Process Safety (CCPS) introduisait dans le «Guidelines for Safe Automation of Chemical Processes» la méthode LOPA. Dans cet ouvrage, la méthode décrite était à un stade d'avancement préliminaire, mais était déjà proposée comme alternative pour déterminer le niveau de SIL des SIF.
- En octobre 1997, lors du congrès international à Atlanta sur les méthodes d'analyses de risques organisé par le CCPS, le besoin de publier un ouvrage présentant la méthode LOPA a émergé des différentes présentations et discussions.

En parallèle, en Europe et aux États-Unis, les normes relatives au SIL (respectivement les normes IEC 61508/61511) étaient en pleine évolution et dans leurs premières versions, aucune de ces normes ne recommandait la méthode LOPA pour déterminer le niveau de SIL des SIF

Pour faire face aux évolutions normatives mais aussi méthodologiques initiées pour certaines par des industriels, en 1998, le CCPS décida de réunir des industriels et des experts en risques afin de démarrer un groupe de travail sur la méthode LOPA. Pour rendre accessible au grand public cette méthode, le CCPS publia en 2001 l'ouvrage «Layer Of Protection Analysis» (LOPA). De ce fait, la méthode LOPA est souvent considérée comme une méthode d'analyse de risques récente.

IV.2.2. Déroulement d'une revue LOPA

IV.2.2.1. Compétences nécessaires

La LOPA est une méthode d'analyse de risques menée en groupe de travail pluridisciplinaire.

Dans l'idéal, le groupe doit être composé de représentants des disciplines suivantes :

- sécurité ;
- instrumentation
- procédé ;
- maintenance et inspection ;
- exploitation.

La revue LOPA doit nécessairement être menée en groupe de travail car l'expertise de chaque discipline est nécessaire. Le tableau IV.1 précise les domaines pour lesquels l'expertise de chaque discipline est nécessaire au bon déroulement de la revue.

Tableau IV.1. : Tableau d'analyse de LOPA (exemple)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Événement <i>d'impact</i> (redouté)	Niveau de gravité	Causes initiales	Probabilité des causes initiales	Couches de protection					Fréquence <i>de l'événement</i> intermédiaire	Niveau <i>d'intégrité</i> SIF	Fréquence <i>de</i> <i>l'événement</i> réduit
				Conception Procédé	BPCS	Alarmes	Barrières mitigation	Réduction Supplémentaire IPL			

IV.2.2.2. Objectif de la méthode

La méthode LOPA est une méthode semi-quantitative développée dans l'optique :

- de juger de l'adéquation entre les barrières mises en œuvre et le niveau de risque visé ;
- de statuer sur le besoin de mise en œuvre de nouvelles barrières ;
- de définir les « exigences » minimales sur la probabilité de défaillance des barrières à mettre en place dans le cas où les barrières existantes ne permettraient pas de justifier d'un risque acceptable ;
- _d'évaluer la fréquence d'occurrence résiduelle d'un scénario d'accident.

La première étape de la méthode LOPA consiste à définir le scénario d'accident. Un scénario est composé d'un événement initiateur et d'une conséquence. Un scénario est composé à minima de deux éléments :

- un événement initiateur ;
- une conséquence.

L'un des principes de base de la méthode est qu'un scénario doit être composé d'un unique couple événement initiateur/ conséquence. Dans le cas où un même événement initiateur peut mener à différentes conséquences, il est alors nécessaire de définir autant de scénarios que de conséquences.

Un scénario peut, en plus des deux éléments définis précédemment, inclure :

- des conditions de réalisation qui correspondent à des conditions nécessaires pour que l'événement initiateur puisse aboutir à la conséquence envisagée
- la défaillance des barrières de sécurité mises en place vis-à-vis du scénario d'accident.

Cette méthode intègre toutes les couches de protection de l'entreprise, tant organisationnelles que techniques. La méthode LOPA évalue la réduction du risque en analysant la contribution des différentes couches (qui englobe l'ensemble des barrières depuis la conception du procédé jusqu'aux mesures de secours) en cas d'accident. L'ouvrage du CCPS introduit la notion de barrière de sécurité indépendante (IPL).

Dans le cadre de l'application de la méthode, seules les barrières de sécurité qui vérifient les conditions pour être retenues comme IPL sont à valoriser dans le calcul de la fréquence d'occurrence résiduelle du scénario.

La méthode LOPA trouve plusieurs applications :

- compléter l'analyse menée dans l'HAZOP si le groupe de travail considère le scénario trop complexe ou que les conséquences sont trop importantes
- déterminer les niveaux de SIL requis pour les fonctions instrumentées de sécurité (SIF) ;
- évaluer l'impact de la modification du procédé ou des barrières de sécurité ;
- analyser de manière plus détaillée certains scénarios d'accidents.

Aujourd'hui, le retour d'expérience montre que la méthode LOPA est principalement utilisée dans le cadre de l'application des normes SIL (IEC ou ISA). En revanche, les propositions de mise en place de barrières supplémentaires dans le but de réduire un risque ne doivent pas se limiter aux seules SIF.

La méthode LOPA peut aussi être utilisée comme une alternative à une analyse quantifiée en termes de fréquence d'occurrence et de gravité. À ce titre, la figure IV.1 présente l'exemple de répartition des méthodes d'analyse de risques proposé par le CCPS.

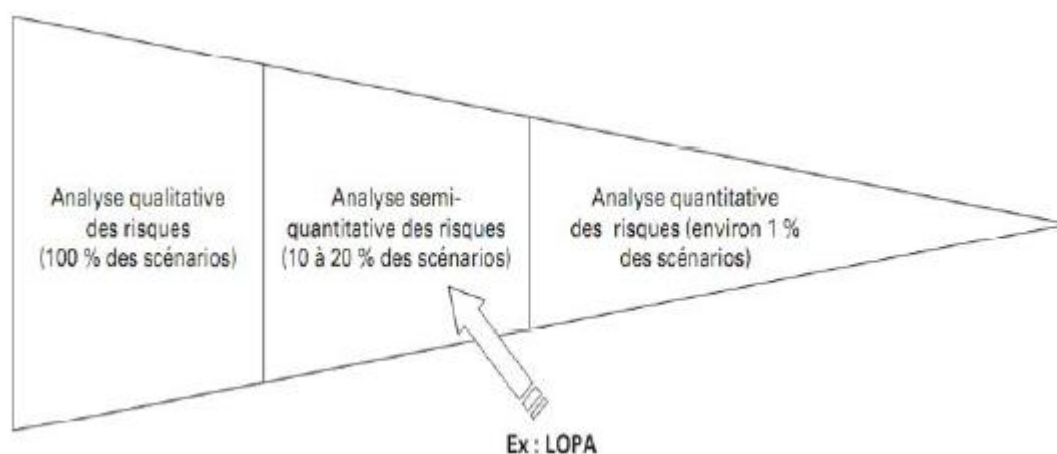


Figure IV.1. : Répartition des méthodes d'analyse.

IV.2.3. Domaine d'expertise

Tableau IV.2. : Domaines d'expertise des différents participants à une revue LOPA.

Sécurité	<ul style="list-style-type: none"> -Définition des scénarios d'accidents. -Évaluation des fréquences d'occurrence des événements initiateurs. -Évaluation des conséquences et des niveaux de gravité qui y sont associés. -Évaluation de la probabilité de défaillance des barrières de sécurité.
Instrumentation	<ul style="list-style-type: none"> - Définition de l'architecture des fonctions instrumentées de sécurité (SIF). -Évaluation de la probabilité de défaillance des SIF. -Connaissances sur les exigences des normes relatives au SIL (IEC 61508 – 61511).
Procédé	<ul style="list-style-type: none"> - Connaissance du fonctionnement du procédé (permet d'identifier les dérives, définir des modes et seuils de détection, etc.).
Maintenance et Inspection	<ul style="list-style-type: none"> -Connaissance des fréquences d'inspection des équipements (données qui influent sur la fréquence d'occurrence des événements de type « perte de confinement »). -Connaissance des périodes de test pour les barrières de sécurité (données nécessaires à l'évaluation de la probabilité de défaillance des SIF).
Exploitation	<ul style="list-style-type: none"> - Connaissance du fonctionnement des installations.

IV.2.4. Description des différentes couches de protection

Dans le cadre de la réduction des risques, on est amené à mettre en place différentes barrières prévues, soit pour agir sur la probabilité d'un accident (barrière de prévention), soit sur la gravité (barrière de mitigation et de protection).

Pour cela, la méthode LOPA introduit le concept de « couches de protection » présenté en Figure (IV.2) selon la **norme CEI 61511**.

Ce concept repose sur le principe que les moyens mis en œuvre dans le but de réduire les risques sont nombreux et diversifiés. Ces différents moyens sont prévus pour intervenir de manière graduelle dans le temps. En d'autres termes, ces différentes couches vont être « sollicitées » tour à tour avec pour objectif de « stopper » le déroulement du scénario d'accident ou d'en réduire les effets.

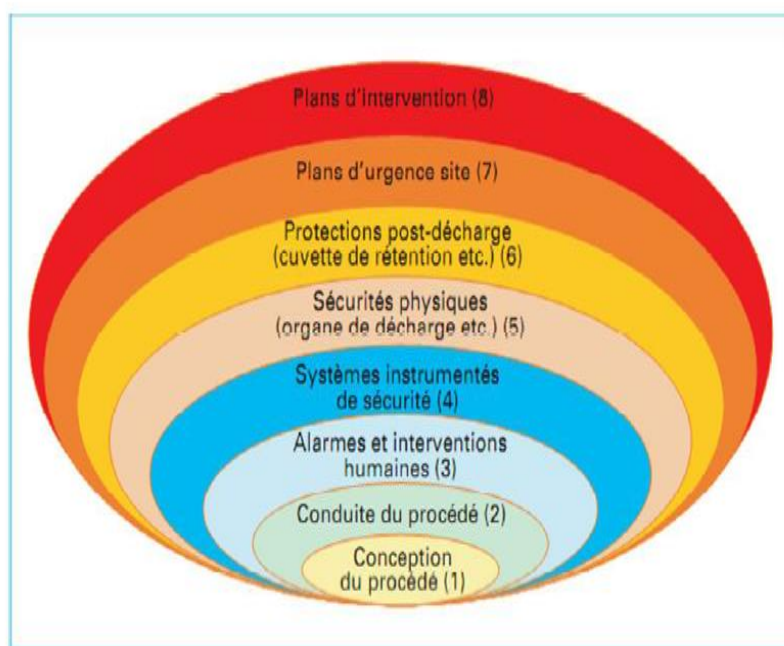


Figure IV.2. : Différentes couches de protection suivant LOPA [42].

IV.2.5. Principales étapes de la méthode

La méthode a pour vocation d'évaluer la fréquence annuelle résiduelle d'accident. Pour ce faire, il est alors nécessaire de pouvoir quantifier les fréquences d'occurrence des événements initiateurs et les probabilités de défaillances de chaque couche de protection.

Les principales étapes de la méthode LOPA sont les suivantes [41] :

1. Sélection d'un scénario d'accident

La méthode LOPA traite les scénarios d'accident les uns après les autres. Les scénarios à étudier à l'aide d'une LOPA peuvent être le résultat d'une phase d'analyse préliminaire telle que l'HAZOP.

Les scénarios sont alors ceux qui ont été identifiés par le groupe de travail comme devant faire l'objet d'une analyse complémentaire. Ce besoin peut se justifier soit par la complexité du scénario, soit par son niveau de gravité. En effet, il est possible que le groupe de travail considère que l'analyse de certains scénarios doit faire l'objet d'une analyse plus détaillée en termes de fréquence d'occurrence et de gravité. Un scénario pourra aussi faire l'objet d'une LOPA si une recommandation de mise en place d'une nouvelle barrière de sécurité a été faite en fin d'HAZOP.

2. Identification de l'ensemble des événements initiateurs pouvant être à l'origine du scénario d'accident

Les événements initiateurs sont les événements susceptibles d'être à l'origine de réalisation du scénario d'accident qui mène à la conséquence étudiée. Dans le cas où plusieurs événements initiateurs mènent à la même conséquence, ils doivent être traités de manière indépendante. Lorsque

la LOPA fait suite à une HAZOP, les événements initiateurs peuvent être sélectionnés en se référant aux causes identifiées dans l'HAZOP. Sinon, il est aussi possible d'utiliser des listes d'événements initiateurs « types » à étudier. Dans (Crowl, 2001), le CCPS précise que le déclenchement intempestif d'une IPL ne doit pas être considéré comme un événement initiateur.

En revanche, ce type d'initiateur devra être pris en compte lors de l'analyse des scénarios d'accident pouvant survenir durant les phases de redémarrage (entre autres lors de l'évaluation de la fréquence d'occurrence des phases de redémarrage).

3. Évaluation de la gravité des conséquences associées au scénario d'accident

Cette étape est certainement la moins « bornée » de toute la méthode. Tout d'abord, il est nécessaire de définir la manière dont la gravité des conséquences sera déterminée. Deux approches coexistent :

- Évaluation de la gravité au regard de l'intensité des phénomènes dangereux. Par exemple, pour une perte de confinement, l'évaluation de la gravité pourra se faire en se basant sur le débit de fuite ou bien sur la masse de produit relâchée.

- Evaluation de la gravité par rapport à une estimation des dommages consécutivement à la réalisation du scénario d'accident. Les dommages peuvent être évalués au regard des conséquences sur les hommes (morts ou blessés), sur l'environnement (pollution) ou encore financières (perte d'exploitation, dommages sur les équipements, etc.).

Dans les deux approches précédentes, l'évaluation de la gravité se fait généralement en se référant à des tables qui ont pour objectif d'orienter les choix du groupe de travail. Dans certains cas, la réalisation de modélisations pour évaluer l'intensité des phénomènes dangereux pourrait être envisagée. En revanche, dans ce cas, l'évaluation de la gravité ne pourrait pas se faire en temps réel et demanderait donc à être revalidée par le groupe de travail.

4. Identification de l'ensemble des mesures (ou couches de protection) qui permettent de prévenir du déroulement du scénario d'accident

Les barrières valorisées dans une LOPA peuvent être de plusieurs types. L'une des particularités de la méthode est d'intégrer les barrières organisationnelles. De même, la conception du procédé et son système de conduite (BPCS) pourront être valorisés comme des barrières. Il est important de rappeler que la LOPA impose :

- que les barrières soient indépendantes les unes des autres ;
- que les barrières soient indépendantes de l'événement initiateur (IPL) .Ce critère d'indépendance amène à la préconisation suivante :

Lorsque la défaillance du système de conduite BPCS est à l'origine de l'événement initiateur, celui-ci ne peut être valorisé comme barrière (approche recommandée par le CCPS dans Crowl, 2001).

Lors de la sélection des barrières, il est important de conserver à l'esprit la nécessité :

- ✓ de vérifier le bon dimensionnement de la barrière vis-à-vis de l'événement initiateur ;
- ✓ de documenter la justification des critères de performances alloués aux barrières car celles-ci pourront être « auditées » ;
- ✓ de pouvoir justifier du maintien dans le temps des critères de performance des barrières.

5. Évaluation de la fréquence des événements initiateurs

L'évaluation de la fréquence d'occurrence des événements initiateurs peut se faire à l'aide de valeurs d'occurrence déduites du retour d'expérience du site, du retour d'expérience d'un secteur d'activité ou encore d'avis d'expert. En l'absence de données spécifiques, des tables récapitulant des ordres de grandeur de fréquences pour des événements initiateurs « types » peuvent être utilisées (généralement, ces tables reprennent des valeurs issues de banques de données reconnues).

6. Évaluation des probabilités de défaillances à la sollicitation allouées aux différentes mesures

Dans la méthode LOPA, l'évaluation des probabilités de défaillances se fait à l'aide de valeurs «types » proposées dans l'ouvrage du CCPS (Crowl, 2001). L'utilisation de ces valeurs permet d'éviter de recourir à des méthodes de calcul lourdes. En revanche, il est important de conserver à l'esprit que ces valeurs ne constituent que des ordres de grandeur et qu'en fonction du contexte d'utilisation, de la politique de maintenance et de test des barrières, ces valeurs peuvent se révéler minorantes ou au contraire majorantes. Ce dernier point est aussi vrai pour les barrières organisationnelles ; en fonction du niveau de formation des opérateurs, les valeurs de probabilités d'erreur humaine peuvent être très différentes.

7. Évaluation de la fréquence d'occurrence du scénario d'accident en prenant en compte le facteur de réduction lié aux mesures mises en place (fréquence résiduelle)

L'évaluation de la fréquence d'occurrence du scénario d'accident se calcule à partir de la connaissance de la fréquence de l'événement initiateur et des probabilités de défaillances des barrières.

8. Définition des besoins en termes de barrières supplémentaires

La fréquence d'occurrence évaluée à l'étape 7 est comparée à une fréquence cible qui a été définie au début de l'analyse. Pour déterminer cette fréquence cible, un référentiel d'acceptabilité des risques est utilisé. À partir de la connaissance de la gravité des conséquences, il est possible d'en déduire la fréquence d'occurrence maximale admissible pour que le scénario soit en zone de risque acceptable. Ce référentiel d'acceptabilité des risques peut être, soit interne à un groupe, soit imposé par la réglementation en vigueur.

Si la fréquence d'occurrence du scénario est inférieure à la fréquence cible, la criticité du scénario est jugée acceptable et l'analyse s'arrête. Dans le cas contraire, deux solutions :

- ❖ envisager de mettre en place une nouvelle barrière ;
- ❖ envisager de modifier le procédé.

La seconde solution est rarement retenue car si la LOPA est menée dans une phase avancée d'un projet (ou sur une installation existante), la première solution sera toujours préférée. La seconde solution ne semble envisageable que dans les cas suivants :

- la LOPA est menée dans une phase de conception où il est encore possible de modifier les choix de conception ;
- la criticité d'un scénario est inacceptable et aucune barrière supplémentaire ne peut être mise en œuvre.

IV.3. Quantification des probabilités de défaillance des barrières

IV.3.1. Barrières actives

La méthode LOPA définit deux principaux types de barrières de sécurité pouvant être définies comme des IPL actives. Il s'agit des systèmes suivants :

- ❖ BPCS qui inclut détecteur(s), système logique et actionneur(s)
- ❖ SIF qui inclut détecteurs(s), système logique de sécurité et actionneur(s).

Les valeurs de **PFD** proposées pour les **SIF** (caractérisés par un niveau de SIL) sont en accord avec les valeurs rapportées dans la norme IEC 61511. Pour rappel, la probabilité de défaillance d'une SIF permet de déterminer son niveau de **SIL** (Safety Integrity Level) ou niveau d'intégrité de sécurité [20].

Tableau IV.3 : Probabilité de défaillance à la sollicitation pour les barrières actives [41]

Niveau d'intégrité de sécurité (SIL)	Probabilité de défaillance moyenne cible lors d'une sollicitation
4	$10^{-5} \leq \text{PFD}_{\text{avg}} < 10^{-4}$
3	$10^{-4} \leq \text{PFD}_{\text{avg}} < 10^{-3}$
2	$10^{-3} \leq \text{PFD}_{\text{avg}} < 10^{-2}$
1	$10^{-2} \leq \text{PFD}_{\text{avg}} < 10^{-1}$

IV.3.2. Barrières passives

Le tableau IV.4. : présente quelques valeurs de probabilité de défaillance de barrières de sécurité pouvant être définies comme des IPL passives. Ces valeurs sont extraites de l'ouvrage LOPA.

Le CCPS recommande d'allouer aux barrières passives une valeur de probabilité de défaillance dans le but d'éviter que les scénarios qui pourraient survenir en cas de défaillance de la barrière ne disparaissent de l'analyse de risques. En d'autres termes, le CCPS rappelle par ce principe qu'une barrière passive n'est pas « infaillible ».

Tableau IV.4. : Probabilité de défaillance à la sollicitation pour les barrières passives (ICSI)

IPL	Intervalle de probabilité de PFD issu de la littérature	PFD proposée pour la LOPA
Cuvette de rétention	10^{-3} à 10^{-2}	10^{-2}
Système de drainage	10^{-3} à 10^{-2}	10^{-2}
Évent	10^{-3} à 10^{-2}	10^{-2}
Ignifuge	10^{-3} à 10^{-2}	10^{-2}
Mur résistant à la surpression/bunker	10^{-3} à 10^{-2}	10^{-3}
Arrête flamme	10^{-3} à 10^{-1}	10^{-2}
Soupape de sécurité	10^{-3} à 10^{-1}	10^{-2}
Disque de rupture	10^{-3} à 10^{-1}	10^{-2}

IV.3.3. Barrières humaines

L'aspect quantification de la « fiabilité » humaine est relativement peu développé dans l'ouvrage dédié à la méthode LOPA.

L'ouvrage rapporte quelques probabilités de défaillance pour des actions post-accidentelles. Ces valeurs sont présentées dans le tableau IV.5.

Dans le CCPS met en garde vis-à-vis de l'utilisation de valeurs de PFD inférieures à celles rapportées dans le tableau IV.5. Lorsque ces barrières sont considérées comme des IPL, il est important de comparer la complexité des actions à mettre en œuvre et le temps disponible pour les réaliser. Le lecteur souhaitant plus de détails sur les facteurs susceptibles de modifier les probabilités d'erreur humaine pourra se référer au guide INERIS OMEGA 20 qui présente une démarche d'évaluation des barrières humaines de sécurité

La norme IEC 61511-3 rapporte quelques valeurs de probabilité d'erreur humaine qui sont pour la plupart du même ordre de grandeur, Ces valeurs sont présentées dans le tableau IV.5.

Tableau IV.5. : Probabilité de défaillance à la sollicitation pour les barrières humaines.

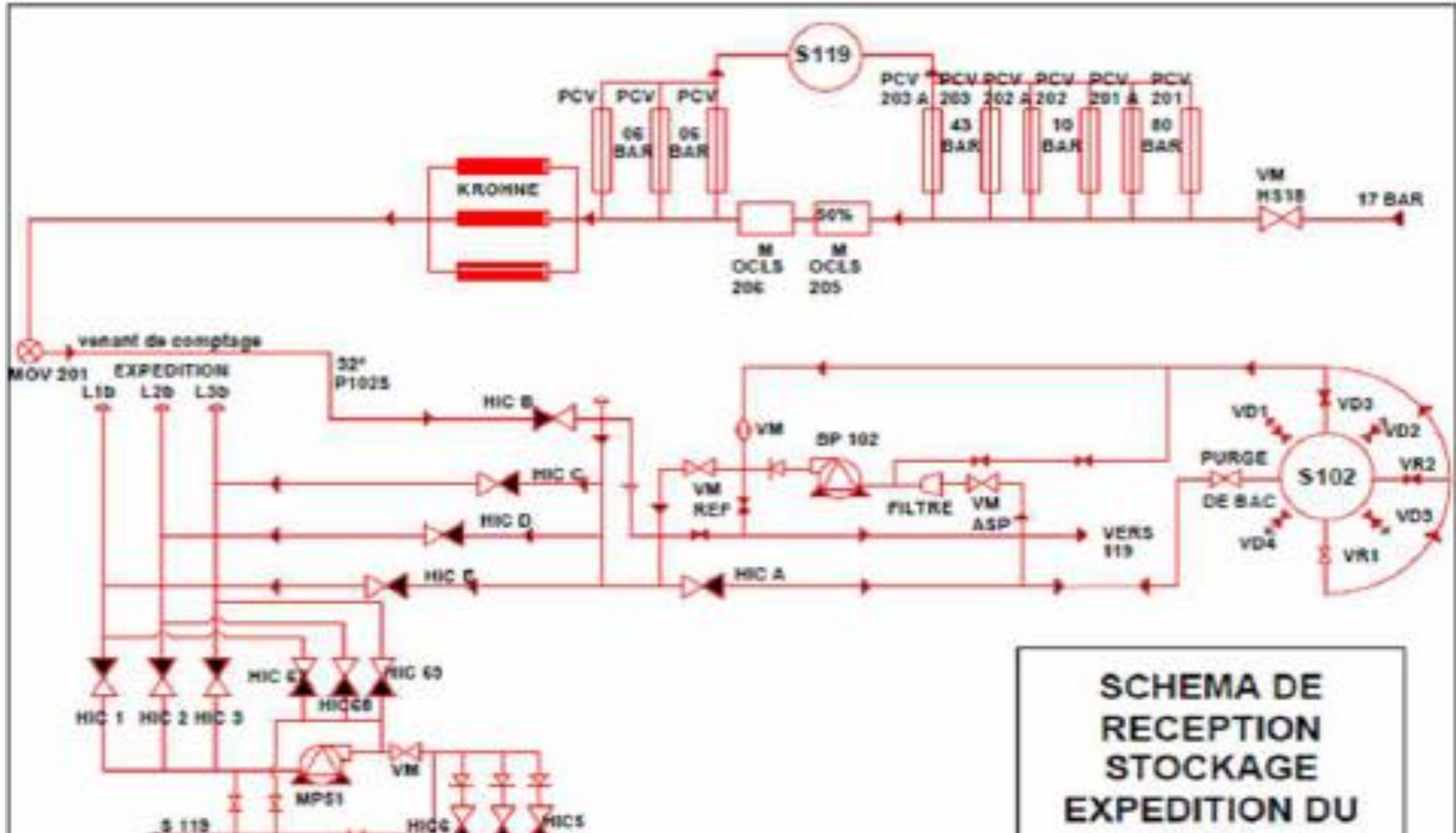
IPL	Intervalle de probabilité de PFD issu de la littérature	PFD proposée pour la LOPA
Action humaine avec un temps disponible de 10 minutes pour mettre en œuvre l'action	10^{-1} à 1	10^{-1}
Action humaine sur alarme transmise par un BPCS avec un temps disponible de 40 minutes pour mettre en œuvre l'action	10^{-1}	10^{-1}
Action humaine avec un temps disponible de 40 minutes pour mettre en œuvre l'action	10^{-2} à 10^{-1}	10^{-1}

Tableau IV. 6 : Probabilité de défaillance à la sollicitation pour les barrières humaines.

<i>Action humaine</i>	<i>PFD</i>
Opérateur formé et non stressé	10^{-2} à 10^{-4}
Opérateur stressé	0.5 à 1
Réponse à une alarme	10^{-1}

IV.4. Présentation du bac 102

FIGURE IV.3. : Schéma de réception stockage expédition du brut.



IV.4.1. Présentation du SIS anti incendie du bac 102

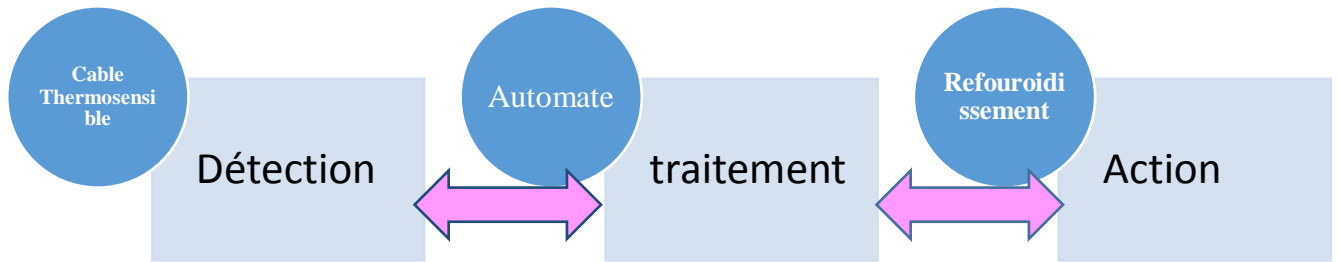


Figure IV.4. : Description du système anti incendie du bac 102

IV.5. Mise en œuvre de la méthode LOPA

Après avoir identifié les scénarios à l'aide de la méthode HAZOP, recommandée par le CCPS, et que cette dernière n'arrive pas à les traiter à cause de leur complexité, le risque reste inacceptable alors une addition d'une ou plusieurs IPL(s) résout le problème.

Pour mettre en évidence ce principe en procède à la schématisation d'un système à trois IPLs :

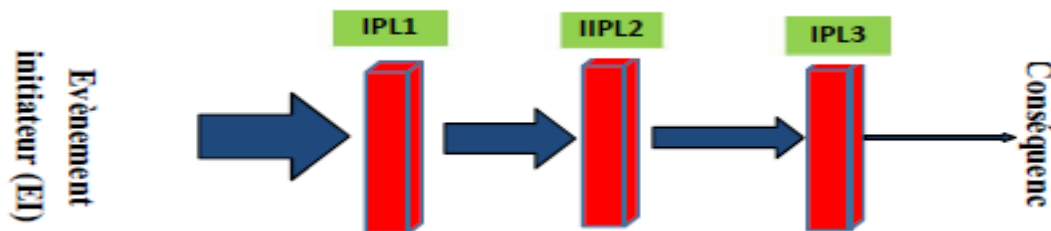


Figure IV.5. : Principe d'IPL selon le CCPS [40].

La fréquence tolérable adoptée par le CCPS est « 10^{-4} /an».

IV.5.1. Analyse des scénarios

Le scénario :

Incendie au niveau de bac de stockage à cause d'une fuite de la ligne et défaillance de clapet anti retour et défaillance des vannes de débit et la pompe de

refoulement ainsi que un bouchage dans les tubes ce lui engendre des dommages pour le personnel, l'environnement et les installations.

Fuite sur la ligne de transfert : Une fuite se produit sur la ligne de transfert alimentant le bac de stockage. Cette fuite peut être causée par divers facteurs tels que la corrosion, l'usure, un défaut de fabrication ou une mauvaise manipulation.

Défaillance du clapet anti-retour : Le clapet anti-retour, conçu pour empêcher le retour du liquide dans la ligne de transfert, tombe en panne. Cela permet au liquide de s'échapper du bac de stockage et de se répandre sur le sol environnant.

Défaillance des vannes de débit et de la pompe de refoulement : Les vannes de débit et la pompe de refoulement, responsables du contrôle et du transfert du liquide, tombent également en panne. Cela empêche l'arrêt de la fuite et l'évacuation du liquide du bac de stockage.

Bouchage des conduites : Des obstructions se forment dans les tuyaux, aggravant la situation en empêchant la circulation libre du liquide et en augmentant la pression dans le système.

Ignition du liquide : Le liquide inflammable qui s'est répandu entre en contact avec une source d'ignition, telle qu'une étincelle électrique ou une flamme nue, provoquant un incendie.

Tableau IV.7. : Probabilité de défaillance à la sollicitation pour les barrières mentionnées dans le scénario (ICSI)

IPL	PF	Référence
Boucle de régulation du niveau	10^{-1}	ICSI
OP	10^{-2}	ICSI
Soupape de sécurité	10^{-2}	ICSI
Colonne de refroidissement	10^{-1}	ICSI
Moyens d'extinction fixes et mobiles.	10^{-2}	ICSI

Tableau IV.8. : La fréquence des évènements initiateurs mentionnés dans le scénario (ICSI)

E_i	Fréquence	Référence
Fuite	10⁻¹	ICSI
clapet anti-retour	10⁻³	ICSI
vanne	10⁻²	ICSI
pompes refoulement.	10⁻¹	ICSI
Bouchage des tubes	10⁻¹	ICSI

IV.5.2. les feuilles de la méthode LOPA

Tableau IV.9 : Les résultats de l'application de la méthode LOPA

Conséquences	Evènements initiateurs	Fréquence EI	Barrières de sécurité existantes						Fréquence des conséquences F_C	PFD _{MOY} du SIS	Fréquence tolérable
			Boucle de régulation de niveau	OP	Souape de sécurité	Colonne de refroidissement	Moyens d'extinction	source d'ignition			
Incendie	- 1. Fuite (la ligne d'expédition +paroi du bac)	10 ⁻¹	1	10⁻²	1	10⁻¹	10⁻²	0.5	5*10⁻⁶	SIL0 PFD_{MOY}(SIS) $\frac{10^{-4}}{1.01 \cdot 10^{-4}} =$ 9.90*10⁻¹	10⁻⁴
	-2.Défaillance de clapet anti-retour de l'un des bacs voisins	10 ⁻¹	1	1	10⁻¹	1	10⁻²	0.5	5*10⁻⁵		
	-3.Défaillance vanne du débit (V ₁ V ₂ V ₃)	10 ⁻²	1	1	1	1	10⁻²	0.5	5*10⁻⁵		
	-4. Non fonctionnement de pompes refoulement.	10 ⁻¹	10⁻¹	10⁻¹	1	1	1	0.5	5*10⁻⁴		
	-5. bouchages dans les conduites	10 ⁻¹	10⁻¹	10⁻¹	1	1	1	0.5	5*10⁻⁴		

F TOTALE EST $1.01 \cdot 10^{-4}$

IV.6. Conclusion

L'analyse et l'évaluation des risques par la méthode LOPA exige la disponibilité de certaines données et informations sur les différents paramètres d'évaluation des risques telles que, des scénarios d'accidents, les fréquences d'évènements initiateurs ainsi que les probabilités de défaillances des différentes couche de protections existantes. Afin d' aboutir a l'évaluation de ces scénarios qui est faite grâce à une grille d'évaluation certifiée (SONATRACH) pour juger les risques des scénarios avant et après la mise en place des couches de protection.

Cette évaluation montre que ces scénarios d'accident sont inférieurs aux critères d'acceptabilités fixées, ce qui montre la performance des barrières de sécurité implantées au sein du système du bac de stockage de brut 102.

L'attribution d'un niveau SIL0 au bac 102 indique que les barrières de sécurité ou couches de protection indépendantes (IPL) en place sont adéquates pour prévenir ou atténuer les conséquences d'un incendie sans l'intervention du système instrumenté de sécurité (SIS) anti-incendie. Pour un niveau de protection plus élevé, l'implémentation d'une barrière de sécurité supplémentaire est préconisée.

Conclusion générale

Conclusion générale

Ce manuscrit présente une évaluation des risques liés à un bac de stockage de brut à l'aide de l'approche HAZOP-LOPA. L'approche HAZOP (Hazard and Operability Study) est une méthode qualitative d'identification des dangers et d'évaluation des risques potentiels d'un système ou d'un processus. L'approche LOPA (Layer of Protection Analysis) est une méthode quantitative d'évaluation de l'efficacité des barrières de sécurité mises en place pour prévenir les accidents. L'étude a été menée en deux étapes :

La première étape a consisté en une analyse HAZOP du bac de stockage de brut 102 (RTE). Cette analyse a permis d'identifier les dangers potentiels liés au bac et d'évaluer les risques associés à ces dangers. Les principaux dangers identifiés incluent : fuites et déversements, incendies et explosions, défaillances structurelles, contamination du produit, problèmes de santé et de sécurité. L'analyse HAZOP permet également d'identifier les barrières existantes pour atténuer ces dangers. Ces barrières comprennent des procédures d'exploitation, des systèmes de sécurité, des formations pour le personnel, etc.

En plus des barrières de sécurité existantes, nous avons proposé d'autres mesures de prévention tel que :

- Prévoir un système automatique de contrôle de la pression.
- Considérer la nécessité d'installer des détecteurs de gaz.
- Ajouter une mesure contre la cavitation des pompes (arrêt automatique).
- Vérifier si le joint du toit est retardant du feu.
- Vérifier l'existence d'une détection feu sur l'ensemble de la pomperie et système de déluge.

La deuxième étape a consisté concernait la réalisation d'une analyse LOPA. Cette analyse a permis d'évaluer l'efficacité des barrières de sécurité et de déterminer si elles sont suffisantes pour réduire le risque à un niveau acceptable. Plus précisément, nous avons utilisé la méthode LOPA pour déterminer le niveau d'intégrité de sécurité requis (SIL) du système automatique d'extinction d'incendie du bac de stockage au regard du scénario « *incendie* ». L'analyse LOPA a déterminé que les exigences de sécurité sur le système automatique d'extinction d'incendie correspondent à un SIL 0. Ce résultat est un indicateur sur lequel on se réfère pour dire que les barrières de sécurité ou bien les couches de protection indépendante (IPL) existantes, pour le bac 102, sont suffisantes pour réduire le risque d'incendie sans même la considération du système instrumenté de sécurité (système anti-incendie).

Glossaire

Hygiène : Il est lié à l'aspect sanitaire .On le définit dans plusieurs références comme étant le bien-être physique et mentale des travailleurs, ça concerne la lutte contre les maladies professionnelles.

Environnement : Il représente toutes les conceptions naturelles, artificielles et culturelles dans lesquelles les êtres vivant se développent.

Exposition : Situation dans laquelle une personne est soumise à un ou des agents chimiques ou biologiques ou à un ou des phénomènes physiques Pouvant entraîner un dommage à plus ou moins long terme.

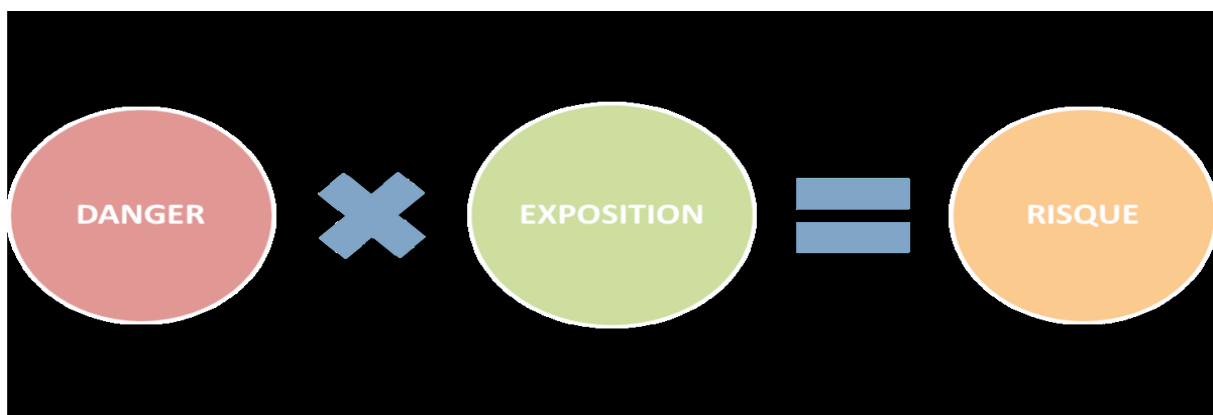


Figure A : schéma représentatif d'un risque.

Risque tolérable : risque accepté dans un certain contexte et fondé sur les valeurs admises par la société.

Accident : un événement imprévu qui occasionne des traumatismes, des décès, une perte de production ou des dommages aux biens et à l'environnement.

Incident : Se rapport généralement a un évènement inattendu qui, cette fois na pas entraine de blessures mais seulement qui auraient pu entrainer des lésions ou des pertes, mais qui n'ont pas eu ces conséquences fâcheuses.

Accident de travail : Quelle qu'en soit la cause, accident survenu par le fait ou à l'occasion du travail, à toute personne salariée ou travaillant, à quelque titre que ce soit, pour un ou plusieurs employeurs ou chefs d'entreprise [ISO 45000].

Maladie professionnelle : Une maladie professionnelle est le résultat de l'exposition à court ou à long terme à un risque qui existe lors de l'exercice habituel de la profession [ISO 45000].

Situation dangereuse : situation dans laquelle l'individu est exposé à un danger.

Evènement dangereux : évènement au l'individu, suite à un évènement déclenchant a perdu la maitrise de la situation dangereuse peut-être soudain ou au contraire, correspondre à une exposition à long terme.

Domage : Lésion physique ou atteinte à la santé. Cela peut être un Accident du travail ou une maladie professionnelle.

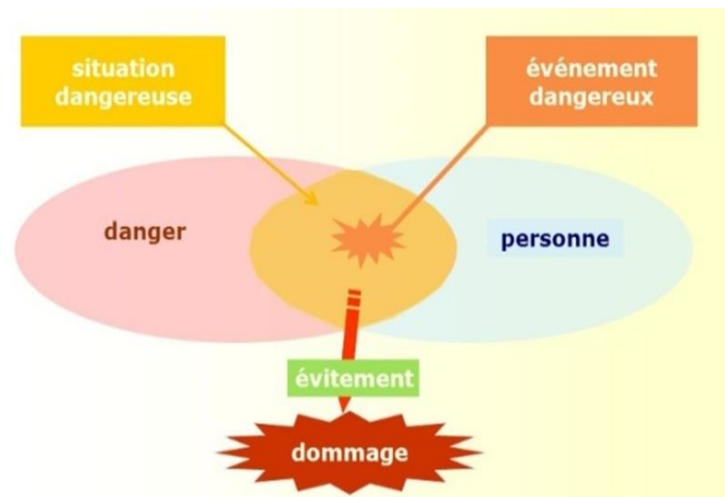


Figure B : schéma d'apparition d'un dommage

Système : Ensemble d'éléments qui interagissent selon un modèle précis, un élément pouvant être un autre système, appelé sous-système, les sous-systèmes pouvant être eux-mêmes soit un système de commande soit un système commandé composé de matériel, de logiciel en interaction avec l'être humain.

Sous-système : Ensemble de modules (automate programmable par exemple). Selon la norme CEI 61508, un élément d'un système peut-être un autre système appelé dans ce cas sous système. Les sous-systèmes peuvent être eux-mêmes soit un système de commande, soit un Système commandé composé de matériel et de logiciel en interaction avec l'être humain.

La criticité : Cette notion est définie comme le résultat d'agrégation des deux dimensions, gravité et probabilité d'occurrence. Elle permet d'estimer l'ampleur d'un risque.

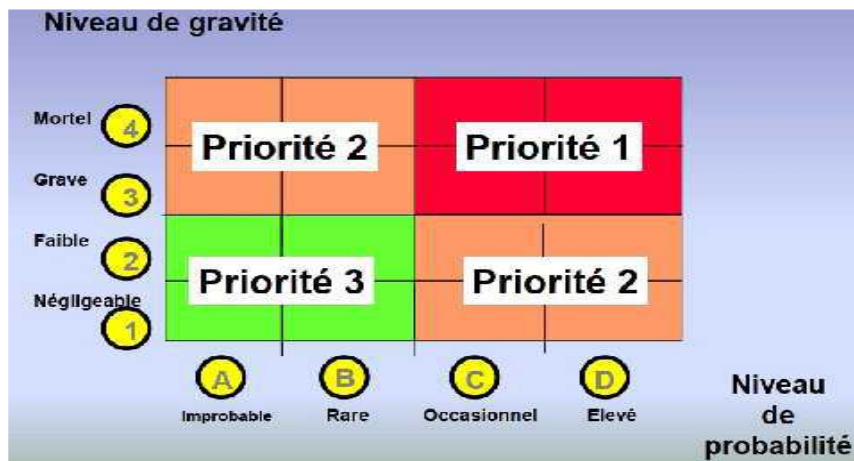


Figure C : la grille de criticité

Électronique programmable PE : technologie basée sur l'informatique, pouvant
Electrique/électronique/électronique programmable E/E/PE : technologie basée sur la technologie électrique (E), et/ou électronique (E) et/ou électronique programmable (PE) comprendre du matériel, du logiciel, ainsi que les unités d'entrée et/ou de sortie.

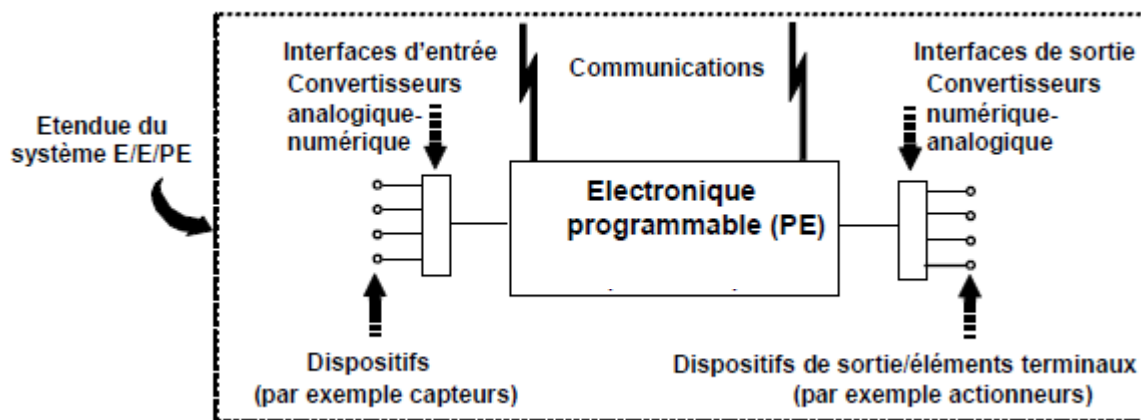


Figure D : Structure de base d'un PES

Architecture : Configuration spécifique des éléments matériels et logiciels dans un système.

Canal : Elément ou groupe d'éléments exécutant une fonction indépendante.

Redondance : Existence de plus de moyens que strictement nécessaire pour accomplir une fonction requise dans une unité fonctionnelle ou pour représenter des informations par des données.

Défaillance : Cessation de l'aptitude d'une unité fonctionnelle à accomplir une fonction requise.

Défaillance dangereuse : Défaillance qui a la potentialité de mettre le système relatif à la sécurité dans un état dangereux ou dans l'impossibilité d'exécuter sa fonction.

Défaillance en sécurité : Défaillance qui n'a pas la potentialité de mettre le système relatif à la sécurité dans un état dangereux ou dans l'impossibilité d'exécuter sa fonction.

Défaillance de cause commune : Défaillance résultant d'un ou plusieurs événements qui, provoquant des défaillances simultanées de deux ou plusieurs canaux séparés dans un système multicanal, conduit à la défaillance du système.

Déecté : Révélé ; Déclaré Se rapporte au matériel et signifie déecté par les tests de diagnostic, une intervention de l'opérateur (par exemple une inspection physique et des tests manuels), ou lors de l'exploitation normale. Ces adjectifs sont utilisés dans les cas d'anomalie déectée et de défaillance déectée.

Non déecté : Non révélé ; Non déclaré Se rapporte au matériel et signifie non déecté par les tests de diagnostic, une intervention de l'opérateur (par exemple une inspection physique et des tests manuels), ou lors de l'exploitation normale. Ces adjectifs sont utilisés dans les cas d'anomalie déectée et de défaillance non déectée.

Couverture de diagnostic : Fraction exprimant la décroissance de la probabilité de défaillance dangereuse du matériel résultant du fonctionnement des tests de diagnostic automatique.

Disponibilité A (t) : Probabilité pour qu'un dispositif soit opérationnel au temps t. Le système peut avoir été réparé dans le passé.

Taux de défaillance $\lambda(t)$: C'est la probabilité pour que le système soit défaillant Cette définition s'applique pour tout type d'éléments (système, sous-système, module, Composant).

Taux de défaillance dangereuse $\lambda_D(t)$: C'est la probabilité que le système soit défaillant de telle sorte qu'il soit incapable d'exécuter la fonction de sécurité attendue.

Probabilité de défaillance sur demande PFD (t) (Probability Failure on Demand) : C'est la probabilité sur l'intervalle de temps [0, t] que le système ne puisse pas exécuter la fonction pour laquelle il a été conçu au moment où la demande de cette fonction est faite. C'est un nombre sans dimension.

Probabilité moyenne de défaillance dangereuse en cas de sollicitation PFDavg : indisponibilité moyenne d'un système E/E/PE relatif à la sécurité pour réaliser la fonction de sécurité spécifiée sur sollicitation de l'EUC ou de son système de commande

Fréquence moyenne de défaillance dangereuse par heure PFH : fréquence moyenne d'une défaillance dangereuse d'un système E/E/PE relatif à la sécurité pour réaliser la fonction de sécurité spécifiée pendant une période de temps donnée.

Dispositif externe de réduction de risque : mesure destinée à réduire ou atténuer le risque, qui est séparée et distincte et n'utilise pas de systèmes E/E/PE relatifs à la sécurité.

Logiciel de sécurité : logiciel utilisé pour exécuter des fonctions de sécurité dans un système relatif à la sécurité.

Défaillance : cessation de l'aptitude d'une unité fonctionnelle à accomplir une fonction requise ou à fonctionner comme prévu.

Défaillance aléatoire du matériel : défaillance survenant de manière aléatoire et résultant d'un ou de plusieurs mécanismes de dégradation potentiels au sein du matériel.

Défaillance systématique : défaillance liée de façon déterministe à une certaine cause, ne pouvant être éliminée que par une modification de la conception ou du processus de fabrication, des procédures d'exploitation, de la documentation ou d'autres facteurs appropriés.

Défaillance dangereuse : défaillance d'un élément et/ou sous-système et/ou système ayant une influence sur la mise en œuvre de la fonction de sécurité qui :

- a) empêche le fonctionnement nécessaire de la fonction de sécurité (mode de sollicitation) ou provoque la défaillance d'une fonction de sécurité (mode continu) de sorte que l'EUC est mis dans un état dangereux ou potentiellement dangereux, ou
- b) diminue la probabilité que la fonction de sécurité fonctionne correctement lorsque c'est nécessaire.

Défaillance en sécurité : défaillance d'un élément et/ou sous-système et/ou système ayant une influence sur la mise en œuvre de la fonction de sécurité qui :

- a) conduit au fonctionnement parasite de la fonction de sécurité avec la potentialité de mettre l'EUC (ou une partie de celui-ci) dans un état de sécurité ou de maintenir un état de sécurité, ou

b) augmente la probabilité du fonctionnement parasite de la fonction de sécurité avec potentialité de mettre l'EUC (ou une partie de celui-ci) dans un état de sécurité ou de maintenir un état de sécurité.

Défaillance dépendante : défaillance dont la probabilité ne peut être exprimée en tant que simple produit des probabilités non conditionnelles des événements individuels qui l'ont provoquée.

Défaillance de cause commune : défaillance résultant d'un ou plusieurs événements qui, provoquant des défaillances simultanées de deux ou plusieurs canaux séparés dans un système multicanal, conduit à la défaillance du système.

Défaillance partielle : défaillance d'un composant n'ayant pas d'influence sur la mise en œuvre de la fonction de sécurité.

Défaillance sans effet : défaillance d'un élément ayant une influence sur la mise en œuvre de la fonction de sécurité mais sans effet direct sur la fonction de sécurité.

Bibliographie

- [1] : International standard ISO. (2009). Risque mangement _Principes et lignes directrices. Première Edition.
- [2]: Farmer. F. R. (1967). Siting criteria: a new approach. Atom, chapter 128, page 152166.
- [3] : International standard ISO-IEC. (2002). Management du risque —Vocabulaire —Principes directeurs pour l'utilisation dans les normes (guide). Première Edition.
- [4] : SALLAK, M. (2007). Evaluation de paramètres de sureté de fonctionnement en présence d'incertitudes et aide à la conception : Application aux Systèmes Instrumentés de Sécurité. Thèse de Doctorat, Université de Lorraine Nancy, Institut National Polytechnique de Lorraine « INPL », France.
- [5] : International standard ISO-IEC. (1998). Stratifiés de bois densifiés, non imprégnés, à usages électriques – Partie 3 : Spécifications pour matériaux particuliers – Feuille 1 : Planches réalisées à partir de placages de hêtre. Première édition.
- [6] : International standard IEC. (2010). Sécurité fonctionnelle des systèmes électriques/ électroniques/ électroniques programmables relatifs à la sécurité – Partie 4 : Définitions et abréviations (61508-4). Edition 2.0.
- [7] : International standard IEC. (2016). Sécurité fonctionnelle – Systèmes instrumentes de sécurité pour le secteur des industries de transformation – Partie 1 : Cadre, définitions, exigences pour le système, le matériel et la programmation d'application (61511-2).Edition 2.0.
- [8]: The Federation of European Risk Management Associations (FERMA). (2002). Cadre référence de la gestion des risques.
- [9] : INERIS .Outils d'analyse des risques générés par une installation industrielle, Oméga 7, (2003).99 pages.
- [10] : ISO/IEC Guide 73. (2002). Gestion du risque - Vocabulaire – lignes directrices à employer dans les normes.
- [11] : ISO/IEC GUIDE 51. (2014). Aspects liés à la sécurité — Principes directeurs pour les inclure dans les normes. Troisième Edition.

- [12] : Mr KAHALERRAS Abdelmalek. (2007). Evaluation quantitative des risques liés à l'exploitation du bac de stockage de gazoline à Toit flottant 59-TK-158 au niveau du complexe GL1/K, IAP.
- [13] : ENSPM Formation Industrie-IFP- Training. (2006). Sécurité Des Systèmes- Analyse Des Risques.
- [14] : International standard IEC. (2010). Sécurité fonctionnelle des systèmes électriques/ électroniques/ électroniques programmables relatifs à la sécurité –Partie 1: Exigences générales (61508-1). Edition 2.0.
- [15] : International standard IEC. (2010). Sécurité fonctionnelle des systèmes électriques/ électroniques/ électroniques programmables relatifs à la sécurité – Partie 2: Exigences pour les systèmes électriques/électroniques/électroniques programmables relatifs à la sécurité (61508-2). Edition 2.0.
- [16] : International standard IEC. (2010). Sécurité fonctionnelle des systèmes électriques/ électroniques/électroniques programmables relatifs à la sécurité – Partie 3: Exigences concernant les logiciels (61508-3). Edition 2.0.
- [17] : International standard IEC. (2010). Sécurité fonctionnelle des systèmes électriques/ électroniques/électroniques programmables relatifs à la sécurité – Partie 5 : Exemples de méthodes pour la détermination des niveaux d'intégrité de sécurité (61508-5). Edition 2.0.
- [18] : International standard IEC. (2010). Sécurité fonctionnelle des systèmes électriques/ électroniques/électroniques programmables relatifs à la sécurité – Partie 6 : Lignes directrices pour l'application de la CEI 61508-2 et de la CEI 61508-3 (61508-6). Edition 2.0.
- [19] : International standard IEC. (2010). Sécurité fonctionnelle des systèmes électriques/ électroniques/électroniques programmables relatifs à la sécurité – Partie 7: Présentation de techniques et mesures (CEI 61508-7). Edition 2.0.
- [20] : International standard IEC. (2016). Sécurité fonctionnelle : Systèmes instrumentés de sécurité pour le secteur des industries de transformation Partie 1: Cadre, définitions, exigences pour le système, le matériel et la programmation d'application CEI 61511 .Edition 2.0
- [21] : INNAL, F. (2008). Contribution µa la modélisation des systèmes instrumentés de sécurité et à l'évaluation de leurs performances Analyse critique de la norme CEI 61508. these de PhD, Université Bordeaux I, France.

- [22]: EN50126. (1999). Railway applications. The specification and demonstration of reliability, availability, maintainability and safety (RAMS).
- [23]: EN50128. (2001). Railway applications. Communications, signaling and processing systems. Software for railway control and protection systems.
- [24]: EN50129. (1998). Safety related electronic systems for signaling.
- [25] : BOULAHIA, Hassan. (2018). Etude et Analyse des risques dans un mécanisme industriel « Chaudière GB1150 C » Au sein : COMPLEXE FERTIAL-ANNABA. BADJI MOKHTAR- ANNABA UNIVERSITY UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR- ANNABA.
- [26]: INNAL, F. (2010). Cours : Sécurité fonctionnelle -Systèmes Instrumentés de Sécurité (SIS). Université 20 aout 1955 Skikda-Institut des sciences et techniques appliquées ISTA.
- [27]: Schonbeck, M., Rausand, M., and Rouvroye, J. (2010). Human and organizational factors in the operational phase of safety instrumented systems: A new approach. *Safety Science*, 48:310{318}.
- [28]: Liu, Y. and Rausand, M. (2011). Reliability assessment of safety instrumented systems subject to different demand modes. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 24:49 56.
- [29]: Sallak, M., Simon, C., and Aubry, J.-F. (2008). A fuzzy probabilistic approach for determining safety integrity level. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 16(1):239-248.
- [30]: Signoret, J.-P. (2006). Managing risks in hips by making SIL calculations effective. In IQPC2006, Aberdeen, Great Britain.
- [31] : Mazouni, M.-H. (2008). Pour une Meilleure Approche du Management des Risques : De la modélisation Ontologique du Processus Accidentel au Système Interactif d'Aide à la Décision. Thèse PhD, Nancy Université, Institut National Polytechnique de Lorraine, France.
- [32] : DESROCHES Alain. (1995). Concepts et méthodes probabilistes de base de la sécurité.
- [33] : SONATRACH – SPA. (2005). Document SONATRACH : Activation Transport Par Canalisation.
- [34] : SONATRACH. (2009). Manuelle de transport par canalisation SONATRACH.
- [35] : SONATRACH – RTE. (2010). Manuelle RTE SONATRACH.
- [37] : SONATRACH – RTE. (2006). Document RTE gestion de risque.

[38] : IEC Standard 61882.2001. Etudes de danger et d'exploitabilité (études HAZOP) –Guide d'application. First Edition.

[39] : Mr INNAL FARES. (2021). cours de démarche d'évaluation des risques professionnels.

[40] : Hammad, kH. (2016). MAÎTRISE DU RISQUE D'EXPLOSION AU NIVEAU DES CHAUDIÈRES Cas : FERTIAL Algérie. [Thèse].

[41] : olivier, Iddir. (2012). Méthode LOPA : principe et exemple d'application [Article de base documentaire]. Techniques de l'ingénieur Systèmes d'information et de communication, base documentaire : (réf. article : se4075).

[42] : INNAL Fares (Docteur en Sûreté de Fonctionnement) : chargé de CM / TD, Systèmes Instrumentés de Sécurité (SIS). Version 2011-2012. Université bedji lakhder Batna.

Annexe A :
Plan de masse terminal
oléoduc avec réseau
anti incendie.

