

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de L'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Ecole Nationale Polytechnique



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
Ecole Nationale Polytechnique



Département Maîtrise des Risques Industriels et Environnementaux
Filière : QHSE-GRI

Mémoire de Post-Graduation Spécialisée En QHSE-GRI

**Maitrise du Risque de Dispersion Atmosphérique
d'un Rejet de Gaz Inflammable et Toxique Au
Niveau de L'unité MeLeX RA1 K de Skikda**

Khelifi Slimane

Sous la direction de :

M. Mohamed BOUBAKEUR	MAA	ENP
M. M'hamed BOUSBAI	MAA	ENP
M. Bouzid BENKOUSSAS	Professeur	ENP

Présenté et soutenu publiquement le 29 avril 2018

Composition du Jury :

Président	M. NAMANE Abdelkader	MCA	ENP
Rapporteur /Promoteur	M. BOUBAKEUR Mohamed	MAA	ENP
	M. BOUSBAI M'hamed	MAA	ENP
	M. BENKOUSSAS Bouzid	Professeur	ENP
Examineur	M. KERTOUS Aboubakeur	MAA	ENP
Invités	M. GHERBI Ali	Lieutenant Colonel	DGPC
	M. BERRACHED Tayeb	Commandant	DGPC

ENP année 2018

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de L'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Ecole Nationale Polytechnique



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
Ecole Nationale Polytechnique



Département Maîtrise des Risques Industriels et Environnementaux
Filière : QHSE-GRI

Mémoire de Post-Graduation Spécialisée En QHSE-GRI

**Maitrise du Risque de Dispersion Atmosphérique
d'un Rejet de Gaz Inflammable et Toxique Au
Niveau de L'unité MeLeX RA1 K de Skikda**

Khelifi Slimane

Sous la direction de :

M. Mohamed BOUBAKEUR	MAA	ENP
M. M'hamed BOUSBAI	MAA	ENP
M. Bouzid BENKOUSSAS	Professeur	ENP

Présenté et soutenu publiquement le 29 avril 2018

Composition du Jury :

Président	M. NAMANE Abdelkader	MCA	ENP
Rapporteur /Promoteur	M. BOUBAKEUR Mohamed	MAA	ENP
	M. BOUSBAI M'hamed	MAA	ENP
	M. BENKOUSSAS Bouzid	Professeur	ENP
Examineur	M. KERTOUS Aboubakeur	MAA	ENP
Invités	M. GHERBI Ali	Lieutenant Colonel	DGPC
	M. BERRACHED Tayeb	Commandant	DGPC

ENP année 2018

REMERCIEMENTS

Je remercie Dieu le tout puissant de m'avoir donné la force, le courage et la santé pour accomplir ce modeste travail.

Nous souhaiterions adresser nos remerciements les plus sincères aux personnes qui nous ont apporté leur aide et qui ont contribué à l'élaboration de ce mémoire ainsi qu'à la réussite de cette formidable formation.

Nos profonds remerciements s'adressent à nos encadrants, Messieurs Benkoussas Bouzid, Boubakeur Mohamed, Bousbai M'hamed, qui se sont toujours montrés disponibles et à l'écoute de nos préoccupations de l'élaboration de ce mémoire.

J'adresse mes remerciements à Mr le Directeur de la protection civile de la wilaya de Nâama le Commandant Rida kreita,

Je remercie également la famille enseignante de l'école nationale polytechnique

Je tiens tout d'abord à remercier Mr. Boubakeur Mohamed de m'avoir suivi tout au long de l'accomplissement de ce travail, à travers ses conseils et ses orientations qui ont été très bénéfiques.

En fin, j'adresse un remerciement tout spécialement à mes parents, ma femme et mes enfants pour leurs encouragements et soutien tout au long de cette formation

ملخص

إن ارتفاع السرعة في عدد الحوادث الصناعية الكبرى المرتبطة في مواقع التخزين الصناعية للغاز المميع الناجم عن تسرب الغاز، الحرائق و الانفجار له تأثيرات و أضرار على الأشخاص و الممتلكات و البيئة، تطبيق طريقة التحليل الأخطار و الإجراءات و العمليات على نظام التخزين البترول الغاز المميع في مجمع سكيكدة ، التي تساعد على تعرف على الأحداث و الآثار و تعطي الجوانب التصحيحية و الإجراءات الأمنية للوحدة .

كلمات البحث :

HAZOP المخاطر، غاز البترول المميع، التخزين،

Abstract :

The number of industrial accidents has increased at a faster rate at the liquefied petroleum gas storage, the impacts of the accidents on people, property and the environment were sever. The study includes the risk analysis methods (APR) and (HAZOP) used in the storage facility, of GPL, the former methods allowed the identification of events that may be catastrophic. The corrective actions allowed to check the safety level of the unit.

Key words : Risk, liquefied petroleum gas GPL, storage, HAZOP

Résumé

L'augmentation rapide du nombre d'accident industriel majeurs lieu les site de stockage industriels de gaz de pétrole liquéfies sont dus essentiellement à la fuite des gaz , l'incendie et l'explosion résultant, occasionnant des impacts et des effets graves sur les personnes, les biens et l'environnement ;l'application de la méthode d'analyse des risques APR et HAZOP sur une installation de stockage de GPL , au complexe RA1K de Skikda , a permis d'identifies les événements pouvant avoir des effets graves et catastrophique ; les actions correctives identifiées par les méthodes permettent également de vérifies le niveau de sécurité de l'unité.

Mots clés : Risque, Gaz de pétrole liquéfié GPL, Stockage, HAZOP.

Sommaire

La liste des figures

La liste des tableaux

Introduction générale		
1	Introduction générale-----	10
Chapitre -01- L’Historique		
1-1	Aperçu historique : extrait des événements internationaux et nationaux-----	12
1-2	Les 15 grandes catastrophes industrielles liées aux dommages matériels, au cours des années 1976-2006	16
1-3	Les 15 grandes catastrophes industrielles par rapport au nombre de victimes, au cours des années 1976-2006	17
1-4	Accidentologie lies aux accidents de stockage de GPL en Algérie – ARIA-----	18
Chapitre -02- Etat de l’art		
2-1	Présentation de la raffinerie-----	21
2-2	Organisation générale de la société-----	22
2-3	Nature et volume qui Produits-----	24
2-4	Données météorologiques-----	25
2-5	Fonctionnement général des installations-----	26
2-6	Les études antérieures-----	29
Chapitre -03- les Analyses des risques		
3	l’Analyse de risques -----	33
3 -1	Présentation de la méthodologie de l’analyse de risques-----	33
3-2	Identification des Evènements Redoutés Centraux (ERC) -----	33
3-3	Détermination de l’indice probabilité de l’ERC-----	35
3-4	Evaluation qualitative de la criticité des phénomènes dangereux-----	36
3-5	le choix d’une méthode d’analyse de risque-----	36
3-6	la méthode l’HAZOP-----	40
3-7	Tableaux de l’Analyse Préliminaire des Risques-----	42
3 -8	Résultats obtenus de l’analyse Préliminaire des risques-----	43
3-9	Application de la méthode HAZOP sur la sphère-----	45
3-10	L’application de l’Arbre De Défaillance -----	46

3-11	les barrières de sécurité-----	50
------	--------------------------------	----

Chapitre -04- Modélisation du Phénomène dangereux

4-1	Introduction-----	56
4-2	Méthodes de modélisation-types de rejet-----	59
4-3	Configuration de l'installation étudiée - Stockage du gaz pétrole liquéfiés au niveau de la Zone Est de l'unité Melex de raffinerie de Skikda	64
4-4	Défaillance d'une sphère de GPL avec les phénomènes suivant-----	67
4-5	L'étude de danger sur l'installation-----	74
4-6	Modélisation des explosions (TNT, TNO, BAKER) -----	76
4-7	Boule de feu-----	93
4-8	La dispersion atmosphérique-----	96
4-9	Travaux Antérieurs sur les aspects de l'écoulement-----	99
4-10	Equation de concentration-----	106
4-11	Scenari : fuite de GPL (propane) -----	108
4-12	Phénomène dangereux: Explosion UVCE -----	110
4-13	Tableau Probabilité – Gravité – Cinétique -----	111
4-14	Des effets dominos -----	112
4-15	Tableau donnant les seuils des distances-----	113
4-16	Conséquences sur les travailleurs-----	112

Conclusion générale

5	Conclusion générales-----	115
	Abréviation-----	117
	BIBLIOGRAPHIE-----	120
	ANNEXE-----	122

La liste des figures

Figure (1-1)	Centre d'enfûtage GPL de Skikda après l'accident	13
Figure (2-1)	La vue aérienne de la zone industrielle de Skikda-----	21
Figure (2-2)	Organigramme de la raffinerie de Skikda-----	22
Figure (2-3)	Le cheminement des produits sont illustré dans le schéma -----	24
Figure (2-4)	Schéma de la configuration actuelle de la raffinerie de Skikda RA1K -----	27
Figure (2-5)	La colonne de distillation atmosphérique -----	28
Figure (3-1)	Les différentes phases de la gestion du risque-----	33
Figure (3-2)	Déroulement de la méthode HAZOP-----	41
Figure (3-3)	Les barrières de sécurité « prévention, protection, intervention -----	50
Figure (4-1 (a))	Causes principales de désastres-----	56
Figure (4-1 (b))	Hexagone de l'explosion-----	57
Figure (4-2)	Les différents types des explosions-----	58
Figure (4-3)	Les différents types de rejets-----	59
Figure (4-4)	Fuite la phase gaz de réservoir -----	60
Figure (4-5)	Fuite la phase liquide de réservoir -----	62
Figure (4-6)	Décomposition des étapes de dispersion suite à la rupture d'un réservoir ou une pipe.	63
Figure (4-7)	Fuite diphasique de réservoir de GPL -----	63
Figure (4-8)	Vue aérienne de la zone Est de l'unité MeLex -----	64
Figure (4-9)	Les principes équipement d'une sphère de GPL-----	65
Figure (4-10)	Couronne d'arrosage de la sphère GPL -----	67
Figure (4-11)	Représentation une cuvette de rétention -----	68
Figure (4-12)	Brûlage des gaz (torchère) d'une installation pétrolière -----	69
Figure (4-13)	Surpression en fonction de la distance réduite-----	77
Figure (4-14)	Surpression en fonction de la distance centre de l'explosion-----	78
Figure (4-15)	Explosions partielles se produisant à l'intérieur du nuage -----	81
Figure (4-16)	Vue aérienne de la Zone Est de l'unité Melex-----	83
Figure (4-17)	Durée de la phase positive, avec paramètre (Valeur comprises entre 1et 10) le coefficient de puissance de l'expression.	86
Figure (4-18)	Durée de la phase positive, avec paramètre (valeurs comprises entre 1 et 10) Le coefficient de puissance de l'explosion (Berg 1985).	88
Figure (4-19)	Diagramme donnant la surpression en fonction de la distance à l'échelle (Méthode baker-strehlw)	90

Figure (4-20)	La dispersion atmosphérique des fumées suite à l'explosion d'un nuage de vapeur.	97
Figure (4-21)	Système de coordonnées de dispersion gaussienne-----	102
Figure (4-22)	Dispersion de gaz inflammable GPL-----	105
Figure (4-23)	Fuite sur la ligne de soutirage de la sphère -S- 161-----	108

La liste des tableaux

Tableau (1-1)	Montre des quinze plus grandes des catastrophes industrielles survenues durant les années de 1976 à 2006.	16
Tableau (1-2)	Montre les quinze plus grandes des catastrophes industrielles par rapport au nombre de victimes, au cours des années de 1976 à 2006.	17
Tableau (1-3)	Accidentologie lies aux accidents de stockage de GPL en Algérie - ARIA	18
Tableau (2-1)	Différents Réservoirs de stockage-----	31
Tableau (3-1)	Séquence d'événements depuis l'événement indésirable jusqu'à l'effet majeur.	34
Tableau (3-2)	Indice de fréquence et probabilité associé-----	35
Tableau (3-3)	Matrice de criticité sur l'environnement extérieur-----	36
Tableau (3-4)	Les principales méthodes d'analyse-----	38
Tableau (3-5)	Résultats de l'APR-----	43
Tableau (3-6)	Matrice de criticité -----	44
Tableau (4-1)	Désignation des seuils d'effets thermique règlement sur l'homme-----	71
Tableau (4-2)	Désignation des seuils d'effets thermique règlement sur l'homme-----	71
Tableau (4-3)	Désignation des seuils d'effets de surpression réglementaires sur les hommes.	73
Tableau (4-4)	Désignation des seuils d'effets de surpression réglementaires sur les structures.	73
Tableau (4-5)	La distance entre le réservoir à être étudié Sphère et voisins	84
Tableau (4-6)	Vitesse de la flamme, en nombre de Mach-----	89
Tableau (4-7)	données climatologiques-----	97
Tableau (4-8)	Désignation des seuils d'effets toxiques réglementaire-----	98
Tableau (4-9)	Données les valeurs de l'exposant -p- pour les zone rurales et urbaines	103
Tableau (4-10)	Réalisé à l'aide des équations empiriques ΔT_c -----	104
Tableau (4-11)	représente les équations adoptées selon les conditions atmosphériques	105
Tableau (4-12)	représente l'élévation du panache-----	106
Tableau (4-13)	Des effets dominos-----	112
Tableau (4-14)	Donnant les seuils des distances -----	113

Introduction générale

-1- Introduction générale

De nos jours, le pétrole et le gaz jouent un rôle très important dans l'industrie, ils constituent la plus importante source d'énergie de notre temps.

L'Algérie occupe une place de choix dans l'ensemble des pays producteurs de ces produits. Mais dans ces dernières années, les établissements industriels ont connu une augmentation rapide du nombre d'accidents industriels majeurs tels que les incendies, les explosions et les phénomènes dangereux occasionnant des impacts et des effets graves sur les personnes, les biens et l'environnement.

Le but de ce travail est tout d'abord, d'identifier les risques d'explosion, d'incendie associés au système de stockage de GPL du complexe RA1K de Skikda et précisément du propane à la sphère (S161), d'analyse par l'application de la méthode de l'APR et HAZOP, tout en proposant des mesures et des moyens de prévention. Pour mettre les points sur ces objectifs, le contenu de ce mémoire est réparti en quatre chapitres :

- ◆ Le premier chapitre comporte un aperçu général portant sur l'historique des explosions et de la dispersion des produits inflammables et toxiques dans l'atmosphère.
- ◆ Le deuxième chapitre présenté le complexe de la raffinerie de Skikda, en faisant ressortir les risques liés au stockage sous pression.
- ◆ Le troisième chapitre porte sur la modélisation du phénomène.
- ◆ Le dernier chapitre concerne l'application de l'analyse de risque au stockage du gaz de pétrole liquéfié au sein du complexe RA1/K par la méthode de l'APR et de l'HAZOP, suivi d'une interprétation des résultats, en prévoyant des mesures de préventions et des moyens de protection.

Et enfin, une conclusion générale.

Chapitre 01

L'Historique

1-1 Aperçu historique : extrait des événements internationaux et nationaux

Dans ce contexte, l'aperçu historique a pour objet de faire le point sur les principaux événements ayant un impact sur le développement de la sécurité industrielle.

a) - Au niveau national (la zone industrielle de Skikda)

✚ Incendie du terminal de Skikda, Sonatrach

- Date : 04 / 10 / 2005
- Lieu de l'accident: terminal de stockage de Skikda, Sonatrach.
- Nature de l'accident : incendie de deux bacs de brut.
- Bilan humain : 02 Morts et 29 blessés.
- Bilan matériel : 02 bacs (105, 106) détruits, 07 camions d'intervention en brassés, perte d'une quantité importante de brut.
- Coût estimé de pertes matérielles : 36470000 dollars.

✚ Forte déflagration au niveau du complexe GNL/K

- Date : 19 /01/2004
- Lieux de l'accident: complexe GNL/K Skikda, Sonatrach.
- Cause de l'accident : fuite de gaz.
- Bilan humain : 27 Morts et 74 blessés.
- Bilan matériel : destruction des unités 40,30, et du bloc administratif du complexe.

✚ Forte déflagration au niveau de l'unité éthylène

- Date : 17 / 03 / 2004
- Lieux de l'accident: unité éthylène, complexe CP₁ / K de Skikda, Sonatrach.
- Cause de l'accident : fuite d'hydrogène sur la ligne 3P3153B1Q.
- Bilan humain : 06 blessés.
- Bilan matériel : destruction d'une partie de la section purification.

✚ **05 janvier 2016**, une forte déflagration, suivie d'un important incendie, a secoué, l'explosion au centre d'enfûtage GPL de Skikda : 15 blessés et des dégâts matériels.

- En dehors de la plateforme pétrochimique de Skikda. Selon des travailleurs du centre, l'explosion avait été précédée d'une forte odeur de gaz butane relevée au niveau du carrousel d'enfutage (chaîne d'emplissage des bouteilles de gaz). La déflagration ainsi que l'incendie ont occasionné la blessure de quinze travailleurs, la chaîne d'emplissage a également été endommagée. L'onde de choc de l'explosion a été ressentie au centre-ville de Skikda ainsi que dans plusieurs unités de la zone pétrochimique.



Figure (1-1) : Centre d'enfûtage GPL de Skikda après l'accident

b) - Au niveau international

✚ D'AZF Toulouse en France :

- Date : 12 / 12 / 1999
- Nature de l'accident : Explosion d'un hangar de stockage de nitrate ammonium
 - Sur le site AZF
 - bilan humain : 21 Morts, plusieurs blessés
 - bilan matériel : une grande partie de site détruit
 - À l'extérieur de site
 - bilan humaine : 09 Morts, 29 blessés graves ; 300 blessés hospitalisés pour plus de 06 jours.
 - bilan matériel : 25000 logements endommagés ,1200 complètement détruits. 1000 bâtiments industriels ou de commerce endommagés, 120 établissements scolaires et universitaires endommagés. [1]

Alpha – en Mer du Nord -Italie

- Date : 06 / 07 / 1988.
- Lieu : plate-forme pétrolière située en mer du nord au large des cotes d'Ecosse
- Nature de l'accident : Incendie suivi de deux explosions
- Bilan humain : 167 Morts.
- Bilan matériel : destruction de toute la plate-forme pétrolière.
- Cause & facteurs aggravants : défections dans les opérations de l'organisation des opérations de maintenance, de la consignation et la transmission de l'information, l'organisation des urgences, etc. [1]

San Juan Ixhuatepec - Mexique

- Date : 19/11/84
- Nature de l'accident : Explosion d'un terminal de gaz de pétrole liquéfié
- Le site de stockage était constitué de 4 sphères de G.P.L. (mélange à 80 % de butane, Et de 20 % de propane) d'un volume unitaire de 1600 m³, de deux sphères de 2400 m³ de volume et de 48 réservoirs cylindriques horizontaux de diverses capacités. Au moment de l'accident, approximativement 11000 à 12000 m³ de G.P.L. été stockés sur le site. Lors d'une phase de remplissage d'un réservoir, une canalisation de 8 pouces (200 mm de diamètre) sous 24 bars a cédé. Lorsque la hauteur du nuage a atteint une hauteur visible d'environ deux mètres, il s'est enflammé 5 à 10 minutes après le début de la fuite, inflammable ayant vraisemblablement pénétré dans des maisons, son inflammation entraîne leur destruction. Quelques minutes après l'inflammation du nuage, deux des plus petites sphères ont provoqué des BLEVES, engendrant la formation d'une boule de feu (d'un diamètre évalué, sans certitude, à 350 ou 400 mètres) ainsi que l'éjection d'un ou deux réservoirs cylindriques. Les effets thermiques et l'éjection de fragments ont entraîné, par effet domino, d'autres BLEVE. En définitive, les quatre petites sphères furent détruites. Les sphères plus grosses restèrent intactes, Seulement 4 des 48 cylindres demeurèrent dans leur position initiale. Dans un rayon de 300 mètres, toutes les personnes furent tuées ou blessées. Cet accident causa au total le décès de plus de 500 personnes. Il y eut environ 7000 blessés, et 39000 personnes évacuées. Les secours mobilisèrent autour de 4000 personnes. Des fragments de sphères furent retrouvés à plus de 600 mètres et 12 cigares-rockets furent projetés à des distances pouvant atteindre 1200 mètres. [1]

Bhopal – Inde

- Date : 03 / 12 / 1984
- Le plus importante catastrophe industriel à ce jour, (fuite de 40 tonnes de gaz toxique d'une usine de pesticides)
- Nature de l'accident : L'explosion de l'usine Union des Pesticides a dégagé 40 tonne d'Iso-Cyanate de méthyle (produit extrêmement toxique et allergène, aussi toxique que le chlore) dans l'atmosphère de la ville
- Bilan humain : entre 16000 et 30000 personnes tuées.
- Cause & facteurs aggravants : défaillance au niveau des ressources de maintenance et de l'entretien des installations ainsi que dans la conduite à tenir en cas d'urgence (plan d'urgence). [1]

ROYAUMEUNI

- Date : 1981
- Nature de l'accident : Eclatement d'un séchoir
- Au Royaume Uni, en 1981, un séchoir rotatif a éclaté en deux, suite à une explosion de vapeur. Le plus gros morceau a été propulsé à travers l'usine et a atterri sur le parking. L'explosion de vapeur a été attribuée à une réaction en chaîne impliquant de l'eau anormalement présente dans le fond du séchoir. En effet, la pompe à vide utilisée habituellement pour évacuer l'eau du réservoir à faible température n'a pas fonctionné ce jour-là. Le séchoir contenait de l'hydrosulfate de soude ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$), qui est un sel qui réagit lentement, de façon exothermique en présence de l'eau dans les conditions ambiantes. fait de l'augmentation de la température, la réaction s'est emballée et l'eau résiduelle s'est brutalement transformée en vapeur. [1]

USA OU CANADA

- Date : 11/1962
- Nature de l'accident : Eclatement d'un réservoir par changement rapide de phase dans une raffinerie
- De l'eau était présente dans le fond d'un accumulateur probablement en raison d'une panne de l'alimentation au démarrage. La présence des deux phases a entraîné une vaporisation et une surpression soudaines. La partie principale de l'accumulateur a été projetée à 96 m et un morceau de 3 m sur 10 m a été projeté à 220 m. [1]

1-2 Les listes des quinze plus grandes catastrophes industrielles liées aux dommages matériels, durant les années de 1976 à 2006 [2]

Le tableau (1-1) : Montre des quinze plus grandes des catastrophes industrielles survenues durant les années de 1976 à 2006.

Date	Emplacement	Unité	cause Initiale	Coût (en \$)
06.07.1988	ukrainien - Mer du Nord	Plate-forme pétrolière	VCE	1503
23.10.1989	USA – Pasadena	Pétrochimie	VCE	1030
21.09.2001	France –Toulouse	Pétrochimie	VCE	888
20.01.2004	Alger –Skikda	Raffinerie	VCE	845
15.03.2001	Brazil -	Plate-forme pétrolière	VCE	610
24.04.1988	Brazil- Enchova	Plate-forme pétrolière	Incendie	546
25.06.2000	Kuwait- Al Ahmadi	Raffinerie	VCE	512
05.05.1988	USA-	Raffinerie	VCE	398
09.11.1992	France-	Raffinerie	VCE	376
24.02.1986	Grèce - Thessaloniki	Cuve à mazout	Incendie	368
25.12.1997	Malaysia- Sarawak	Pétrochimie	Explosion	348
14.11.1987	USA- Pampa	Pétrochimie	VCE	340
23.07.1984	USA- Romeoville	Raffinerie	VCE	325
16.04.2001	UK- Grimsby	Raffinerie	VCE	308
16.10.1992	Japon- Sodegaura	Raffinerie	VCE	232

1-3 Les listes plus grandes des catastrophes industrielles par rapport au nombre de victimes, Au cours des années de 1976 à 2006. [2]

Le tableau (1-2) : Montre les quinze plus grandes des catastrophes industrielles par rapport au nombre de victimes, au cours des années de 1976 à 2006

Date	Emplacement	Unité	cause Initiale	Nombre de victimes
03.12.1984	Inde -Bhopal	Pétrochimie	Iso-Cyanate de méthyle.	25000
19.11.1984	Mexico -Mexico City	Dépôt	Propane	6400
26.07.1993	USA -Richmond	Pétrochimie	Acide	6250
21.09.2001	France -Toulouse	Pétrochimie	Nitrate d'ammonium	3000
01.12.1995	Inde -Maharashtra	Transport	Nitrate d'ammonium	2000
09.09.2000	USA -Manhattan	Transport	Anvil	2000
05.03.1982	Australie -Melbourne	Transport	Butadiene	1000
20.03.1995	Japon -Tokyo	Méto	Sarin	980
10.01.1997	Pakistan -Lahore	Transport	Nitrate d'ammonium	900
04.06.1989	USSR -Sibérie	Pipeline	GPL	706
01.09.1991	China -Shaxi	Pétrochimie	Pesticides	650
19.12.1981	Venezuela - Caracas	stockage	Pétrole	500
19.12.1982	Venezuela - Tacos	stockage	Pétrole	500
21.01.1997	Inde-Bhopal	Transport	Nitrate d'ammonium	400
08.07.1986	USA - Miamisburg	Transport	Acide	400

1-4 Accidentologie lies aux accidents de stockage de GPL en Algérie [3]

Tableau (1- 3) : Accidentologie lies aux accidents de stockage de GPL en Algérie - ARIA

La date	lieux	Equipement	Cause	Conséquence
2004	EL KHEMIS	Bras de chargement	//	Flash
2004	BLIDA	Canalisation enterrée du poste chargement	Corrosion interne	Fuite de GPL non enflammée
2004	GP1/Z	Bras de chargement	Frottement de brides (création de l'électricité statique)	Fuite de propane enflammée
2005	BERRAHAL	Soupape de ligne	Dysfonctionnement de la soupape	Fuite de GPL non enflammée
2005	Bourdj Bou-Arréridj	Soupape d'une citerne	Dysfonctionnement de la soupape	Fuite de GPL non enflammée
2007	SKIKDA	Canalisation 6	Corrosion interne	Fuite de GPL non enflammée
2007	BERRAHAL	Soupape d'une citerne	Augmentation de pression	Fuite de GPL non enflammée
2007	PORT BEJAIA	Canalisation 6	Détérioration d'un joint	Fuite de GPL non enflammée
2009	SBA	Pipe Arzew-SBA-Tlemcen	Travaux d'excavation d'une société chinoise CETIC	Fuite de GPL non enflammée
2009	ARZEW	Citerne	Rupteur du joint d'étanchéité dû au mauvais serrage	Fuite de GPL non enflammée
2009	SIDI KHALED	Citerne	Arrachement de la vanne de purge dû à l'usure de filetage	Fuite de GPL non enflammée
2009	KHROUB	Soupape de ligne	Elévation de température	Déclenchement de la soupape
2009	PORT BEJAIA	Pipe	Le cisaillement du pipe est provoqué par une manœuvre d'une remorque de l'EPB	//

L'évaluation des risques liés aux rejets de produits dangereux est une tâche incontournable dans la sécurité industrielle des procédés, car ce type de fuite accidentelle dans le cas du GPL provoque la formation d'un nuage inflammable, si ce dernier rencontre une source d'ignition, une explosion se produit. les caractéristiques de cette explosion varie en fonction de l'emplacement de la fuite et du temps d'inflammation.

D'autre part, le nuage de produits dangereux pourrait être transporté par le vent jusqu'à des distances assez importantes (quelques kilomètres) avec une concentration très élevée qui peut présenter un danger pour l'environnement.

Chapitre 02

Etat de l'art

2-1 Présentation de la raffinerie :

La raffinerie de Skikda RA1K est située dans la zone industrielle pétrochimique à l'est de Skikda, sa construction a été lancée en 1976, elle couvre une superficie de 230 hectares et est située à proximité de la Mer.

Elle est bordée : au Nord par la cité El Arbi Ben M'hidi, à l'Ouest par un tissu urbain, au Sud par un tissu urbain et par d'autres sites industriels (ENGI, DRGS), à l'Est par la zone industrielle,

Le démarrage de la production de la raffinerie de Skikda s'est effectué en 1980

La raffinerie traite le pétrole brut produit par les puits de Hassi Messaoud, le transport de pétrole brut est réalisé à l'aide d'un pipe line à une distance du champ pétroliers jusqu'au complexe, sur une distance de 760 km. [4]



Figure 2-1 : Vue aérienne de la zone industrielle Skikda

2-1-1 Les étapes du développement de la raffinerie

La raffinerie a subi plusieurs étapes importantes dans son évolution :

1985 : Ajout d'une unité de traitement du kérosène ;

1993 : Ajout d'une unité de reforming catalytique (101 et 103) et d'une unité de gas plant(104)

1996 : Création d'une unité de déminéralisation et d'un bac d'eau dessalée ;

1999 : Ajout de deux modules de récupération des gaz torchés ;

2000 : Création d'une nouvelle sphère.

2-2 Organisation générale de la société

2-2-1 L'organigramme de la raffinerie de Skikda est le suivant [4] :

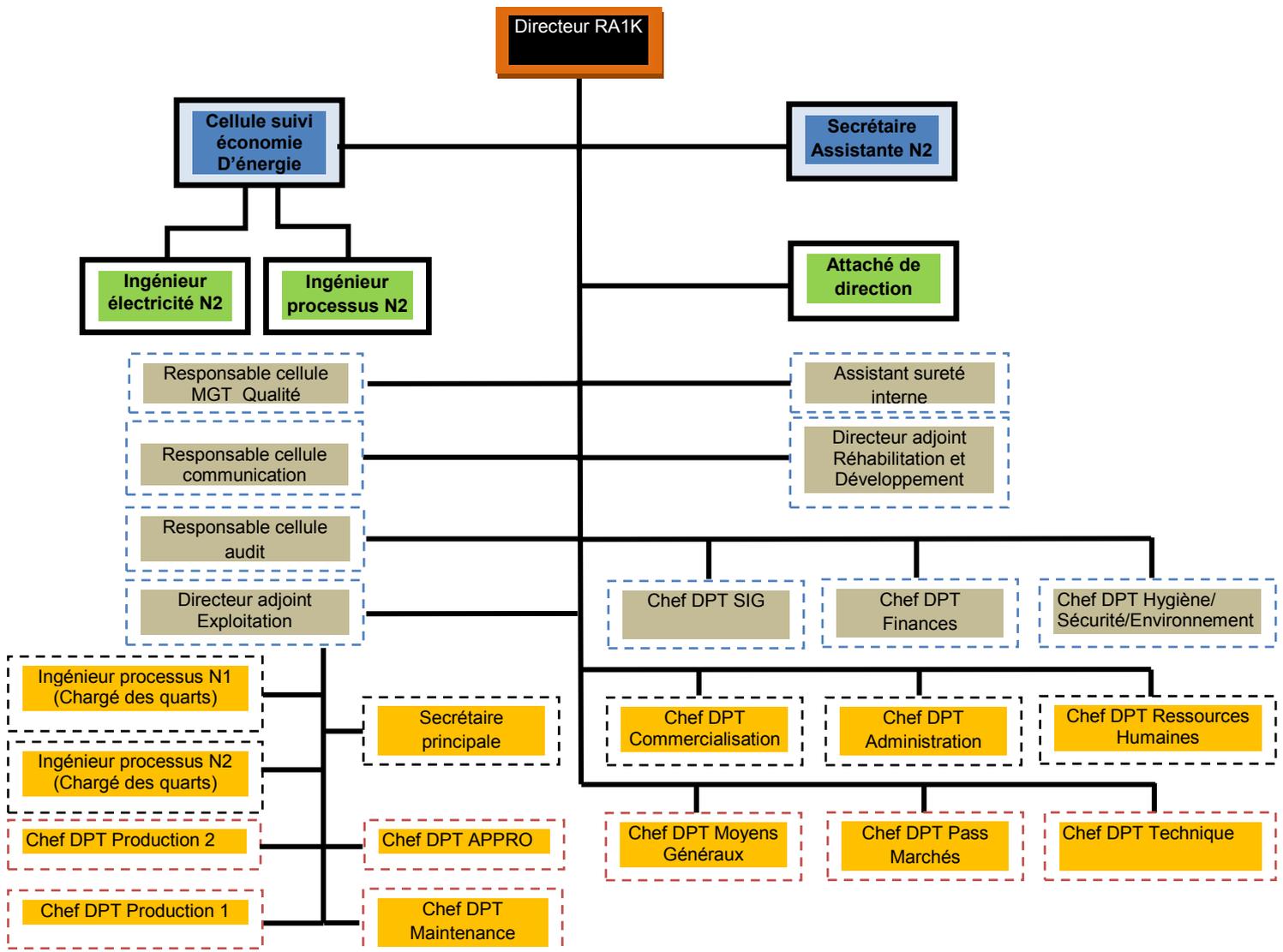


Figure 2-2 : Organigramme de la raffinerie de Skikda

2-2-2 Rubriques de la nomenclature des installations classées selon la réglementation algérienne

La raffinerie de Skikda est soumise aux dispositions :

- ◆ **Décret n°85-232 du 25 août 1985**, relatif à la prévention des risques de catastrophes qui a pour but de mettre en œuvre les mesures et normes réglementaires et techniques de nature à éliminer les risques susceptibles de mettre en danger la sécurité des personnes, des biens et de l'environnement ou à réduire les effets.
- ◆ **Loi n°88-07 du 26 janvier 1988**, relative à l'hygiène, la sécurité et la médecine du travail. Cette loi a pour objet de définir les voies et les moyens ayant pour but d'assurer aux travailleurs les meilleurs conditions en matière d'hygiène, de sécurité et de médecine de travail et de désigner les personnes responsables et organismes employeurs chargés de l'exécution des mesures prescrites.
- ◆ **Décret exécutif n° 03-451 du 1 décembre 2003**, définit les règles de sécurité applicables aux activités portant sur les matières et produits chimiques dangereux ainsi que les récipients de gaz sous pression.
- ◆ **Loi n° 03-10 du 19 juillet 2003**, relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable. La présente loi a pour objet de définir les règles de protection de l'environnement dans le cadre du développement durable.
- ◆ **La loi n° 04-20 du 25 décembre 2004**, relative à la prévention des risques majeurs et à la gestion des catastrophes dans le cadre du développement durable.
- ◆ **Décret exécutif n°06-198 du 31 mai 2006**, définissant la réglementation applicable aux installations et établissements classés pour la protection de l'environnement qui a pour objet de définir les régimes d'autorisation et de déclaration d'exploitation des établissements classés, leurs modalités de délivrance, de suspension et de retrait, ainsi que les conditions et modalités de leur contrôle.
- ◆ **Décret exécutif n° 07-144 du 19 mai 2007**, fixant la nomenclature des installations classées pour la protection de l'environnement

2-3 Nature et volume qui Produits

La raffinerie de Skikda a traité plus de 365 millions de tonnes de pétrole brut depuis sa mise en service. Pour la seule année 2007, la raffinerie a traité 14 millions de tonnes de BHM (Brut de Hassi-Messaoud) et 281 000 tonnes de BRI (Brut Réduit Initial, provenant du marché européen). Le raffinage a pour but de séparer les différents hydrocarbures composant le pétrole. On utilise pour cela des procédés physiques et physico-chimiques qui permettent d'obtenir quatre grandes catégories de produits les gaz de pétrole liquéfiés (GPL), des bitumes (routiers et oxydés), des aromatiques (benzène, toluène, paraxylènes et mélange xylènes) et des carburants (essence, fuel, kérosène, naphta, jet A1 et gas-oil), comme indiqué sur la figure ci-dessous. [4]

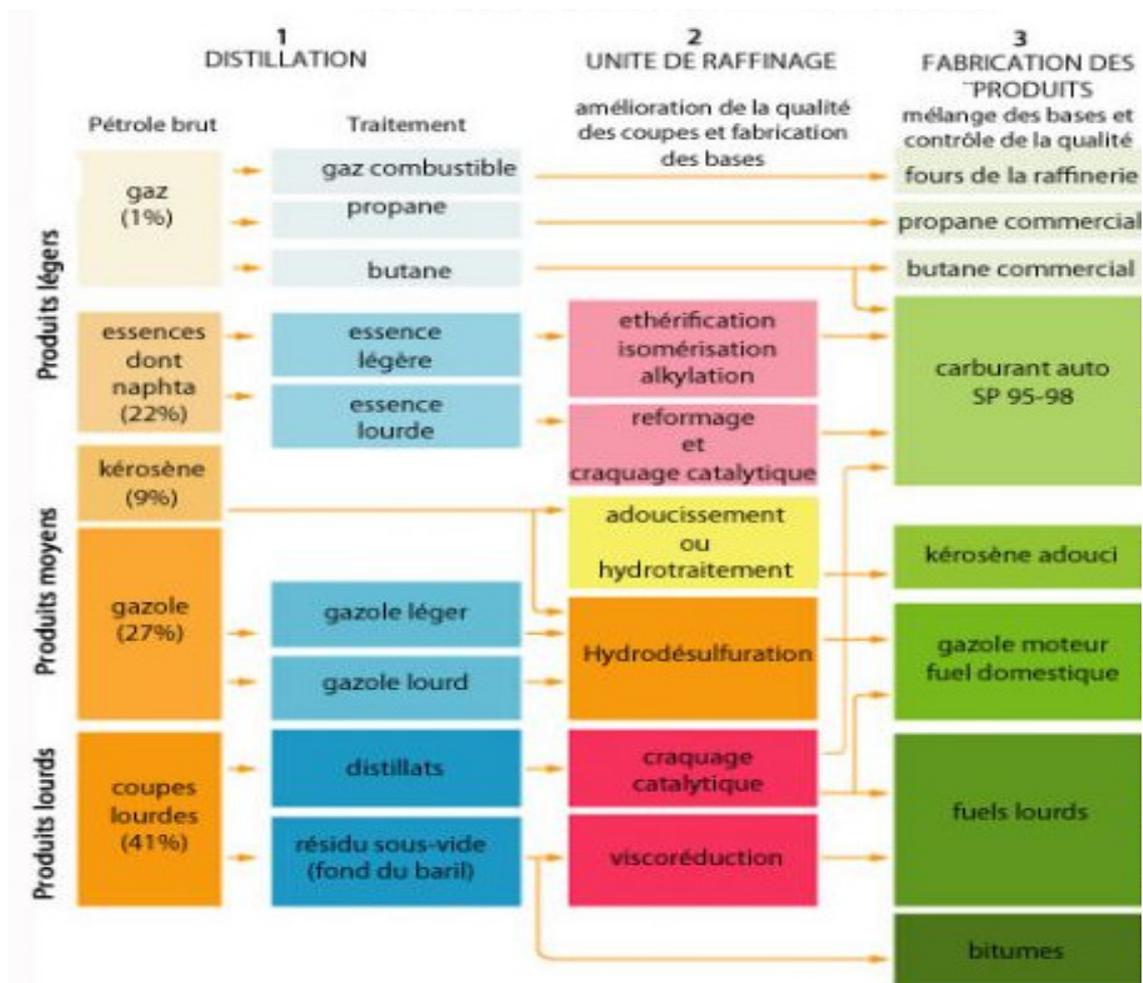


Figure 2-3 : le cheminement des produits sont illustrés dans le schéma

2-3-1 Les moyens d'expédition et de stockage

Pour l'approvisionnement du marché intérieur et extérieur. A noter que depuis 2001 la part réservée au marché intérieur n'a pas cessé d'augmenter pour passer de 20% en 2001 à 41% en 2007. De plus, la raffinerie possède des moyens d'expédition par pipes, par bateaux et par camions, et de stockage.

Le pétrole brut alimente les 03 réservoirs à toit flottant S-1, S-2, S-3 d'une capacité de 5980 m³ pour chaque bac, la charge de brut alimente par la suite, les deux unités de distillation atmosphérique.

2-3-2 Les accès routiers menant à la raffinerie de Skikda sont les suivants

- La route communale vers Fil Fila, passe à l'est du site.
- Le chemin de Wilaya 18, se trouve à 2,5 km au Nord de la raffinerie

2-3-3 Les points de chargement des produits dans les ports [4]

La raffinerie de Skikda est située a 4,5 km du nouveau port où elle dispose de deux bras de chargement des produits aromatiques (benzène, toluène, mélange xylènes). Ces bras sont localisés au poste A1 dont la gestion est du ressort de la raffinerie. Les produits raffinés (essences, kérosène, naphta, gasoil, fuel BTS et fuel HTS) sont chargés à partir des postes P1, P2 et P3 du nouveau port et sont gérés par l'entreprise STH (Société de Gestion des Terminaux Marins à Hydrocarbures). En outre, la ville de Skikda possède un deuxième port dénommé ancien port situé à 8.5 km de la raffinerie. Au niveau de ce port, la raffinerie dispose d'une station de stockage et d'expédition du bitume routier. Le chargement des Caboteurs de bitume est réalisé au moyen de deux bras de chargement situés au poste P4. La raffinerie dispose aussi au poste P4 d'un bras de chargement du fuel BTS destiné au soutage des navires. Les produits raffinés (essences, kérosène, naphta, gasoil) sont chargés à partir des postes P1, P2 et P3 gérés par l'entreprise STH.

2-4 Données météorologiques

La ville de Skikda, située sur la mer méditerranéenne dans le golfe de Stora, appartient au domaine bioclimatique subhumide. Le climat est doux et tempéré sur le littoral (vu l'effet des phénomènes de brise de mer et de terre).

L'humidité relative moyenne se situe aux alentours de 70%.

2-4-1 Les vents dominants

Les statistiques des cinq dernières années, basés sur des relevés effectués chaque trois heures au niveau de la station météo du nouveau port de la zone industrielle de Skikda ont donné les résultats rapportés dans le tableau donné ci-dessous :

Vents	2003	2004	2005	2006	2007	Total
Nord	214	121	138	174	245	892
Sud	284	40	101	179	557	1161
Ouest	48	20	51	176	0	295
Sud est	0	39	93	105	59	296

2-4-2 Les températures

Les relevés de températures moyennes mensuelles enregistrés durant les cinq dernières années indiquent clairement que la température se situe entre 10 °C et 29 °C.

2-5 Fonctionnement général des installations [4]

La raffinerie traite le pétrole brut produit par les puits de Hassi Messaoud.

La raffinerie est composée des installations suivantes :

➤ **Unité combinée**

- Sections 10 et 11 - Topping : unité de distillation atmosphérique ;
- Section 100 - Magnaforming : unité de reformage catalytique (reforming 1) ;
- Sections 101 et 103 – Plat-forming : unité de reformage catalytique (reforming 2) ;
- Section 70 : unité de fabrication des bitumes routiers et des bitumes oxydés ;
- Section 200 : unité de fabrication des aromatiques ;
- Section 400 : unité de production du paraxylène ;
- Sections 30/31 et 104 - Gas plant : unité de récupération des GPL ;

➤ Centrale et utilités ;

➤ Bacs de stockage ;

➤ Port pétrolier ;

➤ Un laboratoire ; Une zone de stockage appelée magasin.

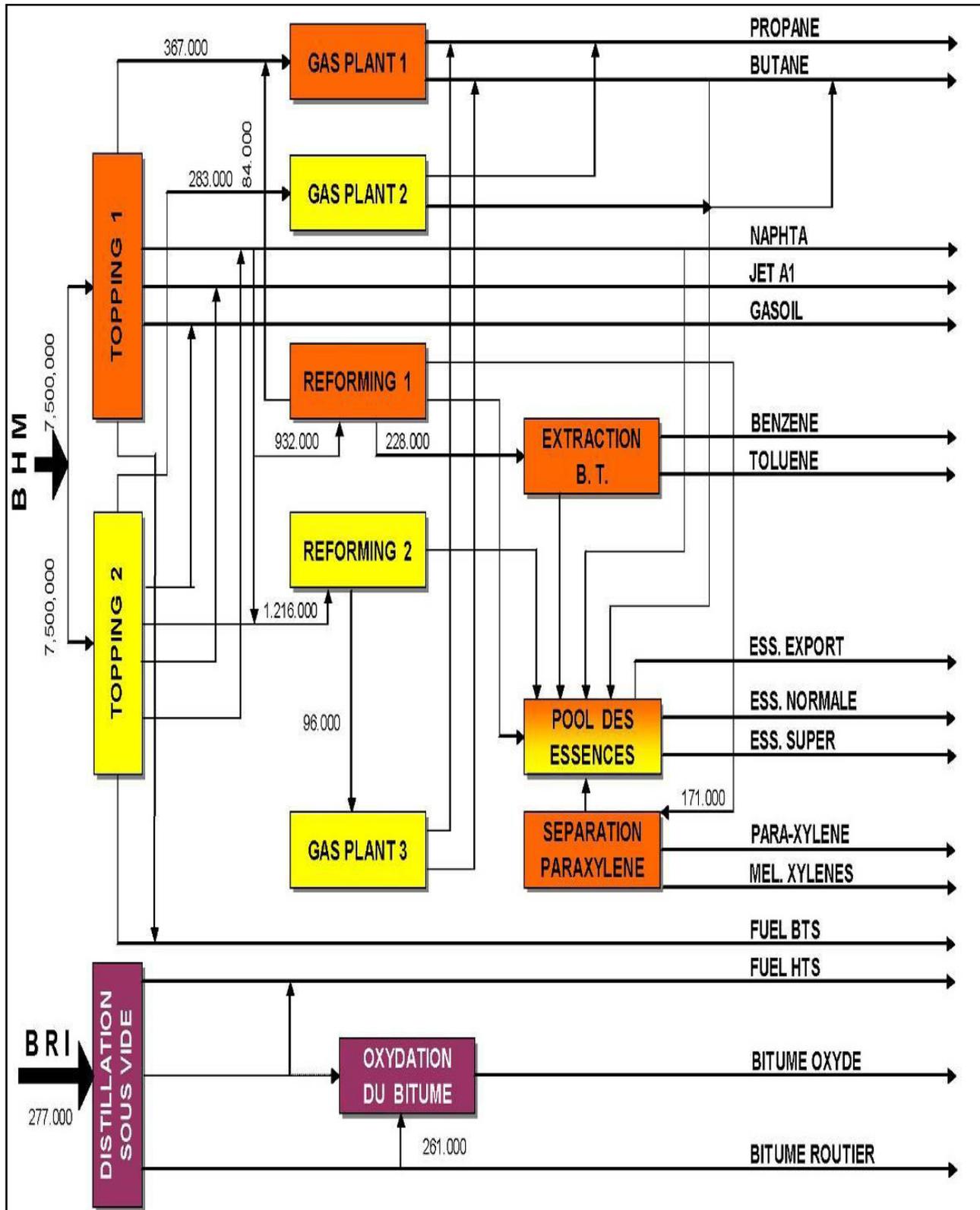


Figure 2-4 : Schéma de la configuration actuelle de la raffinerie de Skikda RA1K

a) Les unités 10 /11 topping - distillation atmosphérique

La distillation atmosphérique a pour but de fractionner le brut en différentes coupes stabilisées pouvant être utilisées pour l'obtention de produit fins (naphta, Gasoil, jet...) Comme le montre de la figure 2-5.

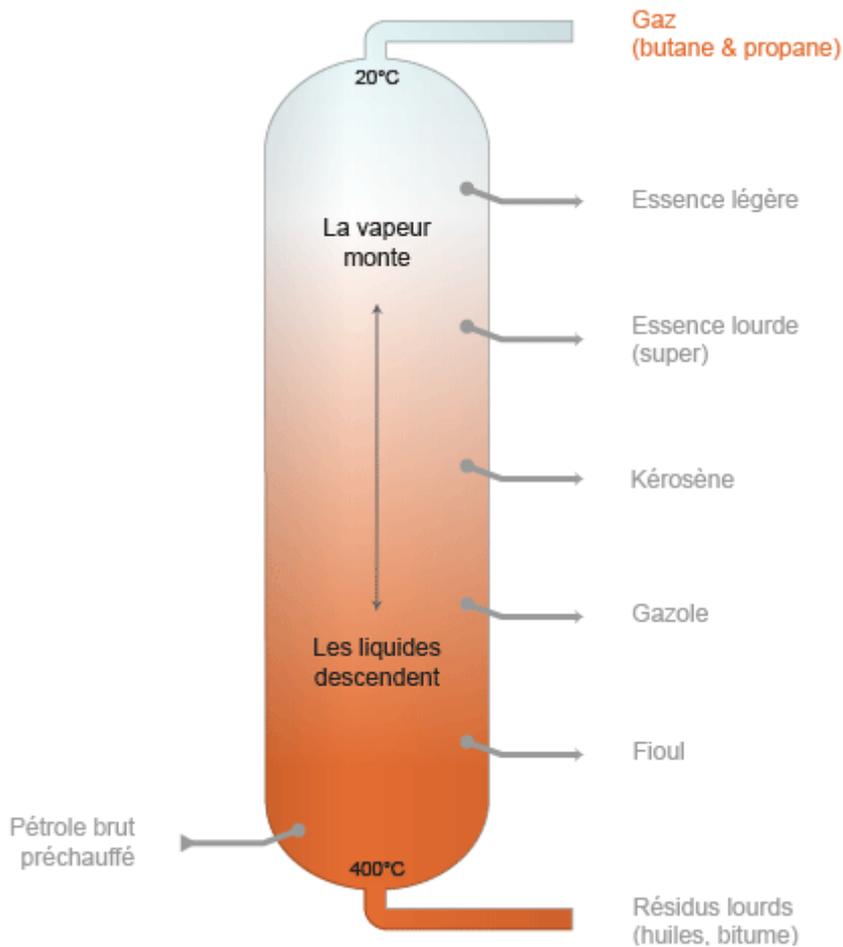


Figure 2-5 : la colonne de distillation atmosphérique

b) Unités 100 et 103 (unité Magna-forming Platforming)

La Magnaforming et le Platforming ont pour but de transformer l'huile naphta moyenne et lourde obtenues du topping (reformat) utilise comme charge pour les unités d'aromatiques. [4]

c) Unité 200 : extraction des aromatiques

L'installation d'extraction des aromatiques fait extraire de l'essence réformé des aromatiques qui seront fractionnées par la suite en benzène et toluène très pure. [4]

d) Unité 70 : production de Bitume

L'unité a été conçue pour traiter 271 100 t/an de brut réduit importe (BRI).

L'unité se compose principalement d'une colonne de distillation sous vide et d'un réacteur d'oxydation de bitume. [4]

e) Les unités 30-31-104 : séparation et traitement des gaz

Ces unités sont destinées à traiter les gaz liquides venant des unités 10,11.

f) Les unités annexes et utilités

- ✚ Unité 600 de stockage mélange et expédition ;
- ✚ Unité 62 pour la déminéralisation des eaux ;
- ✚ Unité 1050 centrales thermiques électriques et utilité (C.T.E).

2-6 Les études antérieures

En raison de la croissante demande en gaz de pétrole liquéfié (GPL), NAFTAL envisage d'augmenter ses capacités de stockage de ce carburant et la réalisation de nouveaux centres de stockage et d'emplissage. Ces dernières années, un intérêt particulier a été porté aux questions des risques liés au stockage, au transport et à l'utilisation du GPL en raison de la croissante demande en gaz de pétrole liquéfié (GPL), NAFTAL envisage d'augmenter ses capacités de stockage de ce carburant et la réalisation de nouveaux centres de stockage et d'emplissage. Il y'a lieu de relever l'intérêt croissant porté aux questions des risques liés au stockage, au transport et à l'utilisation du GPL.

2-6-1 Unité d'affectation

a) Représentation de l'Unité 600 de stockage mélange et expédition

La Raffinerie possède une capacité de stockage de 2.500.000 m³, pour permettre le stockage du pétrole brut, des produits semi finis et des produits finis, la raffinerie de Skikda dispose d'un parc de stockage constitué de 116 réservoirs, répartis dans les 03 zones (Zone Sud, Zone Est, Zone Nord,) chaque zone dispose d'une salle de contrôle pour superviser les différentes opérations de mouvement des produits, à l'aide des instruments nécessaires installés dans les trois salles de contrôles (niveau, débit, pression,...) [4]

b) Types et répartition des bacs de stockage [4]

En fonction de la nature du produit (la densité, viscosité et température de stockage) il existe plusieurs types de réservoirs de stockage qui sont :

🚧 07 sphères et 03 cigares pour le stockage des GPL utilisé comme suit :

- 03 sphères S151, S152 et S153 de capacité nominale 1200m³ chacune pour le stockage du butane ;
- 03 sphères S181, S182 et S183 de capacité nominale 3000m³ chacune pour le stockage mixte ; C₄ du TOP C, C₃/C₄ des U30/31/104 ;
- 03 cigares S156, S157 et S158 de capacité nominale 260m³ chacune pour le stockage du propane ;
- 01 sphère S161 pour le stockage mixte (BUTANE ou PROPANE) d'une capacité nominale de 3000 m³.

🚧 07 réservoirs a toit flottant interne pour le stockage des aromatiques;

🚧 60 réservoirs a toit fixe conique (dont une partie est chauffée, et une autre calorifugée) pour le stockage des produit des essences, naphta pétrochimique, Kérosène et le pétrole brut.

c) Classification des produits hydrocarbures et réservoirs

Tableau (2-1) : Différents Réservoirs de stockage

Catégorie	Sous-catégorie	Caractéristiques	produit	Réservoirs
A	A1	Hydrocarbures liquéfiés $T > 0^{\circ}\text{C}$. $P > P_{\text{atm}}$ $TV \text{ à } 15^{\circ}\text{C} > 1 \text{ bar}$	Ethylène Propylène Propane Butane	Bacs spéciaux
	A2		Propane Butane	Sphère
B	/	Hydrocarbures liquides $PE < 55^{\circ}\text{C}$	Essence Reformant Kéro-naphta Pétrole brut	Réservoirs à toit flottant
C	C1	Hydrocarbures liquides	Gazoles	Réservoirs à toit fixe.
	C2	$55^{\circ}\text{C} < PE < 100^{\circ}\text{C}$ Stocké au-dessus de leur point d'éclair	Fuel domestiques Fuel léger	
D	D1	Hydrocarbures liquides	Fuels lourds Bitumes	Réservoirs à toit fixe munis d'un réchauffage
	D2	$PE > 100^{\circ}\text{C}$ Stocké au-dessus de leur point d'éclair		

Chapitre 03

les Analyses des risques

-3- Analyse des risques [2]

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

L'analyse des risques vise tout d'abord à identifier les sources de danger et les situations associées qui peuvent conduire à des dommages sur les personnes, l'environnement ou des biens.

3-1 Présentation de la méthodologie de l'analyse de risques

Le risque se définit comme le produit de la gravité d'un événement par sa probabilité d'occurrence. L'intégration de notion de probabilité dans le processus d'analyse des risques par l'approche semi-quantitative permet de préciser la sélection des événements redoutés centraux qui peuvent être à l'origine de différents phénomènes dangereux (dispersion de toxiques, incendie, explosion...). [2]

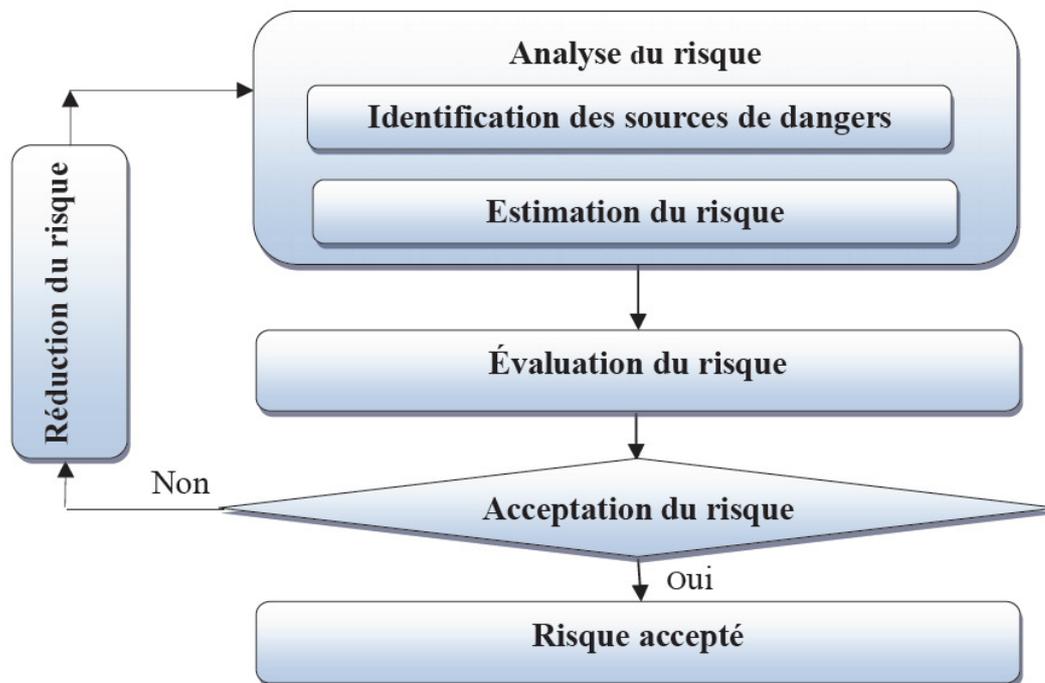


Figure (3-1) : les différentes phases de la gestion du risque

3-2 Identification des Evènements Redoutés Centraux (ERC)

L'identification des événements redoutés centraux se déduit des dangers potentiels en déterminant les situations accidentelles, les mettant en jeu, et étudier des possibilités de mener à des accidents majeurs. La réglementation française définit l'accident majeur comme suit :

Des séquences d'évènements qui, s'ils ne sont pas maîtrisés, s'enchaînent ou se combinent jusqu'à l'apparition de dommages majeurs au niveau des cibles de l'environnement. Le mode d'enchaînement de ces séquences d'évènement et la potentialité d'atteindre des cibles ne sont pas

«déterminés de manière unique» à l'avance. Afin d'en rendre compte, l'appréciation « probabiliste » est d'un grand secours. [6]

Le tableau ci-dessous fournit des exemples de séquences d'événements depuis l'événement Indésirable jusqu'à l'effet majeur. [6]

Tableau (3-1):Séquences d'événements depuis l'événement indésirable jusqu'à l'effet majeur

Désignation	Signification	Définition	Exemples
EI	Evènement Initiateur	Cause directe d'une perte de confinement ou d'intégrité physique.	La corrosion, l'érosion, les agressions mécaniques, une montée en pression, le sur-remplissage ou un départ d'incendie à proximité d'un équipement dangereux sont généralement des évènements initiateurs
ERC	Evènement Redouté Central	Perte de confinement sur un équipement dangereux ou perte d'intégrité physique d'une substance dangereuse	Rupture, fuite, éclatement, BLEVE, boil-over, inflammation d'une substance dangereuse et toute autre décomposition dans le cadre d'une perte d'intégrité physique
ERS	Evènement Redouté Secondaire	Conséquence directe de l'événement redouté central, l'événement redouté secondaire caractérise le terme source de l'accident	Formation d'une flaque ou d'un nuage lors d'un rejet d'une substance diphasique
Ph D	Phénomène Dangereux	Phénomène physique pouvant engendrer des dommages majeurs	Incendie, Explosion, Dispersion d'un nuage toxique, boule de feu
EM	Effets Majeurs	Dommages occasionnés au niveau des cibles (personnes, environnement ou biens) par les effets d'un phénomène dangereux	Effets (toxiques, thermiques ou de surpression) létaux ou irréversibles sur la population Synergies d'accident (effets domino)

3-3 Détermination de l'indice probabilité de l'ERC

L'approche semi-quantifiée « par barrières » est retenue. Sa mise en œuvre s'effectue en plusieurs étapes :

Étape A : Découpage du procédé en sous-ensembles homogènes (produits en présence, température, pression)

Étape B : Identification des ERC et phénomènes dangereux par sous-ensemble (approche macroscopique)

Étape C : Détermination, par sous-ensemble, des événements initiateurs (EI) pouvant conduire aux Événements Redoutés Centraux (ERC)

Pour chaque ERC retenu, les événements initiateurs (EI) pouvant conduire à l'ERC sont recensés en groupe de travail à l'aide des schémas PID ou PCF.

Étape D : Attribution d'un indice de fréquence d'occurrence caractérisant l'EI

L'échelle de probabilité retenue doit se situer en correspondance avec le type d'événement envisagé (accidents graves, susceptibles de conduire à des effets majeurs).

Le tableau suivant présente l'échelle retenue dans le cadre de la réglementation française[4] :

. **Tableau (3-2):Indices de fréquence et probabilité associé**

Indice de fréquence	Classes de probabilité ou de fréquence quantifiée (annuelle)
1	$10^{-2} \leq P < 10^{-1}$
2	$10^{-3} \leq P < 10^{-2}$
3	$10^{-4} \leq P < 10^{-3}$
4	$10^{-5} \leq P < 10^{-4}$
5	$P < 10^{-5}$

Étape E : Sélection et cotation des barrières de prévention

La démarche « par barrières » attribue un niveau de confiance aux barrières de sécurité. Ainsi, si ces barrières sont indépendantes et qu'elles agissent de manière jugée satisfaisante sur la prévention de l'événement redouté, alors la combinaison de leur niveau de confiance et de la fréquence d'occurrence de l'EI permet d'estimer une classe de probabilité d'occurrence de l'événement.

A titre d'exemple, le tableau ci-dessous fournit des indications pour quelques barrières. [4]

Barrières techniques de prévention de l'EI ou de l'ERC	Niveau de confiance
Soupape de sécurité régulièrement révisée	2
Fonction de sécurité réalisée par une détection avec alarme	1
Fonction de sécurité réalisée par automate de régulation	1
Fonction de sécurité réalisée par automate de sécurité	2
Indication en salle de contrôle et contrôle du paramètre par l'opérateur pendant sa ronde + Fonction de sécurité réalisée par détection avec alarme et intervention opérateur	1,5

3-4 Evaluation qualitative de la criticité des phénomènes dangereux

La criticité d'un phénomène dangereux est effectuée en considérant le couple probabilité/gravité. Les grilles d'évaluation utilisées dans le cadre de la présente étude sont les suivantes :

Tableau (3-3): Matrice de criticité sur l'environnement extérieur

		D	C	B	A
Gravité des conséquences sur le plan humain de l'événement redouté	G5	Jaune	Rouge	Rouge	Rouge
	G4	Jaune	Jaune	Rouge	Rouge
	G3	Jaune	Jaune	Jaune	Rouge
	G2	Vert	Vert	Jaune	Rouge
	G1	Vert	Vert	Vert	Jaune

Le code couleur appliqué dans ces matrices est le suivant :

En rouge : Risque non acceptable.

En vert : Risque acceptable

En jaune : L'exploitant décide au cas par cas, selon le niveau de risque, de mettre en place des mesures de maîtrise des risques (MMR).

3-5 le choix d'une méthode d'analyse de risque

- Domaine de l'étude.
- Stade de l'étude (spécification, conception, ..., démantèlement).
- Perception du risque dans ce domaine.
- Culture de la Sécurité de Fonctionnement de l'organisation.
- Caractéristiques du problème à analyser.

- f. Niveau envisagé de la démonstration de la sécurité.
- g. Savoir-faire des intervenants.
- h. Nature des informations disponibles (spécifications du système et de ses interfaces, contraintes, etc.).
- i. Retour d'expérience et base de données disponibles.
- j. Moyens humains, logistiques et autres.
- k. Délais et autres contraintes de management de projet

3-5-1 Domaines et les avantages les méthodes d'analyse. [2]

Guide de sélection des méthodes d'analyse de risques

	Audit	Check list	APR	What-if	Check-list + What-if	HAZOP	AMDE / AMDEC	Arbre des causes	Arbre des conséquences	MDCC	Fiabilité humaine
Recherche-développement			<input type="radio"/>	<input type="radio"/>							
Conception procédés		<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>						
Unité pilote		<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>							
Ingénierie		<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>							
Construction-démarrage	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>		<input type="radio"/>	<input type="radio"/>						<input type="radio"/>
Exploitation	<input type="radio"/>		<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>						
Modification	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>								
Phase d'audit-enquête après accident				<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>					
Arrêt définitif/démontage	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>		<input type="radio"/>	<input type="radio"/>						

O : méthode couramment utilisée

D. Boumie, Polytech/Lille - I2AL, L'usine agro-alim

3-5-2 Objectifs- intérêts des méthodes d'analyse de risques [2]

- a. Concept de base
- b. Objectif général des méthodes d'analyses de risques
- c. Réglementation des sites industriels à hauts risques (IC)
- d. Résultats attendus
- e. Principales méthodes utilisées
- f. Intérêts des méthodes d'analyse de risques

3-5-3 Domaines d'application

Les outils d'analyse des risques doivent être choisis en fonction des caractéristiques des installations à étudier et du niveau de détail rechercher .ainsi, il est possible de différencier les méthodes telles que l'APR réservée à une analyse « en surface » des risques ou à des installations peu complexes et les méthodes dédiées à une analyse plus détaillée et généralement centrée sur des sous-systèmes bien définis comme l'AMDEC par exemple.

Bien entendu, le domaine d'application et le niveau de détail sont également fonction des compétences et de l'expérience des personnes qui mèneront ce travail. En d'autres termes, certains outils peuvent être adaptés afin d'être utilisés dans un domaine d'application sensiblement différent de leur domaine d'origine.

Ces différentes informations sont synthétisées dans le tableau suivant, pour les principales méthodes d'analyse des risques dans le domaine des risques accidentels.

Les différents éléments présentés ci-avant ont été reportés dans le tableau suivant [2]

Tableau (3-4) : les principes méthodes d'analyse

Méthodes	Approche	Défaillances envisagés	Niveau de détail	Domaines d'application privilégiés
APR	Inductive	Indépendantes	+	Installations les moins complexes Etape préliminaire d'analyse
HAZOP /What-if	Inductive	Indépendantes	++	Systèmes thermo-hydrauliques
EMDEC	Inductive	Indépendantes	++	Sous-ensembles techniques bien délimités
Arbre d'évènements	Inductive	Combinées	+++	Défaillances préalablement identifiées
Arbre des défaillances	Déductive	Combinées	+++	Evénements redoutés ou indésirables préalablement identifiés
Nœud papillon	Inductive Déductive	Combinées	+++	Scénarios d'accidents jugés les plus critiques

3-5-4 Définitions La méthode SADT

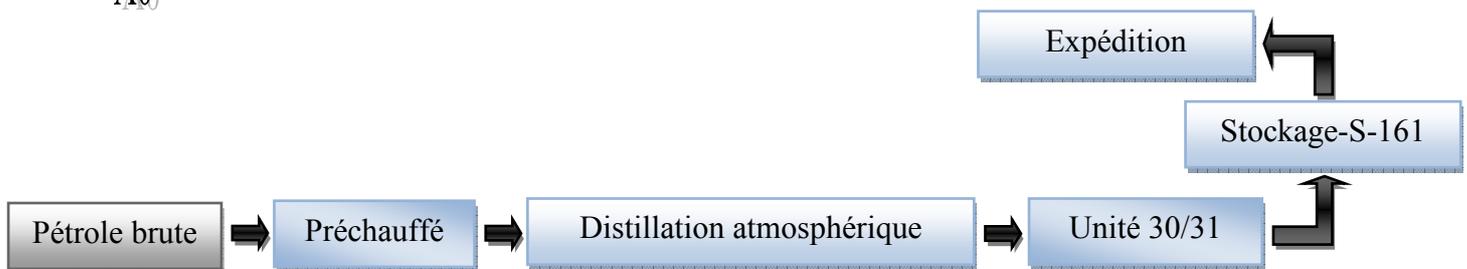
La méthode SADT (**S**tructured **A**nalysis and **D**esign **T**echnic), est une méthode développée pour Sofech par Doug Rosse en 1977, d'origine américaine, puis introduite en France en 1982 par Michel Galinier.

SADT Est une méthode graphique qui démarre du général pour arriver au particulier. On va l'appliquer pour décrire le système et le décomposer en définissant ses principales fonctions ainsi que l'interaction entre elle.

3-5-4-1L'application de méthode dans le système de stockage GPL

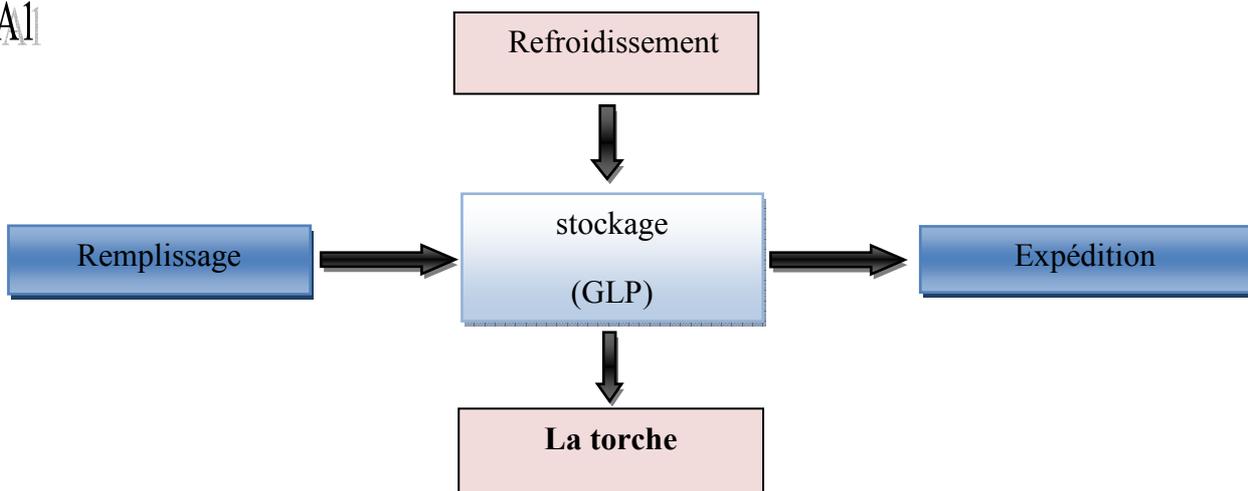
1) le traitement du pétrole brut :

A0



2) Le sous système de stockage

A1



3-6 Définitions de méthode HAZOP

La méthode HAZOP, pour **HAZ**ard and **OP**erability, a été développée par la société IMPERIAL CHEMICAL INDUSTRIES (ICS) au début des années 1970.

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

De par sa nature cette méthode requiert notamment l'examen de schéma et plan de circulation des fluide ou schémas PID (Piping and Instrumentation Diagram)

3-6-1 Principe de la méthode

HAZOP est une technique systématique qui considère les déviations par rapport au design par l'application des mots guides pour une opération, un process flow sheet. Il est ainsi primordial de maîtriser des paramètres comme la pression, la température, le débit.....

Elle peut se faire très tôt de dans la phase design, ligne par ligne, dans le flow sheet conceptuel, dans ce cas seuls les aspects de sécurité sont généralement notés, ou bien lors de la phase détaillée du design ligne par ligne sur un PID (Piping and Instrumentation Diagram) ; dans ce cas toutes les indésirables déviations qu'il s'agisse de sécurité ou d'érabilité devraient être notées. [2]

Le groupe de travail doit ainsi s'attacher à déterminer les causes et les conséquences potentielles de chacune de ces dérives et à identifier les moyens existants permettant de détecter cette dérive, d'en prévenir l'occurrence ou d'en limiter les effets. Le cas échéant, le groupe de travail pourra proposer des mesures correctives à engager en vue de tendre vers plus de sécurité.

3-6-2 Déroulement de la méthode

Le déroulement d'une étude HAZOP est sensiblement similaire à celui d'une AMDEC. Il convient pour mener l'analyse de suivre les étapes suivantes [2]

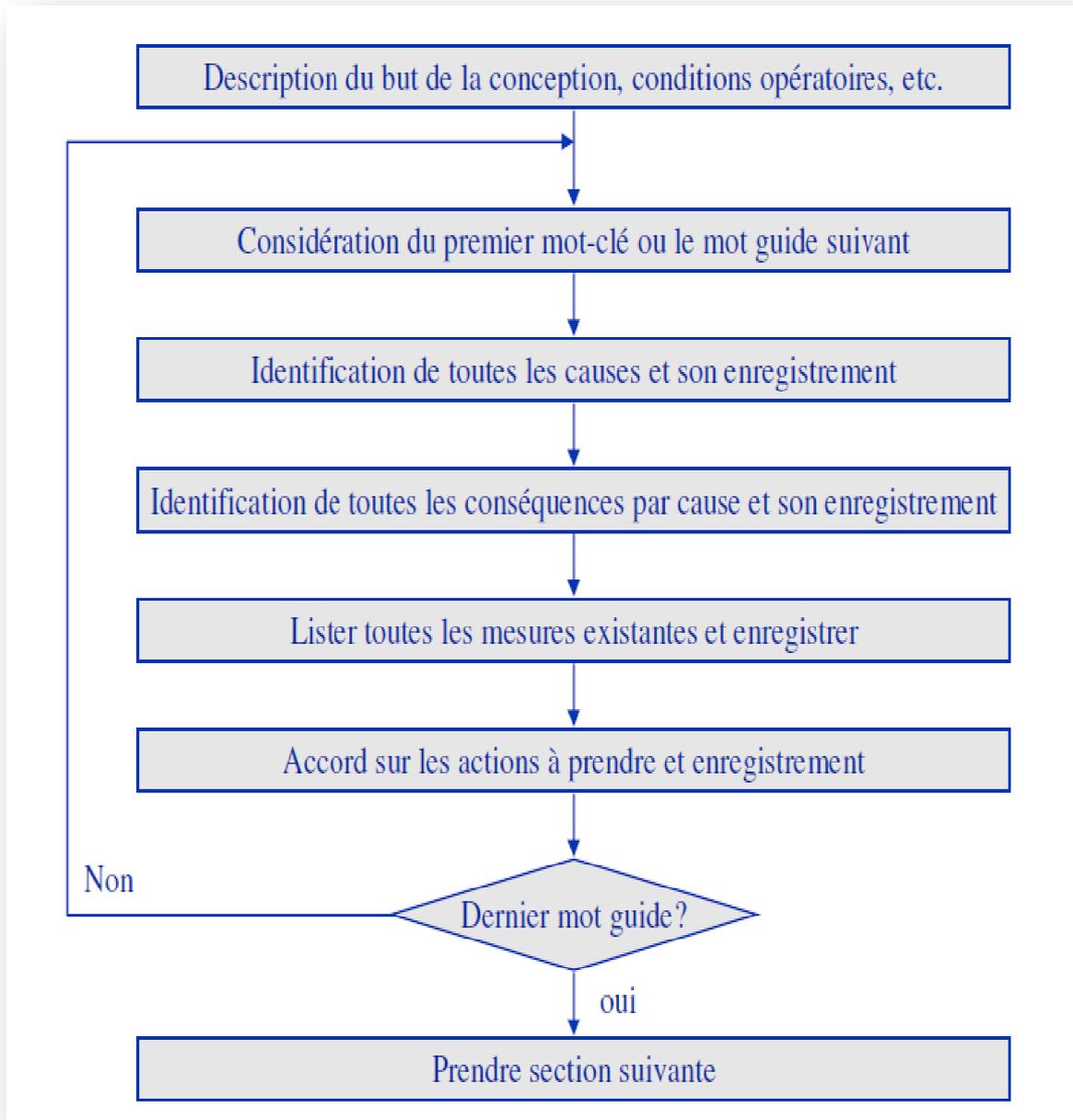


Figure (3-2) : Déroulement de la méthode HAZOP

3-6-3 Les avantages de la méthode

- HAZOP est un outil particulièrement efficace pour les systèmes thermo-hydrauliques ;
- Méthode semi quantitative à utilisation simple ;

Elle présente un caractère systématique et méthodique

3-6-4 Les limites de la méthode

- Dans certains cas, cette méthode peut être perçue comme un point faible, puisqu'elle ne peut pas traiter les défaillances complexes faisant intervenir plusieurs processus ;
- HAZOP permet difficilement l'analyse des événements résultant de la combinaison simultanée de plusieurs défaillances ;
- Il est parfois difficile d'affecter un mot guide à une portion bien délimitée du système étudié. Cela complique singulièrement l'identification exhaustive des causes potentielles d'une déviation ;
- Bien entendue, il est possible a priori de reporter les implications d'une déviation d'une partie à une autre du système, toutefois cette tâche peut rapidement s'avérer complexe.

3-7 Tableaux de l'Analyse Préliminaire des Risques – ANNEXE (A.....K) –

Les résultats de l'APR sont présentés sous forme de tableaux relatifs à chaque scénario, la fiabilité et la qualité des résultats dépendent également du temps et des moyens consacrés à l'analyse des risques. Plus ces moyens seront importants, plus on tendra vers une exhaustivité totale. (Des données mises à disposition)

Alors, il est difficile de déterminer avec précision une fréquence pour les causes d'incident ou de séquence accidentelle.

Donc, on peut retenir que les résultats obtenus à partir des outils d'analyse des risques tels que l'APR et l'HAZOP constituent une aide importante pour l'évaluation préliminaire des risques.

3-8 Résultats obtenus de l'Analyse Préliminaire des Risques

En fin de l'Analyse Préliminaire des Risques, on dispose donc de données représentées sur un tableau global regroupant toutes les situations menant à un phénomène dangereux, représenté en annexe et se réduit sous la forme du tableau récapitulatif suivant :

Tableau (3-5) : Résultats de l'APR

Les causes possibles des phénomènes dangereux	L'Evènement Redouté Centrale	Les scénarios d'accidents majeurs possibles
Corrosion et Usure (vieillessement)	Perte de confinement et fuite de GPL	Feu de torche
Fatigue		
Défaillance matérielle		
Erreur de maintenance		
Agressions mécaniques en phase de travaux		VCE
Effet domino		
Conditions climatiques extrêmes		
Défaillance dans réseau anti-incendie		

3 -8-1 Grille de criticité

Tableau (3-6) : Matrice de criticité

		Gravité			
		1	2	3	4
Fréquence	1	1	2	3	4
	2	2	4	6	8
	3	3	6	9	12
	4	4	8	12	16

Avant la mise place des barrières :

	Risque non acceptable.	66,66%
	Risque tolérable	33,33%
	Risque acceptable	00,00%

3-8-2 Trois niveaux de risque sont définis selon la position dans la matrice

- **(zone rouge)** correspond à un risque élevé « risque inacceptable » nécessitant la prise de mesures urgentes pour réduire ce risque à un niveau acceptable
- **(zone jaune)** correspond à un risque moyen « si la variation d'un paramètres (probabilité ou gravité) seulement peut amener le niveau de risque à un niveau de gravité élevé, des actions doivent être mises en place pour réduire ce paramètre. sinon, des mesures de prévention sont mises en place afin de maintenir ce risque à ce niveau ».
- **(zone verte)** correspond à un risque faible « risque acceptable » ne justifiant pas d'action supplémentaire

Après la mise place des barrières :

	Risque non acceptable.	10%
	Risque tolérable	50%
	Risque acceptable	40%

3-9 Application de la méthode HAZOP sur la sphère

L'application de la méthode HAZOP sur la sphère de stockage, est réalisée en considérant les paramètres d'exploitation suivants:

- Niveau
- Pression
- Température

Donc, il est primordial d'évaluer les risques liés à ces paramètres pour maîtriser les risques liés au stockage GPL.

Les résultats de l'analyse HAZOP sont présentés sous forme de tableaux relatifs à chaque dérive.

3-9-1 Interprétation des résultats obtenus par la méthode HAZOP

Par l'utilisation de la méthode d'analyse HAZOP, on a effectué un examen particulier de notre système de stockage de GPL « sphère » pour lequel les déviations significatives des paramètres d'exploitation (Niveau, Pression et Température) génèrent des risques altérant la sécurité de notre installation.

Pour chaque déviation du paramètre, on a identifié les causes possibles, évalué les conséquences résultantes immédiates ou retardées et noté la sécurité existante assurant la protection de notre système.

Les dérives des paramètres retenus ont pour causes possibles des défaillances matérielles, des erreurs opératoires, des agressions externes, ou encore des changements des conditions atmosphériques.

De plus, les actions de corrections identifiées par la méthode HAZOP permettent également de vérifier si le niveau de sécurité de l'unité est acceptable ou non.

Enfin, la méthode HAZOP, nous a permis un éclaircissement sur les conséquences des risques liés à la déviation des paramètres d'exploitation de la sphère, et la performance de la sécurité.

3-10 L'application de l'Arbre De Défaillance

L'analyse par arbre des défaillances fut historiquement la première méthode mise au point en vue de procéder à un examen systématique des risques. Elle été élaboré au début des années 1960 par la compagnie américaine Bell et fut expérimentée pour l'évaluation des systèmes de tir de missiles.

Elle est également utilisée pour analyser a posteriori les causes d'accidents qui se sont produits. Dans ces cas, l'événement redouté final est généralement connu car observé. On parle alors d'analyse par arbre de »s causes, l'objectif principal étant de déterminer les causes réelles qui ont à l'accident.

3-10-1 Le Principe de la méthode

L'analyse par arbre de défaillance est une méthode de type déductif. L'analyse des défaillances est une approche de haut en bas, commençant avec un événement indésirable (l'accident) appelé TOP EVENT et déterminant, ensuite toutes les voies qui peuvent conduire à son avènement. En effet, il s'agit à partir d'un événement redouté défini a priori, de déterminer les enchaînements ou combinaisons d'événement pouvant finalement conduire à cet événement. Cette analyse permet de remonter de cause en cause jusqu'aux évènements de base susceptible d'être à l'origine de l'événement redouté. L'arbre de défaillance est utilisé pour produire la combinaison minimale des événements de base indépendants qui, s'ils arrivent ou existent en même temps, causeront l'avènement du TOP EVENT qui est indésirable.

3-10-2 Les événements de base correspondent en général à des

- Événements élémentaires qui sont généralement suffisamment connus et décrits par ailleurs pour qu'il ne soit pas utile d'en rechercher les causes. Ainsi, leur probabilité d'occurrence est également connue.
- Événement ne pouvant être considérés comme élémentaires mais dont les causes ne seront pas développées faute d'intérêt,
- Événement dont les causes seront développées ultérieurement au gré d'une nouvelle analyse par exemple,
- Événement survenant normalement et de manière récurrente dans le fonctionnement du procédé ou de l'installation.

Les liens entre les différents événements identifiés sont réalisés grâce à des portes logiques (de type « ET » et « OU » par exemple).

3-10-3 L'analyse par arbre des défaillances d'un événement redouté

Peut se décomposer en trois étapes successives :

- Définition de l'événement redouté étudié,
- Elaboration de l'arbre,
- Exploitation de l'arbre.

De manière classique, les événements considérés peuvent concerner le rejet à l'atmosphère des produits toxique ou inflammables, le risque d'incendie, d'explosion...

3-10-4 Elaboration de l'arbre

La construction de l'arbre des défaillances vise à déterminer les enchaînements d'événements pouvant conduire à l'événement final retenu. Cette analyse se termine lorsque toutes les causes potentielles correspondent à des événements élémentaires.

L'analyse par arbre des défaillances permet d'estimer la probabilité d'occurrence d'un événement et de s'assurer que toutes les mesures possibles ont effectivement été envisagées en vue de prévenir le risque associé à cet événement.

3-10-5 Limites et avantages de l'ADD

Le principal avantage de l'analyse par arbre des défaillances est qu'elle permet de considérer des combinaisons d'événements pouvant conduire en fine à un événement redouté. Cette possibilité permet une bonne adéquation avec l'analyse d'accidents passés qui montre que les accidents majeurs observés résultent le plus souvent de la conjonction de plusieurs événements qui seuls n'auraient pu entraîner de tels sinistres. De plus, la technique :

- Permet de quantifier la probabilité de défaillance d'un système.
- Evalue les causes de vulnérabilité les plus communes.
- Permet d'optimiser le déploiement des ressources nécessaires pour le control de la vulnérabilité d'un système

Par ailleurs, l'analyse par arbre des défaillances porte sur un événement particulier et son application à tout un système peut s'avérer fastidieuse.

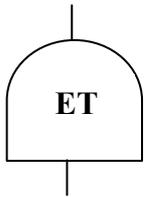
Les événements indésirables doivent être prévus et sont seulement analysés séparément.

Tous les éléments qui contribuent d'une manière significative à la défaillance doivent être anticipés.

Les initiateurs à un niveau donné d'analyse sous une porte commune doivent être indépendants l'un de l'autre.

- Les événements doivent être des contributeurs immédiats au prochain niveau d'événement.

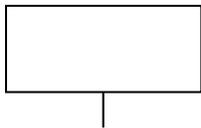
3-10-6 Quelques symboles de portes et d'événements



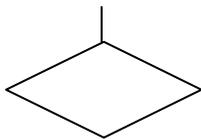
Porte ET : l'événement se produit si tous les événements d'entrée arrivent simultanément. Toutes les entrées doivent individuellement être nécessaires et suffisantes pour causer son avènement.



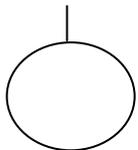
Porte OU : l'événement arrive si n'importe lequel des événements d'entrée se produit. N'importe quelle entrée doit individuellement être nécessaire et suffisante de cause son avènement.



Rectangle : tout événement



Diamant : l'événement ne peut être développé car il n'est pas significatif ou aucune nouvelle information ne peut être apportée.



Cercle : événement de base qui n'exige aucun nouveau développement. C'est une défaillance ou faute qui marque la limite de résolution de l'analyse.

3-10-6-1 L'application de l'Arbre De Défaillance

Pour identifier et évaluer quantitativement les causes de l'Evènement Redouté

Centrale « Fuite de GPL de sphère » les résultats selon l'annexe (B)

3-11 les barrières de sécurité «de prévention, de protection, et les moyennes d'intervention »

Pour prévenir les risques associés aux sites de stockage industriel, il existe un certain nombre de barrières de sécurité qui peuvent se répartir en trois catégories :

- Des barrières de prévention ;
- Des barrières de La protection ;
- Des barrières ou les moyennes d'intervention.

3-11- 1 Les barrières de sécurité

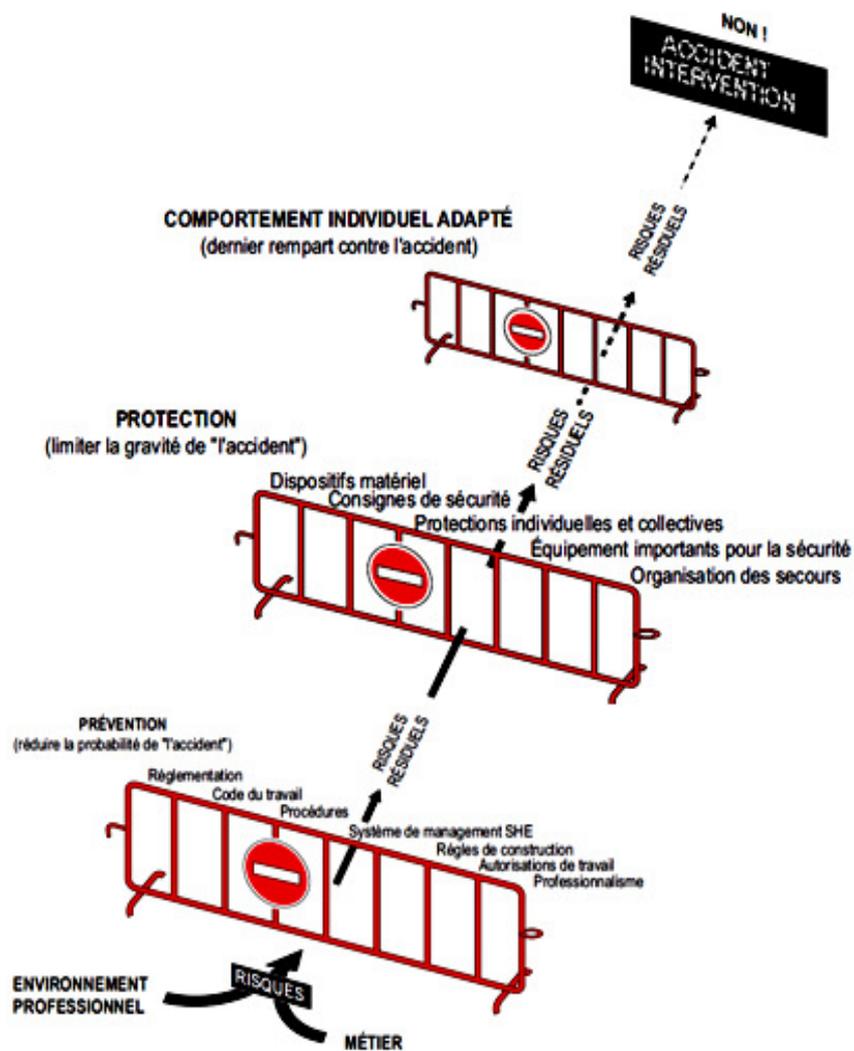


Figure (3-3):les barrières de sécurité –prévention, protection, intervention

La prévention, c'est-à-dire réduire la probabilité d'occurrence de la situation de danger à l'origine du dommage,

La protection, visant à limiter la gravité du dommage considéré. Notons que, suivant cette définition, l'intervention pourra être considérée comme un moyen de protection.

Le rôle du système de protection contre l'incendie prévu pour la section de "GPL" est permettre une intervention rapide et efficace ou cas ou incendie surviendrait dans les locaux à protéger.

3-11-1-1 Des barrières de prévention :

- des informations sur les dangers que présente l'installation, identifiés et exposés systématiquement à l'aide d'une étude des dangers;
- Assister et contrôler tous les organes et structures d'exploitation en matière de sécurité.
- Contrôler les installations techniques et assurer le suivi des travaux.
- Diffuser les consignes de sécurité.
- Elaborer les plans d'urgence: les plans particuliers d'intervention (PPI)
- Installation des détections de fuite de gaz ;
- Sensibiliser l'ensemble du personnel aux règles en matière de sécurité et d'hygiène
- Installation de protection contre l'électricité (statique, atmosphérique) ;
- Les équipements fixe et mobile de lutte contre l'incendie ;
- Panneaux indicateurs ;
- Consignes de sécurité et d'exploitation ;
- Réseau d'incendie.
 - R.E.A : Réseau extinction automatique ;
 - R.I.A : robinet incendie armé ;
 - Les bouches d'incendie ;
 - Les poteaux d'incendie.
- des informations relatives à la gestion de la sécurité de l'installation
- L'exploitant devrait établir un programme de surveillance de tous les composants et systèmes importants pour la sécurité de l'installation.
- la surveillance des dispositifs d'alimentation en énergie ou en fluides d'exploitation (électricité, vapeur, réfrigérants, air comprimé, etc.)
- la surveillance de la corrosion des éléments critiques.

- Le plan d'inspection du site devrait prévoir la fréquence des inspections, l'équipement nécessaire et les procédures à suivre.

3-11-1-2 Des barrières de La protection :

- Les réservoirs de GPL sont entourés de couronnes de refroidissement ;
- Protection contre l'électricité statique ;
- mise à jour de plans/documents ;
- Protection par de refroidissement pour :
 - Limitation de la pression.
 - Limitation de la température.
- utilise système permis de travail ;
- Aucun travail ne peut être effectué sans permis, à l'exception toutefois des interventions d'exploitation effectuées par les opérateurs eux-mêmes et dans leur propre spécialité.
- Renouveler la peinture des conduites et des sphères ;
- Procéder au refroidissement des sphères pendant la période estivale
- Programme des visites de contrôle
- Ces travaux nécessitent toujours la présence d'appareil extincteur et une surveillance accrue.
- L'inspecteur de sécurité exigera la présence d'un agent d'intervention durant toute l'opération.

3-11-1-3 Des barrières d'intervention :

- la mise en place d'une lance à mousse et les réservoirs d'émulseur ;
- Remettre en état Equipement divers de l'intervention hors-services de sécurité pour garantir leur disponibilité ;
- Vérifier et l'essai tous équipements divers de l'intervention.
- l'utilisation de l'eau pulvérisée sous forme de rideaux d'eau pour un meilleur confinement d'un nuage de gaz ;
- de l'installation du système d'injection de mousse à Haut Foisonnement dans la cuvette de rétention forme un tapis de mousse épais qui va avoir pour effet la diminution considérable de l'évaporation de GPL en cas de versement et l'extinction des flammes.

- **pour lutter contre l'incendie/explosion, le service intervention dispose de plusieurs moyens :**
 - La sous fonction intervention a pour mission d'intervenir avec les moyens appropriés en cas de sinistre ou d'accident.
 - Elle a la charge du contrôle et de l'entretien organisé et planifié des matériels et installations spécifiques.
 - Elle fait face instantanément à tous les dangers.
 - Elle anticipe les conditions les plus défavorables et s'y prépare.
 - Elle prépare et dispose en permanence des hommes entraînés et des matériels adaptés.
 - Ce service planifie et prépare les moyens matériels nécessaires aux exercices.
 - Il prépare les plans d'intervention pour que les opérations, les plus dangereuses ou ayant un aspect particulier, dans la lutte, soient des opérations organisées et systématisées.
 - Il se prépare constamment par des exercices de simulation à intervenir, sauver et protéger.
 - Il les exécutera en prenant en considération les remarques et les retours d'expériences.
 - Il assure avec la collaboration de la prévention, des moyens généraux et des approvisionnements la disponibilité des moyens de protection individuelle et collectifs nécessaires à une intervention dans les cas d'urgences envisagés.
 - Sa formation dans à la lutte contre le feu et les conduites à tenir est constante.
 - Il a en charge la formation au feu et au secours tant pour agents de la sécurité que pour les agents et encadrements des autres départements.
 - Il a la responsabilité du maintien constant d'une disponibilité des stocks nécessaires dans le cas le plus défavorable de produits d'extinction et de matériel de lutte et sauvetage.
 - Il prévoit en réserve les équipements de protections nécessaires aux agents auxiliaires d'intervention.

3-11-2 Des recommandations

- Test des détecteurs de gaz (vérification de fonctionnalité) ;
- Test des rideaux d'eau et rideau de vapeur ;
- Inspection de l'état des bacs ;
- Suivi-entretien des détecteur et remplacement en cas de nécessité ;
- Vérification de la fiabilité des PSV ;
- Vérification l'enveloppe de la sphère contre (La corrosion, Le gel);
- Respecter le taux de remplissage de la sphère ;
- Consigne d'interdiction de fumer;
- L'amélioration de la fiabilité et la disponibilité des paramètres d'exploitation.
- L'accueil et l'orientation des visiteurs en veillant à la bonne application des règles de sécurité.

Chapitre 04

Modélisation du Phénomène dangereux

4-1 Introduction

Les incendies et les explosions dans les industries de traitement, bien que rares, se produisent et peuvent causer la perte de la vie, des dommages à l'environnement, la perte d'équipement, l'interruption des affaires et la perte de confiance du public. Les incendies et les explosions sont les causes les plus importantes et les plus fréquentes de dommages des équipements, de blessures et de décès dans l'industrie.

Les rejets accidentels des gaz ou liquides inflammables représentent les causes principales de la survenus des phénomènes dangereux Figure - (incendie, explosion et dispersion) : [7]

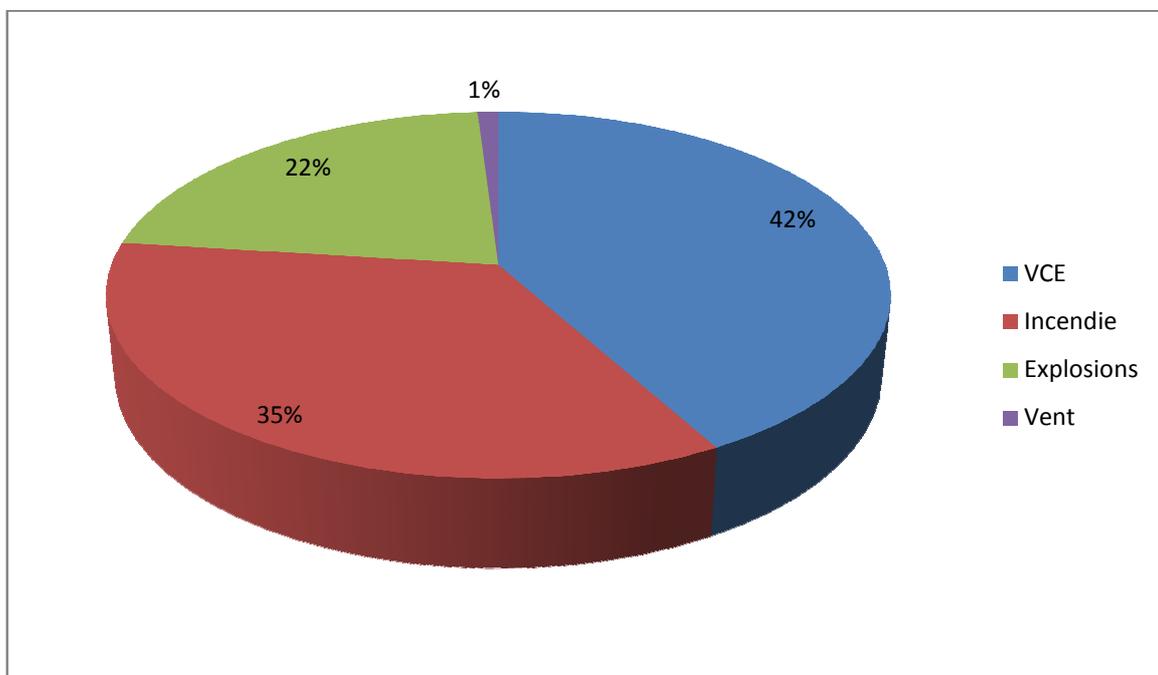


Figure 4-1(a) : Causes principales des désastres

4-1-1 Rappels théoriques :

Les phénomènes dangereux accidentels correspondent à une libération d'énergie ou de substance produisant des effets susceptibles d'infliger un dommage, humains ou matériels. Ils sont caractérisés par leur probabilité de survenue, leur intensité et leur comportement dynamique (cinétique).

4-1-2 Définition des termes

- A. **Incendie** : (Combustion, non contrôlée, auto-entretenue) il se développe sans contrôle dans le temps et dans l'espace. l'étude du phénomène est fondée sur le triangle du feu : présence simultanée d'un comburant (oxygène), d'un produit combustible et d'une source d'inflammation. la typologie des incendies dépend de la nature du combustible, qui peut se présenter sous forme solide (feu d'entrepôt ou de forêt), liquide (feux de nappe d'hydrocarbures) ou gazeuse (feu de torche généré par une fuite de canalisation).
- B. **Explosion** : Réaction soudaine d'oxydation ou de décomposition produisant une augmentation de température, de pression, ou des deux simultanément, Comme l'indique la figure suivante :

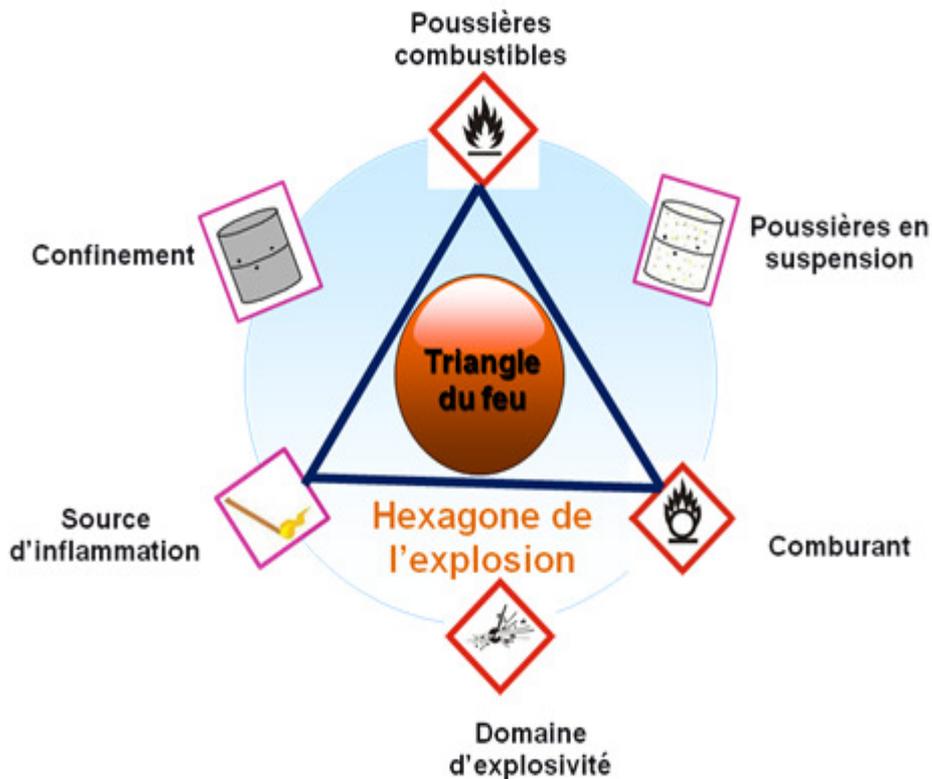


Figure (4-1(b)) : Hexagone de l'explosion

On distingue deux grandes familles d'explosion (Figure 4-2)

Physique (éclatement pneumatique, changement d'état physique de la matière) et **chimique** (combustion, réactions de décomposition de substance). Pour les explosions de type combustion de poussières ou de gaz, on différencie la déflagration (la flamme produite par l'explosion se propage à une vitesse inférieure à la vitesse du son, de l'ordre de quelques mètres par seconde) de la détonation (la flamme produite par la combustion se propage à une vitesse supérieure à la vitesse du son, de l'ordre de plusieurs kilomètres par seconde). [8]

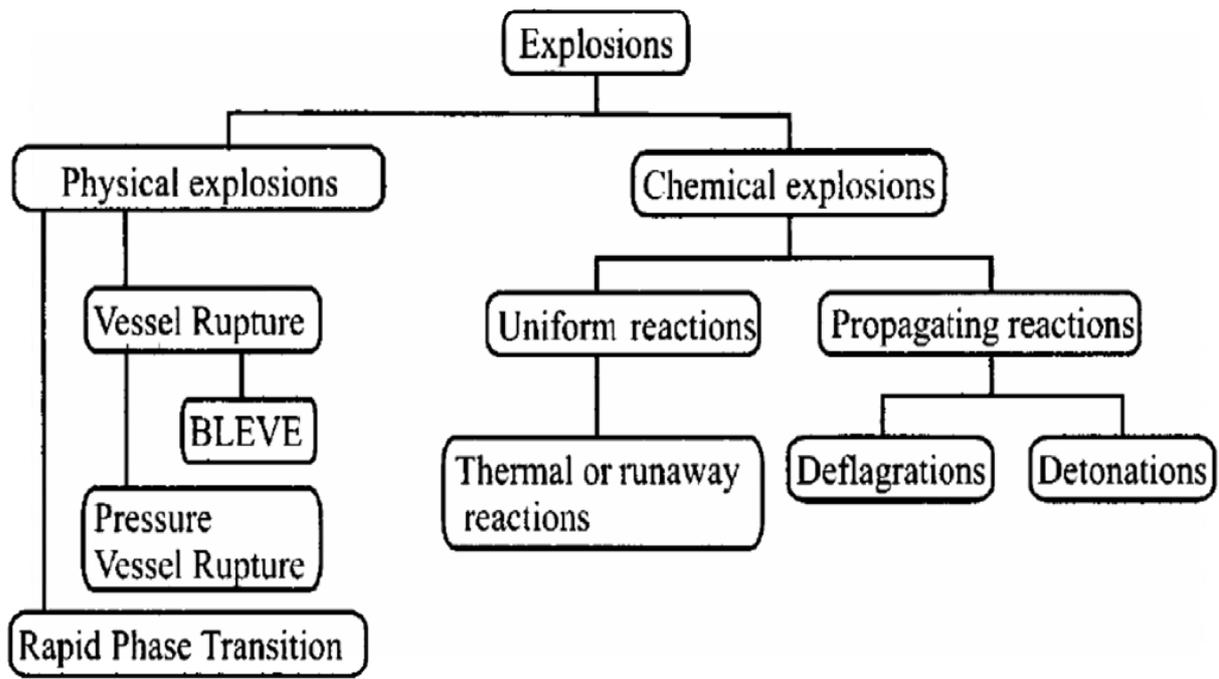


Figure (4-2) : les différents types des explosions

- **Explosion chimique** : Les explosions chimiques sont des combustions qui se déroulent à vitesse élevée, en une fraction des secondes. Elles comprennent les réactions en milieu gazeux ou condensé.
- **Explosion physique** : L'explosion physique n'est pas une combustion même si celle-ci génère des produits gazeux qui peuvent élever la pression d'un espace confiné jusqu'au point de rupture. Elle est due à l'ouverture brutale d'un récipient contenant un fluide sous pression, à la vaporisation quasi instantanée d'un liquide.

C - Dispersion atmosphérique : Evolution dans le temps et dans l'espace d'un ensemble de particules (aérosols, gaz, poussières) rejetées dans l'atmosphère. En tant que phénomène dangereux, il désigne une libération dans l'atmosphère de substances néfastes pour l'homme et l'environnement. Le nuage dispersé peut être composé de fumées d'incendie, de substances ayant des propriétés inflammables et toxiques (ammoniac, chlore...). La dispersion dépend des conditions de rejet (mode d'émission, nature du produit...), des conditions météorologiques (vent, température...) et de l'environnement dans lequel elle se produit (topographie, présence d'obstacles...)

4-2 Méthodes de modélisation-types de rejet

Avant d'entamer les modèles permettant de modéliser les effets des phénomènes dangereux, nous allons présenter les mécanismes des différents rejets et les méthodes de calcul.

Les modèles de feu de torche ont pour données d'entrée les caractéristiques du combustible au point de rejet telle que la vitesse, le débit et la température. Ces caractéristiques sont directement dépendantes de la pression régnant au point de fuite, de la température de stockage et la taille de fuite. Les différents type de rejets, à savoir gazeux, liquides ou diphasique sont rappelés dans la schématisation suivante.

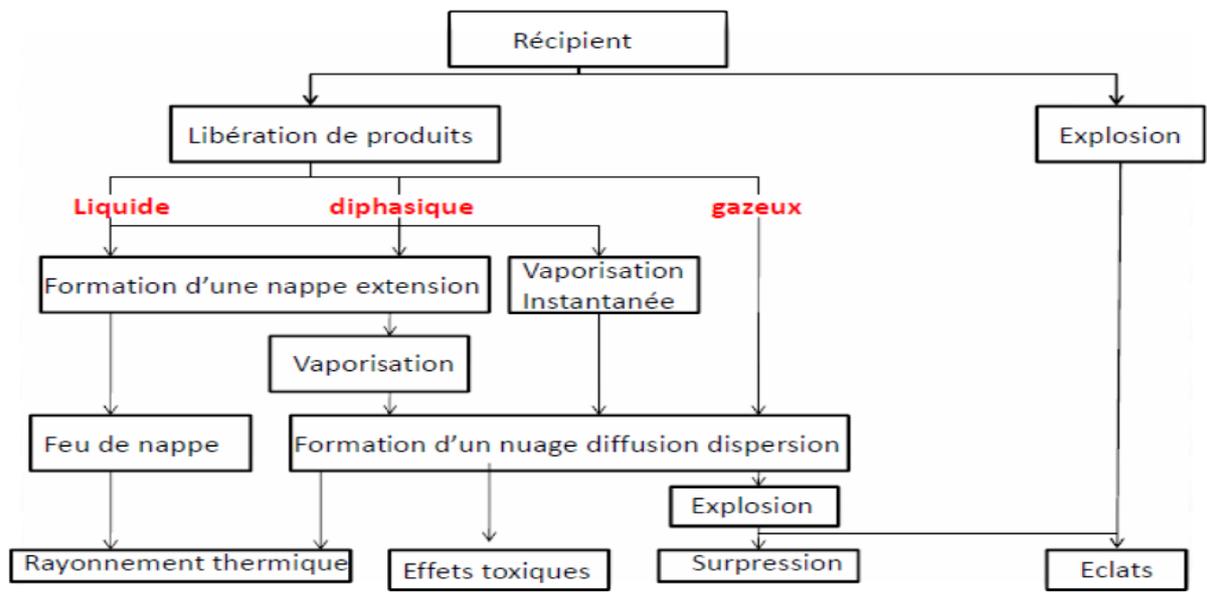


Figure (4-3) : les différents types de rejets

4-2-1- Rejet gazeux

A. Rupture partielle d'un réservoir

Le débit massique (\dot{m}) à la sortie, d'un gaz sous-pression à travers un orifice, causé par une rupture locale de la paroi d'un réservoir, se fait suivant une procédure itérative.

Pour un réservoir de volume (V), contenant un gaz soumis initialement à une pression (P0) et une température (T0),

Le débit initial(\dot{m}) à travers un orifice est approché par l'expression suivante [2] :

$$\dot{m} = C_d \times A \times P_0 \times K \sqrt{\frac{W_g}{\gamma R T}} \quad (01)$$

C_d : Coefficient de vidange, (sans dimension)

A : Section de l'orifice (m²),

R : Constante des gaz parfaits, $R=8,314\text{J/molK}$,

W_g : Masse molaire du gaz, (kg/mol),

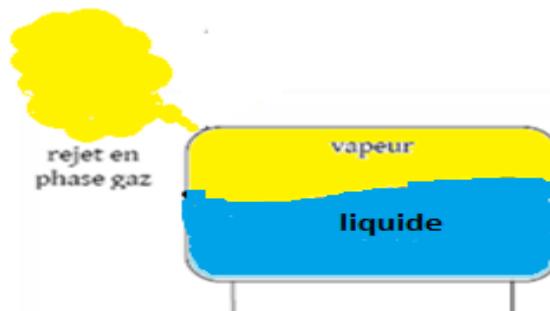
γ : Rapport des chaleurs spécifiques, ($\gamma = \frac{c_v}{c_p}$),

K : Coefficient dépend du régime d'écoulement à travers l'orifice.

B. Rupture totale d'un réservoir

Causes de la rupture :

- La pression interne dépasse la pression de conception du réservoir, L'augmentation de la pression interne d'un réservoir peut être la conséquence d'un trop-plein, d'une surchauffe provenant de sources internes ou externes, d'une défaillance d'un régulateur de pression, d'une réaction d'emballement en chaîne, d'une explosion interne, etc.
- La résistance de la cuve est réduite du fait de sa durée de fonctionnement, la réduction de la résistance de la paroi du réservoir peut être la conséquence de l'oxydation, de la corrosion, de la surchauffe, de la fatigue des métaux, de l'impact autre objet externe.



Figure(4-4) :fuite gaz la phase gaz de réservoir

C. la rupture totale d'une pipe

Selon le modèle de Bell, le débit massique de la pipe est calculé en fonction du temps travers l'expression suivante [2] :

$$\dot{m}(t) = \frac{\dot{m}}{1+s} \left\{ S \exp\left(-\frac{t}{t_B}\right) + \exp\left(-\frac{t}{t_B S^2}\right) \right\} \quad \text{Avec : } S = \frac{M}{\dot{m} t_B} \quad (02)$$

Le débit massique fait référence au débit massique à travers un orifice, obtenu à partir des formules précédentes.

Dans le cas de la rupture totale du pipe, Le coefficient de vidange C_d est égale à 1 ; La masse initiale, M (kg), du gaz contenu dans le pipe est calculée par la formule :

$$M = \rho l_p \left(\frac{\pi}{4}\right) d_p^2 \quad (03)$$

l_p Et d_p sont, respectivement, la longueur et le diamètre du pipe.

ρ : est la masse volumique du gaz circulant dans le pipe.

Le temps caractéristique t_B est donné par l'expression empirique suivante :

$$t_B = \frac{4}{3} \frac{l_p}{u_{son}} \sqrt{\frac{\gamma f_F l_p}{d_p}} \quad (04)$$

f_F : Coefficient de frottement de Fanning (sans unité).

Le modèle de Bell est valable uniquement pour un temps t_E est égal à :

$$t_E = \frac{l_p}{u_{son}} \quad (05)$$

4-2-2 Rejet liquide

Le débit massique d'un rejet accidentel de liquide issu d'une brèche à ras de la paroi, se calcule à partir de la formule suivante déduite du théorème de Bernoulli.

- **Rejet à travers un orifice d'un réservoir**

Le débit massique du rejet est donné par

$$\dot{m} = \rho C_d A \sqrt{2gh + 2 \frac{\Delta P}{\rho}} \quad (06)$$

ρ : Masse volumique du liquide (kg/m^3),

C_d : Coefficient de vidange, (**sans dimension**) il dépend du type de l'orifice et de la vitesse du fluide à travers celui-ci.

A : Section de l'orifice (m^2),

h : Hauteur du liquide (m),

ΔP :différence de pression entre la sur face libre du réservoir et l'air ambiant (Pa).

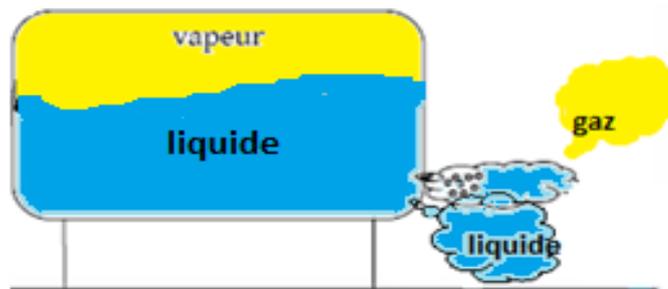


Figure (4-5) : fuite la phase liquide de réservoir

- **Rejet à travers un orifice d'un pipeline**

Dans le cas d'un liquide en écoulement dans une pipe, nous pourrions utiliser l'expression de Fanning, pour le calcul de la chute de pression ΔP , dans une canalisation de diamètre d_p et de longueur l_p :

$$\Delta P = 2f_F \rho u^2 \frac{l_p}{d_p} \quad (07)$$

f_F : Coefficient de frottement de Fanning (sans unité),

u : La vitesse du fluide dans la conduite (m/s).

4-2-3-Rejet diphasique (cas de la configuration étudiée)

Le rejet des gaz liquéfiés pressurisés, est un cas beaucoup plus compliqué car il dépend de plusieurs paramètres.

Dans ce qui suit on va traiter le cas particulier de la rupture totale d'un réservoir contenant un gaz liquéfié pressurisé à une température supérieure à la température de son point d'ébullition Le comportement d'un liquide après la rupture d'un réservoir (ou pipe), peut être décomposé en trois étapes [2] :

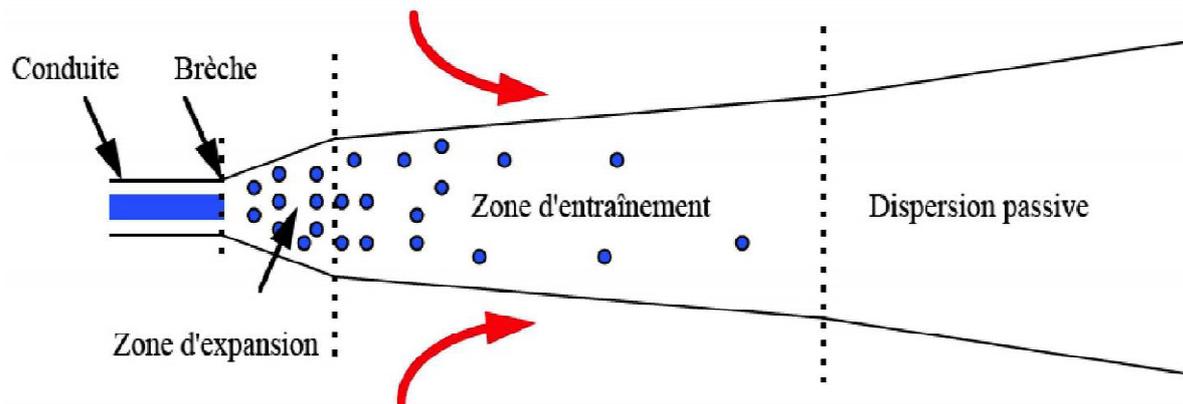


Figure (4-6) : Décomposition des étapes de dispersion suite à la rupture d'un réservoir ou une pipe

- **Dans la première étape**, le liquide s'échappe instantanément et se dilate sans prémélange avec l'air ambiant. Un nuage, constitué d'air et de gouttelettes, est formé. Une partie de ces gouttelettes précipite sur le sol.
- **Dans la seconde étape**, l'air est entraîné à l'intérieur du nuage de gouttelettes et de vapeur, ce qui provoque un mélange et une évaporation supplémentaire de la phase liquide.
- **Dans la troisième étape**, les gouttelettes s'évaporent et le nuage homogène se disperse dans l'atmosphère.

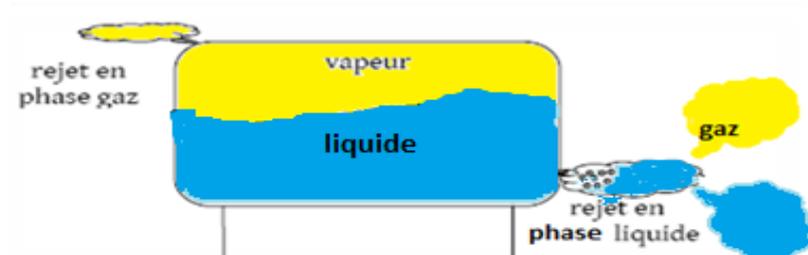


Figure (4-7) : fuite diphasé de réservoir GPL

4-3 Configuration de l'installation étudiée - Stockage du gaz pétrole liquéfiés au niveau de la Zone Est de l'unité Melex de raffinerie de Skikda.



Figure (4-8) : Vue aérienne de la Zone Est de l'unité Melex

4-3-1 présentations de l'installation

✚ Le stage pratique que j'ai effectué au niveau de la Raffinerie de Skikda a été très bénéfique, il m'a permis de compléter mes connaissances théoriques.

Malgré le peu de temps j'ai jugé utile de choisir l'étude de danger sur une sphère de stockage de gaz de pétrole liquéfié Unité 600 (Zone – EST). Selon l'analyse des risques, APR et l'HAZOP), Elle comporte : 15 bacs d'hydrocarbures ,09 réservoirs de GPL existants et, 03 nouvelles sphères de GPL

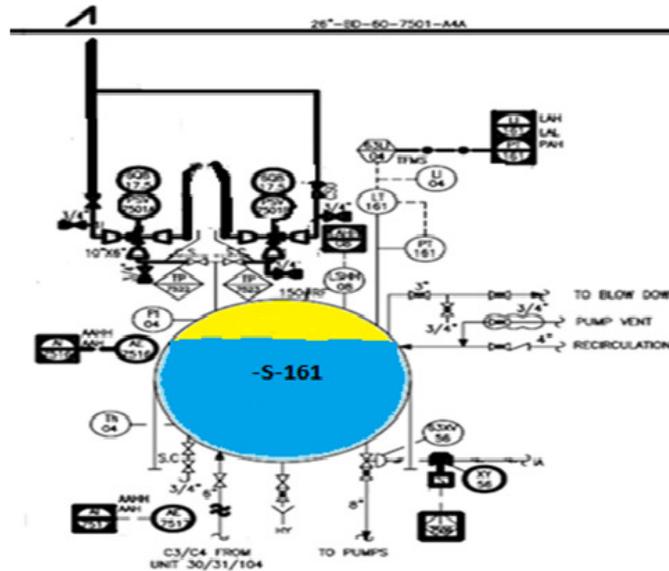
- Les bacs de stockages de différentes charges et de différents produits des unités ;
- Expédition des produits vers les différents dépôts de stockage, à l'exemple, du dépôt d'el-khroub ;
- Mélange des gasoils ;
- Expédition des produits vers les ports de Skikda pour le chargement des navires.

4-3-2 Généralités sur les réservoirs et leurs accessoires dans le milieu industriel [4]

- La sphère du gaz combustible est et l'équipement de stockage les plus importants dans l'activité de stockage dans toute l'industrie pétrolière.
- L'équipement est confronté à des risques de différentes natures et toute défaillance dans le système provoque une perturbation dans la production.

Le réservoir doit comporter un grand nombre d'accessoires qui représentent une part importante du coût total de l'installation, étant donné leur diversité et souvent la haute qualité requise pour certains d'entre eux.

Le schéma ci-dessous représente les principaux équipements d'un réservoir sous pression



- ☞ : Vanne à boisseau à bill ☞☐ : Vanne TOR à boisseau à bille ;
- ☞ : Vanne manuel ↗ : Clapet de non retour

Figure (4-9) : Les principes équipement d'une sphère de GPL -S-161(propane)

a) Accessoires de contrôle et d'entretien [6]

- **Manomètre :**
 - Indicateurs de température T_G (haut et bas)
 - Indicateurs de pression P_G (haut et bas)

Le manomètre d'indication de pression permet de maintenir la pression à l'intérieur du bac constante, de contrôler la pression d'épreuve et de vérifier l'étanchéité du bac à travers les joints soudés au cours de l'exploitation.

- **La vanne de commande :** L'écoulement des liquides de purge des réservoirs doit pouvoir être contrôlé à vue depuis la vanne de commande.

- **Les vannes de vidange ou de remplissage :** Les vannes de vidange ou de remplissage, autres que celles de pieds de bac doivent être montées à l'extérieur des cuvettes de rétention et demeurer accessible.
- Vanne de sécurité de remplissage
- Vanne de sécurité de vidange
- Vanne du collecteur d'aspiration de transfert
- Vanne du collecteur de refoulement de transfert
- Vanne du collecteur d'écoulement minimum
- vanne fermé en cas de panne : FAIL CLOSED (FC)
- vanne en position ouverte à dispositif de sécurité : CAR SEAL OPEN (CSO)
- Vanne de la conduite de BOIL OFF
- **Système de jaugeage :** Cinq puisards pour le jaugeage, servent au prélèvement des échantillons. L'entrée des hydrocarbures dans les réservoirs doit se faire par le bas.
(Jauges avec indicateur local)
- **Ligne de purge d'eau :** calorifugée et équipée de deux résistances (traçage électrique) pour éviter le givrage de la conduite et deux vannes, une serve à la purge de l'eau après la décantation et l'autre de sécurité.
- **Indicateur de niveau :** Celui-ci permet de relever le niveau du liquide dans le réservoir et au comptage du volume du produit au remplissage ou à la vidange de celui-ci. La détermination de la hauteur du produit dans le réservoir se fait avec les indicateurs de niveau à flotteur qui suit le niveau du liquide
 - LIA H : alarme haut niveau;
 - LZH : alarme très haut niveau;
 - LIA L : alarme bas niveau;
 - LZL : alarme très bas niveau.

b) Les accessoires d'accès au réservoir comprennent :

(Escalier, garde de corps, échelle mobile et une passerelle)

- **Escalier :** Un escalier d'accès à main courant avec marches orientales.
- **Échelle :** Une échelle munie d'une crinoline, sa de préférence, lorsque la hauteur dépasse 10m, un escalier d'accès avec main courante.
- **Une passerelle** pour accès au sommet de la sphère ;

- **Trous d'homme** : Les trous d'homme pour l'inspection des réservoirs et le nettoyage.

Il existe 2 types d'accès :

- Accès au réservoir à partir du haut.
- Accès à partir du bas du réservoir.

c) Équipements de sécurité

Ils sont variés et coûteux et indispensables à l'exploitation du bac en toute sécurité. Leur rôle est d'assurer la protection des réservoirs contre divers risques :

- **Les soupapes** :
 - Soupapes PSV vers atmosphère
 - Soupapes PSV vers la torche

Ils sont installés en haut de la sphère et permettent l'ouverture vers l'atmosphère. La nature du brut l'exige pour l'évacuation du gaz, la soupape est muni d'un ressort qui permet son ouverture automatiquement en cas de surpression à l'intérieur du réservoir, et se ferme automatiquement lorsque les conditions normales ont été rétablies.

- Ligne de récupération des vapeurs GPL : BOIL OFF
- **Les arrêts flamme** : Ces appareils sont destinés à empêcher la pénétration d'une flamme dans le réservoir. On place des arrêtes- flammes sur des événements ou à la sortie des soupapes de sécurité.
- **Système fixe de refroidissement** : C'est une canalisation circulaire où se trouvent les têtes d'arrosage en gardant un certain intervalle. Les tuyaux d'alimentation en eau vers chaque réservoir sont raccordés avec la canalisation principale à incendie.
 - ❖ sphère GPL est équipée d'un système d'arrosage composé de 3 couronnes au sommet, au milieu et en bas.

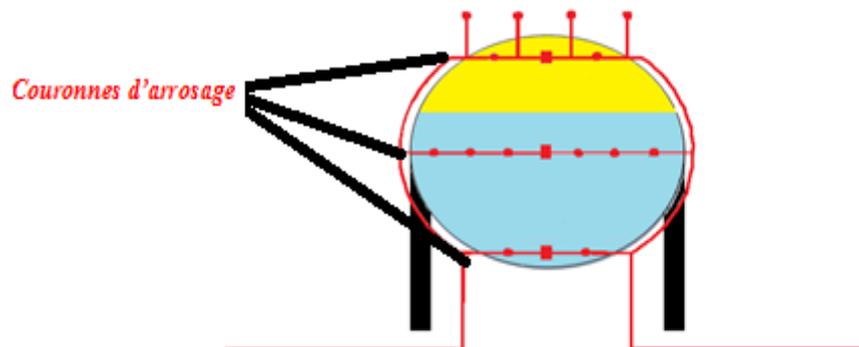


Figure (4-10) : *Couronnes d'arrosage de la sphère GPL*

- **Les installations à mousse :** Deux types d'installation à mousse sont utilisés :
Centrale à mousse fixe et Centrale à mousse mobile.
Pour un feu de surface, la mousse est projetée à l'aide d'une lance à mousse.
- **La mise à la terre :** Les réservoirs doivent être mis à la terre, de cette façon ils forment des cages faraday dont l'intérieur est préservé de toute influence électrique et l'écoulement des charges atmosphériques se fait dans de bonne condition. Elle doit être en cuivre avec une faible résistance.
- Ligne de remplissage 14''
- Ligne de vidange 12''
- Ligne de prise d'échantillon
- Éclairages ATEX haut et bas
- **Cuvette de rétention :** Les réservoirs sont implantés dans des cuvettes de rétention. C'est une capacité destinée à recevoir les produits pétroliers s'écoulant accidentellement des réservoirs pour éviter que le contenu ne se répande n'importe où à l'aide de merlons ou de murs.



Figure (4-11) : Représentation une cuvette de rétention

4-4 Défaillance d'une sphère de GPL avec les phénomènes suivant

4-4-1 Modélisation des feux de torche

Dans le domaine du risque industriel, la modélisation permet de prédire les distances d'effets liées aux phénomènes dangereux tels que le feu de torche, et donc d'imposer les distances de sécurité adéquates autour des zones à risque.

La modélisation la plus simple consiste à prédire la longueur de flamme pour évaluer son impact convectif sur l'environnement puis d'y associer le modèle de la source ponctuelle afin de déterminer son impact radiatif.

4-4-1-1 Définition du feu de torche

les feux de torche représentent des phénomènes potentiellement dévastateurs en milieu industriel, il sont le résultat de fuites accidentelles de fluides inflammables ou d'évacuations intentionnelles de sous-produits par l'intermédiaire de torchères ; les fuites accidentelles proviennent généralement de la rupture d'un raccord ou d'une vanne, ou de la rupture d'une canalisation. au contact d'une source d'inflammation, ces fuites produisent des jet enflammés à fort pouvoir calorifique pouvant occasionner de graves avaries sur le reste de l'installation, et conduisent à la propagation de l'incendie ou provoquer de nouveaux accidents tels que le phénomène de BLEVE . [7]

En production et le raffinage du pétrole : le dispositif destiné à évacuer et à brûler les gaz non utilisés dans l'installation, est pour éviter sa dispersion vers les zones industrielles ou à proximité des zones urbaines ; vers les torchés de ces installations sont supportées par des charpentes métalliques, de plusieurs dizaines de mètres de hauteur.



Figure (4-12) : Brûlage des gaz (torchère) d'une installation pétrolière

4-4-1-1-a- Causes des accidents

- La défaillance matérielle, par la corrosion de la conduite
- Des contraintes mécaniques trop fortes
- Des fissures de soudure, ou des raccordements non conformes
- La défaillance humaine provenant soit des travaux de maintenance et d'exploitation inhérents à la structure visée, soit à des travaux indépendants (perforation d'une canalisation par des engins de terrassement)

- Les agressions naturelles comme la foudre frappant une canalisation enterrée
- généralement, toute situation conduisant à l'apparition d'un orifice sur une canalisation ou sur une capacité sous pression. [7]

4-4-1-1-b- Conséquences des accidents

- Les débits de fuite représentent des quantités importantes de combustible perdues
- L'orientation de la flamme qui peut avoir une influence déterminante sur l'occurrence d'effets dominos
- Les hauteurs de flamme
- Les flux thermiques importants dissipés autour du sinistre représentent un caractère dévastateur du feu torche
- Des BLEVES de sphères et des cigares de stockage générant des boules feu. [7]

4-4-1-2 Variation du flux thermique

Les flux thermiques émis par un feu de torche sur son environnement dépendent principalement de la nature du combustible et son débit de fuite. Ses deux modes de transferts de chaleur caractéristique, sont principalement la convection forcée liée à la quantité de mouvement du jet de sortie de l'orifice, et le rayonnement. Susceptible d'impacter les cibles humaines et matérielles à distance.

Les notions de seuils thermiques et de doses thermiques liées à un feu de torche en fonction de la puissance émise par la flamme et de la durée d'exposition des cibles.

L'estimation des effets radiatifs reçus par une population donnée exposée à un feu de torche est complexe car de nombreux facteurs interviennent, dont notamment :

- L'intensité du rayonnement,
- La durée de l'exposition,
- L'âge des personnes exposées.

4-4-1-3 Seuils des effets thermiques [8]

Les effets d'un incendie s'apprécient en termes de flux thermique reçu par une surface exposée. Pour les cas de feu de courte durée (feu de chalumeau, BLEVE, etc.), les effets thermiques ne sont pas calculés en termes de flux thermique, mais en termes de dose thermique.

➤ **Effets sur l'homme**

➤ **Tableau (4-1) : Désignation des seuils des d'effets thermiques réglementaires sur l'homme**

Effets prévisibles	Flux Thermique	Dose thermique
Seuils des effets létaux pour 5 % des personnes(SELS) et zone des dangers très graves pour la vie humaine.	8 kW/m ²	1 800 [(kW/m ²) ^{4/3}].s
Seuils des premiers effets létaux (pour 1 % des personnes soit SEL) et zone des dangers graves pour la vie humaine.	5 kW/m ²	1 000 [(kW/m ²) ^{4/3}]. s
Seuils des effets irréversibles (SEI) et zone des dangers significatifs pour la vie humaine.	3 kW/m ²	600 [(kW/m ²) ^{4/3}].s

➤ **Effets sur les structures**

Tableau (4-2) : Désignation des seuils d'effets thermiques réglementaires sur les structures

Effets prévisibles	Flux Thermique
Seuil de ruine du béton en quelques dizaines de minutes	200 kW/m ²
Seuil de tenue du béton pendant plusieurs heures et correspondant au seuil des dégâts très graves sur les structures béton	20 kW/m ²
Seuil d'exposition prolongée des structures et correspondant au seuil des dégâts très graves sur les structures, hors les structures béton	16 kW/m ²
Seuil des effets domino et correspondant au seuil des dégâts graves sur les structures	8 kW/m ²
Seuil des destructions significatives de vitres	5 kW/m ²

4-4-2- Définition Explosions de nuages de vapeur (VCEs)

Si un nuage inflammable se forme lors de la fuite de gaz inflammables, son l'allumage peut parfois provoquer un incendie instantané Si, toute fois, l'allumage est retardé pour une raison quelconque (5-10 min), puis une explosion de nuage de vapeur (VCE) est le résultat probable. Pour que l'inflammation ait lieu, la composition des gaz inflammables dans une partie du nuage de vapeurs doit se situer entre l'inflammabilité limites, tout en étant une

source capable de fournir l'énergie nécessaire de l'ordre de 10 J), doit être disponible. Les variables qui influencent l'évolution et l'intensité d'une explosion. [5]

4-4-2-1- Le type et la quantité de la substance inflammable.

- La durée entre le début de la fuite et l'allumage.
- La configuration de l'espace où la fuite a eu lieu.
- La position et le nombre de sources d'inflammation par rapport à l'endroit de la fuite.

Les effets néfastes d'une explosion de nuage de vapeur sont : principalement dus à la surpression (onde de choc) créée par l'expansion rapide du produit de combustion. L'onde de choc est la cause la plus importante des dommages sur les personnes, les équipements, les structures et les installations.

4-4-2-2- Les types de les modèles de simulation sont [7]

On adopte une approche, basée sur des modèles analytiques empiriques généralement reposant sur une lecture d'une seule courbe (ou famille de courbes) de surpression en fonction de la distance, tenant compte des paramètres suivants selon l'approche :

- la partie de l'énergie libérée sous forme d'onde de choc (méthode TNT),
- la force de l'explosion (méthode multi-énergie),
- la vitesse d'expansion de la flamme (méthode de Baker-Strehlow).

Les explosions de type UVCE sont modélisées selon ces trois méthodes :

- L'équivalent TNT
- La méthode multi-énergie.
- Méthode de Baker-Strehlow

La détermination de la masse explosible (quantité de produit ou la concentration est comprise entre la LIE et la LES.

4-4-2-3- Seuils des effets de surpression

Les effets d'un phénomène de type explosion (explosion confinée, ou semi-confinée) s'apprécient essentiellement en termes de surpressions sur les cibles exposées (structures ou personnes). [1]

➤ **Effets sur les hommes**

Tableau (4-3) : Désignation des seuils d'effets de surpression réglementaires sur les hommes

Effets prévisibles	Surpression
Seuils des effets létaux pour 5 % des personnes (SELS) et zone des dangers très graves pour la vie humaine	200 mbar
Seuils des premiers effets létaux (pour 1 % des personnes soit SEL) et zone des dangers graves pour la vie humaine	140 mbar
Seuils des effets irréversibles (SEI) et zone des dangers significatifs pour la vie humaine	50 mbar
Seuils des effets réversibles correspondant à la zone des effets indirects par bris de vitre sur l'homme	20 mbar

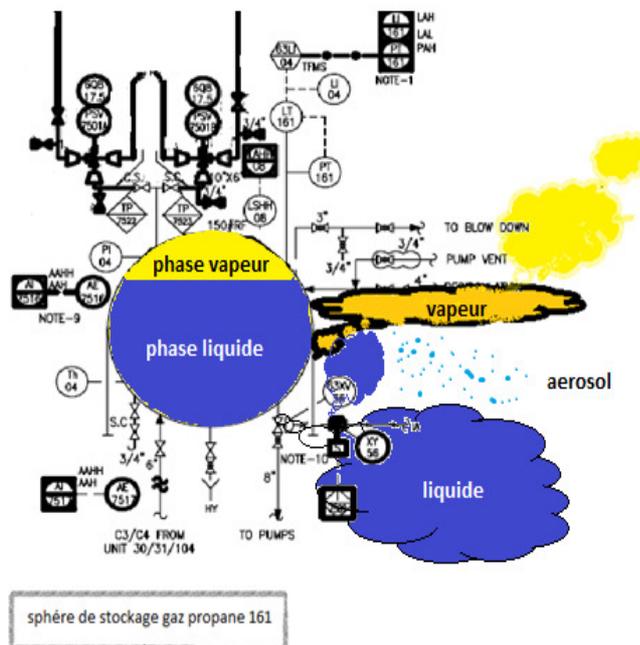
➤ **Effets sur les structures**

Tableau (4-4) : Désignation des seuils d'effets de surpression réglementaires sur les structures

Effets prévisibles	Surpression
Seuil des dégâts très graves sur les structures	300mbar
Seuil des effets domino	200 mbar
Seuil des dégâts graves sur les structures	140 mbar
Seuil des dégâts légers sur les structures	50 mbar
Seuil des destructions significatives de vitres	20 mbar

4-5 L'étude de danger sur l'installation

L'étude sur une sphère de stockage de gaz de pétrole liquéfiés de propane d'une capacité de **3000m³** Une sphère fuye du gaz pendant une période estimative de **10 min**, a permis la formation d'un grand nuage de vapeur, conduisant à un phénomène **VCE**.



4-5-1- Les caractéristiques de sphère – S –161 présente dans le tableau suivant :

Emplacement	Unité MELEX, Raffinerie de Skikda, Algérie
Sphère(Mix)	-S-161
Produit Contenu	Butane (C ₄ H ₁₀) / propane (C ₃ H ₈)
diamètre	Ø = 18 m
capacité	3000 m ³

4-5-2- Formation du nuage inflammable

4-5-3- Les paramètres de propane

En l'état liquide et l'état gaz avec des conditions initiales (P, T)

Les paramètres de propane en l'état(T_b, P_a)	Les paramètres de propane en l'état(T_0, P_0)
La pression ambiante : $P_a = 0,1\text{MPa}$	$T_0=291\text{K}=25^\circ\text{C}$; $P_0 = 0,78\text{MPa}$
La température d'ébullition à P_a : $T_b = 230.9\text{ K}$	La densité du liquide (T_0, P_0) $\rho_{l0}= 505\text{kg/m}^3$
La densité du liquide à (T_b, P_a) : $\rho_{l,f} = 584\text{kg/ m}^3$	La densité du vapeur(T_0, P_0) : $\rho_{V0}=14,3\text{kg/m}^3$
La densité du vapeur à(T_b, P_a) : $\rho_{v,f} = 2,33\text{kg/ m}^3$	La chaleur spécifique moyenne $C_{pV} := 1,70\text{kJ/kgK}$
L'enthalpie de vapeur à (T_b, P_a) : $\Delta H_{v,f} = 383\text{kJ/kg}$	La chaleur spécifique moyenne $C_{pL} := 2,41\text{kJ/kgK}$
La chaleur de vaporisation T_b : $\lambda_f = 426\text{kJ/kg}$	La chaleur de combustion : $\Delta H_C = 46010\text{kJ/kg}$
la température se situe: entre 10°C et 29°C	L'humidité relative moyenne : 70% .
La chaleur de vaporisation $\lambda_0 = 342\text{kJ/kg}$	L'enthalpie de vapeur à (T_0, P_a) : $\Delta H_{v,0} = 483\text{kJ/kg}$

4-5-3-1- La masse de propane dans la sphère

a) Les conditions finales après l'explosion seront [8]

La fraction massique finale, W_f de la phase vapeur peut être calculée en supposant un changement isentropique à travers un bilan de matière:

$$W_f = W_0 \frac{T_f}{T_0} + \frac{T_f}{\lambda_f} C_{pL} \ln \frac{T_0}{T_f} \quad (08)$$

$$W_f = 0,342$$

W_0 : La fraction massique initiale de la phase vapeur (-);

T_0 : La température initiale en (k);

T_f : La température finale en (k);

λ_f : La chaleur finale de vaporisation en (kJ/kg);

C_{pL} : La chaleur spécifique moyenne, de la phase liquide en (kJ/kg K).

- **La densité du produit à (T_f, P_a) : ρ_f (kg/ m³)**

$$\frac{1}{\rho_f} = \frac{(1-W_f)}{\rho_{l,f}} + \frac{W_f}{\rho_{V,f}} \quad \Rightarrow \quad \rho_f = 6,76 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

- **La masse de propane dans la sphère**

$$M = \rho_f \times V_p \times 0,80 \quad \implies \quad M = 16224\text{kg}$$

b) Deux cas peuvent être distingués

$W_f > 0,5$: On suppose aucune gouttelette ne se produira.

$W_f < 0,5$: On admet que le double de la quantité initiale de la substance vaporisée subsiste dans l'air.

C'est-à-dire: $M_{\text{rem}} = 2W_f M$ (09)

$$M_{\text{rem}} = 11097,216\text{kg}$$

M_{rem} : La masse subsistante dans le nuage (vapeurs et gouttelettes) en (kg) ;

M : La masse initiale de la substance contenue dans le récipient en (kg).

La masse du nuage qui a pris feu, est estimée selon le retour d'expérience au ($\frac{1}{6}$) de la masse globale on déduit alors la masse concernée par l'explosion par :

$$M'_{\text{rem}} = 1849,536\text{kg}$$

4-6- Modélisation des explosions

4-6-1 Principaux modèle utilisés

Il existe plusieurs modèles de calcul des effets thermique et surpression aériennes, les plus largement répandues sont :

1. Modèle de l'équivalent TNT,
2. Modèle Multi-énergie ou TNO,
3. Modèle de Strehlow - Baker, du nom de ses principaux auteurs,

Remarque

Les modèles TNT, TNO et CAM sont implémentés dans le logiciel PHAST

4-6-1-1 Modèle de l'équivalent TNT

Selon cette méthode, la puissance de l'explosion du nuage de vapeur équivaut à une masse équivalente de TNT (trinitrotoluène) qui produirait le même explosif en puissance.

- On évalue la masse du gaz inflammable dans le nuage avec des concentrations entre dans les limites de l'explosivité.

- En général, la méthode TNT n'est employée, que pour avoir un ordre de grandeur de l'explosion et une approximation dans la détermination des effets sur l'homme et sur la structure. [8]

a - présentation du modèle :

On calcule la masse équivalente de TNT et la surpression générée par l'explosion à travers deux méthodes :

La première méthode est basée sur le diagramme empirique de Brasie et de Simpson(1968). Elle permet de calculer la surpression, P_s (kPa), en fonction d'une distance réduite Z ($m/kg^{1/3}$), à travers la courbe caractéristique de la figure 4 -13. [8]

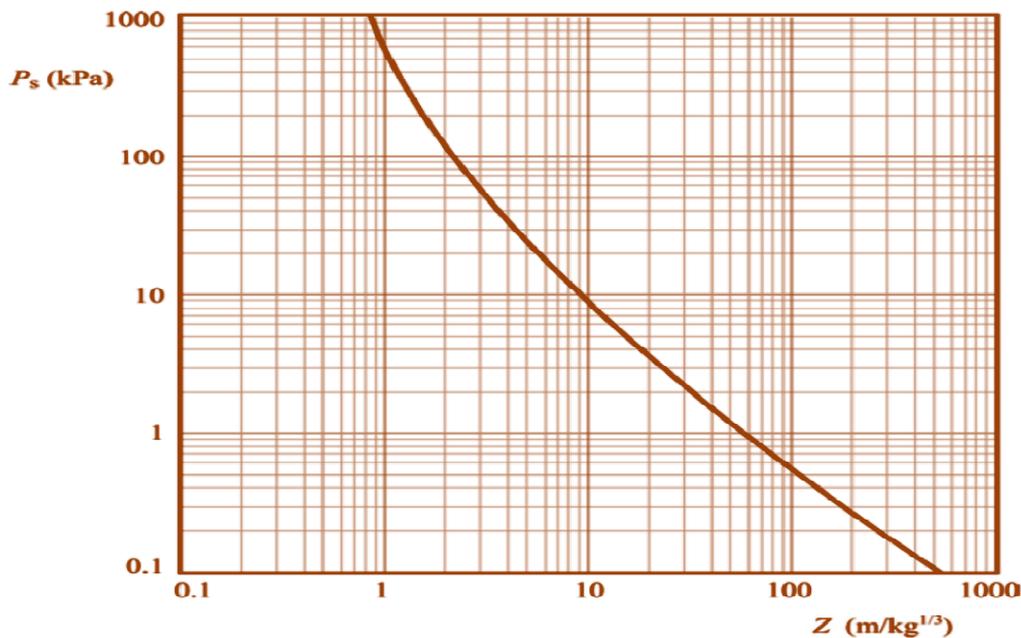


Figure (4-13) : Surpression en fonction de la distance réduite

- La deuxième méthode est basée sur une modélisation analytique donnant la surpression à travers : [8]

$$P_s = \frac{80800 \left[1 + \left(\frac{Z}{4.5} \right)^2 \right]}{\sqrt{1 + \left[\frac{Z}{0.048} \right]^2} \sqrt{1 + \left[\frac{Z}{0.32} \right]^2} \sqrt{1 + \left[\frac{Z}{1.35} \right]^2}} \quad (10)$$

Telle que la distance réduite Z ($m/kg^{1/3}$)

$$Z = \frac{X}{M_{TNT}^{1/3}} \quad (11)$$

$x(m)$ représente la distance entre la cible et le centre de l'explosion

On représente l'effet de la masse équivalent en TNT par l'allure de la dégression de la surpression pour une configuration donnée.

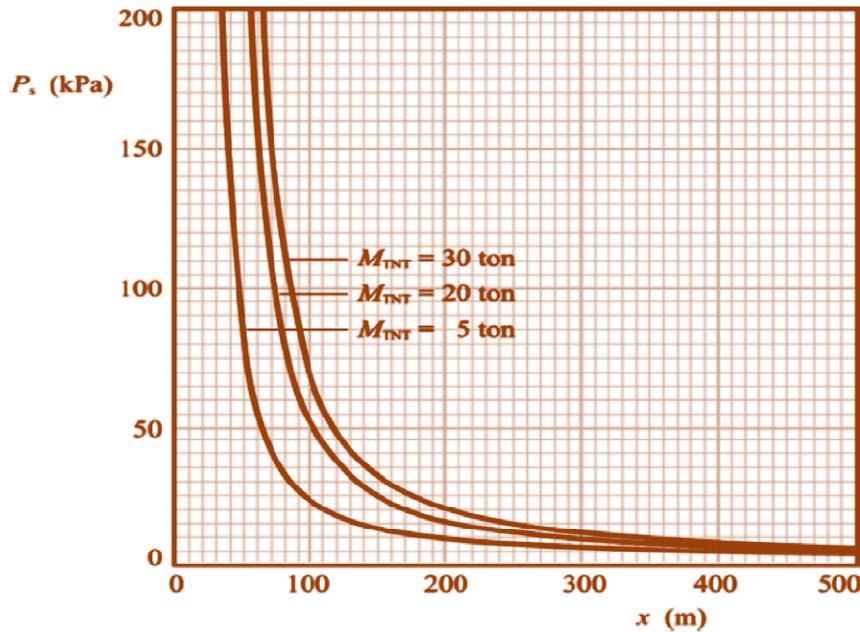


Figure (4-14) : Surpression en fonction de la distance du centre de l'explosion

- La masse équivalente de TNT (M_{TNT}) en (kg), est donnée par l'expression [8]

$$M_{TNT} = \frac{f_E \Delta H_C M_G}{\Delta H_{TNT}} \quad (12)$$

M_G : Représente la masse du gaz inflammable en (kg),

ΔH_C : La chaleur de combustion du gaz inflammable (kJ/kg),

ΔH_{TNT} : La chaleur de combustion de TNT (égale à 4760kJ/kg).

f_E : Le coefficient désigne la fraction de l'énergie libérée par l'onde choc (généralement la valeur entre 0,01 et 0,1)

a) **L'avantage principal du modèle de l'équivalent TNT**

- grande simplicité d'utilisation,
- Pour cette raison il est généralement appliqué dans le calcul de la surpression d'une explosion, mais également dans sa caractérisation.

b) **Les inconvénients du modèle de l'équivalent TNT sont les suivants:**

- Le modèle calcule la surpression d'une explosion sans tenir compte de la configuration spatiale où se produit l'explosion,
- Le paramètre f_E , dans la plupart des cas, est inconnu et influence grandement la prédiction,
- Le modèle ne calcule pas l'évolution temporelle de l'explosion,
- Ce modèle ne permet pas de déterminer les effets thermiques

▪ **Application de la méthode de l'équivalent TNT**

La masse concernée par l'explosion est estimé

D'où une masse équivalente de TNT

$$M_{TNT} = 893,87\text{kg}$$

– **la distance réduite Z (m/kg^{1/3})**

Pour les distance : x = (25, 75, 125 et 200) m

$$Z = \frac{x}{893,87^{1/3}} = (x)0,103 \implies Z(x) = (2,59 - 7,725 - 12,875 - 20,6) \text{ m/kg}^{1/3}$$

– **La surpression P_s (kPa)**

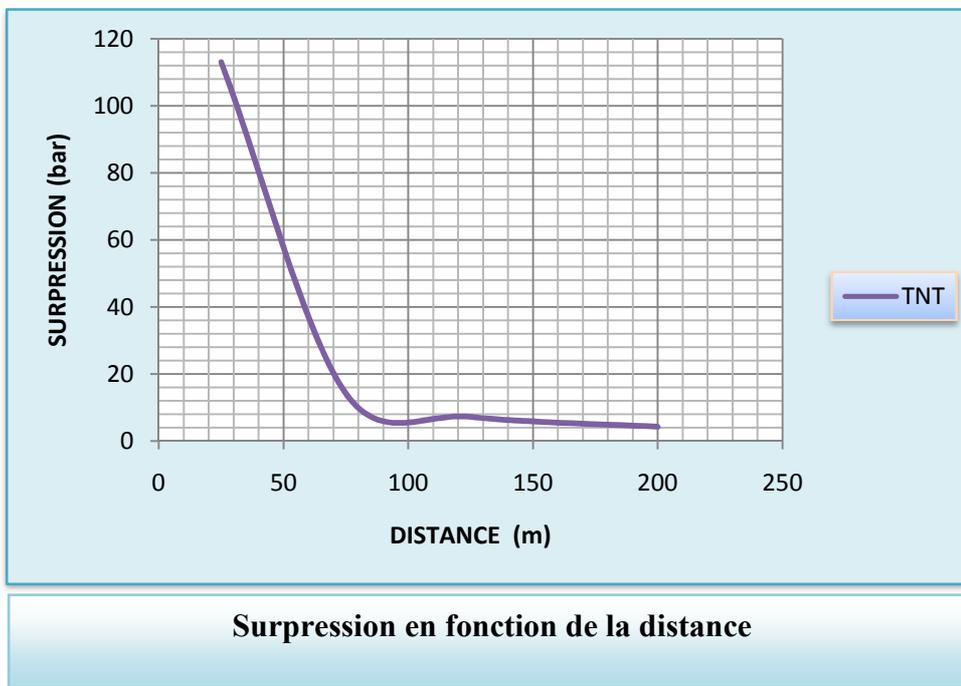
$$P_s(x) = (113,05 - 14,11 - 7,143 - 4,198)\text{kPa}$$

c) la surpression en fonction de la distance réduite

Dans le tableau suivant:

X(m)	Z (m/kg^{1/3})	Ps (k Pa)	Ps (bar)
25	2,59	113,05	1,1305
75	7,725	14,11	0,1411
125	12,875	7,143	0,07143
200	20,6	4,198	0,04198

d) Le graphe selon le modèle de l'équivalent Modèle TNT



i. Interprétation du graphe

L'atténuation de la surpression est très prononcée, en contradiction avec le principe physique de la régression progressive.

La méthode est utilisé pour évalue la puissance de l'explosion dans son voisinage immédiat.

4-6-1-2 Modèle multi-énergie (Modèle TNO)

L'hypothèse la plus importante de la méthode est que la force de l'explosion, à travers la surpression développée, dépend de la disposition de l'espace où le nuage se propage. Plus précisément, seules les régions obstruées ou partiellement obstruées (régions à haute densité d'équipement) contribuent à une explosion à haute intensité.

La méthode Multi-Énergie suppose que l'explosion des nuages de vapeur se compose d'un certain nombre de sous-explosions se produisant à l'intérieur de zones spécifiques du nuage, correspondant aux différentes sources de souffle qui existent dans le nuage (Berg1985). initialement, les dimensions du nuage sur la base de la quantité de gaz inflammable propagé doivent être estimées, et les sources probables d'explosion doivent être identifiées dans le modèle Multi-Énergie, les régions encombrées sont déterminées. Dans ces régions, l'explosion est d'une intensité plus élevée, et est caractérisée par le coefficient de souffle de l'explosion. [5]

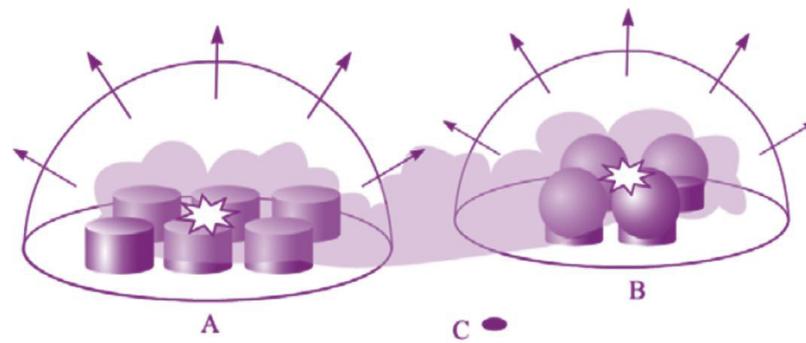


Figure (4-15) : Explosion partielles se produisant à l'intérieur du nuage

- Dimensions du nuage :

Le volume, V (m^3) du nuage de vapeur résultant (composé de gaz inflammable et d'air) est calculé à partir des conditions stœchiométriques de la réaction.

a) Rayon équivalent du nuage :

Où ρ_f est la densité moyenne aux conditions finales de température et de pression (T_f, P_f), calculé à partir de l'expression:
$$\frac{1}{\rho_f} = \frac{(1-W_f)}{\rho_{l,f}} + \frac{W_f}{\rho_{v,f}}$$

Le volume V_f du nuage après son expansion initiale soudaine, peut être calculé en fonction de toute la masse M rejetée, de la façon suivante:

$$V = \frac{M_{rem}}{\rho_f} \quad \Leftrightarrow \quad V = 273,6m^3$$



Le rapport propane-oxygène est de : **1 sur 5**

et Le rapport propane-air est de : **1 sur 25** (comme l'air contient 21% O_2)

Le volume du nuage entier $V' = 273,6 \times 25 = 6840m^3 \Leftrightarrow V' = 6840m^3$

La forme du nuage est hémisphérique,

$$\text{Donc : } V' = \left(\frac{2\pi R^3}{3}\right) \quad (13)$$

Son rayon peut être obtenu à partir de l'expression $V' = \left(\frac{2\pi R^3}{3}\right) = 6840 m^3$,

$$\text{Soit : } R = 31,82m$$

Délimitant la forme hémisphérique à donner au nuage Air-combustible, représentant la source de l'explosion

- Zones encombrées :

La procédure de mise en place d'une zone encombrée est basée sur l'effet des obstacles sur la génération de turbulence dans le flux d'expansion avant la flamme .L'espace autour du centre de l'explosion est séparé en régions obstruées et non obstruées. Le nuage ne peut se propager que dans l'espace libre de chaque zone obstruée (entre les obstacles).

Une zone encombrée est une région de haute densité d'obstacles (équipement, murs, bâtiments, etc.) résultant en une augmentation de la vitesse de propagation du nuage, faisant passé le flux du laminaire au turbulent et permettant à la force de l'explosion de devenir très importante. [8]

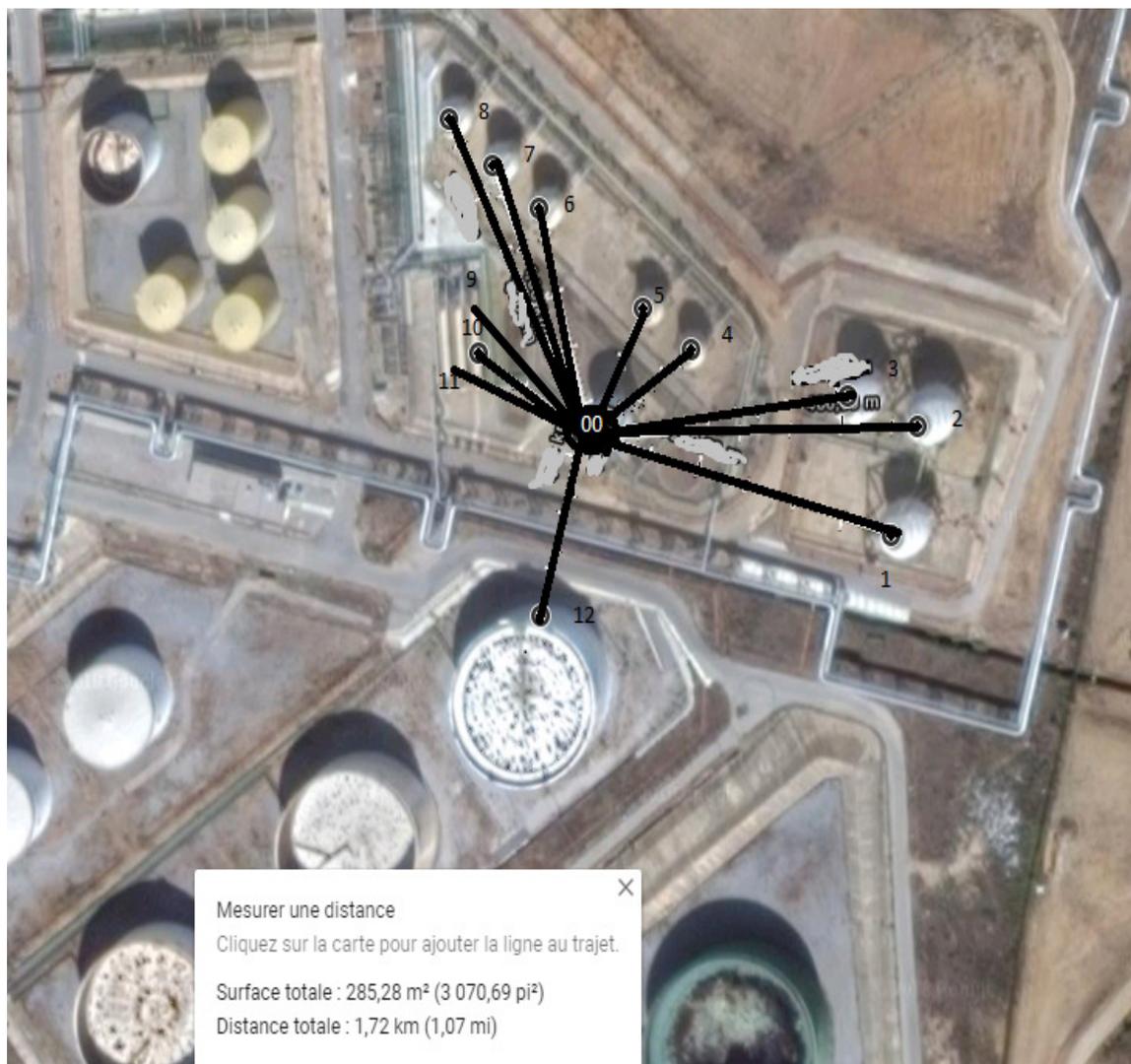


Figure (4-16) : Vue aérienne de la Zone Est de l'unité Melex

- La distance entre le réservoir à être étudié Sphère(00) et le reste des réservoirs voisins qui sont comme suit :

Tableau (4-5) : La distance entre le réservoir à être étudié Sphère et voisins

Numéro de bac	Zone	Type de bac	Produit	Diamètre du bac	Capacité du bac	Pression de service	La distance entre le réservoir et Sphère(00)
1	Est	sphère	Butane	19,2m	3000m ³	1,43MPa	122,89m
2	Est	sphère	Butane	19,2m	3000m ³	1,43MPa	129,58m
3	Est	sphère	Propane	19,2m	3000m ³	0,481MPa	89,6m
4	Est	sphère	Butane	13.2m	1200m ³	6.6 bar	44m
5	Est	sphère	Butane	13.2m	1200m ³	6.6 bar	44,28m
6	Est	sphère	Butane	13.2m	1200m ³	6.6 bar	78,02m
7	Est	sphère	Butane	13.2m	1200m ³	6.6 bar	98,06m
8	Est	sphère	Butane	13.2m	1200m ³	6.6 bar	119,01m
9	Est	Cigare	Propane	3.249m	260m ³	17 bar	35,225m
10	Est	Cigare	Propane	3.249m	260m ³	17 bar	40,225m
11	Est	Cigare	Propane	3.249m	260m ³	17 bar	45,225m
12	Sud	Flottant	brute	66.78m	59850m ³	Atmosphérique	62,30m

Afin d'inclure le réservoir de stockage dans la région obstruée, la validité du au-dessus de deux critères,

a) $X < 25m \implies 18m < 25m$ (valide)

b) $X < 10D_1$ ou $X < 1.5D_2$; (X :Le diamètre de sphère égale 18m).

Numéro de bac	$X < 10D_1$	$X < 1.5D_2$	la validité
sphère : $D_1 = 19,2m$	192m	//	valide
Cigare : $D_1 = 3.249m$; $D_2 = 35.225m$	32,49m	52,8375m	valide
Bac : $D_1 = 66.78m$; $D_2 = 18.02m$	667,8m	27,03m	valide

- Puissance de l'explosion et surpression [8]

Dans le diagramme de (la figure 5 –13), on donne la surpression relative P_s' . En fonction de la distance adimensionnelle r' . Ces deux quantités sont définies (selon Berg 1985) comme suit:

$$P_s' = \frac{P_s}{P_a} \Leftrightarrow P_s = P_s' \times P_a \quad (14)$$

- Energie de l'explosion :

$$E = M'_{rem} \times \Delta H_C \quad (15)$$

La masse $M'_{rem} = \frac{M_{rem}}{6}$; $E = 85097,15136 \text{ MJ}$

E : représente l'énergie totale libérée par l'explosion en (MJ)

La distance adimensionnelle $r' = x \left(\frac{E}{P_a} \right)^{-\frac{1}{3}}$ (16)

$x = 75, 125 \text{ et } 200 \text{ m,}$ $r' = x(0,010)$

P_a : la pression ambiante (0,1MPa)

x : La distance du centre de l'explosion en (m)

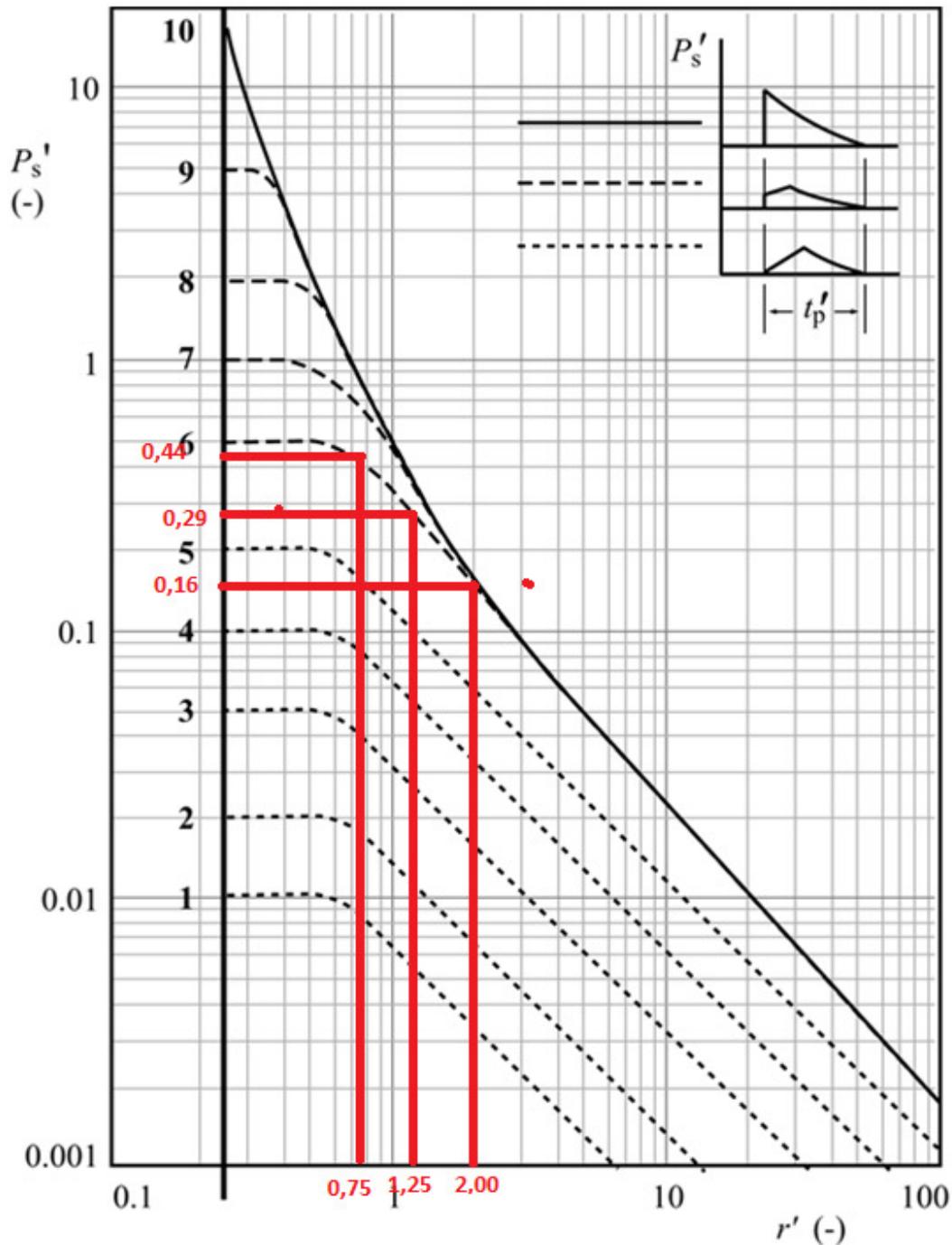


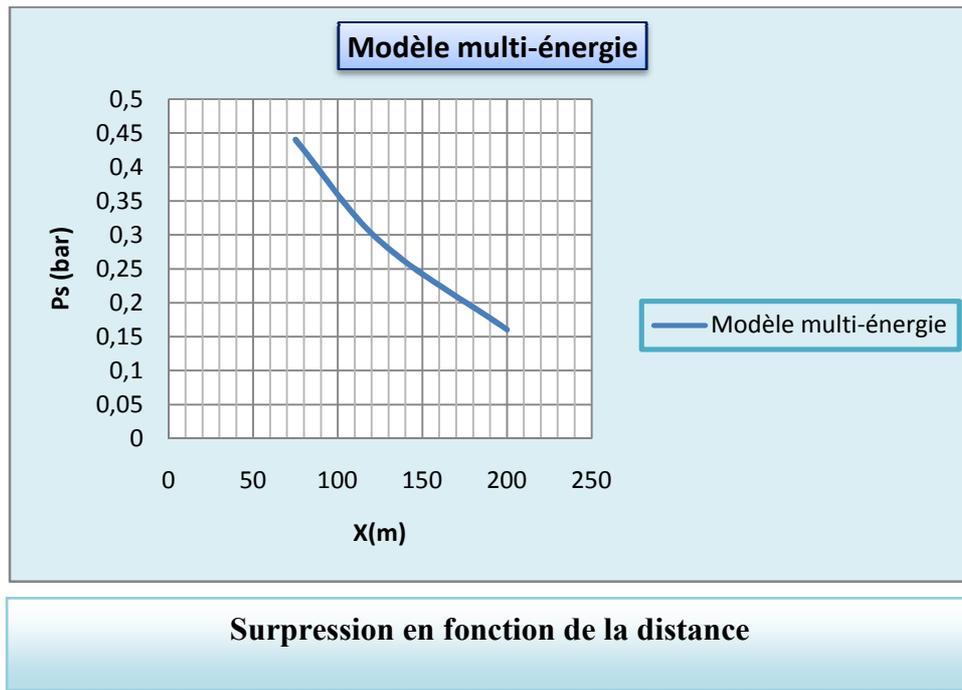
Figure (4-17) : durée de la phase positive, avec paramètre (valeur comprises entre 1 et 10)

Le coefficient de puissance de l'expression [5]

a) le résultat de la surpression en fonction de la distance

Modèle multi-énergie		
X(m)	r'	Ps (bar)
25	-	-
75	0,75	0,44
125	1,25	0,29
200	2,00	0,16

a) Le graphe de Modèle multi-énergie (Modèle TNO)



a) Interprétation des résultats obtenus

L'allure de la surpression est conforme à une dégression physique progressive

- La surpression et la Durée de la phase positive de l'explosion

Tel que calculé dans l'étape précédente, la distance de $x = 75\text{m}$ correspond à une distance graduée $r' = 0,75$. Du diagramme de la Figure 3-18 et pour un coefficient de **0,44bar**, enregistré à une distance de **75m** était de **55ms**

$$\text{Durée de la phase positive : } t_p = \frac{t'_p}{C_s} \left(\frac{E}{P_a} \right)^{1/3} \quad (17)$$

t_p : La durée de la phase positive de l'explosion. (s)

C_s : représente la vitesse du son (340m/s).

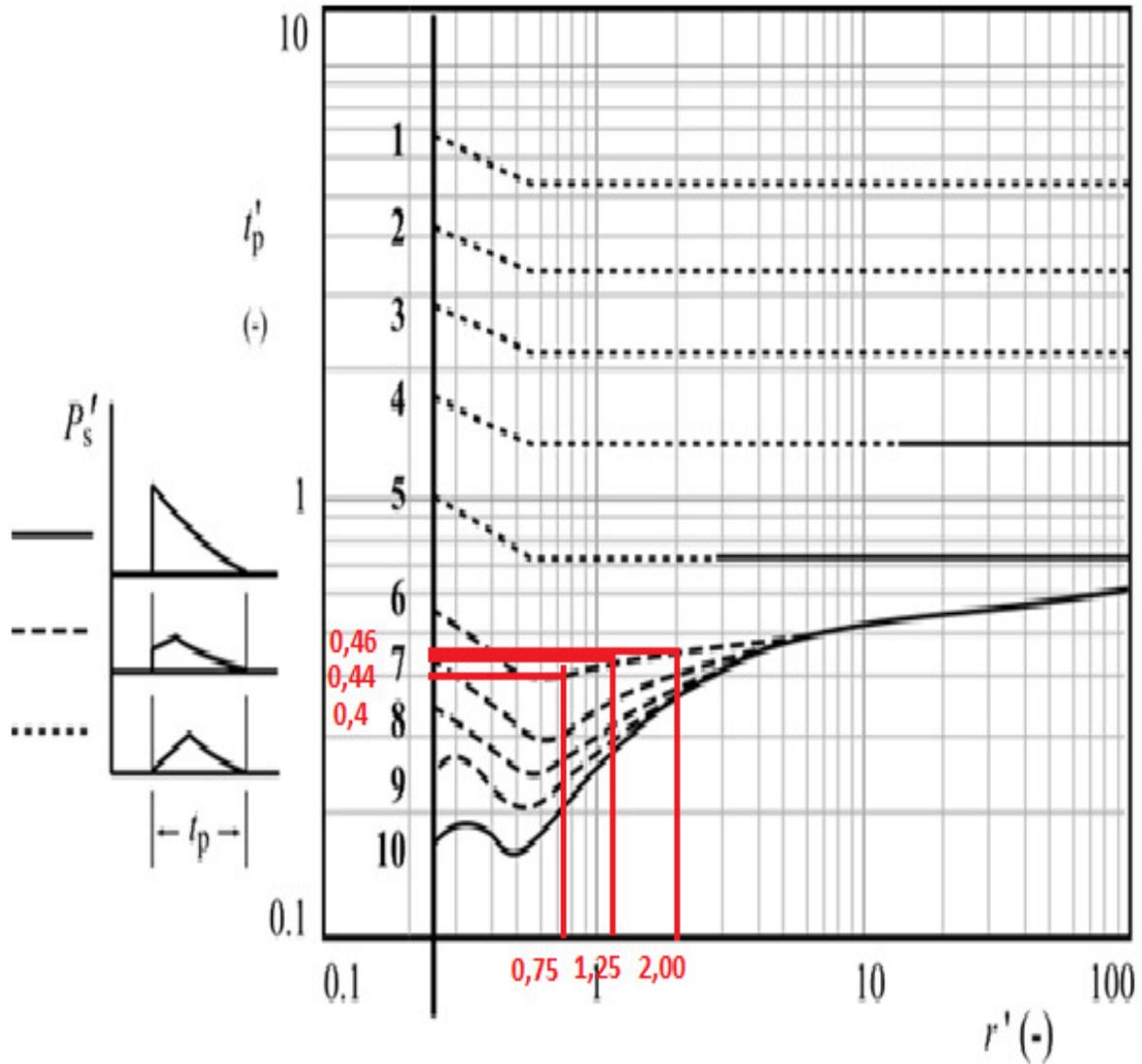


Figure (4-18) : Durée de la phase positive, avec paramètre (valeurs comprises entre 1 et 10)
Le coefficient de puissance de l'explosion (Berg 1985). [5]

Le résultat de la surpression et la Durée de la phase positive

Modèle multi-énergie		
t_p (ms)	r'	P_s (bar)
-	-	-
55	0,75	0,44
83	1,25	0,29
103	2,00	0,16

4-6-1-3 Modèle de Baker-Strehlow

Il est basé sur la même idée de régions encombrées qui ont été initialement proposée par le modèle Multi-Énergie. Dans ces deux modèles, la présence d'obstacles dans l'expansion de la flamme provoque des explosions de nuage de vapeur d'une intensité élevée. [8]

Dans le modèle de Baker-Strehlow, le paramètre important dans le choix de la puissance de l'explosion est la vitesse de propagation de la flamme. Elle est déterminée par :

1. La manière dont le front de flamme se propage,
2. La réactivité du carburant,
3. La densité des obstacles.

a) Vitesse de la flamme

Tableau (4-6) : Vitesse de la flamme, en nombre de Mach

Expansion de la flamme	Réactivité du carburant	Densité des obstacles		
		Élevée	Moyenne	Faible
1-D	Élevée	5.2	5.2	5.2
	Moyenne	2.27	1.77	1.03
	Faible	2.27	1.03	0.294
2-D	Élevée	1.77	1.03	0.588
	Moyenne	1.24	0.662	0.118
	Faible	0.662	0.471	0.079
3-D	Élevée	0.588	0.153	0.071
	Moyenne	0.206	0.100	0.037
	Faible	0.147	0.100	0.037

- Puissance de l'explosion et surpression

Dans cette approche, le diagramme du modèle, illustré à (**la figure3-19**), sera utilisé, en raison de sa simplicité.

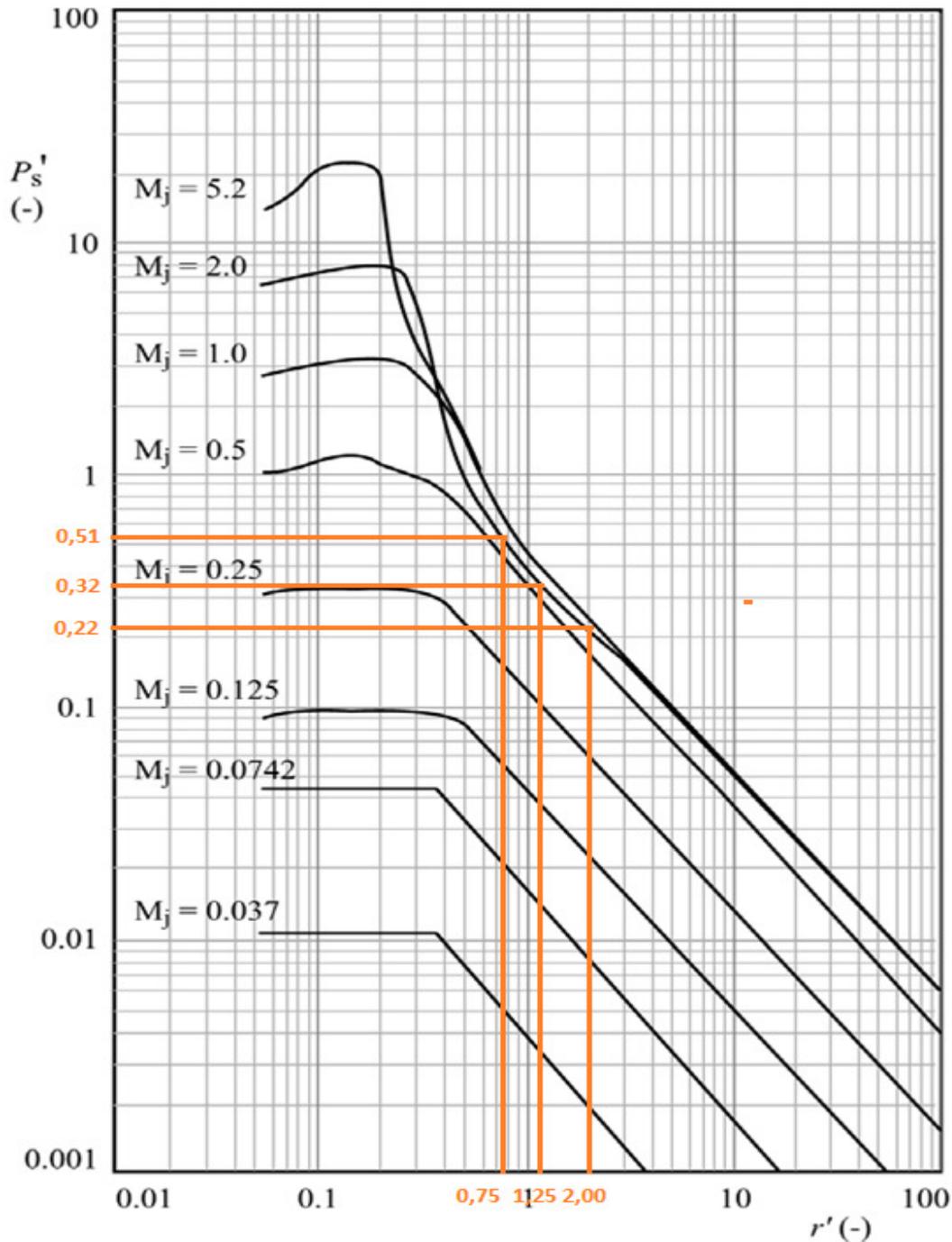


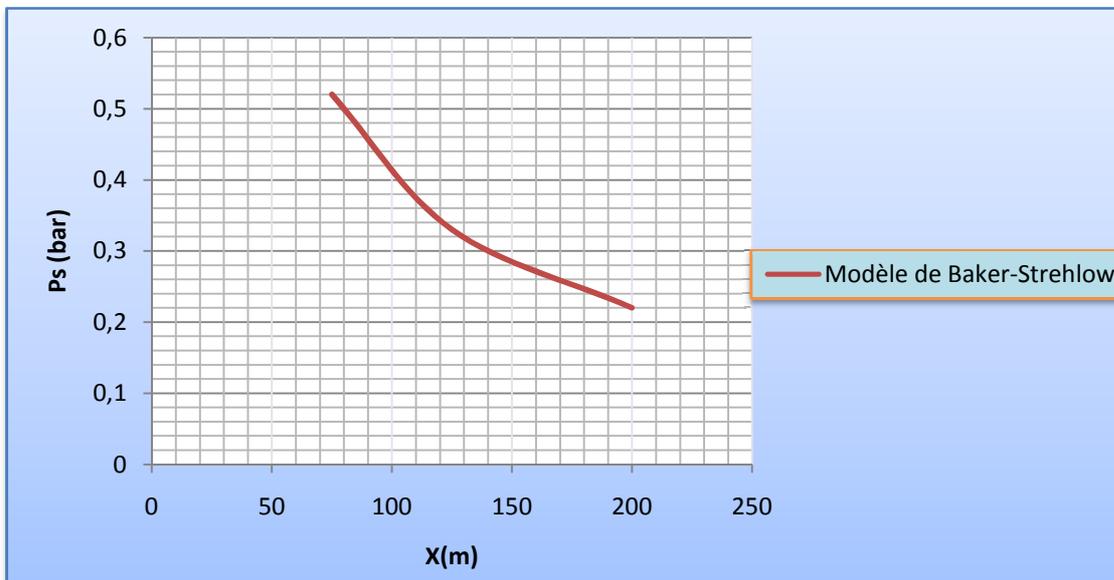
Figure (4-19): Diagramme donnant la surpression en fonction de la distance à l'échelle(méthode baker-strehlow)

Le propane sera considéré comme un combustible à haute réactivité. L'expansion de la flamme dans ce cas peut être considérée comme une propagation **2-D**, car la disposition des réservoirs de stockage, et la densité du propane se maintient à des faibles hauteurs, facilitera un tel type d'expansion. Par conséquent, la vitesse de la flamme, sera égale à **1,77**.la surpression peut être trouvée à partir du diagramme correspondant, en calcul Analytique de la distance réduite r' , la cible est positionnée pour un $X > R$.

a) le résultat de la surpression en fonction de la distance

Modèle de Baker-Strehlow		
X(m)	r'	Ps (bar)
25	-	-
75	0,75	0,51
125	1,25	0,32
200	2,00	0,22

b) Le graphe de Modèle de Baker-Strehlow



Surpression en fonction de la distance

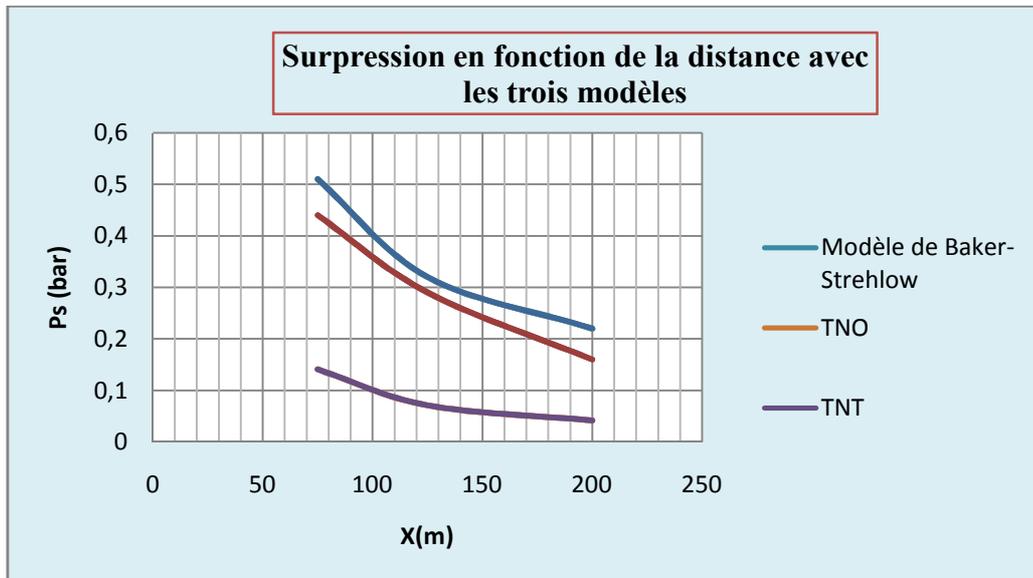
c) Interprétation des résultats obtenus

L'allure de la surpression est conforme à une dégression physique progressive

- Surpression en fonction de la distance avec les trois modèles

Modèle de l'équivalent TNT			Modèle multi-énergie			Modèle de Baker-Strehlow
X(m)	Z (m/kg ^{1/3})	Ps (bar)	r'	Ps (bar)	t _p (ms)	Ps (bar)
25	2,59	1,1305	-	-	-	-
75	7,725	0,1411	0,75	0,44	55	0,51
125	12,875	0,07143	1,25	0,29	83	0,32
200	20,6	0,04198	2,00	0,16	103	0,22

Le graphe Surpression en fonction de la distance, comparaison des trois modèles examinés



Surpression en fonction de la distance, comparaison des trois modèles examinés

a) Interprétation des résultats

La méthode multi-énergie et la méthode de Baker-Strehlow vérifient mieux la conformité avec l'évolution physique par rapport à la méthode de l'équivalent TNT.

Tableau de comparaison :

Distance	Modèle de l'équivalent TNT	Modèle multi-énergie	Modèle de Baker-Strehlow
X(m)	Ps (bar)	Ps (bar)	Ps (bar)
25	1,1305	-	-
75	0,1411	0,44	0,51
125	0,07143	0,29	0,32
200	0,04198	0,16	0,22

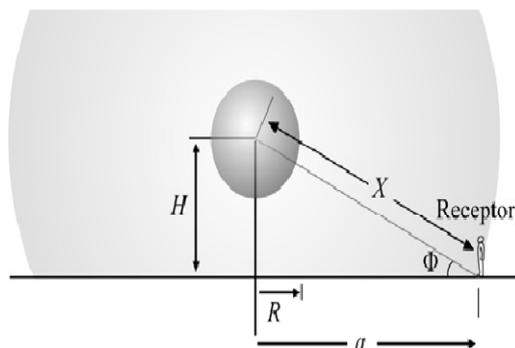
Il a été retenu dans la comparaison entre les différents résultats présentés, la prise en compte des effets, à partir des deux méthodes (TNO et Baker) qui approchent au mieux la configuration réelle de l'explosion.

4-7 Définition Boule de feu:

Une boule de feu peut être le résultat d'une explosion des gaz inflammables sous pression, en émettant de très grandes quantités de chaleur radiative causant des dommages matériels. [5]

4-7-1- modélisation de la méthode

La méthode a adoptée pour le calcul du flux thermique dans le cas d'une boule de feu suit les étapes suivantes:



On prend la même masse du nuage explosif, calculée dans les modélisations précédentes

Pour calculer le diamètre maximum, D_{MAX} (m), et la durée maximale, t_{MAX} (s), de la boule de feu, deux méthodes empiriques sont proposées dans littérature:

4-7-1-1- Méthode de Roberts

- Le diamètre maximum, D_{MAX} (m) , $M'_{rem} = 1849,536\text{kg}$

$$D_{MAX} = C_2 M^{1/3} \quad \text{Avec} \quad C_2 = 5,8 \text{ mKg}^{-1/3} \quad (18)$$

Soit : $D_{MAX} = 71,19\text{m}$

- La durée totale, t_{MAX} (s),

$$t_{MAX} = C_3 M^{1/3} \quad \text{Avec} \quad C_3 = 0.45 \text{ s Kg}^{-1/3} \quad (19)$$

Soit : $t_{MAX} = 5,52 \text{ s}$

4-7-1-2- Méthode TNO

- Le diamètre maximum, D_{MAX} (m),

$$D_{MAX} = C_4 M^{0,325} \quad \text{Avec} \quad C_4 = 6,48 \text{mKg}^{-0,325} \quad (20)$$

Soit : $D_{MAX} = 74,70 \text{ m}$

- La durée totale, t_{MAX} (s)

$$\text{D'où } t_{MAX} = C_5 M^{0,26} \quad \text{Avec} \quad C_5 = 0.852 \text{ s Kg}^{-0,26} \quad (21)$$

Soit : $t_{MAX} = 6,023\text{s}$

- la hauteur du centre de la boule de feu à partir du sol,

$H(\text{m})$, est égale au diamètre maximum, D_{max} (m) :

$$H = D_{max} \quad \text{Soit} \quad H = D_{max} = 74,70 \text{ m.} \quad (22)$$

- le Taux de combustion [5]

$$m' = \frac{M}{(0,888\pi D_{max}^2)t_{max}} \quad (23)$$

Soit $m' = 0,019\text{Kg/m}^2\text{s}$

- le Pouvoir émissif maximal de la flamme est donnée par :

$$SEP_{max} = X_r m' \Delta H_C \quad (24)$$

Tel que :

ΔH_C (kJ/kg) : L'enthalpie de combustion complète, $\Delta H_C = 46010$ kJ/kg .

Soit : $SEP_{max} = 274,49$ kW/m²

➤ la fraction de radiative [5]

$$\chi_r = C_6 P_{SV}^{0,32} \quad \text{Avec} \quad C_6 = 0,00325 P_a^{-0,32} \quad (25)$$

$P_{SV}(\text{Pa})$, est la pression de vapeur à l'intérieur du réservoir.

Généralement, valeurs de χ_r est comprises entre **0,2 et 0,4**

On donne : $P_{SV} = 1.6$ MPa ; Soit : $\chi_r = 0,314$

➤ Pouvoir émissif réel de la flamme $SEP_{réel} = SEP_{max}$ (feu sans fumée)

Soit : $SEP_{max} = SEP_{réel} = 274,49$ kW/m²

➤ Le Facteur de vue : le facteur de vue est évalué à $F_{12} = \left(\frac{R}{X}\right)^2$ (26)

➤ avec $X = \sqrt{H^2 + d^2}$ (27)

$H(\text{m})$: La hauteur du centre de la boule de feu à partir du sol

Tel que :

$d(\text{m})$: distance horizontale entre la cible et la boule de feu

d : Variant entre 25 et 200 m ; $H = 74,70$ m

Donc on prend $d = 150$ m (à titre indicatif) $X = 167,57$ m

➤ Densité de flux thermique radiatif :

$$\dot{q}_r'' = SEP_{réel} F_{12} \tau \quad (28)$$

➤ la transmissivité atmosphérique τ :

$$\tau = C_7 [P_w (X - R)]^{-0,09} \quad \text{Avec} \quad C_7 = 2,02 P_a^{0,09} \text{ m}^{0,09} \quad (29)$$

➤ la pression partielle de la vapeur d'eau dans l'air P_w

$$P_w = RH P_w^0 \tag{30}$$

RH : l'humidité relative

P_w^0 : Pression de vapeur de saturation dans l'air

RH= 0,7 ; $P_w^0 = 2320 \text{ Pa}$ donc $P_w = 1624 \text{ Pa}$

On approxime τ à titre indicatif à 1, et on fait le calcul sur une valeur moyenne : d =150 m.

$$F_{12} = \left(\frac{31,82}{167,571} \right)^2 = 2,151 \times 10^{-4} \quad \text{donc} \quad q_r'' = SEP_{\text{réel}} F_{12} \tau = 26,292 \text{ kW/m}^2$$

Les effets thermiques (rayonnement de la boule de feu) :

	Butane	Propane
Distance d'effet relative au seuil de 1800 (kW/m ²) ^{4/3} .s	$0,81 \times M^{0,471}$	$1,28 \times M^{0,448}$
Distance d'effet relative au seuil de 1000 (kW/m ²) ^{4/3} .s	$1,72 \times M^{0,437}$	$1,92 \times M^{0,442}$
Distance d'effet relative au seuil de 600 (kW/m ²) ^{4/3} .s	$2,44 \times M^{0,427}$	$2,97 \times M^{0,425}$

Formules de calcul des effets thermiques du BLEVE

4-8 La dispersion atmosphérique

La dispersion atmosphérique caractérise le devenir dans le temps et dans l'espace d'un ensemble de particules (aérosols, gaz, poussières) rejetées dans l'atmosphère.

a) L'émission d'un produit à l'atmosphère peut revêtir un caractère :

- soit accidentel, avec des émissions à l'atmosphère ponctuelles dans le temps, non désirées comme la fuite d'une cuve ou un dégagement de fumées dû à un incendie.
- soit chronique, avec des émissions à l'atmosphère plus ou moins continues ou périodiques dans le temps. Les rejets sont les sous-produits indésirables de toute activité humaine, par exemple, les gaz d'échappement des voitures, les fumées d'usines, de chauffages urbains ou toute forme de pollution (émission de gaz issu d'une décharge...). [5]



Figure (4-20) : la dispersion atmosphérique des fumées suit à l'explosion d'un nuage de vapeur

b) Dispersion du nuage inflammable :

La dispersion du nuage qui est influencée par différentes données :

Les conditions météorologiques (calculs dans les conditions 3F et 5D),

Telle que les conditions 3F et 5D sont évaluées selon les données climatologiques représentées dans le tableau suivant :

Tableau (4-7) données climatologiques [4]

Paramètre	Cas « 3F »	Cas « 5D »
Vitesse du vent	3 m/s	5 m/s
Classe de stabilité atmosphérique	F	D
Température ambiante	15°C	20°C
Température du sol	15°C	20°C
Humidité relative	70%	70%
Paramètre de rugosité	0,17	0,17

c) Deux classes de stabilité atmosphérique sont retenues[4] :

- **La classe de stabilité « F »**, représentative des conditions qualifiées de « très stables » rencontrées généralement de nuit. Ces conditions ne sont compatibles qu'avec des vents de vitesse de 1 à 3 m/s.
- **La classe de stabilité « D »**, représentative des conditions qualifiées de « neutres » rencontrées plutôt de jour. Ces conditions ne sont compatibles qu'avec des vents de vitesse supérieure ou égale à 5 m/s.

4-8-1 les effets toxiques [1] :

Ils sont significatifs sur la vie humaine, Pour la délimitation des zones d'effets toxiques, les seuils des effets de référence pour les installations classées sont les suivants :

- Les seuils des effets irréversibles (SEI) pour la zone des dangers significatifs pour la vie humaine
- Les seuils des premiers effets létaux (SEL1%) correspondant à une CL1 % (concentration létale 1%) pour la zone des dangers graves pour la vie humaine
- Les seuils des effets létaux (SEL5%) significatifs correspondant à une CL5 % (concentration létale 5%) pour la zone des dangers très graves pour la vie humaine

Les seuils des effets toxiques pour l'homme par inhalation

Tableau (4-8) : Désignation des seuils des effets toxiques réglementaires

Seuils d'effets toxiques pour l'homme par inhalation			
	Types d'effets constate	Concentration d'exposition	Valeurs
Exposition de 1 à 120 minutes	Effets Létaux Significatifs	SELS (CL 5 %)	Variables suivants les produits
	Premiers Effets Létaux	SEL (CL 1 %)	
	Effets Irréversibles	SEI	
	Effets Réversibles	SER	

4-8-2 Dispersion des Polluants dans les milieux Homogènes :

La dispersion atmosphérique demeure un cas particulier dans la famille des phénomènes dangereux majeurs car plusieurs phénomènes physiques entrent en jeu. Quatre grandes phases peuvent être distinguées : le débit à la brèche, la vaporisation (soit au niveau du jet , soit au niveau d'une nappe), la dispersion atmosphérique à proprement parler et enfin l'estimation des effets du nuage (soit toxique, soit inflammable avec un allumage différé).

Ce chapitre présente les grands principes de modélisation des effets de la dispersion atmosphérique puis pour chacune des grandes étapes décrites précédemment Les principales méthodes mises à disposition des modélisateurs. [8]

Avant d'être rejetées dans l'atmosphère, les substances sont stockées dans des citernes, des sphères, des bouteilles, des containers, des fûts... Les substances peuvent se trouver sous la Forme :

- D'un gaz (sous pression ou non),
- D'un liquide (réfrigéré ou non),
- D'un gaz liquéfié.

Pour les deux derniers cas, les rejets vont donner lieu à une émission diphasique pouvant conduire à la formation d'une nappe. pour diverses raisons, ces produits peuvent être relâchés dans l'environnement. La rupture du confinement va entraîner des phénomènes variables selon le produit considéré, le type de stockage, l'importance et la position du point de rejet.

4-9- Travaux Antérieurs sur les aspects de l'écoulement

a) La dispersion dépend de plusieurs paramètres tels que

Les conditions de dispersion atmosphérique d'un produit vont dépendre de plusieurs Paramètre :

- Les conditions de rejet (nature du nuage de produit, mode d'émission...);
- Les conditions météorologiques (champ de vent, de température...);
- L'environnement (nature du sol, présence d'obstacles, topographie...).

Différents processus dont l'importance relative dépend des conditions de rejet, entrent en jeu

et agissent simultanément ou successivement. Ces différents mécanismes physiques sont présentés dans cette partie. [1]

b) Différentes configurations de l'écoulement

La dispersion des produits toxiques dans l'atmosphère pourrait être due aux:

- **Rejets permanents** des produits indésirables de toute activité humaine, par exemple, les gaz d'échappement des voitures, les fumées d'usines, de chauffage sur bains ou toute forme de pollution
- **Rejets accidentels de gaz toxiques** suite à des accidents industriels dont les causes pourraient être directs ou indirectes :
 - Les causes directes incluent les fuites d'un réservoir, d'un pipeline, etc.
 - Les causes indirectes peuvent être un autre accident tel que l'incendie ou l'explosion qui engendrent la libération de gaz toxiques (fumées).

Lors d'un rejet accidentel, la modélisation de la dispersion atmosphérique permet d'évaluer les mesures à prendre en temps réel.

4-9-1- Modélisation de la dispersion

Il existe plusieurs catégories possibles de modèles de dispersion. On peut les classer selon la manière dont le polluant est produit (source instantanée, continue) ou le type spatial de la source (point, ligne, zone, source de volume), la morphologie du sol et les conditions atmosphériques, la composition des polluants (chimiques, radioactifs, etc.), leur état (solide, liquide, gaz) ou l'ampleur de leurs conséquences (locale, moyenne ou grande échelle) .Ce cependant, le mode de classification scientifique est selon leur approche mathématique, Par on distingue trois catégories

- Modèles lagrangien
- Modèles eulérien
- Modèles empiriques

Cette catégorie de modèles comprend la plupart des modèles utilisés aujourd'hui pour des raisons de contrôle environnemental. Ils peuvent être classés comme suit :

- Modèles gaussiens,
- Modèles de boîtes

4-9-1-1- Modèles intégraux :

Lorsque le rejet perturbe l'écoulement atmosphérique de l'air, l'emploi d'un modèle gaussien de dispersion atmosphérique est inadapté. Des mécanismes physiques non pris en compte par les modèles gaussiens doivent être considérés, tels que :

- Les effets de turbulence dynamique, pour les rejets sous forme de jet à grande vitesse d'émission;
- Les effets de gravité, pour les rejets de gaz lourds ;
- Les effets de flottabilité pour les rejets de gaz légers.

L'emploi d'un modèle intégral permet de décrire ces mécanismes. Ce type de modèle est basé sur les équations de la mécanique des fluides simplifiées. [9]

4-9-1-2 Modèle CFD:

- Modèles lagrangiens : consistent à suivre le mouvement des polluants (particules, molécules) par rapport au mouvement moyen de la masse d'air.
- Modèles eulériens : consistent à suivre le mouvement des polluants par rapport à un repère fixe.

4-9-1-3- Modèle gaussien :

- Le modèle gaussien s'applique aux rejets de gaz passifs, c'est-à-dire que le gaz doit avoir une densité proche de celle de l'air, une température identique à celle de l'air et une vitesse initiale relative nulle.
- Ce modèle suppose que le terrain est plat et sans obstacles qui pourraient perturber l'écoulement de l'air.
- La diffusion moléculaire est négligée devant la diffusion turbulente ce qui suppose que la vitesse du vent doit être au minimum de 1 à 2 m/s et la turbulence de l'atmosphère est prise en compte par l'intermédiaire des classes de stabilité.

Ce modèle est utilisé pour la modélisation de la dispersion des polluants sur quelque centaine de mètre à quelques kilomètres.

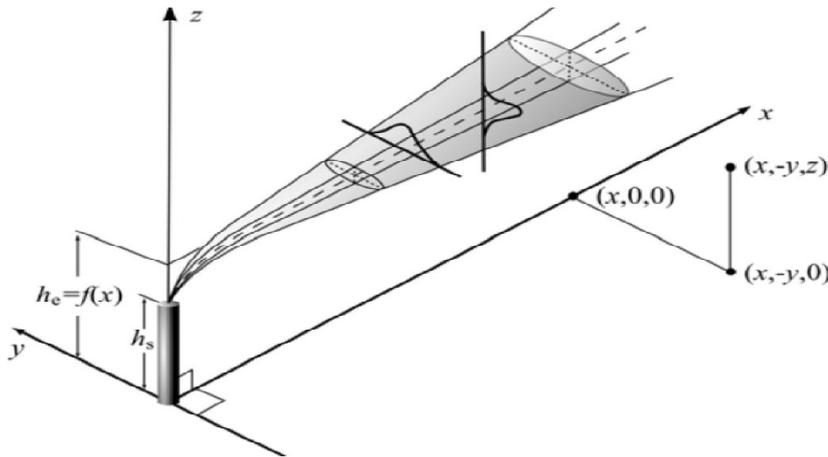


Figure (4-21) : Système de coordonnées de dispersion gaussienne

4-9-2- Dispersion de gaz léger à partir d'une source continue

a) _Elévation du panache :

- Une variable importante qui doit être prise en compte dans le calcul de la dispersion du panache est la hauteur réelle de la source par rapport au sol.
- Cette hauteur pourrait être la hauteur réelle de la cheminée ou la hauteur réelle à laquelle le rejet aura lieu.
- L'élévation du panache est directement liée à la quantité de mouvement du rejet.
- En raison de la différence de densité entre le gaz relâché et l'air environnant, il est probable qu'une nouvelle élévation du panache juste après sa libération se produira, en raison des forces de flottabilité.
- Si le gaz libéré est plus chaud que l'air environnant (cas des gaz produits dans un incendie), l'effet des forces de flottabilité sera plus important en raison de la densité plus faible.

b) Le soulèvement du panache, il faut :

- Examiner si le phénomène prédominant dans le soulèvement du panache est la flottabilité ou la quantité de mouvement,
- la distance maximale de soulèvement du panache (mesurée sous le vent à partir de la source du panache) et la montée du panache avant et après ce point.

Dans le cas particulier des cheminées, un paramètre supplémentaire doit être pris en compte dans l'élévation du panache est le phénomène associé aux faibles pressions qui

existent dans la pointe de la cheminée. Un tourbillon vertical apparaît près de la pointe de la cheminée et, par conséquence, la hauteur effective de cheminée est inférieure à celle observée dans la réalité. [8]

c) Correction de la hauteur de la cheminée

Donnée par les équations de Briggs [5] :

Cette correction n'est applicable que dans le cas où $(v_s/\mu_s) < 1$

$$h'_s = h_s + 2d_s \left(\frac{v_s}{\mu_s} - 1,5 \right) \tag{31}$$

h'_s (m): La hauteur effective de la cheminée.

h_s (m): La hauteur réelle de la cheminée.

v_s (m/s) : La vitesse de sortie du gaz.

μ_s (m/s) : La vitesse du vent à la hauteur de la cheminée.

d_s (m) : Le diamètre interne, de la cheminée.

- La vitesse du vent

La vitesse du vent discutée jusqu'à présent se réfère à une hauteur de référence particulière (habituellement 10 m). La loi de puissance sert à ajuster la vitesse du vent : [5]

$$\mu_s = \mu_{ref} \left(\frac{h_s}{z_{ref}} \right)^p \tag{32}$$

z_{ref} (m): Une hauteur de référence particulière ;

μ_{ref} (m/s): La vitesse du vent observée ;

p (-) : désigne l'exposant du profil du vent, selon la stabilité de l'atmosphère.

Tableau (4-9) : données les valeurs de l'exposant -p- pour les zone rurales et urbaines

Stabilité	Zone Rural : p (-)	Zone Urbain : p (-)
A	0,07	0,15
B	0,07	0,15
C	0,10	0,20
D	0,15	0,25
E	0,35	0,30
F	0,55	0,30

D'après les donnes : $v_s = 4m / s$; $h_s = 25m$; $d_s = 1m$; $\mu_{ref} = 2m / s$; $P = 0,55$

$$\mu_s = \mu_{ref} \left(\frac{h_s}{Z_{ref}} \right)^p = 3,31 \text{ m / s} ; \quad \text{Soit} \quad v_s/\mu_s < 1,21 ; h'_s = 24,4\text{m}$$

Elévation du panache par flottabilité ou par quantité de mouvement

$$(T_s - T_a) \geq \Delta T_c \tag{33}$$

$T_s(\mathbf{k})$: La température du gaz libéré.

$T_a(\mathbf{k})$: La température de l'air ambiant.

$\Delta T_c(\mathbf{k})$: La différence de température critique.

On donne : $T_s(\mathbf{k}) = 400 \text{ k}$; $T_a = 280 \text{ k}$; $120\text{k} \geq \Delta T_c(\mathbf{k})$

ΔT_c Est donnée à travers le tableau suivant

Tableau (4-10) réalisé à l'aide des équations empiriques ΔT_c

Condition	$\Delta T_c = 0,0297 T_s \sqrt[3]{\left(\frac{v_s}{d_s^2}\right)}$ où $F_b < 55$ (34)
Instable (A, B, C)	
Neutre (D)	$\Delta T_c = 0,00575 T_s \sqrt[3]{\left(\frac{v_s}{d_s^2}\right)}$ où $F_b \geq 55$ (35)
	où $F_b = g v_s d_s^2 \left(\frac{T_s - T_a}{4 T_s}\right)$ (36)
Stable(E, F)	$\Delta T_c = 0,019582 T_s v_s \sqrt{S}$ et $S = \frac{g}{T_a} \frac{\partial \theta}{\partial z}$ (37)

Tel que :

$F_b (\mathbf{m}^4/\mathbf{s}^3)$: Paramètre de l'écoulement de flottabilité.

$g (9,81\mathbf{m}/\mathbf{s}^2)$: Accélération de la pesanteur.

La variation de la température : $\left(\frac{\partial \theta}{\partial z}\right) \mathbf{K}/\mathbf{m}$

(Une valeur de 0,020K/m pour les Conditions de stabilité E, Valeur de 0,035K/m pour les conditions de stabilité F).

On donne : $\frac{\partial \theta}{\partial z} = 0,035$ comme condition de stabilité de F

Equation (32): $T_s - T_a = 120\text{k}$;

Equation(35) : $F_b = 2,94 \text{ m}^4/\text{s}^3$;

Equation (36) : $S = 0,00123 \text{ s}^{-2}$;

Equation(36) : $\Delta T_c = 1,097 \text{ k}$;

Donc $120\text{k} \gg 1,097 \text{ k}$; la flottabilité dominante

4-9-3 Distance de l'élévation maximale du panache

La distance maximale d'élévation du panache, est la distance de la source, sous l'effet du vent, où le panache a atteint une élévation maximale.

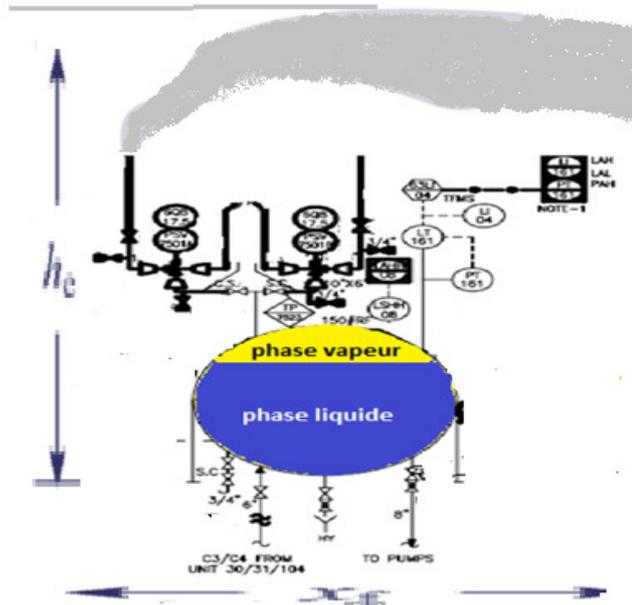


Figure (4-22) dispersion de gaz inflammable GPL

a) L'élévation totale du panache sera divisée en deux parties:

- Elévation progressive jusqu'à la distance X_f (m)
- Elévation finale du panache.

Le **tableau 06** présentées Les équations; selon les conditions atmosphériques et sur le fait que l'élévation du panache se fait par effet de flottabilité ou par quantité de mouvement.

Tableau (4-11) : représente les équations adoptées selon les conditions atmosphériques

Condition Instable (A, B, C) ou Neutre (D)		Condition(E, F)
$F_b < 55$	$X_f = 49F_b^{5/8}$	$X_f = 2,0715 \frac{\mu_s}{\sqrt{s}}$
$F_b \geq 55$	$X_f = 119F_b^{2/5}$	Ou $S = \frac{g}{T_a} \frac{\partial \theta}{\partial z}$
$F_b = 0$	$X_f = \frac{4d_s \times (v_s \times 3 \mu_s)^2}{v_s}$	$X_f = 0,50\pi \frac{\mu_s}{\sqrt{s}}$
$F_b < 55$	$X_f = 49F_b^{5/8}$	
$F_b \geq 55$	$X_f = 119F_b^{2/5}$	

La distance horizontale maximale d'élévation du panache $X_f = 195,8$ m

b) Elévation graduelle et finale du panache

Le tableau 07, l'élévation du panache, h_e (m): Pour deux types de conditions météorologiques, en fonction de la distance, x (m), de la source. [5]

Tableau (4-12) : représente l'élévation du panache

Final plume rise (rise after distance x_f)	
B u o y ã n c y	$F_b < 55 \quad h_e = h'_s + 21.425 \frac{F_b^{3/4}}{u_s}$
	$F_b \geq 55 \quad h_e = h'_s + 38.710 \frac{F_b^{3/5}}{u_s}$
M o m e n t u m	$h_e = h'_s + 2.6 \left(\frac{F_b}{u_s s} \right)^{1/3}$
	$h_e = h'_s + 3d_s \frac{v_s}{u_s}$
	$h_e = h'_s + 1.5 \left(\frac{F_m}{u_s \sqrt{s}} \right)^{1/3}$
	The smaller of the two values is selected ^b

L'élévation du panache : $h_e = 47,8$ m;

4-10 Equation de concentration

L'équation qui donne la concentration des pollutions dans l'espace suivant leur dispersion

a) Rejet continu – Modèle « panache »

Si le rejet est continu (Mode d'émission) et si la vitesse de vent est suffisamment importante pour que le phénomène de diffusion dans la direction du vent soit négligeable devant le phénomène de convection, la concentration C du gaz dans l'atmosphère en un point (x, y, z) peut s'écrire : [5]

$$C = \frac{Q_c}{u_s} \frac{10^9}{2\pi\sigma_y} \exp \left[-\frac{y^2}{2\sigma_y^2} \right] \frac{1}{\sigma_z} \left\{ \exp \left[-\frac{(h_e - z)^2}{2\sigma_z^2} \right] + \exp \left[-\frac{(h_e + z)^2}{2\sigma_z^2} \right] \right\} \quad (38)$$

$C(\mu\text{g}/\text{m}^3)$: Concentration [kg/m^3].

$Q_c(\text{kg}/\text{s})$: Débit d'émission du pollution à la source.

σ_z (m) et σ_y (m) : sont les déviations standard de la distribution des concentrations dans la direction x et y .ceux sont dans les dimensions latérales et verticale du panache par rapport à son axe.les déviations standard σ_z (m) et σ_y (m) peut être calcules suivant la méthode de pasquill .donne des paramètres qui tiennent compte de la stabilité solaire que la distance **x** à la source

b) Calcul des écarts types

L'utilisation des modèles gaussiens impose donc la détermination des écarts-types
 A partir de campagnes de mesures sur des rejets de produits, des formules ont été établies, donnant la valeur des écarts-types en fonction :

de la distance d'éloignement de la source de rejet ou encore du temps de transfert.

Les écarts types ont été calés pour des rejets relativement importants à la source (au minimum de l'ordre de la tonne), et pour des distances de dispersion de l'ordre de la dizaine de kilomètres au maximum. [1]

c) Les écarts types de la loi gaussienne dépendent :

- De la distance à la source ou de la durée de transfert ;
- Des caractéristiques de la structure de l'atmosphère ;
- Et de la rugosité du site.

$Q_c = 0.020\text{kg/s}$, $\mu_s = 3.31 \text{ m/s}$, $y=0$, $\sigma_y = 0.4651 \tan(\text{TH})$,
 $\text{TH} = 0.01745[c - d \ln (0.001x)]$, $Z = 2 \text{ (m)}$, $\sigma_z = a (0.001x)^b$,[5]

La Concentration C ($\frac{\mu\text{g}}{\text{m}^3}$):

x(m)	h_e (m)	σ_y (m)	σ_z (m)	$C(\mu\text{g}/\text{m}^3)$
100	39,34	4,07	2,33	0,0 (négligeable)
200	47,77	7,73	4,09	0,0 (négligeable)
500	47,77	17,97	8,40	0,0 (négligeable)
750	47,77	26,05	11,46	1,4

4-11 Scénario : Fuite de GPL (propane)

La modélisation à l'aide du logiciel PHAST® version 6.51, permet de déterminer les phénomènes dangereux pouvant réellement se produire dans des conditions précises et les effets associés.

4-11-1 D'un rejet accidentel la phase liquide de sphère

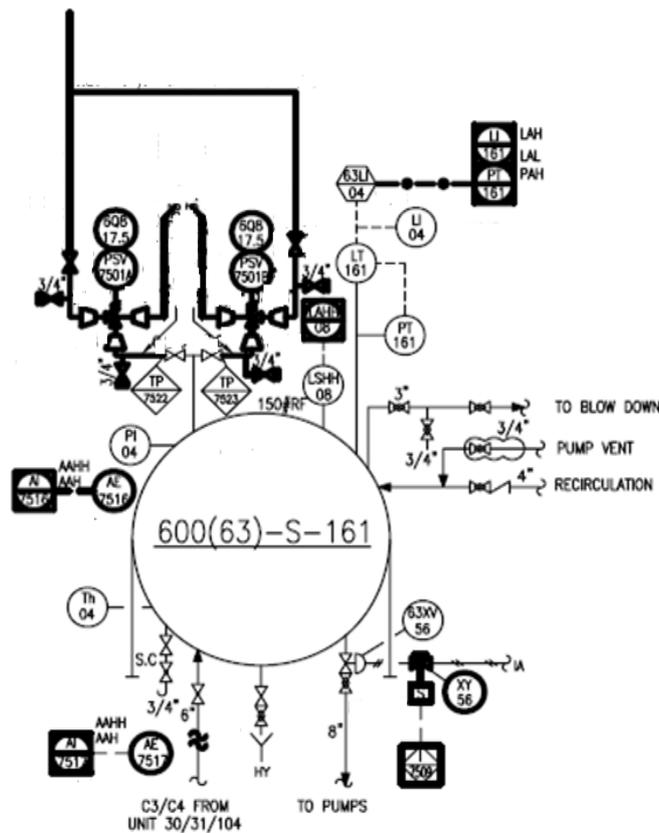


Figure (4-23) : Fuite sur la ligne de soutirage de la sphère -S- 161

On suppose une rupture franche de la ligne de soutirage en pied de la sphère 161 lorsque celle-ci contient du propane.

4-11-2-Les phénomènes dangereux sont :

- feu de torche au niveau de la rupture
- explosion UVCE dans la zone de stockage

4-11-3 Hypothèses :

La rupture franche de la ligne de soutirage ou pied de la sphère 161, le rejet de produit du propane à l'état liquide :

Caractéristiques de la fuite en amont « sphère »	
Quantité de produit :	3000 m ³
Température dans la sphère :	20°C
Pression dans la sphère :	Pression de saturation à 20°C soit 7,3 bar
Diamètre de la fuite :	203,2 mm
Caractéristiques de la fuite en aval « canalisation »	
Quantité de produit :	1733 kg
Température dans la ligne :	36°C
Pression dans la ligne :	Pression atmosphérique (la ligne passe à pression atmosphérique après la rupture franche)
Longueur de la canalisation	1430 m
Caractéristiques générales de la fuite	
Hauteur de la rupture par rapport au sol :	2,9 m
Direction de la fuite	Horizontale
Type de sol	Béton

Caractéristiques de la fuite

A) des débits de fuite

Débit de fuite côté amont :

Les caractéristiques de la fuite en amont sont les suivantes :

	Fuite
Durée	22058 s
Débit	67,8 kg/s
Vitesse	385 m/s
Fraction liquide	0
Température	-42°C
Quantité de produit émise	1480000 kg

4-11-4 Conséquences

a. Phénomène dangereux : feu de torche

Les effets du feu de torche sont donnés pour le cas de la vidange de la sphère, condition majorant en termes de distances d'effet. La fuite au niveau de la rupture franche est à l'origine d'un feu de torche dont **les caractéristiques sont les suivantes**

	Atmosphère 3F	Atmosphère 5D
Pouvoir émissif	316 kW/m ²	315 kW/m ²
Longueur de flamme	68 m	72 m

Les distances d'effets pour les flammes dans le tableau suivant:

	Atmosphère 3F	Atmosphère 5D
3 kW/m ²	149 m	145 m
5 kW/m ²	128 m	127 m
8 kW/m ²	112m	113m
16W/m ²	94m	96m
20kW/m ²	88m	92 m

4-12 Phénomène dangereux: Explosion UVCE

Les dimensions du nuage sont telles que ce dernier va s'étaler autour de la zone regroupant les sphères de propane, butane et iso-pentane Cette zone a un encombrement tel que la force de l'explosion de la modélisation en méthode multi-énergie est de 5. La masse explosible est estimée au bout de 60 secondes pour tenir compte du retour d'expérience sur le temps de déclenchement de l'inflammation.

a)Détermination des effets de surpression

Les distances d'effet et les caractéristiques principales de l'explosion UVCE sont données dans le tableau ci-dessous :

	Atmosphère 3F	Atmosphère 5D
Distance à la LIE	80 m	72 m
Masse explosive	92 kg	69 kg
Force d'explosion :	5	5
20 mbar	207 m	188 m
50 mbar	82 m	74 m
140 mbar	29 m	26 m
200 mbar	19 m	17 m
300 mbar	Non Atteint	Non Atteint

b) Détermination des effets thermiques [4]

Les effets thermiques du flash fire consécutif à la fuite sont calculés de la manière suivante :

- seuil des effets irréversibles (SEI) : 1,1 fois la distance à la LIE (distance arrondie à l'unité supérieure)
- seuil des effets létaux 1% (SEL) : distance à la LIE
- seuil des effets létaux 5% (SELS) : distance à la LIE

	Atmosphère 3F	Atmosphère 5D
SEI	88 m	79 m
SEL	80 m	80 m
SELS	80 m	72 m

4-13 Tableau Probabilité – Gravité – Cinétique [4]

«La fuite sur la ligne de soutirage la sphère –S- 161 »

Phénomène dangereux	Type d'effet	Indice proba	SEI	SEL 1%	SEL 5%	Gravité retenue après modélisation	Cinétique
feu de torche	Thermiques	D	Les effets restent à l'intérieur du site			G1	Rapide
UVCE	Surpression						
UVCE	thermiques						

4-14 Des effets dominos dans le tableau ci-dessous :

Tableau (4-13) des effets dominos :

Numéro de bac	Type d'effet	Type de bac	Phénomène dangereux		Capacité du bac	Pression de service	La distance entre le réservoir et Sphère(00)
			feu de torche	UVCE			
1	Thermique	sphère	+	//	3000m ³	1,43MPa	122,89m
2	Thermique	sphère	+	//	3000m ³	1,43MPa	129,58m
3	Thermique	sphère	+	//	3000m ³	0,481MPa	89,6m
4	Thermique	sphère	+	+	1200m ³	6,6 bar	44m
5	Thermique	sphère	+	+	1200m ³	6,6 bar	44,28m
6	Thermique	sphère	+	+	1200m ³	6,6 bar	78,02m
7	Thermique	sphère	+	//	1200m ³	6,6 bar	98,06m
8	Thermique	sphère	+	//	1200m ³	6,6 bar	119,01m
9	Thermique	Cigare	+	+	260m ³	17 bar	35,225m
10	Thermique	Cigare	+	+	260m ³	17 bar	40,225m
11	Thermique	Cigare	+	+	260m ³	17 bar	45,225m
12	Thermique	Flottant	+	+	59850m ³	Atmosphérique	62,30m

REMARQUE :

Les effets restent à l'intérieur du site

4-15 Tableau donnant les seuils des distances :

- Fuite sur la ligne de soutirage la sphère - S - 161 -

Tableau (4-14) donnant les seuils des distances

Phénomènes dangereux	Type d'effet	Distance d'effet pour le seuil des effets			
		bris de vitres	irréversibles (S.E.I.)	létaux (S.E.L. 1%)	létaux significatif (S.E.L. 5%)
feu de torche	Thermiques	//	149 m	128 m	112 m
UVCE	Surpression	207 m	82 m	29 m	19 m
UVCE	thermiques	//	88 m	80 m	80

4-16-Conséquences sur les travailleurs [4] :

- Fuite sur la ligne de soutirage la sphère - S - 161 -

Phénomènes dangereux	Type d'effet	Indice de probabilité	Effectif atteint par les SEL 1% / Gravité
feu de torche	Thermique	D	2 personnes / G1

Conclusion générales

-5- Conclusion générales

D'après L'utilisation de l'APR, qui est relativement simple en terme de temps passé et ne nécessite pas un niveau de description du système étudié très détaillé, a permis d'effectuer un examen relativement rapide des situations dangereuses pour la sphère. Cette méthode a mis en lumière l'évènement redouté centrale qui nécessite une étude plus fine, représenté par la fuite de GPL, le résultat de cette étude nous a montré l'ampleur des explosions et leurs conséquences graves sur la zone industrielle, pour éviter, cette situation et améliorer leurs sécurités (systèmes de contrôles, protection incendie et équipements),il y à lieu de favoriser l'entretien du système anti-incendie, l'organisation et la formation du personnel, des inspections périodiques des installations, le remplacement périodique de certains équipements, contrôler le bon fonctionnement des systèmes de sécurité ; sensibiliser les opérateurs aux risques auxquels ils sont exposés , réparer tout mauvais fonctionnement , vérifier l'efficacité du réseau anti-incendie par la réalisation des exercices d'intervention périodiques , Prévoir un contrôle décennal des installations par des organismes certifiés ; effectuer un contrôle visuel et noter toutes les irrégularités fonctionnelles, enfin une maintenance préventive systématique efficace des différentes composants de la sphère peut assurer l'augmentation de sa durée de vie, tout en éliminant le risque redouté de fuite.

Abréviation

Abréviation

ADF : Antidéflagrant.

IC : Installation Classée.

ATEX : Atmosphère Explosif.

B.R.I : Brut Réduit Initial.

A.D.D : l'Arbre De Défaillance.

T.N.T : Tri-Nitro-Toluène.

R.B.F : Rayon de Boule de Feu.

RA1.K : Raffinerie -1- de Skikda.

RA1.K : Raffinerie -1- de Skikda.

RA1.K : Raffinerie -1- de Skikda.

B.H.M : Brut de Hassi-Messaoud.

HAZOP : HaZard and Operbility study.

ICS :Imperial Chemical Industrutries .

MMR : Mesures de Maîtrise des Risques.

A.P.R : l'Analyse Préliminaire des Risques.

PID : Piping and Instrumentation Diagram.

S.A.D.T : Structured Analysis and Design Technic.

T.N.O : The Netherlands Organization of applied scientific research.

P.P.I : Plan Particulier d'Intervention, plan de secours établi sous l'autorité du préfet pour les installations classées.

REX : Retour d'Expérience ; analyse détaillée d'un événement est des ses effets à partir des constats qui ont été faits, pour en tirer des enseignements.

LIE : Limite Inférieure d'Explosivité ; concentration minimale d'un gaz ou d'une poussière combustible dans l'air pour forme un mélange capable exploser en présence d'une source d'inflammation spécifiée ; en dessous de la LIE, le mélange est dit 'trop pauvre' pour exploser.

LSE : Limite Supérieure d'Explosivité, concentration maximale d'un gaz dans l'air pour former un mélange capable d'exploser en présence d'une source d'inflammation au dessus de la LES, le mélange est dit 'trop riche' pour exploser.

BLEVE : Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion – expression américaine adoptée pour décrire un type particulier d'explosion, une explosion de gaz en expansion provenant d'un liquide en ébullition si le gaz en question est inflammable, il y a formation d'une boule de feu avec rayonnement thermique intense.

U.V.C.E : Unconfined Vapor Cloud Explosion, explosion d'un nuage de gaz en milieu non confiné suite à une fuite de gaz combustible, le mélange du gaz et l'air peut former nuage inflammable qui rencontrant une source d'allumage peut exploser, les effets sont essentiellement des effets de surpression.

Effets dominos : Action d'un phénomène accidentel affectant une ou plusieurs installations d'un établissement qui pourrait déclencher un phénomène accidentel sur les établissements voisins conduisant à une aggravation générale des conséquences.

Convection : La convection est le mode de transport de chaleur par le mouvement d'un fluide. Dans le cas des feux torchent, deux modes de convection peuvent intervenir, la convection forcée due à l'écoulement pulsé du jet combustible et la convection naturelle induisant un mouvement de l'air autour de la flamme, dont l'écoulement est perturbé par la présence même du feu.

Inflammation : Première apparition de flammes. Action de provoquer une combustion avec flammes. **Torchères :** Haute tour métallique qui permet de brûler les gaz résiduels de procédés chimiques.

Flux thermique radiatif : Quantité de chaleur transférée par rayonnement thermique, par unité de temps. Ils 'exprime en kW.

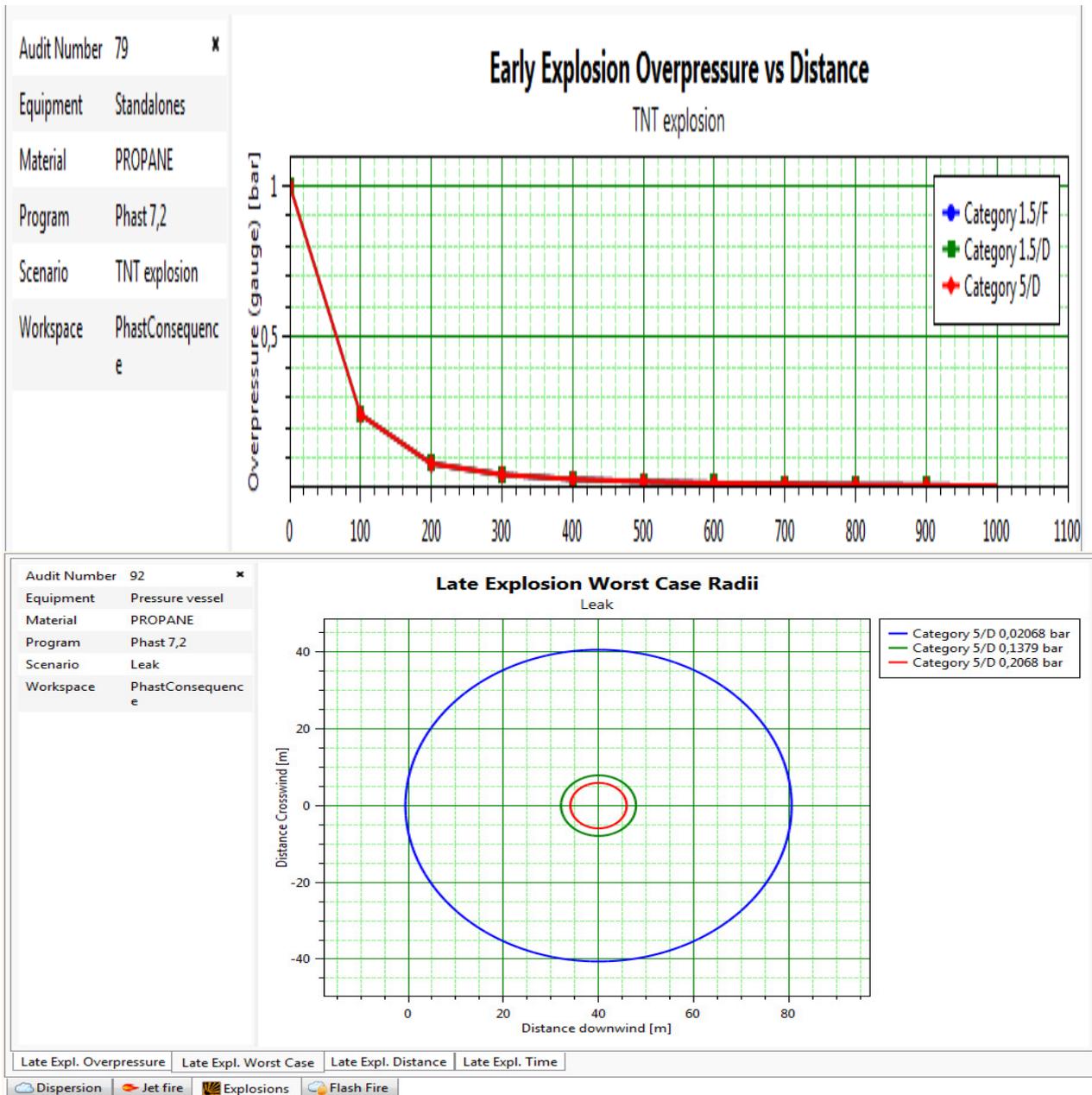
BIBLIOGRAPHIE

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] J.C Couillet (2002), Dispersion atmosphérique (Mécanismes et outils de calcul), Rapport d'étude No DRA-006, INERIS.
- [2] D. Debray, S. Chaumette, S. Descouriere, V. Trommeter (2006), Outils d'analyse des risques générés par une installation industrielle, Rapport d'étude No INERIS-DRA-2006-P46055-CL47569, INERIS.
- [3] Daniel A. Crowl (2003), Understanding explosions, Edition AICHE/CCPS.
- [4] Etude de dangers de la raffinerie de Skikda, 2010.
- [5] J. Assael Konstantio, E. Kakosimos (2010), Fires, explosion, and toxic gaz dispersion-effects calculation and risk analysis-marc, Taylor and Francis, CRC Press.
- [6] Boukrouma Amel (2015), Maitrise des risques, Mémoire de Master, Université de SKIKDA.
- [7] S. Jolly (2014), Modélisations des feux industriels, Rapport d'étude No DRA-14-141478-03176A, INERIS.
- [8] <http://aria.environnement.gouv.fr> , 25 mars 2018.
- [9] www.ineris.fr, 25 mars 2018
- [10] Laure HEUDIER (2013), Les éclatements de réservoirs, Phénoménologie et modélisation des effets, Rapport d'étude N° DRA-12-125630-04945B, INERIS.

ANNEXE

ANNEXE (A1) : graphe de l'explosion



Audit Number	92	x
Equipment	Pressure vessel	
Material	PROPANE	
Program	Phast 7,2	
Scenario	Leak	
Workspace	PhastConsequenc e	

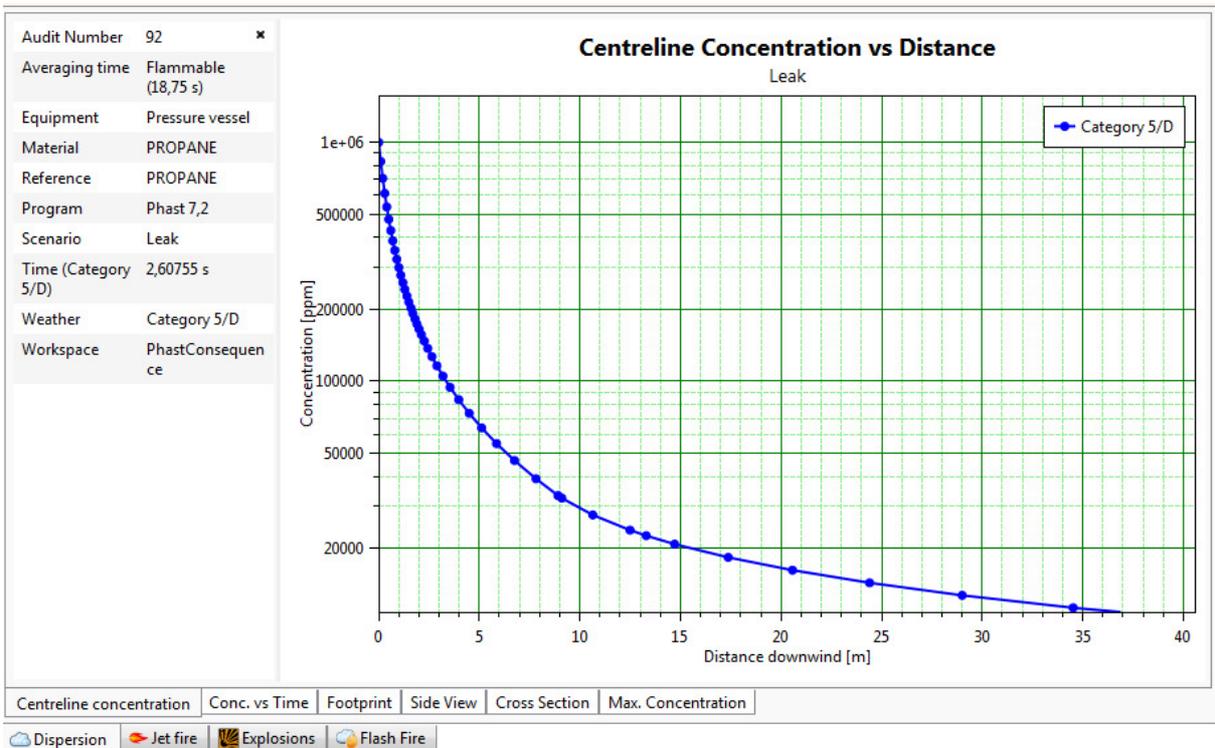
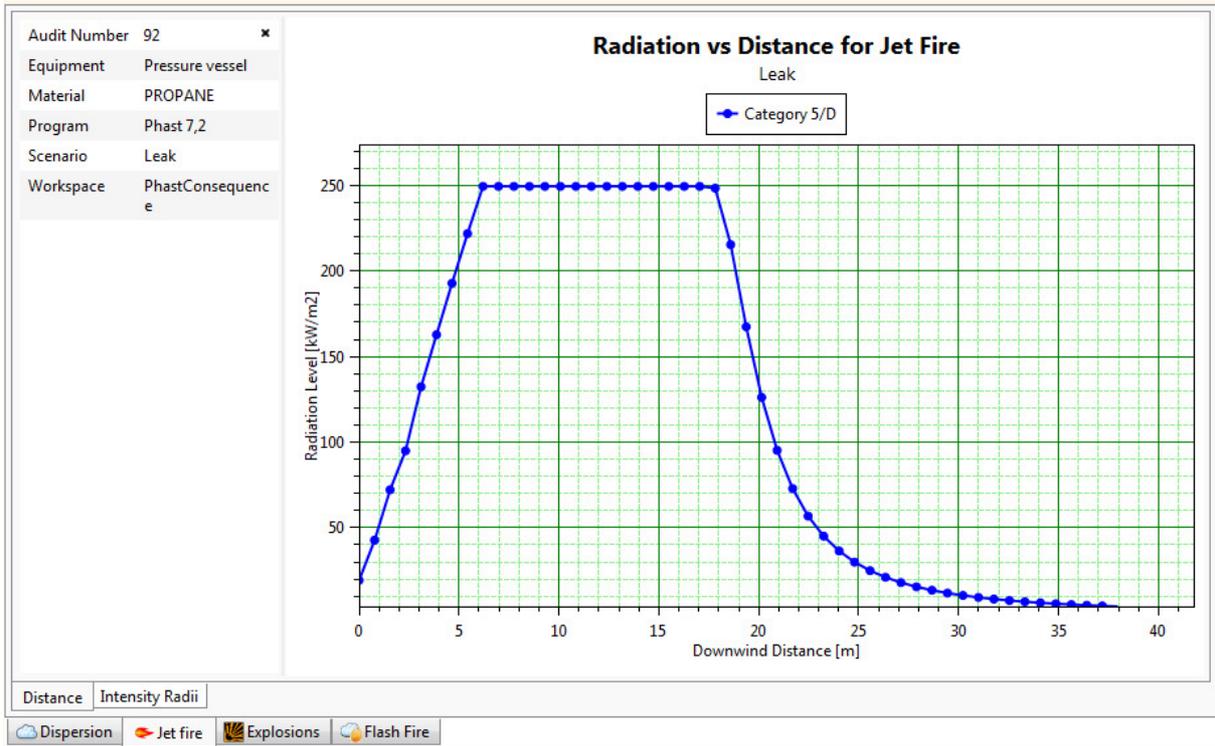
Late Explosion Worst Case Radii

Leak

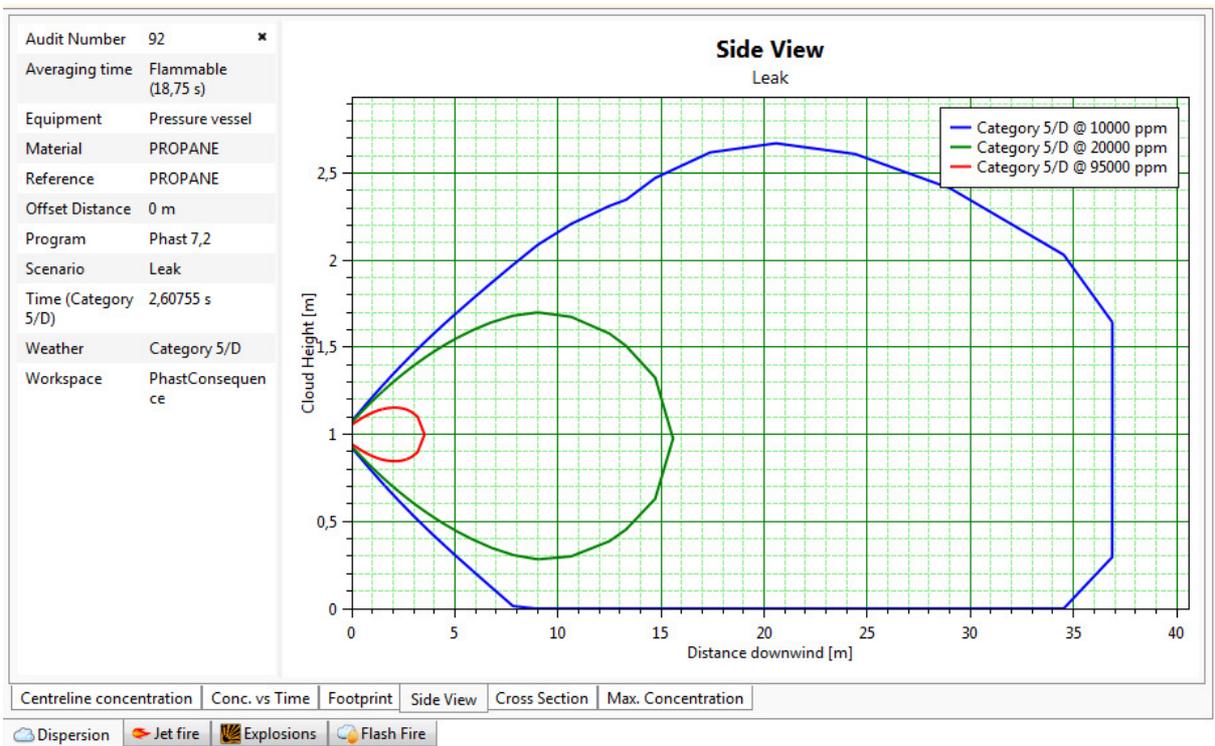
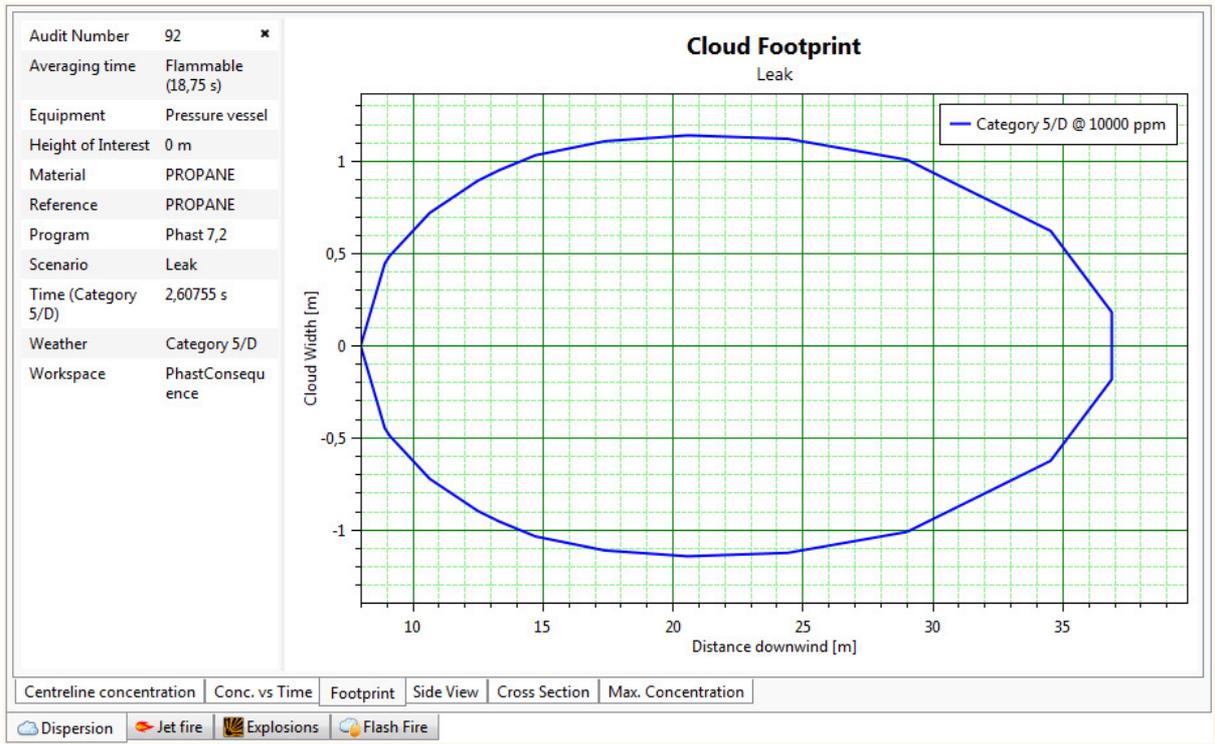
Late Expl. Overpressure	Late Expl. Worst Case	Late Expl. Distance	Late Expl. Time
-------------------------	-----------------------	---------------------	-----------------

Dispersion	Jet fire	Explosions	Flash Fire
------------	----------	------------	------------

ANNEXE (A) : Les graphes de concentration



ANNEXE (B) : Les graphes de dispersion :



ANNEXE (C) : Tableau : APR (1)

Cause	Evènement Initiateur	Evènement Redouté Centrale	conséquences	P	R	C	Mesure de prévention	Mesure de protection	C'
Corrosion et Usure (vieillissement)	Rupture du joint de bride (ligne de remplissage ou de vidange)	Fuite de GPL	Feu de torche si source d'ignition	2	2	4	- Peinture de protection -Inspection et contrôle visuel périodique pendant les rondes	- Renouveler la peinture des conduites et des sphères. - Programme des visites de contrôle.	2
			VCE suivi de feu de torche si source d'ignition	3	4	12	-DéTECTEURS de GPL -Déclenchement automatique du système d'arrosage et de refroidissement	-Protection par de refroidissement - Inspection de l'état des bacs.	9
	Brèche dans les points de picage en haut de la sphère	Fuite de GPL	Feu de torche si source d'ignition	2	3	6	- Peinture de protection -Inspection et contrôle visuel périodique pendant les rondes -DéTECTEURS de GPL	Renouveler la peinture des conduites et des sphères. - Programme des visites de contrôle.	4
			VCE suivi de feu de torche si source d'ignition	3	4	12	-Transfert GPL vers une autre sphère -Déclenchement automatique du système d'arrosage et de refroidissement	Protection par de refroidissement	9

ANNEXE (D) : Tableau : APR (2)

Cause	Evènement Initiateur	Evènement Redouté Centrale	conséquences	P	R	C	Mesure de prévention	Mesure de protection	C'
Corrosion et Usure (vieillissement)	Défaillance et ouverture dans les points de picage en bas de la sphère	Fuite de GPL	Feu de torche si source d'ignition	2	2	4	-Peinture de protection -Inspection et contrôle visuel périodique pendant les rondes -DéTECTEURS de GPL -Transfert GPL vers une autre sphère -Déclenchement automatique du système d'arrosage et de refroidissement	- Renouveler la peinture des conduites et des sphères . - Protection par de refroidissement	2
			VCE suivi de feu de torche si source d'ignition	2	4	8	-Programme des visites de contrôle - Inspection de l'état des bacs.	6	
	Rupture dans la ligne de purge Trou d'homme	Fuite GPL sous la sphère	Feu de torche si source d'ignition	2	3	6	-Maintenance préventive et corrective -Inspection et contrôle visuel périodique pendant les rondes -DéTECTEURS de GPL	- Renouveler la peinture des conduites et des sphères . - Protection par de refroidissement	2
			VCE suivi de feu de torche si source d'ignition	3	3	9	-Transfert GPL vers une autre sphère -Déclenchement automatique du système d'arrosage et de refroidissement	-Programme des visites de contrôle - Inspection de l'état des bacs.	6

ANNEXE (E) : Tableau : APR (3)

Cause	Evènement Initiateur	Evènement Redouté Centrale	conséquences	P	R	C	Mesure de prévention	Mesure de protection	C'
Corrosion et Usure (vieillissement)	Affaiblissement et brèche dans l'enveloppe de la sphère	Perte de confinement de la sphère	VCE et/ou feu de torche si source d'ignition	2	4	8	<ul style="list-style-type: none"> - Acier spécial - Couche de peinture protectrice - Inspection et contrôle visuel périodique pendant les rondes -DéTECTEURS de GPL - Transfert GPL vers une autre sphère - Déclenchement automatique du système d'arrosage et de refroidissement 	<ul style="list-style-type: none"> - Programme des visites de contrôle. -Inspection de l'état des bacs. -Protection par de refroidissement 	6

ANNEXE (F) : Tableau : APR (4)

Cause	Evènement Initiateur	Evènement Redouté Centrale	conséquences	P	R	C	Mesure de prévention	Mesure de protection	C'
Fatigue	Affaiblissement et brèche dans l'enveloppe de la sphère	Perte de confinement de la sphère	VCE et/ou feu de torche si source d'ignition	3	3	9	<ul style="list-style-type: none"> - Acier spécial - Inspection et contrôle visuel périodique pendant les rondes - Détecteurs de GPL -Transfert GPL vers une autre sphère -Déclenchement automatique du système d'arrosage et de refroidissement 	<ul style="list-style-type: none"> - Programme des visites de contrôle. -Inspection de l'état des bacs. 	6

ANNEXE (G) : Tableau : APR (5)

Cause	Evènement Initiateur	Evènement Redouté Centrale	conséquences	P	R	C	Mesure de prévention	Mesure de protection	C'
Défaillance matérielle	Défaillance des capteurs de niveau	Sur-remplissage et échappement du GPL vers atmosphère	Feu torche si source d'ignition	2	3	6	- Redondance de la mesure de niveau - Alarme haut niveau LAL - Alarme très haut niveau LZL - Fermeture automatique de la vanne de remplissage (LZL) - Déclenchement automatique du système d'arrosage et de refroidissement	- Programme des visites de contrôle. - l'amélioration de la fiabilité et la disponibilité les paramètres d'exploitation. - Suivi-entretien des détecteur et remplacement en cas de nécessité.	2
			VCE suivi de feu de torche si source d'ignition	3	3	9		6	
	Soupapes PSV vers atmosphère reste ouverte après fonctionnement	Echappement du GPL vers atmosphère	Feu torche si source d'ignition	2	3	6	- Maintenance préventive et corrective - Inspection et contrôle périodique - Détecteurs de GPL - Transfert GPL vers une autre sphère - Déclenchement automatique du système d'arrosage et de refroidissement	- Programme des visites de contrôle. l'amélioration de la fiabilité et la disponibilité les paramètres d'exploitation.	2
			VCE suivi de feu de torche si source d'ignition	2	4	8		6	

ANNEXE (H) : Tableau : APR (6)

Cause	Evènement Initiateur	Evènement Redouté Centrale	conséquences	P	R	C	Mesure de prévention	Mesure de protection	C'
Défaillance matérielle	Brèche dans la ligne de prise d'échantillon	Fuite de GPL	Feu de nappe GPL si source d'ignition	3	3	9	- Maintenance préventive et corrective - Inspection et contrôle visuel périodique pendant les rondes - Détecteurs de GPL - Transfert GPL vers une autre sphère	-- Programme des visites de contrôle. -Suivi-entretien des détecteur et remplacement en cas de nécessité. -Inspection de l'état des bacs.	6
			VCE suivi de feu de torche si source d'ignition	3	4	12	- Déclenchement automatique du système d'arrosage et de refroidissement		8
	Non fermeture complète de la vanne de remplissage après la fin de l'opération de remplissage	Supression à l'intérieur de la sphère	Envoi GPL vers torche	2	3	6	- Fermeture à distance (salle de contrôle) de la vanne de remplissage - Fermeture local de la vanne de remplissage - Maintenance préventive et corrective - Inspection et contrôle visuel périodique pendant les rondes	- Programme des visites de contrôle. - l'amélioration de la fiabilité et le disponibilité les paramètres d'exploitation. - Suivi-entretien des détecteur et remplacement en cas de nécessité.	2

ANNEXE (I) : Tableau : APR (7)

Cause	Evènement Initiateur	Evènement Redouté Centrale	conséquences	P	R	C	Mesure de prévention	Mesure de protection	C'
Défaillance matérielle	Non fermeture de la vanne de remplissage après la fin de l'opération de remplissage	Sur-remplissage et formation d'un nuage de gaz inflammable	Feu torche si source d'ignition	2	4	8	-Fermeture local de la vanne de remplissage -Maintenance préventive et corrective -DéTECTEURS de GPL -Déclenchement automatique du système d'arrosage et de refroidissement.	- respect le taux de remplissage de la sphère - l'amélioration de la fiabilité et le disponibilité les paramètres d'exploitation.	6
			VCE suivi de feu de torche si source d'ignition	3	3	9		- Suivi-entretien des détecteur et remplacement en cas de nécessité.	6
	Vanne d'isolement de la ligne de remplissage ou de vidange fuyarde	Fuite de GPL	Feu de torche si source d'ignition	2	3	6	-Maintenance préventive et corrective -Inspection et contrôle visuel périodique pendant les rondes -DéTECTEURS de GPL -Déclenchement automatique du système d'arrosage et de refroidissement	- la présence d'appareil extincteur et une surveillance accrue - l'amélioration de la fiabilité et le disponibilité les paramètres d'exploitation.	2
			VCE suivi de feu de torche si source d'ignition	2	4	8			6
	Défaillance du détecteur GPL	Non détection d'une fuite GPL	Non maitrise d'une fuite GPL	2	3	6	-Redondance du détecteur GPL (2 détecteurs sous chaque sphère) -Inspection et contrôle visuel périodique pendant les rondes	- Suivi-entretien des détecteur et remplacement en cas de nécessité.	2

ANNEXE (J) : Tableau : APR (8)

Cause	Evènement Initiateur	Evènement Redouté Centrale	conséquences	P	R	C	Mesure de prévention	Mesure de protection	C'
Erreur de maintenance	Cordon de soudure de l'enveloppe mal réalisé	Ouverture de l'enveloppe de la sphère (brèche)	VCE et/ou feu de torche si source d'ignition	3	2	6	-Inspection et contrôle des Travaux -Accompagnement et suivi des travaux par le service HSE -Vérification de la conformité des travaux avant remise en service des installations -DéTECTEURS de GPL -Transfert GPL vers une autre sphère -Déclenchement automatique du système d'arrosage et de refroidissement	-utilise système permis de travail. -L'inspecteur de sécurité exigera la présence d'un agent d'intervention durant toute l'opération. - la présence d'appareil extincteur et une surveillance accrue.	2
	Trou d'homme en bas de la sphère mal serré	Ouverture partielle trou d'homme	VCE et/ou feu de torche si source d'ignition	4	2	8	-Inspection et contrôle des Travaux -Accompagnement et suivi des travaux par le service HSE -Vérification de la conformité des travaux avant remise en service des installations -DéTECTEURS de GPL -Déclenchement automatique du système d'arrosage et de	utilise système permis de travail. -L'inspecteur de sécurité exigera la présence d'un agent d'intervention durant toute l'opération. - la présence d'appareil extincteur et une surveillance accrue	6
		Ouverture totale et brutale du trou d'homme	Bouffée + VCE si source d'ignition	3	3	9	-Déclenchement automatique du système d'arrosage et de	refroidissement	6

ANNEXE (K) : Tableau : APR (9)

Cause	Evènement Initiateur	Evènement Redouté Centrale	conséquences	P	R	C	Mesure de prévention	Mesure de protection	C'
Erreur de maintenance	Trou d'homme en haut de la sphère mal serré	Ouverture partielle trou d'homme	VCE et/ou feu de torche si source d'ignition	3	3	9	-Inspection et contrôle des Travaux -Accompagnement et suivi des travaux par le service HSE -Vérification de la conformité des travaux avant remise en service des installations -DéTECTEURS de GPL	utilise système permis de travail. -L'inspecteur de sécurité exigera la présence d'un agent d'intervention durant toute l'opération. - la présence d'appareil extincteur et une surveillance accrue	6
		Ouverture totale du trou d'homme	Bouffée + VCE si source d'ignition	3	3	9	-Déclenchement automatique du système d'arrosage et de refroidissement		6
	Oublie d'une vanne d'isolement de la ligne BOILOFF fermée	Augmentation de pression à l'intérieur de la sphère	Envoi GPL vers torche par ouverture des soupapes PSV vers torche	4	2	8	-Inspection et contrôle des Travaux -Accompagnement et suivi des travaux par le service HSE -Vérification des vannes avant remise en service des installations	utilise système permis de travail. -L'inspecteur de sécurité exigera la présence d'un agent d'intervention durant toute l'opération. - la présence d'appareil extincteur et une surveillance accrue	2

ANNEXE (I) : Tableau : APR (10)

Cause	Evènement Initiateur	Evènement Redouté Centrale	conséquences	P	R	C	Mesure de prévention	Mesure de protection	C'
Erreur de maintenance	Bride mal serrée (ligne de remplissage ou de vidange)	Fuite de GPL	Feu de torche si source d'ignition	4	2	8	-Inspection et contrôle des Travaux -Accompagnement et suivi des travaux par le service HSE -Vérification de la conformité des travaux avant remise en service des installations	utilise système permis de travail. -L'inspecteur de sécurité exigera la présence d'un agent d'intervention durant toute l'opération. - la présence d'appareil extincteur et une surveillance accrue	2
			VCE suivi de feu de torche si source d'ignition	3	3	9	-DéTECTEURS de GPL -Déclenchement automatique du système d'arrosage et de refroidissement		6

ANNEXE (M) : Tableau : Application de l'HAZOP sur la sphère de stockage au niveau du complexe RA1K.

Paramètre	Mot-clé	Déviation	Cause	Conséquence	Protection existante	Action correctives
Niveau	Haut	Plus de niveau	-La vanne de réception bloquée ouverte. -Mauvaise mesure de niveau par l'opérateur.	-Eclatement de la sphère - Déclenchement d'alarmes: LAH -Cataclysme.	-Indicateur de niveau haut : LAH -Fermeture de la vanne d'entrée par le bouton poussoir de commande en salle de contrôle ou sur site.	-Démarrage des pompes de transfert. -Installation d'une autre vanne de sécurité.
	Bas	Moins de niveau	-Fausse indication par l'indicateur de niveau. -Gravitation vers une autre capacité.	-Niveau très bas dans les sphères. -Déclenchement de : LAL	-Détecteur de bas niveau : LAL	Vérification périodique des instruments.
Pression	Haute	Plus de pression	-Augmentation de température. -Haut niveau.	-Surpression dans la sphère. - Le risque de BLEVE. - Ouverture de la vanne d'évacuation atmosphérique de la Salle De Contrôles.	- Soupapes crachent.	-Vérification des manomètres locaux. -Augmenté la marge de sécurité de niveau max d'exploitation.

Maîtrise du risque de dispersion atmosphérique d'un rejet de gaz inflammable e toxique

Paramètre	Mot-clé	Déviation	Cause	Conséquence	Protection existante	Action corrective
Pression	Basse	Moins de pression	-Défaillance de détecteur de niveau	Chute de pression dans la sphère. -Niveau très bas dans les sphères.	-Indicateur local de pression (manomètre) -Installer une alarme de niveau très bas (LALL). -Basse pression d'aspiration de la pompe d'expédition.	Installation des manomètres locaux.
	Température	Plus de (Haute)	Plus de pression	-Climat chaud	-Élévation de température dans la sphère.	- Réseaux de refroidissement de la sphère
-Mise en équilibre avec température extérieure en été -Feu extérieur				Surpression à l'intérieur de la sphère	Couronnes d'arrosage et de refroidissement	-Etude de la mise en place d'une Alarme Haute Température -Etude de l'installation d'un système de fermeture automatique de la vanne de remplissage par Alarme Haute Température
Basse		- Deux capteurs de température haute et basse (transmission vers la salle de contrôle et indication locale)	Mise en équilibre avec température extérieure en hiver	-Formation de gel (bouchage de la ligne de purge d'eau)	- Deux thermo-résistances de réchauffement de la ligne de purge d'eau	- Programme d'étalonnage périodique des capteurs de température.

ANNEXE (N) :

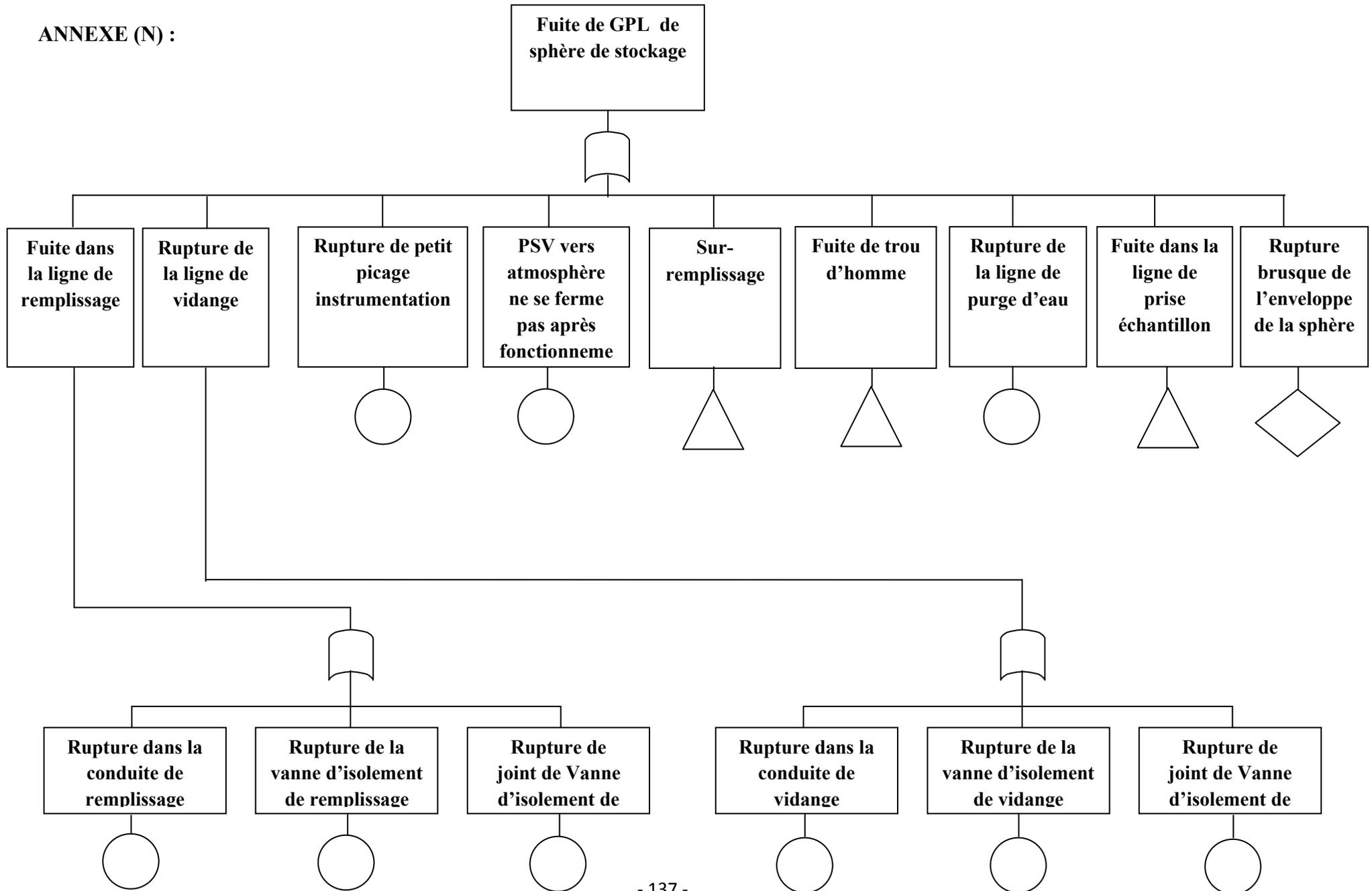


Figure de l'Arbre De Défaillance Fuite de GPL