République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Université M'hamed Bougara- Boumerdes

جامعة أمحمد بوقرة- بومرداس

Faculté des Hydrocarbures et de la chimie

Département : Génie des Procédés chimiques et pharmaceutiques

Mémoire de Master

Présenté par

BENAMOR Wail

&

BENZADA Rabah

Spécialité : Génie des Procédés

Option : Hygiène Sécurité et Environnement (HSE)

Thème

Étude de l'efficacité du système déluge pour les sphères de stockage au niveau du complexe GNL3/Z

Encadré par :

Dr. K. MAHDI

Président : Mr BEDDOUD Karim, MAA, UMBB
Examinateur : Mme Briki Meryem, MCB, UMBB
Rapporteur : Mme MAHDl Karima, MCB, UMBB

Année Universitaire : 2022/2023

REMERCIMENTS

Nous tenons à remercier avant tout Allah le tout-puissant de nous avoir donné le courage et les moyens nécessaires d'accomplir ce modeste travail en vue d'obtenir notre diplôme.

Par la même occasion, nous tenons à remercier tous ceux qui nous étaient chers et qui ont participé de près ou de loin à l'élaboration de ce travail à savoir :

- C'est avec un plaisir particulier que nous remercions Mme Mahdi Karima qui a suivi de près notre travail et pour son aide et sa disponibilité.

- Tous les membres de jury qui nous feront l'honneur d'examiner et de juger nos travails ;

- Tous les enseignants de la faculté des hydrocarbures et de la chimie qui ont participé à notre formation ;

- Nous remercions très vivement le personnel du département de HSE, spécialement Mr. MESSABIH Habib et Mr. Moustafa, qui nous a accueillis au sein du complexe GNL3/Z, pour leurs encouragements et leurs aides ;

- Tous nos chers amis(e)s et collègues, qui nous toujours aidés et soutenus ;

- Tous les membres de nos familles qui nos tant encouragés et soutenus tout au long de nos cursus scolaires et universitaires, particulièrement à nos chers parents, qui sans eux nous n'aurons pas eu l'énergie nécessaire pour parvenir à la fin de nos cycles.

Dédicace

« Louange au Bon Dieu, le seul, l'unique et le tout puissant »

Pour chaque début il y a une fin, et ce qui beau dans toute fin c'est la réussite et l'atteinte du but.

C'est avec profonde gratitude et sincères mots que Je dédie ce modeste mémoire de master, fruit de très longues années d'études à :

A mon très cher père et à sa chère épouse

A ma très chère mère (Allah yarhamha)

A mes frères, Abdallah et Abderrahmane

A mes sœurs, Khadidja et Maria

Tous mes chers amis, Fares, Amine, Salah, Ziad

À tous les étudiants de la Groupe MAHSE18, chacun avec son nom

A tous ceux qui ont participés de près ou de loin dans la réalisation de ce travail.

Enfin je voudrais me remercier

Benamor Wail

Dédicace

« Louange au Bon Dieu, le seul, l'unique et le tout puissant »

Pour chaque début il y a une fin, et ce qui beau dans toute fin c'est la réussite et l'atteinte du but.

C'est avec profonde gratitude et sincères mots que Je dédie ce modeste mémoire de master, fruit de très longues années d'études à :

A mon très cher père Mohammed

A ma très chère mère Fatma

A mes frères, Mourad, Toufik, Rida, Ayoub, Akram

A ma seule sœur Linda et ma sœur que ma mère n'a pas donné naissance Soumia

Tous mes chers amis, Hicham, Achour, Amine, Fares

À tous les étudiants de la Groupe MAHSE18, chacun avec son nom

A tous ceux qui ont participés de près ou de loin dans la réalisation de ce travail.

Enfin je voudrais me remercier

Benzada Rabah

Table des matières

Table des matières

REMERCIEMENTS

DEDICACE

TABLE DES MATIERES

LISTE DES FIGURES

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES ABREVIATIONS

INTRODUCTION GENERALE 1

Partie Théorique

CHAPITRE I Les risques liés au stockage des GIL

Introduction… 3

I.1 Stockage des GIL 3

I.1.1 Types de stockage 3

I.1.2 Réservoirs de stockage 4

I.1.3 Rôle de stockage 6

I.2 Risque des GIL 6

I.3 Les mesures préventives… 6

I.4 Les phénomènes dangereux liés au stockage des GIL 8

I.4.1 Introduction 8

I.4.2 Phénomène BLEVE… 8

I.4.2.1 Définition du BLEVE… 8

I.4.2.2 Processus de réalisation du BLEVE 9

I.4.2.3 Effets du BLEVE… 9

I.4.2.4 Théorie du BLEVE… 10

I.4.2.5 Causes du B.L.E.V.E 13

I.4.3 Phénomène UVCE… 14

I.4.3.1 Principe 14

I.4.3.2 Description du phénomène 15

I.4.3.3 Les facteurs d'un UVCE… 15

Table des matières

I.4.3.4 Régimes de combustion UVCE… 16
I.4.3.5 Descriptions des effets UVCE… 18
I.4.3.6 Causes d'un UVCE… 19
I.4.4 Le Jet Enflammé 19
I.4.4.1 Rappel sur le jet enflammé....19
I.5 Retour d'expérience sur les accidents impliquant de stockages du GIL….....20
I.5.1 Quelques explosions dans des sites industriels… 20
I.5.2 Conclusions et séquences accidentelles génériques…. 23
Conclusion…. 25
CHAPITRE II Les critères généraux d'un système déluge
Introduction 26
II-1 Protection incendie – principes de base 26
II.2 Différents types de protection.... 27
II.2.1 Protection passive 27
II.2.2 Protection active 27
II.3 Différents systèmes d'extinction 27
II.3.1 Différents types d'agents extincteurs….....28
II.4 Système d'eau d'incendie 29
II.4.1 Le Réservoir de stockage d'eau douce anti-incendie 63-MF01 29
II.4.2 Équipements rotatifs (pompes) 30
II.5 D'extinction automatique 32
II.5.1 Procédé par gaz neutre.... 32
II .5.2 Procédé par Gaz CO2. 32
II.5.3 Procédé par Poudre 32
II.5.4 Systèmes IG (argon) 33
II.5.5 système fixe d'extinction par NOVEC1230 34
II.6 Le système déluge....34
II.6.1 Réseau déluge 34
II.6.1.1 Les vannes déluge.... 36
II.6.1.2 Les filtres 38
II.6.1.3 Buses de déluge (Pulvérisateurs) 38

Table des matières

II.7 Rideaux d'eau 40
II.7.1 Différents types d'application 40
II.7.2 Les actions des rideaux d'eau 40
II.8 Aspect réglementaire selon la NFPA… 41
Conclusion 42

Partie Pratique

CHAPITRE III Présentation de SONATRACH et GNL3Z
Introduction 43
III.1 Présentation de SONATRACH 43
III.1.1 Organisation de SONATRACH 43
III.1.2 Activités de SONATRACH 44
III.1.2.1 Activité Exploration-Production (E&P) 44
III.1.2.2 Activité Transport par Canalisations (TRC) 45
III.1.2.3 Activité Raffinage pétrochimie 46
III.1.2.4 Activité Commercialisation (COM) 47
III.1.2.5 Activité LQS (Liquéfaction et Séparation) 47
III.2 Présentation général de GL3Z 48
III.2.1 Situation géographique du complexe GL3/Z 49
III.2.2 Les zone du complexe 49
III.2.2.1 Production 50
III.2.2.2 Stockage 50
III.2.3 Les perspectives et les plans futurs 50
III.2.4 Organigramme du complexe GNL/3Z 51
III.2.5 Philosophie de Projet 52
III.2.5.1 Disponibilité de l'Usine 52
III.2.5.2 Energie électrique du Projet 52
III.2.6 Description des Unités 52
Conclusion 59

CHAPITRE IV Vérification de l'efficacité du système déluge
Introduction 60
IV.1 Méthodologie de travail 60
IV.2 Présentations des guides et normes utilisés 60

Table des matières

IV.2.1 Les standards NFPA 60

IV.2.1.1 Le Code NFPA 15 60

IV.2.1.2 Le Code NFPA 13 60

IV.2.2 Les normes API 60

IV.3 Protection des sphères 61

IV.4. Dimension géométrique et données de base de sphère de propane S-73_MD02 63

IV.4.1 Caractéristiques du système d'eau de refroidissement 63

IV.4.1.1 Typologie des buses de pulvérisation d'eau 63

IV.4.2 Nombre des rampes et buses 63

IV.4.2.1 Détermination du nombre et types de pulvérisateurs à utiliser 64

IV.4.2.2 Description Générale 65

IV.4.2.3 conceptions de système de pulvérisation d'eau 65

IV.5 calculs du débit et quantité d'eau pour la sphère de propane S-73_MD02 66

IV.5.1 Calcul du débit minimal requis 66

IV.5.2 Calcul de Quantités d'eau de système déluge 67

IV.5.2.1 Calculs le débit d'eau de chaque zone de la sphère 68

IV.5.3. Interprétation des résultats obtenus 69

IV.6 Dimension géométrique et données de base de sphère de gazoline S-76_MD01 69

IV.6.1 Nombre de rampes et buses 69

IV.6.1.1 conceptions de système de pulvérisation d'eau 69

IV.6.2 Les calculs pour la sphère de gazoline S-76_MD01 71

IV.6.2.1 Calculs le débit minimal requis 71

IV.6.2.2 Calculs Quantité d'eau de système déluge 72

IV.6.2.3 Calculs le débit d'eau de chaque zone de la sphère S-76-MD01 72

IV.6.3 Interprétation des résultats obtenus 73

IV.7 Vérification de la fiabilité du réservoir d'eau afin de garantir la disponibilité de la quantité nécessaire d'eau pour faire face à un scénario d'incendie proposé 74

IV.7.1 Calcul du débit d'eau requis pour couvrir de manière adéquate la totalité de la zone 74

IV.7.2 Interprétation des résultats obtenus 75

IV.8 Certains Défaillances susceptibles de diminuer l'efficacité du système déluge et les mesures à prendre pour les éviter 77

Table des matières

IV-9 Maintenance du système 78

CONCLUSION GENERALE. 79

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES……

LISTE DES ANNEXES .....

Figures et Tableaux

Liste des Figures

Figure I-1 : Réservoir Cryogénique 4

Figure I-2 : réservoir sphérique 4

Figure I-3 : Réservoir cylindrique horizontal 5

Figure I-4 : réservoir réfrigéré (forme sphérique) 5

Figure I-5 : Étapes de réalisation du BLEVE 9

Figure I-6 : Courbe de tension de vapeur saturante et de droite limite de surchauffe 11

Figure I-7 : Etapes de développement d'un BLEVE « chaud » (d'après S. Shield, 1993) 11

Figure I-8 : le type de BLEVE (d'après S. Shield, 1993) 12

Figure I-9 : Principe de phénomène UVCE 15

Figure I-10 : Régimes de combustion UVCE (Image 1, 2, 3, 4) 16

Figure I-13 : État général des sphères de GPL après la catastrophe 20

Figure I-14 : Exemples de séquences accidentelles aboutissant à un BLEVE 24

Figure II-1 : Eléments pris en compte pour la définition d'un système de refroidissement… 26

Figure II-2 : Lance monitor connectée sur le réseau maillé enterré 27

Figure II-3 : Poteaux incendie, avec son établissement, et lance incendie 28

Figure II-4 : Canons portables en position replié pour le transport 28

Figure II-5 : Réservoir de stockage (63-MF01) 29

Figure II-6 : Pompes « Jockey » d'eau douce incendie (63-MJ03-A/B 30

Figure II-7 : Pompe d'eau incendie (63-MJ01-A) et pompe d'eau incendie diesel (63-MJ01-B) 31

Figure II-8 : Pompe d'eau de mer incendie (77-MJ01-A) et pompes d'eau de mer incendie diesel (77-MJ01B/C) 31

Figure II-9 : Procédé par gaz neutre 32

Figure II-10 : Procédé par Gaz CO2 32

Figure II-11 : Procédé par Poudre 33

Figure II-12 : Systèmes IG (argon) 33

Figure II-13 : système fixe d'extinction par NOVEC1230 34

Figure II-14 : Schéma type d'un système déluge 35

Figure II-15 : Alimentation par deux vannes automatiques 35

Figure II-16 : Alimentation par une vanne déluge automatique et une vanne manuelle 36

Figures et Tableaux

Figure II-17 : Vanne à membrane 36

Figure II-18 : Vanne papillon (avec motorisation pneumatique)..... 36

Figure II-19 : 3 vannes déluge avec déclenchement électropneumatique et réarmement local 37

Figure II-20 : Vannes déluge et de sectionnement manuelles protégées par un mur coupe-feu 37

Figure II-21 : Filtre en Té, amont vanne déluge à membrane (gauche). Piège à cailloux, aval vanne déluge papillon (droite)..... 38

Figure II-22 : Différents types de pulvérisateurs 39

Figure II-23 : Différents types de jet..... 39

Figure II-24 : Rideau d'eau entre deux postes de chargement rail 40

Figure III-1 : pétroliers Organigramme du SONATRACH..... 44

Figure III-2 : Réseau de transport par canalisations 46

Figure III-3 : Chaîne d'Approvisionnement en Gaz de l'usine GL3/Z 48

Figure III-4 : Position du site GL3/Z 49

Figure III-5 : Vue d'ensemble de l'usine GL3/Z 50

Figure III-6 : l'organigramme du complexe GL3/Z 51

Figure III-7 : Plan de terrain GL3/Z 53

Figure III-8 : Schéma générale du procédé GL3 Z..... 53

Figure IV-1 : Déluge zénithal appliqué en haut de la sphère 61

Figure IV-2 : Déluge par quadrillage 62

Figure IV-3 : Nombre de rampes autour d'une capacité horizontale 64

Figure IV-4 : Buses de pulvérisation Protectospray de type D3 de ½ pouce..... 64

Figure IV-5 : Schéma présente chaque zone de la sphère de propane 73-MD-02 65

Figure IV-6 : Courbes de charge nominale 68

Figure IV-7 : Schéma présente chaque zone de la sphère de gazoline S-76-MD01 70

Figure IV-8 : Vérification des couronnes déluge sur une colonne – présence de corrosion…78

Figures et Tableaux

Liste des Tableaux

Tableau I-1 : Valeurs de référence relatives aux seuils d'effets de surpression 10

Tableau I-2 : comparaison entre BLEVE "chaud" et BLEVE "froid" 13

Tableau I-3 : causes de BLEVE.....14

Tableau I-4 : paramètre propre à l'environnement et au mélange gazeux.....18

Tableau II-1 : Synthèse des caractéristiques des éléments d'une installation fixe (déluge)...41

Tableau II-2 : Taux d'application sur une sphère de GIL 41

Tableau II-3 : Volume requis de la réserve d'eau 41

Tableau lV-1 : Comparaison entre le déluge par quadrillage et le déluge zénithal 62

Tableau IV-2 : Présente le nombre de buse à chaque zone, l'angle et facteur de pulvérisateur de la sphère du propane 66

Tableau IV-3 : Présente le nombre de buse à chaque zone, l'angle et facteur de pulvérisateur de la sphère de gazoline.....70

Tableau IV-4 : Taux d'application sur une sphère de GIL 74

Tableau IV-5 : Volume requis de la réserve d'eau 75

Tableau IV-6 : Défaillances potentielles des différents éléments d'une installation fixe de lutte contre l'incendie 77

Abréviations

Liste des abréviations

API : American **P**etroleum **I**nstitute

APR : Analyse **P**réliminaire de **R**isque.

BLEVE: Boiling **L**iquid **E**xpanding **V**apour **E**xplosion.

EDD : Etude **D**e **D**anger

GIL : Gaz **I**nflammable **L**iquéfiés

GNL : Gaz **N**atural **L**iquéfié

GPL : Gaz de **P**étrole **L**iquéfié

LII : Limite **I**nférieure d'**I**nflammabilité

NFPA : National **F**ire **P**rotection **A**ssociation

NPT: National **P**ipe **T**hread

PFA: Protection **F**eu **A**ctive

PFP : Protection **F**eu **P**assive

SONATRACH : Société **Na**tionale de **Tra**nsport et **C**ommercialisation des **H**ydrocarbures

TEP : Unité de mesure énergétique.1tep=10Gcal, soit environ 42 GJ.

TLS : Température **L**imite de **S**urchauffe

UVCE : Unconfined **V**apeur **C**loud **E**xplosion

Introduction Générale

Introduction générale

L'activité industrielle quel que soit sa taille ou son implantation est sujette à une grande variété d'accidents ou à des situations qui peuvent sérieusement perturber le fonctionnement, l'endommager et même le détruire.

Ces dernières années, les établissements industriels ont connus une augmentation rapide du nombre des accidents industriels majeurs et des catastrophes.

En effet, les accidents liés à l'endommagement d'un réservoir peuvent engendrer des phénomènes accidentels (BLEVE, UVCE, Jet Enflammé…) complexes et variés et donner lieu à des évènements tels que : incendie, explosion, pollution...etc.

Lorsqu'on les évoque, on ne peut s'empêcher de penser aux conséquences dramatiques qu'ils peuvent engendrer sur les biens, les personnes et l'environnement.

En outre, l'augmentation de la vulnérabilité des territoires liée à la proximité des enjeux (humains, matériels, environnement) accroit d'autant plus le risque. Pour cela, des efforts considérables sont fournis pour maîtriser la sécurité des installations industrielles.

Pour réduire ces risques, des mesures de sécurité de prévention (visant la réduction de la probabilité d'occurrence de l'accident) et/ou de protection (visant la réduction de la gravité des conséquences), doivent être mises en place.

La politique de prévention des risques majeurs adoptée suite aux différentes catastrophes survenues, visent à protéger au maximum les différents équipements implantés dans ces enceintes industrielles, permis ces équipements on peut citer les équipements de stockage de gaz liquéfiés.

Le système déluge est largement reconnu comme l'un des systèmes de protection incendie les plus cruciaux lorsqu'il s'agit des réservoirs de gaz liquéfié. Il se distingue par sa capacité à isoler efficacement le réservoir des rayonnements thermiques et à maintenir sa température à un niveau optimal, même lorsqu'il est soumis à une chaleur intense.

En conséquence, le complexe de liquéfaction du gaz naturel GNL3/Z a été équipé d'un système déluge pour chaque réservoir de stockage selon les règles et les règlementations internationales de sécurité.

Au fil des ans, il peut se détériorer et ne plus répondre aux normes de sécurité mondiales. Il est logique de revoir si le système est conforme aux normes et exigences internationales, afin de l'améliorer et de le mettre à jour en fonction de l'évolution technologique des équipements de lutte contre l'incendie. Donc, ce travail fait partie du sujet écrit intitulé **« Étude de l'efficacité du système de déluge pour les sphères de stockage ».**

Ce travail vise à étudier l'efficacité de système d'extinction automatique (système déluge) installés dans le complexe GNL3Z par rapport à des référentiels et réglementations spécifiques (NFPA, API). L'étude comprend notamment le système de déluge

au niveau de la zone de stockage, en particulier les sphères de stockage de propane -73-MD02 et de gazoline -76-MD01. Ce rapport est divisé en quatre chapitres :

Chapitre I : L'objectif de ce chapitre est de mettre en évidence les risques liés au stockage des gaz inflammables liquéfiés en abordant les phénomènes dangereux qui leur sont associés.

Chapitre II : nous présenterons de manière générale le réseau de lutte contre l'incendie ainsi que certains systèmes d'extinction d'incendie. Ensuite, nous aborderons en détail la fonction et les caractéristiques d'un système de déluge.

Chapitre III : Ce chapitre offre une présentation succincte de l'entreprise SONATRACH, en mettant en évidence ses activités principales. Nous nous concentrons particulièrement sur le complexe GL3/Z, en fournissant une description concise de son fonctionnement et de ses différentes unités.

Chapitre IV : Dans ce chapitre, nous allons procéder à des calculs en utilisant les règles issues des normes NFPA et API. Ces calculs nous permettront d'évaluer l'efficacité du système déluge. Nous interpréterons les résultats obtenus afin de déterminer si le système de déluge est efficace dans la protection contre les incendies.

Nous terminerons ce travail par une conclusion générale qui passera en revue tout ce qui a été abordé dans ce mémoire.

Partie Théorique

CHAPITRE I

Les risques liés au stockage des gaz inflammables liquéfiés

Introduction

Dans ce premier chapitre, nous allons présenter les risques liés au stockage des gaz inflammables liquéfiés à travers les phénomènes dangereux souvenant survenus. Et enfin, nous présentons quelques accidents de références à titre d'exemple.

I.1 Stockage des GIL :

Le stockage du pétrole et du gaz consiste à immobiliser temporairement certains volumes de pétrole ou de gaz dans des capacités de stockage appelées appareils à pression ou réservoirs selon que le produit stocké est ou n'est pas sous pression. **[1]**

I.1.1 Types de stockage :

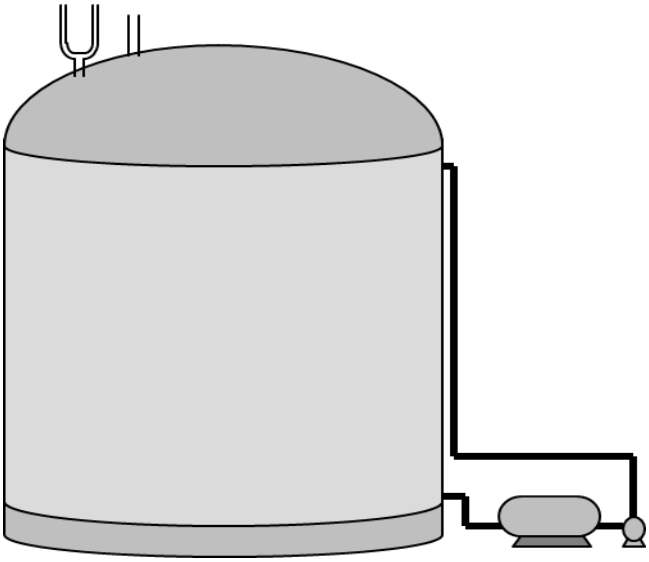
Le gaz inflammable liquéfié est stocké en utilisant plusieurs techniques **[2]** :

a. **Stockage sous pression** : le GIL est stocké à l'état liquide sous pression de 14 à 14,5 bars à la température ambiante et cette pression est maintenue avec fuel gaz ,dans le but d'éviter la perte des vapeurs de GIL qui se dégagent par ébullition et ce qui permet d'avoir un volume plus réduit (plus de 250 fois). Les réservoirs utilisés pour le stockage sont sous formes sphérique ou bien cylindrique à axe horizontal (cigare) à des capacités différentes, revêtus d'une peinture qui réfléchit la chaleur et munis d'une soupape de sécurité.
b. **Stockage réfrigéré** : sous pression où les gaz liquéfiés sont stockés à des températures voisines ou inférieures à 0°C, cela permet une réduction importante de la pression de stockage c'est le cas des produits volatils (ex : propylène, butadiène stocké à 0°C et 4,5 bars).
c. **Stockage cryogénique** : pour les gaz incondensables à la température ambiante. La pression de stockage est légèrement supérieure à la pression atmosphérique, la température est alors voisine de la température normale d'ébullition du produit.

I.1.2 Réservoirs de stockage

Selon leurs caractéristiques Physico-chimiques, Les GL sont stockés dans des réservoirs spéciaux (Sphère et Cigare) **[3]** :

A. Réservoir Cryogénique: [3]

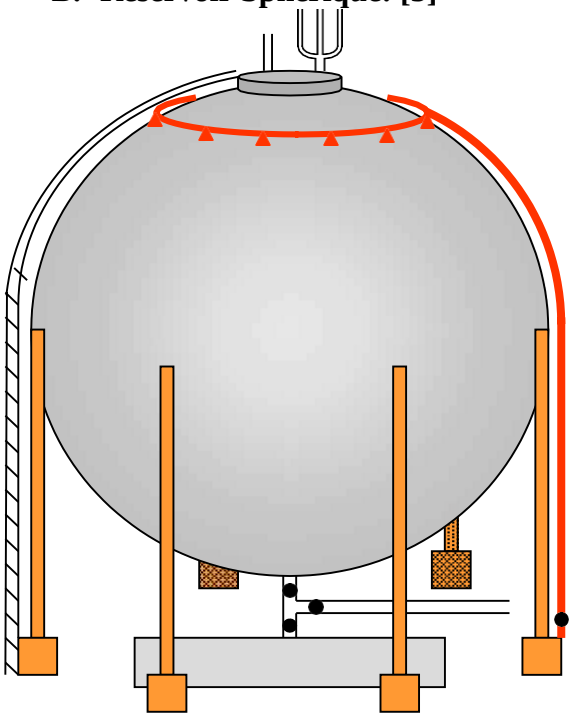


Produits / Catégorie :
Gaz liquéfiés réfrigérés / A1
Etat :
Diphasique
Volume :
jusqu'à 10 000 m^3
Sécurité incendie :

- Soupapes atmosphériques
- Dans certains cas, soupapes raccordées au réseau torche
- Calorifuge (protection contre le rayonnement thermique)

Figure I-1 : Réservoir Cryogénique.

B. Réservoir Sphérique: [3]



Produits / Catégorie :
Gaz liquéfiés sous pression / A2
Etat :
Diphasique

Volume : 500 à 3 500 m^3
Sécurité incendie :

- Soupapes atmosphériques
- Dans certains cas, soupapes raccordées au réseau torche
- Couronne de pulvérisation d'eau pour le refroidissement (ou mixte eau/mousse)
- Injection pied d'eau (substitution de la fuite de gaz)

Figure I-2 : réservoir sphérique.

C. Réservoir cylindrique horizontal : [3]

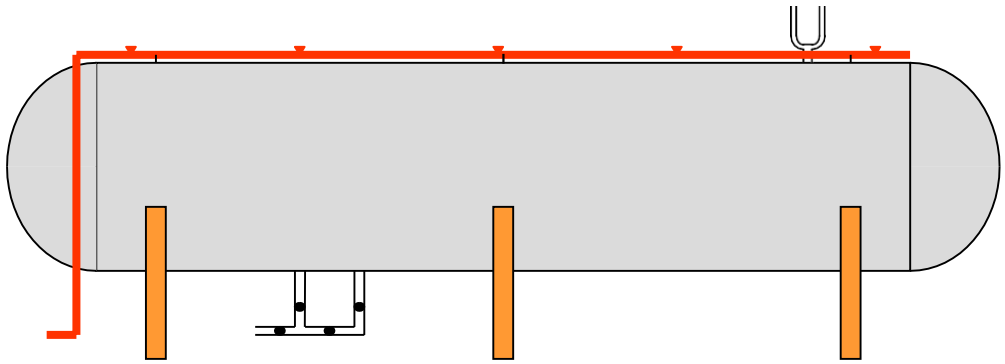


Figure I-3 : Réservoir cylindrique horizontal.

Produits : Gaz liquéfiés sous pression / A2
Etat : Diphasique
Volume : De quelques m^3 à 300 m^3
Sécurité incendie :

- Soupapes atmosphériques et/ou raccordées au réseau torche
- Rampe de pulvérisation d'eau pour le refroidissement (ou mixte eau/mousse)
- Injection pied d'eau (substitution de la fuite de gaz)

D. réservoir réfrigéré : [4]

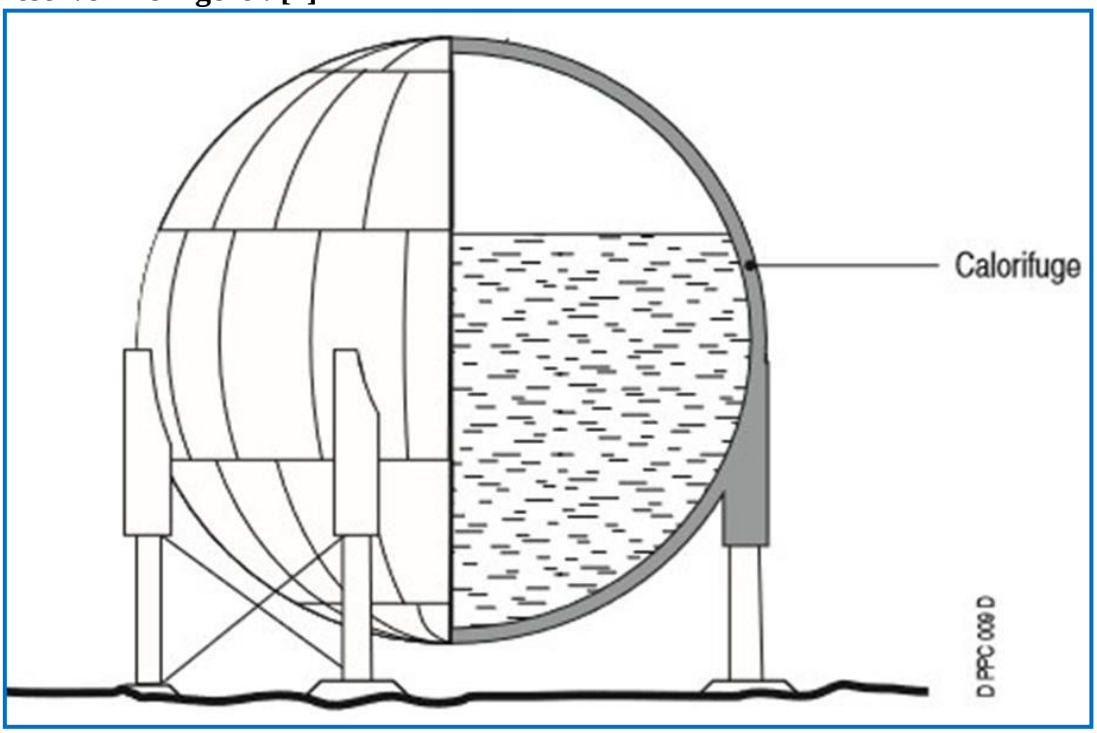


Figure I-4 : réservoir réfrigéré (forme sphérique).

I.1.3 Rôle de stockage :

Le stockage des ressources énergétiques est non seulement nécessaire pour compenser les fluctuations d'approvisionnement dues à toutes sortes d'aléas lors de la production, du transport et du raffinage, ou les variations de la consommation, qui dépendent notamment des conditions météorologiques. Il est aussi stratégique pour assurer un minimum d'autonomie énergétique du pays consommateur.

Le stockage doit être assuré aux différentes étapes du cheminement du pétrole, depuis le puits de production jusqu'aux lieux de consommation.

Les dépôts pétroliers importants se trouvent essentiellement sur les lieux de production du pétrole brut, aux extrémités des oléoducs, dans les terminaux de chargement et de déchargement du pétrole, à proximité des raffineries. Ces stockages concernent le pétrole brut, les charges, les coupes intermédiaires et les produits finis avant expédition. [1]

I.2 Risque des GIL:

Le GIL peut constituer une source de danger dans la mesure où les précautions suivantes n'ont pas été prises en considération :

- le GIL peut présenter un risque d'incendie dès qu'une fuite se produit ou des que le gaz s'échappe dans l'atmosphère.
- le GIL ne jamais remplir dans les réservoirs à plus de 85 %.
- leur vapeur est plus lourd que l'air, ce qui provoque son accumulation dans les points les plus bas, donc il faut éviter les cavités, aérer et ventiler les endroits pollués.
- II a une viscosité faible, ce qui le rend un fluide qui présente beaucoup de fuite, donc il faut éviter au maximum les assemblages non soudés.
- Purger les canalisations de liquide après dépotage afin d'éviter les risques de rupture des réservoirs s'ils sont sur remplis. **[5]**

I.3 Les mesures préventives :

Afin de prévenir et limiter les fuites des produits inflammables stockés susceptible de conduire à un accident il y a lieu :

- De protéger les équipements susceptibles de contenir de tels produits contre, les agressions mécaniques, la corrosion et le gel.
- De prévenir les sur remplissages par la mise en œuvre de procédures et de détections de niveau haut et très haut redondées de manière indépendante entraînant automatiquement, le cas échéant, la mise en sécurité des installations (fermeture des vannes, arrêt des pompes et compresseurs, ...).

- De prévenir les surpressions par des dispositifs limiteurs de pression correctement dimensionnés et des détecteurs de pression haute, entraînant automatiquement la mise en sécurité des installations.

- Disposer des détecteurs d'atmosphère explosive.

- Disposer de soupapes de sécurité.
- Installer un système de paratonnerre pour la protection de l'installation contre la foudre.

- Les réservoirs doivent être soigneusement mis à la terre.

- Pour prévenir l'inflammation d'une éventuelle atmosphère explosive, il y a bien sûr lieu, notamment :

- d'employer des matériels adaptés aux atmosphères explosives,

- de soumettre les travaux par point chaud à la délivrance d'un permis de feu et à la mise en œuvre de toutes les précautions nécessaires,

- bien évidemment d'interdire de fumer dans les zones susceptibles d'être explosives et même, sauf nécessité justifiée, d'interdire le port et la mise en œuvre de toute source d'inflammation potentielle.

- Malgré tout, il est nécessaire d'envisager le cas où une situation dégradée est matérialisée.

- Il convient alors de donner l'alarme au plus tôt. On conçoit que la mise en place de détecteurs de fumées ou de flammes judicieusement disposées contribue à permettre l'activation rapide d'une alarme.

- En cas d'incendie, il y a lieu de prendre les mesures suivantes :

Protéger thermiquement le réservoir par un écran liquide et retarder ainsi l'échauffement du produit qu'il contient. **[6]**

I.4 Les phénomènes dangereux liés au stockage des GIL

I.4.1 Introduction

Le contenu des études de dangers liés aux Gaz Inflammables Liquéfiés a connu une évolution significative ces dernières années. Ces études ont également eu une influence sur les techniques de stockage, en prenant en compte les risques identifiés. L'apparition il y a environ vingt ans des réservoirs situés sous des talus (sphères ou cylindres) a permis de réduire les risques d'explosion UVCE et de BLEVE, mais cela représente un investissement important pour les industriels. Il est essentiel de connaître les risques majeurs associés à ce type d'industrie afin de planifier la prévention, l'évaluation et les mesures de secours en cas d'accidents, qui sont malheureusement inévitables.

I.4.2 Phénomène BLEVE

I.4.2.1 Définition du BLEVE

Le BLEVE est un acronyme qui signifie "Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion".

- BLEVE est un type d'explosion qui se produit à la rupture d'un équipement contenant un liquide dont la tension de vapeur est très supérieure à la pression atmosphérique.

Est une explosion du résultat Rupture catastrophique du réservoir de gaz liquéfié comprimé. La rupture de la cuve expose le gaz liquéfié directement à l'environnement environnant. La chute de pression soudaine provoquera une évaporation très explosive de la majeure partie du liquide. L'onde de souffle et même l'onde de choc peuvent être créées pour avoir un effet dévastateur sur l'environnement, les corps humains. [**7]**

Ce phénomène de BLEVE peut être divisé en plusieurs étapes successives

- une réaction chimique de combustion interne ;
- l'éclatement du réservoir avec destruction de la paroi ;
- l'émission de projectiles ;
- la propagation d'une onde de pression dans l'environnement ;
- des échanges thermiques internes (conduction avec la paroi du réservoir) et externes (rayonnement, convection).

I.4.2.2 Processus de réalisation du BLEVE

Un BLEVE se produit lorsqu'un réservoir contenant du gaz liquéfié se rompt, entraînant la libération instantanée de la vapeur, du liquide bouillant, des missiles (fragments de réservoir) etde l'onde de souffle. Le type de BLEVE le plus courant est causé lorsque la paroi extérieure du réservoir est exposée à un incendie. Le transfert continu de chaleur du feu à la paroi du réservoiraugmente la température et la pression à l'intérieur du réservoir, jusqu'à ce que le réservoir se rompt. Cette défaillance soudaine du réservoir entraîne une vaporisation explosive de son contenu (**Figure I-5**).

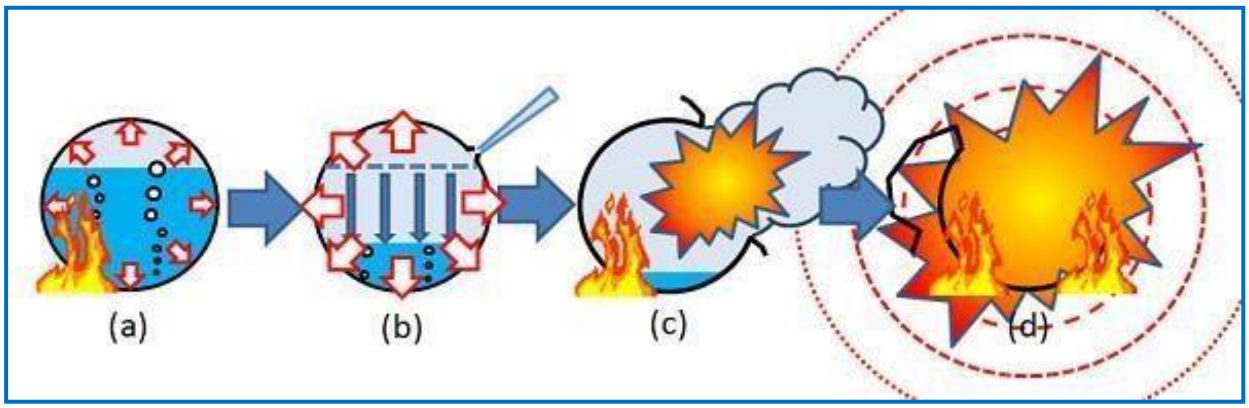


Figure I-5 : Étapes de réalisation du BLEVE.

Lorsque la structure du réservoir se fragilise, la vapeur tente de s'échapper ou de fuir par l'ouverture, ce qui entraîne une diminution de la pression à l'intérieur du réservoir. Cette baisse drastique de la pression à l'intérieur du réservoir entraîne une ébullition rapide du liquide et uneaugmentation de la formation de vapeur. La pression de la vapeur qui s'échappe devient très élevée et conduit à une explosion détruisant complètement la structure du réservoir et les zonesenvironnantes. **[8] [9]**

I.4.2.3 Effets du BLEVE

a) Thermique

Les effets thermiques sont liés aux rayonnements thermiques de la boule de feu. Quand un produit inflammable est exposé lors d'un BLEVE, la boule de feu peut avoir des conséquences assez importantes (effet thermique radiatifs). **[10]**

b) Surpression

D'une part non négligeable de l'énergie initialement présente étant absorbée par l'émission de projectiles, seule une fraction de l'énergie est disponible pour la propagation de l'onde de pression due à la détente brutale du volume de gaz brûlé à une pression égale à la pression statique de rupture du réservoir. **[11]**

- **Seuils de référence pour les effets de surpression**

Tableau I-1 : Valeurs de référence relatives aux seuils d'effets de surpression. **[12]**

Seuils		Effets / Dommages
Effets dominos	160 mbar	Premiers dégâts aux structures (effet domino)
	300 mbar	Dégâts graves aux structures
Effets sur l'homme	25 mbar	Dommages graves
	50 mbar	Dommages irréversibles ou létaux

c) Missile

Lors de la rupture d'un réservoir des fragments peuvent être projetés à des distances élevées. **[10]**

I.4.2.2 Théorie du BLEVE

La théorie du BLEVE fait appel à la notion de température limite de surchauffe (TLS). Lorsqu'on transfère, à pression donnée, de la chaleur à un liquide, celui-ci subit une augmentation de température, jusqu'à atteindre son point d'ébullition et à former des bulles de vapeur qui se développent sur les sites actifs que sont les impuretés et les interfaces avec les parois. Lorsqu'il n'y a pas suffisamment de sites de nucléation dans le liquide, le point d'ébullition peut être dépassé sans qu'il n'y ait d'ébullition. Dans ce cas, le liquide est dit surchauffé.

Il existe cependant une limite de température, à une pression donnée, au-delà de laquelle se développent des bulles de vapeur dans tout le liquide, même en l'absence de sites de nucléation. Cette limite est la température limite de surchauffe.

Considérons, un gaz liquéfié pur à l'équilibre thermodynamique dont l'état est présenté par le point **A**. Si on lui fournit de la chaleur, le point représentatif de son état se déplace sur la courbe de vapeur saturante jusqu'à rejoindre le point **B**. Le gaz peut alors passer, par dépressurisation brutale, à l'état représenté par le point **E** en restant, au moins momentanément, surchauffé, à l'état liquide avant de se vaporiser plus ou moins rapidement. En revanche, un gaz dont l'état est représenté par le point **C** de la courbe de tension de vapeur, qui est dépressurisé brutalement à la pression atmosphérique (point **D**) subit une vaporisation homogène, rapide et totale à caractère explosif, car il ne peut subsister à l'état liquide à une température supérieure à sa température limite de surchauffe. **[13]**

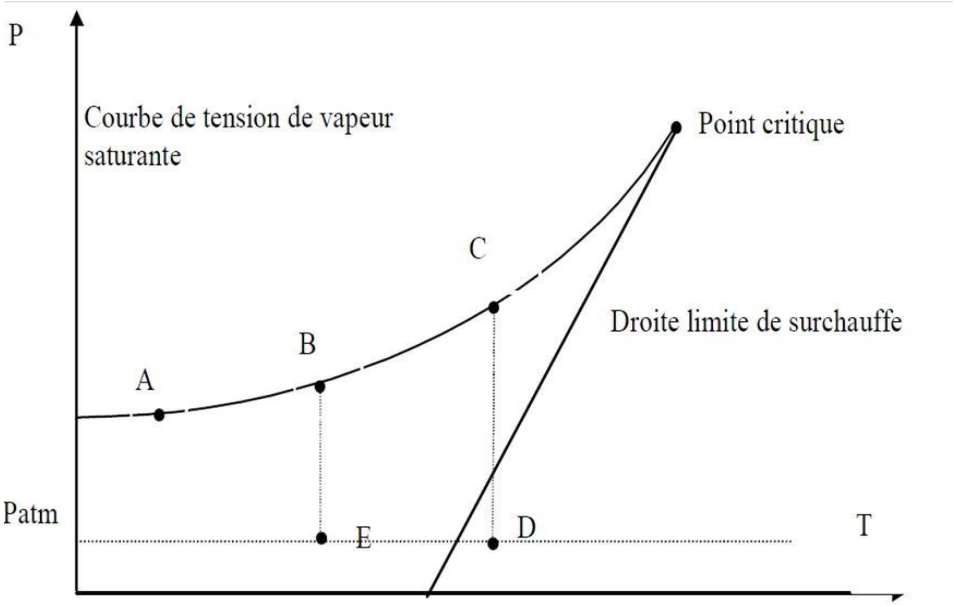


Figure I-6 : Courbe de tension de vapeur saturante et de droite limite de surchauffe.

La notion de BLEVE froid ou chaud se réfère uniquement à la température limite de surchauffe (TLS) du produit :

- la transformation **B-E**, qui se produit **en dessous de la température limite de surchauffe à pression atmosphérique,** est généralement appelée **« BLEVE froid ».**

- la transformation **C-D**, qui se produit **au-dessus de la température limite de surchauffe à pression atmosphérique,** est généralement appelée **« BLEVE chaud ». [13]**

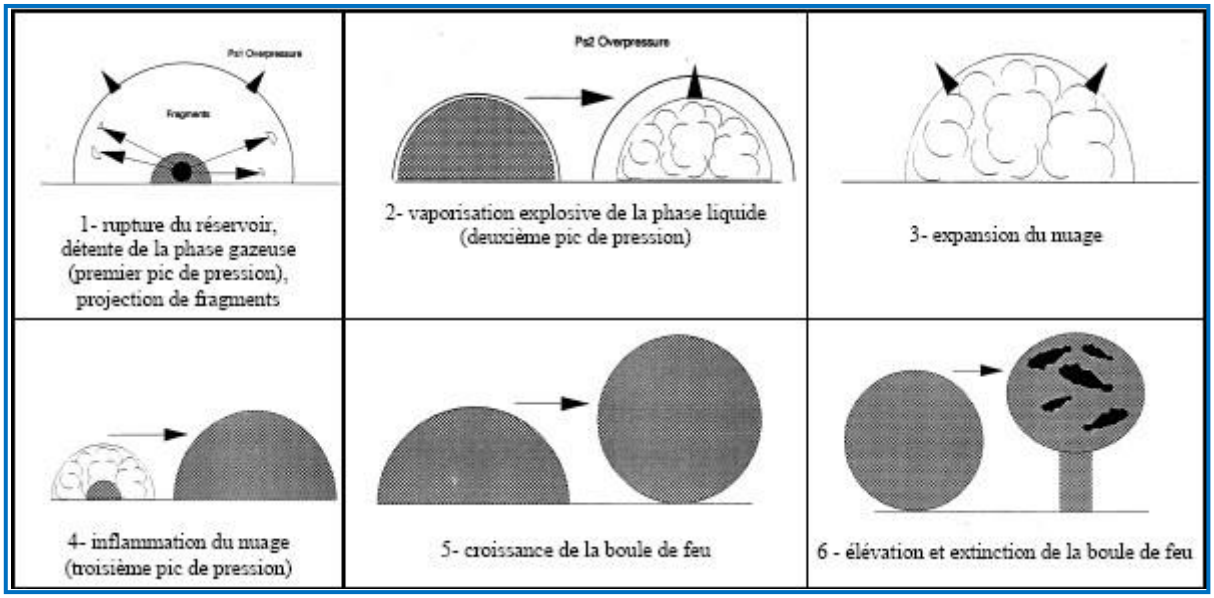


Figure I-7 : Etapes de développement d'un BLEVE « chaud » (d'après S. Shield, 1993).

Dans le cas d'un BLEVE « froid », les effets thermiques sont produits à la fois :

- par le rayonnement de la boule de feu (de taille plus réduite qu'en cas de BLEVE « chaud»),

- par le rayonnement d'un feu de nappe si une flaque se forme au sol.

Le pouvoir émissif du feu de nappe étant deux à trois fois inférieur à celui de la boule de feu, on admet que les effets thermiques produit par un BLEVE « froid » sont inférieurs à ceux produits par un BLEVE « chaud ». Ce point est vérifié lors des essais expérimentaux. **[14]**

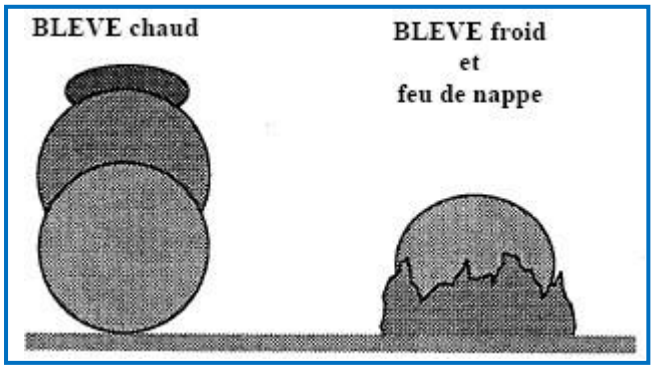


Figure I-8 : le type de BLEVE (d'après S. Shield, 1993).

- Le tableau ci-dessous propose une comparaison synthétique entre les BLEVE "froids" et "chauds" d'après (Birck, Ye et al., 1991)

Tableau I-2 : comparaison entre BLEVE "chaud" et BLEVE "froid".

	BLEVE "chaud"	BLEVE "froid"
Instants initiaux	1) Température du liquide initialement au-dessus de la température limite de surchauffe 2) Le réservoir se rompt localement 3) Formation d'un jet 4) Dépressurisation 5) Remontée en pression du réservoir du fait de l'ébullition 6) Ruine du réservoir	1. Liquide en dessous de la limite de surchauffe 2. Ruine du réservoir due à des effets essentiellement mécaniques
Durée entre la rupture initiale et le rejet à caractère explosif	Quelques dixièmes de secondes après la formation d'une fissure de 20 cm	Quelques centièmes de secondes

Géométrie du réservoir après le BLEVE	Le réservoir est aplati au sol avec émission possible de missiles	Le réservoir est aplati au sol avec émission possible de missiles
Mode de rejet	Tout ou majeure partie du liquide est vaporisée instantanément	Une partie du liquide se vaporise instantanément, le reste est dispersé sous forme de gouttelettes
Boule de feu	Boule de feu classique ascendante	Nuage d'aérosol en feu au niveau du sol avec une boule de feu ascendante
Effets de surpression	Le bruit de l'onde de choc suggère d'importantes surpressions	Apparaissent relativement réduits d'après le niveau sonore de ce type de BLEVE
Projectiles	De grandes pressions de rupture ont le potentiel d'envoyer des projectiles sur d'importantes distances	Les faibles pressions de rupture limitent probablement la distance parcourue par les projectiles
Conditions nécessaires	Liquide chaud et rupture locale afin de déclencher une explosion par surchauffe	Réservoir peu résistant conduisant à sa ruine totale

I.4.2.3 Causes du B.L.E.V.E

Trois principales causes du BLEVE ont été identifiées, dont deux sont liées à des agressions externes : **[15]**

1. **Un impact mécanique** par exemple à **un choc** (accident de la circulation d'un camion-citerne, ….) ou à une **fragilisation** (corrosion, ….). Plus de 20% des incidents étaient causé par des dommages mécaniques.

2. **Une agression thermique ou un chauffage externe** (exemple, à un excès de pression du a un incendie voisin entrainant une rupture du métal sous l'action de la chaleur). Ce type des causes contribuées par 50% des accidents BLEVE.

3. **le sur-remplissage du réservoir** une montée en température entraîne la dilatation du liquide à l'intérieur, qui peut aller jusqu'à la disparition complète de la phase gazeuse : c'est le phénomène de plein hydraulique. La pression monte alors extrêmement rapidement dans le réservoir et entraîne sa rupture, mais la température peut être encore bien plus basse que la TLS à pression atmosphérique. et dans ce contexte, l'absence d'un dispositif de décharge de surpression était un facteur contributif. Il est clair que le chauffage externe et les dommages mécaniques sont les plus courants d'un part, et les accidents provoqués par le sur-remplissage conduisent souvent à un nombre élevé de morts d'autre part. **[7]**

Tableau I-3 : causes de BLEVE. **[7]**

Nature du réservoir	Impact mécanique	Agression thermique	Surremplissage du réservoir
Sphère	BLEVE « froid »	BLEVE « chaud » ou « froid »	BLEVE « froid »
Wagon citerne		* BLEVE « chaud »	
Camion-citerne		* BLEVE « chaud »	
Réservoir petit vrac (cylindre)		BLEVE « chaud » ou « froid »	
BLEVE		BLEVE « chaud »	

I.4.3 Phénomène UVCE :

I.4.3.1 Principe

L'UVCE (Unconfined Vapour Cloud Explosion) désigne une explosion de vapeurs non confinées. C'est l'explosion de nuages de gaz ou vapeurs dans l'atmosphère. Suite à une fuite de gaz inflammable (ex : rupture d'un réservoir de stockage), le mélange du gaz et de l'air forme un nuage explosible qui se diffuse. L'UVCE se produit quand ce nuage rencontre une source d'inflammation.

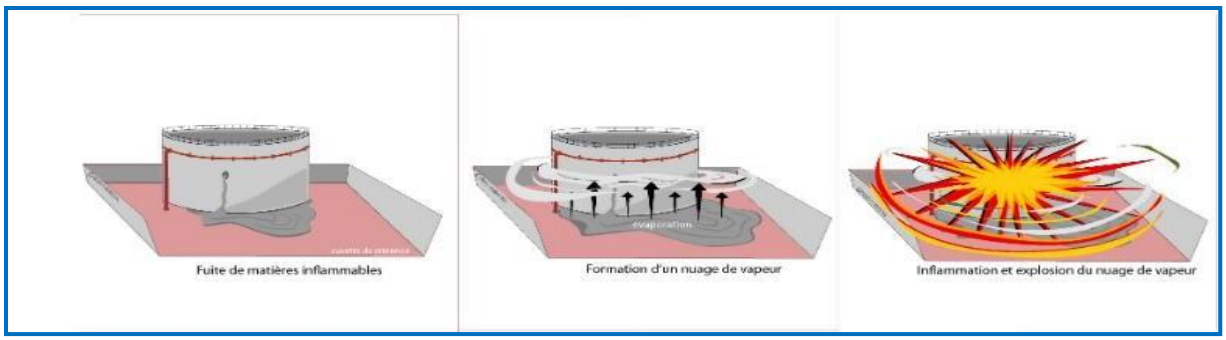


Figure I-9 : Principe de phénomène UVCE. **[16]**

I.4.3.2 Description du phénomène

Un UVCE comprend généralement les étapes suivantes :
- rejet dans l'atmosphère d'un GIL, le produit étant en phase gaz ou en phase liquide,
- mélange avec l'oxygène de l'air pour former un volume inflammable,
- de manière concomitante, dilution et transport du nuage de gaz dont une partie du volume reste inflammable,
- inflammation de ce nuage,
- propagation d'un front de flamme des parties inflammables du nuage ; ce front de flamme, associé à l'expansion des gaz brûlés, agit à la manière d'un piston sur les gaz frais environnant et peut être à l'origine de la formation d'une onde de pression aérienne, appelée déflagration, si sa vitesse de propagation est suffisante,
- enfin, le cas échéant, mélange avec l'air et combustion des parties du nuage qui étaient initialement trop riches en combustible pour être inflammables.**[16]**

I.4.3.3 Les facteurs d'un UVCE

- réactivité du gaz ;
- nature et point d'amorçage de l'explosion ;
- énergie de la source d'allumage ;
- position par rapport au sol ;
- relief du terrain ;
- végétation environnante ;
- orientation et forme des structures ;
- direction et force du vent, etc.

Plus la présence d'obstacle est importante plus l'explosions est destructrice. **[4]**

I.4.3.4 Régimes de combustion UVCE

Une UVCE présente deux régimes principaux de propagation possibles du front de flamme : la déflagration et la détonation. **[17] [18]**

La déflagration est le régime de combustion le plus courant observé lors d'une UVCE. Plus rarement, il se produit le phénomène de détonation qui est défini par une source d'inflammation forte, une vitesse de l'onde de combustion supersonique (supérieure à la vitesse du son, de l'ordre de 1800 m/s) et par la propagation d'une onde de choc.

La vitesse du front de flamme est donc bien plus importante dans le cas d'une détonation : le front de flamme est alors le front de l'onde, il progresse plus vite que le sont dans le milieu, alors que dans le cas de la déflagration, la vitesse est limitée par la conduction thermique et la diffusion.

Lorsqu'une UVCE produit une déflagration, on observe successivement différents régimes de combustion au cours du temps. Pour expliquer ces différents régimes, nous allons modéliser les régimes de combustion en considérant un mélange gazeux initialement au repos contenu dans un cylindre possédant une extrémité ouverte. L'inflammation se déroule au centre de la section fermée.

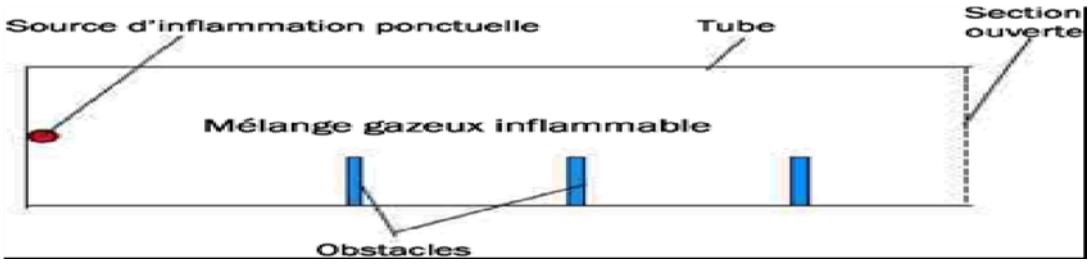


Figure I-10 : Régimes de combustion UVCE (Image 1).

L'inflammation de la source se produit. On observe dès lors un front de flamme possédant une forme sphérique. On parle de combustion laminaire. Ce front de flamme est une interface réactive qui transforme les gaz frais (le mélange gazeux inflammable) en gaz brûlés.

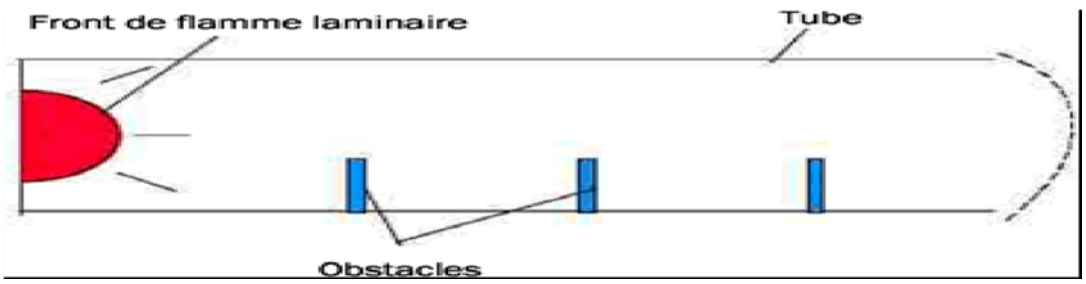


Figure I-10 : Régimes de combustion UVCE (Image 2).

Le front de flamme prend ensuite une apparence dite cellulaire. En effet, le front de flamme laminaire vu précédemment, est très sensible aux perturbations (variation de la vitesse des gaz, interaction avec des ondes de pression, variation locale de la concentration du mélange) ce qui engendre cette nouvelle forme.

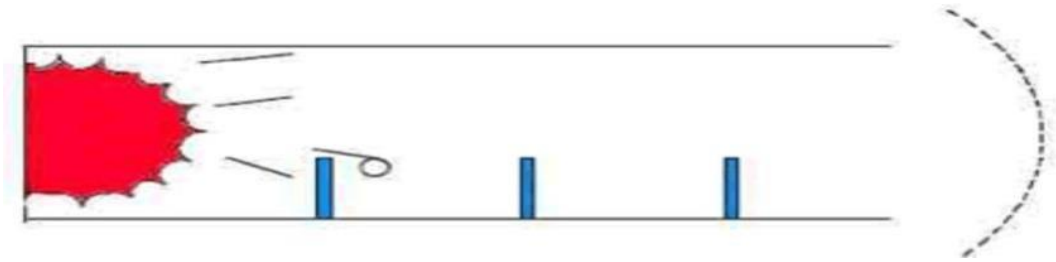


Figure I-10 : Régimes de combustion UVCE (Image 3).

On atteint alors le régime de déflagration turbulent. Ce sont principalement les obstacles qui sont à l'origine de ce nouveau régime de combustion.

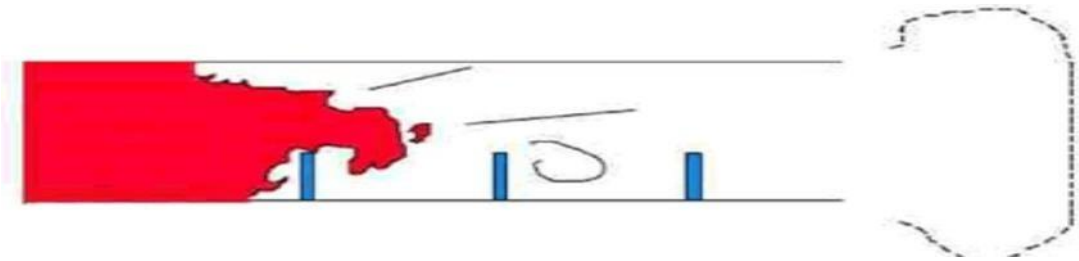


Figure I-10 : Régimes de combustion UVCE (Image 4).

Remarque : gaz brûlés ont une densité moindre que le mélange gazeux initial, si bien qu'il s'ensuit une brusque expansion volumique. Capable de mettre en mouvement les gaz frais, situés en aval, devant les flammes. Ces dernières agissent comme un piston sur les gaz réactifs et provoquent leur écoulement (images n°3 et 4).

I.4.3.5 Descriptions des effets UVCE

Les effets générés par UVCE (effet thermique, effet de surpression) sont fortement dépendants des conditions locales dans lesquelles l'explosion a lieu : conditions du mélange gazeux et conditions de l'environnement.

Tableau I-4 : paramètre propre à l'environnement et au mélange gazeux. **[16]**

Paramètres propres au mélange gazeux	Paramètres propres à l'environnement
Réactivité (vitesse fondamentale de combustion, taux d'expansion)	Source d'inflammation (position par rapport au nuage, énergie)
Concentration et homogénéité	Encombrement (nombre, position, taille des obstacles)
Turbulence propre du jet	Confinement partiel

a) Effets thermiques

L'expérience montre qu'en pratique, les effets thermiques de l'UVCE ne sont pas dus au rayonnement thermique (très court) du nuage enflammé, mais uniquement au passage du front de flamme. Autrement dit, toute personne se trouvant sur le parcours de la flamme est susceptible de subir l'effet létal, mais celui-ci n'excède pas la limite extrême atteinte par le front de flamme. Ainsi, l'effet thermique de l'UVCE ou du Flash Fire (rappelons qu'il s'agit du même phénomène physique) sur l'homme est dimensionné par la distance à la LII.

De manière générale, l'effet thermique d'un UVCE sur les structures se limite à des dégâts superficiels (déformation des plastiques, décollement des peintures, …), et, éventuellement, à une fragilisation possible de certaines structures métalliques légères. En revanche, l'UVCE peut être initiateur d'un incendie, ou être suivi d'une feu torche, dont les effets thermiques sont à redouter.

b) Effets de surpression

Ces effets sont produits par l'effet piston du front de flamme sur les gaz frais. Plus la propagation du front de flamme est rapide et plus son accélération est grande, plus l'amplitude de l'onde de pression est importante. Celle-ci se propage dans l'environnement à la façon d'une onde de choc dont l'amplitude s'atténue lorsque l'on s'éloigne du centre de l'explosion, de manière inversement proportionnelle à la distance.

En l'absence d'obstacles, on observe expérimentalement que la propagation de la flamme dans un mélange homogène et au repos est très faiblement accélérée, et que les niveaux de pression associés n'excèdent pas quelques millibars. En revanche, la présence d'un écoulement turbulent ou de gradients de concentration suffit à accélérer la flamme et à engendrer des niveaux de pression plus élevés, même en l'absence d'obstacles. **[16]**

Les conséquences de l'UVCE dépendent de :

- La masse de gaz combustible concerné, c'est à dire du volume du nuage.
- La composition du nuage de gaz.
- L'encombrement de l'espace.

Plus le nuage est important et plus on se rapproche d'une composition combustible/ comburant idéale, plus les conséquences sont importantes.

Par ailleurs, plus l'espace est encombré (tuyaux, véhicules, convoyeurs, ...), plus l'explosion sera violente. **[19]**

I.4.3.6 Causes d'un UVCE

Pour obtenir un UVCE il faut deux conditions réalisées simultanément :
- un nuage de gaz inflammable,
- une source d'inflammation.

Tous les scénarios de rupture de canalisation ou de fuite d'un GL peuvent engendrer un UVCE. La fuite peut être liquide ou gazeuse, mais à conditions de fuite équivalentes (pression, température, section de fuite), une fuite en phase liquide produit des nuages inflammables toujours beaucoup plus grands qu'une fuite en phase gazeuse, car le débit rejeté est beaucoup plus élevé (pour les GPL dans des conditions ambiantes, 1 litre de phase liquide engendre de l'ordre de 250 litres de phase gazeuse). **[16]**

I.4.4 Le Jet Enflammé

I.4.4.1 Rappel sur le jet enflammé :

Lorsqu'un jet liquide ou gazeux issu d'une fuite accidentelle s'enflamme par l'intermédiaire d'une source quelconque, le jet enflammé prend naissance sous forme d'une flamme de diffusion. Le jet turbulent combustible émerge d'une canalisation ou d'un orifice et entre en interaction avec l'air ambiant qui est en général au repos. Le jet combustible se mélange à l'air par entraînement et par diffusion et, à l'aide d'une source d'inflammation, se met à brûler seulement aux endroits où les concentrations de combustible et d'air sont comprises dans une plage définie dans ses limites d'inflammabilité. **[20]**

I.5 Retour d'expérience sur les accidents impliquant de stockage du GIL

I.5.1 Quelques explosions dans des sites industriels

- **FEYZIN (FRANCE) 04/01/1966**

Une fuite de propane dans une raffinerie à Feyzin en France (04/01/1966), a généré un nuage inflammable, qui a dérivé jusqu'à l'autoroute mitoyenne, une voiture arrêtée à 100 m du point de fuite longeant l'autoroute a été suffisante pour déclencher la mise à feu , un feu de nappe a apparu sous la sphère, les secours de la raffinerie, ont essayé de refroidir les sphères voisines et d'éteindre la torchère géante qui a pris une nouvelle ampleur après l'ouverture des soupapes de sécurité sur le haut de la sphère , cette dernière a explosé 17 brutalement vers 8h45 (1er BLEVE), la boule de feu s'est développée à 400 m de hauteur et a atteint 250 m de diamètre, une sphère voisine de propane a explosé à son tour à 9h40 (2ème BLEVE), le bilan humain était lourd : Dix-huit morts dont 11 sapeurs-pompiers et 84 blessés sur 158 personnes présentes. D'importants dommages matériels ont été observés, à travers l'inflammation des réservoirs voisins, l'ouverture des soupapes de sécurité de plusieurs sphères de stockage, et l'apparition de phénomène de projection de missiles due aux BLEVEs , retrouvés à plus de 700 m, un des projectile pesait 48 tonne et a été retrouvé à 325 m, 8 000 m³ (1 500 t) de produits pétroliers ont été perdus. Le souffle de l'explosion a été ressenti jusqu'à Vienne (16 km au sud) et 1475 habitations ont été atteintes. **[21]**

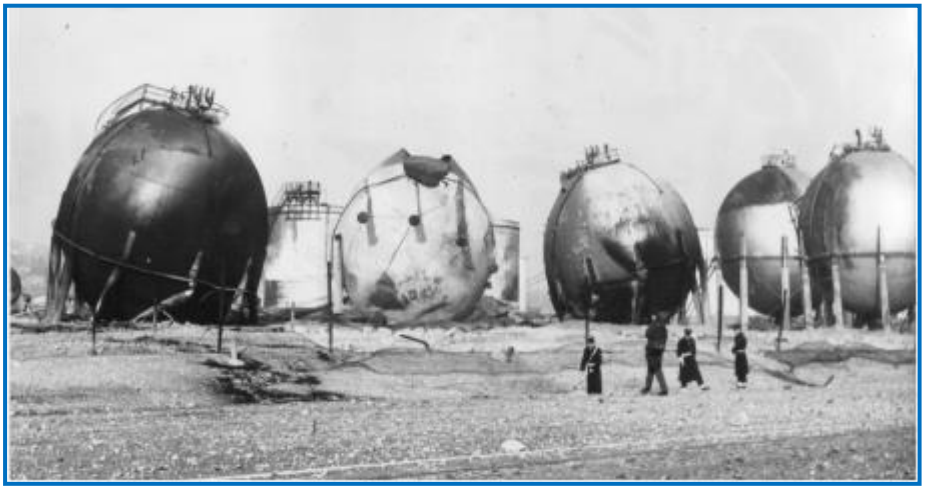


Figure I-13 : État général des sphères de GPL après la catastrophe. **[21]**

ENSEIGNEMENTS

Cet accident a généré un nombre important d'enseignements, notamment sur :

- L'opération d'échantillonnage en partie basse du réservoir : accessibilité des vannes d'échantillonnage et commande de la position de la vanne avec un dispositif d'écrou pour bloquer la vanne dans la position souhaitée.
- Les cuvettes de rétention : redimensionnement par rapport aux critères de l'époque.
- Les soupapes : Résistance de la sphère à la pression de tarage des soupapes en cas de surchauffe et **préconisation d'un refroidissement en partie haute du réservoir.**
- **Refroidissement des capacités** : manque de ressource en eau + renforcement des dispositifs fixes de refroidissement et absence d'un point de commandement unique pour les secours externes.

Cet accident a entraîné une modification profonde de la réglementation pour les installations pétrolières notamment vis-à-vis :

- Du classement des hydrocarbures liquides et liquéfiés,
- De la définition des zones dangereuses ou à risques,
- Des règles d'implantation et des distances de séparation/sécurité entre installations et à l'extérieur,
- Des règles de conception et dimensionnement des cuvettes de rétention,
- Des équipements des stockages de GPL (ligne de purge, soupapes),
- **Des moyens de lutte contre l'incendie (extinction et refroidissement). [22]**

❖ **PORT NEWARK, (ETATS UNIS), 07/07/1951**

La rupture d'une tuyauterie dans une unité de stockage de propane au port Newark, au Etats-Unis a provoqué un incendie (07/07/1951). Cet incident est causé par un défaut de fonctionnement de la vanne d'isolement interne du réservoir reliée à la canalisation du réservoir, ce qui a conduit à son explosion 15 minutes plus tard. Les 69 autres cuves présentes sur le site ont explosé (BLEVE) dans les 100 minutes suivantes (effet domino). Cette catastrophe était tellement importante, qu'elle a rendu l'intervention des pompiers très délicate. Le système de fourniture d'eau ayant été mis hors service par un projectile. Onze personnes ont été blessées. **[23.1]**

❖ **SAN IXHUATEPEC, MEXICO, (MEXIQUE), 19/11/1984**

A environ 5h35 le 19 novembre 1984, un incendie majeur et une série d'explosions catastrophiques ont lieu sur le terminal PEMEX GPL à San Juan Ixhuatepec, Mexico.

Trois raffineries approvisionnent le site tous les jours en GPL. Parce que la veille le site était quasiment vide, il se faisait alors approvisionner par une raffinerie à 400 km de là. Deux grandes sphères et 48 cylindres étaient lors remplis à 90% et quatre petites sphères étaient à 50% pleines.

La salle de contrôle ainsi qu'une station de pompage remarquent une chute de pression. Une canalisation de 8'' entre une sphère et une série de cylindres s'est rompue. Cependant, les opérateurs ne parviennent pas à identifier la cause de la chute de pression. La fuite de GPL dure alors depuis 5 à 10 minutes lorsque le nuage de gaz, estimé à une surface de 200 m x 150 m à 2 m de haut se dirige vers une torchère. Le nuage s'enflamme générant une forte surpression. Plusieurs incendies se déclarent. Les opérateurs du site essaient alors de gérer la situation.
Un employé finit par déclencher le bouton d'arrêt d'urgence.
Environ 15 minutes après le début de la fuite, un premier BLEVE a lieu. Durant l'1h30 qui suit, une série de BLEVE se produit.
L'importance des quantités impliquées, la rapidité du développement de l'accident, la proximité des habitations (les plus proches sont à 100 m environ des réservoirs) et le type de construction expliquent la gravité du bilan : officiellement 600 morts et 7 000 blessés, 39 000 personnes évacuées et 4 000 sauveteurs impliqués.

ENSEIGNEMENTS

Les défaillances identifiées lors de l'analyse de l'accident concernent la sécurité globale du site dont l'aménagement du site et les mesures en sécurité.

- Aménagement du site : positionnement des réservoirs trop proches et proximité des habitations,
- Isolement : absence de moyens d'isolement d'urgence,
- Moyens de lutte contre l'incendie : le réseau d'eau incendie du terminal a été rendu inopérant par le premier BLEVE. De même, **le système de pulvérisateurs d'eau était inadéquat,**
- Détection de fuite : absence de système de détection de gaz et donc d'arrêt d'urgence automatique,
- Intervention des secours / contrôle de la fuite : le trafic très perturbé par l'évacuation des habitants a gêné l'arrivée des secours,
- Le BLEVE peut intervenir quelques minutes seulement après l'allumage du nuage inflammable lorsqu'un feu torche impacte la paroi du réservoir non en contact avec le gaz liquéfié. **[22]**

❖ **BRENHAM, (ETAS-UNIS), 07/04/1992**

Une violente explosion se produit dans la campagne aux environs d'un site de stockage souterrain de gaz de pétrole liquéfiés (GPL). La cavité saline contient 60 000 m³ d'un gaz issu de la 1ère distillation du pétrole, composé principalement d'1/3 de propane, d'1/3 d'éthane, de 20 % de butane et isobutane, de 10 % de pentane et d'iso pentane. Des feux sur une installation voisine de stockage d'extraction de pétrole et sur un pipeline de gaz liquéfié succèdent fait suite à l'explosion. Le sinistre n'est maîtrisé qu'au bout de 48 h. Les vibrations du sol transmises par l'explosion sont ressenties à 200 km. Le sismographe de Houston (d=100 km) enregistre une secousse de degré 3,5 à 4 sur l'échelle de Richter. D'après les éléments d'enquête, le gaz s'est échappé pendant 1 h puis le nuage ainsi formé s'est enflammé au contact d'un véhicule de

passage. L'UVCE (en fait 3 à 4 explosions consécutives) provoque de très gros dégâts : malgré la faible urbanisation, le bilan est de 3 morts et 19 blessés, les constructions sont endommagées sur 800 ha (zone brûlée sur 40 ha, 5 maisons détruites et 55autres touchées, vitres détruites sur 200 km), 75 bovins sont tués et 12 blessés. Le coût total est estimé à 9 M$. La fuite comprise entre 50 et 100 t de gaz, résulte d'un sur remplissage de la cavité après défaillance des installations de sécurité permettant l'arrêt du remplissage. **[23.2]**

I.5.2 Conclusions et séquences accidentelles génériques

- L'analyse de ces accidents nous a permis d'extraire les points essentiels suivants :

- Les dégâts accidentels liés aux activités de stockage du GPL, sont très graves et catastrophiques,

- La plus part des incidents conduisent à des explosions (phénomènes de BLEVE ou d'un UVCE qui sera expliqués ultérieurement), qui sont amplifié par des effets dominos qui aggravent la situation.

- La lutte contre ces types d'accidents est très difficile et parfois très longue, dans la plus part des cas, il y a des blessures graves et mortelles dans la population, les travailleurs, et les groupes d'intervention.

- Du retour d'expérience, les principaux phénomènes dangereux suite à l'inflammation d'une fuite de GPL sont :
  - Un feu de torche ou un feu de nappe engendrant des effets thermiques,
  - Une explosion engendrant des effets thermiques et de surpression,
  - Un BLEVE occasionnant des effets thermiques (boule de feu) et mécaniques (surpression et missiles).

Les cinétiques de déroulement des phénomènes en question sont rapides voire instantanées alors que les cinétiques de la phase pré-accidentelle peuvent S'étendre sur une période un peu plus longue, de l'ordre de la dizaine de minutes. (Plusieurs dizaines de minutes pour l'accident de FEYZIN).

- D'après l'accidentologie, les causes de fuite à proximité du réservoir peuvent être :
  - une fuite sur une vanne,
  - une fuite sur une canalisation ou un flexible,
  - la défaillance d'un organe de sécurité (clapet de rupture)
  - un écoulement de GPL incontrôlé par ligne de purge,
  - la corrosion,

- Sur la base des accidents majeurs **ayant conduit à des phénomènes de BLEVE**, on peut constater les défaillances suivantes :
  - Non isolement des réservoirs GPL : Sydney (Australie, 01/04/1990),
  - **Absence d'arrosage fixe** : Port Newark (Etats-Unis, 07/07/1951), Montréal (Canada, 08/01/1957), Mc Kittrick (Etats-Unis, 28/05/1959),

Feyzin (04/01/1966), Izmit (Turquie, 21/08/2002),

- Panne des **pompes incendie** : Sydney (Australie, 01/04/1990),
- Absence ou retard à l'ouverture des soupapes de sécurité : Rio de Janeiro (Brésil, 30/03/1972), Cairns (Australie, 17/08/1987).

- Pour éviter et limiter ces phénomènes dangereux, plusieurs solutions techniques et organisationnelles ont été mises en place de façon à :

  - réduire l'occurrence de fuites : choix des matériaux et des équipements à installer sur le réservoir,
  - limiter les quantités de produit rejetées accidentellement,
  - déployer au plus vite des moyens de lutte contre l'incendie afin d'éviter l'éclatement des capacités : taux d'application défini, obligation d'arrosage fixe, maillage du réseau d'eau incendie. **[22]**

- La figure suivante présente 02 exemples de séquences accidentelles rencontrées dans l'accidentologie et aboutissant au BLEVE du réservoir de stockage des GPL.

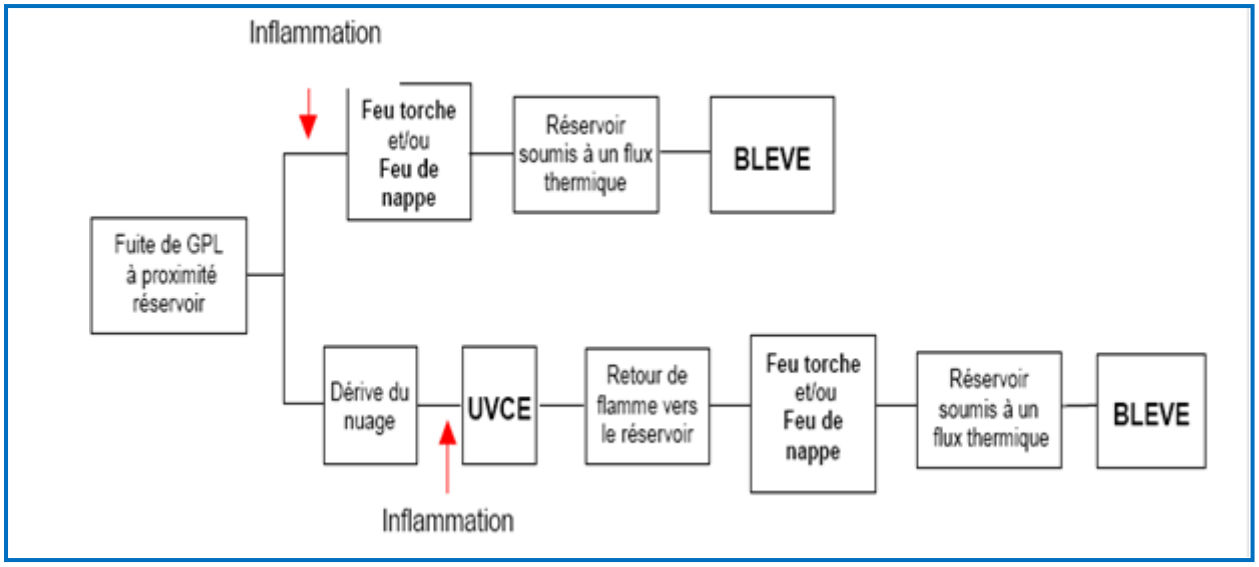


Figure I-14 : Exemples de séquences accidentelles aboutissant à un BLEVE **[22]**

Conclusion

Le BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion) qui est l'explosion d'un

Stockage de gaz et l'UVCE (Unconfined Vapour Cloud Explosion) qui est l'explosion d'un

Nuage de gaz sont quelques-uns des risques fréquemment associés aux dépôts de GIL.

Lorsque des mesures efficaces ne sont pas prises en amont pour prévenir leur survenance, ils

Peuvent engendrer des catastrophes avec des dégâts immenses.

Dans le cadre de cette mémoire de master académique, nous avons choisi un système de protection des réservoirs de gaz liquéfié contre le feu et le rayonnement thermique (système déluge), pour étudier et vérifier son efficacité.

CHAPITRE II

Les critères généraux d’un système déluge

Introduction

Dans ce chapitre on va présenter généralement le réseau incendie et quelque système d'extinction d'incendie équipé dans le complexe GNL3Z, puis on présente la fonction et caractéristique d'un système déluge.

II-1 Protection incendie – principes de base

La sécurité d'un site doit être considérée dans son ensemble. Le dimensionnement de n'importe quel système de lutte anti incendie est la résultante de la prise en compte des critères énoncés ci-après :

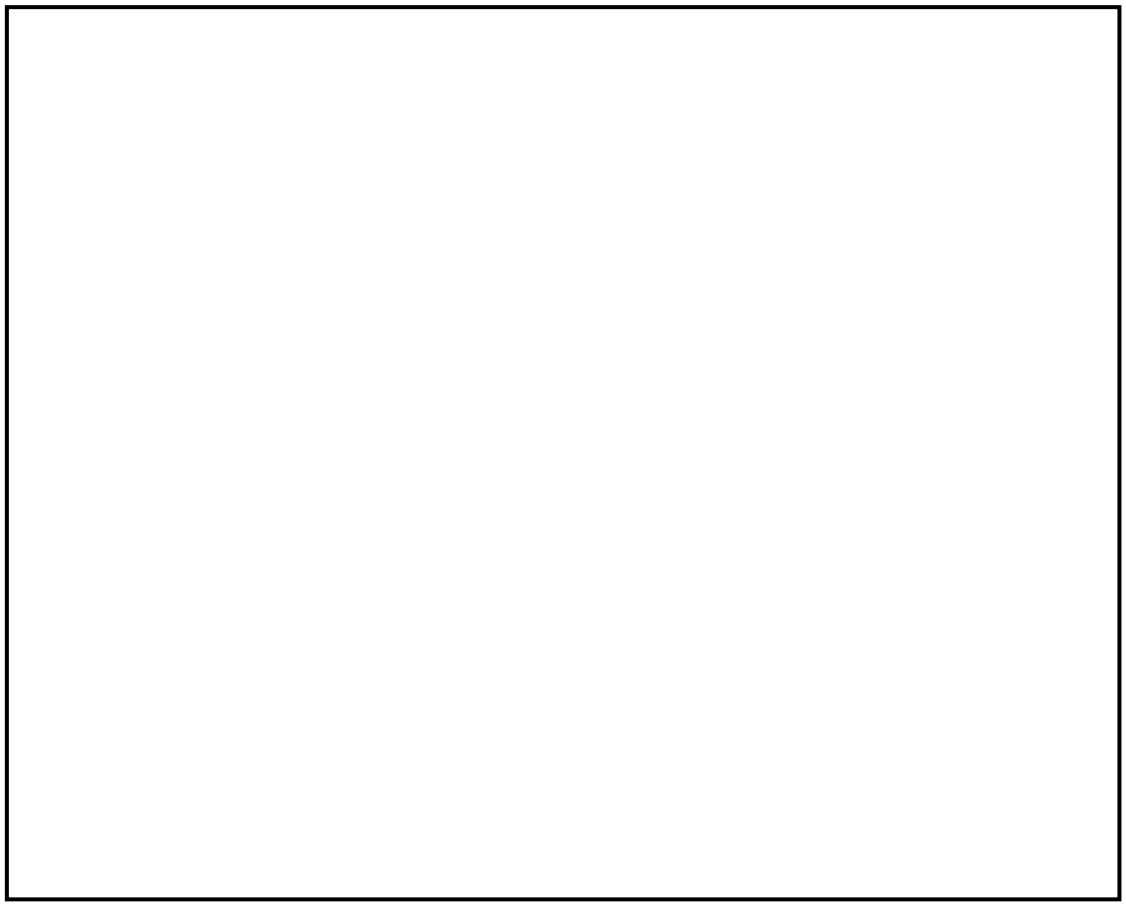


Figure II-1 : Eléments pris en compte pour la définition d'un système de refroidissement **[1]**

.

II.2 Différents types de protection

On distingue deux (2) types de protection anti-incendie, la Protection Feu Passive (PFP) et la Protection Feu Active (PFA).

II.2.1 Protection passive

La protection feu passive PFP joue un rôle préventif, elle représente l'ensemble des mesures constructives permettant à un ouvrage de résister à un incendie pendant un temps donné. Ces mesures sont appelées passives car elles fonctionnent sans aucune intervention humaine ni apport extérieur d'énergie. Elles visent à permettre l'évacuation des personnes et l'intervention des services de secours, en confinant le plus longtemps possible le feu dans le seul espace où il s'est déclaré. On peut citer comme exemple : les murs coupent feu, les murs anti-explosion… etc. **[24]**

II.2.2 Protection active

La protection feu active PFA quant à elle joue un rôle curatif et représente l'ensemble des systèmes de détection et extinction d'un incendie (détecteurs, sprinklers, extincteurs...). Elle a donc pour but d'avertir les usagers d'un espace du déclenchement d'un feu, et d'agir sur celui-ci via une intervention automatique ou humaine. **[24]**

II.3 Différents systèmes d'extinction

La plupart des installations utilise 3 types de systèmes de lutte incendie :

- **Systèmes fixes** : système de protection installé en permanence et connecté à une source d'agent extincteur
  Exemples : Déluge, rideau d'eau, lance monitor, système d'extinction CO2, etc. **[25]**

Figure II-2 : Lance monitor connectée sur le réseau maillé enterré **[26]**

- **Systèmes semi-fixes** : système de protection installé en permanence non connecté à une source d'agent extincteur (connexion effectuée par du personnel formé et entraîné)

Exemples : Poteau incendie, robinet d'incendie armé, colonne sèche, etc. **[25]**

Figure II-3 : Poteaux incendie, avec son établissement, et lance incendie **[26]**

- **Equipements mobiles portables :**

Equipements amenés sur le lieu de l'incident et mis en œuvre manuellement.
Exemples : Queue de paon, lance incendie **[25]**

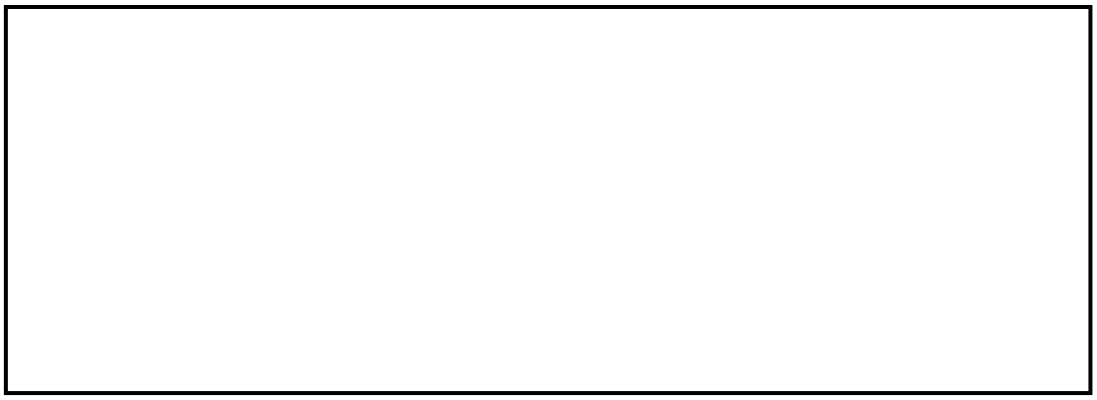


Figure II-4 : Canons portables en position replié pour le transport **[26]**

II.3.1 Différents types d'agents extincteurs :

Selon le type de combustible impliqué, le mode d'application envisagé, les moyens à disposition de l'exploitant, etc., différents agents extincteurs peuvent être utilisés : l'eau, la mousse, la poudre, les gaz inertes / inhibiteurs. Chaque agent agit selon des modes d'action qui lui sont propres (refroidissement, étouffement, etc.).

Le choix de l'agent extincteur et du type d'équipement de protection active fait partie intégrante de la détermination de la stratégie de lutte contre l'incendie **[25]**

II.4 Système d'eau d'incendie

Le système d'eau d'incendie est conçu conformément aux critères et paramètres principaux suivants :

- La maîtrise et la lutte contre un seul incendie à la fois survenant dans la zone de l'usine, en limitant son aggravation et en réduisant autant que possible ses conséquences sur les installations exposées aux radiations ;
- La propagation du feu n'est pas supposée aller au-delà des limites de la zone d'incendie ;

Afin de répondre à ces exigences, le système de protection anti-incendie active procède à la sélection et à l'application de l'agent d'extinction le plus adapté en fonction de la source du risque d'incendie. **[27]**

II.4.1 Le Réservoir de stockage d'eau douce anti-incendie 63-MF01

Le Réservoir de stockage d'eau douce anti-incendie 63-MF01 est un réservoir de stockage à toit conique, conçu pour stocker l'eau douce utilisée pour alimenter le système d'eau d'incendie.

Ce réservoir a une capacité de 3 895 m3, ce qui permet de garantir un fonctionnement en continu de deux heures à la demande maximale d'eau d'incendie sans devoir le remplir.

Le temps de remplissage du réservoir est égal à 8 heures, conformément aux exigences de la norme NFPA 22. **[27]**

Figure II-5 : Réservoir de stockage (63-MF01)

II.4.2 Équipements rotatifs (pompes)

a) Pompes « Jockey » d'eau douce incendie (63-MJ03-A/B)

Les pompes jockey d'eau douce incendie (une en fonction, une de réserve) sont des pompes horizontales de type centrifuge entraînées par moteur électrique.

Elles ont pour but de maintenir le circuit d'eau d'incendie à la bonne pression opératoire, aussi lorsqu'aucun incendie n'est détecté et de répondre aux petites demandes de l'usine. Un recyclage est prévu sur la ligne de refoulement commune afin de garantir le fonctionnement stable et sécurisé en continu des pompes.

Les pompes jockey sont alimentées électriquement par les réseaux d'alimentation électrique normale et de secours. Leurs contrôleurs et leurs signaux sont conformes à la norme NFPA 20 (éd. 2007). **[27]**

Figure II-6 : Pompes « Jockey » d'eau douce incendie (63-MJ03-A/B)

b) Pompe d'eau incendie électrique (63-MJ01-A) et pompe d'eau incendie diesel (63-MJ01-B)

Les pompes d'eau douce anti-incendie sont des pompes centrifuges ; la première est électrique et la deuxième est alimentée à diesel. Dans les conditions normales, elles sont toutes les deux en attente, prêtes au démarrage en cas d'incendie et dans l'éventualité où la pompe jockey n'est pas en mesure de fournir une quantité d'eau suffisante pour faire face à la situation d'urgence. En cas de demande maximale d'eau d'incendie (1 583 m^3/h), ces deux pompes peuvent fonctionner ensemble en tant que deux pompes principales.

Les pompes d'eau d'incendie sont également utilisées pour rinçage du circuit d'eau d'incendie de l'eau de mer.

La pompe électrique est alimentée électriquement par le réseau d'alimentation électrique normal ; ses contrôleurs et ses signaux sont conformes à la norme NFPA 20(éd. 2007).

La pompe principale entraînée par moteur diesel est équipée de son propre système d'alimentation en carburant ; ses contrôleurs et ses signaux sont conformes à la norme NFPA 20 (éd. 2007).

Le réservoir de diesel a été conçu pour un fonctionnement en continu de 12 heures.

Ces pompes peuvent être actionnées soit manuellement, soit automatiquement. **[27]**

Figure II-7 : Pompe d'eau incendie (63-MJ01-A) et pompe d'eau incendie diesel (63-MJ01-B)

c) Pompe d'eau de mer incendie) électrique (77-MJ01-A) et pompes d'eau de mer incendie diesel (77-MJ01-B/C)

Les pompes d'eau de mer incendie sont des pompes centrifuges ; la première est électrique et les deux autres sont alimentées à diesel. Elles fonctionnent en ligne en cas d'indisponibilité d'eau douce d'incendie (Unité 63).

Dans les conditions normales, les trois pompes sont en attente ; en cas d'incendie, c'est la pompe d'eau de mer incendie 77-MJ01-A qui démarre. Si une quantité supplémentaire d'eau est nécessaire, la pompe d'eau de mer incendie diesel 77-MJ01-B démarrent également. En cas de demande maximale d'eau d'incendie, ces deux pompes peuvent fonctionner ensemble en tant que deux pompes principales.

La pompe d'eau de mer incendie diesel 77-MJ01-C est une pompe commune de réserve.

Les (03) pompes 77MJ01-A, 77MJ01-B, 77MJ01-C dimensionnée chacune 908 m3/h à 10,2 bar, Sont des pompes centrifuges verticales. **[27]**

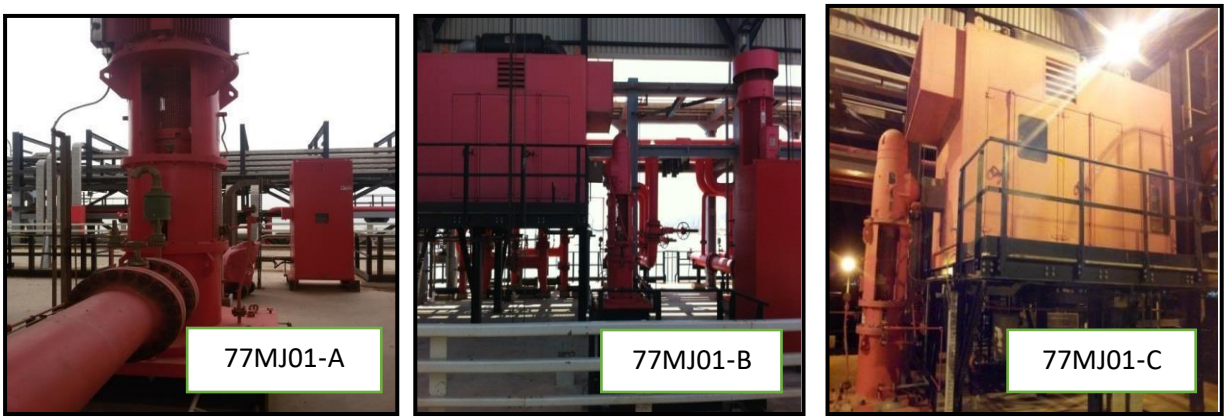


Figure II-8 : Pompe d'eau de mer incendie (77-MJ01-A) et pompes d'eau de mer incendie diesel (77-MJ01-B/C).

II.5 Les Procédés D'extinction automatique

II.5.1 Procédé par gaz neutre

Le gaz neutre agit par étouffement en abaissant la concentration d'oxygène jusqu'à un niveau où la combustion ne peut plus être entretenue. Les principes d'application et les contraintes sont identiques à celles des gaz inhibiteurs : étanchéité du volume protégé, maintien de la concentration pendant 10mn, résistance mécanique de l'enceinte à l'effet de surpression (mise en place d'un clapet), …

Le gaz neutre nécessite environ 3 fois plus de bouteilles que le gaz inhibiteur. **[28]**

Figure II-9 : Procédé par gaz neutre

II.5.2 Procédé par Gaz CO2

Le CO2 agit par étouffement en abaissant la concentration d'oxygène jusqu'à un niveau où la flamme ne peut plus se développer. Le CO2 peut être utilisé en protection d'objet sans que le risque soit cantonné dans un volume étanche conformément à la règle R3 de l'APSAD. Le taux de concentration utilisé pour le CO2 est mortel.

L'extinction par CO2 nécessite environ 2 fois plus de bouteilles que le gaz inhibiteur. **[28]**

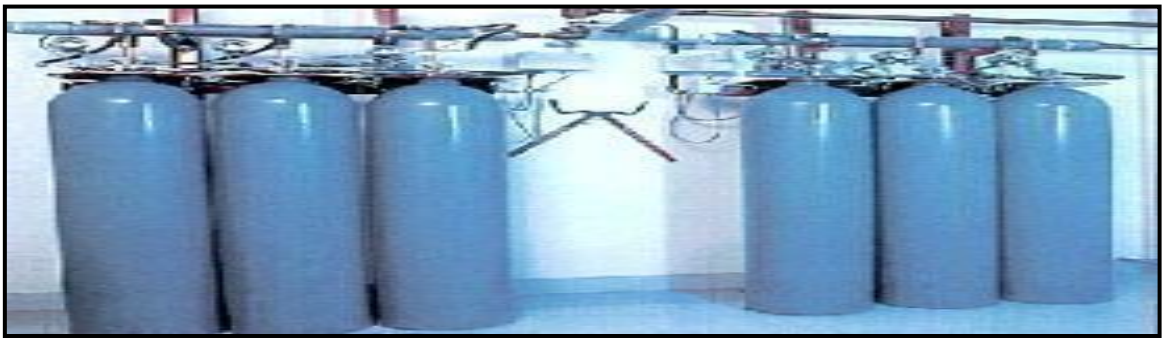


Figure II-10 : Procédé par Gaz CO2

II.5.3 Procédé par Poudre

L'extinction se fait par inhibition de la réaction de combustion. Le procédé peut être appliqué en ambiance ou en ponctuel. La poudre est choisie en fonction de la classe de risque. Le nettoyage de la zone traitée par la poudre peut être assez contraignant compte tenu de la volatilité de la poudre. **[28]**

Figure II-11 : Procédé par Poudre

II.5.4 Systèmes IG (argon)

Le dispositif consiste en un système par inondation totale. Il est conçu pour Inonder une enceinte à n'importe quel moment par le produit extincteur (IG)

Le système comprend des cylindres d'IG principaux et des cylindres de réserve Disposés de manière à être facilement remplacés. Ils sont connectés de manière permanente à un système De tuyauterie fixe permet de répondre à la concentration requise d'IG-. **[27]**

Figure II-12 : Systèmes IG (argon)

II.5.5 système fixe d'extinction par NOVEC1230 ;
Le produit Novec 1230 est utilisé pour maîtriser les incendies se déclarant dans les sous stations de l'Usine. **[27]**

Figure II-13 : système fixe d'extinction par NOVEC1230

II.6 Le système déluge

Le système déluge est une installation fixe destinée au refroidissement des réservoirs du dépôt. Il est constitué d'un ensemble de couronnes fixées autour des réservoirs. Il est constitué de filtres, de vannes déluge et de buses de déluge (aussi appelés pulvérisateurs).
Comme son nom l'indique, le système déluge a pour objectif de délivrer une grande quantité d'eau. Pour cela, nous utilisons des pulvérisateurs à « tête ouverte », c'est-à-dire que l'orifice est libre. Lorsque le système se déclenche, une vanne s'ouvre et libère l'eau qui parcourt le réseau de tuyauterie. Ainsi, tous les pulvérisateurs du réseau fonctionnent en même temps afin de déverser une grande quantité d'eau sur une zone ciblée. Donc chaque réservoir a son propre système de tuyauterie de refroidissement et sa propre vanne de déclenchement, aussi appelée « poste déluge ».
Le déclenchement peut être manuel ou automatique avec une détection de nature hydraulique (réseau pilote équipé de sprinklers) ou électrique (sonde de température, sonde de pression, caméra thermique…). **[25]**

II.6.1 Réseau déluge :
Il est dimensionné pour permettre le fonctionnement de toutes les buses dans les 30 secondes après l'ouverture de la vanne déluge. On peut le déclencher manuellement à partir d'un tableau de commande déporté ou localement, ou de façon automatique par des détecteurs pneumatiques ou électriques. Le calcul hydraulique du système est nécessaire, et est souvent effectué par un installateur, l'ingénierie effectuant un prédimensionnement uniquement. **[25]**

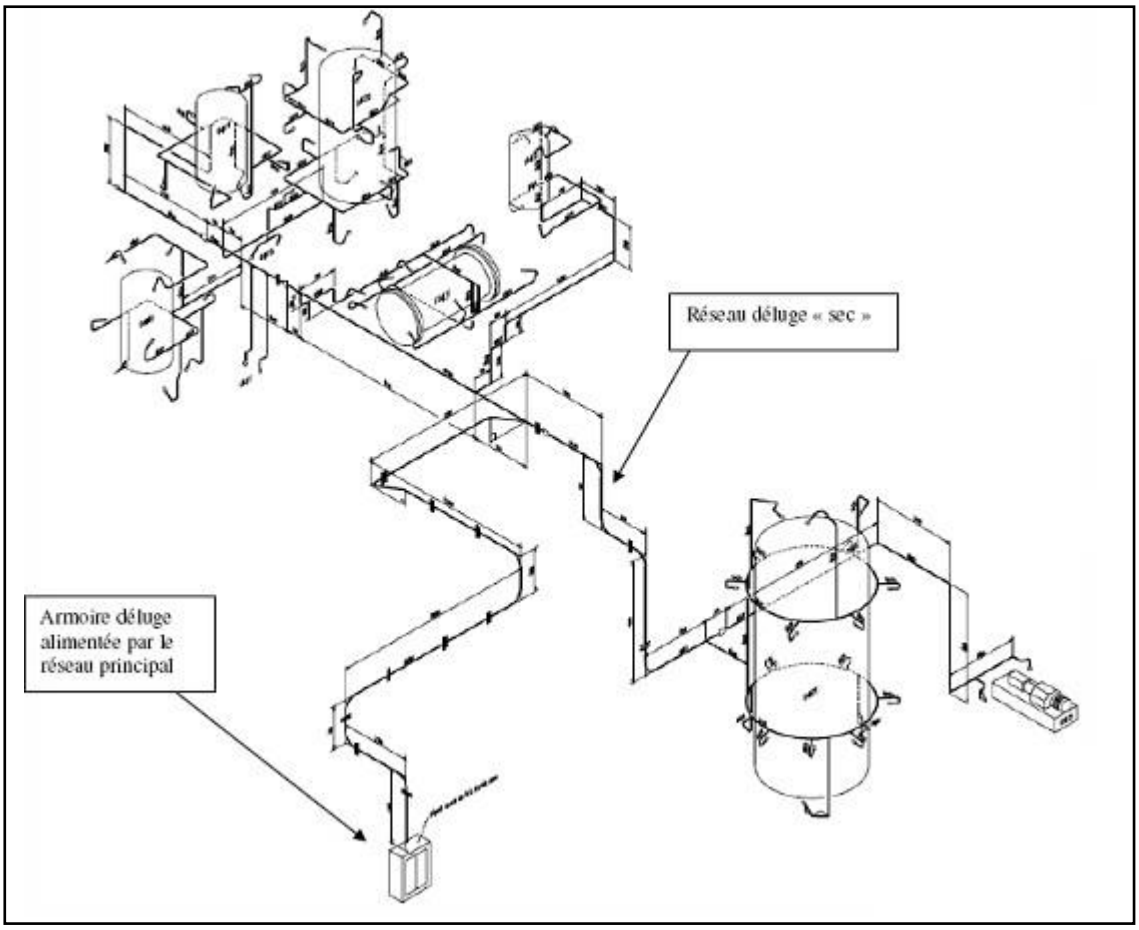


Figure II-14 : Schéma type d'un système déluge **[25]**

De préférence, on alimente le réseau par 2 points localisés sur des mailles différentes. Ces deux points sont : soit 2 vannes déluge automatiques, soit une vanne automatique et une vanne manuelle.
On illustre les 2 cas dans les figures suivantes :

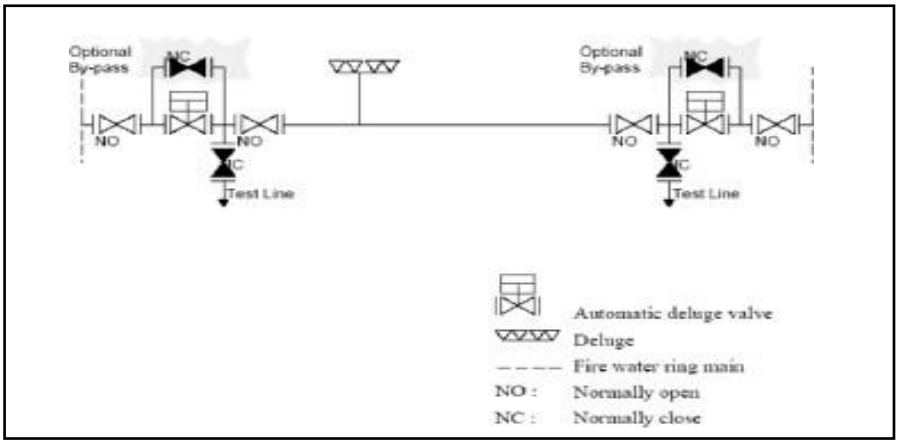


Figure II-15 : Alimentation par deux vannes automatiques **[25]**

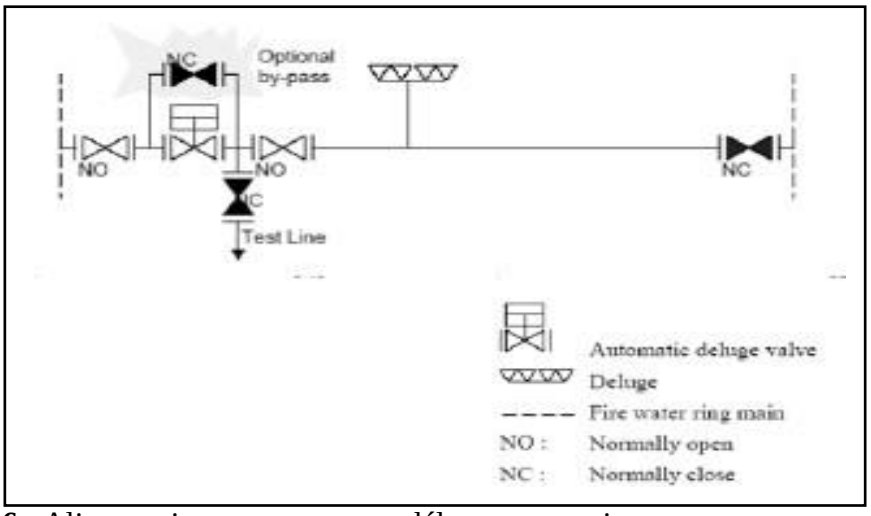


Figure II-16 : Alimentation par une vanne déluge automatique et une vanne manuelle **[25]**

II.6.1.1 Les vannes déluge

La vanne déluge est : une vanne spéciale à ouverture « rapide », aujourd'hui, maintenue en position fermée par la pression de l'eau incendie à passage direct pour éviter toute obstruction en cours de fonctionnement. **[26]**

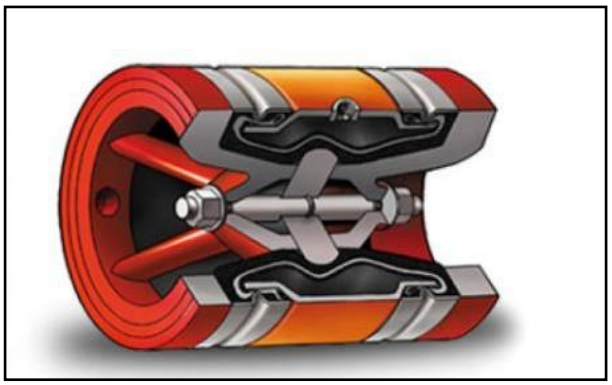


Figure II-17 : Vanne à membrane

Figure II-18 : Vanne papillon (avec motorisation pneumatique)

La vanne déluge peut être activée de plusieurs façons : pneumatique (réseau sprinkler sec, bouchons fusibles) et / ou électrique (électrovanne actionnée par bouton poussoir, détection gaz, détection feu) et / ou manuelle.
Elle est toujours réarmée localement et manuellement. **[26]**

Figure II-19 : 3 vannes déluge avec déclenchement électropneumatique et réarmement local

La vanne déluge couvre les équipements localisés dans une même zone, et non sur deux zones différentes. Elle est située hors de la zone protégée (hors des cuvettes entre autres), et à un emplacement où il est possible d'intervenir manuellement sur les vannes en cas d'incendie. **[26]**

Figure II-20 : Vannes déluge et de sectionnement manuelles protégées par un mur coupe-feu

II.6.1.2 Les filtres :

Le réseau déluge est également constitué de filtres destinés à :

- Séparer les particules solides pouvant obturer les buses ou endommager les vannes déluge.
- Ils doivent être placés en amont de la vanne déluge,
- Avoir une connexion pour le rinçage et être entretenus régulièrement afin d'éviter une augmentation des pertes de charge.

- Certains industriels utilisent un filtre dit « piège à cailloux », placé après la vanne déluge type papillon, et dont l'efficacité est plus ou moins prouvée. **[26]**

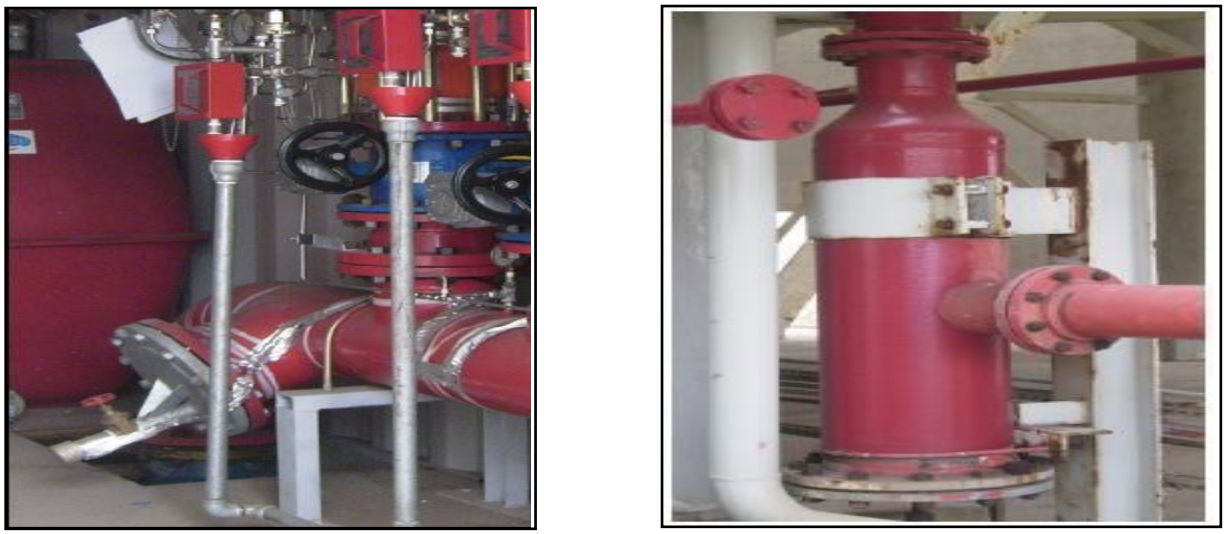


Figure II-21 : Filtre en Té, amont vanne déluge à membrane (gauche). Piège à cailloux, aval vanne déluge papillon (droite)

II.6.1.3 Buses de déluge (Pulvérisateurs)

Les buses sur une installation déluge sont de type ouvert (sans fusibles) : la totalité de la zone alimentée par la vanne déluge déclenchée est arrosée simultanément.
Les buses sont installées de façon à ne pas être sur la génératrice inferieure de la tuyauterie, afin d'éviter la corrosion et l'accumulation de dépôt au niveau de la buse.
Pour des raisons à la fois de dimensionnement, d'approvisionnement, et de maintenance, on homogénéise autant que possible, les types de buses sur une installation.
Le pulvérisateur à moyenne vitesse est le plus utilisé :
- L'eau est éjectée à 20m/s pour avoir une pulvérisation correcte.
- La pression de fonctionnement est de 4barg, avec un minimum de 2,5barg (les buses déluge pouvant accepter un maximum de 12barg).

Il est de type imbouchable, avec la pièce de diffusion placée à l'extérieur de la buse, et à une distance telle que le passage libre est supérieur au diamètre du jet.
Trois types de jet sont possibles :
- Pulvérisateurs écran, destiné au rideau d'eau ;

- Pulvérisateurs à jet demi-sphérique, permettant la protection générale des locaux ou autour d'appareil important ;
- Pulvérisateurs à jet conique, pour couvrir les appareils isolés. **[29]**

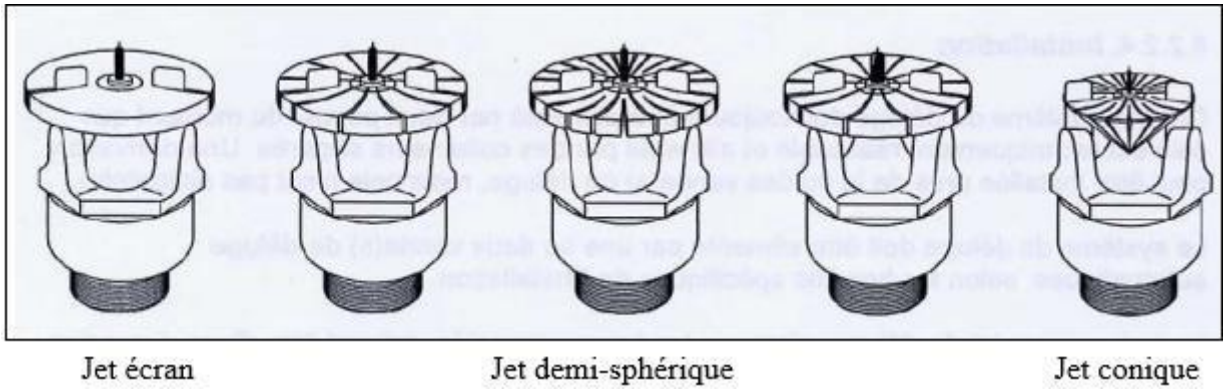


Figure II-22 : Différents types de pulvérisateurs

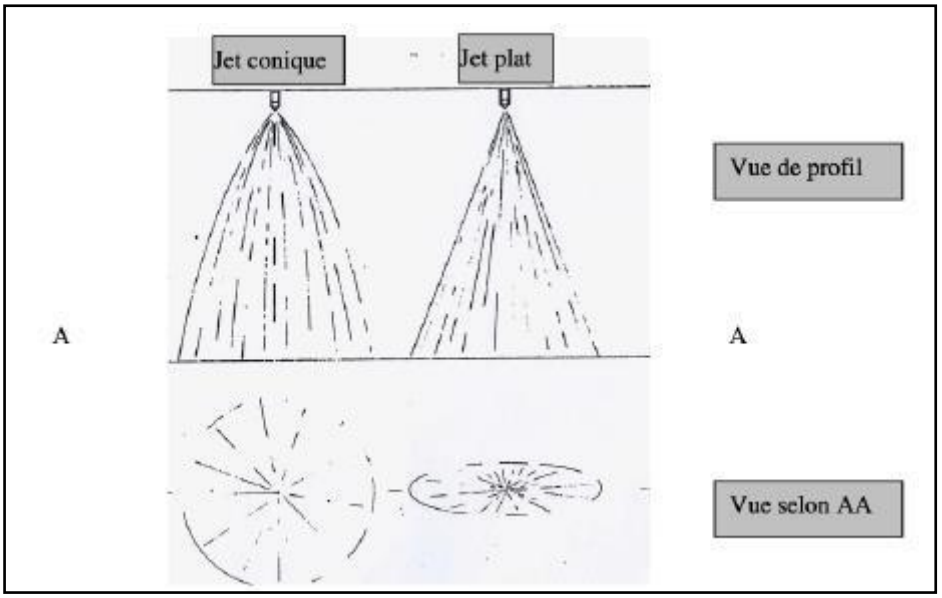


Figure II-23 : Différents types de jet

Chaque pulvérisateur est défini par :
- Son profil de distribution (jet plat, jet conique, jet demi-sphérique) ;
- L'angle du jet ;
- Sa position de montage (orientée vers le haut / vers le bas / de profil) ;
- Le diamètre de la buse (jet) ;
- Son coefficient K, tel que $Q=K\sqrt{P}$;
- La distance à la cible ;
- Les conditions atmosphériques (vent) ;
- Le matériau souhaité.

II.7 Rideaux d'eau

Un rideau d'eau est un système de protection utilisant le principe d'un écran d'eau. Il peut être fixe ou mobile avec une pulvérisation soit ascendante, soit descendante

II.7.1 Différents types d'application :

• protection contre les flammes et le rayonnement thermique ;
• séparation des vapeurs inflammables issues d'une source à risque de fuite potentielle d'une zone avec des sources d'ignition (fours, rebouilleurs, etc.) ;
• séparation des vapeurs toxiques issues d'une source à risque de fuite potentielle d'une zone avec présence d'individus. **[25]**

Figure II-24 : Rideau d'eau entre deux postes de chargement rail

II.7.2 Les actions des rideaux d'eau

L'action des rideaux d'eau réside en trois principaux mécanismes simultanés :

- Dilution mécanique par entraînement d'air,
- Absorption (dissolution dans l'eau),
- Barrière physique qui provoque :
- Une accumulation du polluant en amont par effet d'obstacle,
- Un abaissement des concentrations ou du rayonnement thermique en aval,
- Une augmentation de la hauteur et de la largeur du nuage de gaz.

Les rideaux d'eau peuvent également être utilisés sur un mur pour en augmenter le degré coupe-feu. **[25]**

II.8 Aspect réglementaire selon la NFPA et API

- Caractéristiques des éléments d'une installation fixe (déluge) :

Tableau II-1 : Synthèse des caractéristiques des éléments d'une installation fixe (déluge) **[25]**

Eléments	Pression nominal	Débit nominal(m^3/h)	Vitesse dans la tuyauterie(m/s)	Indications complémentaire
Réseaux déluge	3.5 bar	Débit requis par équipement (ou par zone)	5-6	Réseau sec en aval de la vanne déluge
Vanne déluge	10 b amont	Débit requis par équipement (ou par zone)	-	-
Réserve d'eau	Pression atmosphérique	-	-	_Réservoir dédié _Réservoir naturelle (eau de mer, lac, nappe souterraine) _Réseau de ville

Taux d'application :
L'API 2510 A précisé la quantité d'eau requise en fonction du type d'exposition :

Tableau II-2 : Taux d'application sur une sphère de GIL **[30]**

Exposition	Taux d'application d'eau
Radiation	4,1 L/min.m²
Contact direct avec les flammes	10,2 L/min.m²

Réserve d'eau :
La réserve d'eau est calculée sur la base :
• du plus grand besoin en eau du site ;
• de la durée de fonctionnement requise, qui varie d'un standard à l'autre, comme l'illustre le tableau ci-dessous.

Tableau II-3 : Volume requis de la réserve d'eau **[31]**

Pays	Volume de la réserve d'eau (m3)
France	Q requis max (m3/h) x 4 h
Etats-Unis	Q requis max (m3/h) x 4 à 6 h
Grande Bretagne	Q requis max (m3/h) x 10 h

Conclusion

Dans l'ensemble, les critères généraux d'un système déluge sont essentiels pour assurer une protection efficace contre les incendies dans les environnements industriels et commerciaux à haut risque. En choisissant le bon type de système déluge, en utilisant les composants clés appropriés et en tenant compte des considérations de conception importantes, les entreprises peuvent protéger efficacement leur personnel et leurs biens contre les incendies.

Cependant, il est important de noter que la conception et l'installation d'un système déluge doivent être effectuées par des professionnels qualifiés pour garantir un fonctionnement fiable et une protection maximale.

Partie Pratique

CHAPITRE III
Présentation de SONATRACH et GNL3/Z

Introduction

Dans ce chapitre on va présenter l'entreprise SONATRACH ainsi que ces différentes activités et une description sur le complexe GL3/Z y compris son procès et les différentes unités.

III.1 Présentation de SONATRACH

SONATRACH est la société nationale pour la recherche, la production, le transport, la transformation et la commercialisation des hydrocarbures a été créé par le N°63-491 du 31/12/1963 ; SONATRACH :

- Un acteur majeur au service de la satisfaction de la demande domestique en énergie. Première compagnie d'hydrocarbures en Afrique, SONATRACH est aussi un important fournisseur d'énergie dans le monde.
- Prépare l'avenir pour découvrir de nouveaux potentiels de réserves et valoriser les ressources énergétiques dans le cadre de ses projets en effort propre ou en partenariat.
- Assurer la sécurité énergétique pour les générations à venir en valorisant les ressources nationales d'hydrocarbures,
- Créer des richesses et œuvrer au développement économique et social du pays, tels sont les défis et les missions de SONATRACH.
- Les 137 000 employés du Groupe SONATRACH, société mère et filiales, œuvrent à découvrir, produire, acheminer, transformer et distribuer les hydrocarbures sur les marchés national et international.
- Près des 2/3 du Budget de l'État est issu de la fiscalité pétrolière. SONATRACH se positionne ainsi comme le locomoteur du développement national avec une contribution au PIB à hauteur de plus de 30% et plus de 90% des ressources en devises du pays.
- Dans le cadre de ses missions, et au regard de son positionnement dans l'économie nationale et de sa culture d'entreprise, SONATRACH met à disposition son expertise et son potentiel humain au service du développement économique, social et culturel du pays.

Elle est présente dans plusieurs projets avec différents partenaires en Afrique, en Amérique Latine et en Europe.

III.1.1 Organisation de SONATRACH

Le nouveau schéma d'organisation de la macrostructure de SONATRACH s'inscrit dans le cadre de l'évolution de l'environnement aussi bien interne qu'externe qui exige de l'Entreprise d'adapter son schéma d'organisation et son mode de gestion pour faire face aux défis, notamment ceux inscrits dans son plan à moyen terme, à savoir l'augmentation du niveau de la

production et des réserves dans l'amont et la réalisation des projets de raffinage et de pétrochimie dans l'aval.

L'adaptation de l'organisation et la modernisation du mode de gestion de l'Entreprise figurent au rang des priorités de la Direction Générale et ce, pour répondre aux besoins du marché national en constante croissance et soutenir la position de SONATRACH sur les marchés pétroliers et gaziers.

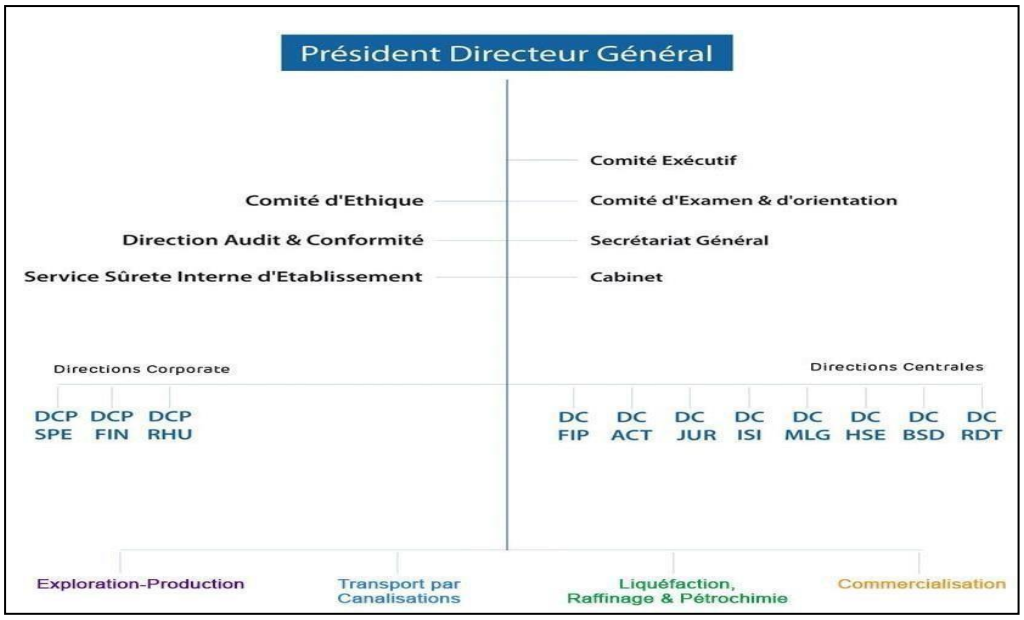


Figure III-1 : pétroliers Organigramme du SONATRACH

Source : site internet

III.1.2 Activités de SONATRACH

De l'Amont à l'Aval, entreprise est structurée autour de quatre branches d'activités :

III.1.2.1 Activité Exploration-Production (E&P)

Elle a pour objectifs prioritaires, à travers l'Activité E&P, l'augmentation du niveau de la production et des réserves pour répondre à la demande nationale en hydrocarbures et pérenniser et développer ses marchés à l'international, face à une demande domestique et mondiale en énergie sans cesse croissantes, le pétrole et le gaz demeurent les ressources nécessaires pour y répondre.

Néanmoins, l'exploitation de ces ressources devra prendre en compte de nouveaux paramètres et de nouveaux défis aux plans techniques, économiques, sociétaux et environnementaux.

A titre d'exemple, les produits énergétiques propres et économiques comme le gaz naturel dont les réserves restent importantes, devront désormais être recherchés de plus en plus loin, de plus en plus profondément en utilisant des technologies de plus en plus sophistiquées.

En 2015, la mise en œuvre par SONATRACH de sa stratégie d'optimisation de l'exploration et de la production, a permis une augmentation des volumes d'hydrocarbures à l'export et de la demande nationale, évaluée à 3 millions de TEP pour ce qui concerne le marché domestique.

III.1.2.2 Activité Transport par Canalisations (TRC)

L'Activité Transport par Canalisations est un maillon important de la chaine des hydrocarbures et ce, d'un point de vue historique, stratégique et opérationnel ; L'histoire de SONATRACH a débuté avec cette activité lorsqu'elle s'est lancée dès 1966 dans la construction du premier oléoduc algérien, l'OZ1, d'une longueur de 805 KM, reliant Haoud El Hamra à Arzew.

Depuis, leur réseau de transport par canalisations n'a eu de cesse de se densifier et de se complexifier en fonction du développement des activités de l'Amont et de l'Aval pétrolier et gazier de SONATRACH, en national et en international.

La longueur de réseau de transport des hydrocarbures dépasse aujourd'hui les 19 000 Km et le nombre de pipelines est passé d'un (01) à trente-sept (37).

Trois gazoducs transcontinentaux le relient à l'Europe à travers les pays du Maghreb.

En 2015, les hydrocarbures (pétrole brut, condensat, GPL et gaz naturel) ont été transportés à travers un réseau de canalisations de près de 19 623 km.

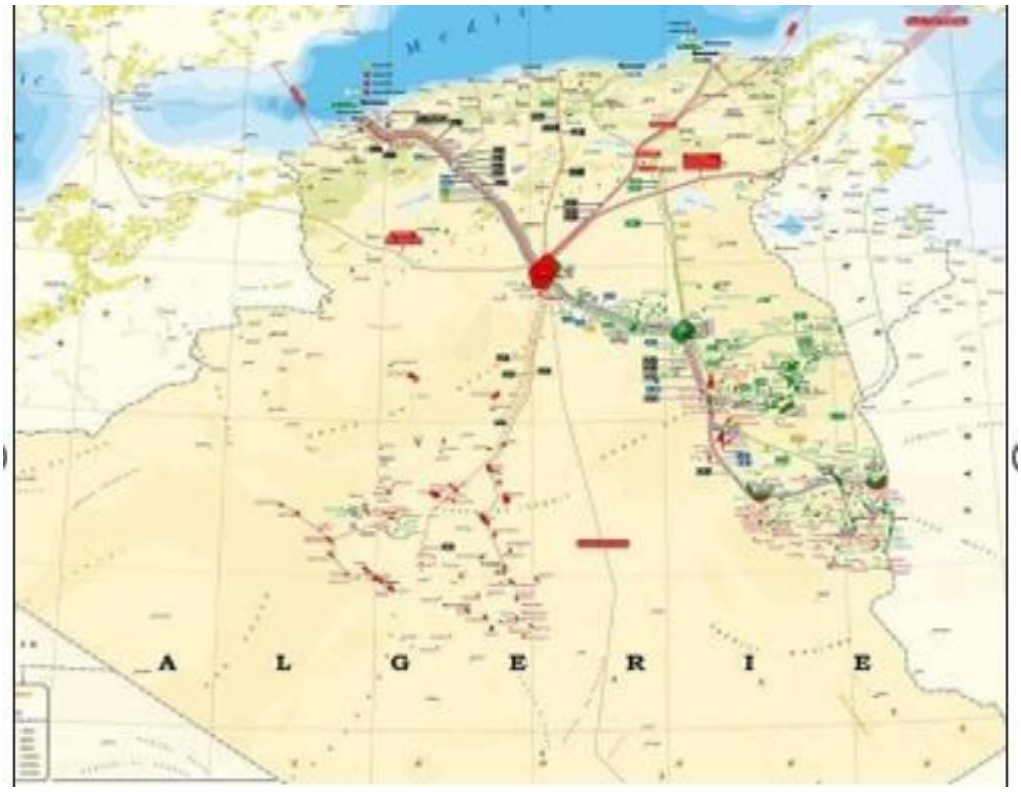


Figure III-2 : Réseau de transport par canalisations

III.1.2.3 Activité Raffinage pétrochimie :

En matière de raffinage, une production de 29,3 millions de Tonnes en 2015 a été générée par cinq (05) raffineries de brut et une (01) raffinerie de condensat :

- La raffinerie d'Alger, avec une capacité de traitement de pétrole brut de 2,7 millions de Tonnes par an.
- La raffinerie de Skikda, avec une capacité de traitement de pétrole brut de 16,5 millions de Tonnes par an.
- La raffinerie d'Arzew, avec une capacité de traitement de pétrole brut de 3,75 millions de Tonnes par an.
- La raffinerie de Hassi Messaoud avec une capacité de traitement de pétrole brut de 1,1 millions de Tonnes par an.
- La raffinerie d'Adrar, avec une capacité de traitement de pétrole brut de 600 000 Tonnes par an.
- La raffinerie de condensat de Skikda, avec une capacité de traitement de cinq (05) millions de Tonnes par an. L'industrie pétrochimique exploite actuellement :

- Deux complexes pétrochimiques, l'un situé à Arzew (CP1Z) d'une capacité de 124000 Tonnes par an et l'autre à Skikda (CP2K) d'une capacité de 130 000 Tonnes par an
- Deux unités d'extraction d'hélium, l'unité Hélios et Helison à Skikda
- Quatre complexes pétrochimiques : AOA, Sorfert et Fertial à Arzew et Annaba.
- Les bonnes performances de raffinage en 2015 ont permis une production supplémentaire de 500 mille tonnes de Gasoil, avec pour conséquence de réduire les importations.

III.1.2.4 Activité Commercialisation (COM)

L'Activité Commercialisation est en charge de l'élaboration et de la mise en œuvre de la stratégie de SONATRACH en matière de commercialisation des hydrocarbures sur le marché national et à l'international. L'Activité Commercialisation couvre les domaines suivants :

- La commercialisation sur le marché national du gaz naturel, des GPL, des produits pétroliers et dérivés, des produits pétrochimiques et les gaz industriels.
- La commercialisation sur le marché international du gaz naturel, du GNL, des GPL, du pétrole brut, des produits raffinés et dérivés, et du condensat.
- Le transport maritime des hydrocarbures.
- Ces opérations sont menées en coordination avec les filiales du Groupe SONATRACH
- NAFTAL pour la distribution des produits pétroliers et GPL
- HYPROC Shuping Company pour le transport maritime des hydrocarbures
- COGIZ pour la commercialisation des gaz industriels

Pour les besoins de ses activités de transport maritime, l'Activité Commercialisation dispose de deux Unités portuaires, l'une à l'ouest (Béthioua) et l'autre à l'est (Skikda) ayant pour mission la gestion des opérations de chargement/déchargement des hydrocarbures et l'interface avec les unités de production et les autorités portuaires et douanières.

III.1.2.5 Activité LQS (Liquéfaction et Séparation) :

La Liquéfaction des gaz naturel est maillon essentiel de la transformation et de la valorisation des hydrocarbures, SONATRACH s'est dotée de plusieurs complexes et d'unités industrielles depuis

1964, date de mise en production par l'Algérie du premier complexe de liquéfaction de gaz naturel au monde, dénommé GL4Z (ex CAMEL).

Depuis cette date, SONATRACH s'est hissée au rang de leader de l'industrie du GNL, a développé ses gisements gaziers et conforté son rôle de pionnière dans l'industrie internationale du gaz, notamment dans la production et la commercialisation du GNL.

En 2015, la production totale de GNL totalise 26,8 millions de m^3. Cette production s'appuie sur quatre (04) complexes de GNL, dont :

- Un (01) méga train à Skikda, le GL1K d'une capacité de 10 millions de m^3 de GNL par an.
- Un (01) méga train à Arzew (GL3Z), d'une capacité de 10,5 millions m^3 de GNL par an.

III.2 Présentation général de GL3Z :

Le Projet GNL/3Z fait partie d'une série de projets de gaz intégrés de plus grande envergure, créés par SONATRACH en Algérie développé pour l'exploitation des réserves de gaz situés dans le bassin Berkine au Sahara et la construction d'un système de gazoduc et d'une nouvelle unité d'Usine GPL dans la zone industrielle portuaire El Djedid à Arzew.

L'usine GNL/3Z est une installation composée d'un méga train du GNL et toutes les infrastructures nécessaires y compris les utilités, les stockages et les chargements des navires. Le procédé de l'installation de la liquéfaction du GNL/3Z est censé pour traiter le flux du gaz d'entrée, le fractionner en méthane, éthane, propane, butane et gazoline et liquéfier le méthane et exporté vers les marchés internationaux, tandis que les composants plus lourds, comme le GPL et la gazoline, dont la valeur ajoutée est plus élevée, sont liquéfier et exportés séparément.

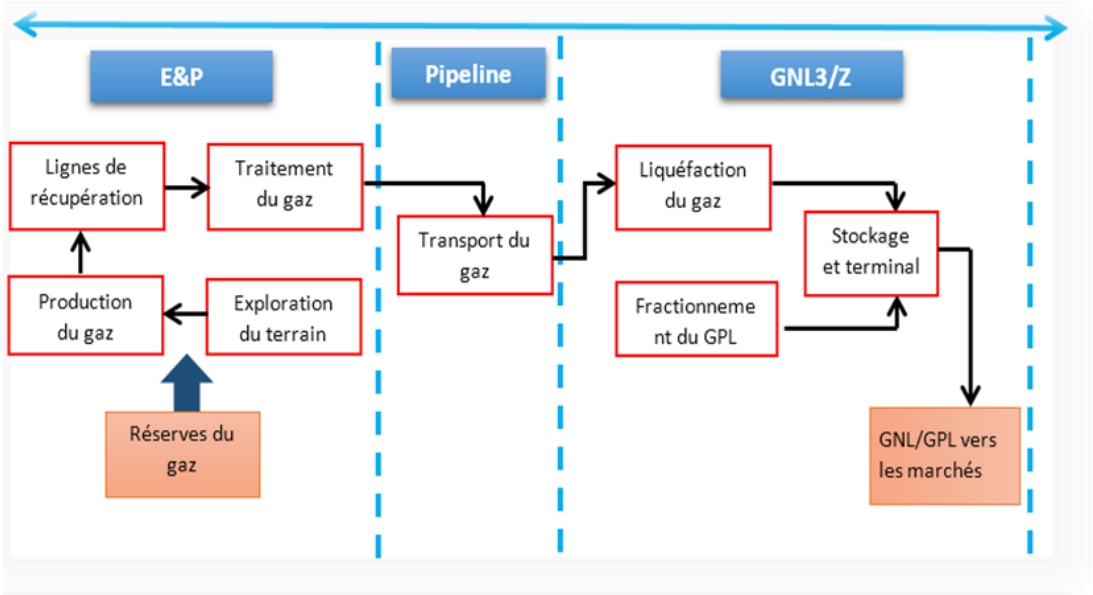


Figure III-3 : Chaîne d'Approvisionnement en Gaz de l'usine GL3/Z **[32]**

III.2.1 Situation géographique du complexe GL3/Z :

Le site se situe le long de la côte Méditerranéenne à Bethioua, à l'est d'Arzew, dans la zone du port Industriel de Arzew El Djedid.

Il s'étend sur une superficie de 54,6 ha. À l'est du site se trouve l'usine de GPL déjà existante GP1Z

(Ou Jumbo GPL). À l'ouest du site, l'installation de dessalement (Kahrama) et l'usine de GNL GL2Z. **[32]**

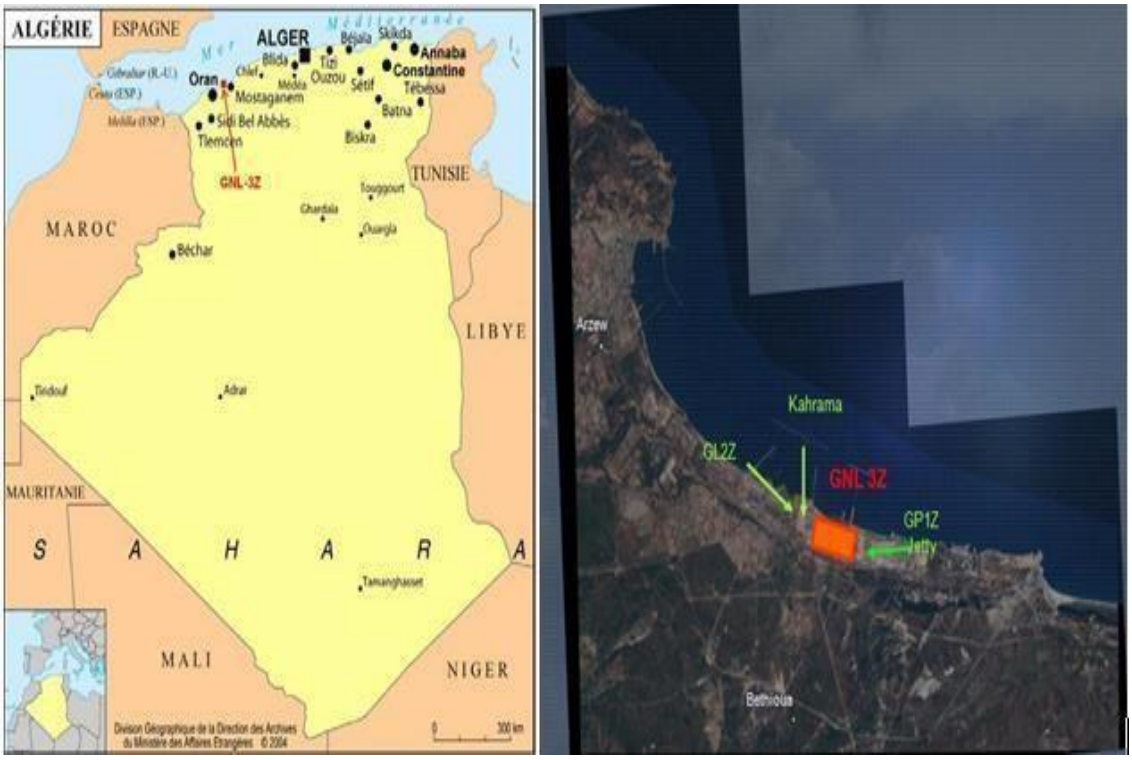


Figure III-4 : Position du site GL3/Z

III.2.2 Les zone du complexe

La nouvelle usine de GNL, comprendra :

• Un train de GNL pour :

- ✓ Traitement du gaz d'entrée.
- ✓ Fractionnement.
- ✓ Liquéfaction du méthane.

• Toutes les infrastructures nécessaires : Utilités, Stockages, Jetée pour chargements des navires, etc.…

III.2.2.1 Production

- 4,7 millions de tonnes / an de GNL exporté vers les marchés internationaux.
- Éthane pour la consommation interne (réintégration au réfrigérant mixte et injection dans le gaz combustible) et pour l'exportation.
- Propane et Butane (GPL).
- Gazoline. Gaz riche en Hélium

III.2.2.2 Stockage

- Le GNL sera stocké dans deux réservoirs de rétention totale, chacun ayant une capacité de 160 000 m3.
- Les produits du GPL seront stockés dans des réservoirs de rétention totale et séparés, d'une capacité de

✓ 56 000 m3 pour le propane.

✓ 12 000 m3 pour le butane.

- La gazoline produite sera stabilisée et stockée dans une sphère d'une capacité de 1800m3

III.2.3 Les perspectives et les plans futurs

Le projet prévoit des constructions futures :

- 2ème train de production de GNL de capacité identique à savoir 4,7 millions de tonnes/an.
- Installation d'extraction de l'hélium.

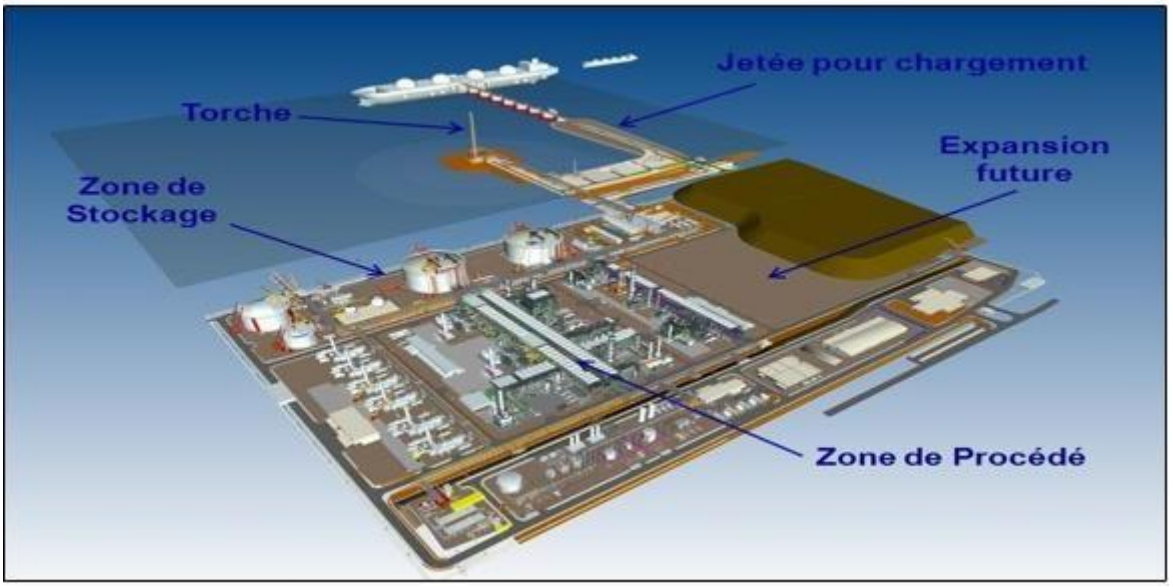


Figure III-5 : Vue d'ensemble de l'usine GL3/Z. **[32]**

III.2.4 Organigramme du complexe GNL/3Z

Le GL3Z complexe est dirigé d'après un tableau de l'organisation très déterminé afin de maîtriser les taches, il est composé d'une direction générale, deux directions des pièces et les départements de contrôle, comme le montre l'organigramme suivant :

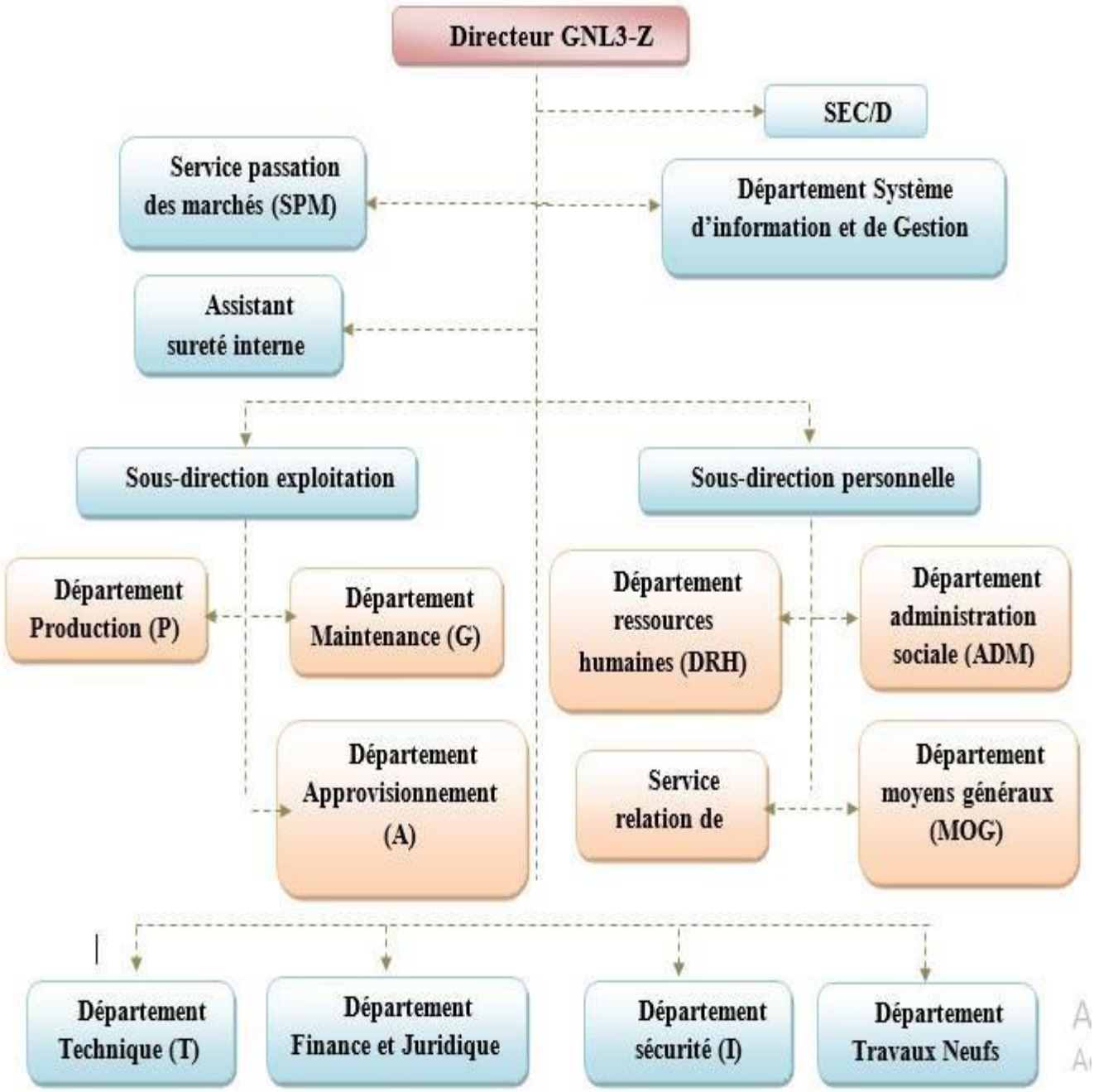


Figure III-6 : l'organigramme du complexe GL3/Z

Source : chef service instrumentation

III.2.5 Philosophie de Projet

III.2.5.1 Disponibilité de l'Usine

- L'usine a été conçue pour une vie nominale de 30 ans.
- L'usine est conçue pour fonctionner au moins 330 jours par an.

La disponibilité de l'usine est une partie intégrante du calcul de la production du GNL, donc la philosophie de réserve adoptée doit garantir que la disponibilité soit atteinte.

III.2.5.2 Energie électrique du Projet

- L'extension de la sous-station électrique (SS-1 et SS-5) pour le Train 2.
- La sous-station HV (HT) pour les interconnections avec le réseau **Sonalgaz.**
- Les 2 turbo générateurs supplémentaires.
- Les générateurs d'Urgence nécessaires pour le Train 2.

III.2.6 Description des Unités

La base de ce projet est l'usine entièrement nouvelle de GNL (GNL-3Z Project) qui est une installation composée d'un train du GNL et toutes les infrastructures nécessaires y compris les utilités, les stockages et les chargements des navires. **[32]**

Figure III-7 : Plan de terrain GL3/Z

Les unités de procédé principal de l'usine GL3 Z sont représentées dans le schéma fonctionnel global. L'illustration présente les débits du courant principal et les connexions clé entre les différentes unités de l'usine.

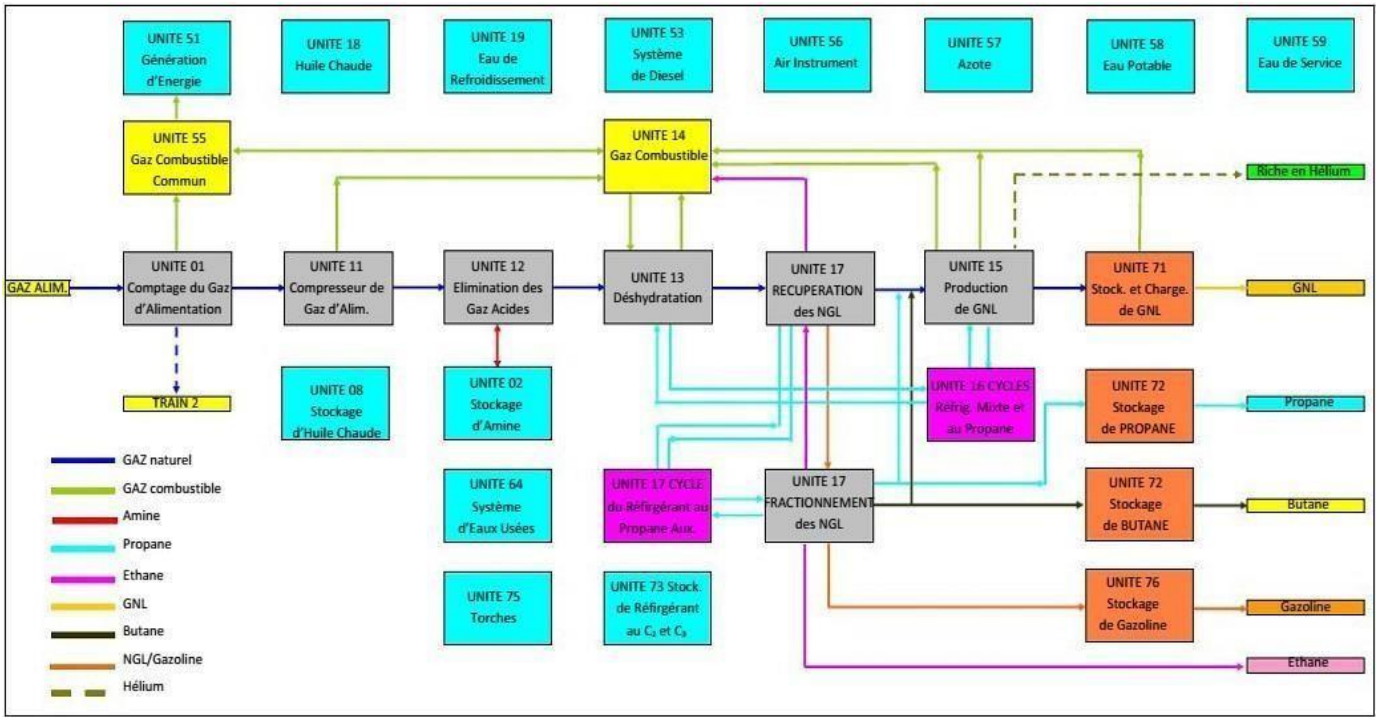


Figure III-8 : Schéma générale du procédé GL3 Z.

Les paragraphes suivants décrivent les unités du procédé principal. L'objectif est uniquement de fournir une vue d'ensemble générale du schéma fonctionnel du procédé

Unité 01 : Installation d'entrée

L'installation de télémesure du Gaz d'Alimentation est conçue pour mesurer le gaz d'alimentation et comprend un skid de comptage, un abri d'analyse et une armoire de commande.

Unité 11 : Conditionnement du Gaz d'Alimentation

L'Unité de Conditionnement du Gaz d'Alimentation comprend la Compression du Gaz d'Alimentation et la section d'Élimination du Mercure.

Unité 12 : Élimination du CO2

Unité d'élimination du Gaz Acide (Dioxyde de Carbone)

Unité 13 : Déshydratation de Gaz

L'unité de Déshydratation est conçue pour éliminer l'eau du gaz d'alimentation afin d'éviter la congélation de l'eau dans les unités cryogéniques en aval. L'unité se base sur une configuration à trois lits. Deux lits fonctionnent en mode adsorption tandis que le troisième fonctionne en mode régénération ou en standby. La Régénération est effectuée en utilisant le gaz combustible.

- **Unité 17 : Récupération des LGN et Fractionnement**

Cette Unité est divisée suivant les sections suivantes :

- ✓ Déméthaniser et Compression du Gaz Résiduel.
- ✓ Dééthaniseur.
- ✓ Dépropaniseur.
- ✓ Débutaniseur.

- **Unité 15 : Liquéfaction**

Cette unité se compose de :

- ✓ Section de Liquéfaction de Gaz Naturel.
- ✓ Section de Récupération de l'Hélium.
- ✓ Section de Rejet de l'Azote.
- ✓ Système de Gaz End Flash.

- **Unité 16 : Réfrigération**

Cette Unité est divisée en deux sections :

✓ Circuit de Propane.

✓ Circuit du Réfrigérant Mixte.

Unité 14 : Système du Gaz Combustible

Le Système de Gaz Combustible est conçu pour alimenter et distribuer le gaz combustible HP à 26 bar et le gaz combustible BP à 6 bar aux utilisateurs vers leur périmètre d'installation à travers l'Usine.

L'Usine de liquéfaction GNL-3 prévoit deux types différents de système de gaz combustible :

✓ Un système de gaz combustible à l'intérieur de chaque train de liquéfaction (Unité 14 pour les utilisateurs à l'intérieur du Train 1).

✓ Un système de gaz combustible commun au Train 1 et au futur Train 2 pour les utilisateurs Offsite/communs.

Unité 18 : Système de l'Huile Chaude

Le Système de l'Huile Chaude du Train de GPL fournit le réchauffement à deux niveaux de température différents Haute et Basse.

Unité 19 : Système de Refroidissement à l'Eau

L'élimination de la chaleur de la machinerie à l'intérieur du Train1 GNL est obtenue en utilisant de l'eau de refroidissement tempérée.

Unité 64 : Traitement des Eaux Usées et des Effluents

Le Système de Traitement des Eaux Usées et des Effluents est conçu pour gérer l'eau usée provenant du train GNL, mais également pour l'intégration future du deuxième train GNL.

Unité 71 : Chargement et Stockage du Produit GNL

Le Système de Chargement et Stockage du GNL est conçu pour fournir le stockage du produit et les installations d'exportation adéquates afin de permettre la production continue provenant des trains de procédé du GNL au débit nominal avec un chargement intermittent des navires. Initialement un seul train GNL est installé.

Unité 72: Chargement et Stockage du Produit GPL

L'installation de Chargement et Stockage de GPL fournit la capacité de stockage et d'exportation des produits Propane (C3) et Butane (C4). L'installation est conçue pour recevoir les produits GPL provenant des deux trains de procédé de Récupération et Fractionnement du LGN. Initialement un seul train GNL est installé.

Unité 73 : Stockage du Réfrigérant

Le Système de Stockage du Réfrigérant est conçu pour le support et le fonctionnement du train GNL. L'installation fournit la capacité de stockage et de transfert de l'Ethane utilisé dans le Système du Réfrigérant Mixte (MR) et du Propane utilisé dans les circuits de Propane (Unité 16 et 17) et dans le Circuit de Réfrigération MR (Unité 16).

Unité 75 : Système de Torches

Le Système de Torches est installé et dimensionné pour faire face à l'opération des deux trains GNL (un train futur). Le système fournit des moyens sûrs et fiables d'élimination des vapeurs d'hydrocarbure et des liquides légers provenant des défaillances lors de situations d'urgence (ESD) ou d'arrêt (SD).

Le système gère aussi les décharges des hydrocarbures à partir des conditions de fonctionnement telles que le démarrage, l'évent et le drainage de l'équipement et/ou du piping.

Unité 76 : Système de Stockage de la Gazoline

Le Système de Stockage de la Gazoline est conçu pour recevoir et stocker la Gazoline produite par les deux trains de procédé de Fractionnement et de Récupération du GNL.

Initialement un seul train GNL est installé. A partir du stockage, la gazoline est pompée en mode batch et mesurée avant d'être exportée en limite de batterie.

Unité 02 : Stockage de l'Amine

La Fonction des Installations Communes – Système de Stockage du Solvant d'élimination du Gaz Acide est de :

- ✓ Alimenter l'amine méthyle diéthylamide activé (aMDEA) vers l'élimination du Gaz Acide, Unité 12.
- ✓ Avoir la capacité suffisante pour contenir le solvant si l'unité nécessite d'être vidée.

Unité 08 : Stockage de l'Huile Chaude

Le Système de Stockage de l'Huile Chaude fournit le support aux systèmes de réchauffement de l'huile chaude combinée pour le GNL et le Fractionnement.

Unité 53 : Système du Générateur Diesel d'Urgence

Le Système Générateur Diesel d'Urgence est conçu pour recevoir, stocker et distribuer le diesel aux utilisateurs de l'Usine.

- **Unité 53 : Système du Générateur Diesel d'Urgence**

Le Système Générateur Diesel d'Urgence est conçu pour recevoir, stocker et distribuer le diesel aux utilisateurs de l'Usine.

- **Unité 56 : Système d'Air Instrument et d'Air Service**

Le Système d'Air Instrument et d'Air Service est conçu pour supporter le fonctionnement de deux trains GNL. L'air comprimé non-séché est utilisé pour la distribution d'air à l'usine. L'air sec est utilisé pour la distribution aux Utilisateurs de l'air instrument.

- **Unité 55 : Système Commun de Gaz Combustible**

Le Système Commun de Gaz Combustible est conçu pour alimenter et distribuer le gaz combustible HP à 24.5 bar (à confirmer ultérieurement) et le gaz combustible BP à 5 bar (à confirmer ultérieurement) à :

Utilisateurs communs en dehors des trains GNL.

Utilisateurs à l'intérieur des trains GNL quand leur installations dédiées (Unités 14 ou 24) sont offline.

- **Unité 57 : Système d'Azote**

Le Système d'Azote est conçu pour fournir l'Azote à l'usine GL3 Z. Bien que l'équipement soit conçu pour un train GNL, le piping de distribution est conçu pour le débit des deux trains GNL.

- **Unité 58 : Système d'Eau Potable**

Le Système d'Eau Potable est conçu pour recevoir, stocker et distribuer l'eau fraîche utilisée comme Eau Potable et Eau de Service. Il est acquis que l'eau fraîche reçue au périmètre de l'Installation est potable et qu'aucun traitement supplémentaire ne sera demandé. L'eau potable est distribuée pour l'utilisation dans les douches de sécurité / bains oculaires et pour d'autres utilisations destinées à la consommation domestique et sanitaire. De plus, l'Eau Potable est utilisée pour alimenter le réservoir de Stockage de l'Eau Anti-incendie / Eau de Service.

Unité 59 : Système d'Eau Déminéralisée et de Service

Le Système d'Eau est conçu pour recevoir, stocker et distribuer l'Eau de Service et l'Eau Déminéralisée. Il est acquis que l'eau fraîche reçue au périmètre de l'Installation et utilisée pour alimenter l'Ensemble de Traitement de l'Eau Déminéralisée a la qualité indiquée dans la Description de l'Utilité pour le Système de l'Eau Potable.

Unité 51 : Génération d'énergie

Le Système des Générateurs d'énergie à Turbine à Gaz fournit l'électricité nécessaire au train GNL et à ses unités des utilités et offsites. Pendant le fonctionnement normal, les turbines à gaz sont la seule source d'électricité pour les trains GNL et leurs installations offsites et utilités.

Conclusion

Le gaz naturel liquéfié (GNL) est devenu un vecteur essentiel de la promotion de l'industrie gazière dans le monde, notamment l'Algérie qui sais développer dans ce domaine. Le complexe GL3/Z est considéré comme le méga train d'Arzew en matière de transport de GNL. Il dispose de plusieurs unités de traitement du gaz naturel, de séparation et de production des sous-produits.

Opérationnel depuis 14 juin 2014 ce complexe dispose d'une capacite annuelle de 4.700.000 de tonnes de GNL ainsi que d'autres produits tels que propane, butane, gazoline. Le complexe GL3/Z joue un rôle important dans l'économie pétrolière international.

CHAPITRE IV

Vérification de l’efficacité du système déluge

Introduction

Dans ce chapitre, nous allons effectuer des calculs basés sur les règles extraites des normes NFPA 15 et API, interpréter les résultats, et répondre aux questions soulevées ci-dessus et vérifiez si le système déluge est efficace ou pas. Ce rapport de calcul fournit une description technique du système d'eau de refroidissement de la sphère de stockage de propane S-73 MD02 et de gazoline S-76_MD01, pour le projet GNL-3Z, Arzew, Algérie.

IV.1 Méthodologie de travail

Nous avons commencé par le calcul du débit minimal d'eau nécessaire pour couvrir les deux sphères (gazoline et propane).
Une fois le débit est calculé il a été comparé avec le débit réel existant.
En se basant sur la norme NFPA.

IV.2 Présentations des guides et normes utilisés

Au cours de nos recherches, nous nous sommes appuyés sur diverses critères de gestion des incendies disponibles, telles que les normes NFPA

IV.2.1 Les standards NFPA

National Fire Protection Association a été créé en 1896. C'est un international not-for-profit et sa fonction première est de définir et de réglementer les normes de sécurité, l'objectif principal de NFPA est la protection contre l'incendie, mais il porte aussi sur les autres dangers des bâtiments et environnementaux

IV.2.1.1 Le Code NFPA 15 {Standard for Water Spray Fixed Systems for Fire Protection}

Le standard NFPA 15 concerne les systèmes d'arrosage à eau (déluge). Ce standard est particulièrement utilisé en Risques Spéciaux, pour la protection des feux à développement rapide et le refroidissement des équipements (réacteurs, réservoirs, colonnes de distillation, transformateurs, convoyeurs, etc.).

IV.2.1.2 Le Code NFPA 13 {Standard for the Installation of Sprinkler Systems}

Référence en matière de conception et d'installation de systèmes d'extinction automatique d'incendie, la norme NFPA 13 traite des approches de conception et d'installation des systèmes d'extinction automatique d'incendie, ainsi que des options de composants permettant de prévenir les décès dus aux incendies et les pertes matérielles.

IV.2.2 Les normes API

L'American Petroleum Institute (API) est une association commerciale américaine représentant près de 600 entreprises de l'industrie pétrolière et gazière. Bien que son objectif soit de promouvoir la sécurité et la viabilité de l'industrie aux États-Unis, l'API a été critiquée pour son implication dans la négation du changement climatique et le blocage des lois sur le climat. Elle joue un rôle clé dans l'établissement de normes et de pratiques recommandées pour l'industrie, ainsi que dans le lobbying auprès des gouvernements et des organismes réglementaires. L'API maintient plus de 800 normes, dont certaines sont utilisées à l'échelle nationale et internationale. Un exemple est la norme ***API PUBL 2510A***, qui traite de la protection contre les incendies dans les installations de stockage de gaz de pétrole liquéfié (GPL).

- ***L'API PUBL 2510A***

L'API PUBL 2510A est une norme publiée par l'American Petroleum Institute (API) qui concerne les considérations de protection contre les incendies pour la conception et l'exploitation des installations de stockage de gaz de pétrole liquéfié (GPL). Cette norme fournit des lignes directrices et des pratiques recommandées pour assurer la sécurité incendie dans ces installations. Elle vise à minimiser les risques d'incendie, à garantir la protection des travailleurs et des infrastructures, ainsi qu'à promouvoir les meilleures pratiques en matière de prévention et de contrôle des incendies dans le stockage de GPL.

IV.3 Protection des sphères :

On distingue deux types (2) de systèmes déluge applicables sur les stockages de gaz inflammables liquéfiés :

- Déluge par un ensemble de buses quadrillant la surface de la sphère ou du cigare, minimisant les effets du vent
- Déluge zénithal, appliqué en haut de la sphère ou du cigare

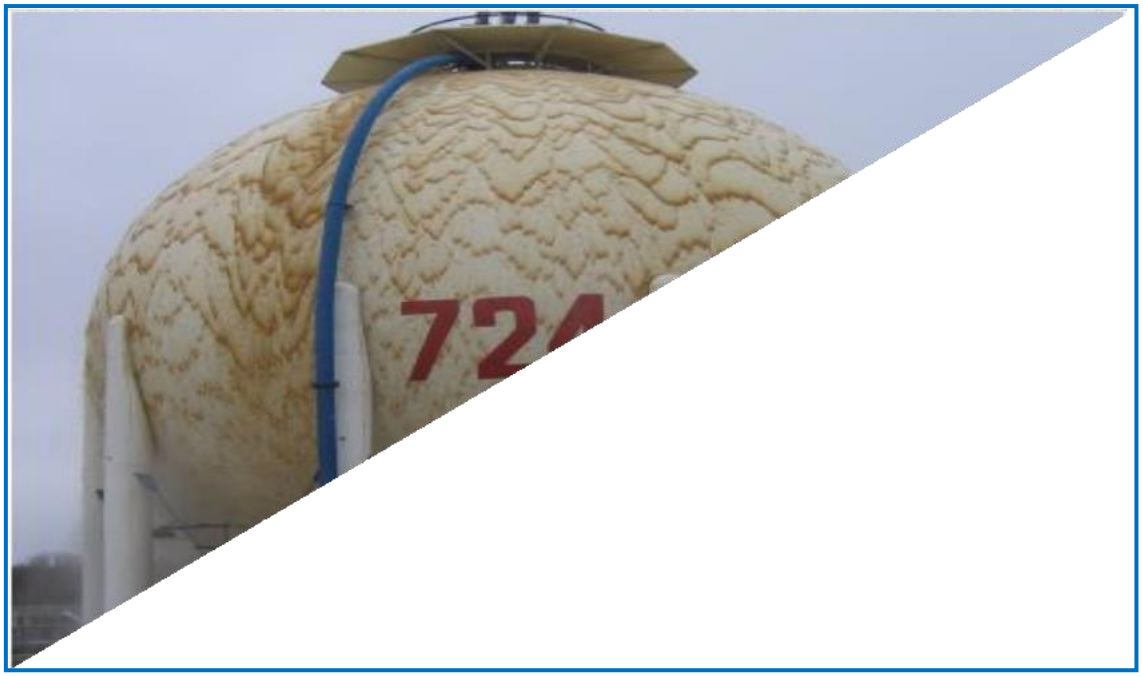


Figure IV-1: Déluge appliqué en haut de la sphère **[25]**

Figure IV-2: Déluge par quadrillage **[25]**

Chacun de ces systèmes présente des avantages et des inconvénients résumés ci-dessous :

Tableau lV-1: Comparaison entre le déluge par quadrillage et le déluge zénithal **[25]**

	Déluge par quadrillage	Déluge zenithal
Avantages	Activation rapide et automatique Bonne homogénéité de mouillage	**Activation rapide et automatique** **Moins vulnérable aux explosions** **Moins de risque de bouchage**
Inconvénients	**Vulnérable en cas d'explosion** **Risque de bouchage** **Demande en eau importante**	**Peu efficace contre les feux des torches** **Problème d'homogénéité de mouillage**

- **Aspects réglementaire**

La totalité de la surface de la capacité doit être recouverte par de l'eau projetée directement sur la surface. On évite une couverture par ruissellement.

IV.4 Dimension géométrique et données de base de sphère de propane S-73_MD02

Diamètre (extérieur) = 18,868 m

Hauteur (équateur) = 11.933 m

Hauteur (sommet de la sphère) = 21,440 m

Nombre de colonnes de support = 11

Densité de conception 10,2 litres/min/m^2 (**un taux d'application)**

Matériel : Tuyaux et raccords en acier au carbone galvanisé à chaud (tuyauterie fournie en atelier bobines à brides fabriquées) **[33]**

IV.4.1 Caractéristiques du système d'eau de refroidissement

- La protection de l'eau doit être appliquée par deux systèmes distincts Un système protégeant la partie supérieure de la sphère (système de déluge d'eau de refroidissement)
- Un système protégeant la partie inférieure de la sphère et les colonnes porteuses (pulvérisation d'eau de refroidissement du système)

IV.4.1.1 Typologie des buses de pulvérisation d'eau

-Vitesse moyenne, cône plein, fileté 1/2 pouce » NPT (national pipe thread), male thread

-Matériau et finition : Bronze

IV.4.2 Nombre des rampes et buses

Une règle simple pour déterminer le nombre de rampes (ou antennes) à nécessaires pour couvrir le ballon est exprimée en fonction du diamètre de celui-ci.

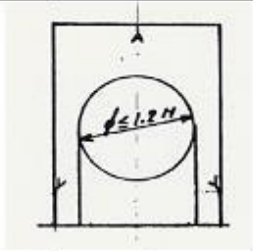
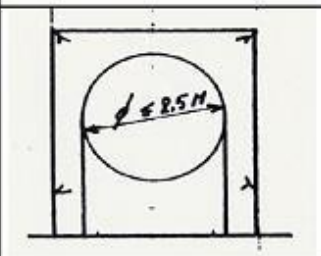
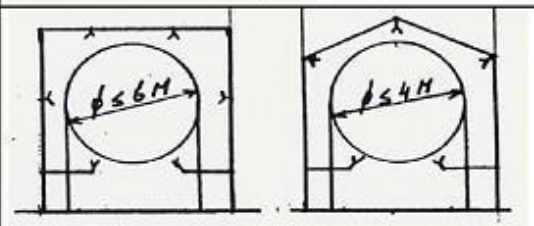
Diamètre (m)	Nombre de rampes	Disposition (vue de face)
Diam ≤ 1,2	3	
1 < diam ≤ 3	4	
Diam > 3	5 et plus	

Figure IV-3: Nombre de rampes autour d'une capacité horizontale **[1]**

Selon la réglementation le nombre de rampes est défini en fonction du diamètre de la capacité.

Diam =18.868 mètres ⟹ le nombre de rampe est de 07**.** (Voir l'annexe B)

IV.2.1 Détermination du nombre et types de pulvérisateurs à utiliser

Pour cette étape on se base sur les données du fournisseur **[33]**

Le type de pulvérisation utilise dans les deux sphères de stockage est D3 de ½ pouce

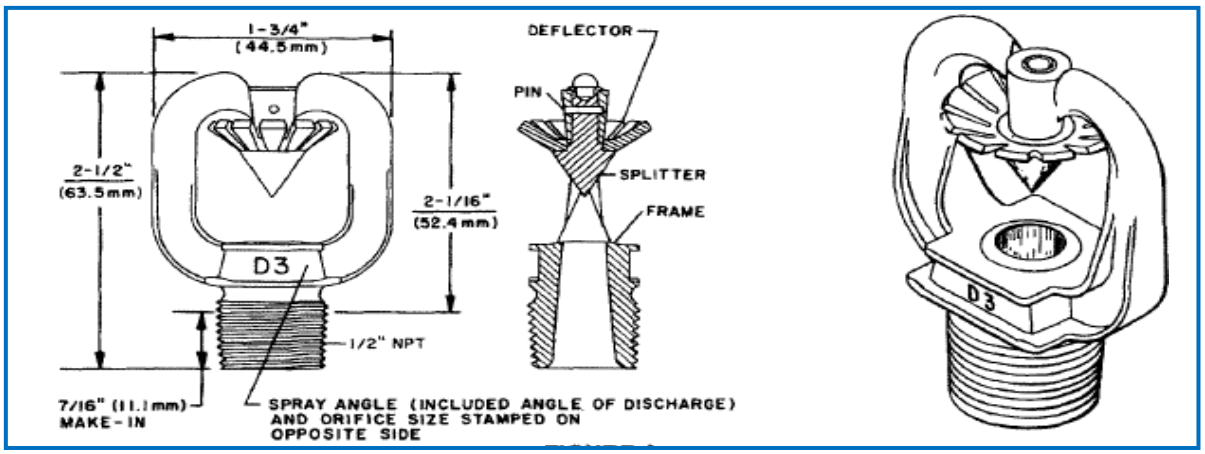


Figure IV-4: Buses de pulvérisation Protectospray de type D3 de ½ pouce

IV.2.2 Description Générale

Les buses de pulvérisation Protectospray de type D3 sont des buses de pulvérisation directionnelles ouvertes (non automatiques) et elles sont conçues pour être utilisées dans des systèmes fixes de pulvérisation d'eau pour les applications de protection contre les incendies. Les buses NPT de type D3 de 1/2 pouce sont des buses de type déflecteur externe qui décharge un cône uniformément rempli de gouttelettes d'eau de vitesse moyenne.

Ils sont particulièrement efficaces pour couvrir les surfaces verticales, horizontales, courbes et irrégulières exposées dans un jet de refroidissement afin d'empêcher l'absorption excessive de la chaleur d'un incendie externe et d'éviter d'éventuels dommages structurels ou la propagation du feu à l'équipement protégé. Dans certaines applications, selon les exigences de densité de conception de l'eau, ils peuvent également être utilisés pour la lutte contre l'incendie et l'extinction. **[33]**

IV.2.3 conceptions de système de pulvérisation d'eau

La surface de la sphère à protéger est divisée en zones horizontales comme le montre la figure suivante. Pour chaque zone, les débits minimaux requis sont calculés sur la base de la densité nominale de 10,2 litres/min/m^2

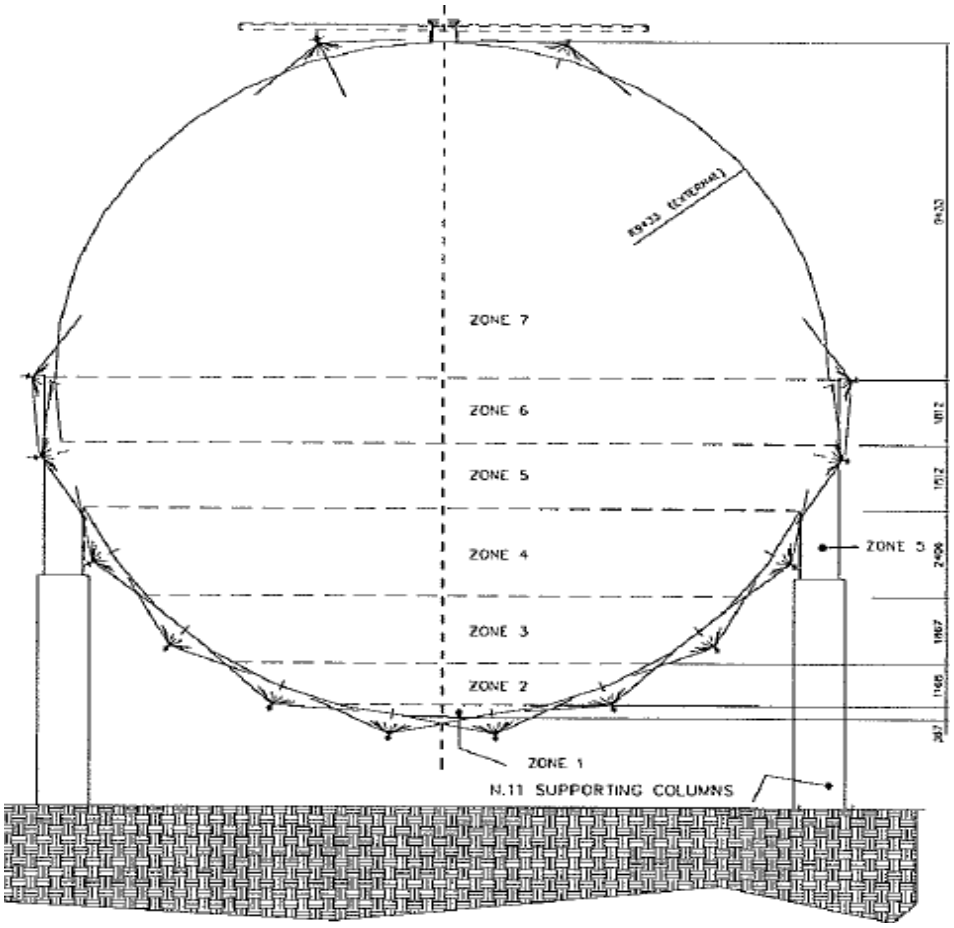


Figure IV-5: Schéma présente chaque zone de la sphère de propane 73-MD-02 **[33]**

Les pulvérisations d'eau en bronze de type D3 protectospray de taille ½ " NPT seront adoptées. Dans le tableau suivant, le nombre de pulvérisations, l'angle de pulvérisation, la taille de l'orifice et le facteur k sont indiqués pour chaque zone de la sphère :

Tableau IV-2 : Présente le nombre de buse à chaque zone, l'angle et facteur de pulvérisateur de la sphère du propane **[33]**

		Nombres de buses	K	Typologie de pulvérisation	distance entre le Buse et la surface de sphère(m)
Zone	7	44	103.7	140°, no.34, k=103.7	0,6
Zone	6	22	33.1	140°, no.21, k=33.1	0,6
Zone	5	44(*)	33.1	140°, no.21, k=33.1	0,6
Zone	4	28	33.1	140°, no.21, k=33.1	0,6
Zone	3	20	33.1	140°, no.21, k=33.1	0,6
Zone	2	16	33.1	140°, no.21, k=33.1	0,6
Zone	1	4	33.1	140°, no.21, k=33.1	0,6

Le premier système de pulvérisation d'eau (partie inférieure de la sphère) protégera les zones 1-2-3-4-5-6.

Les colonnes de soutien sont incluses dans la zone 5.

La partie inférieure des colonnes de support (ignifugées) n'est pas recouverte de buses de pulvérisation.

Le deuxième système de pulvérisation d'eau (partie supérieure de la sphère) protégera la zone 7

IV5 calculs du débit et quantité d'eau pour la sphère de propane S-73_MD02

IV5.1 Calcul du débit minimal requis

Pour chaque zone, la surface à protéger et le débit minimal requis sont calculés par la loi hydraulique de NFPA 15 comme suit :

Q= 10,2. A

Q = débit minimal requis (L/min).

A = surface de la zone (m^2)

$A=2\pi hr/1000$

Où :

h= hauteur de la zone (mm)

r=Rayon externe sphérique de la coquille (m)

r=9,4325

Application numérique

Pour la zone 7 : A=2π*9433*9,4325/1000= 559,057 m^2

Le débit d'eau : Q=10.2*559,057 = 5702,390 l/min

Dans le tableau ci-dessus on cite la hauteur de la zone, la surface et le débit d'eau minimal requis pour chaque zone

		Hauteur de la zone H (mm)	Surface of the zone A (m^2)	Débit minimal requis Q(L/min)
Zone	7	9433	559,06	5702,39
Zone	6	1812	107,4	1095,48
Zone	5(*)	1812	207.4	2115,48
Zone	4	2406	142,6	1454,45
Zone	3	1687	99,98	1019,82
Zone	2	1168	69,22	706,07
Zone	1	367	21,75	221,86
TOTAL		18685	1207,41	12315,22

(*) La surface de la zone 5 comprend un secteur de la sphère plus la surface de la partie supérieure des colonnes.

IV.2 Calcul de Quantités d'eau de système déluge

Selon les lois hydrauliques (NFPA 15 Hydraulique calculation)

Le débit d'eau d'une buse doit être calculé comme suit :

$$Q=K\sqrt{P}$$

Avec :

Q : est le débit, en litres par minute.

K : est le rejet constant buse (métrique)

P : est la pression à gicleurs, en bar.

En utilisant le graphe ci-dessus et en prenant en considération les valeurs réglementées du débit d'eau à chaque buse et alors à chaque rampe.

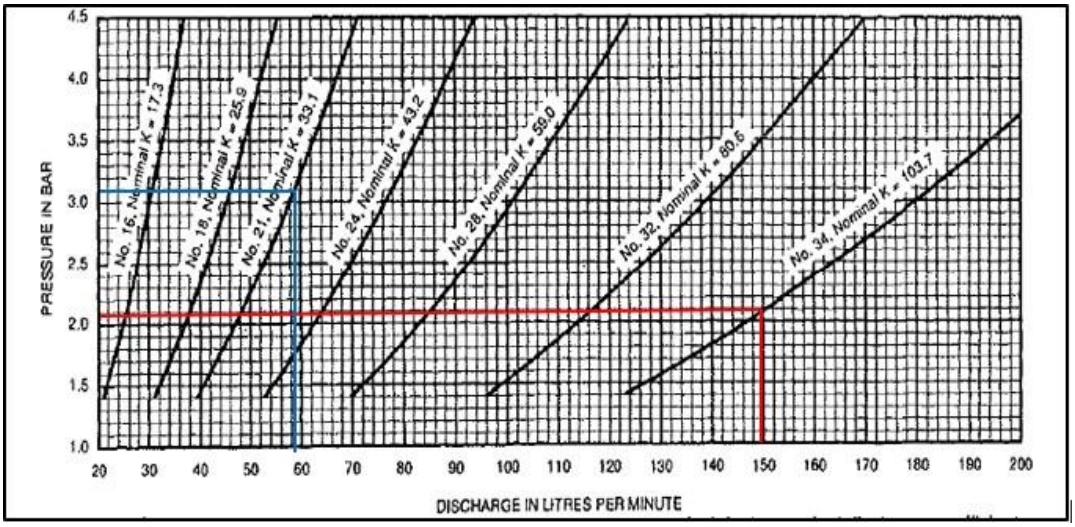


Figure IV-6 : Courbes de charge nominale **[33]**

La pression du réseau déluge change d'une rampe à l'autre.

Pour la rampe 7 nous avons :

La pression égale à 2.1 bar alors le débit réel par pulvérisateur (140°, no.34, k=103.7) égale à 150 L/mn

Pour la rampe 6 on a :

La pression est égale 3.1 bar alors le débit réel de pulvérisateur (140°, no.21, k=33.1) égale à 58.2 L/min

IV.5.2.1 Calculs le débit d'eau de chaque zone de la sphère

Q = *Nombre de buse*le débit d'eau requis dans le pulvérisateur*

Application numérique

Pour la Zone 7 : Q =44*150= 6600 L/min

On fait tous les calculs des zones sur le tableau ci-dessus

		Débit minimal Q(L/min)	Pression à chaque rampe P(bar)	K	Débit par buse	Nombre de buse	Débit calculé Q(L/min)
zone	7	5702,39	2.1	103,7	150	44	6600
zone	6	1095,48	3.1	33,1	58.2	22	1280.4
zone	5	2115,48	3.4	33,1	61	44	2684
zone	4	1454,45	3.8	33,1	64.5	28	1806
zone	3	1019,82	4.1	33,1	67	20	1340
zone	2	706,07	4.3	33,1	68.5	16	1096
zone	1	221,86	4.3	33,1	68.5	4	274
TOTAL		12315,22				178	15080.4

	Débit d'eau calculé Q (L/min)
Partie supérieure de la sphère	6600
Partie inférieure de la sphère	8480.4

IV.5.3.Interprétation des résultats obtenus

Le débit total minimal requis (pour l'ensemble de la sphère, y compris les colonnes de support) est égal à 12315.22 L/min, avec un débit total **effectif** calculé égal à 15080.4 L/min.

Le débit d'eau calculé est suffisant pour couvrir la totalité de la sphère S-73_MD02.

IV.6 Dimension géométrique et données de base de sphère de gazoline S-76-MD01

Diamètre (extérieur) = 16,074 m

Hauteur (équateur) = 11.537 m

Hauteur (sommet de la sphère) = 28,178 m

Nombre de colonnes de support = 9

Matériel : Tuyaux et raccords en acier au carbone galvanisé à chaud (tuyauterie fournie en atelier bobines à brides fabriquées) **[33]**

- **Typologie des buses de pulvérisation d'eau**

-Vitesse moyenne, cône plein, fileté 1/2 pouce » NPT, mâle fil

-Matériau et finition : Bronze

IV.6.1 Nombre des rampes et buses

Selon la réglementation le nombre de rampes est défini en fonction du diamètre de la capacité.

Diam =16,074 mètres ⟹ le nombre de rampe est de 07 **[31]**

IV.6.1.1 conceptions de système de pulvérisation d'eau

La surface de la sphère à protéger est divisée en zones horizontales comme le montre la figure suivante. Pour chaque zone, les débits minimaux requis sont calculés sur la base de la densité nominale de 10.2 litres/min/m^2

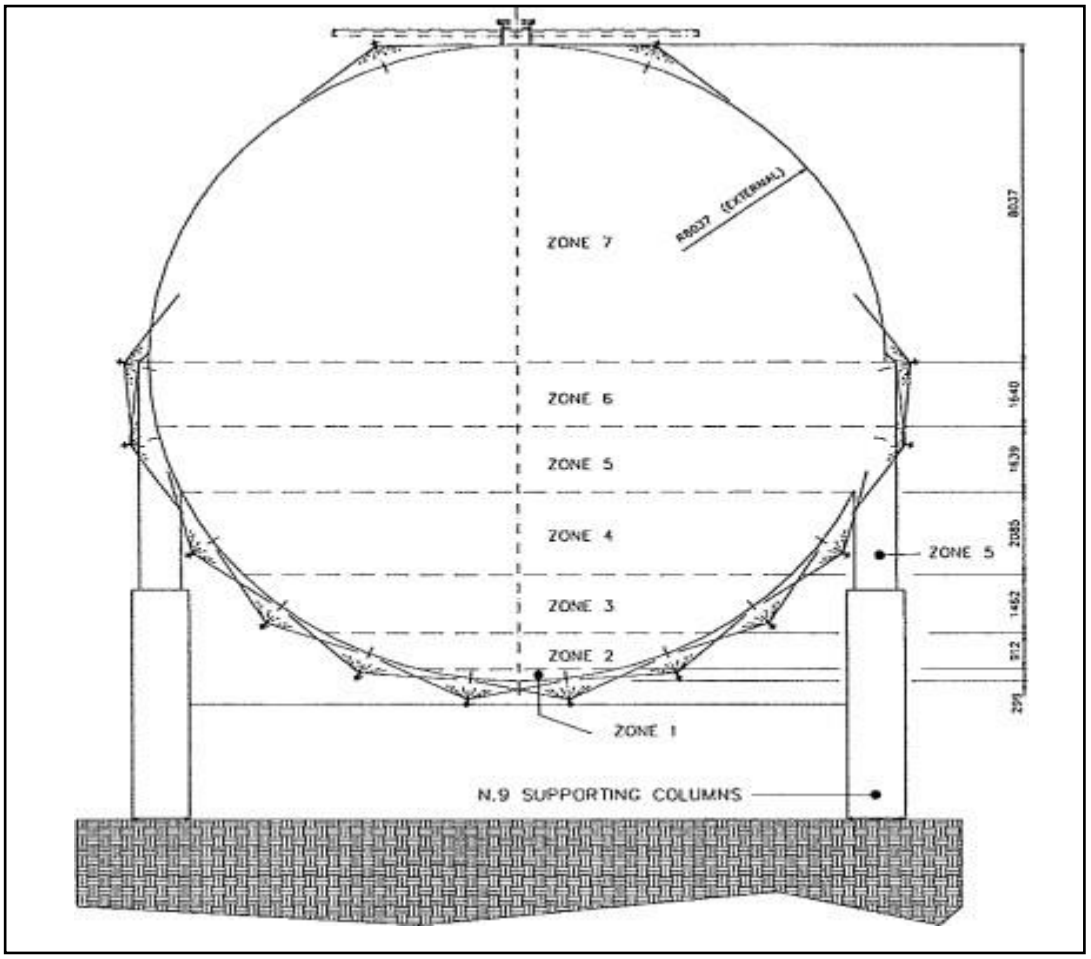


Figure IV-7 : Schéma présente chaque zone de la sphère de gazoline S-76-MD01 **[33]**

Les pulvérisations d'eau en bronze de type D3 protectospray de taille ½ " NPT seront adoptées. Dans le tableau suivant, le nombre de pulvérisations, l'angle de pulvérisation, et le facteur k sont indiqués pour chaque zone de la sphère **: [33]**

Tableau IV-3 : Présente le nombre de buse à chaque zone, l'angle et facteur de pulvérisateur de la sphère de gazoline **[33]**

		Nombre de buses	K	Typologie de pulvérisateur	distance entre la buse et la surface de la sphère (m)
Zone	7	32	103.7	140°, no.34, k=103.7	0.6
Zone	6	18	33.1	140°, no.21, k=33.1	0.6
Zone	5	36(*)	33.1	140°, no.21, k=33.1	0.6
Zone	4	20	33.1	140°, no.21, k=33.1	0.6
Zone	3	16	33.1	140°, no.21, k=33.1	0.6
Zone	2	10	33.1	140°, no.21, k=33.1	0.6
Zone	1	4	33.1	140°, no.21, k=33.1	0.6

Le premier système de pulvérisation d'eau (partie inférieure de la sphère) protégera les zones 1-2-3-4-5-6.

Les colonnes de soutien sont incluses dans la zone 5.

La partie inférieure des colonnes de support (ignifugées) n'est pas recouverte de buses de pulvérisation.

Le deuxième système de pulvérisation d'eau (partie supérieure de la sphère) protégera la zone 7.

IV.6.2 Les calculs pour la sphère de gazoline S-76-MD01

IV.6.2.1 Calculs le débit minimal requis

Pour chaque zone, la surface à protéger et le débit minimal requis sont calculés comme suit :

Q= 10,2. A

Q = débit minimal requis (L/min).

A = surface de la zone (m2)

A=2πhr/1000

Où :

h= hauteur de la zone (mm)

r=Rayon externe sphérique de la coquille (m)

r= 8.037 m

Application numérique

Pour la zone 7 : A=2π x 8037 x 8.037/1000 = 405.9 m^2

Le débit d'eau : Q=10.2 x 405.9 = 4140 l/min

Dans le tableau ci-dessus on cite la hauteur de la zone, la surface et le débit d'eau minimal requis pour chaque zone

		Hauteur de la zone H(mm)	Surface of the zone A (m^2)	Débit minimal requis Q(L/min)
Zone	7	8037	405.9	4140
Zone	6	1640	82,8	845
Zone	5(*)	1640	147,8	1508
Zone	4	2085	105,3	1074
Zone	3	1462	73,8	753
Zone	2	912	46,1	470
Zone	1	299	15,1	154
TOTAL		**16075**	**877**	**8943**

(*) La surface de la zone 5 comprend un secteur de la sphère plus la surface de la partie supérieure des colonnes.

IV.6.2.2 Calculs Quantité d'eau de système déluge

Selon les lois hydrauliques (NFPA 15 Hydraulique calculation)

Le débit d'eau d'une buse doit être calculé

$$Q=K\sqrt{P}$$

En utilisant le graphe **Figure IV-6 :** Courbes de charge nominale et en prenant en considération les valeurs réglementées du débit d'eau à chaque buse et alors à chaque rampe.

Pour la rampe 7 nous avons :

La pression égale à 2.2 bar alors le débit réel par pulvérisateur (140°, no.34, k=103.7) égale à 153.8 L/mn

Pour la rampe 6 nous avons :

La pression est égale 2.5 bar alors le débit réel de pulvérisateur (140°, no.21, k=33.1) égale à 52.3 L/min

IV.6.2.3 Calculs le débit d'eau de chaque zone de la sphère S-76-MD01.

Q = Nombre de buse x le débit d'eau requis dans le pulvérisateur

Application numérique

Pour la Zone7 : **Q = 32 x 153.8 = 4921.6 L/min**

Les résultats de calculs des autres zones (1-6) sont présentés sur le tableau ci-dessus :

		Débit minimal Q(L/min)	Pression à chaque rampe P(bar)	K	Debit par buse	Nombre de buse	Débit calculé Q(L/min)
Zone	7	4140	2.2	103,7	153.8	32	4921.6
Zone	6	845	2.5	33,1	52.3	18	941.4
Zone	5	1508	2.8	33,1	55.4	36(*)	1994.4
Zone	4	1074	3.3	33,1	60.1	20	1202
Zone	3	753	3.5	33,1	61.9	16	990.4
Zone	2	470	3.7	33,1	63.7	10	637
Zone	1	154	3.9	33,1	65.3	4	261.2
TOTAL		8943				136	10947.8

	Débit d'eau calculé Q(L/min)
Partie supérieure de la sphère	4921.6
Partie inférieure de la sphère	6026.4

IV.6.3.Interprétation des résultats obtenus

Le débit total minimal requis (pour l'ensemble de la sphère, y compris les colonnes de support) est égal à 8943 L/min, avec un débit total **effectif** calculé égal à 10947.8 L/min.

Le débit d'eau calculé est suffisant pour couvrir la totalité de la sphère S-76-MD01.

***Remarque 1* :** Le débit d'eau calculé pour la partie inférieure est plus grand que le débit calculé pour la partie supérieure.

- les causes de cette différence :

- Le système d'aspersion est utilisé dans les réservoirs de gaz liquéfié pour protéger la couche liquide située au fond du réservoir contre le rayonnement thermique. Son objectif est d'éviter l'évaporation du gaz liquide, ce qui pourrait entraîner une augmentation de la pression à l'intérieur du réservoir et, éventuellement, une explosion.
- La moitié du débit dans la cinquième rampe est orientée de manière à protéger la partie supérieure des colonnes de support.
- La sphère se situe à une hauteur relativement élevée par rapport à la surface de la Terre, et en général, la source de feu ou de rayonnement thermique se trouve en bas.
- Dans la septième rampe, la distribution et la diffusion de l'eau sont réalisées grâce à l'effet de gravité, ce qui facilite l'arrosage de la partie supérieure de la sphère.

Cela explique la variation de débit et son augmentation dans la partie inférieure

Remarque 2

Il est observé que la partie supérieure de la **zone 7** des sphères est protégée par pulvérisation, tandis que la partie inférieure de cette zone est refroidie par ruissellement.

Lorsque la couverture est effectuée par ruissellement, l'eau peut se déplacer de manière irrégulière et se concentrer dans certaines zones, tandis que d'autres zones peuvent rester sèches. Cela peut entraîner des problèmes de drainage inégal et un usage inefficace de l'eau.

Afin d'éviter ce phénomène, nous suggérons de réduire le nombre de buses dans le septième rampe et d'en ajouter dans une nouvelle rampe. Qui permet d'un contrôle plus précis de la quantité d'eau utilisée et on assure une couverture exhaustive et uniforme. Cette approche favorise le maintien d'une température stable et prévient la formation de zones surchauffées ou non refroidies. De plus, elle permet une utilisation plus efficiente de l'eau en évitant les pertes dues à l'évaporation ou au ruissellement.

IV.7 Vérification de la fiabilité du réservoir d'eau afin de garantir la disponibilité de la quantité nécessaire d'eau pour faire face à un scénario d'incendie proposé.

Généralement pour installer n'importe quel système de lutte anti incendie, le problème majeur a soulevé est la réserve d'eau.

Le tableau suivant montre le taux d'application adéquat pour une capacité suppose en feu ainsi pour les capacités au voisinage.

L'API 2510 A précisé la quantité d'eau requise en fonction du type d'exposition :

Tableau IV-4 : Taux d'application sur une sphère de GIL **[30]**

Exposition	Surface à refroidir	Taux d'application
capacité en feu	La totalité	10.2LPM/M2
Capacité au voisinage	La totalité	4.1LPM/M2

IV.7.1 Calcul du débit d'eau requis pour couvrir de manière adéquate la totalité de la zone

Scénario :

La présence de fuite au niveau de la soupape, combinée à des travaux chauds à proximité de la sphère, provoque un incendie sur le toit de la sphère de propane 73-MD_02. Etant donné que la sphère de gazoline 76-MD_01 se trouve à quelques mètres seulement, il est également affecté par les radiations thermiques générées par l'incendie.

Designation	Type de stockage	Diamètre (m)	Taux application (LPM/M^2)	Surface à protégé (m^2)
73-MD_02 Sphère en feu	Capacité sphérique	18.868	10.2 $L/mn.m^2$	$4\ \pi\times(R)^2$
76-MD_01 Au voisinage	Capacité sphérique	16.074	4.1 $L/mn.m^2$	$4\ \pi\times(R)^2$

- **On calcule le débit d'eau requis totale pour les deux sphères**

$$Q_{total} = Q_{T1} + Q_{T2}$$

Q_{T1}: débit d'eau requis pour couvrir de manière adéquate la totalité de la sphère supposée en feu S-73-MD_02.

Q_{T2}: débit d'eau requis pour couvrir de manière adéquate la totalité de sphère à protéger S-76-MD_01.

T_1: le taux d'application d'eau réglementée qui est de 10.2 $L/mn.m^2$ pour la sphère supposée en feu.

T_2 : le taux d'application d'eau réglementée qui est de 4.1 $L/mn.m^2$ pour la capacité avoisinante

On a :

$\mathbf{Q_{T1}}= S_T \bullet T_1$

$\mathbf{Q_{T2}}=S_T \bullet T_2$

S_T : surface de la sphère + la surface de la partie supérieure des colonnes de support

Application numérique

Q_{T1}= 1207,41 *10.2=12315,58 Litre/min

Q_{T2}=877 *4,1=3595.7 L/min

Q_{Total}=12315,58+3595.7=15910.92 L/min

Q_{Total}=954.65 m^3/h

- **Réserve d'eau**

La réserve d'eau (bassin, réservoir) doit être disponible, calculée sur la base du plus grand besoin en eau dans l'usine.

Selon les réglementations, on a les valeurs suivantes :

Tableau IV-5 : Volume requis de la réserve d'eau **[31]**

Pays	Volume de la réserve d'eau (m3)
France	Q requis max (m3/h) x 4 h
Etats-Unis	Q requis max (m3/h) x 4 à 6 h
Grande Bretagne	Q requis max (m3/h) x 10 h

$$C_R = Q_{Total} * 6\ h$$

C_R : capacité de la réserve

- **Application numérique**

C_R = 954.65*6= **5727.93m^3**

Capacités en eau du complexe GNL3Z :

Réservoir de stockage (63-MF01) =**3 895 m^3**

IV.7.2 Interprétation des résultats obtenus

- Le réservoir d'eau est insuffisant pour assurer le bon déroulement de cette opération.

- En cas d'épuisement de réservoir, il est directement connecté au réseau KAHRAMA.

- En cas de diminution de la pression d'eau dans le réseau incendie, des pompes marines sont mises en marche et l'eau de mer est utilisée pour l'extinction et la protection.

Remarque

Les eaux de mer ont un impact négatif sur les équipements d'extinction d'incendie en raison des facteurs suivants :

1. **Corrosion :** Les eaux de mer contiennent une forte concentration de sel et d'autres minéraux, ce qui augmente le risque de corrosion sur les équipements métalliques. Une exposition prolongée à l'eau salée peut entraîner la corrosion des pièces métalliques des équipements, réduisant ainsi leur efficacité et leur durée de vie.
2. **Pollution :** Les eaux salées contiennent de nombreux polluants environnementaux et organiques tels que les huiles, les impuretés et les organismes marins. Lorsque l'eau de mer est utilisée dans les équipements d'extinction d'incendie, le système est directement exposé à ces polluants, ce qui peut obstruer les tuyaux, les buses, endommager les filtres et les vannes. Cela réduit l'efficacité des équipements et diminue la quantité d'eau pouvant être utilisée pour éteindre les incendies.

En général, il est préférable d'utiliser de l'eau douce ou de l'eau spécialement traitée pour les besoins d'extinction d'incendie.

Dans notre cas, compte tenu de la taille relativement réduite du réservoir d'eau, nous vous proposons deux suggestions :

- ✓ La première consiste à remplacer le réservoir actuel par un réservoir de plus grande capacité.
- ✓ La deuxième suggestion est d'ajouter un ou plusieurs réservoirs supplémentaires dans différentes zones du complexe.

Cependant, en raison des difficultés de mise en œuvre pour diverses raisons (coûts, efforts, temps, etc.), la meilleure solution serait de prendre des mesures préventives afin d'atténuer les effets négatifs de l'eau de mer.

- ➢ Nettoyage des équipements et élimination des dépôts formés suite à leur exposition à l'eau de mer.
- ➢ Nettoyage régulier des tuyaux et des buses pour éviter toute obstruction causée par les résidus d'eau de mer.
- ➢ Remplacement des composants endommagés en raison de la corrosion intense causés par l'eau de mer.

Ces mesures visent à maintenir les performances des équipements, à garantir leur sécurité et à les maintenir prêts à être utilisés efficacement en cas d'urgence.

IV.8 Certains Défaillances susceptibles de diminuer l'efficacité du système déluge et les mesures à prendre pour les éviter.

Tableau IV-6 : Défaillances potentielles des différents éléments d'une installation fixe de lutte contre l'incendie **[25]**

Elément du réseau	Modes de défaillance	Solutions envisages
Réserve d'eau	Gel	Protection des réserves en bassin ou aériennes contre le gel (exemple : boudin gonflable dans les réservoirs aériens)
	Bouchage	Vérification périodique de la propreté des dispositifs d'aspiration (puits, crépines, filtres, etc.)
	Fuite	Contrôle du niveau d'eau dans la réserve d'eau
Vannes déluge et accessoires associés (filtres)	Gel	Ces équipements peuvent être localisés dans des armoires chauffées ou munies de traçage et calorifugeage.
	Mauvaise position (si vanne manuelle)	- Chaînes et cadenas, - Repérage de la position de la vanne, - Formation des opérateurs, - Contrôles réguliers.
Buses deluge	Bouchage	Une buse déluge est de type imbouchable, la pièce de diffusion étant placée à l'extérieur de la buse et à une distance telle que le passage libre est supérieur au diamètre du jet. Les filtres internes à la buse sont à proscrire car ils augmentent le risque de bouchage de la buse.
	Jet sensible aux vents Forts	S'assurer que les buses ne sont pas trop éloignées de l'installation à protéger

IV-9 Maintenance du système

Des inspections périodique, au minimum annuelle, pour vérifier d'état des différents éléments du réseau au regard de paramètres tels :

- La corrosion,

Figure IV-8 : Vérification des couronnes déluge sur une colonne – présence de corrosion **[25]**

- Vérification de l'état des filtres.
- Suivie rigoureux du système de protection cathodique du réseau incendie.

Conclusion Générale

Conclusion générale

Les incendies au niveau des réservoirs de stockage de gaz inflammable liquéfié ou à proximité représentent un danger majeur, et leurs conséquences sont catastrophiques avec des impacts directs tels que des blessures, des décès, des dommages matériels et environnementaux.

Indirectement, lors des interventions, il y a également des conséquences négatives telles que des blessures, des décès, des dommages matériels et environnementaux, ce qui aggrave la situation.

À la fin de notre étude, nous avons clairement démontré qu'il est possible de prédire avec certitude la quantité d'eau nécessaire pour répondre aux besoins en termes d'isolation et de protection du réservoir, face aux scénarios d'incendie sélectionnés avant toute intervention d'extinction. Cela requiert une évaluation des résultats probables de ces scénarios, communément appelée "étude des risques". Dans notre cas, le scénario retenu est celui d'un incendie touchant les deux réservoirs, où le réservoir est directement exposé aux flammes, ainsi qu'un autre scénario où l'un des réservoirs est affecté par le feu (tandis que l'autre est exposé au rayonnement thermique).

En réalité, il est essentiel de mettre l'incident dans son contexte, en particulier son contexte technologique. La plupart de ces accidents de réservoirs peuvent être évités si les compétences en conception, en construction, en maintenance, et en exploitation sont excellentes et si les exigences du système de sécurité sont mises en place et appliquées.

Enfin, nous espérons avoir répondu, au moins partiellement, à la question essentielle posée dans le sujet de cette mémoire : "Est-ce que le système déluge composite au niveau des deux sphères de stockage est efficace ou non ?" Cependant, il faut se rappeler que même si les réserves d'eau et les réseaux sont de taille adéquate, le facteur humain est très présent lors de l'apparition d'un incendie. Il est évident que cela nécessite une équipe d'intervention bien formée avec beaucoup d'entraînements simulés.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Références Bibliographiques

Références

[1] Mr. HARRAT Ladjal Nadir, 2011. DIMENSIONNEMENT DU SYSTEME DELUGE POUR LE STOCKAGE DES LPG , Mémoire de fin d'études En vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur HSE, Institut Algérienne de pétrole.

[2] Kaabouche, Boumedien. Description de la section de stockage de l'unité GPL-1 HASSI MESSAOUD. Novembre 2017; 38P.

[3] Cours Protection Civile (DGPC), scénarios d'accidents majeurs /2006.

[4] Midoune Raid,2020. Évaluation des risques lie au stockage de GPL. Mémoire Présenté pour l'obtention du diplôme de Fin d'étude en génie mécanique, université Akli Mohand Olhadj-Bouira-

[5] Manuel opératoire de l'unité GPL-1 Hassi Messaoud

[6] Cours formation HSE Batna ,2009 .

[7] Comité Français Butane Propane, GPL carburant historique , (Date de consultation : avril 2010).

[8] SAFEGE, Généralités sur l'évaluation des effets de surpression liés aux phénomènes d'explosion in, SAFEGE Unité Industrie, Nanterre, 2013.

[9] A. Champassith, BLEVE Méthodes de modélisation des effets, ref. article : se5061, in: Techniques de l'ingénieur Risques d'explosion, Editions T.I., Paris, 2014.

[10] LACHTAR. 2009. Sécurité des procèdes chimique. Paris: CRC.

[11] Anousone C. 2014. Exemple d'application : BLEVE - Méthodes de modélisation des effets. Technique de l'ingénieur.

[12] SONATRACH, Risk assessment study of industrial units, Report N° EP002715, in, Hassi R'Mel, 2010.

[13] LE BLEVE Indice 7 de décembre 2006.

[14] Guide méthodologique, plan de prévention des risques technologiques, MEDD

[15] Rémi Guillemet. 1922. Protection des réservoirs de stockage sous pression dans les flammes : l'arrosage par ruissellement d'eau et l'ignifugation. Sciences de l'ingénieur [physics]. Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris; Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne, Français.

[16] Circulaire du 10 mai 2010. Récapitulant les règles méthodologiques applicables aux études de dangers, à l'appréciation de la démarche de réduction du risque à la source et aux plans de prévention des risques technologiques (PPRT) dans les installations classées en application de la loi du 30 juillet 2003. Ministère de l'écologie, de l'énergie, du développement durable et de la mer, en charge des technologies vertes et des négociations sur le climat. République Française.

Références Bibliographiques

[17] LIM. S., 2008. Influence des enseignements tirés d'accidents impliquant des stockages de GPL dans l'évolution des guides de bonnes pratiques à l'étranger.

[18] Mamadou Traore. 2007. Explosions de poussières et de mélanges hybrides : étude paramétrique et relation entre la cinétique de combustion et la violence de l'explosion. Autre. Institut National Polytechnique de Lorraine. Français. ffNNT : 2007INPL019Nff. fftel-01752813

[19] Chaumette. S., Debray. B. 2016. Formalisation du savoir des outils dans le domaine des risques majeurs. UVCE de la ville de Nantes dans un dépôt pétrolier.

[20] Soutenue par Maryam GALLAB Le 05 Juin 2017. THÈSE DE DOCTORAT de l'Université de recherche Paris Sciences et Lettres PSL Research University Préparée dans le cadre d'une cotutelle entre MINES ParisTech et Ecole Mohammadia d'Ingénieurs (EMI), Développement d'une approche d'aide à la maîtrise des risques dans les activités de maintenance d'une chaîne logistique : Approche par Modélisation et Simulation basée sur les Systèmes Multi-Agents.

[21] Fiche détaillée Accident Feyzin_aria1_220906, BLEVE dans un dépôt de GPL en raffinerie Le 4 janvier 1966 Feyzin (France).Date d'actualisation de la fiche : septembre 2006**.**

[22] S. LIM ,RAPPORT D'ÉTUDE N° DRA-08-85166-00650B , Influence des enseignements tirés d'accidents impliquant des stockages de GPL dans l'évolution des guides de bonnes pratiques à l'étranger 04/09/2008.

[23] La base ARIA : « Analyse, Recherche et Information sur les Accidents » (ARIA 6756) **[29.1]**. - (ARIA 5244) **[29.2]**.

[24] Nullifire. Services Blog Protection Feu [en ligne]. Consulté le 01/06/ 2021.

[25] Institut national de l'environnement industriel et des risques (Ineris). Document de synthèse relatif à une Barrière Technique de Sécurité (B.T.S.) ; Moyens fixes de lutte contre l'incendie –Stockages de liquides inflammables et de gaz inflammables liquéfiés [en ligne]. Édition Novembre 2016. Disponible avec la référence : DRA-16-156884-04985B

[26] IFP Training. Formation professionnelle, Sécurité industrielle, évaluation quantitative et conception/dimensionnement. Hassi Messoud- Centres IAP- Juillet 2015.

[27] Document du complexe Manuel Opératoire Volume 1 – Unités 63/77

[28] Cyrus Industrie. Référentiels APSAD. Consulté le : [15/06/2021].

[29] Focus Industrie. Bureau d'ingénierie industrielle. Consulté le [15/07/2021].

[30] Les publications de L'API

[31] NFPA 15 Standard for Water Spray Fixed Systems for Fire Protection 1996 Edition

Références Bibliographiques

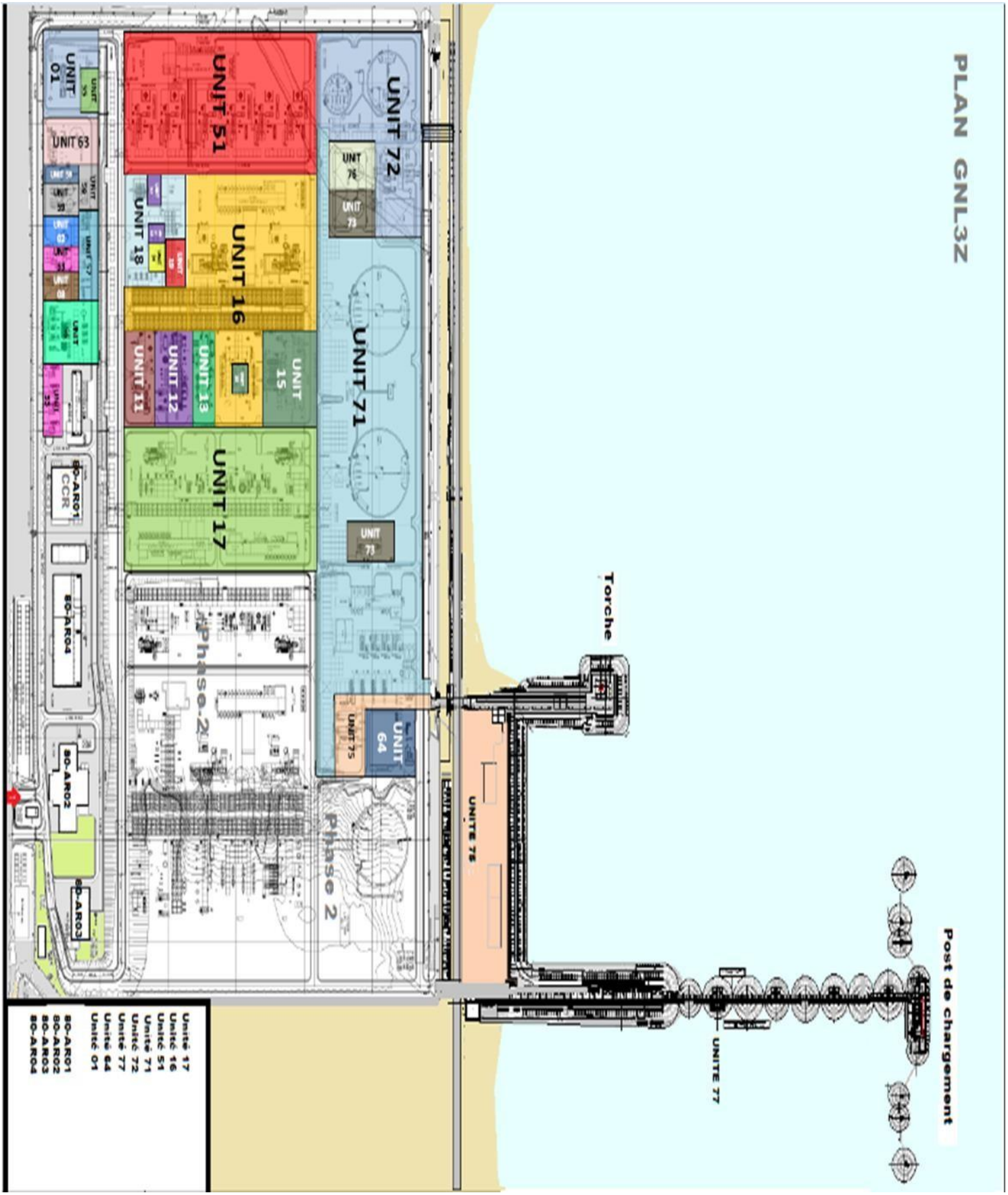
[32] Document du complexe GNL3Z manuel opératoire Partie Général

[33] Document du Complexe 318800-GNL3Z- V-444641-21503

LISTE DES ANNEXEX

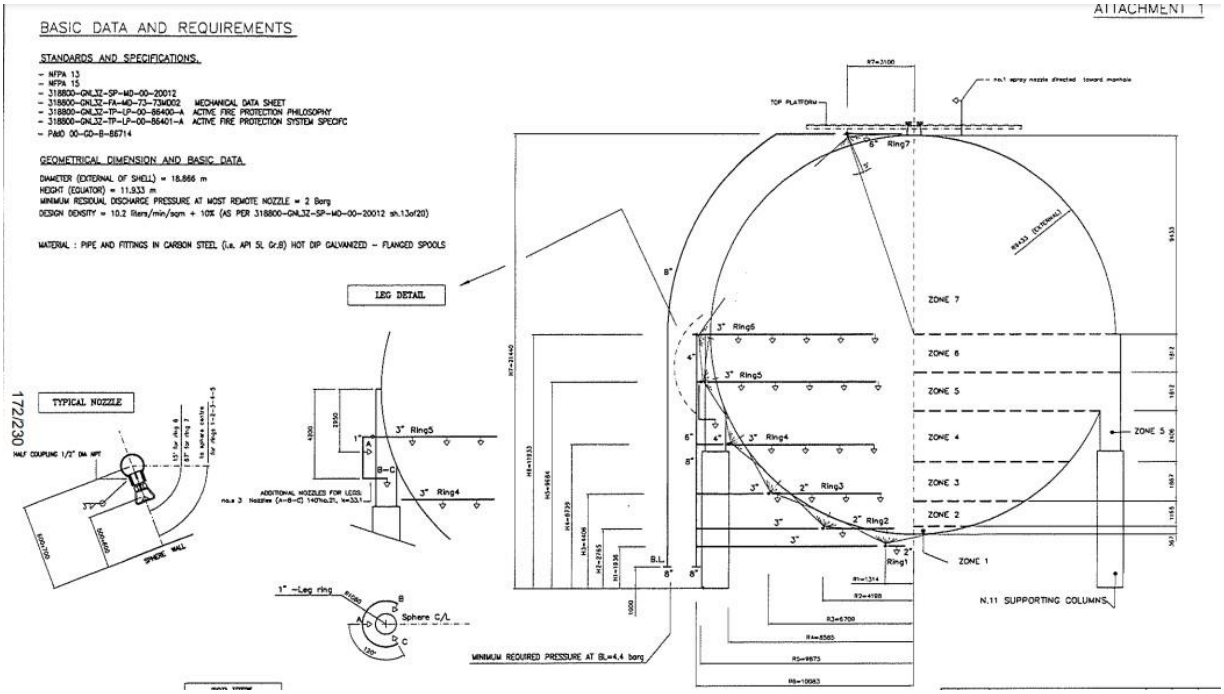
Liste des annexes

Annexe A : : schéma du complexe GNL3Z

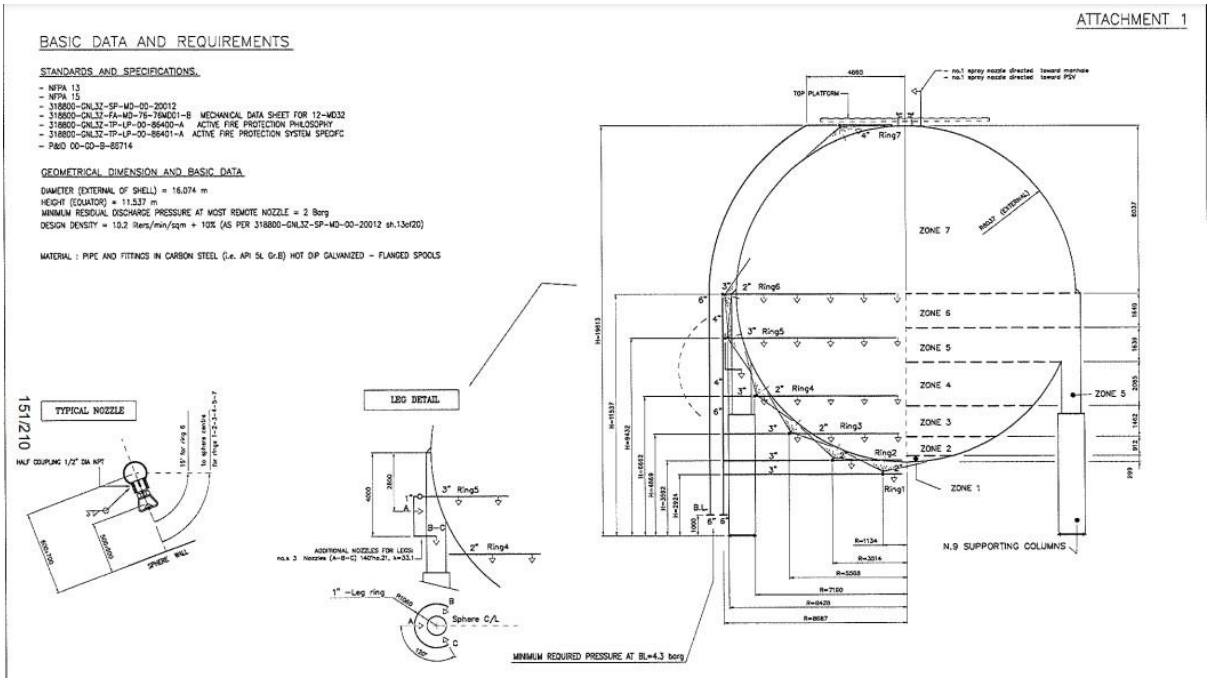


Liste des annexes

Annexe B : Composonts et dimensions du système déluge des sphères.



La sphère de propane 73-MD02



La sphère de gazoline 76-MD01