



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

جامعة وهران 2 محمد بن أحمد
Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed

معهد الصيانة و الأمن الصناعي
Institut de Maintenance et de Sécurité Industrielle

Département sécurité industrielle et environnement
MÉMOIRE

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Hygiène et Sécurité Industrielle
Spécialité : Sécurité Industrielle et Environnement

Thème

Élaboration d'un plan interne
d'intervention lors d'un incendie au niveau
du complexe GL2/z.

Présenté et soutenu publiquement par :

Mlle BELHADJ Houaria & Mlle BOUABDELLI Wissem Cherifa

Devant le jury composé de :

Nom et Prénom	Grade	Etablissement	Qualité
SIRAT Fatema-Zohra	MCB	Université d'Oran2/IMSI	Président
HEBBAR Chafika	Professeur	Université d'Oran2/IMSI	Encadrante
TIRES Hachemi	MAA	Complexe GL2/z/Béthioua	Co-Encadrant
GUETARNI Hadj Mohammed Islem	MCB	Université d'Oran2/IMSI	Examineur

Année : 2023/2024

المخلص

يضم الخليج الصناعي لأرزو عدة مجمعات ومصانع بتروكيماوية تتسم بأنشطة وإنتاجات صناعية متنوعة. يهدف هذا البحث إلى وضع خطة تدخل داخلي (PII) لمجمع GL2/Z ؛ حيث يبحث في الممارسات والتنظيمات المتعلقة بتخزين البنزين في مجمع GL2/Z الواقع في بطيوة/وهران مع التركيز على جوانب السلامة وإدارة المخاطر. تهدف الدراسة إلى إعداد وتطوير خطة تدخل داخلي قوية لمواجهة انسكابات البنزين، مع التركيز على التنفيذ العملي للخطة من خلال محاكاة سيناريو واقعي باستخدام برنامج PHAST (الإصدار 8.0)، وتستكشف الإجراءات الأمنية اللازمة لمنع مثل هذه الانسكابات والحوادث البيئية في المستقبل. علاوة على ذلك، يتم تقديم توصيات لتحسين استراتيجيات التخزين وتعزيز السلامة في المجال الحيوي لصناعة النفط.

الكلمات المفتاحية

خطة التدخل الداخلي، المخاطر، خزانات التخزين، البنزين، الغاز الطبيعي المسال، GL2/Z، PHAST.

Résumé

Le golfe industriel d'Arzew est doté de plusieurs complexes et usines pétrochimiques doués de plusieurs activités et productions industrielles. L'objectif de ce travail de recherche est relatif à l'élaboration d'un plan interne d'intervention (PII) au niveau du complexe GL2/z ; il examine les pratiques et les régulations relatives au stockage de la gazoline au niveau du complexe GL2/Z situé à Bethioua/Oran en mettant l'accent sur les aspects de sécurité et de gestion des risques industriels. L'étude vise la préparation et l'élaboration d'un PII robuste pour faire face aux déversements de la gazoline, en se concentrant sur une mise en œuvre pratique du plan à travers une simulation de scénario réaliste à l'aide du logiciel PHAST (v. 8.0) et explore les mesures de sécurité nécessaires pour prévenir de tels déversements et les incidents environnementaux à l'avenir. Par ailleurs, des recommandations sont formulées pour améliorer les stratégies de stockage et renforcer la sécurité dans le domaine crucial de l'industrie pétrolière.

Mots-clés

PII, Risque, Bac de stockage, Gazoline, GNL, GL2z PHAST.

Abstract

The industrial gulf of Arzew is equipped with several complexes and petrochemical plants engaged in various industrial activities and productions. The objective of this research work is related to the development of an internal intervention plan (PII) at the GL2/Z complex; it examines the practices and regulations concerning the storage of gasoline at the GL2/Z complex located in Bethioua/Oran, with a focus on safety and risk management aspects. The study aims to prepare and develop a robust PII to address gasoline spills, emphasizing the practical implementation of the plan through a realistic scenario simulation using the PHAST software (v. 8.0), and explores the necessary safety measures to prevent such spills and environmental incidents in the future. Furthermore, recommendations are made to improve storage strategies and enhance safety in the crucial field of the oil industry.

Keywords

PII, Risk, Storage tank, Gasoline, LNG, GL2/Z, PHAST.

Dédicaces

C'est avec une profonde satisfaction, un cœur rempli d'émotions et une immense joie que je dédie ce travail :

A la mémoire lumineuse de mon cher père, absent parmi nous aujourd'hui, mais éternellement présent dans mon cœur. Ta lumière continue d'illuminer chaque pas que je fais, et je sens ta bienveillance me guider de là-haut. Chacune de tes leçons reste gravée en moi, et ce travail est le reflet de tout ce que tu m'as enseigné. Je te le dédie humblement en espérant qu'il porte haut tes valeurs et ta fierté.

Que Dieu t'accorde la paix dans son vaste paradis.

A ma très chère mère, les mots semblent bien modestes pour exprimer toute la gratitude que je ressens envers toi pour tes innombrables dévouements et sacrifices. Tu incarnes avec une noblesse rare le rôle mixte : maternel et paternel, nous enveloppant d'un amour inconditionnel et d'une bienveillance sans limites. Tu es une figure admirable, d'une générosité infinie et d'une droiture exemplaire. Ayant gravée en nous des principes et des valeurs qui sont le socle de notre existence, je ne saurais jamais te remercier suffisamment pour tout cela.

Que Dieu veille sur toi, te protège et t'accorde toute la paix et la sérénité que ta noble et généreuse âme mérite.

A mes frères et sœurs, merci pour vos encouragements. Votre présence bienveillante et votre réconfort inestimable.

Wissem Cherifa.

Dédicaces

Je dédie ce mémoire de fin d'études à :

A mes très chers parents, dont les mérites, les sacrifices et les qualités humaines m'ont permis de vivre ce jour.

A mes très chers frères et chères sœurs, pour leur compréhension et patience.

A mes chers (es) et tendres neveux et nièces, qui ne cessent de grandir ; votre présence me rassure et me réconforte. Je vous aime.

*A toute ma famille **BELHADJ, BELMOUMEN**, pour votre présence et votre soutien.*

A mes amis et à toute personne qui occupe une place dans mon cœur.

Houaria.

Remerciements

En cet instant crucial de la fin de notre travail de mémoire de master, exprimer notre gratitude envers Allah, le Tout-puissant, est un défi. Nous le remercions pour nous avoir donné la force, le courage et la volonté pour la réalisation de ce travail.

Nous tenons à remercier chaleureusement Mme le professeur HEBBAR Chafika, pour son encadrement et ses précieux conseils tout au long de notre travail. Son expertise et son soutien ont été essentiels à notre réussite, et nous lui sommes très reconnaissantes pour sa contribution précieuse.

Nous tenons à exprimer nos plus vifs remerciements à Messieurs le Docteur TIRES Hachemi et le Docteur GUETARNI Hadj Mohamed Islem pour vos conseils et orientations dans l'exploitation du logiciel PHAST.

Chers membres du jury, nous sommes reconnaissantes pour les précieuses remarques que vous partagerez lors de notre soutenance, car elles contribueront à enrichir, à perfectionner et à valoriser notre travail.

Nous exprimons notre profonde gratitude envers Mr. ZEMZEM Houari, pour nous avoir donné l'opportunité de travailler avec son équipe que nous remercions également chaleureusement, en particulier Mr. BOULAL Yahia et Mr. BOUDADI Mohamed, au service intervention, pour leur accueil et leurs contributions à ce travail.

De plus, nous souhaitons remercier tous nos professeurs pour leur enseignement précieux, leur soutien et leur dévouement. Leur savoir et leur engagement ont grandement contribué à notre parcours académique et à notre développement personnel.

Merci à toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à notre travail et ont apporté leur soutien et leurs encouragements tout au long de ce projet.

Table des matières

Liste des abréviations	iv
Liste des figures	vi
Liste des tableaux	viii
Introduction générale.....	1
CHAPITRE 1 Présentation de la zone d'études	3
1.1 Introduction	4
1.2 Présentation de l'entreprise SONATRACH.....	4
1.2.1 Dénomination	4
1.2.2 Statut juridique	4
1.2.3 Historique de la SONATRACH.....	5
1.2.4 Mission de la SONATRACH.....	5
1.3 Présentation du complexe GL2/Z.....	6
1.3.1 Historique	6
1.3.2 Situation géographique du GL2/Z.....	7
1.3.3 Fonction du GL2/Z.....	7
1.3.4 Organisation du Complexe GL2Z	8
1.3.5 Description du procédé du Complexe GL2Z	11
1.4 Conclusion.....	17
CHAPITRE 2 Stockage du GNL	18
2.1 Introduction du chapitre [3].....	19
2.2 Historique	19
2.3 Propriétés physico-chimiques du GNL	19
2.4 Principaux avantages	20
2.5 Spécification du GNL.....	20
2.6 Principaux dangers	21
2.6.1 L'UVCE	21
2.6.2 Boil-over.....	22
2.7 Définition du bac de stockage	23
2.8 Typologie des bacs de stockage	23
2.8.1 Bacs à toit fixe.....	23
2.8.2 Bacs à toit flottant	24
2.8.3 Bacs à toit fixe et écran flottant.....	25

2.9	Stockage du GNL	25
2.10	Conclusion.....	26
CHAPITRE 3 Les différents accidents dans l'industrie		27
3.1	Introduction	28
3.2	Différents incidents dans l'industrie	28
3.2.1	Notions communes.....	28
3.2.2	Principales manifestations.....	28
3.3	Causes d'un accident.....	29
3.4	Conséquences d'un accident	29
3.5	Catastrophes industrielles les plus dévastatrices de l'histoire.....	30
3.5.1	Dans le monde.....	30
3.5.2	En Algérie	32
3.6	Effets des accidents industriels	35
3.7	Conclusion.....	35
CHAPITRE 4 Les moyens de lutte.....		37
4.1	Introduction du chapitre	38
4.2	Triangle de feu	38
4.2.1	Combustible (solide, liquide, gazeux).....	38
4.2.2	Comburant.....	38
4.2.3	Energie d'activation	38
4.3	Moyens de lutte contre les incendies.....	39
4.3.1	Réseau eau incendie (voir Annexe 01).....	39
4.3.2	Systèmes mousses	43
4.3.3	Systèmes à poudre.....	44
4.3.4	Système CO ₂	46
4.3.5	Extincteurs.....	46
4.3.6	Système de détection et d'alarmes incendie.....	47
4.4	Moyens de protection pour les bacs gazoline.....	48
4.4.1	Ecran flottant.....	48
4.4.2	Soupape respiratoire.....	48
4.4.3	Les plaques suicidaires.....	48
4.4.4	Section torches et brûlot.....	49
4.4.5	Cas de fuite.....	49
4.5	Conclusion.....	49

CHAPITRE 5	Scénario d'un plan d'attaque suite à une fuite de gazoline suivi d'un jet	
fire.....		50
5.1	Introduction	51
5.2	Plan Interne d'Intervention « PII ».....	51
5.2.1	Poste de Direction des Opérations Internes (PDOI).....	51
5.2.2	Poste de commandement des Operations [1]	56
5.2.3	Responsable exploitation.....	58
5.3	Contexte réglementaire	59
5.4	Exercice de simulation d'un plan d'attaque au niveau du bac de stockage	
gazoline		59
5.4.1	Description de la zone étudiée	59
5.4.2	Situation du complexe.....	60
5.4.3	Scénario de l'accident	60
5.4.4	Déroulement de l'exercice	61
5.4.5	Moyens humains et matériels.....	64
5.4.6	Action process	65
5.4.7	Après l'accident.....	66
5.5	Modélisation du phénomène dangereux par le logiciel PHAST	66
5.5.1	Description du logiciel PHAST.....	66
5.5.2	Description du scénario	67
5.5.3	Simulation d'un jet fire	67
5.5.4	Discussions.....	70
5.6	Conclusion.....	72
Conclusion générale		73
Bibliographie :.....		88

Liste des abréviations

AIT : Analyseur Transmetteur Alarme

ADM : Administration

APM : Advanced Process Manager (Application Performance Management)

APZ : Usine Azote Fertilisant

BP : Basse Pression

CH₄ : Méthane

C₂H₆ : Ethane

C₃H₈ : Propane

CO₂ : Dioxyde de Carbone

DCS : Commande à distance par console

EDM : Eau De Mer

FD : Détecteur de flammes

GC : Détecteur Gaz Combustible

GL₁/Z : Complexe de liquéfaction de gaz naturel zone 1 Arzew

GL₂/Z : Complexe de liquéfaction de gaz naturel zone 2 Arzew

GPL : Gaz de Pétrole Liquéfié

GN : gaz naturel

GNL : Gaz Naturel Liquéfié

HP : Haute Pression

HTD : High Temperature Detection

i-C₄H₁₀ : i-Butane

LTD : Low Temperature Detection

MCR : Multi Composant Réfrigérant

MEA : MonoÉthanolAmine

N₂ : Azote

n-C₄H₁₀ : n-Butane

PAM : Plan d'Aide Mutuelle

PGE : Plan de Gestion Environnementale

PPM : Partie par million

SD : Détecteur de fumée

TPR : Transition Rapide De Phase

UVCE : Unconfined Vapor Cloud Explosion

Liste des figures

Fig 1.1 : présentation du complexe GL2/Z	6
Fig 1.2 : Vue satellite du complexe GL2/Z	7
Fig 1.3 : L'organigramme général du complexe GL2/Z.....	8
Fig 1.4 : organigramme du département sécurité.	9
Fig 1.5 : Organigramme du service prévention	100
Fig 1.6 : Organigramme du service intervention	111
Fig 1.7 : Vue aérienne du complexeGL2/Z	122
Fig 1.8 : bassin EDM	122
Fig 1.9 : unité de dessalement	133
Fig 1.10 : Chaudière utilités	133
Fig 1.11 : schéma synoptique d'un train de procédé	144
Fig 2.1 : Phénomène de stratification	211
Fig 2.2 : Boil-over	233
Fig 2.3 : Bac à toit fixe	244
Fig 2.4 : Bac à toit flottant	244
Fig 2.5 : Bac à toit fixe et à écran flottant	255
Fig 3.1 : La catastrophe de SEVESO 1976.....	300
Fig 3.2 : AZF Toulouse 2001.....	311
Fig 3.3 : L'incendie du complexe gazier de Skikda en 2005	333
Fig 4.1 : Le triangle de feu	38
Fig 4.2 : Poteau incendie	400
Fig 4.3 : LMBA	400
Fig 4.4 : Les demi-couronnes de déluge	411
Fig 4.5 : Bunkers	411
Fig 4.6 : Bâtiment 2115K	42
Fig 4.7 : Bâtiment 2117K	42
Fig 4.8 : Générateurs à mousse haut foisonnement	43
Fig 4.9 : Lance à mousse sur dévidoir	44
Fig 4.10 : SKID à poudre	44
Fig 4.11 : Ecran flottant	48
Fig 5.1 : Salle DOI	55
Fig 5.2 : Bac de stockage gazoline	59

Fig 5.3 : Lieu de l'incident	60
Fig 5.4 : Poste Stationnaire DCS intervention	62
Fig 5.5 : Les déluges du bac 2130-FA	63
Fig 5.6 : Démarrage des lances monitors à balayage automatique	63
Fig 5.7 : Itinéraire des équipes d'intervention	64
Fig 5.8 : Personnels de sécurité	64
Fig 5.9 : Lances monitors à balayage automatique	65
Fig 5.10 : Les Moyens matériels	65
Fig 5.11 : Schéma PID du bac Gazoline	66
Fig 5.12 : scénario d'une fuite de 20mm dans le bac 2130-FB suivi d'un jet fire.....	68
Fig 5.13 : Scénario d'une fuite de 120mm dans le bac 2130-FB suivi d'un jet fire.....	69
Fig 5.14 : Scénario d'une fuite de 152,4mm dans le bac 2130-FB suivi d'un jet fire.....	70

Liste des tableaux

Tab 2.1	Composition du GNL selon la provenance de la cargaison .	211
Tab 4.1	Emplacement des systèmes poudre au niveau du site .	45
Tab 4.2	Emplacement systèmes CO2 au niveau du site .	46
Tab 4.3	Emplacement des extincteurs .	47
Tab 5.1	Membre de PDOI .	54
Tab 5.2	La Composition De La Gazoline .	59
Tab 5.3	Situation du complexe .	60
Tab 5.4	Le code sirène GL2/Z .	61
Tab 5.5	Scénario de fuite dans le bac de stockage gazoline 2130-FB.	67

Introduction générale

De nombreux accidents et catastrophes industriels majeurs se produisent dans les installations industrielles, entraînant ainsi des conséquences extrêmement graves, impactant négativement le personnel, les salariés, les équipements et l'environnement. Selon Morneau (2011), l'augmentation de la production, du stockage et de l'utilisation de produits dangereux a entraîné une augmentation considérable du risque d'accidents industriels graves.

La sécurité des usines de gaz naturel liquéfié (GNL) est d'une importance fondamentale, dans l'industrie des hydrocarbures. Tout épanchement accidentel de GNL sur le sol ou sur l'eau, provoque une ébullition rapide du liquide. Les vapeurs dégagées et en présence de l'air constituent un mélange inflammable pouvant prendre feu au moindre contact avec une source d'inflammation (étincelle). A cause de sa forte volatilité, le gaz naturel liquéfié (GNL) présente un grand danger dans les opérations de transport et de stockage. La raison pour laquelle, l'élaboration d'un plan d'intervention interne (PII) lors d'un incendie, est une démarche primordiale pour assurer la sécurité des personnes, la protection des biens et la continuité des activités dans un bâtiment ou une installation. Ce plan, également appelé plan d'urgence ou plan de sécurité incendie, vise à organiser et à coordonner les actions à entreprendre en cas d'incendie, en définissant clairement les rôles et les responsabilités de chacun, les procédures à suivre et les ressources nécessaires pour une intervention efficace.

De ce fait, nous nous trouvons face à de nombreux questionnements y compris celui qui nous a permis d'entreprendre notre travail au niveau de la Sonatrach et plus précisément au niveau du complexe GL2/Z/Bethioua tout en se focalisant sur le scénario de déversement d'un bac de stockage gazoline.

En réponse à cette problématique « Comment élaborer un plan d'intervention interne lors d'un incendie au niveau du complexe GL2/Z ? Nous essayerons de rédiger notre mémoire de fin d'étude qui débute par une introduction et s'achève par une conclusion. Pour apporter plus de réponses, nous avons scindé notre travail en cinq chapitres :

Le **Chapitre 1** est dédié à une présentation générale de la zone de notre lieu de stage en mettant la lumière sur son historique, ses installations ainsi que son fonctionnement et activités. Dans le **Chapitre 2** intitulé « Stockage du GNL », nous avons exploré en détail les différentes méthodes et technologies utilisées pour le stockage du gaz naturel liquéfié. Le **Chapitre 3** expose les différents accidents survenus dans les industries du monde en connaissant aussi les lacunes dans les procédures de sécurité. Le **Chapitre 4**, nous permet de remédier aux accidents entamés dans le chapitre précédent en mettant en place des moyens de lutte plus sûrs et plus durables pour tous.

Enfin le **cinquième et le dernier Chapitre** est dédié à la partie pratique de notre projet dans laquelle l'élaboration d'un plan interne d'intervention est établie à travers une simulation d'un déversement de la gazoline suivi d'un jet fire avec le logiciel PHAST ;

Ce type de scénario sera utilisé comme un outil d'apprentissage pour identifier les tendances émergentes et prévenir les incidents futurs s'il y a lieu.

CHAPITRE 1

Présentation de la zone d'études

1.1 Introduction

Le gaz naturel, grâce à ces réserves importantes, sa propriété et sa souplesse d'utilisation, dispose d'atouts certains pour devenir une importante source d'énergie et occuper ainsi une place d'avant-garde dans la satisfaction du besoin énergétique mondial [1].

Pour faciliter son transport dans des méthaniers vers les pays consommateurs d'énergie, le Gaz Naturel est liquéfié. En effet, la liquéfaction de Gaz Naturel conduit à la production de 1 m³ de GNL, soit une réduction en volume de 600 fois [1].

1.2 Présentation de l'entreprise Sonatrach

1.2.1 Dénomination

La Sonatrach (société nationale de transport et de commercialisation des hydrocarbures) est une compagnie algérienne de recherche, d'exploitation et de transport par canalisation, de transformation, de commercialisation des hydrocarbures et de leurs dérivés [1].

Depuis 1964 Sonatrach exporte du gaz naturel, date de la mise en service de la première usine de GNL au monde à Arzew, la vocation gazière de Sonatrach c'est confirmé au rythme d'une démarche résolue qui se traduit depuis plus de 40 ans par un effort propre considérable en termes d'investissements humains, financiers et technologiques consacrés au développement de l'amont, du transport par canalisations, et la filière GNL [1].

1.2.2 Statut juridique

La compagnie Sonatrach a été créée par le décret N63-491 du 31-12-1963

Depuis le 11/02/1998 elle porte le statut de la société nationale par action d'un capital de deux cent quarante-cinq milliard de dinars (245 000 000 000,00 DA), repartit en cent quarante-cinq milles actions d'un million de dinars chacune, entièrement et exclusivement souscrit et libéré par l'état inaliénable [2].

Grace à ses réserves énergétiques (exploitation, forage, production, transport, liquéfaction, transformation et commercialisation) sa technologie ainsi que ses ressources humaines elle occupe une place importante dans l'économie internationale ou elle est classée régulièrement parmi les deux plus grandes compagnies pétrolières mondiales [1].

La division LQS de l'activité aval est chargée du développement et de l'exploitation des activités de liquéfaction du Gaz naturel. Celle-ci dispose de quatre complexes :

- GL4Z : situé à ARZEW opérationnel en 1964 ;
- GL1K : situé à SKIKDA opérationnel en 1972 ;
- GL1Z : situé à BETHIOUA opérationnel en 1978 ;

- GL2Z : situé à BETHIOUA opérationnel en 1981 [2].

1.2.3 Historique de la Sonatrach

L'histoire de la société est retracée à travers les repères datés des étapes clés suivantes [2] :

- 31 décembre 1963 : création de la Sonatrach, objet social autour de deux métiers (transport et commercialisation des hydrocarbures) ;
- 22 septembre 1966 : modification du statut par l'élargissement de son objet social couvrant les métiers de la recherche, production, transport, transformation, et la commercialisation des hydrocarbures ;
- 6 août 1970 : décision N° A-001 portant sur l'organisation de sa première macro structure ;
- 24 février 1971 : nationalisation des hydrocarbures, cela traduit la volonté de prendre en main la destinée des ressources pétrolières et gazières du pays ;
- 1982 & 1986 : restructuration des entreprises nationales indépendantes dans les domaines de service pétrolier, des grands travaux, de la pétrochimie, raffinage et la distribution des produits pétroliers (ENIP, NAFTAL, NAFTEC...) suite à la restructuration de la Sonatrach ;
- Août 1986 & avril 2005 : modification des lois relatives aux hydrocarbures portant sur l'ouverture vers les compagnies étrangères pour le développement en Algérie des activités liées aux hydrocarbures ;
- Avril 1987 : décision N° A-001(R7) relative au resserrement autour des métiers de base (exploration, production, transport, liquéfaction du gaz naturel et commercialisation) suite à la restructuration des entreprises nationales ;
- 11 février 1998 : décret présidentiel portant sur le nouveau statut (SPA) modifié et complété le 23 septembre 2000 ;
- 24 février 1998 : reconfiguration du groupe Sonatrach suite à la décision du conseil national de l'énergie ;
- 2002 & 2006 : des nouvelles organisations de la macro structure de la société ;
- Sonatrach à l'international : international holding corporation (regroupant les filiales et les participations extérieures) [2].

1.2.4 Mission de la Sonatrach

Les principales missions de la société sont :

- La prospection, la recherche et l'exploitation des hydrocarbures,
- La liquéfaction du gaz naturel, le traitement et la valorisation des hydrocarbures,
- La transformation et le raffinage des hydrocarbures,
- La satisfaction de la demande nationale, et internationale,
- Le développement de la richesse gazière et pétrolière pour acquérir un positionnement compétitif dans les futures zones de libre-échange [4].

Sonatrach se développe également dans les activités de pétrochimie, de génération électrique, d'énergies nouvelles et renouvelables, de dessalement d'eau de mer et d'exploitation minière [4].

1.3 Présentation du complexe GL2/Z

Le Complexe GL2Z de l'entreprise Nationale Sonatrach, pour ses grandes capacités est né des ensembles industriels dans la Zone Industrielle d'Arzew. Le Complexe GL2Z s'étend sur 72 hectares, il a été construit par la société Américaine " PULLMAN KELLOGG " et " PULLMAN KELLOGG ALGERIA INC " (cette dernière s'occupe des opérations de constructions et approvisionnements en Algérie) dans le cadre d'un contrat à coût remboursable. Il a été réceptionné en date du 11 Septembre 1981 par l'entreprise Nationale Sonatrach [2].



Fig 1.1. présentation du complexe GL2/Z [2].

1.3.1 Historique

L'étude du projet, La construction et le démarrage des différentes unités du complexe GL2/Z ont été confié à la Société Américaine d'engineering PULLMAN KELLOG [2].

Le complexe GL2/Z assure la liquéfaction de 41.25 millions de m³ / jour de gaz naturel en provenance des champs gaziers de Hassi-R 'mel avec ou extraction de propane et butane de gazoline [2].

- Signature du contrat le 09 Février 1976 ;
- Mise en vigueur le 01 avril 1976 ;
- Lancement engineering le 15 avril 1976 ;
- Ouverture du chantier le 15 mars 1977 ;
- Pose de la première pierre le 21 février 1978 ;
- Début du montage mécanique le 01 juillet 1981 ;
- Première production de GNL le 20 juillet 1981 ;

- Première expédition de GNL le 29 juillet 1981 ;
- Rénovation du complexe le 1992 à 1996 [4].

1.3.2 Situation géographique du GL2/Z

Le complexe GL2/Z est situé à BETHIOUA (40 km à l'Est d'ORAN, 450 km d'ALGER). Il s'étend sur une superficie de 72 Hectares au sein de la zone industrielle d'Arzew., il est limité au Nord par la mer, au Sud par le village de BETHIOUA, à l'Ouest par GL1/Z et à l'Est par l'usine de dessalement KAHRAMA [2].

Son emplacement au bord de mer lui permet d'utiliser cette ressource inépuisable pour produire de l'eau distillée, le refroidissement des équipements, et à la lutte contre l'incendie [2].



Fig 1.2. Vue satellite du complexe GL2/Z [2].

1.3.3 Fonction du GL2/Z

Complexe GL2/Z a été conçu pour permettre d'assurer le transport sous forme liquide du gaz naturel provenant de HASSI R'MEL, ce gaz est acheminé par des pipelines vers l'usine ; il est traité liquéfier et stocké [2].

Le GNL est ensuite chargé à bord de navires méthaniers de haut mer spécialement prévu pour le transport cryogénique et il est livré à l'étranger [2].

GL2Z comprend (06) trains de liquéfaction indépendants et identiques fonctionnant en parallèles [2]

Le GN d'alimentation est également distribué à chacun des trains par un réseau de canalisation. Le débit du GN distribué est d'environ 1500 000 m³/h pour les 06 trains,

soit en moyenne 250 000 m³ /h /train. Dans chaque train le GN d'alimentation est traité pour éliminer le gaz carbonique et la vapeur d'eau, il est ensuite réfrigéré et distillé pour en extraire les hydrocarbures lourds et il est finalement liquéfié à (-162°c). Une fois liquéfié le gaz naturel est envoyé par pompage dans trois bacs réservoirs à une pression de « 1,03 » bar absolu qui desservent l'ensemble des 06 trains. Il est prévu que chaque train de liquéfaction produira en moyenne 8400 m³/jour de GNL [2].

Les réservoirs de stockage correspondent à 05 jours de production sur l'ensemble des 06 trains. Chaque méthanier à une capacité moyenne de 125 000 m³ et lorsque ses réservoirs sont préparés, le chargement peut s'effectuer en « 12h30 » à raison d'un débit de chargement 10 000 m³ GNL/h [2].

1.3.4 Organisation du Complexe GL2Z

Le Complexe GL2Z est composé de différents départements et services représentés dans L'organigramme général du Complexe GL2Z [1].

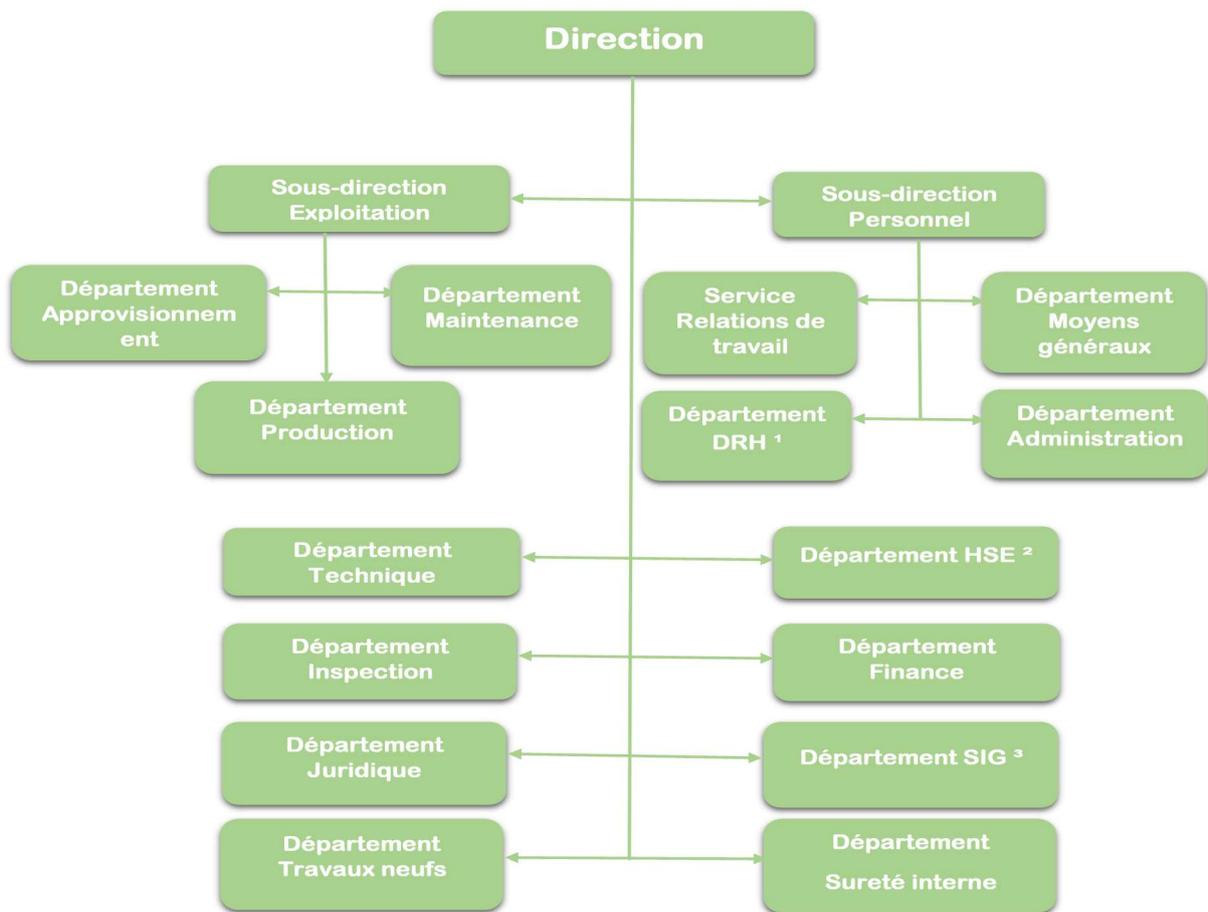


Fig.1.3. L'organigramme général du complexe GL2/Z

- Département sécurité

Le département sécurité assure les fonctions de contrôle et d'intervention afin de protéger les hommes, le patrimoine industriel, et l'environnement. Ce département dépend directement de la direction. Leurs principales missions sont :

- Prévenir les incidents et les accidents ;
- Intervenir en cas d'accident ;
- L'application des règles de sécurité pour éviter tout facteur de risque ;
- Le contrôle des installations et la détermination des recommandations nécessaires ;
- Le suivi des projets de développement en collaboration avec le service technique afin de respecter les normes de sécurité ;
- L'organisation des mouvements de véhicules et de personnel à l'intérieur du complexe [1].

Il comprend trois 03 services actuellement : Service prévention, Service Intervention, Service environnement représentés dans l'organigramme [1].

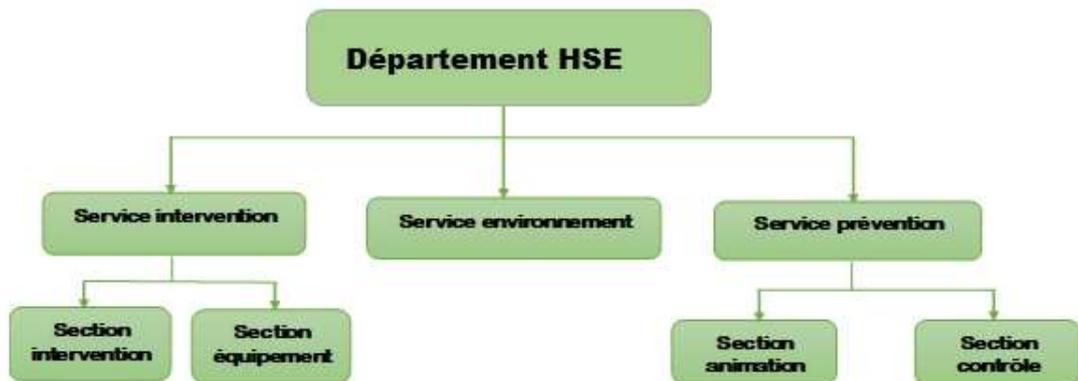


Fig.1.4. Organigramme du département sécurité.

- Service prévention

Ce service constitué par deux sections comprend des inspecteurs et des ingénieurs de sécurité qui sont d'une expérience éprouvée, chacun suivant son affectation ils ont la charge de :

- Analyser les risques d'accidents, d'incidents et des nuisances ;
- Déterminer les causes d'incidents et d'accident et proposent des solutions d'élimination ou de réduction de ces derniers ;
- Informer le personnel aux consignes de sécurité et d'hygiène et les sensibiliser des risques d'accident dans leur travail ;
- Veiller au bon fonctionnement du matériel de détection ;
- Surveiller les travaux sur site ;
- Proposer toutes les mesures d'améliorations qu'ils jugent utiles en se référant toujours aux normes et directives [1].

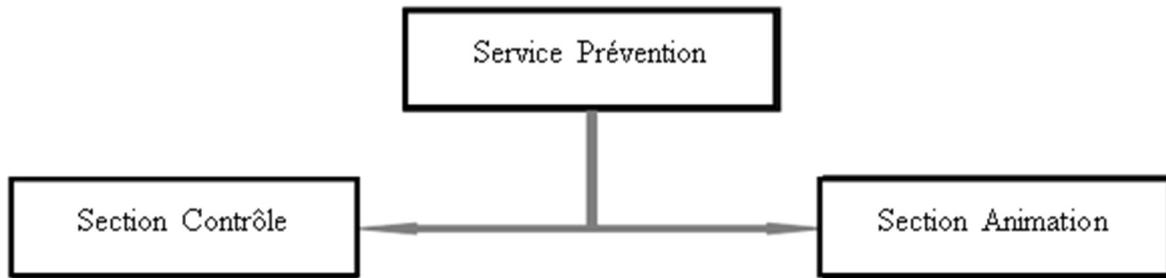


Fig.1.5. Organigramme du service prévention [1].

- Service intervention

Pour lutter contre l'incendie, le service intervention du complexe GL2/Z dispose de plusieurs moyens (moyens humains, moyens matériels). Tous ces moyens sont destinés à la protection contre l'incendie et ses conséquences, ils ont pour but de sauvegarder les vies humaines, les biens (constructions, installations industrielles, machines, équipement, etc...) et l'environnement (diversement de produit dangereux) Il est composé de deux sections : Section intervention et section équipements [1].

- Section intervention

Cette section comprend, des contremaitres, des chefs d'équipes et des techniciens d'intervention possèdent des formations dans les domaines de lutte contre l'incendie, le sauvetage et le secourisme. La section dotée par un matériel adéquat et nécessaire pour faire leurs missions [1].

- Section équipement

Cette section comprend des ingénieurs de sécurité et des techniciens d'intervention, son rôle est d'inspecter, de vérifier, d'entretenir et de réparer les systèmes/équipements et moyens de sécurité. L'utilisation de ces systèmes est simple, ils restent fiables à condition qu'ils soient entretenus comme il faut et fassent l'objet de vérifications routinières [1].

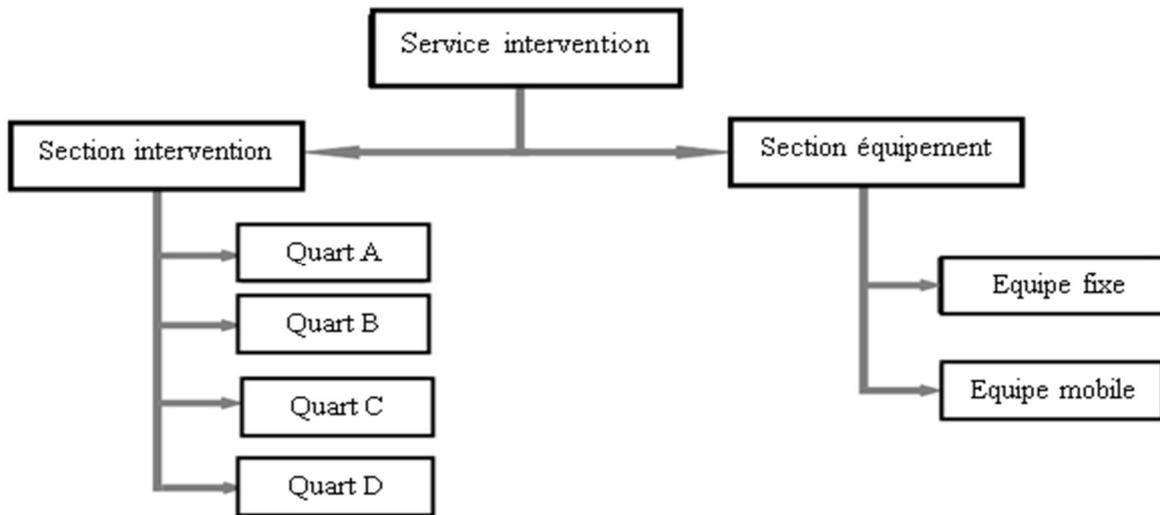


Fig.1.6. Organigramme du service intervention [1]

- **Service environnement**
- Planifier et lancer toutes les actions d'analyse des différents milieux et rejets ;
- Participer aux études de sécurité sur toutes modifications ou nouvelles installations ;
- Veiller à la réalisation des inspections et des audits environnementaux ;
- Contribuer dans le système permis de travail en qualité de signataire ;
- Veiller à l'évaluation des impacts environnementaux et analyser leurs causes ;
- Veiller à la réalisation d'investigation sur tout accident/incident environnementale ;
- Veiller à la mise en œuvre du plan de gestion environnementale (PGE) ;
- Participer aux projets et études dans le domaine de l'environnement ;
- Élaborer les procédures et consignes en matière d'environnement et veiller à leurs diffusions Veiller à l'application de la réglementation et au respect des procédures et normes environnementales ;
- Organiser des campagnes de sensibilisation pour la protection de l'environnement [1].

1.3.5 Description du procédé du Complexe GL2Z

L'usine de liquéfaction du gaz naturel d'Arzew GL/2Z comprend six trains de liquéfaction identiques indépendants, fonctionnant en parallèle. Le gaz naturel d'alimentation est également distribué à chacun des trains par un réseau de canalisation. Le débit de gaz naturel distribué est d'environ 1.500.000 m³/h pour les six trains, soit en moyenne 250.000 m³/h/train [1].

Le complexeGL2/Z est composé de trois principales zones [1] :

- Zone des utilités.
- Zone de procédé.
- Zone de stockage et de chargement



Fig.1.7. Vue aérienne du complexe GL2/Z [1].

- **Zone d'Utilités**

Les utilités du complexe GL2/Z assurent la fourniture des utilités d'une manière continue pendant le démarrage et la marche normale des trains de liquéfaction. Dans cette zone, on produit [1] :

- **Pompage eau de mer**

La station de pompage EDM de l'usine est équipée de six pompes électriques et d'une turbopompe pouvant aspirer puis refouler $173400 \text{ m}^3/\text{h}$ d'eau de mer. Cette eau est d'abord filtrée par un système de grille rotatives afin d'éliminer tous corps étrangers, puis traitée dans la station de chloration du complexe pour éliminer la faune et la flore [1].



Fig.1.8. Bassin EDM [1].

La production d'eau dessalée est assurée par cinq unités de dessalement d'eau de mer ayant chacune un débit continu de $45.3 \text{ m}^3/\text{h}$ et un sixième installé en 2005 avec un débit de $60 \text{ m}^3/\text{h}$. L'eau dessalée sert à alimenter les chaudières, le système de refroidissement du procédé et le système anti-incendie. Le distillat contenant moins de 2 ppm de solide dissout est emmagasiné dans un bac de stockage avant d'être utilisé

tandis que le reste de l'eau fortement salée, communément appelée saumure, est dirigée vers le canal de rejet [1].



Fig 1.9. Unité de dessalement [1].

- Vapeur d'eau

La vapeur produite à partir du distillat provenant des unités de dessalement sert à entraîner les équipements rotatifs tels que : turbocompresseurs, turbopompes et turboventilateurs. Elle sert également à refroidir les pompes, à réchauffer les rebouilleurs, à faire le vide (éjecteurs) et à établir l'étanchéité des presses étoupes dans les compresseurs.

Trois chaudières hautes pression (HP) et une chaudière basse pression (BP) produisent la vapeur nécessaire pour la zone des utilités [1].



Fig1.10. Chaudière utilités [1].

- Energie électrique

L'électricité nécessaire au complexe est fournie par trois turboalternateurs 2070 JA, 2070 JBet2070JC fonctionnant simultanément. Les turbines 2070 JAT, 2070JBTet 2070JCT entraînent ces générateurs par une pression de 62.7 bars. L'échappement de chaque turbine se fait dans les condenseurs sous vide refroidis à l'eau de mer : 2005 JAC,2005 JBC et 2005 JCC [1].

De plus, le complexe possède une source d'alimentation électrique (SONELGAZ) et une autre de secours qui permet le fonctionnement de l'usine en cas de panne. Les besoins du GL 2/Z en énergie électrique sont de 38000 KW au maximum et de 31000KW en marche normale [1].

- **Air instrument et air service**

Ce système fournit l'air service et l'air instrument nécessaires aux six unités du procédé, aux installations de stockage et de chargement du GNL, à la section des utilités et à tous les services généraux des installations auxiliaires. Cette section est composée de quatre compresseurs d'air [1].

- **Zone de procès**

La liquéfaction du GN à pression atmosphérique nécessite un refroidissement à -162°C . L'usine GL2/Z comprend six trains de liquéfaction indépendants fonctionnant en parallèle. Le gaz naturel d'alimentation est également distribué à chacun des trains par un réseau de canalisations [1].

La liquéfaction du gaz naturel s'effectue suivant le schéma synoptique ci-dessous :

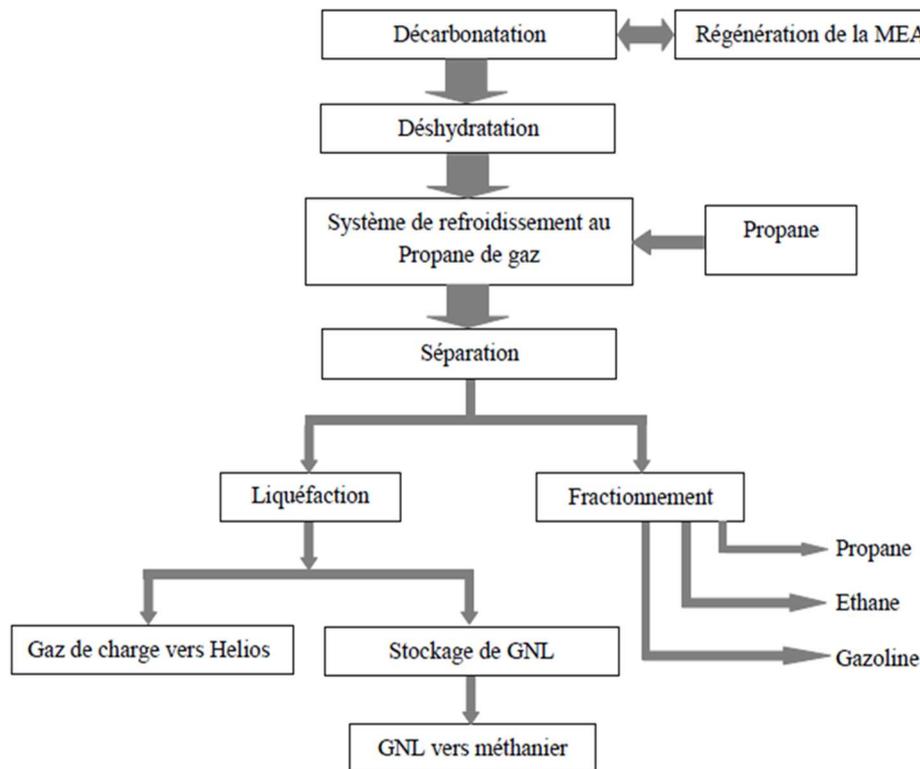


Fig.1.11. Schéma synoptique d'un train de procédé [1].

Traitement du gaz naturel

Le traitement du GN regroupe les sections démercurisation, Décarbonatation et Déshydratation dans lesquelles le GN d'alimentation est débarrassé du gaz carbonique

et de la vapeur d'eau, avant d'entrer dans la section séparation où les hydrocarbures lourds sont éliminés [1].

- **Démercurisation**

Le GN avant d'entrée dans le Démercuseur X42D passe à travers une vanne, pour réguler sa pression à 42 bars puis dans un ballon séparateur X31F où tous les hydrocarbures liquides en suspension sont séparés et éliminés pour ne pas encrasser le circuit. Il est ensuite chauffé à 38C° dans l'échangeur X31C Cette opération est essentielle afin d'éviter la corrosion des équipements en aluminium par le mercure [1].

- **Décarbonatation**

Le GN entre à la base de la colonne d'absorption X31E. Le CO₂ est extrait par absorption au contact d'une solution de MEA (Mono Ethanol Amine) circulant à contre-courant. La teneur en CO₂ doit être inférieure à 70 ppm à la sortie de l'Absorbeur. En tête de colonne, le GN est lavé par une eau déminéralisée qui est injectée au moyen des pompes X36J/JA En sortie de l'Absorbeur, la solution M.E.A est saturée en CO₂. Elle doit donc être régénérée pour être utilisée de nouveau. Cette opération s'effectue dans ce qu'on appelle la boucle de régénération de la M.E.A Cette opération est nécessaire pour éviter la solidification du gaz carbonique dans la section de liquéfaction [1].

- **Déshydratation**

En sortant de la colonne de décarbonatation, le GN se trouve saturé en eau et doit subir une déshydratation pour réduire sa teneur en humidité inférieure à 1 ppm [1].

- **Séparation des hydrocarbures lourds**

La section de séparation a pour rôle l'extraction des hydrocarbures lourds contenus dans le gaz naturel traité GNT. Les composés légers (essentiellement du méthane) vont continuer dans le procédé de liquéfaction [1].

- **Réfrigération au propane**

Après la déshydratation, le gaz qui sort avec une pression de 38.3 bars et à une température de 25.5 C° est refroidi à -30.6 C° par les quatre échangeurs à propane (X03C, X04C, X05C, X06C) Le mélange formé par le condensât et le gaz d'alimentation traversant un échangeur tubulaire X07C, sa température chute jusqu'à -47 C°, ce refroidissement lui permet de se séparer de ces constituants lourds dans la tour de lavage X01E. Les constituants lourds seront récupérés au fractionnement par trois colonnes de distillation (déméthaniser, dépropaniser, débutaniser) [1].

- **Système de réfrigérant mixte MCR**

Le MCR (Multi Composant Réfrigérant) est un mélange d'azote (3%), du méthane (40%), d'éthane (54%) et du propane (3%). Ce mélange frigorigène circule dans une boucle fermée à deux compresseurs où il sert à liquéfier le GN dans l'échangeur principal et comme réfrigérant du condenseur de tête de la tour de lavage (faisceau chaud de l'échangeur principal) [1].

- Liquéfaction du GN

Le gaz constitué de CH₄ principalement, passe dans un échangeur principal X16-C dans lequel ce dernier est récupéré à l'état liquide [1].

Le GNL brut liquéfié aux conditions 32 bars/ -148°C, subit un traitement de purification dans un ballon de détente et dans un désazoter dans le but de répondre aux spécifications commerciales (ce traitement consiste à éliminer toutes concentrations excessives de composants dissous dans le GNL tel que l'azote et l'hélium) Le GNL traité aux conditions 1,5 bars / -162°C est stocké dans trois bacs de capacité totale de 300000 m³ [1].

- Fractionnement

Le système de fractionnement effectue la séparation des hydrocarbures lourds provenant de la section séparation et prépare les constituants nécessaires à l'alimentation interne des diverses sections de l'usine L'unité de fractionnement comprend trois colonnes de distillation suivantes [1] :

- Déméthaniser

Cette séparation s'effectue dans une colonne de distillation X51-E fonctionnant à 29.9 bars et une température de 105 °C en fond de colonne. Dans cette colonne les composants légers essentiellement l'éthane C₂H₆ sont séparés des hydrocarbures lourds et montent vers le haut de la colonne. Le produit de fond est rebouilli à la vapeur pour être débarrasser de ces constituants légers, et ensuite acheminer vers le dépropaniser [1].

- Dépropaniser

Cette séparation s'effectue dans une colonne de distillation X52-E fonctionnant à 18 bars et une température de 122 C° en fond de colonne Le propane séparé des produits lourds remonte vers le haut de la colonne, le produit de fond est rebouilli à la vapeur pour être débarrasser de ces constituants légers, et ensuite acheminer vers le débutaniseur [1].

- Débutaniseur

Cette séparation s'effectue aussi dans une colonne de distillation X53-E fonctionnant à 4.9 bars et une température de 114 C° en fond de colonne. Le butane est séparé des produits lourds et remonte vers le haut de la colonne, il passe dans l'échangeur multi-passes X60-C pour être refroidi et expédié vers le complexe GP1/Z au moyen des pompes X56-J/JA Le sous tirage de fond de colonne, constituant la gazoline, sera refroidi dans un échangeur X62-C à eau de mer et dirigé vers les deux bacs de stockage [1].

- Zone de stockage et de chargement

C'est la zone de stockage et de chargement, elle contient trois 03 réservoirs de GNL d'une capacité de 100000 m³, deux réservoirs de gazoline d'une capacité de 14500 m³ [1].

- Une station de pompage de GNL d'une capacité de 10000 m³/h ;
- Deux quais d'expédition avec dix bras de chargement ;

Un réseau d'annexe comprenant les systèmes d'épuration pour les torches et le brûlot [1].

1.4 Conclusion

Pour conclure ce chapitre sur la présentation générale du complexe GL2/Z Bethioua, il est essentiel de souligner son importance dans l'industrie pétrolière et gazière en Algérie. En comprenant les infrastructures, les opérations et les contributions économiques de ce complexe, nous avons une vue d'ensemble approfondie de son rôle crucial dans le secteur énergétique du pays.

CHAPITRE 2

Stockage du GNL

2.1 Introduction du chapitre

Le gaz naturel est un hydrocarbure gazeux extrait du sous-sol, constitué principalement de Méthane ; il représente une source d'énergie très importante dans le monde, en raison de ses avantages économiques et écologiques. Les propriétés de ce produit, comme par exemple le faible intervalle de combustion le caractérisant, en font l'une des sources d'énergie les plus fiables connues à ce jour ; actuellement, il représente la deuxième source d'énergie la plus utilisée après le pétrole. [3]

Avant qu'il arrive au consommateur, le gaz passe par un long trajet où il rencontre des transformations et des opérations compliquées tels que la production, le traitement, la liquéfaction et le stockage. [3]

2.2 Historique

La première installation de liquéfaction de gaz naturel fut construite en Virginie de l'Ouest en 1912, mais ne commença son activité qu'en 1917. Le GNL était alors stocké dans des réservoirs sous pression atmosphérique. La première usine d'écêtement de pointe fut construite en 1941 à Cleveland (Ohio). À cette époque, il n'était pas encore question de terminaux ou de transport par mer, le but de cette usine était de liquéfier le gaz disponible en été pour le stocker, puis l'hiver, lorsque la demande est plus forte, le restituer en le vaporisant [4].

En 1959, le premier navire expérimental (Méthane Pioneer) transporte la première cargaison de GNL entre Lake Charles (Louisiane) et Canvey Island (Royaume-Uni). Quelques voyages expérimentaux seront effectués dans les mois suivants, mais le développement commercial du transport maritime du GNL débute lorsque d'immenses gisements de gaz naturel sont découverts dans le sous-sol algérien. L'exploitation et la commercialisation de ce gaz conduisent à envisager les deux premières chaînes commerciales de GNL vers l'Angleterre et la France. La première usine de liquéfaction pour l'exportation, l'usine Camel (Arzew), est construite en Algérie. Un mois après son démarrage en 1964, la première cargaison en provenance d'Algérie est déchargée à Canvey Island (British Gas Council) ; quelques mois plus tard c'est le terminal méthanier du Havre (Gaz de France) qui reçoit sa première livraison. L'exportation de gaz naturel commença de Kenai en Alaska vers le Japon. Depuis, le commerce du gaz naturel liquéfié a connu une croissance ininterrompue, marquée par la diversification progressive des fournisseurs et des clients [4].

2.3 Propriétés physico-chimiques du GNL

- État liquide ;
- Incolore ;
- Inodore ;
- Non corrosif ;
- Non toxique ;

- Non explosif ;
- Inflammable ;
- 1/600 volume occupé par le gaz ;
- Sa masse volumique est de 0.415g/cm^3 ;
- Point d'ébullition est de 111.6K [5].

2.4 Principaux avantages

- Le traitement du GNL n'est pas polluant (mais consomme beaucoup d'énergie) ;
- Il n'est aucunement toxique ;
- Sa combustion est peu polluante (dans de bonnes conditions de combustion, le seul rejet est le gaz carbonique) ;
- Ce type d'énergie ne nécessite que de très peu d'entretien [5] ;
- Pouvoir calorifique conservé ;
- Bon rendement énergétique ;
- Grande compacité du GNL (volume du gaz à l'état liquide près de 600 fois inférieur à celui à l'état gazeux, ce qui facilite son stockage et son transport) [3].

2.5 Spécification du GNL

Le GNL est un liquide froid, incolore, inodore et non visqueux, maintenu légèrement sous son point d'ébullition sous une pression atmosphérique.

En cas d'épandage sur le sol à la température ambiante, le GNL génère de grandes quantités de vapeurs froides. Ces vapeurs sont, jusqu'à -100°C environ, plus lourdes que l'air et se diffusent sur une grande distance avant réchauffage et dispersion en hauteur [6].

Il a la particularité d'avoir une masse volumique plus faible que celle de l'eau, donc en cas d'épandage sur l'eau, la vaporisation est très rapide : c'est le phénomène de transition rapide de phase (TRP) et peut être accompagnée de surpression significative. Il est également ininflammable : seules ses vapeurs peuvent s'enflammer si leurs concentrations dans l'air se situent entre 5% et 15% et que ce mélange entre en contact avec une source d'ignition. De plus, le GNL est non corrosif et non explosif [6].

Les risques principaux liés à la manipulation du GNL sont

- Brûlures de la peau en cas de contact avec le GNL ;
- Fragilisation des matériaux classiques en cas de contact avec le GNL ;
- Contractions et dilatations des matériaux utilisés à son contact avec le GNL [6].

Le GNL est composé typiquement à plus de 70% de méthane, le reste étant principalement composé d'éthane, de propane et de butane et d'autres hydrocarbures lourds. La composition du GNL peut cependant varier selon la provenance de la cargaison [6].

Tab.2.1. Composition du GNL selon la provenance de la cargaison [7].

Composition du GNL (mol%)							
	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	n-C ₂ H ₁₀	i-C ₄ H ₁₀	N ₂	n-C ₅ H ₁₀
LYBIE	70.00	15.00	10.00	1.00	2.10	0.90	0.60
INDONESIE	86.81	8.23	3.87	0.53	0.46	0.06	0.04
ALGERIE (Arzew)	87.39	8.60	2.43	0.47	0.72	0.37	0.02
VENEZUELA	87.30	10.10	2.10	0.10	0.10	0.3	-
ALGERIE (Skikda)	91.50	5.64	1.50	0.25	0.25	0.85	0.01
ALASKA	99.60	-	-	-	-	0.40	-

2.6 Principaux dangers

Les systèmes de stockage contiennent souvent des liquides inflammables ou combustibles qui présentent des risques importants pour l’environnement et la santé, ils ne sont bien manipulés. Le stockage de GNL a plusieurs risques et dangers qui sont liés à l’installation elle-même et sa technique de stockage [4].

Les différents phénomènes pouvant aboutir à des accidents majeurs sont redoutés sur les sites industriels. En particulier, on peut citer [4] :

2.6.1 L’UVCE

« Unconfined Vapor Cloud Explosion », c’est-à-dire explosion d’un nuage de gaz en milieu non confiné (cas de l’accident de Flixborough, en 1974, 28 morts).

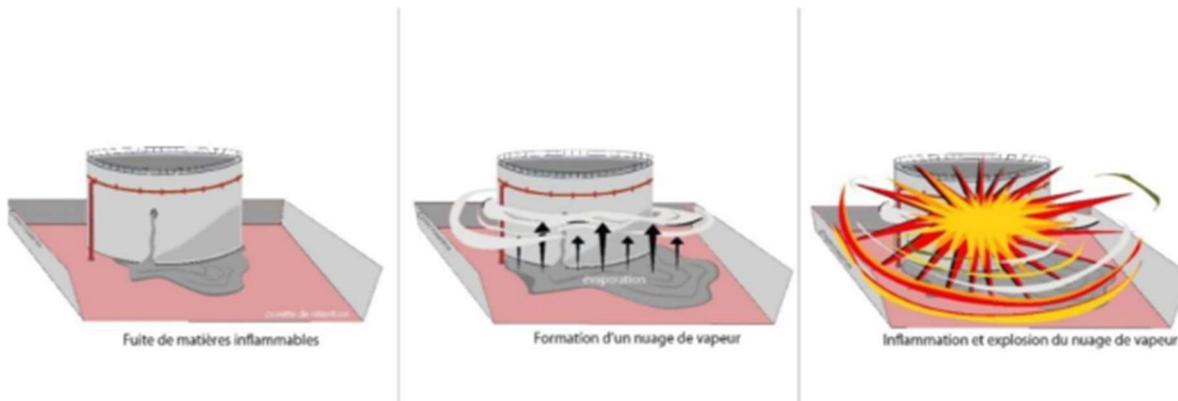


Fig.2.1. Phénomène de stratification [8].

- Causes de la stratification

Deux causes différentes peuvent être à l'origine de la stratification du GNL dans un réservoir qu'on appellera, pour les différencier, stratification au remplissage, et stratification spontanée [9].

- Stratification créée au remplissage

Lorsqu'on remplit un réservoir contenant déjà du GNL de masse volumique différente, il peut arriver que les deux liquides ne se mélangent pas, créant ainsi deux couches différentes [9].

Cette stratification est stable si le liquide le plus lourd est au fond. Cette condition est effectivement satisfaite lors d'un remplissage par le bas si le liquide ajouté (la cargaison) est plus dense que le liquide se trouvant déjà dans le réservoir (le talon) ou, lors d'un remplissage par le haut si la cargaison est moins dense que le talon. L'observation montre qu'après leur formation, ces couches restent remarquablement stables. Deux cellules de circulation indépendantes s'établissent dans le liquide. Chaleur et matière sont échangées par convection à travers l'interface des deux couches [9].

- Stratification spontanée

La présence d'Azote en teneur importante dans le GNL peut provoquer la stratification d'un stockage initialement homogène de la façon suivante : Un liquide non stratifié reçoit de la chaleur par les parois et s'élève le long de celles-ci. En atteignant la surface, ce liquide est soumis à une détente qui lui fait perdre beaucoup d'Azote. Il devient donc moins dense que le liquide restant, et peut ainsi s'accumuler au voisinage de la surface [9].

Cette accumulation de liquide léger peut se poursuivre jusqu'à ce que l'épaisseur de la couche formée soit telle que l'énergie cinétique du liquide en circulation le long des parois soit égale à l'énergie potentielle résultant de la différence de masse volumique existant entre les deux cellules [9].

2.6.2 Boil-over

Un boil-over est un phénomène qui peut se produire quand il y a présence d'un film d'eau dans un bac de stockage d'hydrocarbure et que celui-ci est chauffé par un incendie. La vaporisation brutale de l'eau peut provoquer une boule de feu par la projection de carburant enflammé [10].

- Conditions nécessaires pour la naissance d'une Boil-over

Pour qu'un boil-over se produise, 4 conditions doivent être réunies :

- Le feu du bac ;
- La présence d'eau à transformer en vapeur ;
- La création d'une onde de chaleur qui entre en contact avec le fond d'eau situé sous la masse d'hydrocarbures ;

- Un hydrocarbure suffisamment visqueux que la vapeur ne puisse pas traverser facilement depuis le bas [10].

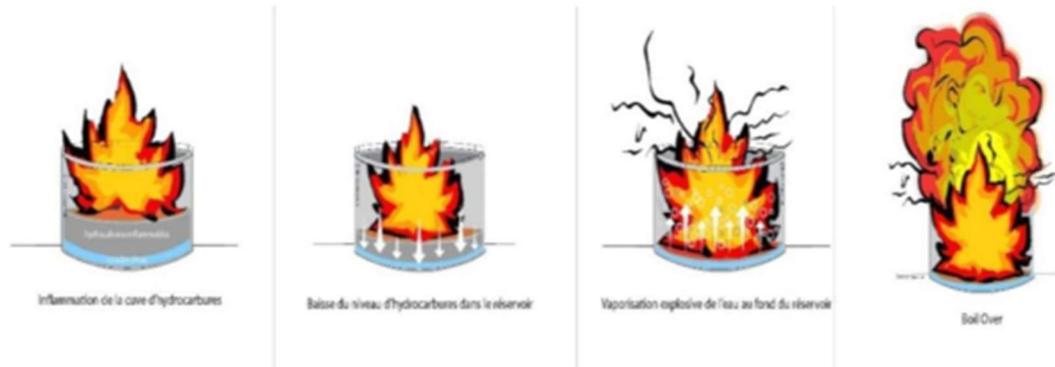


Fig.2.2. Boil-over [7].

2.7 Définition du bac de stockage

Les bacs ou les réservoirs sont des capacités fixes destinés au stockage de différents liquides : corrosif, inflammable ou dangereux pour l'environnement en cas de perte de confinement. Ils sont stockés sous une pression proche de la pression atmosphérique afin de pouvoir entreposer de très grands volumes pour un coût d'investissement faible [11].

Il existe une grande variété de réservoirs de stockage, ils peuvent être construits sur le sol, dans le sol et sous terre. Ils peuvent être de formes : cylindriques verticaux, horizontaux cylindriques, sphériques ou rectangulaires, mais les cylindriques verticaux sont les plus utilisés [11].

2.8 Typologie des bacs de stockage

Dans un réservoir de stockage cylindrique vertical, il est en outre divisé en divers types, Il existe 3 types :

- Bacs à toit fixe ;
- Bacs à toit flottant ;
- Bacs à toit fixe et écran flottant [11].

2.8.1 Bacs à toit fixe

Les bacs à toit fixe sont pourvus d'un toit fixe et permettent donc une meilleure conservation des produits peu volatils, dangereux ou polluants. Ce toit permet d'empêcher leur contamination par des agents extérieurs (pluie, poussières...) [12].

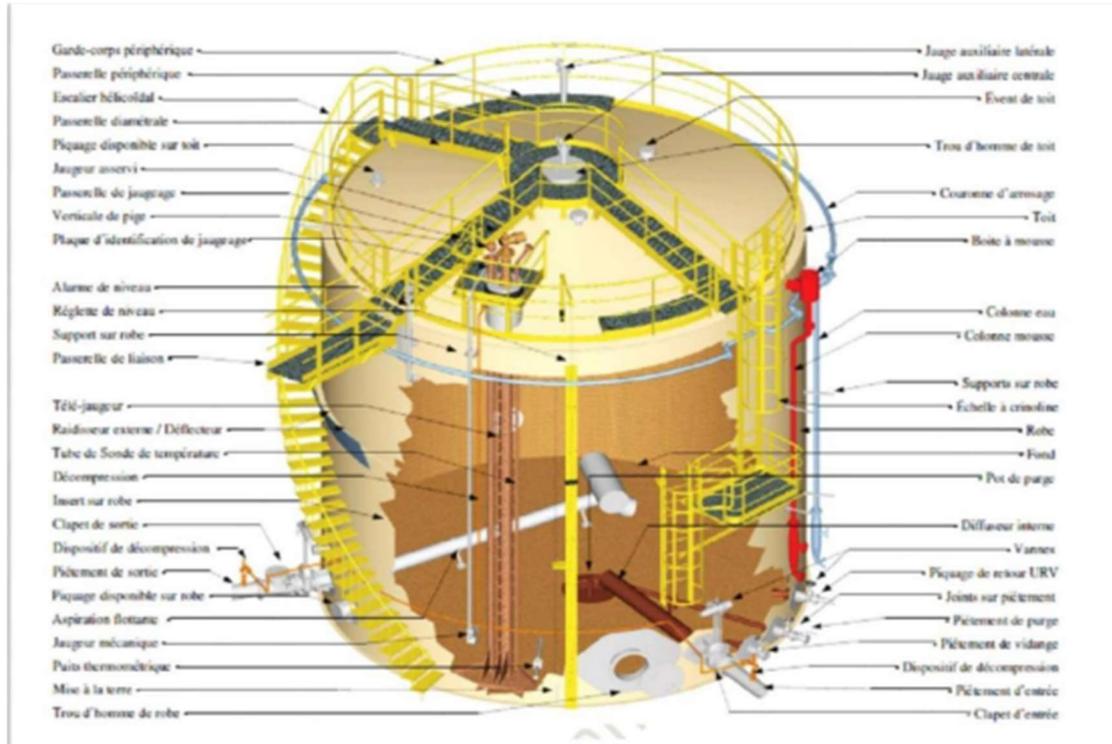


Fig.2.3. Bac à toit fixe [13].

2.8.2 Bacs à toit flottant

Ils comprennent une structure flottante qui se déplace suivant les mouvements de descente et de montée du produit. Ces réservoirs, en raison de leur remarquable capacité à réduire les pertes par évaporation sont réservés aux produits volatils [12].

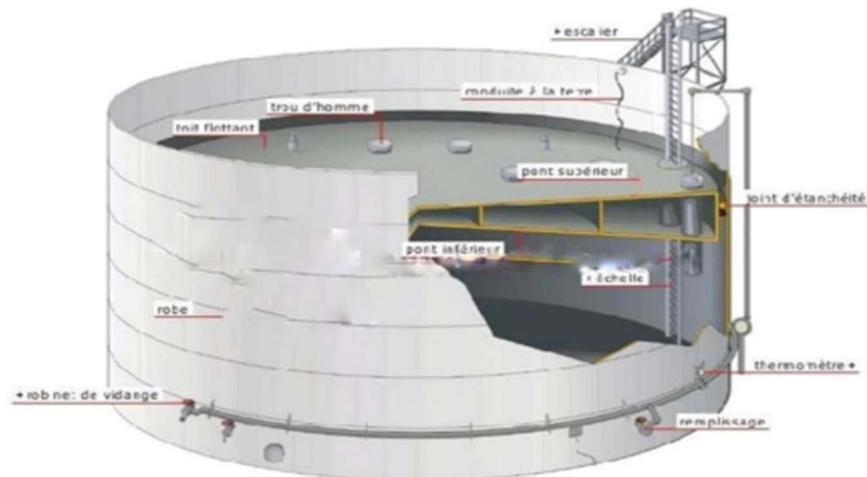


Fig.2.4. Bac à toit flottant [12].

2.8.3 Bacs à toit fixe et écran flottant

Un bac à toit fixe avec écran flottant désigne généralement un réservoir équipé d'un couvercle fixe qui ne peut pas être ouvert et d'un écran flottant intégré. L'écran flottant est conçu pour flotter à la surface du liquide contenu dans le bac et agit comme barrière pour empêcher les débris, les contaminants ou les substances indésirable de se propager [12].

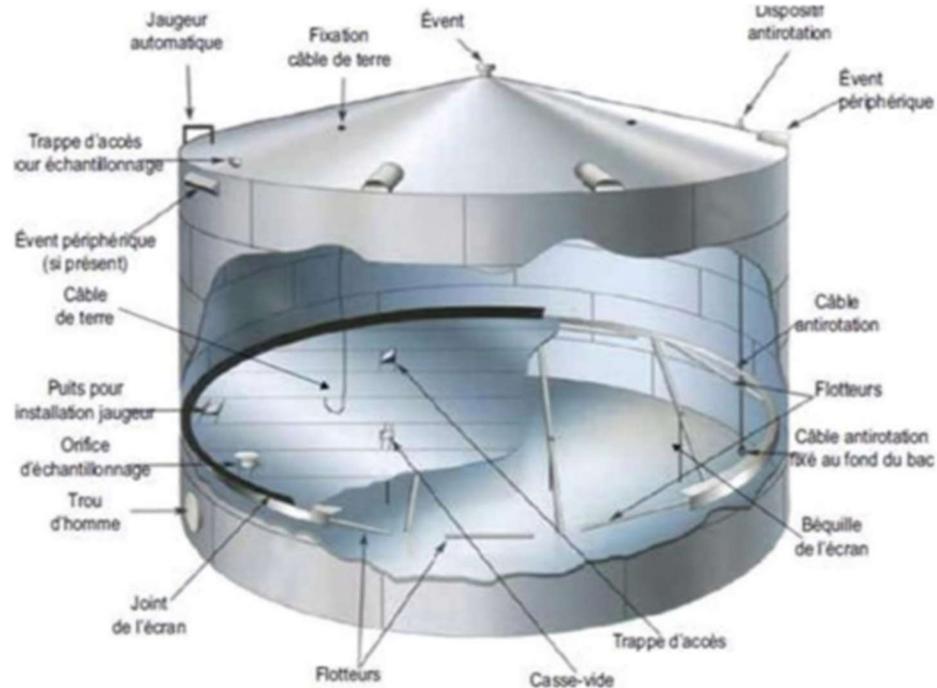


Fig.2.5. Bac à toit fixe et à écran flottant [14].

2.9 Stockage du GNL

Pour stocker les gaz liquéfiés sous pression atmosphérique, la température du gaz doit être abaissée jusqu'à leur point d'ébullition par un système de réfrigération approprié. Les unités de stockage doivent comprendre des isolations thermiques performantes afin d'éviter le réchauffement du gaz réfrigéré [6].

Selon le site de production, les caractéristiques du GNL, sont très différentes, notamment la densité, la réception de GNL de densités différentes pose des problèmes de stockage. Si l'on injecte, dans un réservoir du GNL plus dense, donc plus lourd que celui qui s'y trouve déjà deux possibilités :

- L'injection se fait par le haut du réservoir : les GNL se mélangent bien mais il y'a déperdition de gaz. On appelle cela « roll-over » ;
- L'injection se fait par le bas du réservoir : les GNL se mélangent mal mais la qualité du gaz n'est pas constante [6].

2.10 Conclusion

Dans ce chapitre dédié au stockage du GNL, nous avons examiné les différentes méthodes utilisées pour stocker le gaz naturel liquéfié de manière sûre et efficace. Il est donc essentiel pour les acteurs de l'industrie du GNL de choisir le mode de stockage le plus adapté à leur besoin en terme de capacité, de coût et de sécurité.

CHAPITRE 3
Les différents accidents dans
l'industrie

3.1 Introduction

Les accidents industriels sont assez rares vu les réglementations imposées en matière de sécurité dans un local industriel. Selon les statistiques, plus de 40 % des accidents sont dus aux défaillances matérielles (accident d'une machine industrielle). 23 % sont provoqués à cause de l'imprudence et 14 % par une anomalie d'organisation au sein du local industriel.

Enfin, 10 % des accidents sont dus au défaut de maîtrise des procédés [15].

Un plan interne d'intervention est un outil de gestion et de planification, visant à protéger les travailleurs, la population, les biens et l'environnement et définissant l'ensemble des mesures de prévention des risques, les moyens mobilisés à ce titre ainsi que les procédures à mettre en œuvre lors du déclenchement du sinistre [16].

3.2 Différents incidents dans l'industrie

Le risque industriel est défini comme un évènement accidentel se produisant sur un site industriel mettant en jeu des produits et/ou des procédés dangereux et entraînant des conséquences immédiates graves pour le personnel, les riverains, les biens et l'environnement. Afin d'en limiter la survenue et les conséquences, les établissements les plus dangereux sont soumis à une réglementation particulière (classement des installations) et à des contrôles réguliers. Néanmoins, ce n'est pas parce qu'un site n'est pas classé qu'il ne présente pas de danger [17].

3.2.1 Notions communes

Risque : Exposition d'une cible (salarié, entreprise, environnement y compris la population...) à un danger, Le risque est caractérisé par la combinaison de la probabilité d'occurrence d'un événement redouté (accident) et de la gravité de ses conséquences ;

Danger : Propriété intrinsèque des produits, des équipements, des procédés...pouvant entraîner un dommage ;

Incident : toute situation où il y a préjudice envers les personnes, l'environnement, l'installation et les équipements ;

Accident : Conséquences négatives d'un phénomène dangereux [17].

3.2.2 Principales manifestations

L'incendie dû à l'ignition de combustibles par une flamme ou un point chaud (risque d'intoxication, d'asphyxie et de brûlures) ;

L'explosion due au mélange combustible / comburant (air) avec libération brutale de gaz (risque de décès, de brûlures, de traumatismes directs par l'onde de choc...) ;

La pollution et la dispersion de substances toxiques, dans l'air, l'eau ou le sol, de produits dangereux avec une toxicité pour l'homme par inhalation, ingestion ou contact [17].

Ces risques industriels sont qualifiés de « risques majeurs » quand ils sont caractérisés par une probabilité faible et une gravité importante. Cette notion de « risques majeurs

» ne concerne que les risques environnementaux, On peut les regrouper en deux catégories :

Risques naturels : avalanches, feux de forêt, inondations, mouvements de terrain, cyclones, séismes, éruptions volcaniques...

Risques technologiques : risques de nature industrielle, nucléaires, liés à la radioactivité, aux transports de matières dangereuses (par voie maritime, terrestre ou fluviale), aux exploitations minières et souterraines ou encore liés à la rupture de barrages. Ils sont engendrés par l'activité humaine. Ils pèsent sur l'environnement considéré dans son acception la plus large (pollution de l'air, environnement du travail, pollution des sols...) [17].

3.3 Causes d'un accident

Causes liées à une mauvaise gestion de la sécurité : On peut répertorier dans cette catégorie toutes les défaillances mécaniques liées à un mauvais entretien de l'outil de production (rupture d'une canalisation rouillée suite à un manque de surveillance et à son non-remplacement, par exemple) [17].

Dans cette catégorie, il est aussi possible de classer toutes les défaillances humaines (autrement appelées « le facteur humain »), liées à une méconnaissance des risques ou à une erreur de manipulation [17].

Causes « externes » de danger sont trop nombreuses pour que l'on puisse en établir une liste exhaustive. À titre d'exemple, comprend toutes les explosions externes qui pourront en engendrer une fuite ou une autre explosion sur le site (camion à proximité d'un site par exemple). Les catastrophes naturelles peuvent également être une source de danger (avalanche, chute de blocs, inondation, etc.), tout comme des risques plus exceptionnels, tels que les chutes d'aéronefs, les ruptures de barrage en amont d'un site, etc...

Causes liées à la malveillance : la malveillance est prise en compte de manière spécifique : elle oblige les industriels à mettre en œuvre des moyens de protection élaborés, car c'est un risque imprévisible [17].

3.4 Conséquences d'un accident

Sont regroupées sous trois typologies d'effets :

Effets thermiques sont liés à une combustion d'un produit inflammable ou à une explosion

Effets mécaniques sont liés à une surpression, résultant d'une onde de choc (déflagration ou détonation), provoquée par une explosion. Celle-ci peut être issue d'un explosif, d'une réaction chimique violente, d'une combustion violente (combustion d'un gaz), d'une décompression brutale d'un gaz sous pression (explosion d'une bouteille d'air comprimé par exemple) ou de l'inflammation d'un nuage de poussières combustibles ;

Effets toxiques résultent de l'inhalation d'une substance chimique toxique (chlore, ammoniac, phosgène, etc...), suite à une fuite sur une installation. Les effets découlant de cette inhalation peuvent être, par exemple, un œdème du poumon ou une atteinte au système nerveux [17].

3.5 Catastrophes industrielles les plus dévastatrices de l'histoire

Les catastrophes industrielles ont connu ces dernières années une ampleur considérable suite au développement de l'urbanisation et à la concentration des personnes et des infrastructures économiques [17].

3.5.1 Dans le monde

Parmi les accidents industriels majeurs du monde, on peut compter

- SEVESO EN 1976

Le 10 juillet 1976, une catastrophe environnementale touche Seveso (une commune italienne située en Lombardie). Une usine chimique spécialisée dans la production d'herbicides explose. L'explosion émet un nuage toxique sur une superficie de 2 000 hectares.

Cet accident industriel a fait plus de 121 000 victimes, dont 84 300 animaux. Il s'agit du premier accident industriel majeur du monde. Ce dernier a aussi permis de publier des directives strictes de classement des catastrophes industrielles [17].



Fig.3.1. La catastrophe de SEVESO 1976[17].

- BHOPAL EN 1984

Le nuage toxique la plus mortelle qui a touché le secteur industriel s'est produit dans la nuit du 2 au 3 décembre 1984. La cuve de MIC (iso cyanate de méthyle) d'une usine

américaine de pesticides installée en Inde explose. L'incident a dégagé un nuage très toxique de 40 tonnes sur une surface habitée de 25 m². L'intoxication a fait 250 000 victimes et 15 000 morts [17].

- TOULOUSE EN 2001

L'explosion du stock de près de 400 tonnes de nitrate d'ammonium dans l'usine AZF de Toulouse fut le plus grand accident industriel en France. Cet incident de 2001 a provoqué plus de 2 500 blessés et 30 morts. La plupart des victimes blessées ont contracté des troubles psychiques majeurs suite à l'accident industriel (angoisses, dépression, agitation, insomnies, etc.) [17]



Fig.3.2. AZF Toulouse 2001[17].

- ANACORTES- ETATS-UNIS

Le 02/04/2010 une Explosion d'un échangeur de chaleur dans une raffinerie du pétrole [15].

Un échangeur thermique se rompt dans l'unité d'hydro chauffage de naphta d'une raffinerie. Le mélange d'hydrogène et de naphta relâché s'enflamme, causant une explosion et un incendie. 7 employés participant au redémarrage (2 en charges de l'opération et 5 appelés en renfort) sont tués. La raffinerie est arrêtée 6 mois pour le remplacement des échangeurs thermiques et des autres équipements endommagés. L'agence fédérale en charge des accidents chimiques (CSB) enquête [15].

L'unité où s'est produit l'accident est utilisée pour extraire l'azote et le soufre du naphta brut avant son utilisation en production. L'opération nécessite l'ajout d'hydrogène, une température comprise entre 330 et 370 °C et une pression de 4 000 kPa. L'échangeur en cause était destiné à réchauffer le naphta et l'hydrogène avant traitement. Le système d'échange thermique est constitué de 2 séries parallèles de 3 échangeurs afin de permettre la maintenance sur une branche tout en permettant à l'autre de fonctionner. Au moment de l'accident, l'échangeur en cause était en fonctionnement et la branche parallèle allait être remise en service après une opération de nettoyage [15].

Une expertise menée sur l'échangeur montre un état avancé d'attaque par hydrogène à haute température. La pression partielle d'hydrogène et la température étaient suffisantes pour que certaines molécules d'hydrogène se brisent, permettant aux atomes

de pénétrer dans l'acier carbone en formant du méthane (réaction avec le carbone libre). Les molécules de méthane étant trop grosses pour se diffuser dans l'acier, elles s'accumulent, forment des bulles à haute pression qui se rejoignent pour créer des fissures. Il apparaît qu'après sa construction, l'échangeur n'a pas reçu de traitement à chaud post-soudage qui aurait réduit la sensibilité à ce phénomène. L'expertise montre que les fissures étaient difficilement détectables avant l'accident par des tests ultrasoniques in situ. De plus, aucune recherche de fissures de ce genre n'était menée, la température dans les échangeurs étant supposée ne pas être assez élevée pour initier l'attaque par hydrogène [15].

Le CSB pointe du doigt le manque de culture de sécurité sur le site ainsi que les méthodes de prévisions des risques d'attaques par hydrogène à haute température développées par les industriels du secteur. L'acier allié, contrairement à l'acier carbone utilisé pour construire l'échangeur accidenté, est connu pour ne pas subir d'attaque par hydrogène [15].

Il s'avère que lors de la remise en service des échangeurs de chaleur, des fuites de produits inflammables se produisent. Malgré la connaissance de ces fuites, l'industriel n'a pas cherché à réduire le nombre d'employés affectés à l'opération [15].

3.5.2 En Algérie

- Le 04/10/2005 « Skikda – Algérie »

Une explosion suivie d'un incendie se produit vers 10 h sur un bac d'une capacité nominale de 51000 m³ contenant 35 000 m³ de pétrole brut dans un terminal pétrolier. Le feu se propage rapidement un bac adjacent par effet domino. Le pétrole brut en feu génère un immense nuage noirâtre de plus de 200 m de hauteur au-dessus de la plateforme pétrochimique et de la ville voisine [18].

Le système d'extinction automatique des bacs ne fonctionne pas et des problèmes d'organisation et de coordination des secours compliquent l'intervention : 5 camions de lutte contre l'incendie positionnés trop près du premier bac enflammé seront totalement détruits par les flammes. Aucune mesure n'est prise pour sécuriser les populations environnantes qui paniquent et fuient la commune [18].

L'incendie ne sera totalement circonscrit que 8 jours plus tard. Le bilan humain est très lourd : 27 morts et 17 blessés. Les pertes financières sont évaluées entre 5 et 6 millions de dollars [18].

Selon les conclusions des investigations menées, des gaz inflammables se seraient formés au-dessus du toit flottant du bac et se seraient accumulés en contrebas de ce dernier où se trouve une voie de desserte interne. Après avoir calé par manque d'oxygène, le moteur du véhicule dans lequel se trouvaient les 2 employés de la société qui décèderont, a redémarré et enflammé le nuage de gaz, propageant les flammes vers le haut du bac [18].



Fig.3.3. L'incendie du complexe gazier de Skikda en 2005 [18].

- **Explosion dans GNL1/K de Skikda**

Le 19/01/2004 une explosion se produit vers 18h40 dans un complexe pétrochimique portuaire (Raffinage du pétrole), situé sur la côte et comprenant 6 unités de traitement de gaz et d'hydrocarbures ; 12 000 personnes travaillent sur ce site qui est en partie alimenté par du gaz et du pétrole en provenance du Sahara [19].

L'accident se produit dans l'unité traitant du gaz naturel (GNL), à la suite de l'explosion d'une chaudière à haute pression fabriquant de la vapeur. Sous la violence de l'explosion, des réservoirs de substances inflammables à proximité sont endommagés à leur tour : les fuites qui en résultent provoquent l'extension de l'incendie en différents foyers et de nouvelles explosions (effet domino). Le souffle de l'explosion, entendue à 10 km à la ronde, brise les vitres d'immeubles et commerces du voisinage. Une cellule de crise est mise en place par l'exploitant et le ministère de l'intérieur, le préfet local «wali» déclenche l'équivalent du PPI. Les secours doivent lutter 8 h pour maîtriser l'incendie [19].

Le bilan final est très lourd : 27 victimes parmi les employés dont 9 gardiens ou agents de sécurité situés dans un poste proche et 74 blessés (dont 43 sortiront le lendemain après examens). La plupart des décès est liée aux effets de surpression ou de projection et effondrements de structures [19].

L'estimation des dégâts matériels se monte à 800 M de dollars. 3 des 6 unités de liquéfaction sont détruites. Des débris sont projetés jusqu'à 250 m du point de l'explosion mais les dégâts restent limités au site [19].

Selon un des témoins, des bruits anormaux correspondant à des vibrations ou à des fuites sur soupapes auraient été entendus avant l'explosion violente. L'unité ("train 40") où s'est produite l'explosion, semblait présenter des anomalies de fonctionnement régulières. Suite à une fuite importante signalée par un agent de maintenance qui décèdera dans l'explosion, un mélange d'air et d'hydrocarbures gazeux aurait été aspiré par l'entrée d'air de la chaudière du train n°40 provoquant une première explosion à

l'intérieur de cette dernière, suivie d'une seconde déflagration à l'extérieur puis d'un incendie détruisant les "trains" n°20 et 30 voisins espacés de 60 m les uns des autres [19].

- **Le 05/04/2014 « Dar El Beida - Alger »**

Un camion-citerne transportant 27 000 l d'hydrocarbure percute vers 9 h un véhicule au niveau d'un échangeur d'autoroute puis se renverse et prend feu. Une importante colonne de fumée noire se dégage. Les secours établissent un périmètre de sécurité et interrompent la circulation. Ils transportent à l'hôpital une femme légèrement blessée et éteignent l'incendie.

La circulation est rouverte à 18 h [19].

- **Incendie au complexe GL1/Z ARZEW**

Un gigantesque incendie s'est déclaré la nuit de lundi le 2019 dans l'unité de production de gaz GNL1 de SONATRACH à BETHIOUA -Arzew (Oran). Les habitants de la ville ont entendu deux explosions successives et ont été surpris par la propagation très rapide des flammes [19].

L'énorme incendie s'est déclenché au complexe GNL1 de SONATRACH au niveau du train 400 qui sert à la liquéfaction du gaz, apprend-on [19].

Selon la chaîne 3 de la radio nationale, on compte quatre blessés dont deux dans un état grave [19].

Le plan protocole assistance mutuelle (PAM) a été déclenché immédiatement. Les pompiers qui ont intervenus rapidement ont réussi à circonscrire l'incendie mais ont trouvé beaucoup de mal à l'éteindre. Ils ne sont venus à bout des flammes qu'au bout de quelques heures [19].

- **Incendie au complexe de liquéfaction-GL2/Z**

En effet, dans la nuit du juillet 2019, vers minuit 45, un incendie s'est déclaré au niveau du train 300 de GL2Z. Le sinistre a nécessité la mobilisation de l'ensemble des unités de sécurité et de secours basées dans la zone industrielle [18].

Devant l'ampleur de l'incendie et compte tenu des risques énormes sur l'ensemble de la zone et des populations résidant aux alentours, les agents qui étaient en repos et qui vivent à proximité de la zone ont été rappelés en urgence pour prêter main forte à leurs collègues. Ce n'est que vers 7h que le feu a pu être maîtrisé. Ironie, ce sont les agents qui manifestaient, il y a tout juste 24 heures, pour leurs logements d'astreinte annulés par la direction de SONATRACH, qui étaient les premiers à être rappelés sur les lieux de travail. Fort heureusement, aucune victime n'est à déplorer parmi le personnel et les agents du complexe. En revanche, notre source nous signale que des dégâts importants ont été enregistrés et que probablement la production de GL2Z connaîtra de très fortes perturbations pour une durée de 6 mois [18].

À signaler que, durant ces 8 derniers mois, c'est le quatrième incident qui survient au niveau de la zone. Le dernier en date avait eu lieu au niveau du complexe d'ammoniac. Cette fois, il y avait eu mort d'hommes : deux agents, en effet, y avaient laissé la vie [18].

Cette succession d'accidents ou d'incidents inquiète beaucoup, du fait de la nature des installations dans la zone d'Arzew, la plus importante zone pétrochimique d'Algérie [18].

3.6 Effets des accidents industriels

Les conséquences des accidents industriels touchent généralement les travailleurs. Cependant, son ampleur peut affecter l'environnement ainsi que l'infrastructure du site. En fonction de la localisation de l'accident industriel, de sa gravité ou encore de sa nature, vous pouvez distinguer trois grands effets. Ces derniers peuvent être :

- Toxiques si les risques sont dus à l'inhalation de gaz ou de substance chimique toxique ;
- Thermiques lorsque l'accident résulte d'une explosion ou d'une combustion de produits inflammables ;
- Mécaniques quand l'accident provient d'une détonation ou d'une déflagration qui résulte d'une onde de choc ou d'une explosion [18].

Grâce aux dispositions de sécurité imposées aux employeurs d'un site industriel, on a pu constater une baisse constante des conséquences humaines dues aux accidents industriels [18].

Sachez qu'un accident industriel peut entraîner des troubles physiques et psychologiques [18].

Les accidents industriels engendrent également des conséquences environnementales et économiques considérables. Les activités industrielles, quelle que soit la typologie, impactent les différentes matrices environnementales, c'est-à-dire l'eau, l'air et le sol. Ces répercussions détériorent la vie organique (l'homme, la flore et la faune) [18].

Sur le plan économique, les accidents industriels se traduisent comme une mauvaise gestion des risques professionnels. Cela engendre une perte significative dans la productivité des travailleurs en usine industrielle ou entrepôt de stockage [18].

3.7 Conclusion

Dans ce chapitre portant sur les différents accidents dans l'industrie, nous avons examiné une série d'incidents majeurs qui ont eu des répercussions significatives sur l'environnement. Ces événements tragiques soulignent l'importance cruciale de prévention des accidents industriels et la mise en place des mesures de sécurité rigoureuses. Il est impératif pour les entreprises de mettre en œuvre des protocoles de sécurité solides, de former leur personnel adéquatement et de respecter les normes et

réglementations en vigueur. Ce chapitre met en lumière la nécessité d'une vigilance constante et d'une culture de la sécurité au sein de l'industrie pour éviter de tels drames à l'avenir.

CHAPITRE 4

Les moyens de lutte

4.1 Introduction

Durant la production, le traitement et le stockage de substances inflammables tel que le gaz naturel ou la gazoline, des gaz et des vapeurs inflammables s'échappent. Ces matières peuvent former des atmosphères explosibles avec l'oxygène de l'air, lorsque celles-ci s'enflamment, elles donnent lieu à des explosions qui peuvent causer d'importants dommages aux personnes et aux biens [20].

Il est donc primordial de prévoir des systèmes de sécurité contre les fuites et déversements de combustibles et substances toxiques provoquées soit par un défaut de construction des machines, tuyauteries ou récipients contenant du gaz naturel, de la gazoline ou d'autres produits dérivés, soit par la force de la nature ou suite à une erreur de l'opérateur [20].

Les systèmes de sécurité installés et mis en place sur site permettent de faire face à toute éventualité d'un phénomène dangereux (fuite, explosion, feu ...etc.) et pour réduire la probabilité d'occurrence d'un évènement majeur [20].

4.2 Triangle de feu

Un feu « réaction de combustion » ne peut avoir lieu que si les trois éléments (Combustible, comburant, énergie d'activation) sont réunis, ceci est illustré par le triangle de feu, chaque côté du triangle représente un élément [20] :



Fig.4.1. Le triangle de feu [21].

4.2.1 Combustible (solide, liquide, gazeux)

C'est la matière inflammable susceptible de brûler (essence, bois, gaz, huile, plastique...etc.) [20].

4.2.2 Comburant

C'est le produit qui favorise ou active la combustion (Oxygène, nitrates) [20].

4.2.3 Energie d'activation

Chaleur, Soleil, étincelle, frottement, électricité, onde, flamme, allumettes, Cigarette électromagnétique, téléphone [20].

4.3 Moyens de lutte contre les incendies

Afin d'assurer la sécurité, le complexe GL2/Z dispose de divers moyens de détection et de protection contre l'incendie [20].

Les systèmes de sécurité installés et mis en place sur site permettant de faire face à toute éventualité d'un phénomène dangereux (fuite, explosion, feu) et pour réduire la probabilité d'occurrence d'un évènement majeur sont les suivants :

- Le réseau eau incendie ;
- Le système à poudre ;
- Le système CO₂ ;
- Les extincteurs ;
- Le système mousse ;
- Le système de détection et d'alarme anti-incendie [20].

4.3.1 Réseau eau incendie

Le réseau d'eau incendie est un réseau bouclé maillé, ayant deux directions d'alimentation et isolables par des vannes de sectionnement. Le système comporte, en cas d'incendie deux pompes principales la 2260 JAM et la 2260JAD, l'une entraînée par moteur électrique et l'autre par moteur diesel. Chaque pompe à un débit de 2920 m³/h et une pression de 9 bars [20].

Le réseau incendie est maintenu sous pression par une pompe auxiliaire « Jockey » 2261 J entraînée par un moteur électrique d'un débit de 125 m³/h à la pression 7 bars, cette pompe fonctionne de façon continue afin d'assurer l'alimentation des poteaux incendie [20].

Distribution de l'eau anti-incendie

Le réseau de distribution de l'eau alimente les appareils de protections suivants :

- Poteaux incendie (PI) ;
- Lances monitors à balayage automatique (LMBA) ;
- Systèmes déluges ;
- Bâtiments à mousse 2117K/2115K ;
- Générateurs à mousse [20].

Poteaux incendie

Le complexe GL2/Z comporte 156 poteaux incendie équipés de 3 sorties (02 d'un diamètre 70mm et 01 d'un diamètre de 100mm) répartis de la façon suivante :

- Chaque train dispose de 12 PI (04 coté EST, 04 côté OUEST, 02 côté NORD, 02 côté SUD) ;
- La zone utilité dispose de 11 PI ;
- Ecole de feu dispose de 07 PI ;

- ADM dispose de 20 PI ;
- 46 PI répartis sur le reste du site [20].

Le débit du poteau incendie est de 113 m³/h [20].



Fig.4.2. Poteau incendie [20].

Lances monitors à balayage automatique

Le réseau eau incendie alimente 10 LMBA d'un débit de 272 m³/h :

- 02 LMBA pour le refroidissement du réservoir diesel de la pompe 2260JAD se trouvant au niveau de la pomperie ;
- 08 LMBA pour le refroidissement des bacs gazoline (04 LMBA/ bac) [20].



Fig.4.3. LMBA [20].

Systèmes déluges [20]

06 demi-couronnes pour les bacs GNL (02 /bac) :

- Le bac GNL A dispose d'une demi-couronne de 100% côté OUEST et d'une couronne de 25 ou 75% côté EST ;
- Le bac GNL B dispose de deux demi-couronnes de 25% ou 75% ;

- Le bac GNL C dispose d'une demi-couronne de 25 ou 75% côté OUEST et d'une demi-couronne de 100% côté EST.

Le débit des demi-couronnes est de 345 m³/h pour 25% et de 1135 m³/h pour 75%.



Fig.4.4. Les demi-couronnes de déluge [20].

Le déluge des bacs gazoline : 2130FA et 2130FB est alimenté par l'eau de mer du réseau anti-incendie.

Le haut du toit de chaque bac est protégé de la chaleur de radiation en cas d'incendie à proximité par une couronne de refroidissement de 6 pouces contenant des orifices, cette couronne a un débit de 660 m³/h si la pression dans le réseau incendie est de 7 bars.

Les vannes d'actionnement du déluge sont protégées par deux Bunkers situées du côté Est de la cuvette de chaque bac.

Les BENCKEUR des bacs de gazoline se trouvent au sud des bacs.



Fig.4.5. Bunkers [20].

Le mode de fonctionnement

Le système fonctionne selon trois modes :

- Commande à distance par console DCS ;
- Commande manuelle sur place (ouverture manuelle de la vanne ou de la vanne bypass)

- Automatique (la sécurité positive ouverture en cas de perte d'électricité) [20].

La détection du système déluge [20]

La mise en marche se fait par :

- DCS ;
- MANUEL " BENCKEUR".

Le déluge d'un débit de 113 m³/h pour les bâtiments suivants :

- Bâtiment mousse haut foisonnement 2115K ;
- Bâtiment sous station électrique pomperie 2102 K ;
- Bâtiment terminal 2101 K.

Bâtiments à mousse haut foisonnement 2115K

Les boucles souterraines alimentent le groupe de production de mousse foisonnante au bâtiment 2115K, l'émulseur et les installations de mise en pression de la commande sont situées dans ce dernier [20].



Fig 4.6 : Bâtiment 2115K [20].

Bâtiment à mousse bas foisonnement 2117K

Le réseau d'eau incendie alimente le bâtiment 2117K avec un débit de 318 m³/h pour la production de la solution moussante [20].



Fig 4.7 : Bâtiment 2117K [20].

Générateur à mousse

Les générateurs à mousse sont alimentés par une conduite d'eau incendie et une conduite d'émulseur pour la production du mousse haut foisonnement au niveau du pied de chaque générateur [20].

4.3.2 Systèmes mousses

Une mousse est un mélange hétérogène d'air et d'eau, obtenu à l'aide d'un agent émulseur :

- L'eau est amenée sous pression à l'aide d'une pompe → EAU ;
- L'émulseur est mélangé à l'eau → EAU+ EMULSEUR= SOLUTION MOUSSANTE
- L'air est introduit soit à l'aide d'un générateur, soit par une ouverture qui entraîne par dépression l'air extérieur → SOLUTION MOUSSANTE+ AIR= MOUSSE [20].

Système mousse haut foisonnement

La cuvette de rétention des bacs GNL ainsi que la fausse des pompes sont protégées par un système de mousse haut foisonnement, cette mousse est destinée à contrôler les vapeurs de GNL et diminuer l'intensité de la chaleur en cas de feu [20].

Chaque cuvette de rétention des bacs GNL est protégée par 13 générateurs à mousse haut foisonnement :

- 4 générateurs du côté sud avec un débit de 850 m³/min ;
- 3 générateurs de chaque côté EST, OUEST et NORD avec un débit de 625 m³/min [20].

La fosse des pompes dispose de 2 générateurs à mousse haut foisonnement située à l'angle NORD- OUEST et SUD-EST recevant la solution moussante [20].



Fig.4.8. Générateurs à mousse haut foisonnement [20].

Système mousse bas foisonnement

La mousse bas foisonnement sert à éteindre des feux de gazoline, d'huiles pour diesel et d'autres Hydrocarbures lourds [20].

Chaque bac gazoline est muni de 4 déversoirs situés en haut du bac au niveau duquel est produite la mousse bas foisonnement ainsi que 3 lances à dévidoirs d'un débit de 23 m³/h [20].



Fig 4.9 : Lance à mousse sur dévidoir [20].

4.3.3 Systèmes à poudre

L'installation de poudre est comportée d'une manière générale :

- Un ou deux réservoirs de stockage de la poudre (1*2000kg ou 2*1000kg) ;
- Une réserve de gaz N₂ pour pressurisation du réservoir de poudre ;
- Un réseau de distribution ;
- Un ensemble de buses de projection de poudre ;
- Deux dévidoirs situés sur le SKID à poudre [20].



Fig.4.10. SKID à poudre [20].

Tab.4.1. Emplacement des systèmes poudre au niveau du site [20].

Localisation	Nombre	Description
Train (fractionnement)	1	<ul style="list-style-type: none"> • 2 réservoirs de 1000kg de poudre chacun • 8 bouteilles • 2 lances à canon.
Train (chaudière)	1	<ul style="list-style-type: none"> • 1 réservoir de 2000kg de poudre • 8 bouteilles • 2 dévidoirs • 3 lances à canon
Utilité	1	<ul style="list-style-type: none"> • 2 réservoirs de 1000kg de poudre chacun • 8 bouteilles N₂ • 3 lances à canon • 4 dévidoirs
Fosse des pompes	2	<ul style="list-style-type: none"> • 2 réservoirs de 1000kg de poudre • 6 bouteilles N₂ • 36 diffuseurs
Chaudières IHI	2 (1/chaudière)	<ul style="list-style-type: none"> • 1 réservoir de 2000kg de poudre • 6 bouteilles N₂ • 2 dévidoirs/étage
Chaudières ABB	3	<ul style="list-style-type: none"> • 1 réservoir de 2000kg de poudre • 2 dévidoirs • 4 lances à canon
Bacs GNL	1/bac	<ul style="list-style-type: none"> • 1 réservoir de 2000kg de poudre
Bacs gazoline	1/bac	<ul style="list-style-type: none"> • 2 réservoirs de 1000kg de poudre • 2 bouteilles N₂
Quai de chargement	2	<ul style="list-style-type: none"> • 2 réserves de poudre • 4 dévidoirs tournants
Systèmes poudre au niveau des événements de bacs.	1/événement	<ul style="list-style-type: none"> • 2 bouteilles de 25kg de poudre • Pression de service 23bar

4.3.4 Système CO₂

Les systèmes CO₂ sont utilisés depuis des années pour éteindre des incendies de liquides inflammables, de gaz et d'équipement électrique. Le CO₂ agit sur le feu en réduisant la quantité d'oxygène contenu dans l'air jusqu'au point où la combustion ne peut plus avoir lieu [20].

L'installation de CO₂ comprend les équipements suivants :

- Un stockage de CO₂ (bouteilles 67 L contenant chacune 45 kg de CO₂) ;
- Un réseau de tuyauterie permettant d'alimenter un réseau de buses couvrant le risque [20].

Tab.4.2. Emplacement systèmes CO₂ au niveau du site [20].

Localisation		Description
Turbogénérateur		<ul style="list-style-type: none"> • 4 bouteilles CO₂ de 68L • 1 bouteille CO₂ pilote de 1L • 4 diffuseurs.
Sous stations électriques des trains (Salles APM)		<ul style="list-style-type: none"> • 6 bouteilles CO₂ de 67L
Sous stations électriques utilité (Salle APM)		<ul style="list-style-type: none"> • 4 bouteilles CO₂ de 67L (2 primaires, 2 réserves).
Sous station électrique		<ul style="list-style-type: none"> • 4*12 bouteilles CO₂ de 67L
Bâtiment terminal (Salle APM)		<ul style="list-style-type: none"> • 2 bouteilles CO₂ de 67L (1 primaire, 1 réserve)
DCS	Salle DCS	<ul style="list-style-type: none"> • 8 bouteilles CO₂ de 67L • 12 diffuseurs
	Salle ordinateur	<ul style="list-style-type: none"> • 4 bouteilles CO₂ de 67L • 4 diffuseurs
	Salle APM	<ul style="list-style-type: none"> • 4 bouteilles CO₂ de 67L • 4 diffuseurs

4.3.5 Extincteurs

Il y a deux types d'extincteurs :

- A pression auxiliaire : Ils sont mis sous pression par libération d'un gaz contenu dans une cartouche auxiliaire ;

- A pression permanente : Ils sont mis en service par simple appui sur une poignée et libération de la pression contenue sans le réservoir [20].

Tab.4.3. Emplacement des extincteurs [20].

Localisation	Nombre	Type d'extincteurs
Utilités	24	Extincteurs poudre 13,5Kg
	3	Extincteurs poudre 50Kg
	23	Extincteurs CO ₂
	3	Extincteurs CO ₂
Unité de fabrication	1	Lance tractable canon
	36	Extincteurs poudre 13,5Kg
	1	Extincteur poudre 150Kg
	13	Extincteurs CO ₂ 9Kg
	1	Extincteur CO ₂ 10Kg
	1	Générateur à mousse HF tractable
Stockage gazoline	4	Extincteurs poudre 13,5Kg
	1	Extincteur poudre 170Kg
Salle de contrôle	2	Extincteurs poudre 13,5Kg
	6	Extincteurs CO ₂ 9Kg
	1	Extincteur CO ₂ 10Kg
	4	Appareils respiratoire isolants
Sous station électrique Section gazoline	2	Extincteurs CO ₂ 9Kg

4.3.6 Système de détection et d'alarmes incendie

Un système de détection et d'alarmes incendie est installé sur le site ayant pour but de déceler automatiquement toute fuite ou feu et d'avertir le personnel, permettant ainsi de prévenir tout risque de danger, il comporte les appareils suivants :

- Détecteurs de gaz « AIT, GC » ;
- Détecteurs haute température « HTD » ;
- Détecteurs basse température « LTD » ;
- Détecteurs de flamme « FD » ;
- Détecteurs de fumée « SD » ;
- Sirène ;
- Boîtes d'alarmes (pull-box) [20].

4.4 Moyens de protection pour les bacs gazoline

Au niveau du complexe GL2/Z, il existe deux bacs de stockage de gazoline (2130A-2130B) conçue de toit fixe et d'écran flottant et chacun d'entre eux a une capacité de stockage de 14000 m³ [20].

La gazoline nécessite des moyens de protection qui se résument comme suit :

4.4.1 Ecran flottant

Cet écran flottant est en contact avec la gazoline, quand le niveau de cette dernière augmente l'écran monte également, à l'inverse, lorsqu'il diminue l'écran descend afin de minimiser la surface des pertes en évaporation. Il faut également ajouter des joints pour éviter les fuites ainsi que des béquilles pour maintenir l'écran à une hauteur minimale qui est de 1m50 [20].

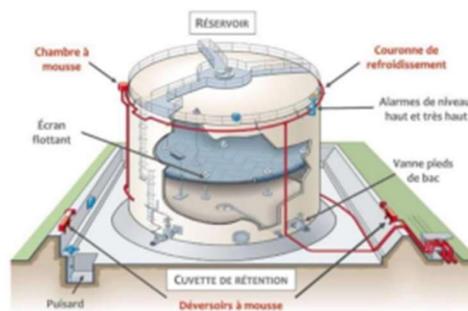


Fig.4.11. Ecran flottant [20].

4.4.2 Soupape respiratoire

On doit protéger le bac contre le problème de surpression et de sous-pression [20].

Dans le premier cas (La surpression)

La pression va augmenter dans le bac et risque de créer une explosion [20].

Dans le deuxième cas (La sous-pression)

Dans la mesure où on vide le bac, la diminution de la pression provoque la dépression de ce dernier [20].

Dans ces deux cas, on installe des soupapes de respiration qui ont pour fonction : lorsqu'elle monte, elle va s'ouvrir et évacuer l'excès de pression et en cas de diminution, elle s'ouvre pour faire entrer l'air et éviter la dépression du bac [20].

4.4.3 Les plaques suicidaires

Dans le liquide, il y a des traces d'eau ce qui va engendrer le risque de corrosion, dans ce cas-là on met des plaques suicidaires (Des morceaux de métal exposés dans le bac), pour avoir une réaction avec ce métal et non avec les parois du bac pour former une protection. On ouvre le bac chaque 3 ou 4 ans afin de renouveler ces dernières [20].

4.4.4 Section torches et brûlot**Torches**

Il y a 4 systèmes de torche dans le complexe :

- La torche froide pour les gaz à moins de 0°C (issus des rejets liquides boucle propane + MCR, liquéfaction) ;
- La torche chaude pour les gaz à plus de 0°C (décarbonatation, déshydratation, tour de lavage, fractionnement) ;
- La torche recevant les rejets de mise en froid des méthaniers ;
- La torche BP pour les excès de vapeurs issus des réservoirs de stockage GNL et du chargement.

Toutes les soupapes de sécurité sont connectées aux systèmes de torche à l'exception des vannes de sécurité de décompression installées sur les bacs de GNL et les soupapes des bacs de gazoline qui rejettent directement à l'atmosphère [20].

Brûlots

Le brûlot est une zone entourée d'une digue de terre. Le fond et les parois de cette "fosse" sont également en terre. L'arrivée des liquides se fait par gravité. L'allumage est assuré par une flamme pilote alimentée en GN. Ce brûlot reçoit les fractions liquides c'est-à-dire lourdes (C5+), ainsi que les excès éventuels de gazoline par rapport à la capacité de stockage du site [20].

4.4.5 Cas de fuite

Une fois les deux bacs de gazolines remplis, un bateau condensatif arrive au quai aux moyens de pompes de chargement ils aspirent et refoulent la gazoline dans le bateau. En cas de fuite dans une pompe, il y a des détecteurs AIT, qui déclenchent l'alarme, dans ce cas soit on réoriente la gazoline vers le deuxième bac, soit on la dirige vers la torche pour la brûler [20].

4.5 Conclusion

Dans ce chapitre consacré aux moyens de lutte, nous avons examiné en détail les différentes stratégies et technologies disponibles pour prévenir ces risques majeurs. Nous avons constaté que des mesures préventives telles que la gestion des risques, la formation du personnel, la maintenance régulière des équipements et l'utilisation de systèmes de détection et d'extinction sont essentielles pour garantir la sécurité des installations industrielles. Il est impératif pour les entreprises de suivre les meilleures pratiques en matière de sécurité et de s'assurer que leurs installations respectent les normes et réglementations en vigueur. Il souligne aussi l'importance vitale de la prévention des explosions dans l'industrie et met en avant la nécessité d'une approche proactive pour garantir la sécurité des travailleurs et de l'environnement.

CHAPITRE 5

**Scénario d'un plan d'attaque suite à
une fuite de gazoline suivi d'un jet
fire.**

5.1 Introduction

Chaque activité industrielle et spécialement celle de liquéfaction de gaz naturel comporte de hauts risques industriels pouvant nuire aux vies et installations en exploitation.

Ce type de process est sujet à une grande variété d'incidents et/ou sinistres où des situations graves peuvent sérieusement perturber son fonctionnement, l'endommager et même le détruire [22].

Le Complexe GL2/Z est un établissement classé à risque majeurs vu les différents procédés de fabrication complexes et dangereux où plusieurs produits chimiques toxiques, comburants, et hautement inflammables sont mis en œuvre et véhiculés par des paramètres de marche et des sources d'énergie importantes, celui-ci est considéré comme établissement à haut risque et doit avoir tous les facteurs sécuritaires en priorité afin d'éviter toute catastrophe humaine ; matérielle et environnementale [22].

5.2 Plan Interne d'Intervention « PII »

Il a pour fonctions essentielles le confinement de l'incident et la préservation de la sécurité du personnel et l'environnement. Il est contrôlé par le Poste de Direction des Opérations Internes (PDOI) et le Poste de Commandement Opérationnel (PCO) au niveau du site sinistré [23].

5.2.1 Poste de Direction des Opérations Internes (PDOI)

Décision LQS-A-015 Rév 01 : Article 03 : Les membres permanents peuvent, à titre exceptionnel, être remplacés par les suppléants désignés, conformément à la législation en vigueur.

- Le Poste de Direction des Opérations Internes se réunit en cas de situation d'urgence ;
- Il est situé dans la salle de Gestion des Urgences prévu uniquement à cet effet (DOI) ;
- Le PDOI dirige, oriente et coordonne la gestion de l'incident sur le site pendant toute sa durée
- Il a la première place dans l'ordre de primauté durant l'incident ;
- Le PDOI tient informé le Poste Commandement Tactique (PCT) de l'évolution de la situation ;
- Le PDOI organise tout le support médical, logistique ou humain demandé par le PCO et estimé nécessaire par le PDOI [20].

Composition rôle et responsabilité du PDOI

Dirigeant du PDOI :

- Diriger et prendre le commandement de l'incident au niveau du PDOI ;
- Maintenir l'état de préparation des moyens humains et matériels ;

- Recevoir, de la part des coordinateurs des opérations process/production, les informations précises sur la situation ;
- Évaluer la situation et informer le poste de commandement tactique PCT ;
- Se conformer aux procédures opérationnelles standards et au PII ;
- Effectuer une évaluation dynamique du risque de l'incident ;
- Décider si la situation nécessite l'évacuation totale ou partielle du site ;
- Maintenir la communication avec tous les coordinateurs ainsi que toutes les parties prenantes et s'assurer de la mobilisation et du déploiement des différentes équipes (modules) ;
- Maintenir le contact avec le chef d'incendie et lui communiquer les informations pertinentes ;
- Se gérer lui-même ainsi que la performance de son équipe ;
- Évaluer l'ampleur de l'incident et identifier les ressources supplémentaires d'assistance
- Maintenir la liaison permanente avec le poste de commandement tactique ;
- Formuler et adapter une stratégie globale pour faire face à l'incident ;
- S'assurer que les personnes non essentielles sont évacuées du site ;
- Annoncer la fin d'incident et la fin d'alerte [20]

Coordinateur du Process /Production

Sous l'autorité du directeur des opérations internes (DOI), le coordinateur des opérations process/production assure la fonction d'assistant (DOI), il est chargé de :

- Demander à l'opérateur de la salle de contrôle process de faire les premières annonces au personnel ;
- S'assurer que les alarmes d'urgence sonnent, sinon, activer les commandes prioritaires manuelles ;
- En cas de nécessité, désigner un exploitant compétent se trouvant au point de rassemblement pour se rendre sous la protection de l'équipe d'incendie afin d'entreprendre les opérations nécessaires liées au process ;
- En cas de nécessité, faire appel à l'intervention de toutes autres compétences (électriciens, mécaniciens, chaudronniers, etc...) ;

Demander à l'opérateur de la salle de contrôle process d'actionner les commandes prioritaires, sinon, il actionne les commandes annexes à partir du PDOI lorsque le leader de l'équipe du poste de commandement opérationnel lui demande (s'il y a lieu) [20].

Coordinateur de communications I

Assiste le dirigeant de l'équipe et gère notamment les communications avec le Poste de Commandement Opérationnel et l'Equipe Médicale [20].

Coordinateur de communications II

Gère, notamment, les communications avec le Poste de Commandement Tactique et les points de rassemblement [20].

Rapporteur I (personne enregistrant les données sur tableau blanc)

- Enregistrant les données techniques, les personnes clés impliquées et les résultats du comptage aux points de rassemblement ;
- Apporter les informations en continu sur un tableau magnétique (direction du vent, nuages de gaz, fumées, routes d'accès, etc...) sur le schéma du site ;
- Enregistrer les données météo ;
- Enregistrer les données reçues des points de rassemblement ;
- Enregistrer les noms des personnes clés de réponse à l'incident ;
- Enregistrer les ressources supplémentaires mises à disposition et qui sont fournies ;
- Faire la liaison avec le rapporteur II pour l'enregistrement des informations sur l'incident [20].

Rapporteur II (Personne enregistrant les données)

- Enregistrant les données liées aux blessés et enregistrant sur le registre toutes les informations importantes liées à l'incident (heure, action, etc...) ;
- Suivre les informations essentielles sur le tableau blanc et les consigner sur le registre : la localisation de l'incident, la nature de l'incident (feu, gaz, explosion, la direction que prend le déversement, etc...), les blessés, les informations sur la météo et le transport, la localisation des équipes d'intervention et médicales [20].

Tab.5.1. Membre de PDOI [20].

Rôle	Membre permanent	1 ^{er} suppléant	2 ^{ème} suppléant
Dirigeant	Directeur du complexe	Sous-directeur Exploitation	Chef département Technique
Coordinateur des opérations Process/Production	Chef département Production	Chef département Technique	Chef service Etude
Coordinateur de communication N°1	Chef département Sécurité	Chef service Prévention	Chef département Production
Coordinateur de communication N°2	Sous-directeur Exploitation	Chef département maintenance	Chef département Travaux neufs
Rapporteur N°1	Sous-directeur Personnel	Chef département Personnel	Chef département Moyens Généraux
Rapporteur N°2	Chef département Technique	Chef département Finance	Chef département Approvisionnement

Schéma d'organisation

Poste de Commandement (salle DOI)

L'emplacement du PC est défini en fonction des critères suivants :

- Protection extrême des effets des sinistres possibles, accessibilité, visibilité (repérable)
- Elle doit être doté de moyens de communication (téléphones, télécopieur, postes radio, etc.) ;
- En cas d'incendie au site, le PC ou la salle DOI est installée à la base de vie ou à la Direction (Salle alternative) [20].

Les moyens disponibles à la salle DOI sont les suivants

- Des exemplaires du PII ;
- Les manuels opératoires ;
- La situation des stocks des produits pétroliers ;
- La situation des stocks des produits dangereux ;
- Un annuaire téléphonique IP et un annuaire téléphonique normal de Sonatrach qui sont actualisés ;
- Moyens de communication fixes et mobiles ;
- Matériels de bureau (stylo, crayon, papier, sticker, etc....) ;
- Lampes torches ATEX ;
- Appareils photo, un enregistreur de voix, data-show, des PC ;
- Tableaux pour renseigner sur l'évolution du sinistre ;
- Équipements informatiques (PC, imprimante, réseau internet et intranet) ;
- Gilets et brassards [20]

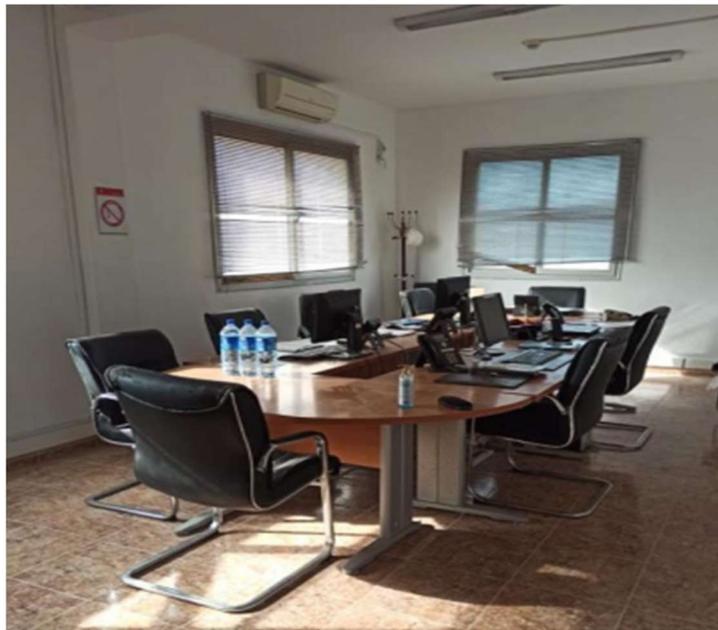


Fig.5.1. Salle DOI [20].

Documents du Poste Direction des Opérations Internes

- Carte de l'Algérie avec les sites et les pipelines de Sonatrach ;
- Annuaire téléphonique d'urgence ;
- Plan d'organisation des secours PII en trois exemplaires ;
- Les procédures d'urgences des installations ;
- Manuels d'exploitation des installations ;
- Plans PFD et PID ;
- Plan des alimentations électriques ;
- Plan du réseau d'eau incendie et mousse ;
- Plan du système de drainage :

- Fiches de données sécurité des produits ;
- Le stockage des matériaux inflammables ;
- Tous autres documents jugés nécessaires par le site [20].

5.2.2 Poste de commandement des Operations

Décision LQS-A-015 Rév 01 : Article 03 : Placé sous l'autorité du Directeur du complexe, Le PCO est situé sur le site (ou dans ses environs immédiats), à proximité de la zone touché par l'incident tout en étant protégé.

Son rôle principal est de commander l'intervention sur site en ayant une vision globale des opérations en cours et des risques d'effets domino ou d'escalade. Il dirige et coordonne les équipes d'intervention présentes sur le site (Sauvetage & Incendie, Intervention Equipement Lourd et Intervention Opérationnelle).

Son positionnement doit donc lui permettre d'être conscient de l'évolution de la situation en temps réel tout en étant à l'abri des effets d'une potentielle escalade de l'incident. Sa position sera différente en fonction de l'emplacement et du type d'incident.

Équipe d'incendie

Chef PCO (chef d'incendie)

Sous l'autorité du directeur des opérations internes (DOI), la fonction du « chef de Poste de Commandement Opérationnel » coordonne le travail d'intervention, de sauvetage et des secours. Cette fonction est assurée par le responsable de l'équipe d'intervention [20].

Le responsable de l'équipe de sauvetage et incendie a pour mission de :

- Diriger et coordonner les équipes d'incendie et de sauvetage ;
- Organiser son travail en binôme ;
- Dès la réception de l'information de l'incident, se rendre sur le lieu et prendre le commandement des opérations en temps réel ;
- Se conformer aux procédures opérationnelles standard de lutte contre l'incendie et aux plans d'attaque ;
- Faire une évaluation dynamique du risque des opérations de sauvetage et de lutte contre l'incendie ;
- Évaluer l'incident et prévoir des ressources supplémentaires ;
- Faire la liaison avec le PDOI et informer le coordinateur de la communication I de la situation
- Définir la stratégie à adopter pour faire face à la situation ;
- Contrôler et vérifier l'utilisation des ressources. Le cas échéant, demander la mobilisation d'autres équipes par le biais du PDOI, par exemple : les équipes médicales, l'intervention d'équipements lourds, etc... ;
- Évaluer et déterminer les besoins en ressources des opérations de sauvetage ;

- Répartir les tâches aux équipes d'intervention incendie et aux équipes dotées d'appareils respiratoires ;
- Surveiller la performance des équipes et leurs niveaux de stress ;
- Surveiller l'intégrité des murs anti-feu et anti-explosion ;
- Surveiller l'intégrité des structures anti-feu, et agir en conséquence ;
- Contrôler l'état des zones à risque (capacité, cuvette de rétention, zone de stockage, drains, regards, événements, etc...) ;
- S'assurer que les EPI appropriés sont disponibles et portés ;
- S'assurer que les dispositions adéquates de décontamination sont prises pour les équipes d'incendie et le personnel de sauvetage ;
- Organiser les dispositions de gestion des effluents et déchets (exemple : la maîtrise de l'écoulement des eaux d'incendie) ;
- Surveiller les activités de l'équipe de réponse des équipements lourds en ce qui concerne le confinement et la maîtrise du déversement [20].

Agents d'intervention « Pompiers » :

- Se tenir prêts à répondre aux urgences (les équipements doivent également être prêts à fonctionner) ;
- Se tenir prêts à pénétrer la zone de l'incident ;
- S'équiper de l'EPI qui correspond au type d'incident ;
- En travaillant sur l'incident, assurer leur sécurité personnelle à tout moment ;
- Effectuer les opérations de sauvetage selon les consignes du Chef d'incendie ;
- Effectuer les opérations de lutte contre l'incendie selon les consignes du Chef d'incendie
- Aider à effectuer la décontamination ;
- Aider les Équipes médicales à préparer et à maintenir des abris sanitaires, le cas échéant [20].

L'équipe de Sauvetage

- Effectuer les opérations de sauvetage selon les instructions du Chef d'incendie ;
- Aider les Équipes médicales à effectuer le sauvetage ;
- Guider les Équipes médicales (et les autres Équipes de sauvetage) vers l'incident, et superviser leur sécurité en continu [20].

Ambulanciers

- Garder le contact avec le dirigeant de l'Équipe médicale ;
- Être présent sur le lieu de l'incident et transférer les blessés vers le centre médical ou la zone de triage désignée pour faire évaluer leur état ;
- Aider les services médicaux des autorités locales à transporter les blessés hors du site [1].

Support logistique

Sous l'autorité du chef du poste de commandement opérationnel (PCO), la fonction « Logistique » assure la gestion opérationnelle des moyens nécessaires à l'intervention.

La fonction logistique a pour mission :

- Se tenir en état de préparation.
- Initier l'appel du personnel clé.
- Respecter le plan de réponse à l'urgence.
- Mobiliser et déployer les moyens concernant son module.
- Faire le briefing à ses équipes et leur indiquer les procédures de sécurité à appliquer.
- Faire la liaison avec le coordinateur de communication 2 du PCO.
- Suivre les fiches d'appel du Plan de réponse à l'urgence concernant le module.
- Maintenir un registre des actions entreprises.
- S'assurer que des exemplaires des schémas isométriques sont disponibles (tuyauterie, électricité, eau, drains, etc.).
- Faire la liaison / coordonner avec les sous-traitants en interventions spécialisées (par Exemple : les équipes de plongée pour les interventions sous-marines).

5.2.3 Responsable exploitation

Sous l'autorité du DOI, la fonction du responsable exploitation gère l'exploitation de la zone sinistrée et les conséquences possibles sur l'environnement [20].

La fonction du « responsable exploitation » consiste à :

- Transmettre les ordres d'arrêt partiel ou total et d'évacuation ;
- Appliquer les consignes sécurité incendie applicables sur le site (mise en sécurité des personnes et des bâtiments) ;
- Assurer la responsabilité de l'exploitation du site et de l'installation sinistrée ;
- S'assurer de la sécurité des installations voisines ;
- Assurer la continuité dans la fourniture des fluides généraux ;
- Coordonner les manœuvres impliquant plusieurs installations ;
- Prendre en compte les problèmes d'environnement ;
- Anticiper l'évolution de la situation sur l'installation [20].

5.3 Contexte réglementaire

- **Décret exécutif N° 09-335** du 20 Octobre 2009 fixant les modalités d'élaboration et de mise en œuvre des plans internes d'intervention par les exploitants des installations industrielles ;
- **Arrêté interministériel du 17 Dhou El Kaada 1431** correspondant au 25 octobre 2010 fixant le canevas relatif à l'élaboration du plan interne ;
- Conformément au protocole d'assistance mutuelle inter complexes entrant dans le cadre de la gestion des urgences et des crises.
- **Circulaire N°005CAB/DPP/2006** parue après le dernier incident de Skikda.

5.4 Exercice de simulation d'un plan d'attaque au niveau du bac de stockage gazoline

5.4.1 Description de la zone étudiée

Le complexe GL2Z comprend deux bacs de stockage à toit fixe écran flottant pour le stockage de gazoline de 14 468 m³ de capacité unitaire, chaque bac est muni d'une soupape de sécurité.

La gazoline provenant des débutaniseurs (X53-E) des trains en production est stockée dans les bacs 2130-FA/FB à pression atmosphérique [24].

Tab.5.2. La Composition De La Gazoline [24]

Composant	Pourcentage moléculaire
Hexane	41%
N-pentane	33%
Iso-pentane	26%



Fig.5.2. Bac de stockage gazoline [25].

5.4.2 Situation du complexe

Tab.5.3. Situation du complexe [20].

Pression gazoduc	42.1 bar
Trains en production	Tr100 – Tr200 – Tr300
Volume de gazoline stockée	Bac 2130-FA : 11456m ³ Bac 2130-FB : 11252m ³
Chaudière en service	770 UB – 770 UC – 770 UD – 770 UF
Pression réseau d'eau anti-incendie	06 bars

5.4.3 Scénario de l'accident

Pour la simulation d'incident avec déclenchement du plan d'attaque, nous avons choisis comme scénario : «Perte de confinement suite à un déversement au niveau du bac de gazoline 2130 FB»

Ce scénario a été choisi pour répondre à d'éventuels accidents possibles au niveau de la section de stockage de gazoline [20].



Fig.5.3. Lieu de l'incident [20].

Description de l'incident

- Opération de levage au niveau de la cuvette de rétention du bac de stockage gazoline 2130-FB, entrant dans le cadre des travaux de réhabilitation des passerelles.
- Déséquilibre, suivi de renversement de la grue de 15 Tonnes.

- La flèche de la grue défense la ligne 06 de remplissage du bac 2130-FB.
- Suite à la rupture de la ligne de remplissage, épandage du produit stocké et formation d'une nappe de gazoline.

La simulation de l'incident est basée essentiellement autour de trois phases principales

- Phase I : Alarme de zone (1 coup de sirène de 30 secondes).
- Phase II : Alarme Plan Interne d'Intervention PII (10 coups de sirène de 5 secondes espacés de 2 secondes).
- Phase III : Plan d'Assistance Mutuelle (P.A.M) sous la direction du Poste de Commandement Tactique (PCT).

Code sirène

Tab.5.4. Le code sirène GL2/Z [20].

1coup 30s	10coups 5s	1coup 2minutes	1coup 10s
Cela veut dire			
Alarme zone	P.I. I	Evacuation	Fin d'alerte
Vous devez			
-Arrêter tout type de travail, tout moteur, appareil électrique ou de soudure. -Rester à votre poste. -Ne pas fumer.	-Mettre votre chantier en sécurité. -Eteindre les lumières. -Rejoindre votre point de rassemblement.	-Rejoindre les bus sans précipitation	-Rejoindre votre poste de travail.

Acteurs intervenants

- Membres du P.D.O.I ;
- Membres de l'équipe d'intervention et sauvetage ;
- Membres de l'équipe secours médicaux internes [20].

Moyens de l'assistance PAM

- FIR (force d'intervention réserve) ;
- Assistance A : GP1/Z, GL3/Z, AOA ;
- Assistance B : CP1/Z, RTO, FERTIAL [20].

5.4.4 Déroulement de l'exercice

Enchaînement des évènements de la simulation :

- Lors de l'opération de levage au niveau de la cuvette de rétention du bac de stockage gazoline 2130-FB, la flèche de la grue a défoncé la ligne d'expédition, suite au renversement de la grue en question ;
- Rupture de la ligne d'expédition, déversement du produit stocké et formation d'une nappe de gazoline,
- L'inspecteur de prévention de la zone informe le stationnaire (I 100) sur l'incident par radio ;
- Le stationnaire DCS intervention donne l'information au chef du quart intervention par radio.

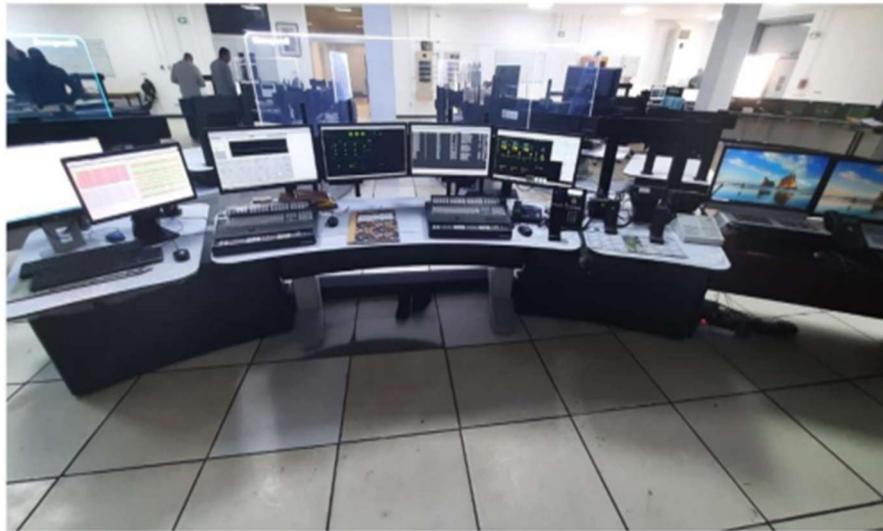


Fig.5.4. Poste Stationnaire DCS intervention [20].

- Le chef de quart intervention informe le chef de section intervention et se déplace immédiatement sur le lieu de l'incident pour reconnaissance, évalue la situation et informe le chef de service intervention ;
- Le chef de quart intervention fait appel à son premier départ (équipe d'intervention) [20].

Tentative de maîtrise de la situation par les moyens disponibles sur le lieu de l'incident

- Actionner le système mousse bas foisonnement du bac 2130-FB ; Pour utiliser les bobines de mousse BF.
- Démarrer les déluges du bac 2130-FA et de la salle de contrôle 2101K par commande à distance manuelle.



Fig.5.5. Les déluges du bac 2130-FA [20].

Démarrer les lances monitors à balayage automatique du bac 2130-FA gazoline.



Fig.5.6. Démarrage des lances monitors à balayage automatique [20].

- Le chef incendie se rend sur le lieu de l'incident constate l'ampleur de ce dernier, demande le renfort du deuxième départ et donne l'information au chef de département HSE pour informer le Directeur du complexe GL2/Z afin de déclencher le plan d'intervention interne P.I.I ;
- Le Directeur du complexe GL2/Z donne son accord pour le déclenchement du P.I.I
- Le stationnaire actionne la sirène d'alerte (P.I.I) sous l'ordre du chef incendie ;
- Regroupement des membres du P.D.O.I à la salle de Direction des Opérations Internes pour la mise en œuvre d'une stratégie de réponse à l'urgence ;
- Le chef de service prévention demande aux inspecteurs de prévention d'arrêter tous les travaux et de se diriger vers la zone sinistrée et la baliser ;

- Le chef de département HSE se renseigne sur la situation de l'incident auprès du chef incendie ;
- Le chef incendie communique la situation de l'incident, aux membres du P.D.O.I, afin de déclencher le Protocol d'Assistances Mutuelles (P.A.M) par le PCT [1].

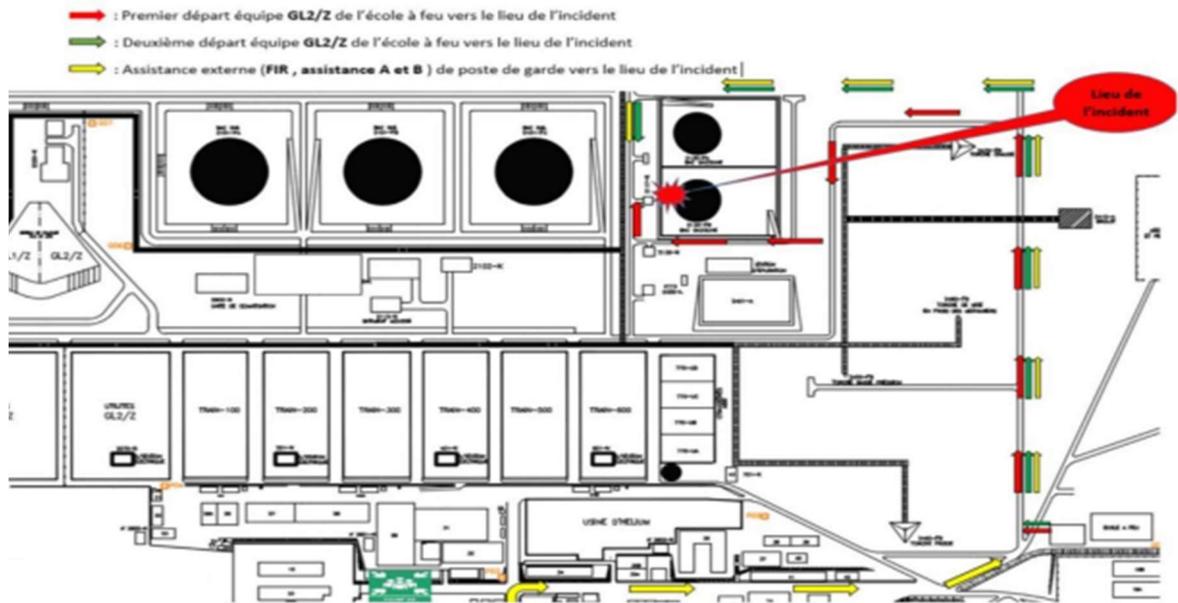


Fig 5.7 Itinéraire des équipes d'intervention [20].

5.4.5 Moyens humains et matériels

Les différents moyens utilisés pendant cet exercice de simulation sont les suivants :

Moyens humains

- Personnels de sécurité (équipes d'intervention, et inspecteurs de prévention) ;



Fig.5.8. Personnels de sécurité [20].

- Personnels de la production.

Moyens matériels

- Réseau eau anti incendie ;
- Véhicule de premiers secours PS ;
- Camion Trivalent 814 premier départ (eau / émulseur / poudre) ;
- Camion mixte (eau- émulseur) 813 deuxième départ (eau / émulseur) ;
- LMBA du bac 2130-FA ;

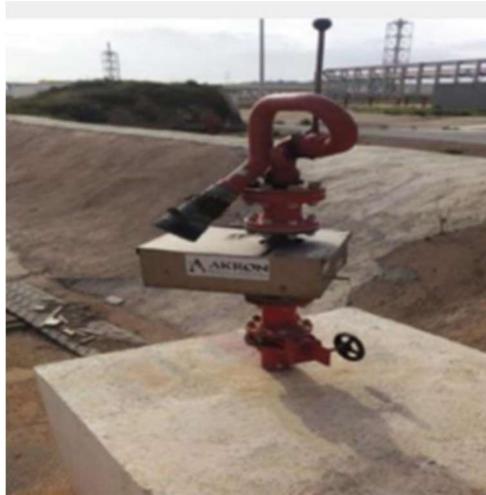


Fig.5.9. Lances monitors à balayage automatique [20].

- Système de déluge du bac gazoline 2130-FA, bac GNL 2101 FC, et la salle de contrôle terminal 2101K ;
- Ambulance I38 [20].



Fig.5.10. Les Moyens matériels [20].

5.4.6 Action process

- Fermer la vanne sortie gazoline de l'changeur X62-C
- Mettre en marche les deux pompes de gazoline (2130J/Ja) pour transférer le contenu du réservoir affecté dans l'autre bac.
- Fermer la vanne manuelle 06 de remplissage du bac 2130-FB
- Demander à la production d'acheminer la gazoline vers WLD (torche chaude)

- Vider le bac affecté de tout résidu de gazoline et le purger à l'azote après maîtrise du feu.

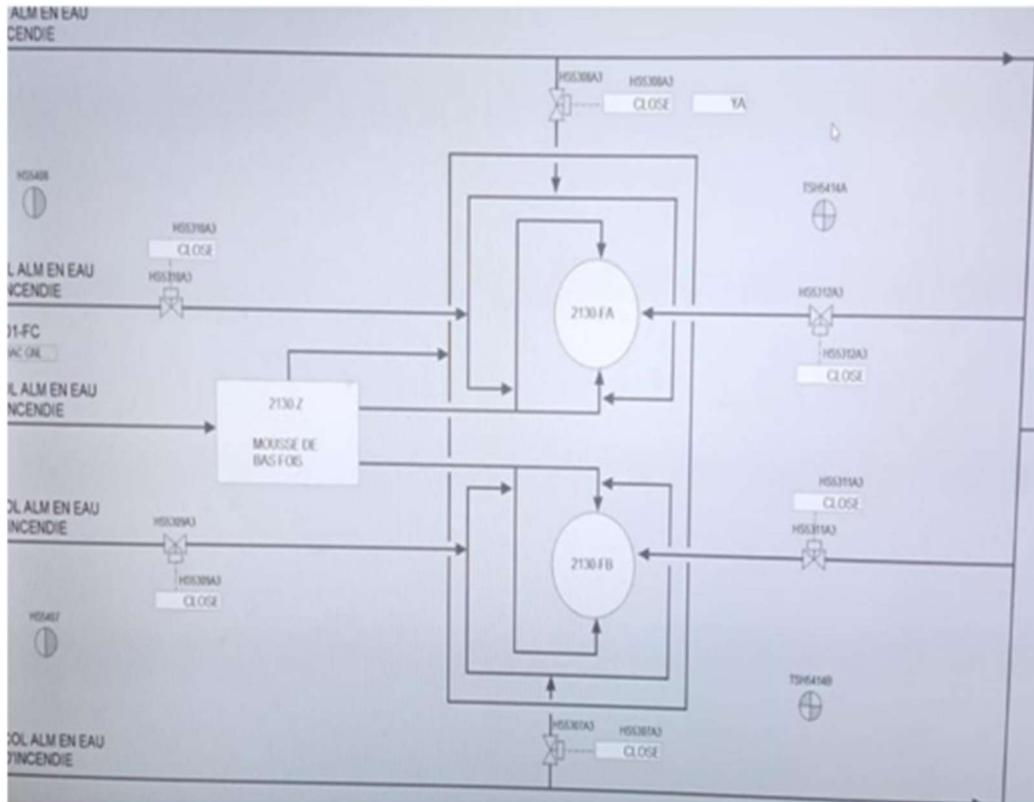


Fig 5.11 Schéma PID du bac Gazoline [20].

5.4.7 Après l'accident

- Le déversement ou l'échappement a été confiné et nettoyé ; l'état du terrain restauré ou la zone a été isolée ;
- Les équipements défailants ont été examinés par les services techniques pour garantir leur intégrité ;
- L'équipe d'investigation des accidents a terminé son travail et a autorisé le redémarrage
- Les vérifications préalables au redémarrage ont été effectuées en entier ;
- Tout échappement toxique dans l'environnement immédiat a été évalué et contrôlé, et le public a été rassuré ;
- Le gouvernement, les compagnies d'assurance et les autres parties prenantes ont été convaincus que le redémarrage puisse se faire en toute sécurité ;
- Les médias ont été informés de la situation [20].

5.5 Modélisation du phénomène dangereux par le logiciel PHAST

5.5.1 Description du logiciel PHAST

PHAST (Process Hazard Analysis Software Tool) est un outil essentiel pour les ingénieurs de sécurité industrielle et les professionnels de la gestion des risques, offrant

des capacités avancées pour évaluer, modéliser et atténuer les risques associés aux accidents majeurs dans les installations industrielles.

5.5.2 Description du scénario

Une perte de confinement suite à une fuite importante en faisant la simulation de différents diamètres de fuite sur la ligne de remplissage grâce au logiciel PHAST et déduire ainsi les conséquences de l'évènement redouté qui est un feu de torche (jet fire).

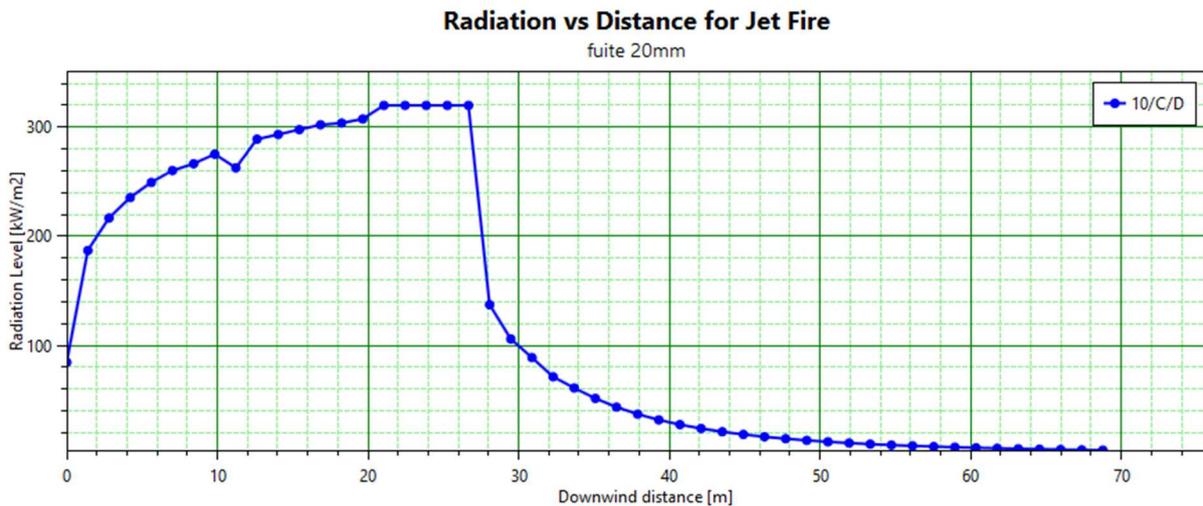
5.5.3 Simulation d'un jet fire

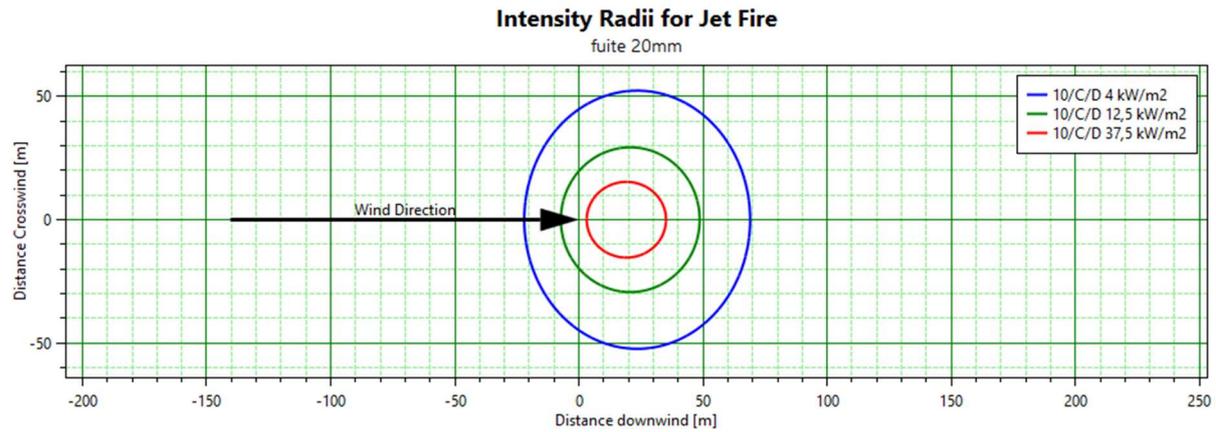
Les résultats de la simulation du jet fire sont modélisés sous forme d'un tableau et de courbes des différents scénarios :

Tab.5.5. Scénario de fuite dans le bac de stockage gazoline 2130-FB.

Path	Scenario	Weather	Flame length [m]	Distance downwind to intensity level 1 (4 kW/m ²) [m]	Distance downwind to intensity level 2 (12,5 kW/m ²) [m]	Distance downwind to intensity level 3 (37,5 kW/m ²) [m]
PhastConsequence\Study \Pressure vessel	fuite 20mm	10/C/D	26,8402	68,9725	48,6476	35,09
	fuite 120mm	10/C/D	121,71	301,873	220,696	169,499
	fuite 152,4mm	10/C/D	148,697	364,253	266,944	205,398

1^{er} scénario : fuite de 20mm





☒ Cloud Footprint

Audit Number: 914

Averaging time: Flammable (18,75 s)

Equipment: ligne d'expédition gazoline

Height of Interest: 0 m

Material to track: gazoline

Material: gazoline

Program: Phast 8

Scenario: fuite 20mm

Spacing parameter for the grid in the x dimension: 0,1

View Time: 3600 s

Weather: 10/C/D

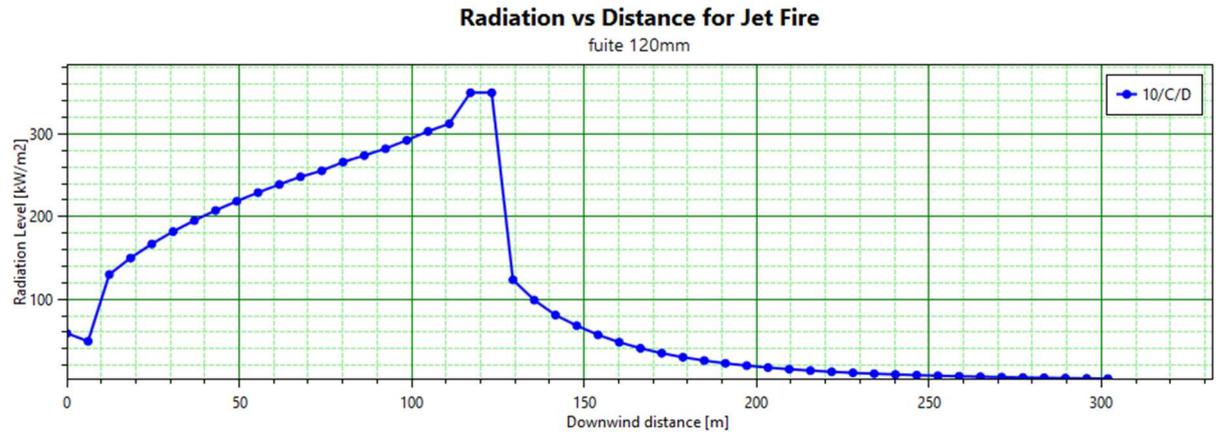
Wind Direction: 0 deg

Workspace: PhastConsequence



Fig.5.12. Scénario d'une fuite de 20mm dans le bac 2130-FB suivi d'un jet fire

2^{ème} scénario : fuite de 120mm



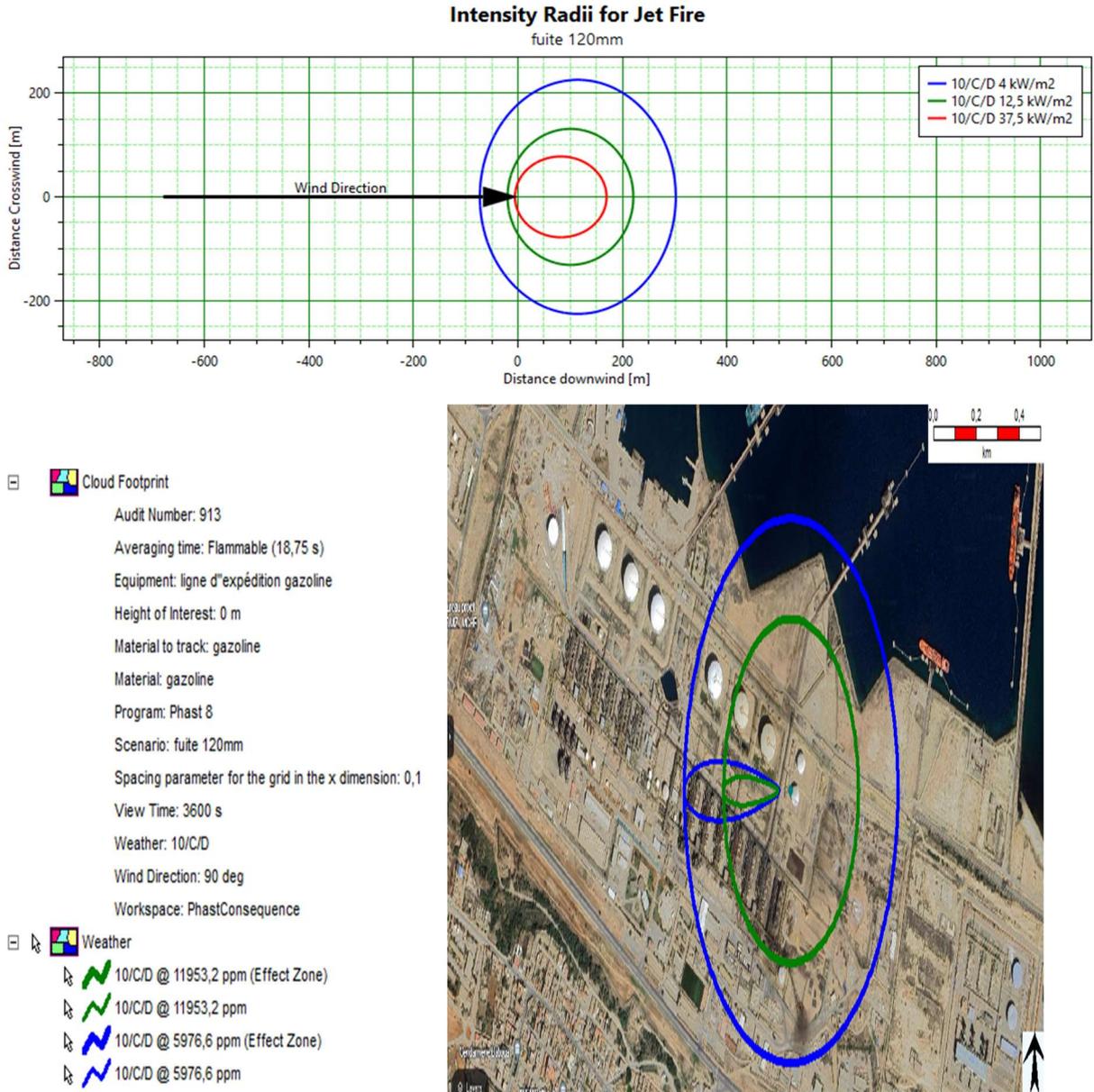
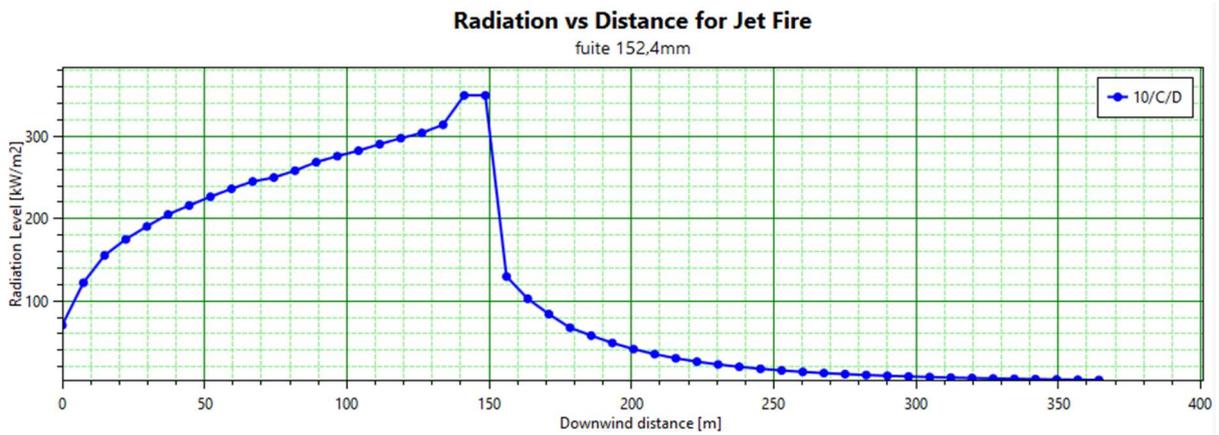


Fig.5.13. Scénario d'une fuite de 120mm dans le bac 2130-FB suivi d'un jet fire

3^{ème} scénario : rupture complète de la ligne (rupture de 152,4mm)



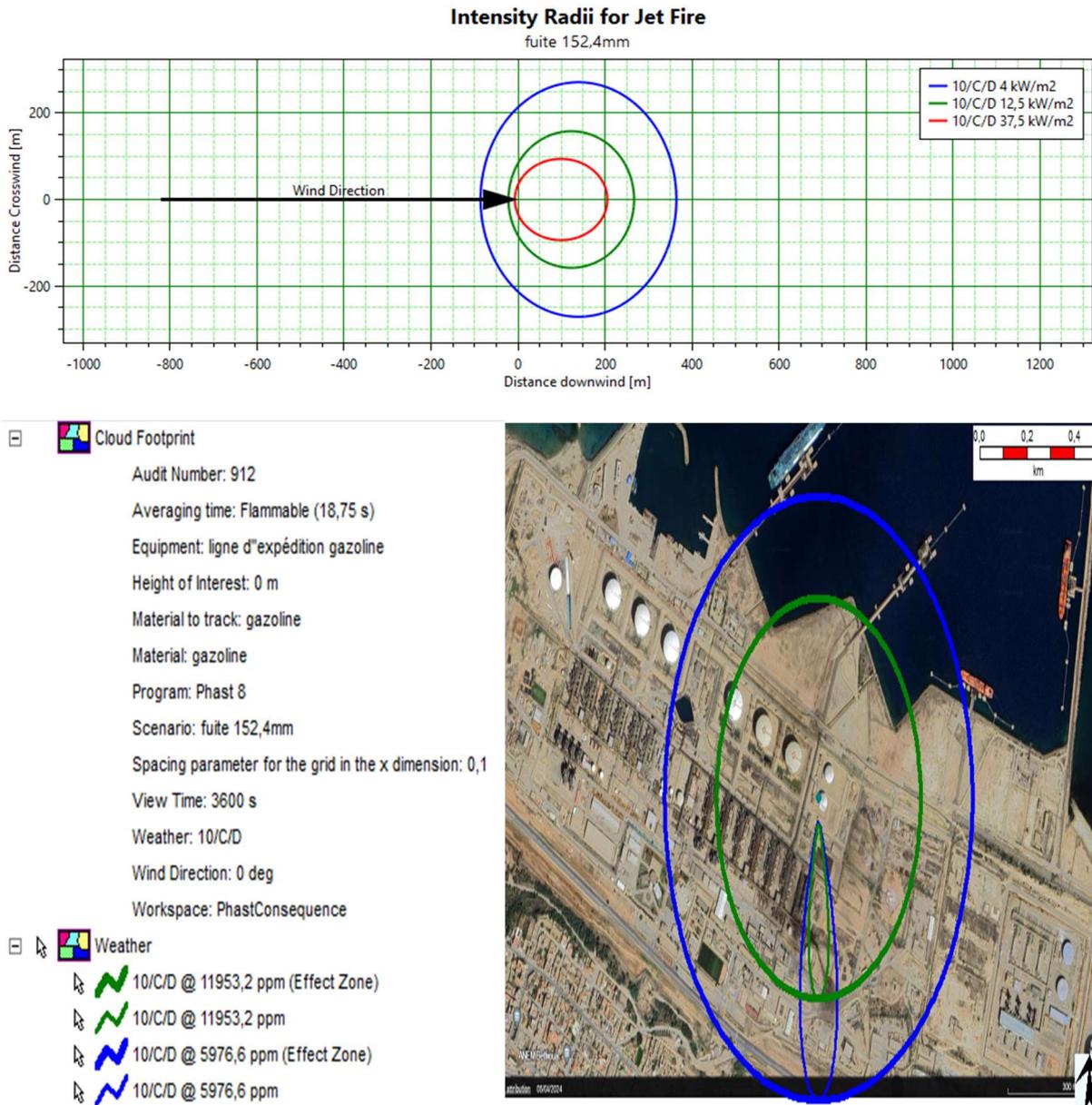


Fig.5.14. Scénario d'une fuite de 152,4mm dans le bac 2130-FB suivi d'un jet fire.

5.5.4 Discussions

La simulation a été initiée avec une fuite de gazoline provenant d'une ligne d'expédition défectueuse dans le bac de stockage 2130-FB.

PHAST a utilisé les paramètres de dispersion atmosphérique standard pour simuler la propagation de la gazoline. En tenant compte de la vitesse du vent locale et des conditions météorologiques stables mais en prenant en comptes différents diamètres de rupture, la modélisation a montré une dispersion rapide du gaz dans l'atmosphère, formant un nuage de gaz inflammable.

À partir des conditions de dispersion modélisées, PHAST a prédit la formation d'un jet fire caractérisé par une flamme stable de différentes hauteurs initiales dans chaque

scénario on remarque ainsi que plus le diamètre est grand plus la flamme prend de l'ampleur.

La zone impactée par le jet fire a été différente dans chaque en prenant exemple les radiations thermiques à $12,5 \text{ Kw/m}^2$ on remarque différents effets dans les scénarios simulés plus le diamètre de rupture est grand plus le seuil de sécurité pour les personnes non protégés et équipements est dépassé.

En réponse aux résultats de la simulation, plusieurs mesures de sécurité sont recommandées, notamment l'installation de détecteurs de gaz avec des systèmes d'alarme pour une détection précoce des fuites. De plus, des procédures d'évacuation et des équipements de protection individuelle appropriés doivent être mis en place pour le personnel travaillant à proximité.

L'utilisation de l'IA peut significativement améliorer la capacité à anticiper, gérer et réduire les risques associés aux fuites de gazoline, tout en renforçant la sécurité des installations industrielles et la protection de l'environnement.

Intégration de l'intelligence artificielle

- Détection précoce de la fuite :

Utiliser des systèmes d'IA pour analyser en temps réel les données de surveillance des installations (par exemple, les capteurs de pression, de température et de gaz) afin de détecter rapidement les anomalies indiquant une possible fuite de gazoline. Les algorithmes d'IA peuvent détecter des patterns subtils et prévoir les risques potentiels avant qu'ils ne deviennent critiques.

- Modélisation avancée de la dispersion :

Intégrer des modèles prédictifs basés sur l'IA pour améliorer la modélisation de la dispersion de la gazoline dans l'air après une fuite. Ces modèles pourraient prendre en compte des variables complexes telles que les conditions météorologiques locales, les caractéristiques du terrain et les interactions chimiques pour prédire avec précision la propagation du nuage de gazoline et le risque d'explosion.

- Simulation du jet fire et des effets thermiques :

Utiliser des techniques d'apprentissage machine pour simuler les caractéristiques du jet fire résultant de la combustion de la gazoline. Cela inclut la modélisation de la hauteur, de la température et de la durée du jet fire en fonction des conditions de la fuite et des paramètres environnementaux. Les résultats de ces simulations peuvent aider à évaluer les zones d'impact thermique et à planifier des mesures d'urgence appropriées.

- Systèmes autonomes de gestion des crises :

Développer des systèmes d'IA autonomes capables d'analyser en temps réel les données de la simulation et de recommander des actions immédiates en cas de fuite de gazoline suivie par un jet fire. Ces systèmes pourraient intégrer des algorithmes de prise de

décision basés sur des modèles probabilistes pour optimiser la réponse d'urgence, y compris l'évacuation du personnel, la gestion des ressources et la coordination des interventions.

- Formation et simulation virtuelle :

Utiliser des environnements de simulation virtuelle alimentés par l'IA pour former le personnel aux procédures d'intervention d'urgence spécifiques à ce type d'incident. Les simulations peuvent inclure des scénarios variés basés sur des données réelles et des prévisions pour améliorer la préparation et la réactivité face à une fuite de gazoline et à un jet fire.

- Analyse post-incident et amélioration continue :

Déployer des systèmes d'IA pour analyser les données post-incident afin d'identifier les causes profondes des incidents, d'évaluer l'efficacité des mesures d'intervention et de recommander des améliorations pour renforcer la sécurité à long terme. Cela pourrait inclure l'analyse des réponses opérationnelles, des performances des équipements de sécurité et des pratiques de gestion des risques.

Cette discussion illustrative couvre les principaux aspects à considérer lors de l'évaluation des résultats d'une simulation de ce type, mettant en évidence les risques identifiés et les mesures recommandées pour atténuer ces risques.

5.6 Conclusion

En conclusion, la simulation avec PHAST a permis d'évaluer de manière approfondie les risques associés à la fuite de gazoline suivie par un jet fire. Les résultats soulignent l'importance critique de la préparation aux urgences et de la gestion proactive des risques dans les installations industrielles pour minimiser les conséquences potentielles sur la sécurité des personnes, des équipements et sur l'environnement.

Conclusion générale

Ce projet de fin d'études a mis en lumière l'importance critique de la préparation et de la planification préventive face aux risques d'incendie, en particulier dans le contexte spécifique d'un déversement de gazoline susceptible de déclencher un jet fire. Ça représente une des préoccupations environnementales. À travers l'analyse approfondie des meilleures pratiques en matière de sécurité incendie, ainsi que des normes et des réglementations pertinentes, il est devenu évident que la conception et la mise en œuvre d'un plan interne d'intervention sont deux piliers essentiels pour minimiser les risques, protéger la population humaine et les installations et réduire les dommages environnementaux.

L'étude a permis de démontrer que la réponse efficace à un tel incident repose sur plusieurs facteurs clés, à citer par exemple : la formation adéquate du personnel, l'accès à des équipements de lutte contre l'incendie adaptés, une communication rapide simple et précise et une coordination claire et facile entre les différentes parties prenantes. En outre, l'intégration de simulations et d'exercices pratiques réguliers s'avère être un élément clef et indispensable pour tester et améliorer continuellement la robustesse du plan d'intervention. Le plan interne d'intervention (PII) doit être revu et mis à jour conformément aux dispositions de l'article 14 du décret exécutif n° 09-335 du 20 octobre 2009 fixant les modalités d'élaboration et de mise en œuvre des plans internes d'intervention par les exploitants des installations industrielles.

En conclusion, ce travail souligne la nécessité -pour toute organisation confrontée à des risques similaires- de prendre des mesures proactives afin de renforcer sa résilience face aux incidents majeurs. En adoptant une approche systématique et en restant constamment vigilant, il est possible de prévenir efficacement les catastrophes potentielles et d'assurer -dans le contexte du possible- un environnement de travail sûr et sécurisé pour tous les intervenants.

Références bibliographiques

Bibliographie :

- [1] : Manuel opératoire Présentation du complexe de liquéfaction GL2/Z 2016.
- [2]: www.sonatrach-dz.com
- [3] : [Meng Ge, Xingye Chen, Yanyong Li et Jiameng Wang], « Perovskite-derived cobalt-based catalyst for catalytic propane dehydrogenation », Reaction Kinetics, Mechanisms and Catalysis, vol. 130, no1, 1er juin 2020.
- [4] : [Présentation du projet du promoteur Rabaska, Tome 2], implantation d'un terminal méthanier à Lévis, étude d'impact sur l'environnement, Janvier 2006.
- [5] : [Jean-Paul La coursière], « le gaz naturel liquéfié, enjeux d'implantation », 2006, Université de Sherbrooke.
- [6] : [Pierre le Bris] « Le Gaz Naturel Liquéfié », Conférence Arts et Métiers, Avril 2002.
- [7] : [Ayrault, Tritsch, Vuidart, Gaston] N. Ayrault, J.J Tritsch, I. Vuidart, D. Gaston, (Risques Naturels et Environnement Industriel, synthèse sur les risques dus aux séismes, inondations, mouvements de terrain et tempêtes - accidentologie), rapport d'étude N° INERIS DRA- Nay- 2001-28654/01. Novembre 2001.
- [8] : [TOUAHAR Bachir, 2013] (MODELISATION ET SIMULATION NUMERIQUE POUR LA DISPERSION ATMOSPHERIQUE DE POLLUANT), p57.
- [9] : [P. Jolivet], “Les réservoirs de stockage du GNL”, Centre de formation aux techniques gazières, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris’, 1990.
- [10] : [A. Ben Khalifa], “ Etude numérique de la stratification thermique dans une cuve de stockage cylindrique”, thèse de magister, centre de développement des énergies Renouvelables d'Alger 1994.
- [11] : Département Génie des Transports U.M.Constantine .Master 1 TDH S2 (2019-2020) Technologie des parcs de stockage et terminaux.
- [12] : [Tarik Bouchala, December 2020] Etude et simulation 3D d'un capteur MFL destiné pour l'inspection des Equipements des installations hydrocarbures.
- [13] : Technologie des parcs de stockage et terminaux, 2020.
- [14] : [AZZOUG Tahar, 2022] Dimensionnement et étude sismique d'un réservoir de stockage de 35000 m3.
- [15] : INRS, institut national de la recherche scientifique www.inrs.com
- [16] : <https://qualitexpert-dz.com/sst/qest-qun-plan-dintervention-interne-pii/>
- [17] : <http://www.boplan.com/fe/les-accidents-industriels-definition-et-prevention>

Références bibliographiques

- [18] : Manuel opératoire : ENSPM Formation Industrie - IFP Training. 2006.
- [19] : ARIA. La référence du retour d'expérience sur accidents technologique Available at : www.aria.developpement-durable.gouv.fr/le-barpi/la-base-de-donnees-aria/
- [20] : [GL2/Z], Département HSE, manuelle opératoire 2016.
- [21] : Journal Officiel de La République Algérienne Démocratique et Populaire N°60 DHOU EL KAADA 1430, Correspondant au 21 octobre 2009.
- [22] : Manuel opératoire : ENSPM Formation Industrie - IFP Training. 2006.
- [23] : [DCSSE, 2007] Direction Centrale Sante, Sécurité & Environnement, 2007. Référentiel Système de Gestion des Urgences et des Crises, Standard Plan d'Organisation Interne POISONATRACH.
- [24] : Laboratoire D'analyse GL2/Z (Analyse C5+)