

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherches Scientifique



Université d'Oran 2

Institut de Maintenance et de sécurité Industrielle

MEMOIRE

Pour l'obtention du diplôme de Master
En Sécurité Industrielle et Environnement

**Etude des Phénomènes (explosion/incendie) d'une sphère
de stockage de GPL**

Présenté et soutenu publiquement par :

CHERRAK Hani Mokhtar et **ABIDI Mohamed Djawed**

LABAIR Hakima	MCB	IMSI	Président
SERAT Fatima Zohra	MCB	IMSI	Encadreur
AOUMEUR Nabila	MCB	IMSI	Examineur
GUETARNI Mohamed Islam	MCB	IMSI	Co-encadreur

19 Juin 2022

Remerciement

On remercie dieu le tout puissant de nous avoir donné la santé et la volonté d'entamer et de terminer ce mémoire

Tout d'abord ce travail ne serait pas aussi riche et n'aurait pas pu avoir le jour sans l'aide et l'encadrement de madame Serat Fatima Zohra ainsi le Co-encadrement de monsieur GUETARNI Mohamed Islam on les remercie pour la qualité de leur savoir qui nous a été transmis, leur patience et leur disponibilité durant notre préparation de ce mémoire.

Nous adressons également nos remerciements aux enseignants qui nous ont fait l'honneur de participer, aux jurys de ce mémoire.

Notre remerciement s'adresse également à tous nos professeurs pour leurs générosités et la grande patience dont ils ont su faire preuve malgré leurs charges académique et professionnelles.

Dédicace

Je dédie ce travail à mes parents, mes sœurs,

Ma tante Ghoutia

A la mémoire de mon oncle Zeriahen Mohamed

Et à tous mes amis pour ces merveilleuses années

Mokhtar

Dédicace

*Je dédie ce travail à mes parents, ma sœur
Et tous les membres de la famille qui m'ont supporté de près
ou de loin lors de mon cursus
Et à tous mes amis pour ces merveilleuses années*

Djawed

Résumé :

En concordance avec le développement industrielle continue nombreux sont les risques associés, c'est le cas dans les sociétés pétrolière ou l'en considère que ce dernier est à sa limite de gravité Extrême. C'est dans ce cadre que les études d'impact entrent en jeux afin de déterminer les potentielles conséquences de ces risques et pour mettre en place les mesures préventifs adéquates à chaque scénario.

A cet effet, notre travail consiste à faire une étude sur les risques autours les lieux de stockage de GPL et l'analyse de l'influence des paramètres de stockage sur les propriétés d'inflammabilité/explosivité en cas d'accident dans ces lieux. Notre étude est effectuée à l'aide du logiciel PHAST. Ce qui nous a permis de définir l'impact des conditions de stockage sur l'intensité des scenarios survenus dans la sphère et le périmètre d'explosion, surpression et radiation thermiques.

Mots clés : Zone ATEX, stockage des produits inflammables, explosion, PHAST.

Abstract

In accordance with the continuous industrial development, there are many associated risks; as well as, in the oil companies where it is considered that the latter is at its limit of Extreme gravity. It is in this context that impact studies and risk assessment are created in order to determine the potential consequences of these risks and to put in place the appropriate preventive measures for each scenario.

For this purpose, our work consists in carrying out a study on the risks around LPG storage places and the analysis of the influence of storage parameters on the flammability/explosiveness properties in the event of an accident in these places. Our study is carried out using the PHAST software. Which allowed us to define the impact of the storage conditions on the intensity of the scenarios occurring in the sphere and the perimeter of the explosion, overpressure and thermal radiation.

Keywords: ATEX, flammable products storage, explosion, PHAST.

Liste des abréviations

ATEX : Atmosphère Explosive (Explosive Atmosphere)

BLEVE: Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion (Explosion de vapeur en expansion de liquide bouillant)

UVCE : Unconfined Vapor Cloud Explosion (explosion non confinée de gaz ou de vapeurs)

LIE : Limite inférieure d'explosivité

LSE : Limite supérieure d'explosivité

LIF : Limite inférieure d'inflammabilité

LSF : Limite supérieure d'inflammabilité

GPL : Gaz Pétrolier Liquéfié

GNL : gaz naturel liquéfié

ISO: International Organization for Standardization (Organisation internationale de normalisation)

OHSAS: Occupational Health and Safety Assessment Series (Série d'évaluation de la santé et de la sécurité au travail)

INRS : Institut National de Recherche et de Sécurité

INERIS : Institut national de l'environnement industriel et des risques

APR : Analyse Préliminaire des Risques

ADD : Arbre de Défaillance

ADE : Arbres d'évènements

AAE : Analyse Arbre d'Événement

AMDEC : Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et leurs Criticité

HAZOP: Hazard and Operability study

HAZID: Hazards Identification

HIRA: Hazard Identification Risk Assessment

PHAST: Process Hazard Analysis Software Tool

ALOHA: Areal Locations of Hazardous Atmospheres

ALARP: As Low as Reasonably Practicable

FDS : Fiche de Données de Sécurité

SGH : Système Général Harmonisé

DRPCE : document relatif à la protection contre les explosions

MCR: Main Control Room

LCR: Local Control Room

SCR: Security Control Room

SVR: Supervising Room

ASC: Advancing Security Center

R.T.O: Region Transport Ouest

Table des matières

Chapitre 1 : Synthèse bibliographique	16
1.1 Introduction:	Erreur ! Signet non défini.
1.2 Généralités sur les flammes	1
1.2.1 Définition.....	1
1.2.2 Différents types de flamme : prémélange et diffusion	1
1.2.3 Différents types d'écoulements	2
1.2.4 Conditions d'existence et de propagation d'une flamme	2
1.2.5 L'UCVE	7
1.2.6 Classification des Liquides inflammables [9]	10
1.2.7 Classification des produits Explosives	10
1.2.8 L'impact des produits inflammables/explosives [10]	11
1.3 Stockage des composés Inflammables/Explosives	13
1.3.1 PLANIFICATION DU STOCKAGE.....	13
1.3.2 ÉVALUATION DES RISQUES	14
1.3.3 EXIGENCES GÉNÉRALES APPLICABLES[11].....	15
1.3.4 Transfer de chaleur	17
1.3.5 CONTRÔLES	18
1.4 Revue sur les accidents dans les lieux de stockage	18
1.4.1 Incendie dans un entrepôt de produits phytosanitaires :.....	18
1.4.2 Rupture d'un réservoir de stockage de pétrole brut.....	20
1.5 Cadre réglementaire sur les composés chimiques dangereux (inflammables)	21
1.5.1 Réglementation Algérienne Concernant Les Substances :	21
1.5.2 LEGISLATION EUROPEENNE CONCERNANT L'ATEX	25
1.5.3 Réglementation internationale.....	27
1.6 Conclusion	28
CHAPITRE 2 : EVALUATION ET GESTION DES RISQUES D'INFLAMMABILITE ET D'EXPLOSION	29
2.1 Introduction	30
2.2 Concepts et définitions	30
2.2.1 Notion de danger	30
2.2.2 Notion du risque	30
2.2.3 Risque d'incendie.....	32
2.2.4 Risque d'explosion.....	34
2.2 Méthodes d'analyse et d'évaluation des risques	37

2.2.1	Les méthodes classiques d'analyse les risque	37
2.3	Outils d'évaluation et scénarisation des risques	43
2.3.1	Areal Locations of Hazardous Atmospheres (ALOHA)	43
2.3.2	Process Hazard Analysis Software Tool (PHAST)	44
2.4	Conclusion.....	44
Chapitre 3 : Présentation Du Complexe GP1Z.....		45
3.1	Introduction	46
3.2	Présentation du complexe GP1Z.....	46
3.2.1	Historique	46
3.2.2	Situation géographique du complexe	46
3.2.3	Organisation du complexe.....	47
3.2.4	Les principales zones du complexe	52
3.2.5	Annexes.....	55
3.2.6	Ressources Humaines.....	55
3.3	Procédé de fabrication du GPL.....	55
3.3.1	Section de déshydratation.....	56
3.3.2	Section de séparation.....	56
3.3.3	Section de réfrigération	57
3.3.4	Section d'huile chaude	58
Chapitre 4 : Simulation d'un phénomène catastrophique par logiciel PHAST.....		59
4.1	Introduction.....	60
4.2	Revu sur analyses des risques lie au bac de stockage des produits inflammables :.....	60
4.2.1	<i>L'analyse par la méthode HAZOP effectuée par Dahmani Ismail et brahmi El Mehdi .</i>	<i>60</i>
4.2.2	<i>L'analyse par la méthode HAZOP effectuée par LIMAM Walid Abdelghani et BADI Mohammed.....</i>	<i>60</i>
4.2.3	<i>L'analyse par la méthode HAZOP effectuée par Zagaye Asmaa Mama et Ouazzane Chahinez</i>	<i>61</i>
4.3	Analyse des revues.....	61
4.3	Etude de l'influence des paramètres sur les limites d'inflammabilité/explosivité.....	61
4.3.1	Modélisation des scénarios catastrophiques au niveau d'une sphère de GPL	62
4.3.2	Valeurs de référence relatives aux seuils de surpression et d'effets thermiques.....	64
4.3.3	Valeurs de référence relatives aux seuils d'effet thermique	65
4.4	Modélisation des Scénarios catastrophique	66
4.3.1	Influence de la température	66
4.4.1	Influence de la pression	67

4.4.2	Analyse des résultats	68
4.5	Modélisation de la Simulation avec les conditions appliquées	68
4.5.1	Scenario 1 : Rupture au sein de la pipe alimentant de la sphère.....	68
4.5.2	Scenario 2 : Ruptures catastrophiques.....	70
4.6	La prévention dans les zones ATEX :.....	76
	Conclusion.....	79
	Bibliographie.....	86
	Annexes A.....	87
	Annexes B.....	93

Liste des figures

Figure 1: Schémas représentant les différentes catégories de flammes : (a) flamme de prémélange ; (b) flamme de diffusion	1
Figure 2: Triangle de feu	2
Figure 3: Auto-inflammation dans un système confiné	5
Figure 4: Mélange explosif entre LIE et LSE	6
Figure 5: exemple de LIE et LSE de l'ammoniac	6
Figure 6: Hexagonal d'explosion	8
Figure 7 : Les phénomènes liés à une fuite de liquide	8
Figure 8: Une fuite au niveau de la phase gazeuse.....	8
Figure 9: Principales étapes dans le déroulement d'une explosion Accidentelle de gaz.....	9
Figure 10: influence de surchauffe sur une sphère	17
Figure 11 : Processus de gestion des risques [ISO, 1999].	31
Figure 12: exemple de matrice de criticité	34
Figure 13: la démarche AMDEC	39
Figure 14: Arbre de défaillance.....	40
Figure 15: exemple de la méthode Nœud Papillon	42
Figure 16: Situation géographique et voisinage du complexe GP1/Z.....	47
Figure 17: Organigramme du complexe GP1Z.....	48
Figure 18: Sphères de stockage	54
Figure 19: bacs de stockage	54
Figure 20: colonnes d'adsorption à tamis moléculaires	56
Figure 21: colonne de séparation (Fractionnateur)	57
Figure 22: Les équipements de la section de réfrigération	58
<i>Figure 23:</i> la sphère de stockage et Environnement avoisinant.....	63
Figure 24: Rose des Vents.....	63
Figure 25: Variation des limites supérieures et inférieures en fonction de la Température	67
Figure 26: Variation des limites supérieurs et inférieurs en fonction de la Pression	68
Figure 27: Distance d'atteinte des radiations par un jet de flamme sur MAP	69
Figure 28: Graph montrant la puissance de radiation en fonction de distance	69
Figure 29: Périmètre de zone d'atteinte d'effet de surpression sur Map	71

Figure 30: Distance d'atteinte par effet de surpression.....	71
Figure 31: Graphe montrant les surpressions de l'explosion par rapport à la distance	72
Figure 32: périmètre d'enveloppe de flash fire.....	73
Figure 33: graphe montrant l'enveloppe de flash fire par rapport à la distance	73
Figure 34: périmètre d'intensité du rayonnement d'une jet fire.....	74
Figure 35: graphe montrant intensité du rayonnement d'un jet fire par rapport à la distance	75
Figure 36: graphe montrant la radiation par rapport au jet fire.....	75

Liste des tableaux

Tableau 1: Exemples des LIE et LES	6
Tableau 2: classification des produits inflammable.....	10
Tableau 3 : Classification des produits explosives	10
Tableau 4: les points de contrôle des équipements.....	18
Tableau 5: JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE N°04 28 Dhou El Kaada 1425, 9 janvier 2005.....	21
Tableau 6: Décret exécutif n° 07-144 du 2 Joumada El Oula 1428 correspondant au 19 mai 2007 fixant la nomenclature des installations classées pour la protection de l'environnement.	22
Tableau 7: Arrêté interministériel du 13 Safar 1437 correspondant au 25 novembre 2015 fixant la liste et la classification des matières et produits chimiques dangereux.	22
Tableau 8: Décret exécutif n° 03-452 du 7 Chaoual 1424 correspondant au 1er décembre 2003 fixant les conditions particulières relative au transport routier de matières dangereuses	23
Tableau 9: Décret relative aux hydrocarbures	24
Tableau10: Normes ISO sur les produits inflammables	27
Tableau 11: Les points névralgiques sont évalués sur l'échelle suivante :.....	33
Tableau 12: <i>classement en termes de vraisemblance.</i>	33
Tableau13: caractéristiques physico-chimiques selon la nature des produits.....	35
Tableau14: Différentes origines et exemples de sources d'inflammation	36
Tableau15: Exemple de tableau de type « APR ».....	38
Tableau 16: Données de la sphère	62
Tableau 17: <i>effets de surpression sur les structures.</i>	64

Tableau 18: effets de surpression sur l'homme	65
Tableau 19: influence de la température sur les limites d'inflammabilité	67
Tableau 20: influence de Pression sur les limites d'inflammabilité	67
Tableau 21: Les entrées de la simulation	69
Tableau 22: zone touchée par les radiations thermiques	70
Tableau 23: les entrées de PHAST pour la simulation	70

Liste des équations

Équation 1: équations de calcul des limites d'inflammabilités.....	3
---	---

Introduction

Introduction Générale

Avec le développement technologique, certains établissements industriels peuvent être sources de risques majeurs qui peuvent conduire à des catastrophes, parmi ces risques majeurs on peut citer la dispersion de nuages de gaz, les incendies, explosions... la survenance de ces risques entraîne des catastrophes difficilement maîtrisables, cela peut entraîner des pertes de vies humaines et d'énormes dégâts matériels.

L'industrie pétrolière est une industrie où la survenance de risques majeurs est omniprésente avec des graves conséquences, afin de limiter l'impact de ces risques, plusieurs méthodes d'analyse des risques et études de danger sont souvent utilisées dans le but d'aider à identifier et à évaluer les risques et formuler des recommandations pour la réduction la probabilité ou la gravité de ces risques. Les méthodes disponibles font que ces études offrent la possibilité d'avoir des résultats préalables dans la forme de causes, de conséquences et de recommandations pour mieux préparer, structurer et organiser une repense rapidement et efficacement face à l'événement redouté, mais cela ne suffit pas dans certains cas. Afin de contrôler les scénarios catastrophiques ;

Ce travail consiste à faire une étude de simulation par logiciel PHAST afin d'analyser les effets des conditions de stockage sur les propriétés d'inflammabilité, ainsi qu'une modélisation des différents scénarios catastrophique qui peuvent survenir sur une sphère de GPL du complexe GP1Z.

A cet effet, notre travail se compose de quatre chapitres :

Dans le premier chapitre nous allons bien situer les différents concepts associés aux notions de base de l'inflammabilité, l'explosivité et le stockage, une brève présentation du cadre législatif pour mettre en lumière les travaux par rapport à la réglementation, enfin une revue d'accidentologies.

Nous suivons une démarche inductive dans la présentation des différents concepts, dans le deuxième chapitre, de la sécurité en regroupant les concepts de risque, danger, l'analyse d'évaluation des risques et les différentes méthodes d'évaluation des risques afin de lever certaines ambiguïtés.

Dans le cadre du troisième chapitre, une présentation du complexe GP1Z.

L'étude de l'impact des paramètres de stockage sur les propriétés d'inflammabilités est l'objet de dernier chapitre. Avec que la simulation par logiciel PHAST de la perte de confinement d'une sphère de GPL selon plusieurs brèches de fuite, enfin la présentation des résultats de la modélisation des événements catastrophiques avec une proposition d'un plan de prévention.

Ce mémoire s'achèvera par une conclusion générale.

Chapitre 1 : Synthèse bibliographique

1.1 Introduction :

Ce chapitre est consacré aux flammes avec tout d'abord quelques généralités pour les définir. Ensuite, une démonstration des propriétés d'inflammabilité ensuite les procédures de stockage des produits chimique dangereux voire inflammable ainsi que des exemples des accidents dans ces lieux et enfin présentation du cadre législatif réglementaire sur les composés chimiques dangereux (inflammables) et la zone ATEX ; Algérien et Européen.

1.2 Généralités sur les flammes

1.2.1 Définition

Une flamme est une zone réactionnelle où s'effectue la combustion. C'est un milieu réactionnel gazeux (les solides et les liquides doivent en général être gazéifiés avant de brûler), hautement énergétique et de volume limité, où se produisent et se soutiennent mutuellement des réactions chimiques, des phénomènes de diffusion d'espèces chimiques et de chaleur, ainsi que des émissions lumineuses.[1]

1.2.2 Différents types de flamme : prémélange et diffusion

Deux grandes catégories de flammes, peuvent être distinguées : les flammes de diffusion et les flammes de prémélange.

Les flammes de prémélange sont des structures de combustion où le combustible et le comburant sont intimement mélangés avant que la réaction ne soit initiée (**Figure 1**). À l'inverse, les flammes de diffusion sont des structures où le combustible et le comburant sont initialement séparés et qui diffusent alors vers la zone de réaction pour réagir. La flamme est alors une zone frontière où d'un côté arrive le combustible et de l'autre le comburant, les produits de combustion étant diffusés de part et d'autre.[1]

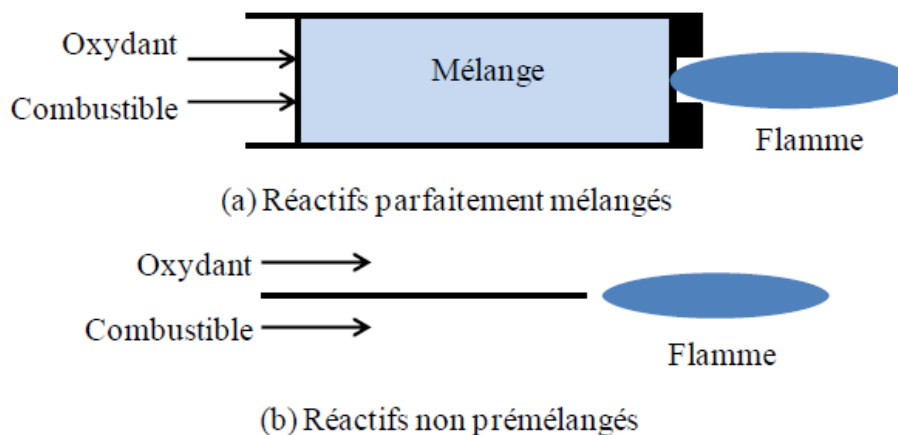


Figure 1: Schémas représentant les différentes catégories de flammes : (a) flamme de prémélange ; (b) flamme de diffusion

1.2.3 Différents types d'écoulements

La combustion se déroulant dans un milieu gazeux, une deuxième distinction concernant les régimes de combustion des flammes peut se faire selon la nature de l'écoulement des gaz dans le milieu. En effet, deux types différents d'écoulements peuvent être identifiés, laminaire ou turbulent auquel s'ajoute un régime transitoire entre ces deux régimes.

Un écoulement laminaire peut être caractérisé par le fait qu'il soit organisé, prédictible et déterministe. En régime laminaire, les lignes de courant sont parallèles et les transferts de masse et d'énergie transversaux sont régis par des mécanismes diffusionnels à l'échelle moléculaire. Un écoulement turbulent, à l'inverse, présente un caractère désordonné caractérisé par des fluctuations de vitesse réparties le long du front de flamme. Cela signifie que deux « particules » proches l'une de l'autre à un moment t donné peuvent posséder des trajectoires très différentes et se retrouver très éloignées à un moment $(t+dt)$.

La turbulence est un phénomène qui apparaît assez brutalement lorsque la vitesse de l'écoulement augmente ou plutôt les gradients de vitesse dont il est le siège. Depuis la découverte de ce phénomène par Reynolds à la fin du XIX^{ème} siècle, on sait que la turbulence est due à l'instabilité de l'écoulement laminaire devant les petites perturbations expérimentales possibles, et que l'état turbulent est la situation non stationnaire vers laquelle tend l'écoulement instable.[2]

1.2.4 Conditions d'existence et de propagation d'une flamme

Après avoir vu comment définir les différents types de flammes et leurs modes de propagation, il est nécessaire de s'intéresser aux conditions d'existence et de propagation de ces dernières. En effet, pour avoir lieu, une combustion nécessite trois éléments : un combustible (par exemple : de l'hydrogène ou du méthane), un comburant (généralement l'oxygène de l'air) et une énergie d'inflammation. Cependant, la présence de ces trois paramètres ne crée pas systématiquement une combustion, d'autres phénomènes entrant en jeu.

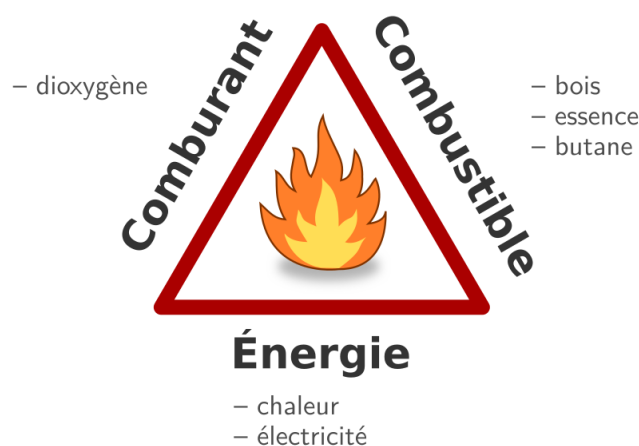


Figure 2: Triangle de feu

1.2.4.1 Les limites d'inflammabilité

La combustion d'un mélange ne peut se faire que si le combustible et le comburant sont dans certaines proportions. Les limites d'inflammabilité sont définies comme étant les pourcentages molaires minimum (on parle de limite inférieure d'inflammabilité : LII) et maximum (on parle de limite supérieure d'inflammabilité : LSI) du combustible en mélange avec le comburant, et éventuellement un diluant, pour lesquels la propagation d'une flamme est autonome. Elles sont déterminées de façons expérimentales [3].

Le principal facteur de l'existence des limites d'inflammabilité est la compétition entre deux processus antagonistes : la création et la perte de chaleur. Dans le cas où la perte de chaleur, contrôlée par les transferts thermiques est supérieure à la production de chaleur, contrôlée par la vitesse et la chaleur de réaction, alors la flamme ne peut se propager[3].

De manière générale, pour un combustible sont définies une limite inférieure et une limite supérieure. Cependant, certains combustibles tels que l'hydrazine peuvent, car se décomposant de manière exothermique, entretenir une flamme même dans un mélange pur. Ce composé ne possède donc pas de limite supérieure d'inflammabilité [4].

Il faut noter également qu'il n'est pas possible de définir des limites d'inflammabilité à des températures supérieures à la température d'auto-inflammation du mélange puisque, à cet instant, le mélange s'enflamme spontanément et que l'intervention d'une source d'inflammation est superflue. Il n'existe pas également de notion de flamme [4].

Dans le cas d'un mélange constitué de différents combustibles, Le Châtelier a proposé l'expression de la limite inférieure d'inflammabilité du mélange en fonction des limites inférieures d'inflammabilité de chaque composant et de la composition du mélange. Cette loi s'exprime sous la forme [5] :

$$L = \frac{100}{\sum_{i=1}^n \frac{x_i}{L_i}}$$

Équation 1: équations de calcul des limites d'inflammabilités

Avec : L : la limite d'inflammabilité (inférieure ou supérieure) du mélange ; x_i : le pourcentage molaire de l'espèce i dans le mélange et L_i : la limite d'inflammabilité (inférieure ou supérieure) du composé i pur.

Cependant, bien que cette relation donne de bons résultats lorsque le mélange est composé de combustibles de natures voisines (par exemple un mélange d'hydrocarbures ou un mélange hydrogène, monoxyde de carbone, méthane), de grands écarts peuvent être observés avec l'expérience lorsque les composés sont de nature chimique différente les uns des autres [6].

Plusieurs paramètres peuvent influencer les limites d'inflammabilité d'un combustible donné. Ces paramètres sont la direction de propagation, la température initiale, la pression initiale et la présence d'un diluant.

1.2.4.2 Point d'éclair

La température de point d'éclair est la température minimale à laquelle un combustible liquide émet assez de vapeurs pour permettre une courte inflammation en présence d'une flamme. Les vapeurs s'enflamment et s'éteignent aussitôt. Cette donnée est fondamentale pour évaluer l'inflammabilité d'un liquide et son classement selon les critères du Système Général Harmonisé (SGH) de Classification et d'étiquetage de produits chimiques.[6]

La connaissance de ce point nous permet de :

- ✓ Évaluation des risques pour la sécurité des liquides et semi-solides, y compris leur inflammabilité
- ✓ Classer ces matériaux en fonction de ces résultats.
- ✓ Pour évaluer le risque d'inflammabilité, l'analyse du point d'éclair est une méthode efficace et efficiente.
- ✓ Essentiellement, plus la température du point d'éclair d'une substance est basse, plus son risque d'inflammabilité n'est élevé.
- ✓ En classant les matériaux en fonction de ce risque, cela permet leur utilisation et leur stockage corrects et sûrs.
- ✓ S'il y a un changement de point d'éclair dans un matériau, cela peut indiquer qu'il contient des contaminants qui pourraient être volatils. Parfois, un matériau est frelaté par un autre, et le test du point d'éclair l'expose également.

1.2.4.3 Température auto-inflammation

La température d'auto-ignition d'une substance est la température minimale à partir de laquelle elle s'enflamme spontanément en l'absence de source d'inflammation externe, telle qu'une flamme ou une étincelle. L'augmentation de la température d'un mélange de combustible et d'oxydant (généralement de l'oxygène) peut conduire à une réaction de combustion. Quand la réaction se poursuit, le combustible et l'oxydant sont consommés, et la réaction ralentit. Afin de déterminer la température critique de combustion, une réaction d'ordre zéro est considérée. Le combustible et l'oxydant sont placés dans un réservoir fermé de volume fixe. Les propriétés des fluides sont considérées uniformes dans le volume de contrôle et constantes au cours du temps.[7]

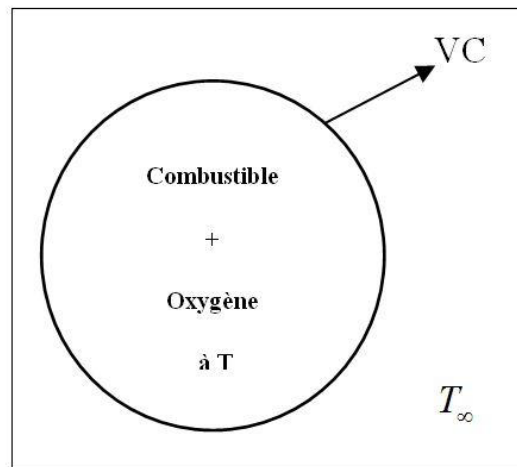


Figure 3: Auto-inflammation dans un système confiné

- ✓ La température d'auto-inflammation est utilisée pour spécifier des procédures de fonctionnement, de stockage et de manipulation sécuritaires pour les usines de traitement fonctionnant à température élevée.
- ✓ Peut être utilisé dans l'évaluation du risque d'incendie car cette méthode d'essai mesure la tendance de l'éprouvette à soutenir une combustion prolongée.

1.2.4.4 La limite inférieure et supérieure d'explosivité LIE et LSE

On appelle LIE (limite inférieure d'explosivité) la concentration minimale à laquelle une substance est inflammable ou explosive. En anglais, cette limite est appelée « *Lower Explosion Limit* » (LEL). Les concentrations en dessous de la limite inférieure d'explosivité ne sont en théorie pas explosives : le gaz n'est pas présent en quantités suffisantes pour s'enflammer, le mélange est trop pauvre. Une explosion n'est donc pas possible si le pourcentage de gaz présent dans la pièce est inférieur à ce pourcentage. Lors de mesures, il faut toujours veiller à se trouver sous les 10% de la limite inférieure d'explosivité ou LIE (selon le gaz de calibration de l'appareil de mesure. En général, il s'agit de CH₄ car ce gaz est le plus inflammable).

Il existe également une concentration maximale, appelée limite supérieure d'explosivité ou LSE (*Upper Explosion Limit, UEL*). Au-delà de 100% de la LSE, un mélange gazeux n'est pas explosif ou inflammable car il n'y a pas suffisamment d'oxygène présent pour que le gaz s'enflamme : le mélange est trop riche. Cette situation est toutefois extrêmement dangereuse. Si l'on ouvre une porte, de l'air pénétrera dans la pièce et fera chuter la concentration de gaz inflammable, qui se situera alors à la LSE. On se trouvera ainsi dans le domaine d'explosivité.

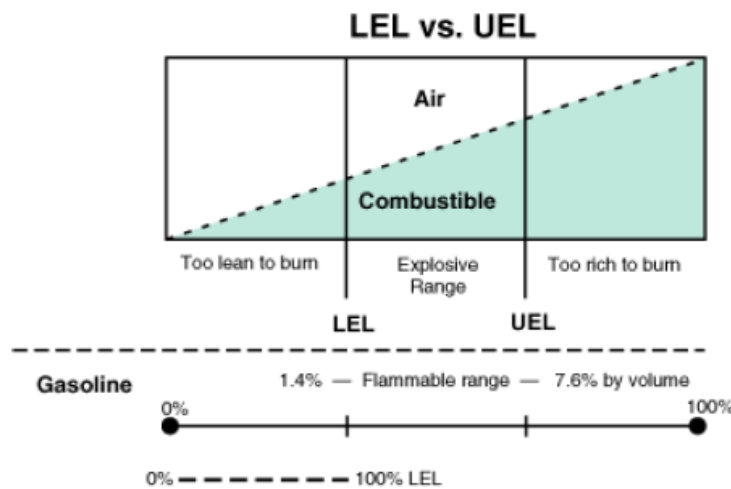


Figure 4: Mélange explosif entre LIE et LSE

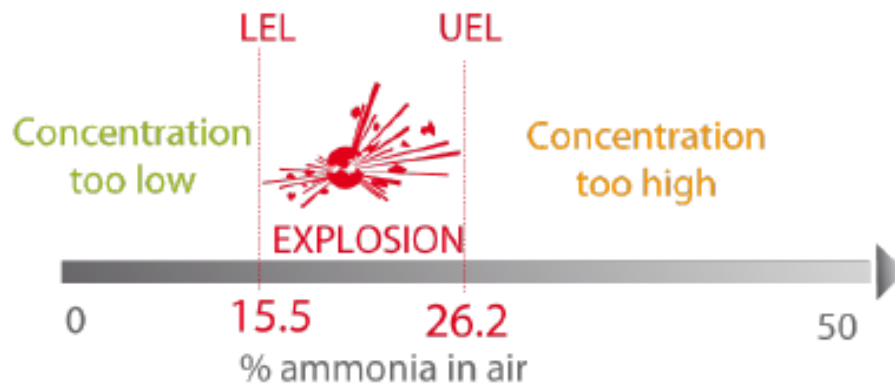


Figure 5: exemple de LIE et LSE de l'ammoniac

Tableau 1: Exemples des LIE et LES

Zone d'inflammabilité	LSE % Vol	LIE % Vol	Gaz inflammable
5,0 à 16,0%	16,0%	5,0%	Gaz naturel
2,3 à 13,0%	13,0%	2,3%	Acétone
1,7 à 9,5%	9,5%	1,7%	Propane
15 à 30%	30%	15%	Ammoniac
0,9 à 6,8%	6,8%	0,9%	Styrène
0,6 à 8,0%	8,0%	0,6%	Essence
1,3 à 8,5%	8,5%	1,3%	Butane
4,0 à 76%	76%	4,0%	Hydrogène
1,5 à 10,0%	10,0%	1,5%	LPG

4,0 à 46%	46%	4,0%	Hydrogène sulfuré
4,4 à 16,0%	16,0%	4,4%	Méthane

La zone d'inflammabilité de chaque gaz ou mélange gazeux se situe entre la LIE et la LSE.

Les gaz inflammables représentent un danger d'autant plus grand que la concentration à laquelle se situe la LIE est basse.

Le gaz naturel est explosif lorsque la concentration se situe entre 5,0 et 16,0%. Au-delà de 16,0%, il n'y a pas suffisamment d'oxygène pour qu'il s'enflamme. Cependant, si le mélange est dilué avec de l'air/de l'oxygène, il devient directement inflammable. Pour la concentration de gaz et la conversion en ppm, LIE et % Vol.

1.2.5 L'UVCE

Les explosions accidentelles UVCE (Unconfined Vapor Cloud Explosion) constituent un des événements les plus redoutés dès lors qu'est considérée la sécurité des activités associées aux gaz inflammables.

Ils peuvent être simplement définis par une explosion d'un nuage gazeux à l'air libre produisant des effets de surpression. Leur origine est le rejet de masses importantes de gaz inflammable (en phase gazeuse ou liquide) à partir des capacités de stockage, procédés ou tuyauterie. Différentes caractéristiques sont nécessaires pour que l'explosion génère des effets de surpressions.[8]

Ce type d'accident comprend généralement la succession d'étapes suivantes :

- **Premièrement** : le gaz rejeté doit être inflammable et sous des conditions convenables (température, pression).
- **Deuxièmement** : formation d'un nuage de taille suffisante avant l'inflammation (l'inflammation immédiate donne l'incendie, boule de feu, flammes mais pas de surpressions). Dans la majorité des accidents précédents concernant l'UVCE, l'inflammation se produit après 1 à 5 minutes du début de la fuite.
- **Troisièmement** : la présence d'une quantité suffisante du mélange (gaz-air) entre les limites d'inflammabilité du gaz concerné.
- **Quatrièmement** : inflammation du mélange.
- **Cinquièmement** : la vitesse de propagation des flammes à travers le nuage détermine le mode de l'explosion.
- **Sixièmement** : confinement

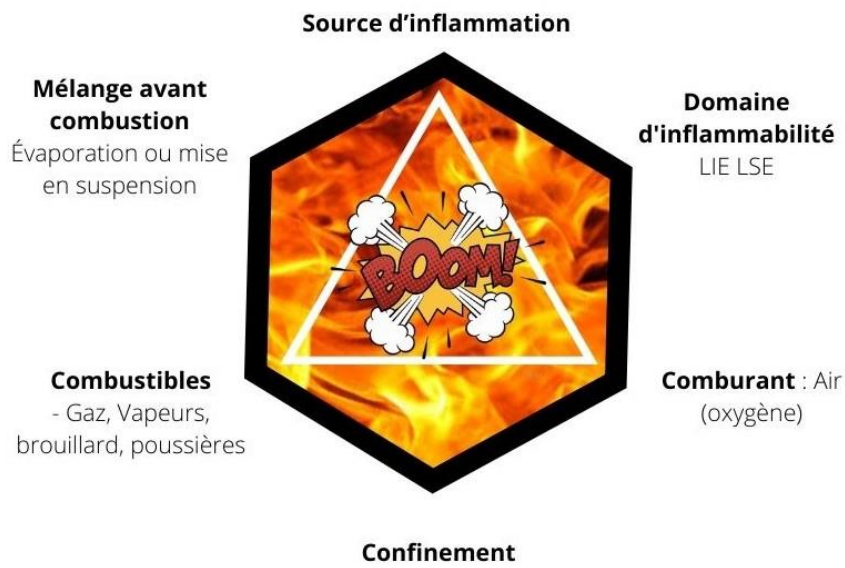


Figure 6: Hexagonal d'explosion

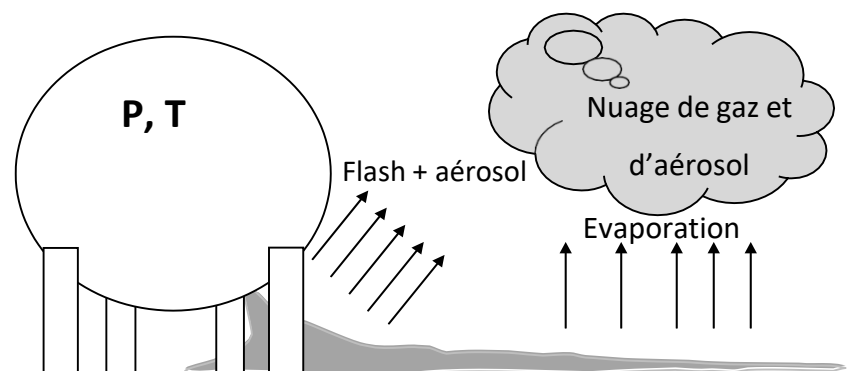


Figure 7 : Les phénomènes liés à une fuite de liquide

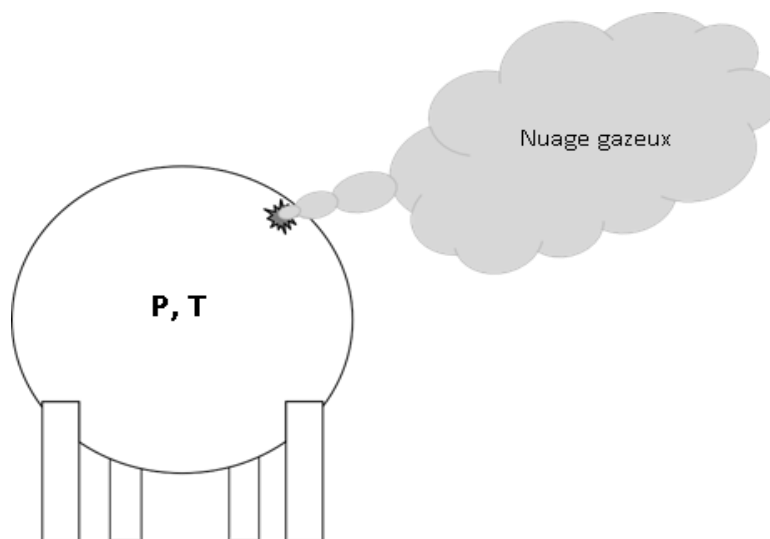


Figure 8: Une fuite au niveau de la phase gazeuse

La dispersion atmosphérique d'un produit rejeté accidentellement dépend essentiellement [8]:

- Des caractéristiques de la source d'émission (énergie cinétique, direction du rejet, densité du produit rejeté, durée de la fuite, conditions de la fuite...)
- Des conditions météorologiques comme la vitesse du vent, la stabilité de l'atmosphère, l'hygrométrie, la température ambiante
- Des conditions orographiques, c'est-à-dire essentiellement l'état de (rugosité) du sol qui varie selon qu'il s'agisse d'un champ cultivé, d'une forêt, d'une zone industrielle

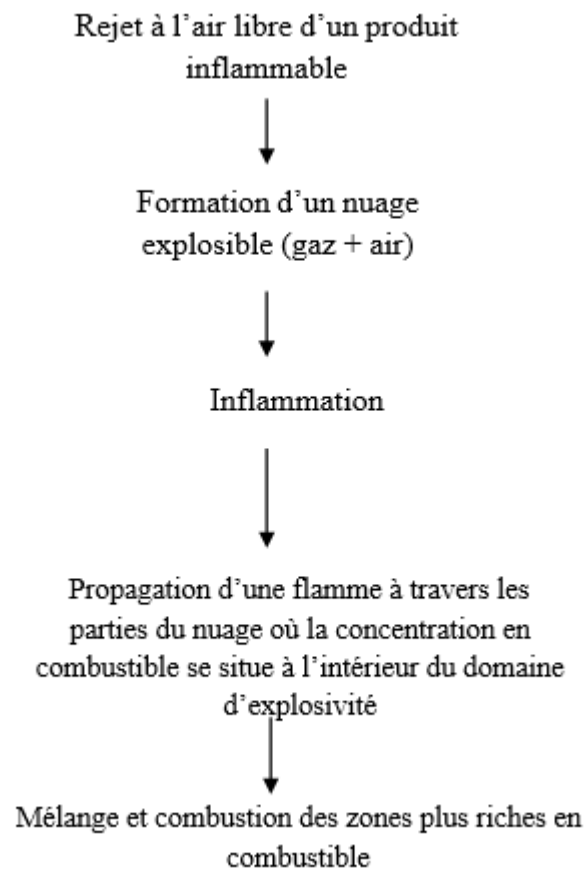





Figure 9: Principales étapes dans le déroulement d'une explosion accidentelle de gaz






1.2.6 Classification des Liquides inflammables [9]


Tableau 2: classification des produits inflammable.

Classification	Etiquetage	Critères de classification
Liquide inflammable Catégorie 1 H224 : liquide et vapeurs extrêmement inflammables	 Danger H224	Point d'éclair < 23°C Température d'ébullition ≤ 35°C
Liquide inflammable Catégorie 2 H225 : liquide et vapeurs très inflammables	 Danger H225	Point d'éclair < 23°C Température d'ébullition > 35°C
Liquide inflammable Catégorie 3 H226 : liquide et vapeurs inflammables	 Attention H226	23°C ≤ Point d'éclair ≤ 60°C

1.2.7 Classification des produits Explosives

Tableau 3 : Classification des produits explosives

1.1 	Matières ou objets présentant un risque d'explosion en masse. <i>(Exemple: le TNT)</i>
1.2 	Matières ou objets présentant un risque de projection, sans risque d'explosion en masse. <i>(Exemple: les obus militaires)</i>
1.3 	Matières ou objets présentant un risque d'incendie avec risque léger de souffle ou de projection ou des deux, sans risque d'explosion en masse. <i>(Exemple : les feux d'artifice)</i>
1.4 	Matières ou objets ne présentant pas de risque notable à l'extérieur de l'emballage en cas d'allumage ou d'amorçage durant le transport. <i>(Exemples : les mèches de sûreté d'explosifs et les balles ou cartouches d'armes à feu)</i>
1.5 	Matières très peu sensibles avec risque d'explosion en masse. <i>(Exemple : les explosifs de sautage de mines)</i>

	<p>Objets extrêmement peu sensibles sans risque d'explosion en masse. (<i>Exemples : les objets contenant des matières détonantes peu sensibles, les objets EEPS - explosifs extrêmement peu sensibles</i>)</p>
---	---

1.2.8 L'impact des produits inflammables/explosives [10]

1.2.8.1 Effets sur la santé

L'étendue et la gravité des lésions sont fonction de la puissance de l'explosion, de la distance qui sépare la victime du point d'explosion, du milieu dans lequel est survenue l'explosion (ouvert ou fermé) et de l'éventuel ajout de fragments de métal à un explosif. Les explosions en milieu fermé (bâtiments, véhicules) avec effondrement de structures avoisinantes s'accompagnent d'une mortalité et d'une morbidité plus élevées.

Le blast est un ensemble de lésions spécifiques faisant suite à un déplacement d'air soudain dû à une explosion. Les explosions peuvent provoquer 4 types de lésions : les lésions primaires liées à l'onde de choc, les lésions secondaires liées à la projection de débris, les lésions tertiaires liées au souffle de l'explosion et enfin les explosions quaternaires liées à la chaleur et au feu.

1.2.8.1.1 Lésions primaires par explosion

Ces lésions sont induites par l'onde de pression. Elles sont dues à des niveaux sonores élevés de courte durée (« bruit impulsionnel ») ou à l'onde de choc (« blast »). Les effets de l'onde de pression sur le corps diffèrent selon que l'explosion survient à l'air libre ou dans un milieu fermé. La plupart des lésions primaires par explosion surviennent en milieu fermé. Le barotraumatisme affecte essentiellement les organes contenant de l'air ou du gaz

- Déchirure des tympanes. Jusqu'à 80% des victimes en souffrent.
- Dommages pulmonaires. Surviennent chez la moitié des
- Rupture des alvéoles pulmonaires, hémorragies et œdème. L'œdème n'apparaît parfois que des heures après l'explosion (radiographie des exsudats en ailes de papillon).
- Perforations intestinales, avec péritonite en conséquence. Jusqu'à 4% des victimes en souffrent.

Les lésions primaires ne sont pas toujours directement visibles de l'extérieur alors qu'elles peuvent mettre la vie de la victime en danger.

1.2.8.1.2 Lésions secondaires par explosion

En vue de faire un plus grand nombre de victimes, des fragments de métal comme des écrous, des clous et des petites billes de métal sont souvent ajoutés à une bombe lors d'un attentat. En raison de leur grande énergie cinétique, ces fragments peuvent pénétrer profondément dans le corps. La projection de fragments du fait de la destruction de structures (bâtiments, meubles) fait également des dégâts. Ces dégâts peuvent prendre de nombreuses formes, allant des hématomes aux plaies perforantes en passant par le traumatisme contondant.

1.2.8.1.3 Lésions tertiaires par explosion

La victime est projetée au sol ou contre un objet par l'onde de choc. Comme pour les lésions secondaires, on observe ici des traumatismes contondants et des plaies perforantes :

1. le corps entier est projeté et heurte violemment des murs ou des structures, avec pour conséquence des ecchymoses et des fractures complexes ;
2. la différence d'accélération provoque l'arrachement de parties des extrémités (amputations traumatiques). Des lésions nerveuses ou vasculaires sont également possibles (étirements excessifs).

1.2.8.1.4 Lésions quaternaires par explosion

Ces lésions sont induites par la chaleur libérée, la naissance d'un incendie, les intoxications, les traumatismes par inhalation (par exemple, produits toxiques libérés), l'effondrement de bâtiments et l'aggravation d'affections déjà existantes.

1. La combustion rapide consomme une grande quantité de l'oxygène présent dans l'air ambiant. Les victimes peuvent ainsi mourir par suffocation. Une concentration en oxygène inférieure à 18 % Vol, et en particulier à 10 % Vol, entraîne un risque (aigu) de suffocation avec des lésions cérébrales permanentes graves dans les minutes qui suivent et la mort en l'absence d'intervention. La suffocation peut être due à la forte consommation d'oxygène lors de l'explosion. Autre risque : le travail dans un environnement pauvre en oxygène (inertisation) en vue de réduire autant que possible le risque d'incendie et d'explosion. Le danger de suffocation est présent dans de tels environnements, sauf s'il est fait usage d'équipements de protection respiratoire individuelle.
2. Brûlures dues aux flammes et à la chaleur. Les explosions peuvent provoquer des brûlures graves, parfois avec une issue fatale.
3. Évanouissement ou intoxication en raison d'une exposition à des gaz, des vapeurs, des brumes ou des substances toxiques. L'exposition à des substances toxiques peut avoir des effets locaux, aigus, irritants et corrosifs sur les voies respiratoires (bronchiolite), les poumons (œdème), les yeux et la peau et ainsi entraîner entre autres de graves problèmes respiratoires, oculaires et cutanés. Ces effets aigus sont notamment mentionnés sur les fiches chimiques, les fiches produit ou les fiches de données de sécurité (FDS) (*(Material) Safety Data Sheets* ou *(M)SDS* en anglais) de chaque substance toxique + produit de combustion après l'explosion. Par ailleurs, des effets systémiques surviennent également à long terme sur différents systèmes d'organes comme le système gastro-intestinal, le système nerveux, les reins, les organes hématopoïétiques (moelle osseuse) et les organes reproducteurs (effets reprotoxiques).

Les lésions importantes après une explosion sont des lésions pulmonaires, des lésions neurologiques, des lésions abdominales, des fractures/lésions osseuses et un Crush syndrome. Des lésions telles que des lésions oculaires, des fractures et des lésions intracrâniennes graves peuvent être la conséquence de mécanismes primaires, secondaires ou tertiaires

1.2.8.2 Effets sur l'environnement

Une explosion génère en quelques millisecondes une onde très puissante dont les deux composantes sont l'onde de pression et le souffle. L'onde de pression se propage dans toutes les directions depuis le lieu de l'explosion. Plus l'explosion est puissante, plus l'onde de pression est importante et sa portée grande. La puissance de l'explosion détermine notamment les dommages occasionnés et la distance jusqu'à laquelle ces dommages surviennent. L'explosion génère du feu et de la chaleur, qui peuvent ensuite engendrer un incendie à proximité ou plus loin.

L'environnement dans lequel survient une explosion détermine en partie l'ampleur des dégâts. Les ondes de pression en plein air sont relativement simples. À l'air libre, l'onde de pression peut se propager davantage parce qu'elle rencontre moins d'obstacles. En milieu ouvert, elle s'étend sous la forme d'une sphère dont la surface est proportionnelle au carré du rayon (la distance jusqu'au centre de l'explosion). L'énergie de l'onde de pression se propageant sur cette surface, l'onde de pression décroît proportionnellement au carré de la distance jusqu'à l'explosion. Dans une ville comptant beaucoup de bâtiments, l'onde de pression se propage moins, mais les dégâts peuvent être considérables. Les ondes de pression parmi des bâtiments sont relativement complexes car elles se répercutent et font l'objet d'interférences. Une explosion sous l'eau se propage beaucoup plus rapidement qu'une explosion dans l'air et occasionne souvent des lésions beaucoup plus graves aux victimes. En milieu fermé, une explosion entraîne une hausse de la pression, si bien que l'onde de pression se propage plus violemment à l'extérieur.

1.3 Stockage des composés Inflammables/Explosives

Le stockage est le placement intelligent des stocks afin de pouvoir retrouver facilement un ou des produits précis. Le stockage, aussi appelé entreposage, répond à des règles afin de :

- Garantir le maintien de la marchandise en bon état ;
- Optimiser l'espace ;
- Assurer la sécurité des salariés.

Un bon stockage permet de connaître à tout moment la quantité de marchandise disponible et mise à la vente.[11]

1.3.1 PLANIFICATION DU STOCKAGE

La planification du stockage permet d'avoir une vue d'ensemble de tous les aspects relatifs à la sécurité du lieu de stockage et d'identifier les lacunes éventuelles en matière de sécurité. Par ailleurs, cette étude préliminaire peut être utilisée pour la constitution du dossier requis par les autorités. Elle comporte les informations suivantes :

- Une description de la configuration des lieux et de l'environnement,
- La description de la structure des espaces de stockage, notamment du plan de protection incendie,

- Les mesures de prévention techniques et organisationnelles,
- L'établissement de zones pour les secteurs exposés au risque d'explosion, avec renvoi éventuel au document relatif à la protection contre les explosions,
- Le type de stockage et la définition des types de conteneurs à stocker,
- La nature et les quantités de produits à stocker[11].

1.3.2 ÉVALUATION DES RISQUES

Dans le cadre de l'évaluation des risques, il importe d'identifier tous les risques liés au stockage auxquels peuvent être exposés l'homme ou l'environnement. Les mesures de prévention à mettre en œuvre sont établies d'après les résultats de cette analyse. L'étude préliminaire de planification du stockage peut être utilisée comme support pour l'évaluation des risques.

1.3.2.1 Sources d'information

Les principales sources d'information pour l'évaluation des risques liés au stockage des produits chimiques sont les suivantes :

- Étiquetage,
- Fiche de données de sécurité (dernière version),
- Toute autre information fournie par le fabricant,
- Publications et bases de données des instituts et organismes de prévention,
- Littérature spécialisée.

1.3.2.2 Opérations et conditions d'exploitation à prendre en compte

Dans le cadre de l'évaluation des risques liés au stockage des produits chimiques, les aspects suivants doivent être pris en compte :

- Livraison et expédition de marchandises,
- Entrées en stock et sorties de stock,
- Stockage,
- Transport à l'intérieur du local de stockage,
- Élimination des produits chimiques déversés.

On accordera une attention particulière aux conteneurs vides non nettoyés et à ceux ne contenant plus que des quantités résiduelles de produits. En effet, s'il s'agit de liquides facilement inflammables, par exemple, des mélanges air-gaz explosifs peuvent se former à l'intérieur des conteneurs ; ils doivent donc être traités comme des conteneurs pleins, mais stockés à part et clairement identifiés. Si des produits chimiques sont conditionnés ou transvasés dans un local de stockage, ce dernier devient un poste de travail et doit donc répondre aux exigences correspondantes. Des mesures complémentaires s'imposent dans la plupart des cas.

1.3.2.3 Secteurs à risque d'explosion

En cas de risque de formation de mélanges d'air et de gaz, vapeurs, brouillards inflammables ou poussières combustibles, il importe, dans le cadre de l'évaluation des risques, de :

- Déterminer le risque de formation d'une atmosphère explosible,
- Réaliser un zonage des secteurs à risque d'explosion,
- Mettre en place des mesures de prévention[11].

1.3.3 EXIGENCES GÉNÉRALES APPLICABLES[11]

1.3.3.1 Lieux et espaces de stockage

Les produits chimiques ne doivent jamais être stockés dans des lieux où ils constituent une source de risques accrus pour les personnes. C'est le cas notamment des voies de circulation (cages d'escaliers, couloirs, issues et dégagements, passages, cours étroites, etc.).

Certains lieux ne sont pas adaptés au stockage : salles de repos, postes de contrôle, locaux sanitaires, infirmeries, abris de chantier, locaux d'habitation et locaux commerciaux, sous-sols d'habitations, etc.

1.3.3.2 Exigences applicables aux conteneurs et aux emballages

Les conteneurs et emballages de produits chimiques doivent présenter une résistance mécanique, thermique et chimique suffisante par rapport aux contraintes d'exploitation. Ils jouent un rôle déterminant pour la sécurité lors du stockage et du transport de produits chimiques. Ces conditions sont considérées comme remplies notamment si l'emballage / le conteneur satisfait aux exigences applicables au transport de matières dangereuses (emballage pour le transport selon l'accord relatif au transport international des marchandises dangereuses par route (ADR) et le règlement concernant le transport international ferroviaire des marchandises dangereuses (RID)).

Les produits chimiques doivent, dans la mesure du possible, être stockés dans leurs conteneurs d'origine. Dans le cas contraire, on veillera à ce que les conteneurs utilisés soient adaptés et dûment étiquetés. Les substances dangereuses doivent être stockées uniquement dans des emballages ou conteneurs fermés. Sur l'étiquette de chaque emballage doit figurer au minimum le nom du produit chimique. Les substances et mélanges classés comme dangereux doivent en outre pouvoir être identifiés comme tels (pictogramme de danger ou étiquette de transport, indications sur les principaux dangers). Les produits chimiques ne doivent pas être stockés dans des conteneurs dont la forme ou l'étiquetage peuvent faire croire qu'ils contiennent des produits alimentaires.

Les emballages et conteneurs comportant des flèches d'orientation doivent être entreposés conformément à ces indications.

1.3.3.3 Hauteur de stockage

La hauteur maximale des piles doit être choisie de façon à éviter tout risque lié à la chute des conteneurs. Les aspects suivants doivent être pris en compte :

- interdiction d'empiler certains conteneurs (GRV autoportants, par exemple),

- stabilité mécanique du conditionnement placé en bas de la pile compte tenu de la charge supportée (notamment dans le cas des cartons),
- stabilité mécanique du conditionnement placé en haut de la pile en cas de chute (notamment dans le cas des bouteilles),
- risque auquel sont exposés les opérateurs en cas de basculement de la pile (notamment en cas de dommage mécanique affectant le conditionnement du bas). Il est recommandé de limiter à trois mètres la hauteur des piles.

1.3.3.4 Plan de mise au stock /inventaire des stocks

Pour gérer les stocks, il convient d'élaborer un plan de mise au stock indiquant précisément l'emplacement et les quantités des différents produits chimiques stockés. Cela permet, en cas de fuite ou d'incendie, de connaître rapidement la nature des produits stockés et leurs quantités exactes. Le plan de mise au stock doit comporter les informations suivantes :

- Noms des produits stockés,
- Classification des produits ou informations sur leurs propriétés dangereuses,
- Quantités maximales admissibles (données mises à jour régulièrement), avec organisation des produits par critères de risque (classe de danger, type de substances, par exemple),
- Indication des secteurs ou compartiments de stockage où se trouvent les différents produits chimiques.

1.3.3.5 Compatibilités de stockage

Les produits chimiques ne doivent pas être stockés au même endroit si cela induit des risques accrus. C'est le cas, par exemple, des produits qui

- Nécessitent l'usage d'agents extincteurs différents,
- Exigent des conditions de température différentes,
- Peuvent, en cas de fuite, réagir les uns avec les autres (avec formation de gaz inflammables ou toxiques) ou déclencher un incendie.

Les médicaments, les produits destinés à l'alimentation humaine ou animale, les cosmétiques, les boissons et le tabac ne peuvent pas être entreposés dans la même pièce que des produits toxiques ou que des produits cancérigènes, mutagènes ou toxiques pour la reproduction. Pour les autres produits chimiques, il convient de respecter une distance de sécurité de deux mètres au moins. Lorsque des produits chimiques sont stockés au même endroit, la détérioration ou l'ouverture inopinée des emballages peut provoquer le mélange de produits pouvant réagir dangereusement les uns avec les autres. Exemples :

- Les produits chimiques peuvent réagir les uns avec les autres en formant des gaz toxiques (acides et chlorites, par exemple).
- Les acides et les bases peuvent réagir violemment et entraîner un dégagement de chaleur et des projections.
- En présence les uns des autres, les produits inflammables et les produits oxydants (combustibles) peuvent donner lieu à des incendies ou à des explosions. Ces produits

chimiques « incompatibles » doivent être stockés séparément. Il faut mettre en place des mesures visant à empêcher tout contact en cas de fuite. Selon la quantité de produits stockés, il peut s'agir de placer les conteneurs dans des bacs de rétention séparés, ou dans des secteurs distincts séparés par une cloison résistant au feu. Dans le domaine de la logistique, les dispositions de la réglementation sur le transport des matières dangereuses relatives aux compatibilités de chargement doivent être respectées.

1.3.3.6 Durée de stockage et règles de déstockage

En raison de la faible stabilité au stockage de certains produits chimiques et de la durée de vie limitée des emballages et conteneurs, les stocks de produits chimiques doivent faire l'objet d'une gestion rigoureuse. Les quantités stockées ne devraient pas excéder les besoins. Par ailleurs, on appliquera la règle du « premier entré, premier sorti ».

1.3.4 Transfer de chaleur

L'énergie thermique est l'énergie cinétique d'agitation microscopique d'un objet, qui est due à une agitation désordonnée de ses molécules et de ses atomes. Les transferts d'énergie thermique entre corps sont appelés transferts thermiques. Ils jouent un rôle essentiel en thermodynamique. Deux corps ayant la même température sont dits en équilibre thermique. Si leur température est différente, le corps le plus chaud cède de l'énergie au corps le plus froid : il y a alors transfert de chaleur.

Il est noté aussi que les paramètres de transfert de chaleur ont un impact sur la propriété de l'inflammabilité en stockage donc cette section est un aperçu sur le mode d'influence.

Il existe trois modes de transfert d'énergie thermique : **la conduction, la convection et le rayonnement thermique**. La conduction se produit lorsque les flux de chaleur passent d'un corps à un autre, par contact. On parle de convection lorsqu'un corps qui se déplace emmène avec lui, la chaleur qu'il contient. Ce mode de transfert implique un déplacement de matière dans le milieu. La matière est alors « *advectée* » par au moins un fluide. Enfin, le rayonnement – ou radiation – correspond à l'ensemble des corps qui émettent de la lumière et sont eux-mêmes chauffés par la lumière qu'ils absorbent. C'est le cas des rayons du soleil.

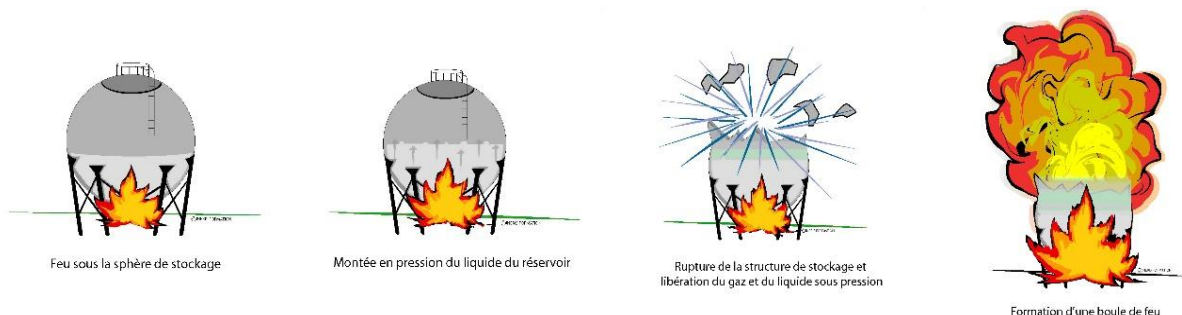


Figure 10: influence de surchauffe sur une sphère

1.3.5 CONTRÔLES

Le fonctionnement, la fiabilité et l'efficacité des installations de stockage doivent être vérifiés lors de la mise en service, puis à intervalles réguliers. Au titre des mesures organisationnelles, il convient en outre de procéder à des contrôles de fonctionnement quotidiens. Exemples :

- Inspections visuelles visant à vérifier que les orifices de ventilation ne sont pas endommagés,
- Contrôles auditifs visant à détecter une fuite goutte à goutte ou un écoulement de produits.

Pour vérifier l'état et le fonctionnement des équipements, on pourra utiliser des listes de contrôle[11].

Tableau 4: les points de contrôle des équipements.

Équipement	Exemples de points à vérifier
conteneurs de stockage	intégrité et étanchéité
installations de stockage	respect des charges maximales par alvéole et par travée pour les rayonnages où sont stockées des matières dangereuses, intégrité des étagères
équipements de rétention	intégrité des bacs
équipements d'élimination	étanchéité et résistance à la corrosion des conteneurs de solvants usagés
installations de ventilation	intégrité des conduits de ventilation et des systèmes de détection

1.4 Revue sur les accidents dans les lieux de stockage

1.4.1 Incendie dans un entrepôt de produits phytosanitaires :

En pleine nuit, pendant un week-end de jour férié, un feu se déclare dans une halle d'un entrepôt de phytosanitaires. L'incendie est découvert tardivement. Les secours internes sont en action depuis 20 min quand des pompiers de sites voisins interviennent en renfort. Au total, 200 pompiers sont mobilisés. Les flammes hautes de 80 m sont visibles à plus de 10 km.

Des mercaptans dans les fumées entraînent une odeur d'œuf pourri. Le bassin de rétention aménagé sur le site ne pouvant contenir que 50 m³ d'effluents, 10 000 m³ d'eaux d'extinction

s'écoulaient pendant 28 h par le réseau des eaux usées dans le RHIN qui se teinte en rose. 30 t de produits toxiques (organo-phosphorés et organo-mercuriels) anéantissent toute vie aquatique sur plus de 250 km. 14 personnes incommodées par les émanations gazeuses sont soignées à l'hôpital.

Le délai entre le début du sinistre et l'alerte des bâlois et des pays riverains (3 h après le début de l'incendie) indignent l'opinion publique. Suite au sinistre, les centres opérationnels définissent une procédure locale. Le lendemain, les ministres de l'Environnement de la France, Allemagne et Suisse se réunissent à Zurich pour convaincre la Suisse d'adopter une législation similaire à la directive SEVESO et de financer la restauration du fleuve. La Suisse adopte une telle législation, renforçant ainsi la sécurité des sites industriels et améliorant les échanges d'informations entre pays riverains en cas d'accident et notamment de pollution chimique. L'année suivante, un plan ambitieux de reconquête de la qualité du fleuve est mis en place et 6 centrales d'alerte surveillent en continu un tronçon du RHIN et 2 autres pour MOSELLE.

Le coût des mesures de nettoyage, décontamination ou réhabilitation de l'environnement dépasse les 257 MF, soit 39 M€. Selon les autorités, le sinistre aurait pour origine l'inflammation d'une palette de bleu de Prusse (ferrocyanure ferrique), produit utilisé en agrochimie et en viticulture. Des essais réalisés par l'exploitant montrent que cette poudre bleue foncée à base de sels de fer et de ferrocyanure de potassium, au point éclair relativement bas (230 °C), peut se consumer plusieurs heures sans flamme et sans odeur avant de s'enflammer.

Le bleu de Prusse faisait l'objet d'un stockage particulier, les palettes étant emballées dans un plastique thermo-rétractable chauffé avec un pistolet spécial. L'opération était à réaliser à l'extérieur et suivie d'une demi-journée d'exposition au grand air, afin de permettre d'identifier un éventuel début de combustion. Les palettes ne devaient par ailleurs pas être stockées à côté d'autres produits toxiques / inflammables dans l'entrepôt.

Ces consignes n'avaient pas été respectées. L'avant-veille de l'accident, 10 t de bleu de Prusse avaient été emballées sous la halle, avec un thermoformage réalisé à 30 cm. Le produit avait ensuite été directement stocké près de 23 t d'insecticides et de 60 t d'herbicides, très inflammables et toxiques.

La configuration des installations de stockage a favorisé la propagation rapide du sinistre : précarité du recoupement intérieur du bâtiment, présence inopportune de palettes de bois dans les allées réduisant la distance entre la halle sinistrée et les autres...

Suite à l'accident, l'exploitant prend les mesures suivantes :

- Renforcement de la surveillance des stockages, en particulier la nuit et le week-end ;
- Réduction des quantités stockées (division par 4 des quantités autorisées dans chaque cellule de l'entrepôt, réduction d'1/3 des quantités de produits agrochimiques) ;
- Réduction de 60% des quantités de pesticides et insecticides produits ;

- Classification plus fine des produits et séparation des stockages en fonction des caractéristiques de dangers de produits ;
- Arrêt de l'utilisation de plusieurs substances dangereuses (phosgène, mercure...) ;
- Amélioration des procédures d'urgence (réduction des délais d'intervention par modification du système d'alarme...) ;
- Augmentation des capacités de rétention ;
- Mise à disposition hebdomadaire de l'état des stocks auprès des services de secours
- Nouvelle organisation sécurité / environnement à l'échelle du groupe industriel avec des renforts humains et matériels par division opérationnelle[12].

1.4.2 Rupture d'un réservoir de stockage de pétrole brut

Dans le dépôt d'une raffinerie, un bac de pétrole brut (D2) se vrille vers 18h35. En 15 minutes, les 37 000 m³ qu'il contient se déversent sur 1 m d'épaisseur dans la cuvette de rétention de 4 ha. Malgré ses murs en terre de plusieurs m de haut, 3 m³ de pétrole s'échappent de la rétention par effet de vague et polluent un fossé du polder à l'extérieur du terminal pétrolier.

Les autorités déclenchent le plan catastrophe et les secours interviennent massivement dans un premier temps pour recouvrir la rétention de mousse (214 t fournies par la raffinerie, les secours et des entreprises extérieures). L'opération est abandonnée du fait de l'étendue de la rétention et du vent soutenu qui permet toutefois de réduire le risque d'explosion. Le produit présent dans les bacs est envoyé vers la raffinerie et le contenu de la cuvette est transféré en 2 jours dans 3 réservoirs du site via la pomperie d'évacuation des eaux.

Les habitants sont invités à fermer portes et fenêtres en raison de fortes odeurs de pétrole. A partir du 28/10, les odeurs sont atténuées grâce à une couche de sable déversée sur la cuvette. Le bac D2, penché et dont les fondations ont été partiellement emportées, est soutenu à l'aide de 4 grues. Grâce à la présence d'une couche d'argile, le sol de la rétention est pollué sur 0,1 à 1 m d'épaisseur. Les coûts de dépollution du site seront compris entre 5 et 20 Millions d'euros. Aucune conséquence humaine n'est à déplorer. Une rigole de 35 m de long sur 20 cm de large s'était formée dans le fond du bac à 1,5 m de sa paroi, empêchant localement l'eau de s'évacuer par les drains, créant une forte corrosion interne et affinant la tôle à l'extrême. En effet, lors du 1er test hydrostatique, le lit de sable des fondations se compacte un peu plus et une partie du sable s'infiltré entre les grosses pierres de la fondation, provoquant la formation d'un sillon creux. La rigole s'est formée au droit de ce sillon par déformation des tôles de fond. Le 25/10 une petite fuite est apparue, saturant progressivement en pétrole le sable compacté sous le bac et provoquant la ruine du bac.

Une inspection a révélé que ce phénomène se retrouvait sur tous les bacs du dépôt : le réservoir D2 est démantelé, les autres sont réparés et leur stabilité vérifiée. L'exploitant applique une couche de revêtement protecteur pour les prémunir de la corrosion et analyse le caractère corrosif de l'eau décantée dans les bacs de pétrole brut. Il renforce ses contrôles : réalisation de mesures par émissions acoustiques entre 2 inspections internes des réservoirs avec cartographie

de l'épaisseur du fond sur toute sa surface ("floor scan") en cas de doute. Une détection des fuites (avec alarme) est mise en place par mesure de niveau dans les bacs de brut et une étude est lancée sur la faisabilité d'une détection d'hydrocarbures sous les réservoirs[13].

1.5 Cadre réglementaire sur les composés chimiques dangereux (inflammables)

1.5.1 Réglementation Algérienne Concernant Les Substances :

Tableau 5: JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE N°04 28 Dhou El Kaada 1425, 9 janvier 2005

Art.1	En application des dispositions de l'article 10 de la loi n°88-07 du 26 janvier 1988, susvisée, le présent décret a pour objet de : Définition des prescriptions particulières de sécurité applicables aux substances, produits ou préparations dangereuses fabriqués localement ou importés afin d'assurer aux travailleurs des conditions de prévention contre les risques professionnels en milieu de travail.
Art.4	— Définition des catégories relatives aux substances, préparations ou produits dangereux est déterminée par arrêté du ministre chargé du travail et du ou des ministres concernés.
Art.5	— Les emballages des substances, produits ou préparations dangereuses doivent être solides, étanches et appropriés.
Art.6	— Sans préjudice des dispositions législatives et réglementaires en vigueur, toutes les substances, produits ou préparations dangereuses doivent être étiquetés et marqués de manière à permettre leur identification et fournir les informations essentielles au sujet : — de leur nom chimique ; — de leur désignation ou de leur nom commercial ; — de leur classification ; — de leur symbole d'identification ; — des dangers qu'ils présentent ; — des conseils de prudence en matière de sécurité.
Article. 7	—Les caractéristiques du marquage et de l'étiquetage, ainsi que les conditions auxquelles doivent satisfaire les récipients, sacs ou enveloppes contenant lesdites substances, produits ou préparations dangereuses seront définis par arrêté du ministre chargé du travail et du ou des ministres concernés
Article .8	—Le stockage doit être entouré de précautions particulières destinées à préserver les travailleurs, les biens et l'environnement, des risques qui s'y rattachent selon les règles et les normes en la matière, conformément à la réglementation en vigueur.

Article.10	Une fiche de données de sécurité comportant les informations essentielles détaillées sur l'identification des substances, produits ou préparations dangereuses, leur fournisseur, leur classification, les dangers qu'ils présentent, les précautions de sécurité et les procédures d'urgence à prendre doit être fournie aux institutions et à l'organisme national compétent en matière d'hygiène et de sécurité, par les organismes employeurs à charge pour ces employeurs de l'établir par leurs soins ou de l'exiger de leurs fournisseurs.
Article.11	— Les quantités de substances, produits ou préparations dangereuses, utilisées pour les besoins de production sur les lieux de travail seront limitées aux quantités quotidiennement nécessaires.

Tableau 6: Décret exécutif n° 07-144 du 2 Joumada El Oula 1428 correspondant au 19 mai 2007 fixant la nomenclature des installations classées pour la protection de l'environnement.

Art. 1	— En application des dispositions de l'article 23 de la loi n° 03-10 du 19 Joumada El Oula 1424 correspondant au 19 juillet 2003, susvisée, le présent décret a pour objet de fixation de la nomenclature des installations classées pour la protection de l'environnement.
Art. 2	— La nomenclature des installations classes pour la protection de l'environnement est une classification qui comporte : A - L'attribution d'un numéro de rubrique à quatre chiffres, structuré comme suit: - Le premier chiffre représente la substance utilisée ou l'activité ; - Le second chiffre représente la catégorie de danger (très toxique, toxique, inflammable, comburante, explosible, corrosive et combustible) ou la branche d'activité. Les deux derniers chiffres représentent le type d'activité. B - La désignation de l'activité de l'installation classée ; C - L'identification du régime d'autorisation ou de déclaration, conformément aux dispositions du décret exécutif n° 06-198 du 4 Joumada El Oula 1427 correspondant au 31 mai 2006, susvisé ; D - La détermination du rayon d'affichage de l'installation classée ; E - Les documents à joindre à la demande d'autorisation d'exploitation des établissements classés à savoir, selon le cas, l'étude d'impact sur l'environnement, l'étude de danger, la notice d'impact sur l'environnement et le rapport sur les produits dangereux.

Tableau 7: Arrêté interministériel du 13 Safar 1437 correspondant au 25 novembre 2015 fixant la liste et la classification des matières et produits chimiques dangereux.

Art.1	En application des dispositions de l'article 2 du décret exécutif n° 03-451 du 7 Chaoual 1424 correspondant au 1er décembre 2003, modifié et complété, susvisé et sur proposition du comité technique des matières et produits chimiques
--------------	--

	dangereux, le présent arrêté a pour objet de fixer la liste et la classification des matières et produits chimiques dangereux.
Art. 2	La liste citée à l'article 1er, est annexée à l'original du présent arrêté, elle indique pour chaque matière ou produit chimique dangereux son numéro d'identification selon la classification de l'Organisation des Nations-Unies et sa classe de risque principal telle que définie à l'article 3.

Tableau 8: Décret exécutif n° 03-452 du 7 Chaoual 1424 correspondant au 1er décembre 2003 fixant les conditions particulières relative au transport routier de matières dangereuses

Art.1	— En application des dispositions de l'article 38 de la loi n ° 01-13 du 17 Joumada El Oula 1422 correspondant au 7 août 2001, susvisée, le présent décret, a pour objet de définir les conditions particulières relatives au transport routier de matières dangereuses.
Art. 2	— Il est entendu, au sens du présent décret, par la définition des termes suivant : Matières dangereuses, Transport de matières dangereuses, Emballage, Colis
Art. 3	— Les dispositions du présent décret s'appliquent au transport de matières dangereuses telles que définies ci-dessus. Elles s'appliquent également aux opérations annexes ou connexes au transport des matières dangereuses, telles que la conception des emballages, leur entretien, la préparation des colis, leur acheminement et leur entreposage sur le véhicule automobile
Art. 4	— Les matières dangereuses, visées à l'article 2, sont rangées en neuf (9) classes énumérées, réparties en fonction de leurs caractéristiques propres ainsi que de la nature des dangers qu'elles présentent
Art. 5	— Le transport de matières dangereuses est soumis à une autorisation préalable du ministre chargé des transports. Les conditions et modalités de délivrance de l'autorisation, sont définies par arrêté conjoint des ministres chargés des transports, de la défense nationale, de l'intérieur et des collectivités locales et de l'environnement.
Art. 6	— Chaque matière dangereuse transportée doit être contenue dans un emballage approprié, selon la classe dans laquelle elle est rangée.
Art. 9	— Tout colis renfermant une matière dangereuse doit comporter d'une façon apparente des étiquettes indélébiles et bien lisibles destinées à identifier, de l'extérieur la nature de la matière dangereuse et le/ou les dangers qu'elle présente afin d'attirer l'attention des différents intervenants, en cours de manutention et de transport, sur les dispositions et précautions à prendre.

Art. 21	<p>— Le transport routier de matières dangereuses obéit aux dispositions de la loi n° 01-14 du 29 Joumada El Oula 1422 correspondant au 19 août 2001, susvisée, et aux règles particulières de circulation de chaque classe de matières dangereuses concernant :</p> <ul style="list-style-type: none"> — la capacité des conducteurs et des convoyeurs, — la vitesse de circulation, — la composition des convois, — l'escorte, — l'itinéraire, l'origine, le lieu de chargement, la destination et le lieu de déchargement des produits, — le stationnement, la surveillance, — les horaires d'évolution, — les équipements sensibles.
----------------	--

Tableau 9: Décret relative aux hydrocarbures

Décret	réf	date	Texte
Décret exécutif	03-451	7 Chaoual 1424 du 1er décembre 2003	définissant les règles de sécurité applicables aux activités portant sur les matières et produits chimiques dangereux ainsi que les récipients de gaz sous pression.
Décret exécutif	08-312	5 Chaoual 1429 du 5 octobre 2008	fixant les conditions d'approbation des études d'impact sur l'environnement pour les activités relevant du domaine des hydrocarbures
Décret exécutif	14-94	2 Joumada El Oula 1435 du 4 mars 2014	fixant les procédures d'obtention des autorisations requises pour la construction des ouvrages de transport par canalisation des produits pétroliers et de leur exploitation.
Décret exécutif	14-349	15 Safar 1436 du 8 décembre 2014	fixant les conditions de mise en conformité des installations et des équipements relevant des activités hydrocarbures.
Décret exécutif	15-09	23 Rabie El Aouel 1436 du 14 janvier 2015	fixant les modalités d'approbation des études de dangers spécifiques au secteur des hydrocarbures et leur contenu

Décret exécutif	15-76	3 Joumada El Oula 1436 du 22 février 2015	fixant les procédures de contrôle et de suivi de la construction et des opérations, applicables aux activités de transport par canalisation des hydrocarbures.
Décret exécutif	05-08	27 Dhou El Kaada 1425 du 8 janvier 2005	relatif aux prescriptions particulières applicables aux substances, produits ou préparations dangereuses en milieu de travail

1.5.2 LEGISLATION EUROPEENNE CONCERNANT L'ATEX

DIRECTIVE ATEX « CONSTRUCTEUR » (94/9/CE)

Cette directive, « appareils et systèmes de protection destinés à être utilisés en atmosphère explosible » [82], adoptée le 23 mars 1994, concerne le rapprochement des législations des Etats membres de la Communauté Européenne.

Comme la précédente, il s'agit d'une directive « nouvelle approche » destinée à favoriser le libre échange des marchandises au sein de la Communauté, ce qui lui confère parfois l'appellation de directive ATEX 100A (fondée sur l'ancien article 100A du Traité de Rome). Elle prévoit l'harmonisation des exigences essentielles de santé et de sécurité, figurant à l'annexe II de cette directive, ainsi que des procédures de vérification de la conformité, et introduit le marquage « CE » pour les appareils et systèmes de protection destinés à être utilisés en atmosphère explosible.

La directive 94/9/CE prévoit la classification des appareils en deux groupes

Groupe I : comprend les appareils destinés aux travaux souterrains des mines,

Groupe II : comprend les appareils destinés à être utilisés dans d'autres lieux susceptibles d'être mis en danger par des atmosphères explosibles.

Au sein de chaque groupe, plusieurs catégories de matériels sont définies, en fonction de leur utilisation :

Catégorie 1 : appareils conçus pour assurer un très haut niveau de protection,

Catégorie 2 : appareils conçus pour assurer un haut niveau de protection,

Catégorie 3 : appareils conçus pour assurer un niveau normal de protection (cette catégorie ne concerne que le groupe II).

La directive 94/9/CE impose des exigences essentielles de sécurité et de santé pour les appareils non électriques destinés à être utilisés en atmosphère explosible, ainsi que pour les appareils destinés à être utilisés dans des environnements explosibles en raison de la présence de poussières.

Elle s'applique également aux systèmes de protection et aux dispositifs destinés à être utilisés en dehors d'atmosphères explosibles mais qui sont nécessaires ou qui contribuent au fonctionnement sûr des appareils et systèmes de protection au regard des risques d'explosion.

Application parallèle des directives « ATEX constructeur » et « machine »

La directive 94/9/CE est une directive spécifique au sens de l'article 1er, paragraphe 4, de la directive « machine ». Elle contient des exigences très spécifiques et détaillées visant à éviter les dangers dus à des atmosphères explosibles, tandis que la directive sur les machines ne contient que des exigences très générales en ce qui concerne les explosions.

En ce qui concerne la protection contre l'explosion dans une atmosphère explosible, c'est la directive 94/9/CE qui doit être appliquée. En revanche, les exigences de la directive « machine » doivent être appliquées quant aux autres risques présentés par les machines.

DIRECTIVE ATEX « UTILISATEUR » (1999/92/CE)

La directive ATEX 1999/92/CE [87], adoptée le 16 décembre 1999, concerne les prescriptions minimales visant à améliorer la protection en matière de sécurité et de santé des travailleurs susceptibles d'être exposés au risque d'atmosphères explosives.

Cette directive « sociale », encore appelée ATEX 118A, est la 15ème directive particulière de la directive cadre 89/391/CEE décrite ci-dessus. 92 / 160.

Elle impose à l'employeur d'évaluer les risques d'explosion en tenant compte de la probabilité d'occurrence d'atmosphères explosibles, de la probabilité d'apparition des sources d'inflammation, des substances utilisées, des procédés et de leurs interactions éventuelles dès l'installation des équipements et enfin de l'étendue des conséquences prévisibles. Les risques d'explosion doivent être appréciés globalement.

DIRECTIVE ATEX (2014/34/UE) :

Concerne les appareils et les systèmes de protection destinés à être utilisés en atmosphère explosible.

Le terme appareils englobe les machines, les matériels, les dispositifs fixes ou mobiles, les organes de commande, l'instrumentation et les systèmes de détection et de prévention qui, seuls ou combinés, sont destinés à la production, au transport, au stockage, à la mesure, à la régulation, à la conversion d'énergie ou à la transformation de matériau et qui, par les sources potentielles d'inflammation qui leur sont propres, risquent de provoquer le déclenchement d'une explosion.

Les systèmes de protection sont les dispositifs, autres que les composants des appareils, dont la fonction est d'arrêter immédiatement les explosions naissantes ou de limiter la zone affectée par une explosion et qui sont mis à disposition séparément sur le marché comme systèmes à fonction autonome.

La directive prévoit notamment des obligations pour les fabricants et donne les exigences essentielles auxquelles doivent satisfaire les appareils et les systèmes de protection ainsi que les procédures d'évaluation de conformité.

Arrêté du 22/09/21 modifiant les arrêtés ministériels du 24 septembre 2020 et du 3 octobre 2010

Relatifs au stockage de liquides inflammables, exploités au sein d'une installation classée pour la protection de l'environnement qui a pour but de définir l'ensemble des prescriptions

applicables au stockage de liquides inflammables en récipients mobiles au sein d'un site soumis à autorisation.

1.5.3 Réglementation internationale

Tableau 10 : Normes ISO sur les produits inflammables

Référence	Intitulé
EN ISO 1516	Essai de point d'éclair de type passe/ne passe pas - Méthode à l'équilibre en vase clos
EN ISO 1523	Détermination du point d'éclair - Méthode à l'équilibre en vase clos
EN ISO 2719	Détermination du point d'éclair – Méthode de Pensky-Martens en vase clos
EN ISO 3679	Détermination du point d'éclair – Méthode rapide à l'équilibre en vase clos
EN ISO 3680	Essai de point d'éclair de type passe/ne passe pas – Méthode rapide à l'équilibre en vase clos
EN ISO 13736	Produits pétroliers et autres liquides – Détermination du point d'éclair – Méthode Abel en vase clos
NF M07-036	Détermination du point d'éclair – Vase clos Abel-Pensky
Disposition permettant de ne pas classer un liquide en catégorie 3	Il n'est pas nécessaire de classer les liquides ayant un point d'éclair supérieur à 35 °C dans la catégorie 3 si des résultats négatifs ont été obtenus lors de l'essai L.2 de combustion entretenue du Manuel d'épreuves et de critères des Nations unies, troisième partie, section 32, paragraphe 32.5.2 (Recommandations relatives au transport des marchandises dangereuses). Cet essai est destiné à déterminer si un liquide entretient la combustion lorsqu'il est chauffé conditions définies par l'épreuve L.2 et exposée à une flamme.

NFPA 30

Parle de :

Stockage de liquides dans des conteneurs.

Stockage de liquides dans des conteneurs de Bâtiments isolés non protégés.

Casiers de stockage de matières dangereuses.

Stockage extérieur.

Stockage de liquides dans des réservoirs avec exigences pour tous les réservoirs de stockage.

Stockage de liquides dans des réservoirs de stockage hors sol.

Stockage de liquides dans des réservoirs souterrains.

Construction de bacs de stockage.

1.6 Conclusion

Dans ce chapitre qui représente une partie de la théorie de notre mémoire une présentation de différentes notions sur la flamme, les types de flamme, les propriétés d'inflammabilité et d'explosivité. Un aperçu sur le stockage et revue sur les accidents survenus puis la réglementation applicable algérienne et international ont été discutées. La prochaine partie (chapitre 2) sera dédiée aux notions des risques et les méthodes/outils d'analyse développer pour mieux maîtriser ces risques.

**CHAPITRE 2 : EVALUATION ET
GESTION DES RISQUES
D'INFLAMMABILITE ET
D'EXPLOSION**

2.1 Introduction

Le choix de la méthode ou des méthodes/outils nécessaires pour réaliser l'analyse des risques est primordial. Il n'existe pas une méthode unique miraculeuse qui permettrait à toutes les entreprises de toutes tailles et de tous secteurs d'analyser leurs risques afin de déterminer les mesures de prévention. Il existe donc des méthodes avec des objectifs différents, selon le besoin de l'entreprise dans la mise en place de son système dynamique de gestion des risques.

Dans cette partie, nous commençons par quelques définitions pour comprendre les notions et les concepts nécessaires. Nous citons par la suite des exemples des méthodes et outils d'analyse de risque afin de choisir la méthode qui nous convient dans notre étude.

2.2 Concepts et définitions

Bien que les concepts liés à l'analyse des risques soient bien définis par plusieurs auteurs, textes réglementaires et normes il nous a paru utile de reprendre quelques notions fondamentales apparaissant dans toute démarche d'analyse des risques.

2.2.1 Notion de danger

Le terme « danger » est défini dans la directive 96/82 /CEI [(SEVESO II)] comme une propriété intrinsèque d'une substance dangereuse ou d'une situation physique de pouvoir provoquer des dommages pour la santé humaine et/ou l'environnement[14].

Le même terme est défini selon le référentiel OHSAS 18001, comme une source où une situation pouvant nuire par blessure ou atteinte à la santé, dommage à la propriété et à l'environnement du lieu de travail ou une combinaison de ces éléments. Notons que ces définitions de danger et autres qui sont proposées par d'autres normes et auteurs, malgré leur vocabulaire différent mais elles portent le même sens[15].

2.2.2 Notion du risque

Le risque est défini comme une mesure d'un danger associant une mesure de l'occurrence d'un événement indésirable et une mesure de ses effets ou conséquences [16].

2.2.2.1 Notion de criticité / Grille de criticité

Cette notion est définie comme le résultat d'agrégation des deux dimensions, gravité et probabilité d'occurrence. Elle permet d'estimer l'ampleur d'un risque. L'ensemble des niveaux de risque sont ajustés et classés proportionnellement en fonction de l'importance de deux dimensions (probabilité et gravité) dans une grille appelée grille de criticité. Cette dernière est considérée comme une balance qui nous permet de peser le risque et de décider s'il est acceptable ou inacceptable. A l'issue d'un tel résultat qu'on décide de l'opportunité des mesures nécessaires pour maîtriser ce risque[17].

2.2.2.2 Processus de gestion des risques

Bien qu'il existe des différences importantes sur les termes liés à la gestion des risques, la définition de processus de gestion des risques est relativement identique dans tous les référentiels et normes [ISO, 1999 ; OHSAS18001, 1999 ; IEC 61511, 2003]. Dans le cadre de la gestion des risques, l'analyse et l'évaluation des risques peuvent être menées, selon la qualité de l'information et de données recueillies sur le système par plusieurs façons, qualitative, semi-quantitative où quantitative. Dans ce qui suit et pour chaque approche, nous présentons quelques méthodes[15], [18], [19].

Dans les guides ISO/CEI 51 et 73 [ISO, 1999], la gestion des risques est définie comme l'ensemble des activités coordonnées, menées en revue de réduire le risque à un niveau jugé tolérable ou acceptable, à un moment donné et dans un contexte donné[20].

Le processus de gestion des risques est un processus itératif incluant les étapes suivantes

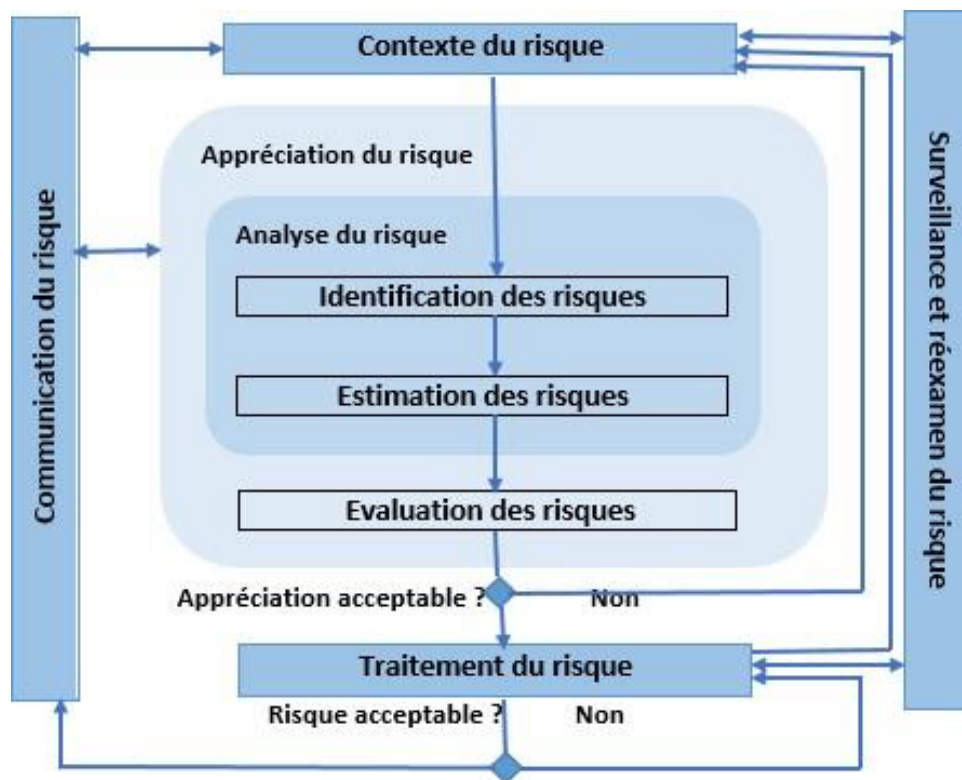


Figure 11 : Processus de gestion des risques [ISO, 1999].

2.2.2.3 Analyse du risque

L'analyse des risques occupe une place centrale dans le processus de gestion des risques. Cette étape sert à définir le système ou l'installation à étudier en recueillant toutes les informations et données nécessaires. Dans ce volet, une description à trois niveaux, structurel, fonctionnel et temporel est indispensable afin de mener une analyse efficace et atteindre les objectifs voulus en matière de maîtrise des risques. Dans un premier temps, les principales sources de dangers

et les scénarios d'accident doivent être recensés et identifiés. La complexité de certains systèmes étudiés requiert l'utilisation des outils d'analyse aidant à l'identification des dangers[18].

Citons par exemple HAZID (Hazards Identification), HAZOP (Hazard and Operability Study), APD (Analyse Préliminaire de dangers) et d'autres. Ces outils d'analyse permettent aussi d'identifier les différentes barrières de sécurité existantes dans le système étudié. Une fois le danger est identifié, le risque associé doit être évalué. L'estimation peut être qualitative, semi-quantitative et/ou quantitative en termes de probabilité de son occurrence et de la gravité de ses conséquences sur les personnes, les biens et l'environnement.

2.2.2.4 Évaluation du risque

Après avoir estimé le risque, on doit le comparer aux critères d'acceptabilité établis préalablement par l'entreprise / organisation concerné. Cette évaluation permet de prendre une décision sur l'acceptabilité ou l'inacceptabilité de chaque risque, c'est-à-dire, déterminer s'il convient d'accepter le risque tel qu'il est ou bien de le réduire[18].

2.2.2.5 Acceptation du risque

L'acceptabilité d'un risque est faite à partir de ses deux paramètres. Le niveau du risque quantifié sera positionné dans une matrice d'évaluation et en fonction des critères d'acceptabilité retenus et le risque estimé qu'on juge de l'acceptabilité ou la non acceptabilité du risque. Si le risque est jugé acceptable le processus de gestion sera terminé et le risque jugé sera surveillé. Dans le cas contraire, le processus continue en passant à l'étape de réduction[18].

2.2.2.6 Réduction du risque

Cette étape consiste à mettre en œuvre les différentes mesures et barrières de prévention et de protection afin de réduire l'intensité du phénomène (réduction potentielle de danger, atténuation des conséquences) et à diminuer la probabilité d'occurrence par la mise en place de barrières visant à prévenir les accidents. Outre les améliorations techniques et de fiabilité d'équipements, la prévention passe aussi par une meilleure prise en compte des facteurs de risque liés à l'organisation et aux personnes. Le choix des actions préventives à engager est effectué en comparant les coûts de leur mise en œuvre avec les coûts des conséquences de risque, en tenant compte de leur probabilité d'apparition. Un suivi régulier de l'évolution des risques est recommandé dans la démarche de gestion des risques afin de contrôler et d'assurer la pertinence des actions préventives engagées et de corriger les dispositions prévues [21].

2.2.3 Risque d'incendie

2.2.3.1 Définition

Un incendie est une combustion, qui émet de grandes quantités de chaleur, des fumées et des gaz polluants. Pour qu'il se déclare, il faut que soient présents, simultanément les trois éléments suivants :

- Un combustible, c'est-à-dire une matière capable de se consumer (matériau de construction, bois, essence, papier, carton, chiffon...),
- Un comburant qui, en se combinant avec le combustible, permet la combustion (oxygène, air...),
- Une source d'inflammation qui va déclencher la réaction de combustion (étincelle, flamme nue, surface chaude...)[22].

2.2.3.2 Evaluation du risque d'incendie[23]

2.2.3.2.1 Identification de la gravité

L'analyse des points névralgiques vise à identifier et hiérarchiser les objets de risque incendie (équipements et activités) selon leur impact sur l'activité globale du site du fait de leur disparition ou indisponibilité.

Tableau 11 : Les points névralgiques sont évalués sur l'échelle suivante :

G = 1	Bénin	Conséquences internes
G = 2	Sérieux	Conséquences externes
G = 3	Critique	Fonctionnement de l'entreprise menacé
G = 4	Catastrophique	Fonctionnement de l'entreprise interrompue

2.2.3.2.2 Identification de la vraisemblance

Cette identification repose sur l'analyse des sources de risque incendie et consiste à rechercher les phénomènes susceptibles d'engendrer un incendie et de caractériser les vecteurs concourant à son développement. Ceux-ci peuvent être classés selon leur nature intrinsèque :

- Risques inhérents au procédé et aux utilités.
- Risques divers internes (fumeurs, travaux par points chauds, etc.).
- Risques divers externes (malveillance, foudre, etc.).

Les sources de risque sont hiérarchisées entre eux par leur classement en termes de vraisemblance.

Tableau 12 : classement en termes de vraisemblance.

V = 1	Improbable
V = 2	Peu probable
V = 3	Probable
V = 4	Très probable

Note : la méthodologie CNPP 6011 présente un tableau de détermination de la vraisemblance spécifique incendie. Il est à noter que 2 "familles" de sources de risque incendie peuvent être distinguées :

- Les sources de risque communes à l'ensemble des locaux ou bâtiments : installations électriques, travaux par points chauds...
- Les sources de risque spécifiques au local, au bâtiment, tel que stockage de matières combustibles, liquides inflammables...

Il est déterminé selon une matrice de criticité, dont un exemple est présenté ci-dessous :

Classes de vraisemblance (V)	4	7	11	13	16
	3	4	8	12	15
	2	2	5	9	14
	1	1	3	6	10
		1	2	3	4
		Classes de gravité (G)			

Figure 12: exemple de matrice de criticité

Suivant le niveau de risque R, un besoin d'action est exprimé. Les risques d'incendie les plus importants font l'objet d'un plan d'actions prioritaires.

2.2.4 Risque d'explosion

2.2.4.1 Définition

L'explosion, à la différence de l'incendie, est une combustion quasiment instantanée. Elle provoque un effet de souffle accompagné de flammes et de chaleur. Elle ne peut survenir qu'après la formation d'une atmosphère explosive (ATEX). Celle-ci résulte d'un mélange avec l'air de substances combustibles (farine, poussières de bois, vapeurs de solvants...), dans des proportions telles qu'une source d'inflammation d'énergie suffisante produise son explosion[24].

2.2.4.2 Evaluation des risques d'explosions

2.2.4.2.1 Réaliser l'inventaire des produits

Cette première étape consiste à faire un inventaire des produits combustibles, en identifiant notamment[24] :

- Leur nature et état de division : solide, fluide, gaz, brouillard, poudre ;
- Leurs caractéristiques physico-chimiques (se reporter au tableau ci-dessous)

Tableau 13 : caractéristiques physico-chimiques selon la nature des produits

Produits liquides et gazeux	Produits solides finement divisés
Densité	Densité
Incompatibilités chimiques avec d'autres produits	Incompatibilités chimiques avec d'autres produits
Domaine d'explosivité (LIE-LSE)	Concentration minimale d'explosion (CME)
Point d'éclair	Granulométrie
Température d'auto-inflammation (TAI)	Température minimale d'inflammation (TMI) en couche et en nuage
Énergie minimale d'inflammation (EMI)	Énergie minimale d'inflammation (EMI)
Violence d'explosion (Pression maximale P_{max} et coefficient lié à la vitesse de montée en pression K_g)	Violence d'explosion (Pression maximale P_{max} et coefficient lié à la vitesse de montée en pression K_{st})

Pour les liquides il faut recenser :

- Les quantités utilisées à toutes les étapes : procédés, stockage, manutention, transfert...
- Les conditions de stockage : lieux, environnement immédiat, température...

2.2.4.2.2 Analyser les procédés de mise en œuvre

Le fonctionnement normal des installations doit être décrit en recueillant l'ensemble des données le concernant. À partir de cette description, il importe de tenir compte des produits utilisés, des conditions de température, de pression, des réactions exothermiques, des produits de décomposition, des conditions de refroidissement, des systèmes de ventilation... Chaque installation (silo, broyeur, circuit de dépoussiérage, circuit de transfert, mélangeur, système de dépotage...) et poste de travail (poste de chargement, de stockage, de mélange...) doit faire l'objet d'une étude qui tiendra compte des différentes conditions de fonctionnement (systèmes en vase clos, enceintes confinées, poste de dépotage par canne plongeante...).

2.1.1.1 Étudier les dysfonctionnements potentiels

Les types de dysfonctionnements raisonnablement envisageables doivent être pris en compte, comme par exemple : l'arrêt du système de ventilation ou de refroidissement, les fuites de produits notamment au niveau des brides et raccords, les pannes prévisibles, les arrêts d'alimentation en produits...

Le retour d'expérience de l'entreprise ou de la branche d'activité peut permettre de mettre en lumière des dysfonctionnements tels que :

- Des consignes non applicables (surtout en cas d'anomalie) ou non réellement appliquées,
- Des incidents lors de l'exploitation ou lors des phases d'arrêt ou de redémarrage,
- Un procédé théorique de production ne pouvant être respecté vu les sollicitations et les contraintes (déplacements, tâches tâches annexes plus longues que la tâche principale...).

2.1.1.2 Classer les emplacements dangereux (zonage)

Les emplacements où une ATEX peut être présent sont classés en zones à risque en fonction de la nature du produit combustible, de la fréquence et la durée de présence de l'atmosphère explosive considérée.

2.1.1.3 Identifier les sources d'inflammation

Les sources d'inflammation sont multiples. Les principales sont listées dans la brochure d'élimination des sources d'inflammation dans les zones à risque d'explosion.

Tableau 14 : Différentes origines et exemples de sources d'inflammation

Électrique	Étincelles, échauffement...
Électrostatique	Décharges par étincelles...
Thermique	Surfaces chaudes, cigarettes, flammes nues, travaux par points chaud...
Mécanique	Étincelles résultant des processus de friction, de choc ou d'abrasion, échauffement...
Chimique	Réactions exothermiques, auto-échauffement...
Bactériologique	Échauffement du milieu par fermentation bactérienne
Climatique	Foudre (impact direct ou à distance, en induisant des surtensions ou des échauffements dans les équipements), soleil...

2.1.1.4 Évaluer la gravité d'une explosion

La notion de gravité doit être évaluée en fonction notamment de la présence de personnel, du volume de la zone ATEX ainsi que de la protection contre les explosions des installations. Il sera aussi pertinent de prendre en compte le risque de propagation de l'explosion, à un stockage par exemple, conduisant à un risque d'explosion secondaire ou de propagation d'un incendie.

A l'issue de cette évaluation, des mesures de prévention et de protection doivent être mises en place.

2.2 Méthodes d'analyse et d'évaluation des risques

Dans cette partie nous allons décrire brièvement les principales méthodes et outils utilisées dans une démarche d'analyse des risques[25].

2.2.1 Les méthodes classiques d'analyse les risque

Les principales méthodes d'analyse les risques :

- L'analyse préliminaire des risques (APR).
- L'analyse des modes de défaillance de leur effet et de leur criticité (AMDEC).
- L'analyse des risques sur schémas type HAZOP.
- L'analyse par arbres des défaillances (ADD).
- L'analyse par arbres d'évènements (ADE).
- L'analyse par Noeud Papillon.
- L'analyse par la méthode HIRA.

2.2.1.1 Analyse préliminaire des risques (APR)

L'Analyse Préliminaires des Risques (Dangers) a été développée au début des années 1960 dans les domaines aéronautiques et militaires. Elle est utilisée depuis dans de nombreuses autres industries. L'Union des Industries Chimiques (UIC) recommande son utilisation en France depuis le début des années 1980.

L'Analyse Préliminaire des Risques (APR) est une méthode d'usage très général couramment utilisée pour l'identification des risques au stade préliminaire de la conception d'une installation ou d'un projet. En conséquence, cette méthode ne nécessite généralement pas une connaissance approfondie et détaillée de l'installation étudiée.

L'Analyse Préliminaire des Risques nécessite dans un premier temps d'identifier les éléments dangereux de l'installation. Ces éléments dangereux désignent le plus souvent :

- Des substances ou préparations dangereuses, que ce soit sous forme de matières premières, de produits finis, d'utilités...
- Des équipements dangereux comme, par exemple, des stockages, zones de réception-expédition, réacteurs, fournitures d'utilités (chaudière...),
- Des opérations dangereuses associées au procédé.

L'identification de ces éléments dangereux est fonction du type d'installation étudiée. L'APR peut être mise en œuvre sans ou avec l'aide de liste de risques types ou en appliquant les mots guides HAZOP. Il est également à noter que l'identification de ces éléments se fonde sur la description fonctionnelle réalisée avant la mise en œuvre de la méthode.

A partir de ces éléments dangereux, l'APR vise à identifier, pour un élément dangereux, une ou plusieurs situations de danger. Dans le cadre de ce document, une situation de danger est définie

comme une situation qui, si elle n'est pas maîtrisée, peut conduire à l'exposition d'enjeux à un ou plusieurs phénomènes dangereux.

Le groupe de travail doit alors déterminer les causes et les conséquences de chacune des situations de danger identifiées puis identifier les sécurités existantes sur le système étudié. Si ces dernières sont jugées insuffisantes vis-à-vis du niveau de risque identifié dans la grille de criticité, des propositions d'amélioration doivent alors être envisagées.

Tableau 15 : Exemple de tableau de type « APR »

Fonction ou système :						Date:	
1	2	3	4	5	6	7	8
N°	Produit ou équipement	Situation de danger	Causes	Conséquences	Sécurités existantes	Propositions d'amélioration	Observations

2.2.1.2 L'analyse des modes de défaillance de leur effet et de leur criticité (AMDEC)

L'Analyse des Modes de Défaillance et de leurs Effets (AMDE) a été employée pour la première fois dans le domaine de l'industrie aéronautique durant les années 1960.

Son utilisation s'est depuis largement répandue à d'autres secteurs d'activités tels que l'industrie chimique, pétrolière ou le nucléaire.

De fait, elle est essentiellement adaptée à l'étude des défaillances de matériaux et d'équipements et peut s'appliquer aussi bien à des systèmes de technologies différentes (systèmes électriques, mécaniques, hydrauliques...) qu'à des systèmes alliant plusieurs techniques.

Recenser les risques potentiels d'erreur (ou les modes de défaillance) et en évaluer les effets puis en analyser les causes. L'AMDEC est d'identifier et de hiérarchiser les modes potentiels de défaillance susceptibles de se produire sur un équipement, d'en rechercher les effets sur les fonctions principales des équipements et d'en identifier les causes. Pour la détermination de la criticité des modes de défaillance, l'AMDEC requiert pour chaque mode de défaillance la recherche de la gravité de ses effets, la fréquence de son apparition et la probabilité de sa détectabilité. Quand toutes ces informations sont disponibles, différentes méthodes existent pour déduire une valeur de la criticité du mode de défaillance. Si la criticité est jugée non acceptable, il est alors impératif de définir des actions correctives pour pouvoir corriger la gravité nouvelle du mode de défaillance (si cela est effectivement possible), de modifier sa fréquence d'apparition et d'améliorer éventuellement sa détectabilité. La méthode s'inscrit dans une démarche en huit étapes :

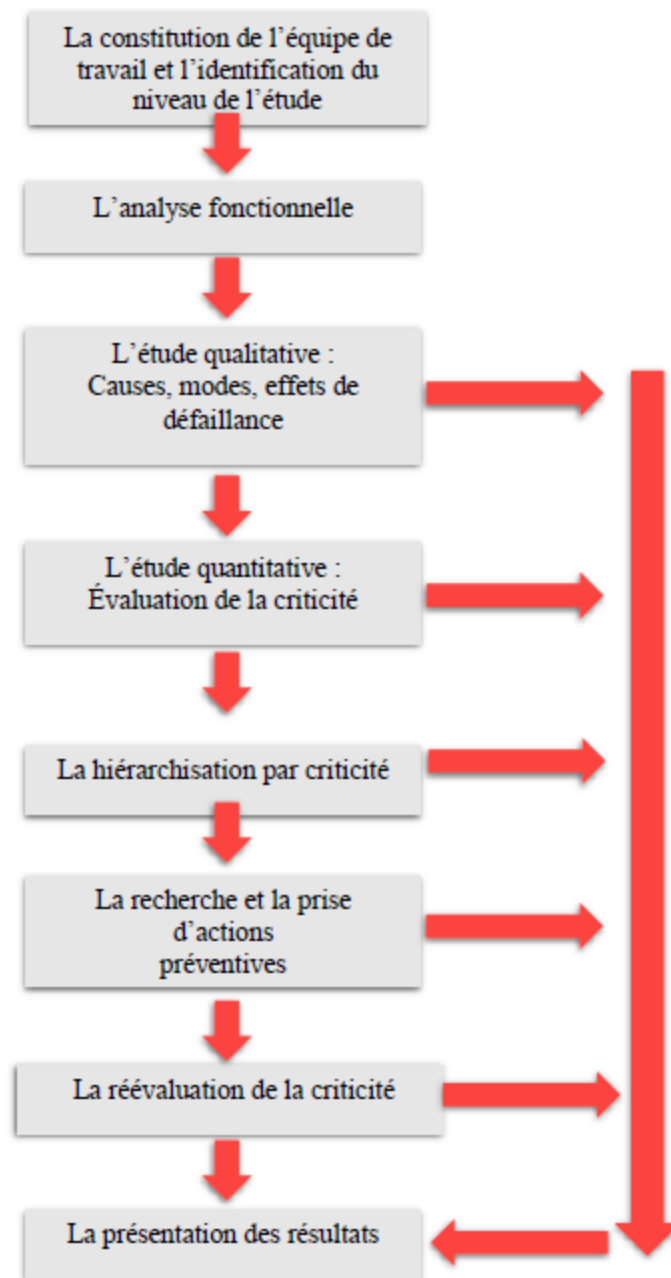


Figure 13: la démarche AMDEC

2.2.1.3 La méthode HAZOP

La méthode HAZOP s'intègre dans une démarche d'amélioration de la sécurité et des procédés pour une installation existante ou en projet. HAZOP nous permet de faire la définition du système à étudier, la prise de connaissance du système et une analyse des dysfonctionnements et mise en place de recommandations ; avec ses avantages :

- Réalisation de l'étude au sein d'un groupe de travail rassemblant différents métiers : sécurité, ingénierie, exploitation, maintenance...

- Méthode d'analyse systématique liée aux installations avec circuits fluides
- Contribution au respect des normes en matière de sécurité.

Les Principes de la méthode HAZOP sont :

- Définition, cadre d'application, historique de la méthode
- Notion de risques et d'opérabilité

2.2.1.4 La méthode arbre de défaillance

Un arbre de défaillance représente de façon synthétique l'ensemble des combinaisons d'événements qui, dans certaines conditions produisent un événement donné, point de départ de l'étude. Construire un arbre de défaillance revient à répondre à la question « comment tel événement peut-il arriver ? », ou encore « quels sont tous les enchaînements possibles qui peuvent aboutir à cet événement ? ».

Un arbre de défaillance est généralement présenté de haut en bas (cf. figure 1 a). La ligne la plus haute ne comporte que l'événement dont on cherche à décrire comment il peut se produire. Chaque ligne détaille la ligne supérieure en présentant la combinaison ou les combinaisons susceptibles de produire l'événement de la ligne supérieure auquel elles sont rattachées. Ces relations sont représentées par des liens logiques OU ou ET.

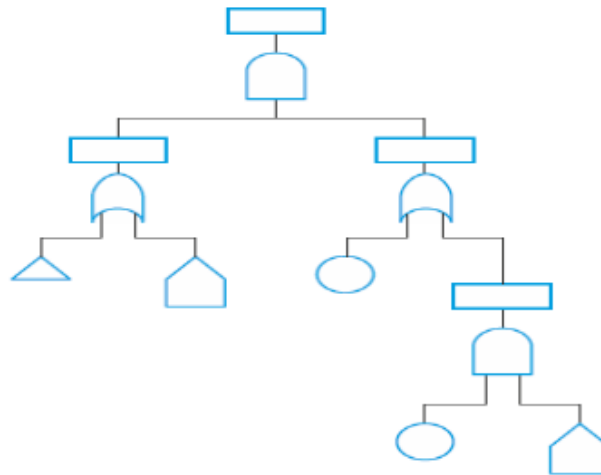


Figure 14: Arbre de défaillance

L'objectif « qualitatif » est de construire une synthèse de tout ce qui peut conduire à un événement redouté et d'évaluer l'effet d'une modification du système, de comparer les conséquences des mesures qui peuvent être envisagées pour réduire l'occurrence de l'événement redouté étudié.

2.2.1.5 La méthode arbre d'événement

L'arbre d'événements illustre graphiquement les conséquences potentielles d'un accident qui résulte d'un événement initiateur (une défaillance spécifique d'un équipement ou une erreur humaine). Une analyse par arbre d'événements (AAE) prend en compte la réaction des systèmes de sécurité et des opérateurs à l'événement initiateur lors de l'évaluation des conséquences potentielles de l'accident. Les résultats de l'AAE sont des séquences accidentelles ; c'est-à-dire un ensemble de défaillance ou d'erreurs qui conduisent à l'accident.

Ces résultats décrivent les conséquences potentielles en termes de séquence d'événements (succès ou défaillance des fonctions de sécurité) qui font suite à un événement initiateur. Une analyse par arbre d'événements est bien adaptée pour étudier des procédés complexes qui ont plusieurs barrières de protection ou procédures d'urgence en place pour réagir à un événement initiateur spécifique.

Les arbres d'événements sont utilisés pour identifier les divers accidents qui peuvent se produire dans un système complexe. À la suite de l'identification des séquences d'accidents individuels, les combinaisons spécifiques de défaillance qui peuvent conduire à des accidents peuvent être déterminées à l'aide de l'arbre d'événements. L'arbre d'événements permet :

- De rechercher toutes les causes et les combinaisons de causes conduisant à l'événement de tête ;
- De déterminer si chacune des caractéristiques de fiabilité du système est conforme à l'objectif prescrit ;
- De vérifier les hypothèses faites au cours d'autres analyses à propos de l'indépendance des systèmes et de la non-prise en compte de certaines défaillances ;
- D'identifier le(les) facteur(s) qui a(ont) les conséquences les plus néfastes sur une caractéristique de fiabilité ainsi que les modifications nécessaires pour améliorer cette caractéristique ;
- D'identifier les événements communs ou les défaillances de cause commune.

L'arbre d'événements est utilisé pour identifier les divers événements qui peuvent survenir dans un système complexe. À la suite de l'identification des séquences individuelles d'accident, les combinaisons spécifiques de défaillance qui conduisent à des accidents peuvent alors être déterminées en utilisant l'arbre de panne.

L'ADE évalue le potentiel d'accident résultant d'une défaillance d'un équipement ou d'un dérangement de procédé (événement initiateur). À la différence de l'analyse par arbre de panne (une approche déductive) l'AAE est un raisonnement inductif où l'analyste commence par un événement initiateur et développe la séquence probable d'événements qui conduisent aux accidents potentiels, en tenant compte tant du succès que de la défaillance des barrières de sécurité au fur et à mesure que l'accident progresse. Les arbres d'événements fournissent une façon systématique d'enregistrer les séquences d'accidents et de définir la relation entre les événements initiateurs et la séquence d'événements qui peut résulter en accidents. Les arbres d'événements sont bien indiqués pour analyser les événements initiateurs qui pourraient conduire à une variété de conséquences. Un arbre d'événements met en évidence la cause initiale d'accidents potentiels et fonctionne à partir de l'événement initiateur jusqu'aux effets

finaux. Chaque branche d'un arbre d'événements représente une séquence séparée d'accident qui est, pour un événement initiateur donné, un ensemble de relations entre les barrières de sécurité.

2.2.1.6 La méthode Nœud Papillon

Le nœud papillon utilisé dans de nombreux secteurs industriels a été développé par la compagnie Shell. L'approche est de type dit arborescente ce qui permet de visualiser en un coup d'œil les causes possibles d'un accident, ses conséquences et les barrières mises en place. L'accident non désiré (au centre) peut être le résultat de plusieurs causes possibles telles que la perte de confinement d'une substance toxique, une explosion, une rupture de canalisation, un emballement de réaction, une brèche dans un réservoir, une décomposition d'une substance, etc. Cet outil permet d'illustrer le résultat d'une analyse de risque détaillée (de type AMDEC, HAZOP ou What-if par exemple) donc plus complexe qu'une analyse préliminaire de risques.

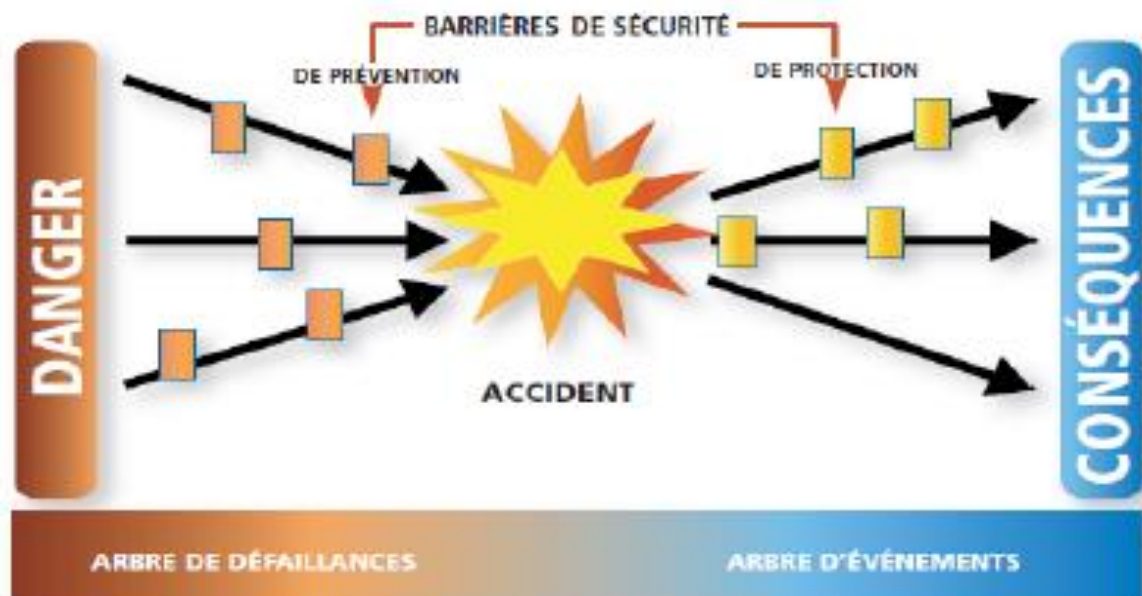


Figure 15: exemple de la méthode Nœud Papillon

La partie gauche du nœud représente l'identification des dangers, des causes possibles d'accident et des divers enchaînements ou combinaisons (flèches noires) pouvant engendrer l'accident non désiré. Entre ces causes possibles et l'accident, des barrières dites de prévention (rectangles orange) doivent être installées. La partie droite du nœud représente les conséquences possibles de l'accident. Par exemple, lors de la rupture d'une canalisation ou d'une brèche dans un réservoir, il peut en résulter la formation d'une flaque ou d'un nuage. Entre cet accident et les récepteurs, des barrières de protection doivent être installées pour réduire les effets sur ces récepteurs.

Donc, le nœud papillon reflète les scénarios d'accident qui peuvent survenir et les mesures prises pour les prévenir ou en réduire la probabilité ainsi que celles prises pour en réduire les

conséquences. On parle de barrières de prévention et de barrières de protection. Les barrières de protection abaissent le niveau de gravité des conséquences et celles de prévention abaissent la probabilité. À l'aide d'une matrice (du type utilisé dans une analyse préliminaire des risques) où on établit notre zone d'acceptabilité, l'effet des barrières est visible et peut rendre tolérable une situation qui était au départ inacceptable.

2.2.1.7 La méthode HIRA

HIRA : En anglais c'est l'acronyme : Hazard Identification Risk Assessment. En français : identification des dangers et évaluation des risques. Il existe deux types d'HIRA, l'HIRA principale et l'HIRA spécifique.

HIRA principale : une HIRA principale est l'identification des dangers et évaluation des risques des postes de travail. Cette HIRA commence comme en tant que projet, elle doit être documentée, et tenue à jour au niveau des chefs de division, chefs de service et RMS.[26]

2.3 Outils d'évaluation et scénarisation des risques

2.3.1 Areal Locations of Hazardous Atmospheres (ALOHA)

ALOHA est un programme informatique permettant d'évaluer, dans des situations d'urgence, la dispersion atmosphérique, de composés rejetés dans des conditions accidentelles. Ce programme prend en compte les propriétés toxicologiques et physiques des polluants ainsi que les caractéristiques de la zone d'étude telles que les conditions atmosphériques et les conditions de rejets.

- **Les entrées** : Les paramètres d'entrée renseignent la localisation de l'accident, la substance chimique mise en cause, les conditions atmosphériques, les caractéristiques du site et du gazoduc ainsi que les conditions de rejet.
 - Localisation du site : coordonnées GPS (longitude, latitude, altitude)
 - Date et heure de l'accident
 - Produit chimique étudié (base de données)
 - Conditions atmosphériques : vitesse, direction du vent et hauteur à laquelle est faite la mesure, température de l'air, humidité relative de l'air, classe de stabilité, inversion de température, couverture nuageuse
 - Caractéristiques du rejet : rugosité du sol, état du rejet (produit enflammé ou non), pression et température en entrée de la canalisation
 - Caractéristiques du gazoduc : diamètre intérieur, longueur, type de surface intérieure de la canalisation.
- **Les sorties** : Les sorties graphiques du logiciel sont constituées par :
 - Les évolutions temporelles de la valeur du débit (graphes 1D)
 - Les évolutions temporelles de la concentration et de la dose à un point donné (graphe 2D)

- La trace au sol de la concentration (graphe 2D).

2.3.2 Process Hazard Analysis Software Tool (PHAST)

PHAST est un logiciel qui a été développé et mis à jour par DNV software pour évaluer les conséquences des fuites de gaz, des incendies, des explosions, de la toxicité et des autres dangers technologiques reliés à diverses industries. Phast est l'acronyme anglais de Process Hazard Analysis Software Tool (qui peut se traduire par Outil logiciel d'analyse de risques de procédé). C'est un outil complet d'analyse des risques d'une installation industrielle. PHAST simule l'évolution d'un rejet accidentel d'un produit toxique et/ou inflammable, depuis la fuite initiale jusqu'à la dispersion atmosphérique en champ lointain, incluant la modélisation de l'épandage et de l'évaporation de flaque. PHAST est capable de modéliser les scénarios de rejets à partir des divers termes sources (fuite sur la paroi d'un réservoir, rupture d'une canalisation, ...) qui sont ensuite combinés avec le modèle de dispersion de PHAST de type intégral, appelé Unified Dispersion Model (UDM), pour obtenir par exemple : les distances de sécurité correspondant aux seuils toxiques et l'empreinte du nuage au Sol à un instant donné.

La nouvelle version de l'UDM a été mise au point dans laquelle il est possible de calculer un profil uniforme de concentration intégrant les différentes phases de la dispersion. Ce nouveau modèle prend en compte les phénomènes d'évaporation, de formation de flaque, d'élévation du nuage et de dispersion variable au cours du temps. UDM est capable de traiter un grand nombre de produits, qu'ils soient toxiques et/ou inflammables, légers, lourds ou neutres. Il traite les rejets liquides, gazeux ou diphasiques. Pour les rejets diphasiques, il modélise la formation et l'évaporation de flaque.

Les résultats sont présentés sous forme Graphique et numérique (rapport), Certains résultats peuvent être présentés sur fond cartographique (zones d'effet).[27]

2.4 Conclusion

Dans ce chapitre ; nous avons vu des exemples des méthodes et des outils d'analyse des risques, celles-ci permettent une identification systématique des composantes du risque Les différentes situations dangereuses, évènements redoutés, causes, conséquences, ou accidents potentiels

Chapitre 3 : Présentation Du Complexe GP1Z

3.1 Introduction

Le sud Algérien possède des richesses naturelles, parmi lesquelles nous citons les réserves en hydrocarbures d'où la présence d'une large gamme de produits relatifs aux gisements de pétrole et gaz. Pour la séparation de ces produits et de leurs dérivés, notre pays a investi des sommes colossales dont la nécessité est d'acquérir et installer ces grands complexes de traitement qui sont répartis en plusieurs unités tels que les complexes GP1/Z, GP2/Z et GNL3.

Ce chapitre présente une visite imaginaire au complexe GP1Z afin d'illustrer son histoire, sa localisation, son fonctionnement et les unités de productions.

3.2 Présentation du complexe GP1Z

3.2.1 Historique

Le complexe GP1/Z de l'entreprise nationale SONATRACH dénommé (jumbo GPL) pour ses grandes capacités et le dernier-né des ensembles industriels de la zone d'ARZEW. Construit avec le consortium japonais IHI-C-HTOH, dans le cadre d'un contrat clé en main, le complexe a été réceptionné le 02-09-1984. Il conçu dans le but de traiter le mélange brut de GPL venant de plusieurs sources du sud algérien, et de produire du propane et du butane comme produits finis pour les commercialisés, soit par navires ou par camions citernes. La capacité annuelle de la production de quatre trains de l'usine est de 4 millions tonnes par an. Durant l'année 1998, le complexe à vue sa production augmenter à 6 millions de tonnes Par ans avec l'extension de sa première phase en construisant deux autres trains par le même constructeur.

Actuellement la production du complexe GP1/Z a été produit 10.2 millions de tonnes par an grâce à la performance de ces capacités. Durant l'année 2010, le complexe a vu sa production augmenter avec la réception de sa troisième phase de 3 trains par le même constructeur.

Le complexe a pour objectif, le traitement d'une charge GPL Brut en provenance des différents champs situés au Sud Algérien afin de produire du Propane et Butane destinés au marché national et international, il est dénommé JUMBO-GPL pour ses grandes capacités de production.

A partir d'un traitement du GPL brut Algérien en provenance des champs gaziers et pétroliers du sud, la production du complexe est de 10.800.000 tonne/an de GPL : propane, butanes commerciaux et pentane.

3.2.2 Situation géographique du complexe

Le complexe GP1Z est situé sur le littoral de l'ouest algérien, à 40KM approximativement de la ville d'Oran et à 8KM de la ville d'Arzew.

Le complexe est de superficie de 120 hectares, est situé dans la zone industrielle d'Arzew, entre le centre thermique Marsa El Hadjadj à l'EST, et le complexe GNL de liquéfaction du gaz naturel à l'OUEST.

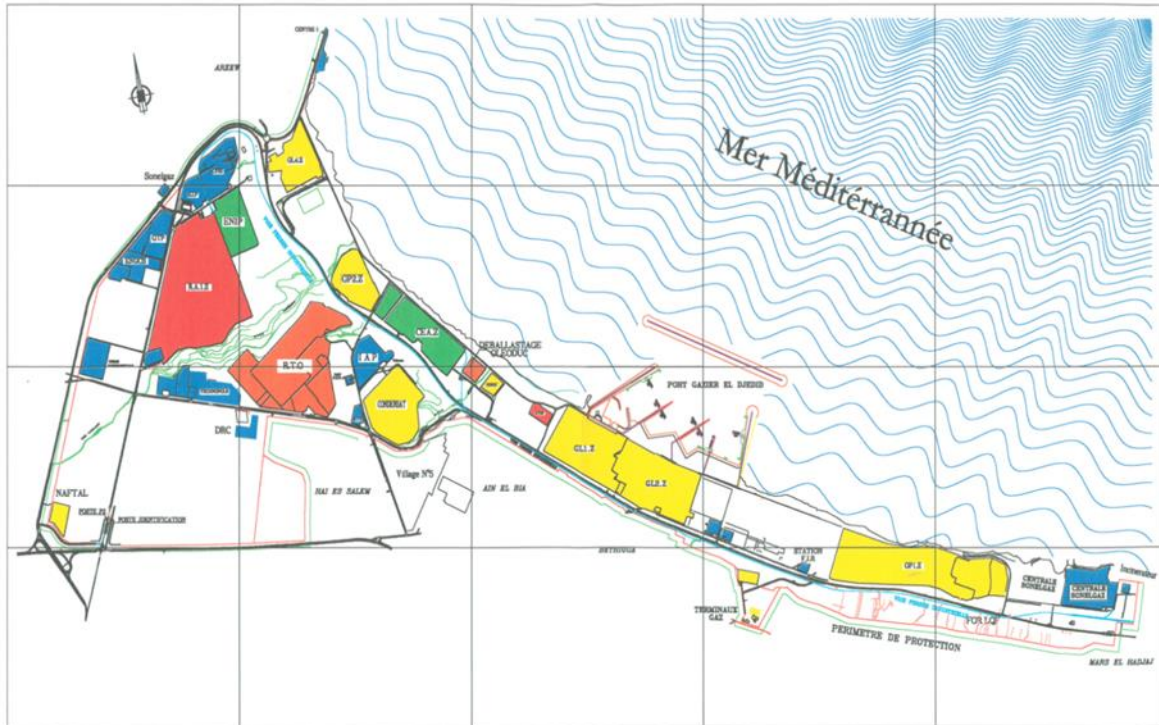


Figure 16: Situation géographique et voisinage du complexe GP1/Z

3.2.3 Organisation du complexe

L'organisation du complexe GP1/Z est étudiée de façon à avoir une coordination complète entre les différentes structures de l'usine afin de permettre une exploitation optimale des ressources disponibles. Le suivi est assuré par quatre équipes dont une au repos ainsi que par le personnel de maintien travaillant en journées normales.

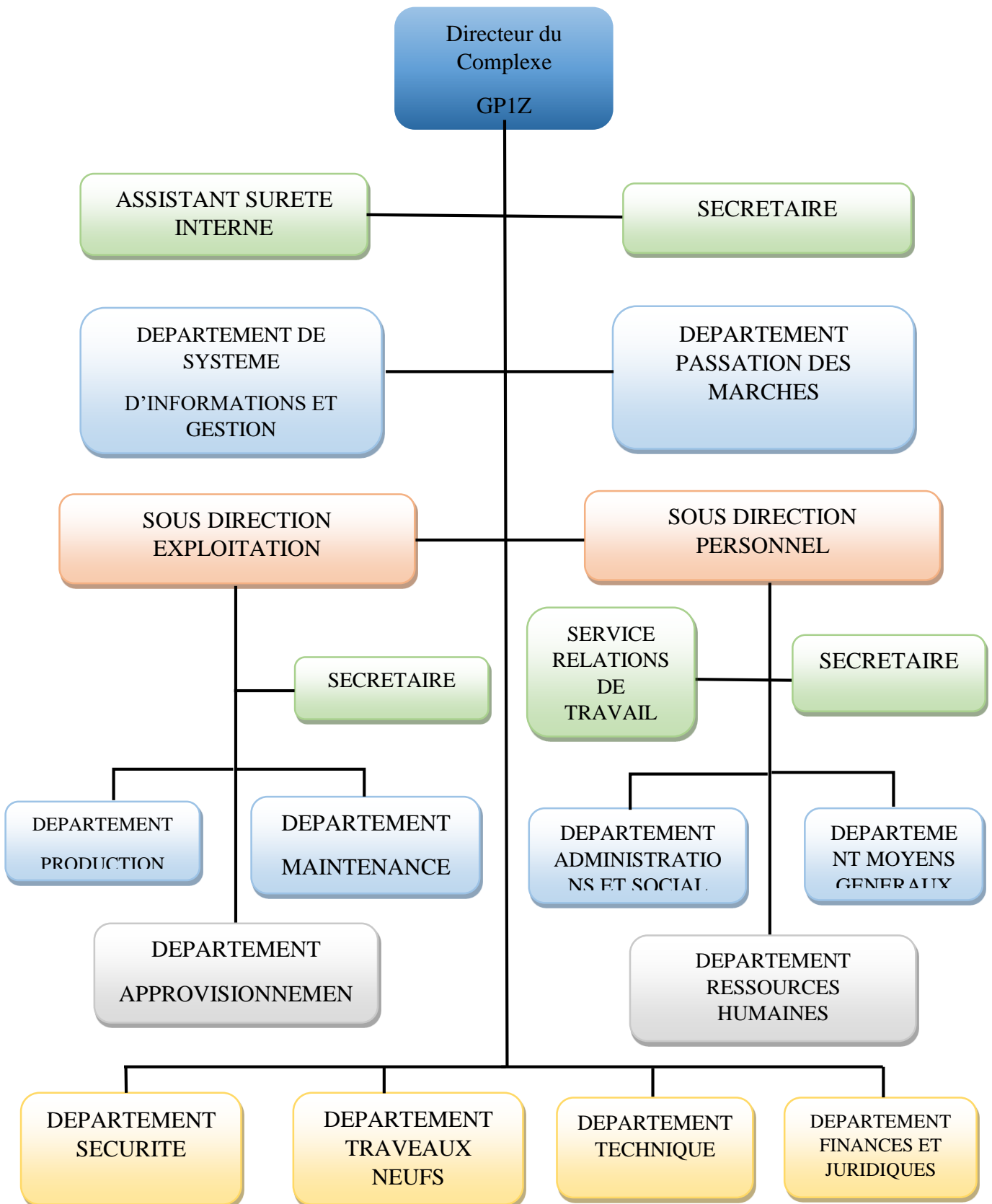


Figure 17: Organigramme du complexe GP1Z

3.2.3.1 Les différents départements du complexe

2.2.3.1.1 Départements de sécurité

Le département sécurité joue un rôle très important dans la sécurité au niveau d'un complexe ou le danger peut survenir à tout moment. Ce département est organisé comme suit :

- Service de surveillance.
- Service de prévention.
- Service d'intervention.

2.2.3.1.2 Départements de maintenance

Le rôle de ce département est d'entretenir l'équipement du complexe pour le maintenir en bon état en priorité celui de la production. Pour cela il se base sur la performance de différents spécialistes qui occupent les différents services de ce département :

- **Service mécanique** : Il assure l'entretien des différentes machines tournantes : les turbines, les pompes...
- **Service chaudronnerie** : Ce service maintient les équipements statiques comme les colonnes, les vannes, ...
- **Service instrumentation** : Son rôle règle et répare l'ensemble des appareils de mesure et d'enregistrement du complexe.
- **Service électricité** : Ce dernier s'occupe de l'entretien de l'énergie électrique et de la rénovation du matériel électrique.
- **Service logistique** : Il assure les travaux de calorifugeage des canalisations et d'autres installations que le transport du matériel et personnel de la maintenance ainsi que quelque intervention en bâtiments.
- **Service planning** : Ce service s'occupe principalement de la planification des opérations de travaux selon leurs natures et de suivre l'exécution des travaux.

2.2.3.1.3 Département technique

Le département Technique est réparti en quatre services :

➤ **Service Etudes et développement**

Ce service est en relation directe avec différents départements du complexe, puisque d'une part il a pour mission d'aboutir à des solutions pour tout problème qui se pose au niveau du complexe et dont chercher la cause, d'une autre part, il étudie, développe des projets en cours et rénove d'autres projets dont on peut citer quelques-uns :

- La réalisation d'une unité de dessalement.
 - La rénovation d'un panneau turbine.
 - La rénovation d'un panneau turbine.
- **Service numérique** : Suite à l'extension de la phase I en phase II, l'équipe numérique s'est vue en obligation d'améliorer son système de contrôle au niveau du complexe afin de mieux veiller sur les installations. Ce système appelé DCS (Distributed Control system) permet de contrôler et de commander les installations à distance à partir de

l'interface en machine (consoles). De ce fait, l'ingénieur système peut modifier, Ajouter ou supprimer une zone sur le site grâce aux données fournies par les différentes salles de contrôle :

- MCR (Main Control Room) : pour la production (9 trains et les utilités).
 - LCR (Local Control Room) : pour les bacs, les sphères de stockage et le chargement de navires.
 - SCR (Security Control Room) : pour la sécurité.
 - CCR : pour le chargement des camions.
 - SVR (Super Vising Room).
 - ASC (Advancing Security Center).
- **Service Laboratoire** : L'objectif de ce service est le contrôle de qualité des produits finis ainsi que l'analyse des eaux et des huiles utilisées. Ces analyses s'effectuent selon la demande du département production ou selon la réglementation.
- Les analyses des gaz : Concernant les charges avant procès et les produits finis avant chargement.
 - Laboratoire effectue les analyses de gaz en six fréquences toutes les 24 heures.
 - Les analyses des huiles sont effectuées tous les six mois ou lors d'une arrivée d'huile nouvelle (externe).
- **Service inspection** : La tâche principale de l'inspecteur technique est de détecter et prévenir par divers contrôles toute anomalie afin de minimiser les pannes et les dégâts.

2.2.3.1.4 Département approvisionnement

L'approvisionnement comme son nom l'indique se charge d'approvisionner le complexe d'article qui touche l'exploitation (pièces de rechange, équipements matériaux, produits chimiques...), tout en respectant les quantités du stock et satisfaire les besoins d'utilisateurs. Ce département est divisé en deux services :

- Service gestion de stock.
- Service achat et transit.

2.2.3.1.5 Département finances et juridique

Ce département a pour fonction le suivi des opérations financières et juridiques du complexe. Il est réparti en quatre services :

- Service de Comptabilité Générale.
- Service trésorerie.
- Service information de gestion.
- Service Juridique.

2.2.3.1.6 Département administration / social

Ce département s'occupe de la gestion et du suivi du personnel. Il est divisé en deux services :

- Service gestion et paie.
- Service action et protection sociale.

2.2.3.1.7 Département moyens généraux

Ce dernier est chargé des activités de soutien c'est à dire : le transport, la restauration, l'hygiène ainsi que l'entretien général du complexe.

2.2.3.1.8 Département du Développement des Ressources Humaines

Ce département est la formation du personnel et la gestion de sa carrière pour un meilleur fonctionnement du complexe. Pour cela, il est doté de deux services :

- Service Formation.
- Service Gestion de carrière.

2.2.3.1.9 Département travaux neufs

Ce département s'occupe de la réalisation de nouveaux projets et les grands travaux du complexe. Il est divisé en deux services :

- **Service travaux** : Il regroupe l'étude des projets, mobilise les sous-traitants et suit les travaux neufs.
- **Service procurèrent** : Son rôle est l'acquisition des produits demandés.

2.2.3.1.10 Département production

Le département production dépend de la sous-direction exploitation, ce département gère toute la production de GPL (propane et butane) et il contient trois services :

- **Service de fabrication** Il s'occupe de la production des produits finis :
 - Propane et butane réfrigéré : Il est destiné à l'exportation externe (le marché international).
 - Propane et butane ambiant : Il est destiné à l'exportation interne (marché national).

Chaque train se compose de quatre sections : Section déshydratation, section séparation, section réfrigération et section huile chaude.

- **Le service stockage et expédition** Il s'occupe de stockage des produits finis et l'expédition par navires et camions.
- **Le service planning et programme** Ce service a pour mission la planification des programmes mensuels de production, l'analyse des écarts de production entre prévisionnel et réalisation, élaboration des bilans de production. Il est l'interlocuteur entre les deux services fabrication et stockage expédition.

3.2.4 Les principales zones du complexe

Il y a 6 différentes zones qui sont :

3.2.4.1 Zone Procès

Elle comprend Neuf (09) Trains de production dont trois nouvellement installés. Chaque train comprend les sections suivantes :

- Une (01) Section de déshydratation
- Une (01) Section de séparation
- Une (01) Section de réfrigération
- Une (01) Section Huile chaude

3.2.4.2 Zone utilité

Cette zone sert à fournir les énergies nécessaires pour le fonctionnement de l'usine tel que :

- Production d'eau distillée.
- Production de la vapeur d'eau.
- Production d'air comprimé.
- Une alimentation en azote.
- Une alimentation en gaz naturel.
- Une alimentation en méthanol.
- Une alimentation en carburant diesel.
- Un générateur de secours.

Et elle comprend :

- Section de stockage de la charge GPL composée de 22 sphères et un système de filtration de la charge brute de GPL.
- Quatre (04) Chaudières d'une capacité unitaire de 10t/h
- Deux (02) dessaleurs de 10t/h chacun
- Trois (03) Sections de production d'air comprimé
- Six (06) Générateurs assurant l'énergie de secours du complexe.
- Une (01) section d'azote.
- Trois (03) sections de distribution de gaz naturel.

3.2.4.3 Zone Stockage Et Chargement

- Produits réfrigérés : Le propane et le butane réfrigérés sont stockés respectivement à -42°C et -5°C dans quatre bacs chacun, d'une capacité unitaire de 70 000 m³.

Le Chargement de ces produits est assuré par deux quais de chargement pouvant recevoir des GPL d'une capacité de 3 000 à 50 000 tonnes. Chaque quai est doté de Trois (03) bras de chargement

- Un bras (01) retour vapeur (Boil Off)
- Un bras (01) de sautage
- Produits ambiants : Le propane et le butane sont stockés à température ambiante dans quatre (04) sphères, d'une capacité unitaire de 500 m³. Le pentane est aussi stocké dans une sphère de 500 m³.

Le chargement de ces produits est assuré par une rampe de chargement camions qui est dotée de :

Butane :

- Trois (03) bras de chargement
- Trois (03) bras retour vapeur (Boil Off)

Propane :

- Deux (02) bras de chargement
- Deux (02) bras retour vapeur (Boil Off)

Pentane :

- Un (01) bras de chargement.
- Un (01) bras retour vapeur (Boil Off)

Un (01) Pipe Arzew - Sidi Bel abbés -Tlemcen connu sous le nom de AST est entré en service le 14/10/2005 pour alimenter à partir du complexe GP1Z les trois wilayas en butane ambiant vrac à raison de 125 m³ par heure.



Figure 18: Sphères de stockage



Figure 19: bacs de stockage

3.2.4.4 Installations de Contrôle et sécurité

Le complexe est doté de :

- Une (01) Salle de contrôle principale pour le contrôle des installations de production (MCR)
- Une (01) Salle de contrôle locale pour le stockage (LCR)
- Une (01) Salle de contrôle locale pour les expéditions par navires (JCR)
- Une (01) salle de contrôle locale pour les expéditions par camions (CCR)

- Une (01) Salle de contrôle sécurité (SCR)

3.2.5 Annexes

- Un atelier de maintenance
- Un magasin approvisionnement.
- Un centre de formation

3.2.6 Ressources Humaines

Centre de formation GP1Z, avec une capacité d'accueil de 226 stagiaires et les locaux pédagogiques suivants :

- Une (01) Salle de conférence pour quarante (40) personnes
- Quatre (04) Salles d'application de vingt (20) stagiaires chacune
- Six Salles (06) Salles de cours de dix (10) stagiaires chacune
- Un (01) laboratoire de langues de douze (12) cabines
- Un laboratoire (01) d'instrumentation pour huit (08) stagiaires
- Un Laboratoire (01) de chimie pour huit (08) stagiaires
- Un (01) Salle de panneaux synoptiques pour douze (12) stagiaires
- Un laboratoire DCS pour six (06) Stagiaire

3.3 Procédé de fabrication du GPL

La charge G.P.L représente l'alimentation principale des trains et provient directement de (R.T.O). Elle est stockée au niveau de 22 réservoirs sphériques d'une capacité unitaire 1100m³. Ces derniers sont devisés en 5 blocs et chaque bloc contient 4 sphères dans la phase 1 et 2 et pour la phase 3 il y a 6 sphères, 3 blocs alimentent les trains de la phase (1) et un bloc pour la phase (2) et l'autre groupe pour la phase (3). Le G.P.L est acheminé vers les trains à une pression 30kg/cm². En passant par le collecteur commun pour que chaque train prélève son débit de traitement nécessaire à l'aide de contrôleur de débit. Une Fois le GPL introduit dans le train, il doit passer à travers 3 sections.

3.3.1 Section de déshydratation

Le but de cette section est de réduire la teneur en eau de 100 ppm à 5 ppm dans le déshydrateur de charge et de 5 ppm à environ 1 ppm dans le déshydrateur de garde (dans la section réfrigération) et cela pour éviter la formation du givre dans les équipements.

Cette section comprend trois colonnes d'adsorption à tamis moléculaires, à tout instant on a une colonne en service (en adsorption), l'autre en régénération et la dernière en attente. Le GPL passe dans le sécheur du bas vers le haut, l'humidité est extraite lors du passage du GPL à travers les tamis moléculaires pendant 36 heures, une fois cette durée est dépassée le sécheur passe automatiquement en régénération.



Figure 20: colonnes d'adsorption à tamis moléculaires

3.3.2 Section de séparation

C'est la section qui assure la séparation du GPL en deux produits finis, propane et butane en plus de très faibles quantités d'éthane et de pentane.

Le GPL déshydraté avant de passer au splitter, il doit être porté à sa température d'ébullition (71°C), en passant à travers trois préchauffeurs, le premier est chauffé par le produit de fond du dééthaniseur, le second par les produits de fond la colonne de distillation et le dernier par l'huile chaude provenant du four. Le GPL ainsi préchauffé à 71°C passe directement dans le splitter (plateaux à clapets) où il est séparé en (propane + éthane) en tête de colonne et en (butane + pentane) au fond de la colonne.

Les produits de tête de colonne sont condensés et récupérés au niveau du ballon de reflux. Le pentane recueilli du fond du dépentaniseur sera refroidi par aéroréfrigérant, et envoyé vers le stockage ambiant.



Figure 21: colonne de séparation (Fractionnateur)

3.3.3 Section de réfrigération

Cette section reçoit le propane et le butane de la section séparation, les réfrigère jusqu'aux basses températures correspondantes aux points de saturation liquide au voisinage de la pression atmosphérique ($-38 \sim -42^{\circ}\text{C}$ pour le propane et $-8 \sim -10^{\circ}\text{C}$ pour le butane). Les produits passent par un deuxième déshydrateur appelé déshydrateur de garde, qui réduit la teneur en eau de 5 ppm à 1 ppm, ensuite réfrigérés par trois (03) échangeurs suivant un cycle fermé formant une boucle de réfrigération, le fluide utilisé comme réfrigérant est le propane pur. Ce dernier est évaporé dans les échangeurs de chaleur. Cette évaporation provoque l'abaissement de température du produit à réfrigéré.

Les vapeurs résultantes de l'évaporation du propane réfrigérant dans les shillers et les condenseurs de têtes du dé-éthaniseur sont collectées dans les trois ballons d'aspiration HP, MP et BP pour être aspirées par le compresseur centrifuge entraîné par une turbine à gaz dans la phase I et par un moteur électrique dans la phase II et phase III, puis elles sont condensées dans les condenseurs de type aéro-réfrigérant (E-X027). Les produits finis sont ensuite canalisés vers les bacs de stockage.



Figure 22: Les équipements de la section de réfrigération

3.3.4 Section d'huile chaude

La section du fluide caloporteur est utilisée comme source de chaleur pour les rebouilleurs des colonnes de fractionnement et pour le préchauffeur final de la charge.

Le fluide caloporteur circulant dans la boucle est l'huile TORADA TC 32. La température du fluide caloporteur à la sortie du four représente la température d'entrée pour chaque utilisation, est maintenue à 180°C.

Le four (H-N501) fournit également la chaleur nécessaire au gaz naturel pour la régénération des tamis moléculaire de la section déshydratation tout en chauffant ce dernier dans un petit serpentin par convection à une température constante de 280°C à un débit de 2000 m³/h.

**Chapitre 4 : Simulation d'un
phénomène catastrophique par logiciel
PHAST**

4.1 Introduction

En moyenne, chaque jour, une explosion /un incendie se produit dans le milieu industriel. Les effets peuvent être dévastateurs, tant sur le plan humain que matériel. Les secteurs où sont manipulés des produits inflammable/explosive particulièrement concernés. La prévention du risque d'explosion fait l'objet de plusieurs recherches. Ce chapitre une analyse des effets des conditions de stockage (température et pression) sur les limites d'inflammabilités, ainsi qu'une étude des scénarios catastrophiques qui peuvent survenu dans ces sites.

4.2 Revu sur analyses des risques lie au bac de stockage des produits inflammables :

4.2.1 *L'analyse par la méthode HAZOP effectuée par Dahmani Ismail et brahmi El Mehdi*

Une étude HAZOP été établi pour déterminer les scénarios catastrophes au niveau de la zone de stockage de GPL. D'après les résultats du tableau HAZOP Ils ont obtenu:

- Trois évènements inacceptables (fuite, haute température, haute pression) avec une grande criticité.
- Quatre évènements en zone ALARP (haut niveau, basse niveau, débit moins, basse pression).
- Deux évènements acceptables (basse température, plus de débit)

Les évènements inacceptables représentent des lacunes considérables pour le système, parfois des fuites de gaz très dangereuses et ils sont en priorité pour réduire vers une échelle plus basse d'où la nécessité d'une étude approfondie pour mieux comprendre la cause de ces risques, Cette étude HAZOP montre que les fuites sont les plus critiques et à l'origine de ces fuites au niveau de la sphère c'est les mauvaises connexions entre les canalisations et la sphère elle-même de ce fait ils ont proposé de mettre en place des barrières performantes qui traite cette situation. Se basant sur le risque majeur engendré par ces pertes de confinement ou aux mauvais fonctionnements qui peuvent sûrement exposer tout le complexe et mettre en danger le personnel opérant dans les installations en plus de l'impact sur environnement[28].

4.2.2 *L'analyse par la méthode HAZOP effectuée par LIMAM Walid Abdelghani et BADI Mohammed*

Une étude présente une analyse des risques par la méthode HAZOP sur l'une des sphères qui stockage de GPL au sein du complexe GL3/Z pour identifier les scénarios. Les résultats de l'analyse HAZOP ressort :

- Vingt et un évènements inacceptables (haute température, surpression)
- Neuf évènements dans la zone ALARP (haut niveau, basse niveau)
- Dix-huit évènements acceptables (basse niveau).

Cette étude, l'identification des scénarios d'accident liés aux sphères GPL, a permis d'identifier d'éventuels évènements redoutés, leurs causes (événements initiateurs) et leurs conséquences (rupture ou éclatement des conduits de la sphère, rupture de la paroi de la sphère et perte de

confinement.) évaluent également les classes de probabilité d'occurrence et de gravité. La zone de stockage du produit fini des sphères sous pression est réalisée en considérant les paramètres de fonctionnement (Niveau, Pression, Température, Débit et fuite)[29].

4.2.3 L'analyse par la méthode HAZOP effectuée par Zagaye Asmaa Mama et Ouazzane Chahinez

Une analyse des risques technologiques par l'approche APR et HAZOP sur l'un des bacs de stockage GNL de l'unité de stockage et de chargement au sein du complexe GL3/Z.

D'après les résultats du tableau HAZOP on a obtenu :

- Huit événements inacceptables (basse niveau, haute température, haute pression)
- Trente-sept événements en zone ALARP (basse/haut niveau, basse température)
- Un seul événement acceptable (moins de débit)

L'étude montre que l'augmentation de la température ou de la pression ont des causes qui conduit à des conséquences dangereux et effets générés tels que l'explosion, incendie, jet Fire, BLEVE, UVCE, feu de torche. Ce qui représentent des problèmes considérables pour le système et ils sont en priorité pour réduire vers une échelle plus basse[30].

4.3 Analyse des revues

A partir des études présentées précédemment, nous pouvons constater que les fuites, Jet Fire, [les feux de nappe et BLEVE (dans cas des ruptures)], dispersion des gazes inflammables. Ce sont des événements récurrents dans les lieux de stockage. Ainsi que la variation (soit par augmentation ou diminution) de la température la pression ; le niveau et le débit sont les paramètres responsables de ces événements.

Donc notre travail consiste à étudier l'impact de la variation de la température et la pression sur les propriétés d'inflammabilité afin d'identifier les zones ATEX. Puis simuler des scénarios qui peuvent survenir au niveau de la sphère de stockage de GPL.

4.3 Etude de l'influence des paramètres sur les limites d'inflammabilité/explosivité

Suite aux résultats des travaux d'évaluation des risques nous constatons que les paramètres (température et pression) ont un impact significatif sur la génération de risques dans les réservoirs de stockage.

Dans cette partie nous avons utilisé le simulateur PHAST pour étudier la variation des limites d'inflammabilité/explosivité en fonction de la température et de la pression.

4.3.1 Modélisation des scénarios catastrophiques au niveau d'une sphère de GPL

Dans cette partie une analyse des impacts potentiels en cas d'accidents ainsi que la modélisation des effets potentiels en utilisant le logiciel PHAST. L'analyse des conséquences est une étape indispensable dans le processus de gestion des risques d'explosion/incendie.

Le programme de calcul PHAST simule la dispersion des gazes inflammable/explosive à cause d'une rupture, d'une fuite... de la sphère de GPL en termes de débit à la brèche, état physique du rejet, distance de dispersion ... etc., puis son évolution et enfin les phénomènes dangereux associés (feu chalumeau, explosion, effet dominos ...etc.).

4.3.1.1 Données de la modélisation

Les données de la sphère et l'environnement avoisinant

Tableau 16 : Données de la sphère

Paramètres	Sphère de stockage de GPL
Pression opératoire (bar)	15-21
Température opératoire (°C)	10-62
Pression de calcul (bar)	23
Température de calcul (°C)	-40 /90
Dimension (mm)	9850
Élévation (m)	3
Capacité (m ³)	500



Figure 23: la sphère de stockage et Environnement avoisinant.

4.3.1.2 Les données météorologiques

Les données climatologiques de la zone d'Arzew. Les moyennes obtenues pour le mois de Juillet :

- Température Moyenne (°C) : 35
- Humidité relative Moyenne (%) : 50
- Vitesse moyenne du vent (Km/h) : 7
- Direction dominante du vent : NNE (Nord Nord East)
- Classe de stabilité atmosphérique : Classe C

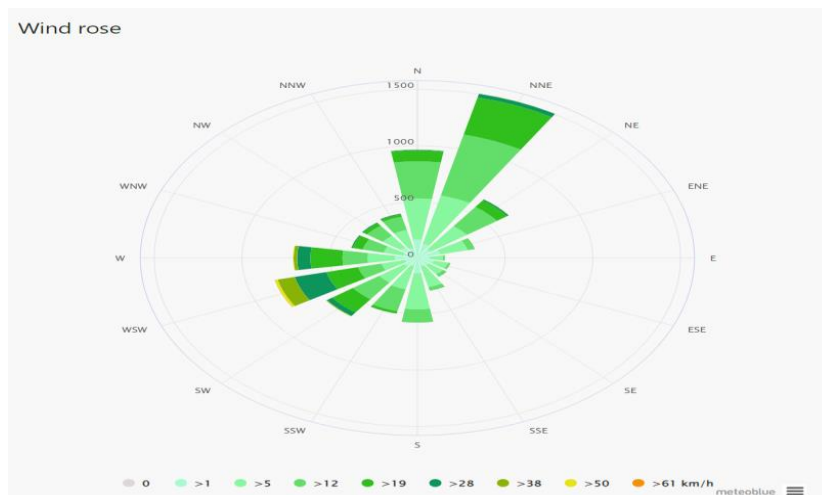


Figure 24: Rose des Vents

4.3.2 Valeurs de référence relatives aux seuils de surpression et d'effets thermiques

Valeurs de référence relatives aux seuils d'effet de surpression

Tableau 17 : effets de surpression sur les structures

Seuils de surpression relatifs à la résistance des structures				
Type de dégâts constatés	Surpression (mbar)	% dommage estimés		
Seuil des dégâts graves sur les structures				
Effondrement partiel des murs, des toits et tuiles des maisons	140	50%		
Limite inférieure des dommages graves aux structures (la plupart des dégâts sont réparables et correspondent à des tuiles projetées, des vitres cassées, des panneaux tordus, fissures dans murs)				
Effondrement partiel de murs de 20 cm d'épaisseur (INRS)				
Vitres de voitures face à l'onde surpression explosées				
Légères fissures dans les murs en brique de 30 cm d'épaisseur				
Toiture en fibrociments détruite				
Charpente bois lamellé collé porteuse en partie détruite				
Déformation de réservoirs de stockage de 150 m3 (avec robe de 3mm d'épaisseur)				
cassures dans les murs légers (plâtre, fibrociment, bois, tôle)				
Revêtement de murs en PVC éclaté				
Joint entre tôles ondulées en acier ou aluminium arrachés				
Fissure dans la robe d'un réservoir métallique				
Seuil des effets dominos				
Rupture des structures métalliques et déplacement des fondations	200	100%		
Fissure ou rupture des réservoirs de stockage				
Murs en parpaings ou béton non armé détruit				
Lézardes et cassures dans les murs béton ou parpaings non armés de 20 à 30 cm				
Destruction à 50 % des maisons en briques				
Destruction de 50% des maisons en briques (INRS)				
Maisons inhabitables, effondrement partiel ou totale de la toiture, démolition d'1 ou 2 murs extérieurs, dégâts importants aux murs porteurs intérieurs (INRS)				
Véhicules sur parking : vitres cassées et carrosserie sérieusement endommagée				
Toitures détruites				
Déformations légères des canalisations				
Légers dommages aux machines dans les bâtiments industriels, cadres en acier des bâtiments déformés et/ou arrachés de leurs fondations				
Seuil des dégâts très graves sur les structures				
Destruction des bâtiments légers en charpente métallique, rupture des réservoirs de stockage			300	100%
Destruction des poteaux				
Revêtement des bâtiments industriels légers soufflé				
Maisons d'habitation détruites				
Déplacement d'un rack de canalisations, rupture des canalisations				
Bardage acier des bâtiments arrachés, détruits				
Destruction des bâtiments industriels légers				

Tableau 18 : effets de surpression sur l'homme

Effets sur l'homme	Niveau d'intensité des effets de surpression (seuils réglementaires)
Seuil des effets indirects par bris de vitre. Les personnes peuvent être blessées par les éclats de verres provenant des vitres qui sont brisées du fait de l'effet de surpression.	Au-delà de 20 mbar et jusqu'à 50 mbar
Seuil des effets irréversibles, représentant des effets significatifs sur l'homme. Les séquelles engendrées par cette intensité (incapacité, invalidité) persistent dans le temps. Nota : des effets indirects liés à des dégâts sur les structures sont toujours possibles et plus importants que pour les intensités inférieures.	Au-delà de 50 mbar et jusqu'à 140 mbar
Seuil des effets létaux, représentant des dangers graves pour la vie humaine. Cette intensité peut entraîner le décès des personnes les plus vulnérables ou de 1% de la population exposée. Nota : des effets indirects liés à des dégâts sur les structures sont toujours possibles et plus importants que pour les intensités inférieures.	Au-delà de 140 mbar et jusqu'à 200 mbar
Seuil des effets létaux significatifs, représentant des dangers très graves pour la vie humaine. Cette intensité peut entraîner le décès de 5% de la population exposée. Nota : des effets indirects liés à des dégâts sur les structures sont toujours possibles et plus importants que pour les intensités inférieures	Au-delà de 200 mbar

4.3.3 Valeurs de référence relatives aux seuils d'effet thermique

Effets du flux thermique sur l'homme

Les Valeurs de référence relatives aux seuils d'effets thermiques sur l'homme à retenir sont :

- Le seuil de 8 KW/m² correspond au seuil de dégât graves sur les structures, au seuil d'effets létaux significatifs délimitant la zone de dangers très graves pour la vie humaine et de mettre en place une information optimum du personnel intervenant dans cette zone sur le risque incendie et la conduite à tenir en cas

d'accidents. Ce seuil permet de déterminer une zone Z1 dans laquelle il convient de limiter toute présence humaine. Aucun poste fixe ne peut être tenu dans cette zone.

- Le seuil de 5KW/m² correspond à la destruction des vitres des bâtiments. Il engendre rapidement une douleur chez l'homme (en quelque seconde). Il permet donc de déterminer une zone Z2 dans laquelle il convient impérativement de limiter l'implantation de construction ou d'ouvrage concernant notamment les tiers.
- Le seuil de 3KW/m² correspond au flux thermique pouvant encore générer des effets grave sur l'homme, et détermine la zone Z3 :
 - Brulures de premier degré au bout d'environ 1 minute ;
 - Douleur en une vingtaine de secondes ;
 - Seuil minimum léthal pour une exposition de 2 minutes ;

Effet du flux thermique sur les structures

Les valeurs de référence relative au seuil d'effets thermique sur les structures à retenir sont :

- Flux de 200KW/m² : seuil de ruine du béton en quelques minutes
- Flux de 20KW/m² : seuil de tenu pour le béton pendant plusieurs heures et correspondant aux seuils de dégâts très grave sur les structures en béton
- Flux de 16KW/m² : seuil d'exposition prolongé pour les structures et correspondent au seuil des dégâts très grave sur les structures, hors structure en béton
- Flux de 8KW/m² : seuil des effets domino et correspondant au seuil de dégâts grave sur les structures
- Flux de 5KW/m² : seuil des destructions de vitres significatives.

4.4 Modélisation des Scénarios catastrophique

Cette analyse est pour l'objet et d'étudier l'influence et de choisir les paramètres, température et pression, au quelle on obtient les contours d'une zone ATEX dans le plus petit périmètre.

Ce qui favorise le contrôle de cette zone.

Les étapes de la modélisation des scénarios par PHAST sont présentées dans **Annexes B**.

4.3.1 Influence de la température

A l'effet d'étudier l'effet de la température sur les limites d'inflammabilité/explosivité, nous avons fixé la pression à 16 bar, puis lancer une simulation par PHAST en lui proposant un scénario pour qu'il calcule les limites.

Tableau 19 : influence de la température sur les limites d'inflammabilité

T(°C)	LSF[m]	LIF[m]
T=80 C°	55,8683	729,257
T=75 C°	69,3977	739,208
T=65 C°	107,926	754,863
T=55 C°	163,835	766,676
T=45 C°	219,132	766,016
T=35 C°	226,174	713,344
T=10 C°	219,123	575,805

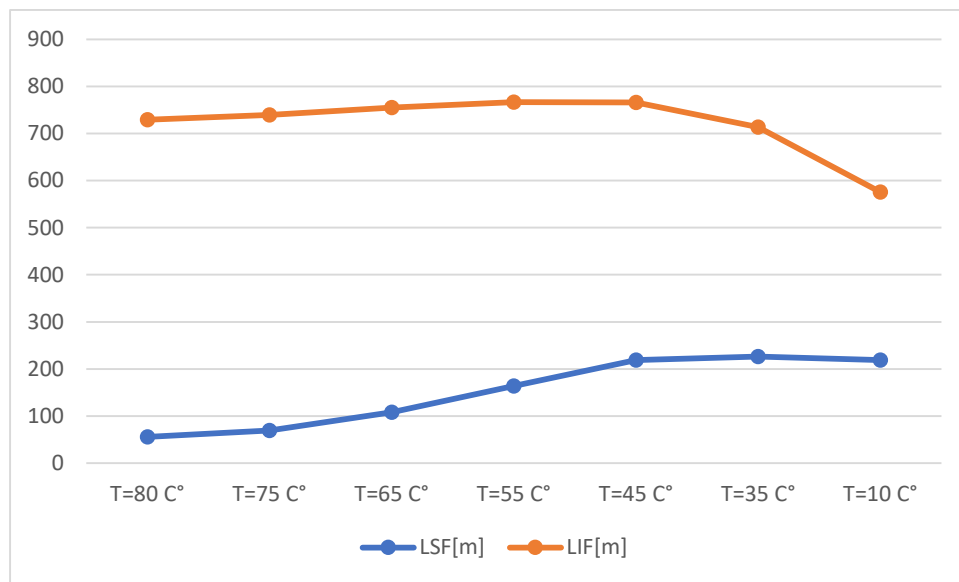


Figure 25: Variation des limites supérieures et inférieures en fonction de la Température

4.4.1 Influence de la pression

A l'effet d'étudier l'effet de la pression sur les limites d'inflammabilité/explosivité, nous avons fixé la température à 35°C, puis lancer une simulation par PHAST en lui proposant un scénario pour qu'il calcule les limites.

Tableau 20 : influence de Pression sur les limites d'inflammabilité

P (bar)	LSF[m]	LIF[m]
P=80 bar	145,933	741,872
P=65 bar	172,32	747,054
P=50 bar	195,743	745,948
P=35 bar	208,45	731,739
P=20 bar	217,165	706,13
P=15 bar	221,062	698,383
P=08 bar	227,334	687,13

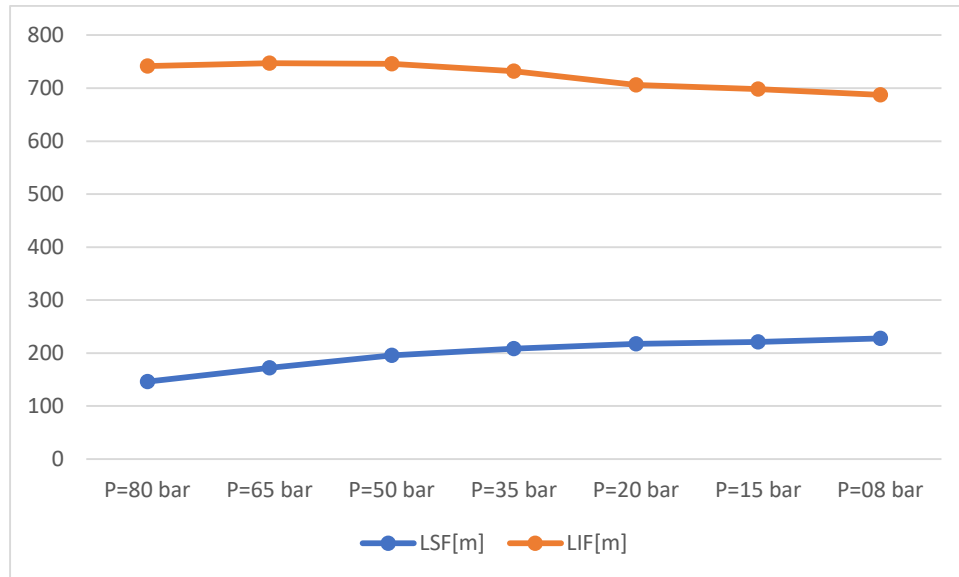


Figure 26: Variation des limites supérieures et inférieures en fonction de la Pression

4.4.2 Analyse des résultats

A partir des tableaux précédents :

- Avec la variation de température, on perçoit 479.582 m pour $T=35^{\circ}\text{C}$, 534.699 m pour $T=45^{\circ}\text{C}$, pour $T=65^{\circ}\text{C}$ on a comme résultat 626.835 m et 645.512 m pour $T=80^{\circ}\text{C}$.
- Il est remarquable l'effet de la température et la pression sur les limites d'inflammabilité.
- La zone ATEX avec le diamètre le plus petit est celle comprise entre 15 et 20 bar avec une distance entre les limites supérieures et inférieure de 402.516 m pour 15 bar est de 488.965m pour 20 bar contrairement à 523.289m pour celle de 35 bar et 550.205 m pour celle de 50 bar.
- Une augmentation de diamètre de la zone ATEX en fonction d'augmentation de pression.

4.5 Modélisation de la Simulation avec les conditions appliquées

4.5.1 Scenario 1 : Rupture au sein de la pipe alimentant la sphère

Description du scénario :

Fuite de 100mm dans la tuyauterie alimentant la sphère de stockage de GPL d'une longueur de 41 m et d'un diamètre de 0.6 m.

Tableau 21 : Les entrées de la simulation

Paramètres	Substance	Pression	Temperature	Volume	Faible	Elévation du point de fuite
Valeur	Butane	20	35°C	36m ³	Fuite 100mm	1m

4.5.1.1 Résultat obtenue pour scénario N°1 :

4.5.1.1.1 Jet enflammé (Jet fire)

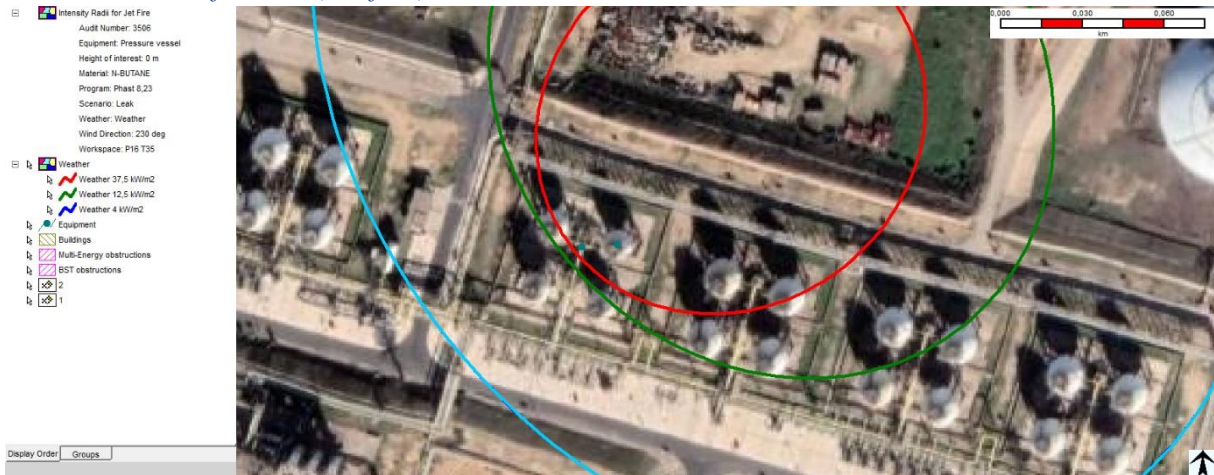


Figure 27: Distance d'atteinte des radiations par un jet de flemme sur MAP

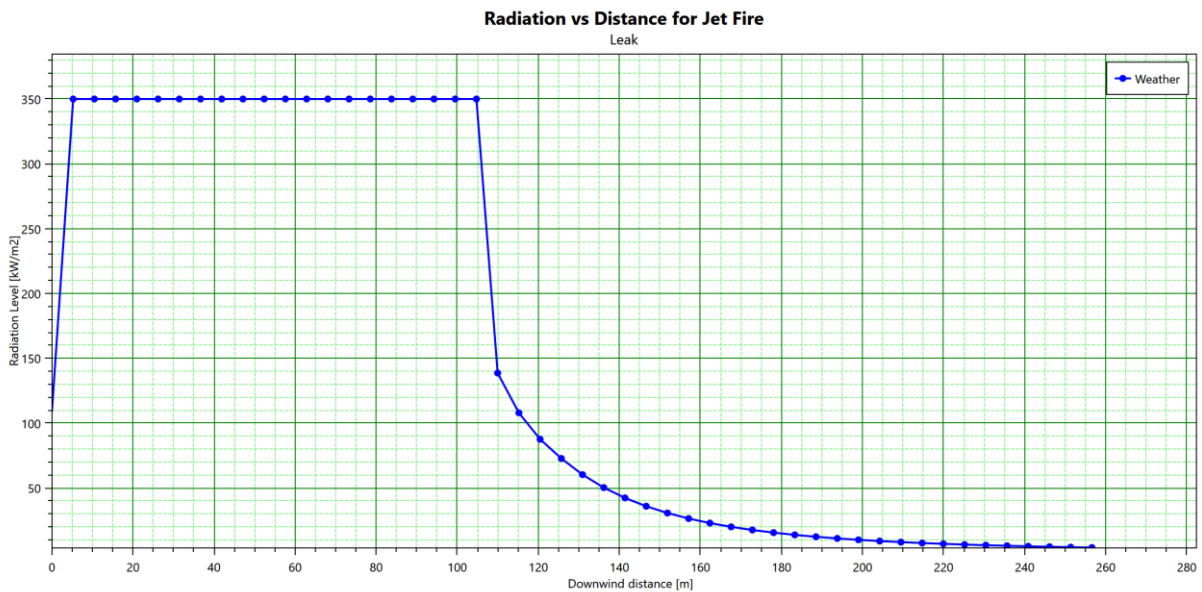


Figure 28: Graph montrant la puissance de radiation en fonction de distance

4.5.1.1.2 Discussion

D'après les deux figures ci-dessus, on constate que les zones touchées par la radiation sont devise on trois zones (Rouge, Vert, Bleu)

Tableau 22 : zone touchée par les radiations thermiques

Zone	Distance Maximale atteinte	Densité du flux (KW/m ²)
Rouge	146 m suivant la direction du vent	Entre 350 et 40
Vert	195 m suivant la direction du vent	Entre 35 et 10
Bleu	260 m suivant la direction du vent	Entre 10 et 4

L'évaluation du niveau de radiation thermique engendré par le feu enflammé en fonction de la distance on remarque que les radiations thermiques atteignent 350KW/m², a une distance de 10m à partir de la pipe d'où elle atteint la sphère de GPL. Ce qui induit par la suite à une rupture catastrophique de la sphère.

4.5.2 Scenario 2 : Ruptures catastrophiques

Description du scénario :

Le scénario développé dans cette section suit la chronologie suivante : La fuite scénarisée dans la partie précédente conduit à une augmentation de la température et la pression de la sphère de GPL ce qui cause une Ruptures catastrophiques de la sphère

Tableau 23 : les entrées de PHAST pour la simulation

Paramètres	Activité	Substance surveillé	Conditions opératoires	Volume	Elevation de la rupture
Valeur	Stockage de GPL	Butane	16 bar et 35°C	500 m3	6m

4.5.2.1 Résultat obtenue pour scénario N°2 :

4.5.2.1.1 Explosion de la sphère



Figure 29: Périmètre de zone d'atteinte d'effet de surpression sur Map

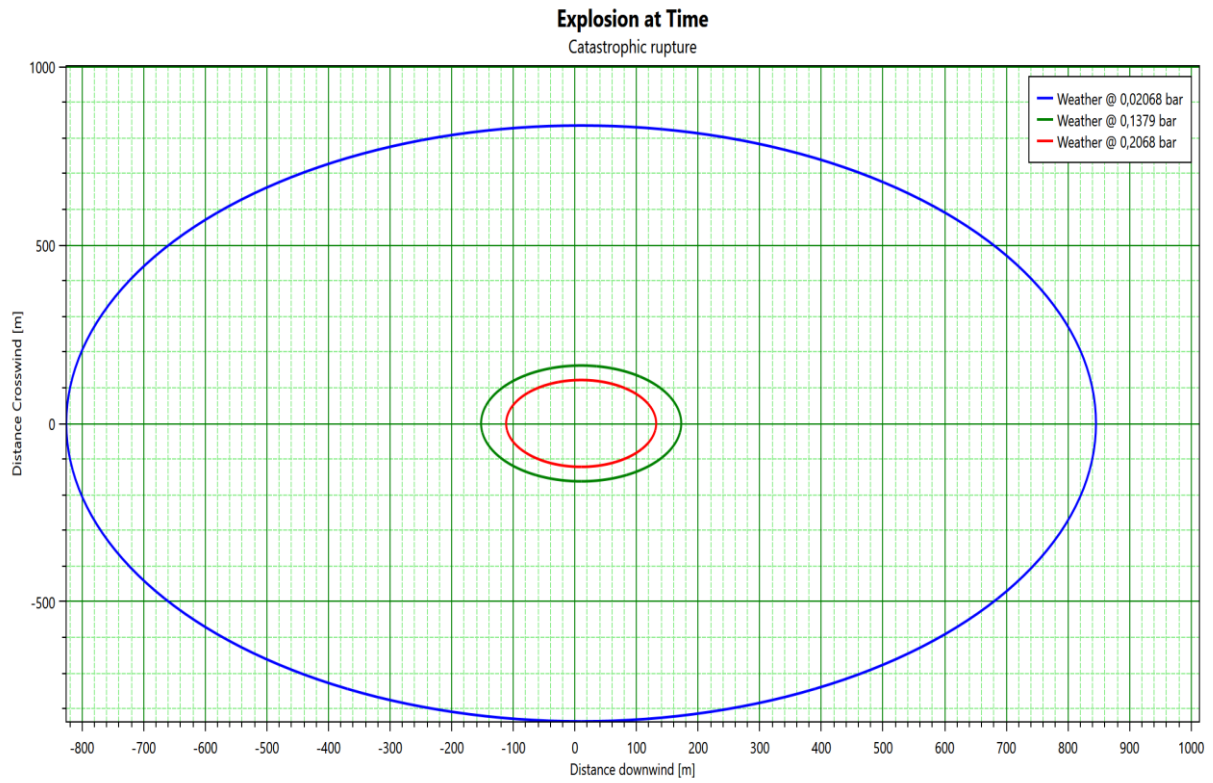


Figure 30: Distance d'atteinte par effet de surpression

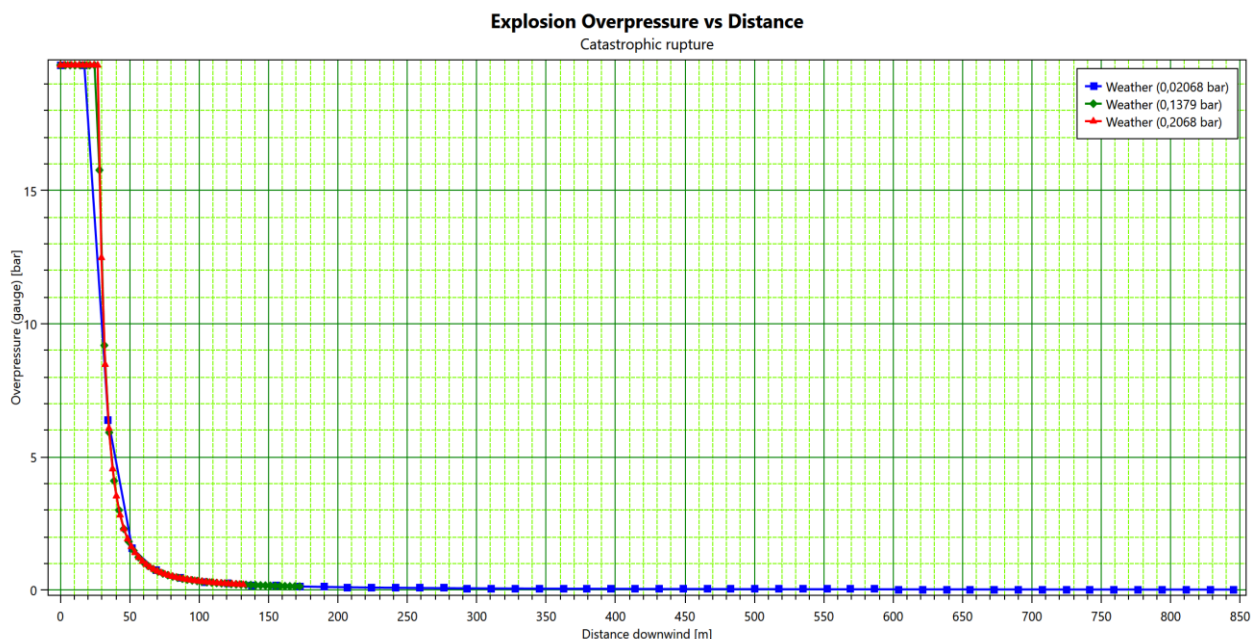


Figure 31: Graphe montrant les surpressions de l'explosion par rapport à la distance

4.5.2.1.1.1 Discussion

Les graphes ci-dessus représentent la distance d'atteinte par effet de surpression, d'où on constate :

- Une zone d'atteinte de 0.2 bar dans un périmètre de 132m à la direction du vent et 112m dans le sens inverse.
- Dans cette zone les effets sont irréversibles envers les individus à voir des effets létaux comme des blessures par les éclats de verres provenant des vitres qui sont brisées du fait de l'effet de surpression.
- Les dégâts structurels dans ce périmètre ne sont incontrôlables, tels que les ruptures des structures métalliques et des déplacements des fondations, des fissures ou rupture des réservoirs de stockage et la déformation légère des canalisations, cela peut conduire à un effet domino sur les sphères avoisinantes.

4.5.2.1.2 Flash fire



Figure 32: périmètre d'enveloppe de flash fire

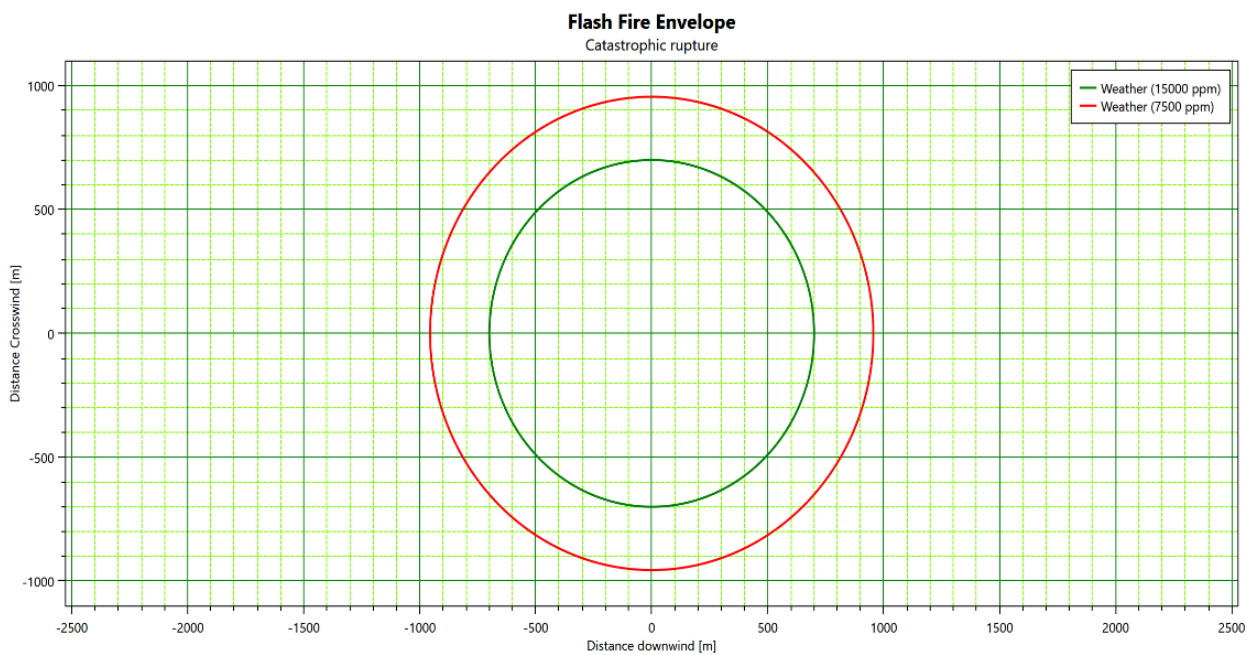


Figure 33: graphe montrant l'enveloppe de flash fire par rapport à la distance

4.5.2.1.2.1 Discussion

Les figures ci-dessus montrent que :

- Le cercle vert représente la limite inférieure d'explosivité (LIE) et le cercle rouge la limite supérieure d'explosivité (LSE) ;
- La distance au LIE est estimée à un diamètre d'environ 700 m ;

- La zone entre le cercle vert et le cercle rouge représente l'atmosphère explosive, tandis que le cercle vert est la limite de cette atmosphère, qui est estimée à un diamètre approximativement de 1000 m.
- Les effets à l'intérieur de la LIE ont une sévérité élevée (toute personne dans cette zone peut être considérée comme morte), tandis que, au-delà de la distance de la LIE les effets seront négligeables.

4.5.2.1.3 Boule de Feu



Figure 34: périmètre d'intensité du rayonnement d'une boule de feu

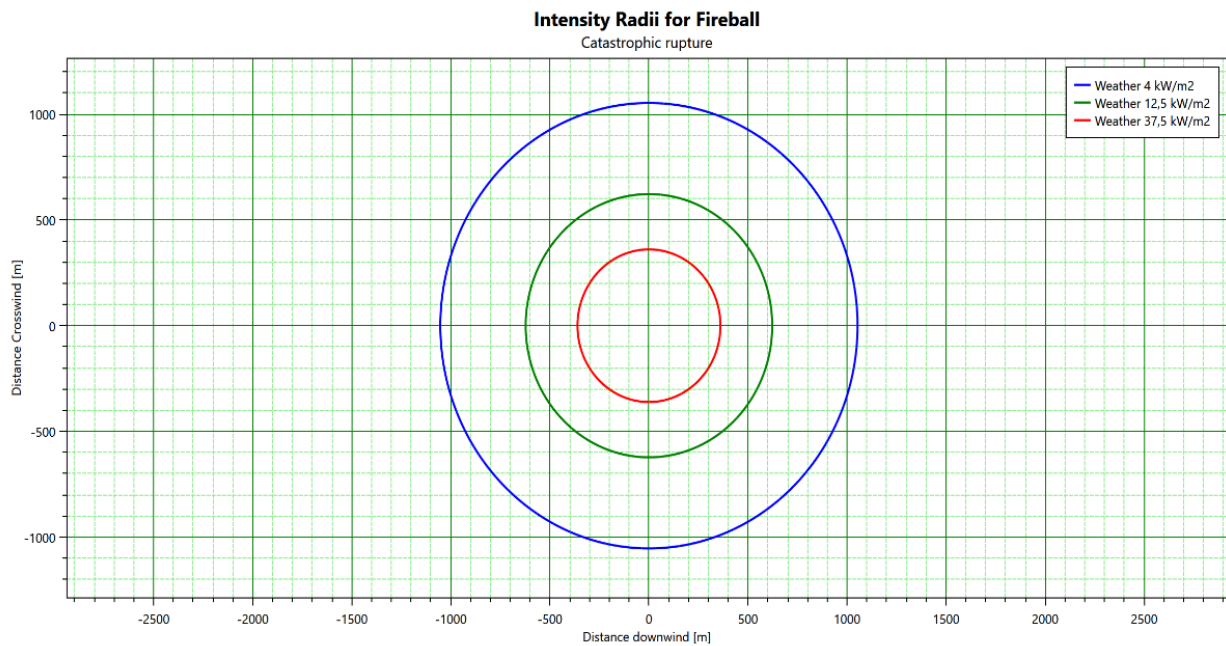


Figure 35: graphe montrant intensité du rayonnement d'une boule de feu par rapport à la distance

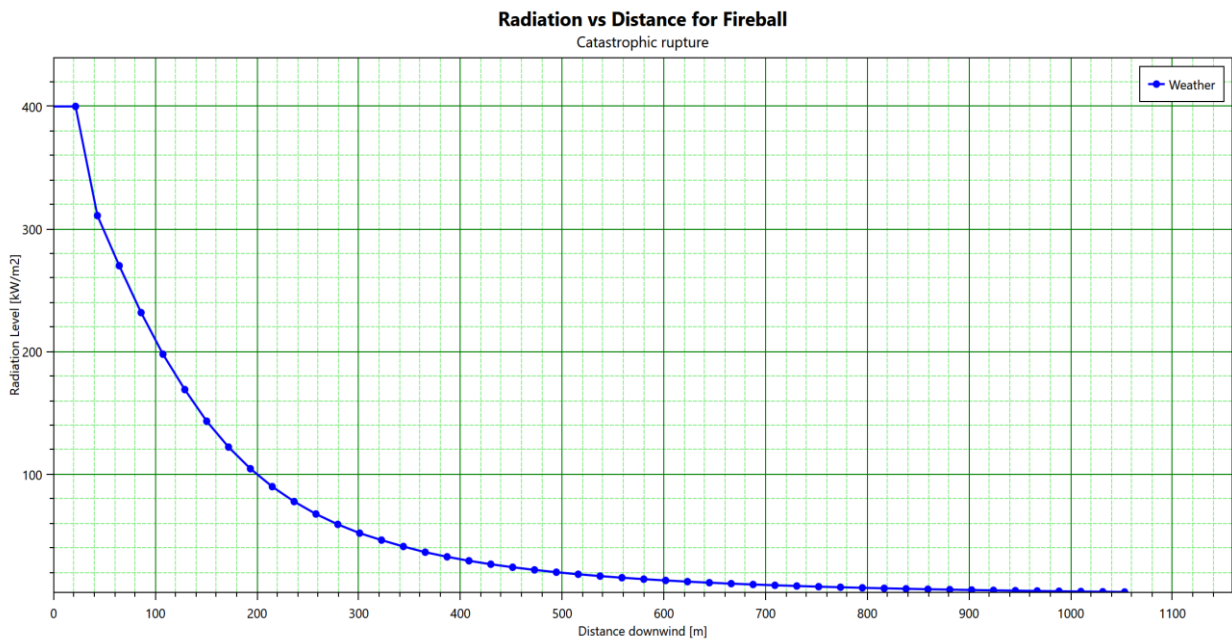


Figure 36: graphe montrant la radiation de la boule de feu par rapport à la distance

4.5.2.1.3.1 Discussion

La **figure 35** montre les différents effets du rayonnement en fonction de la distance. Toute personne dans le cercle bleu du rayon de 1100 m est susceptible d'avoir des conséquences graves, les bâtiments dans le cercle vert sont susceptibles d'être endommagés par l'effet domino et les structures du cercle rouge risquent d'être gravement endommagées.

D'après le graphe présenté dans la **figure 36**, nous remarquons la puissance du jet enflammé, à une distance de 10 mètres, est 400 KW/m^2 , puis elle commence à diminuer jusqu'à 100 KW/m^2 , la puissance du jet continue à diminuer jusqu'à 0 KW/m^2 sur un point de 1.6 Km.

Selon le graphe la distance de sécurité pour l'individu est à partir de 600 m du point source du BLEVE, c'est à cette distance que le flux thermique est inférieur à 8 KW/m^2 .

4.6 La prévention dans les zones ATEX :

Les résultats obtenus de la modélisation des scénarios précédents, nous ont montré que les effets de l'explosion et des radiations thermique pouvaient impacter l'ensemble des bâtiments présents sur le site (sales de contrôles, départements, administrations...) et mener ainsi à des blessures sévères ou même à la perte de plusieurs vies humaines, tels-que les opérateurs présents sur le site au moment de l'accident. Et la zone entre le LIE et LES est une zone ATEX d'où, le risque est important. Nous sommes obligés de chercher des mesures de prévention et d'intervention dans cette zone.

Et comme l'intervention dépend des plans d'attaque ou bien d'intervention de chaque entreprise. Nous citons dans cette partie les mesures que nous avons trouvées nécessaires pour prévenir le personnel travailleur et les installations dans cette zone.

En accord avec le principe général de la prévention des risques d'explosion, l'employeur doit éviter la formation d'atmosphères explosives et identifier les sources d'inflammation. Il doit également veiller à limiter les effets des explosions.

Il doit ensuite mettre en place des mesures techniques et organisationnelles pour prévenir le risque. L'ensemble de la démarche (évaluation et prévention du risque d'explosion) doit être formalisé dans un document dénommé « document relatif à la protection contre les explosions » (DRPCE). [31]

- Intégré au document unique donc actualisé annuellement, il doit être plus régulièrement mis à jour : lors de changements importants dans les produits, les procédés ou l'organisation du travail, et lorsqu'une information concernant l'évaluation du risque dans une unité de travail (issue par exemple d'une veille technologique) est recueillie.
- Les zones devront être identifiées par des panneaux normalisés.
- Le matériel électrique devra être vérifié au regard du type de zone. A ce titre, les zones seront représentées sur un plan et le plan fourni au contrôleur chargé de la vérification périodique des installations électriques. La mise à la terre des équipements et structure métalliques sera vérifiée (liaisons équipotentielles,).
- Au-delà, du matériel électrique, l'exploitant devra s'assurer qu'il n'y a pas, dans les zones, d'autres sources d'ignition (matériel pouvant atteindre des températures supérieures au poids d'auto-inflammation, matériel pouvant générer des étincelles par chocs mécaniques, accumulation d'électricité statique, foudre, etc ...).
- Des consignes écrites de travail en zone à risque doivent être établies.

- Il est préférable que le personnel qui pénètre dans les zones à risques d'explosion porte des tenues antistatiques (vêtements de travail coton) et des chaussures de sécurité antistatiques.
- Le personnel intervenant dans les zones à risque d'explosion ou travaillant à proximité doit avoir reçu une formation spécifique.
- Prévoir des moyens absorbants pour intervenir rapidement sur un déversement accidentel de liquides inflammables (plus information du personnel).
- Nettoyages (par aspiration) à faire plus fréquemment : à l'arrière de la scie à plat SIGMA IMPACT et du centre d'usinage à commande numérique, stockage panneaux et bois à proximité de la moulurière 4 faces, à l'extérieur au niveau des dépoussiéreurs et des bennes (nombreuses fuites sur les « by pass »).
- Nettoyages à faire obligatoirement par aspiration (ajouter éventuellement des prises spécifiques (une seul côté bois et une seule côté panneaux).
- L'utilisation de balais et de soufflette à air comprimé sont à interdire (création d'ATEX, du fait de la mise en suspension de poussières).
- Consigne à rédiger et information du personnel à prévoir.
- En cas d'accumulation de poussières, une petite explosion primaire, sans gravité compte tenu du faible volume (petite fuite), aurait pour conséquence la mise en suspension dans l'air de toutes les poussières accumulées. Une deuxième explosion pourrait suivre la première, avec des conséquences beaucoup plus importantes, en fonction de la quantité de poussière accumulée.
- Nettoyage par aspiration à mettre en place, au niveau des parties en hauteur, à l'intérieur du bâtiment (sur les gaines d'aspiration, sur les structures métalliques,). Présence de dépôts de poussières.
- Une des gaines d'aspiration de la déligneuse est à changer (gaine trouée).
- Interdire le fonctionnement des équipements en cas de problème sur l'aspiration (consignes + information du personnel) et mettre en place un suivi préventif de ces équipements (état des gaines).
- Orifices en partie basse à faire au niveau des 4 façades, pour améliorer la ventilation naturelle du bâtiment (chargement des batteries du transpalette et stationnement du chariot élévateur à gaz, stockage de bidons de liquides inflammables). Un orifice est à faire au droit de la zone de charge des batteries du transpalette. Le chariot élévateur sera stationné au droit d'un de ces orifices (butane plus lourd que l'air, donc en partie basse en cas de fuite).
- Consigne existante précisant qu'en dehors des heures de travail, la bouteille de gaz du chariot est obligatoirement fermée. Préciser dans cette consigne que le chariot devra être

obligatoirement stationné au droit d'un orifice en partie basse (50 cm x 50 cm) + information du personnel à prévoir.

- Chariot gaz : Afin de limiter les risques de fuite, les mesures suivantes doivent être prises :
 - Suivi de l'état du flexible,
 - Contrôles périodiques de l'étanchéité des raccords (bouteille – flexible – chariot) et notamment à chaque changement de bouteille,
 - Bouteille fermée en dehors des phases d'utilisation,
- Rétention à mettre en place pour les 2 bidons de 25 l d'anti adhérent. Stockage à prévoir à l'écart de toute source d'ignition.
- Suivi des aspiration/filtration à mettre en place (débits...), selon les indications de l'installateur.
- Idem pour l'extraction mécanique du caisson (pulvérisation d'anti adhérent) de la plaqueuse de chant.
- Remplissage des bidons de 2 l (anti adhérent) avec bidons de 25 l, à faire à l'extérieur, à l'écart de la source d'ignition.
- Consigne précisant l'obligation de mettre en marche l'aspiration avant l'utilisation des machines et l'obligation d'arrêter le travail à l'aide des machines en cas d'arrêt des extractions, à rédiger (information du personnel à prévoir). Risque de générer un nuage de poussières du fait de l'arrêt de l'extraction, d'où un risque d'explosion, en cas de présence d'une source d'ignition.
- Boîtiers aérosols : Les précautions de stockage et d'emploi à respecter sont les suivantes :
 - Utilisation en faible quantité, dans des locaux ventilés,
 - Stocker les générateurs d'aérosols dans un local aéré, exempt de toute source de chaleur,
 - Conserver les générateurs d'aérosols en bon état, ne pas utiliser de générateur déformé, rouillé, etc...
- Pulvériser hors :
 - De toute flamme, source de chaleur ou d'ignition, corps incandescent, ...
 - D'appareil à démarrage automatique,
 - De travaux par points chauds (soudage, oxycoupage,...),
 - D'étincelles d'origine électrique, électrostatique, mécanique
 - Interdire de fumer pendant et juste après l'utilisation,
 - Jeter les emballages lorsqu'ils sont totalement vides, dans un récipient prévu à cet effet,
 - Utiliser le produit uniquement pour l'usage prévu

Conclusion :

Ce chapitre été un parcours de recherche des paramètres qui affectent les limites d'inflammabilité afin de définir les meilleures conditions de stockage, en termes de gestion de zone ATEX. Dès l'analyse des revues qui nous a permettent d'identifier que la température et la pression ont une influence sur les limites d'inflammabilité de GPL dans les sphères de stockage. Et que ces effets peuvent induire : des fuites, explosion, jet enflammé Qu'ils ont été modélisés par la suite par le logiciel PHAST. Ces modélisations attendues de fuite et la rupture catastrophique de la sphère, élargir notre vision des dégâts encourus selon la distance, la surpression et le flux thermique jeté. A la fin de ce chapitre des recommandations de prévention dans les zones explosive.

Conclusion

Conclusion générale :

La production, le stockage et l'utilisation d'une quantité toujours croissante de produits inflammable/explosive entraînent dans l'industrie une augmentation considérable des risques d'accident majeur. Pour maîtriser ces risques et protéger les travailleurs, la population et l'environnement, il est indispensable de comprendre leurs propriétés et l'origine des effets indésirables qu'ils peuvent engendrer. Ainsi que, la nécessité de mettre en œuvre de façon systématique un ensemble de mesures de prévention. L'analyse de ces risques a pour but d'identifier les accidents permet d'intégrer l'aspect de la sécurité dans la prise de décision gouvernementale quant à l'acceptabilité des projets industriels pour protéger l'homme et les biens

La modélisation des effets des phénomènes dangereux « pire scénario » est utilisée dans le but d'estimer quelles sont les conséquences maximales d'un accident en termes d'étendue de territoire, de population touchée et de niveau d'impact (décès, blessures, détériorations structurelle). Elle a deux objectifs. Elle permet certes d'évaluer les distances d'effets demandées par la réglementation dans une étude de dangers (EDD), mais aussi de conforter des choix techniques (par exemple la conception d'un réseau anti-incendie, zonage ATEX).

Rappelons que l'objectif de ce travail est de faire une analyse des effets des conditions de stockage (température et pression) sur les propriétés d'inflammabilité, la définition de la zone ATEX, ainsi qu'une modélisation des scénarios dangereux autour de la sphère de GPL. Nous avons choisi ce sujet pour au moins donner une idée générale sur les phénomènes dangereux des produits inflammable/explosive et ses effets, et bien sûr les mesures de sécurité nécessaires pendant le stockage de ces produits.

Deux parties ont fait l'objet du présent mémoire :

Une première partie théorique consiste une recherche générale sur les notions de base de l'inflammabilité, l'explosivité et le stockage, une brève présentation du cadre législatif pour mettre en lumière les travaux par rapport à la réglementation, une revue d'accidentologies. De plus une synthèse d'évaluation des risques par une présentation des différents concepts de la sécurité, d'où nous avons regroupé les concepts de risque, danger, l'analyse d'évaluation des risques et les différentes méthodes d'évaluation des risques.

La seconde partie été consacrée sur la présentation du complexe GP1Z y compris les différentes procédures de production et de stockage et l'application d'outil de simulation numérique PHAST sur une sphère de de stockage de GPL en basant sur des études d'évaluation déjà faites par la méthode HAZOP.

La modélisation des conséquences d'accidents nous a permis à préciser les effets de la température et la pression, en cas d'une rupture catastrophique d'une sphère de stockage de GPL, sur les limites d'inflammabilité/ explosivité ce qui gère le zonage de la zone ATEX.

De même, Elle a permis de simuler la dispersion de la substance inflammable /explosive dans l'air et de mesurer quantitativement les niveaux appréhendés de radiation thermique ou de surpression sur les populations environnantes, le personnel, les infrastructures et l'environnement.

La modélisation des conséquences d'accidents (fuite et rupture de la sphère) permet :

- De connaître l'ampleur des effets potentiels liés à l'occurrence de fuite et ainsi pouvoir réduire les risques (prévention et protection)
- D'élaborer ou de mettre à jour la structure d'intervention et les plans d'urgence
- De procéder éventuellement à la communication des risques avec les parties prenantes (populations potentiellement affectées, autorités, le personnel, etc.)

Bibliographie

Bibliographie

- [1] Veynante D, « Flammes de diffusion laminaire, Techniques de l'ingénieur, Réf BE 8320, 1999, ».
- [2] Borghi R et Destriau M, « La combustion et les flammes, 1995, Editions Technip, 373 p ».
- [3] Glassman I., « Combustion 2ème édition, 1987, Academic Press, Inc, Londres, 501 p ».
- [4] Van Tiggelen A, « Oxydations et Combustions Volume 1, Publications de l'Institut Français du Pétrole, 1968, 584 p. »
- [5] « Coward, H. F., Jones G. W., Limits of flammability of gases and vapors, Bureau of Mines, Bulletin 503, 1952, 155 p ».
- [6] « Explosion Testing for dust, gases & vapours.” ». [En ligne]. Disponible sur : https://www.explosiontesting.co.uk/ait_in_air_23.html
- [7] frank T. Bodurtha, « Industrial explosion prevention protection ». 1980.
- [8] ineris, « Guide des méthodes d'évaluation des effets d'une explosion de gaz à l'air libre ». 1999.
- [9] « INERIS ». 2009. [En ligne]. Disponible sur : https://clp-info.ineris.fr/sites/clp-info.gesreg.fr/files/6%20CLP_liquides_inflammables_INERIS.pdf
- [10] « Le plan d'urgence hospitalier (PUH) », *SPF Santé publique*, 9 décembre 2016. <https://www.health.belgium.be/fr/le-plan-durgence-hospitalier-puh> (consulté le 14 juin 2022).
- [11] « Risques chimiques. Stockage des produits chimiques - Risques - INRS ». <https://www.inrs.fr/risques/chimiques/stockage-produits-chimiques.html> (consulté le 14 juin 2022).
- [12] « Incendie dans un entrepôt de produits phytosanitaires ». [En ligne]. Disponible sur : https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/fiche_detaillee/5187/
- [13] « Rupture d'un réservoir de stockage de pétrole brut ». [En ligne]. Disponible sur : https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/fiche_detaillee/30934/
- [14] « (Directive 96/82/EC (SEVESO II) ». 9 décembre 1996.
- [15] « OHSAS 18001 [OHSAS18001, 1999] ».
- [16] « GT Aspects sémantiques du risque ». 1997.
- [17] hamed Habib Mazouni., « Pour une meilleure approche du management des risques : de la modélisation ontologique du processus accidentel au système interactif d'aide à la décision. Automatique / Robotique. »

- [18] « iso 31000 ». 1999.
- [19] « OHSAS18001 IEC 61511, 2003 ». 1999.
- [20] « ISO/CEI 51 et 73 Iso 31000 ». 1999.
- [21] « ineris ». 2003.
- [22] « Incendie sur le lieu de travail. Ce qu'il faut retenir - Risques - INRS ». <https://www.inrs.fr/risques/incendie-lieu-travail/ce-qu-il-faut-retenir.html> (consulté le 14 juin 2022).
- [23] « Analyse du risque incendie et de vulnérabilité - CNPP ». <https://www.cnpp.com/Conseil-et-assistance-technique/Vos-besoins/Evaluation-et-gestion-des-risques-vulnerabilite-incendie/Analyse-du-risque-incendie-et-de-vulnerabilite> (consulté le 14 juin 2022).
- [24] « Explosion sur le lieu de travail. Ce qu'il faut retenir - Risques - INRS ». <https://www.inrs.fr/risques/explosion/ce-qu-il-faut-retenir.html> (consulté le 14 juin 2022).
- [25] « rapport_omega_7-2.pdf ». Consulté le : 14 juin 2022. [En ligne]. Disponible sur : https://www.ineris.fr/sites/ineris.fr/files/contribution/Documents/rapport_omega_7-2.pdf
- [26] Benarfa.A et Ghelima.T, « évaluation des risques de pollution et accidents de travail au niveau des cimenteries et les mines dans le but de la prévention ». 2016 2015.
- [27] « Exemples de logiciels de simulation.pdf ». Consulté le: 14 juin 2022. [En ligne]. Disponible sur : https://elearning-deprecated.univ-annaba.dz/pluginfile.php/63225/mod_resource/content/1/Exemples%20de%20logiciels%20de%20simulation.pdf
- [28] I. DAHMANI, E. M. BRAHMI, et I. H. M. GUETARNI, « Modélisation 3D de la dispersion du nuage de gaz par CFD ». 2021.
- [29] W. A. LIMAM, M. BADI, et I. H. M. GUETARNI, « Artificial Intelligence for The Recognition and Classification of Catastrophic Scenarios. » 2021.
- [30] A. M. Zagaye, C. Ouazzane, et I. H. M. GUETARNI, « L'analyse par la méthode HAZOP ». 2020.
- [31] DIRECTION D'EXPLOITATION CONSEIL et UNITE ENVIRONNEMENT & RISQUES INDUSTRIELS, « DETERMINATION DES ZONES A RISQUE D'EXPLOSION EVALUATION DES CONSEQUENCES DRPCE (Document Relatif à la Protection Contre les Explosions) ». Apave. [En ligne]. Disponible sur : http://www.reunion.gouv.fr/IMG/pdf/annexe_11_-_etude_atex.pdf

Annexes A

L'analyse par la méthode HAZOP effectuée par Dahmani Ismail et brahmi El Mehdi

Date :						Activité : stockage de GPL			
Equipements : Sphère de stockage 07-T-00XX						Conditions opératoires : 21 barg et 37°C			
						Volume : 500 m ³			
Paramètre	Mot clé	Déviation	Causes	Conséquences	Sécurité existant	Cotation			Recommandation a discuté
						G	P	R	
Pression	Plus de	Haute pression	Pression/débit élève en provenance du nœud précédent - Augmentation de température d'environnement sans refroidissement de la sphère - Sur remplissage (Défaillance de la fermeture HS- 0151A/B) - Présence d'une source de chaleur externe (incendie) Haute température	- Augmentation de niveau du fluide à l'intérieur de la sphère - La pression dans la sphère dépasse la valeur maximale (Surpression) Rupture de la paroi de la sphère et Pert de confinement. - Explosion - Jet Fier - BLEVE Rupture ou éclatement des conduites de la sphère - Si la soupape s'ouvrent le GPL s'échappe vers l'atmosphère et si elle ne	- Système de Détection feu et gaz - Alarme de pression Haute PAH - Détection feu sur les cuvettes - Capteur de pression ESDV PSV - vanne d'arrêt d'urgence HS - Capteur de température - Soupape de sécurité	4	4	16	- Maintenance régulière des capteurs de pression Et des vannes - Etalonnage et Equilibrage des soupapes de sécurité - L'inspection périodique du système déluge pour le refroidissement et la réduction des flux thermique - Maintenance régulière des capteurs de température - Transfert intermédiaire entre les sphères afin de maîtriser la pression. - Cuvette de rétention déportée
			du fluide dans la conduite ou dans le réservoir.	s'ouvre pas possibilité de surpression dans la sphère - Surpression excessive dans la sphère - Dans le cas d'une ignition immédiate la survvenu d'un jet fire.					- Couronne de refroidissement sur les sphères - Peinture intumescente sur les sphères - mure blast résiste
pression	Moins de	Basse pression	- Pression/débit faible en provenance du nœud précédent - fuite importante dans la tuyauterie/la paroi de la sphère - Diminution de la température	- Perte De Production - Emet De vapeur Vers Torche - Capacité Vide Dans Les Sphères (implosion). - Cavitation Des Pompes De Remplissage. - L'arrêt Distribution De GPL	- Alarme de pression basse PAL - Contrôle d'indicateur de pression par l'opérateur. - Détecteur de pression	2	3	6	- Ajouter une indication de pression indépendante avec alarmes basse.
Température	Plus de	Haute température	- Propane plus chaud en provenance des	- Température de stockage élevée	- Alarme de température haute	4	4	16	- L'inspection périodique du système déluge pour le

Date :						Activité : stockage de GPL		
Equipements : Sphère de stockage 07-T-00XX						Conditions opératoires : 21 barg et 37°C		
						Volume : 500 m ³		
			unités précédentes Augmentation de la pression dans le réservoir - Augmentation de température ambiante d'environnement sans refroidissement de la sphère - Présence d'une source de chaleur externe (incendie) - Défaillance de système de refroidissement - Défaillance des détecteurs température	- Surpression excessive dans la sphère - la survenu d'un point chaud sur la paroi de la sphère et causant le phénomène de BLEVE - Augmentation de la pression et Évaporation élevée du fluide survenu de : UVCE, feu de flash (Jet Fier) Rupture de la sphère avec grande quantité de rejet de gaz inflammable	- Détection feu sur les cuvettes - Détection de gaz - Ouverture des soupapes vers torche et vers atmosphère - Refroidissement la sphère par le courant d'eau.			refroidissement et la réduction des flux thermique Maintenance régulière des capteurs de température - Transfert intermédiaire entre les sphères Inspection et maintenance régulière des soupapes - Couronne de refroidissement sur les sphères

Date :						Activité : stockage de GPL			
Equipements : Sphère de stockage 07-T-00XX						Conditions opératoires : 21 barg et 37°C			
						Volume : 500 m ³			
Température	Moins de	Basse Température	- Propane plus froid en provenance des unités précédentes - Température ambiante basse Chute de pression	- Chute de pression - Baisse de pression dans la sphère, voir pression moins Impulsion - Perte de production	- Détecteur de basse température Et basse pression	2	3	6	- maintenance et inspection périodique
Débit	Plus de	Débit Plus	- Plus d'écoulement et de production provenant du nœud précédent - Problème sur le refoulement des pompes - Montée de niveau et de pression dans les sphères	- Augmentation de pression dans la sphère - explosion jet fire ... - Débordement vers torche et pollution atmosphérique => voir pas de débit - Augmentation de la vitesse de transfert provoque des vibrations sur les pompes - Augmentation de la pression dans la conduite de	- PAH- qui donne une alarme de p° haute dans la sphère - LAL qui montre en salle de contrôle un niveau Haut dans les sphères - Démarrage du compresseur pour diminuer la pression	2	2	4	- L'inspection périodique

Date :						Activité : stockage de GPL		
Equipements : Sphère de stockage 07-T-00XX						Conditions opératoires : 21 barg et 37°C		
						Volume : 500 m ³		
				refoulement des pompes de transfert	- Rythme de Fonctionnement des pompe			
Débit	Moins de	Débit Moins	- Faible ou non écoulement de la source - Fuite au niveau de canal - Arrêt des pompes d'export - Défaillance (fermeture) de la vanne HV	- Perturbation sur la production du GPL - Perte de l'export de GPL (production) - Diminution de niveau dans le réservoir - Augmentation de la pression dans le réservoir Cavitations ou dommages potentiels des pompes	- Détection de niveau et pression aussi	3	2	6
								- Maintenance préventive et inspection régulière
Fuite	Petite	Petite fuite	- Fuite de bride - Vanne fuyarde - Fuite de garniture de pompe	- Emission de gaz inflammable à l'atmosphère - Explosion BLEVE jet fire	- Détection feu et gaz au niveau des sphères et au niveau des pompes	4	5	20
								- Garniture double sur les pompes - Optimisation des systèmes de détection feu et gaz au niveau de zone de stockage

Date :						Activité : stockage de GPL		
Equipements : Sphère de stockage 07-T-00XX						Conditions opératoires : 21 barg et 37°C		
						Volume : 500 m ³		
					- Détecteur Basse pression et Bas niveau			
Niveau	Plus de	Haut niveau de GPL dans la sphère.	- Débit élevé en provenance de l'unité précédente Sur remplissage : - défaillance de capteur de niveau - Défaillance des soupapes de sécurité - Défaillance de la pompe d'exportation	- Risque de surpression et la rupture de la paroi. - Plus de propane dans le réservoir	- Alarme de niveau haut - Sécurités de niveau très haut qui isolent la sphère	3	3	9
								- Inspection périodique et maintenance - Maintenance régulière des capteurs de niveau
Niveau	Moins de	Basse niveau de GPL dans la sphère	- Défaillance des capteurs de niveau en indiquant un haut niveau dans la sphère d'où la fermeture des vannes	- Vidange totale de la sphère et risque de cavitation et d'endommagement des pompes d'export	- Sécurités de niveau très bas qui arrêtent la pompe et ferment la vanne HV	2	4	8

Date :						Activité : stockage de GPL		
Equipements : Sphère de stockage 07-T-00XX						Conditions opératoires : 21 barg et 37°C		
						Volume : 500 m ³		
			- Fuite au niveau de la conduite ou le réservoir	- Diminution de la production et du rendement de l'installation - Dispersion du fluide puis une dépression - Dommage environnemental				

L'analyse par la méthode HAZOP effectuée par LIMAM Walid Abdelghani et BADI Mohammed

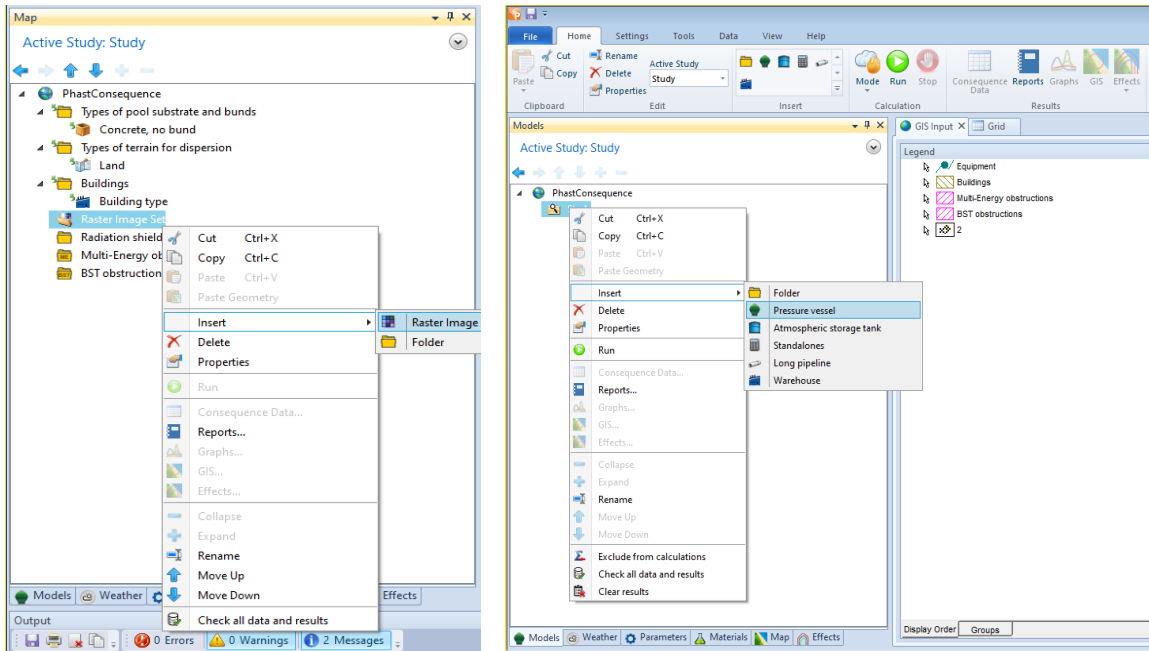
Deviation	Cause	Consequence	Effective Safeguards	Before Risk Reduction			Recommendations
				S	L	SL	
1. High Pressure	1. - Pressure / flow rises from previous node - Increase in ambient temperature without cooling the sphere - Overflowing of the sphere	1. Increase in fluid level inside the sphere.	1. Pressure sensor with Hight alarm.	4	3	12	1. Deluge system automation.
		2. The pressure in the sphere exceeds the maximum value (Overpressure).	2. Fire detection.	4	3	12	2. Retention tank must be placed.
		3. Rupture of the sphere's wall and loss of confinement.	3. Gas detection.	4	3	12	3. Check if the PRV1 and PRV2 are designed for this case.
		4. Rupture or bursting of the conduits of the sphere.	4. Level sensor.	4	3	12	
		5. Explosion, Jet Fire, [pool fire and BLEVE (in case of rupture)], dispersion of flammable gas.	5. Pressure relief valve (PRV).	4	3	12	
	2. Fail inn closing the valve PSV1 in the entering line and fail in opening the pressure relief valve (PRV).	1. Pressure increasing of in the tank.	1. Pressure relief valve (PRV).	4	3	12	4. Regular maintenance of pressure sensors and valves Calibration and balancing of pressure relief valves.
		2. Potential overpressure in the tank leading to potential damage and external leak.	2. Pressure sensor.	4	3	12	5. Check if the PRV1 and PRV2 are designed for this case.
		3. Explosion, Jet Fire, pool fire, BLEVE.		4	3	12	6. install ESD or redundance PSV
	3. Failure of pressure safety valves. (PSV1 and PSV2)	1. Propane escapes to atmosphere if the pressure relief valve opens, and if it does not open, an overpressure in the sphere will take place.	1. Pressure relief valve (PRV).	4	3	12	7. Regular inspection and maintenance of pressure sensors and valves Calibration and balancing of pressure relief valves.
		2. Explosion, Jet Fire, pool fire, BLEVE.	2. Pressure sensor.	4	3	12	
	4. - Presence of an external heat source (fire). - High temperature of the fluid in the pipe or in the tank. - Increase in temperature from previous node.	1. - Increase in steam volume. - excessive overpressure in the sphere. - BLEVE can takes place. - If the pressure relief valve opens the propane escapes to atmosphere.	1. Temperature sensor. 2. Fire detector system. 3. Pressure relief valve (PRV).	4 4 4	3 3 3	12 12 12	8. Fire proof wall for the sphere. 9. Check if the PRV1 and PRV2 are designed for this case.

Deviation	Cause	Consequence	Effective Safeguards	Before Risk Reduction			Recommendations
				S	L	SL	
2. Vacuum Pressure	1. - Low pressure / flow from previous node. - Large leak in the pipe or the wall of the sphere. - Decrease in temperature	1. Sudden drop in pressure (Depression), production losses.	1. Pressure sensor.	2	2	4	
		2. Reduction of export flow, the manometric head of the pump is insufficient for the export of propane.	2. Temperature sensor.	2	2	4	
		3. In the event of delayed ignition of: UVCE, flash fire (Jet Fire).		4	2	8	
		4. Occupation of BLEVE (cold).		4	2	8	
		5. Risk of rise in level in the sphere.		3	2	6	
		6. Implosion of the sphere.		3	2	6	
3. High Temperature	1. - Hotter propane from previous node. - Temperature increase in the environment without cooling the sphere. - Increased pressure in the tank - Presence of an external heat source (fire). - Failure of the cooling system.	1. Increase in storage temperature.	1. Temperature sensor with Hight alarm.	4	3	12	10. Deluge system automation.
		2. The rupture of the sphere with a large amount of dangerous release.	2. Gas detection.	4	3	12	11. add a water curtain system (LMBA)
		3. Occurrence of: UVCE, Jet Fire.	3. Pressure sensor.	4	3	12	
		4. Increased pressure and high evaporation of the fluid.	4. Pressure relief valve (PRV).	4	3	12	
		5. The creation of a hot spot on the wall of the sphere and the possibility of a BLEVE occurring.		4	3	12	
		6. Excessive overpressure in the sphere.		4	3	12	
		7. dispersion of flammable vapors (when pressure relief valve opens).		4	3	12	
4. Less/Low Temperature	1. - Cooler propane from previous node. - Ambient temperature very low than normal.	1. Pressure drops in the sphere.	1. Temperature sensor with low alarm.	1	2	2	
		2. Possible damage to the tank bottom due to frosting.		2	2	4	
5. High Level	1. - High flow from the previous node.	1. Risk of overpressure and rupture of the wall.	1. Level sensor with Hight alarm.	2	2	4	12. Regular maintenance of level sensors and valves.

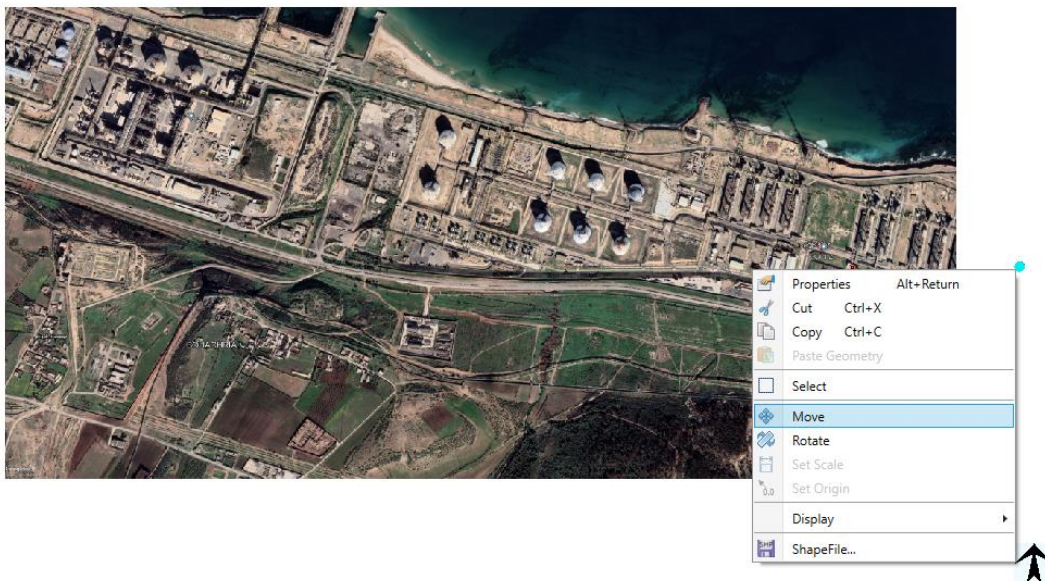
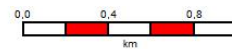
Deviation	Cause	Consequence	Effective Safeguards	Before Risk Reduction			Recommendations
				S	L	SL	
	- Excessive propane tank filling. - The valve V1 blocked fully opened on the entering propane line. - Failure on opening the valve V2 on the propane extraction line. - Tank level indication failure. - Failure of the export pump.	2. Pumps cavitation and damages.	2. Pressure sensor. 3. Non-return valve.	2	2	4	13. Place a manual valve on the entering line.
	2. Overpressure.	1. Idem 1.1		4	3	12	
6. Less/Reduced Level	1. - Leak in the pipe or the sphere. - Failure of the level sensors indicating a high level in the sphere where the valve V1 is closed. - The valve V2 blocked fully opened on the discharge propane line.	1. Total emptying of the sphere and risk of cavitation and damage to the export pumps.	1. Level sensor with low alarm.	1	2	2	14. Place a manual valve on the discharge line. 15. Regular maintenance of level sensors and valves.
		2. Pump runs in shut off condition, and possible damage on pump.		1	2	2	
		3. Decrease in production and plant efficiency.		1	1	1	
		4. Dispersion of the fluid then a depression.		1	2	2	
		5. Pool fire or VCE.		3	3	9	
		6. Environmental damage.		3	3	9	
7. More Flow	1. - More flow and production from the previous node. - The valve V2 fails fully opened on discharge line. - Start of second transfer pump while the first one is working	1. Risk of faster rise in the level in the sphere.	1. Flow indicators with Hight alarm. 2. Overload alarm for motor transfer pumps.	2	2	4	
		2. Increased pressure in the tank.		4	2	8	
		3. Increased transfer speed causes vibrations on the pumps.		1	2	2	
		4. Transfer flow increasing and high velocity in the line leading to vibrations.		1	2	2	
		5. Possible motor pump overload.		2	2	4	
8. Less Flow	1. - Propane transfer pump fails.	1. Loss of propane export (production).	1. Flow indicators with low alarm.	1	2	2	16. Regular inspection of the pipes and the sphere.

Deviation	Cause	Consequence	Effective Safeguards	Before Risk Reduction			Recommendations
				S	L	SL	
	- Failure on the export pumps. - Low / no flow from previous node. - The valve V1 on the entering line stuck closed. - Leak in the pipe or the sphere. - Failure of the level sensors indicating a high level in the sphere where the level is low.	2. Decrease in level in the tank.		1	3	3	17. Protection against corrosion.
		3. Evaporation then overpressure.		4	2	8	
		4. Increased pressure in the tank.		4	2	8	
		5. Cavitation and potential damage to pumps.		2	2	4	
		9. Reverse Flow		1. Opening of the propane inlet valve V1 in the discharge mode.	1. Cavitation and potential damage to pumps.		
10. Small Leak	1. - Leaking pump packing. - Flange leak. - Leaking valve.	1. Dispersion of flammable gaz.	1. Fire detector system.	3	4	12	19. Protection against corrosion.
		2. Jet fire, UVCE, BLEVE.	2. Gas detection.	5	4	20	

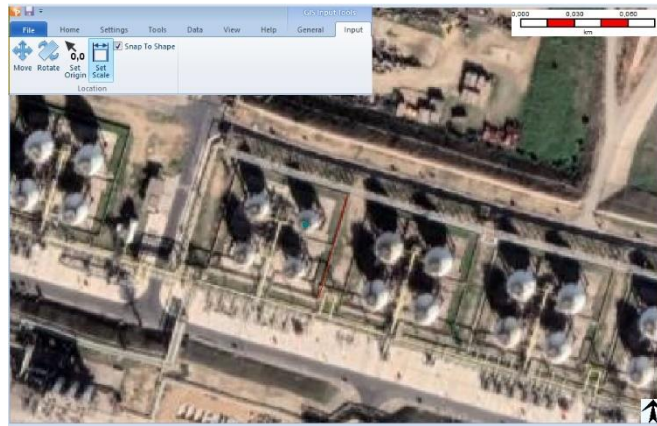
Annexes B



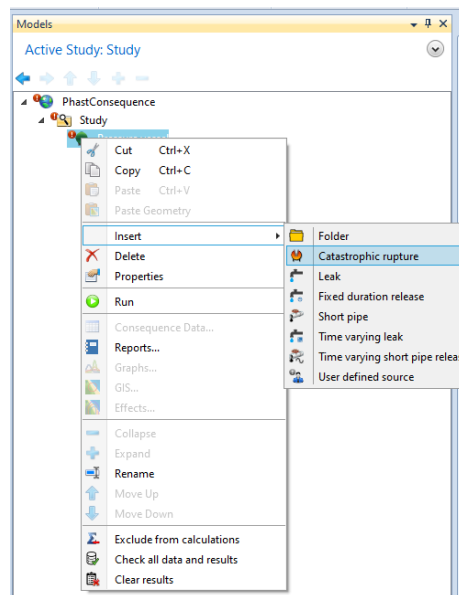
- Insérer une image prise sur MAP
- Insérer l'équipement de la simulation



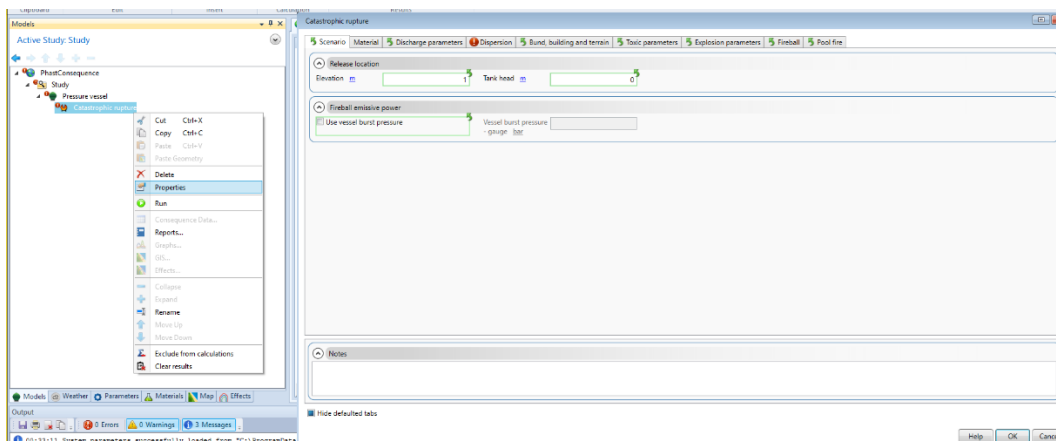
- Déplacer l'équipement a son emplacement exact sur Map



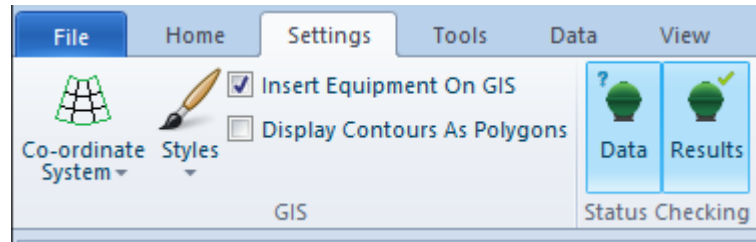
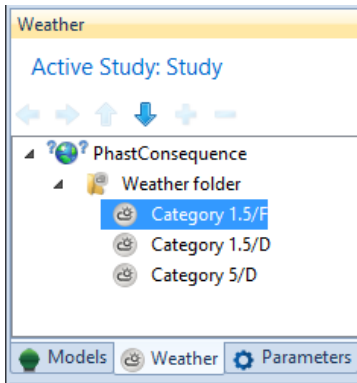
- Définir la distance réelle entre deux points connus



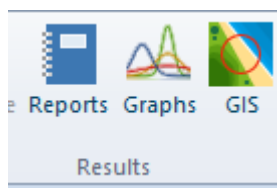
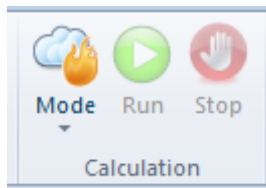
- On choisit la défaillance à étudier



- Insérer les valeurs des paramètres pour l'équipement et la défaillance



- Choisir la condition métrologique
- Insérer l'équipement sur Gis



- Choisir le mode et lancer la simulation
- A la fin du chargement, voir les résultat sur (document, graph ou Map)