



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Ammar Thélidji- Laghouat

FACULTE : TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT : GÉNIE DES PROCÉDÉS

MEMOIRE DE MASTER

Présenté par : GACEMI Mustapha Abderrahim

DJOUDI Oubeida

DOMAINE : Sciences et Technologies

FILIERE : Hygiène et sécurité industrielle

OPTION : Hygiène et sécurité industrielle

Thème

***Modélisation de l'onde de surpression
par les méthodes TNT et TNO étude de
cas Hassi R'mel***

Jury de soutenance :

Nom et Prénom	Grade	Qualité
MERIGUI Khaled	MAA	Président
BOUARAR Fahima	MCB	Examineur
Hellas Mohamed Seddik	MCB	Rapporteur

Promotion : JUIN 2024

Dédicace

A nos chers parents

A nos frères et sœurs

A tous nos amies

*A tous les professeurs qui nous ont enseigné
tout au long de notre parcours académique.*

*À tous ceux qui ont été crédités de nous avoir
amenés à ce point.*

A toute la promo 2023/2024

*A tous ceux qui, par un mot, m'ont donné la
force de continuer...*

... Mustapha & Oubeïda

REMERCIEMENT

*Ce travail n'aurait pas été possible sans le soutien
d'un certain nombre de personnes que nous tenons à
remercier ici, après avoir remercié Dieu Tout
Puissant pour son aide.*

*Nous remercions beaucoup l'encadreur Monsieur
Dr. HELAS MOHAMED SEDDIK, pour avoir bien
voulu encadrer ce travail et pour tous ses conseils.*

*Nous remercions **Dr. MERIGUI Khaled** et
Dr. BOUARAR Fahima Qui ont bien voulu
accepter de juger notre modeste travail.*

Nous tenons à remercier aussi tous nos enseignants.

*Ainsi que le groupe administratif de notre département et tous ceux qui
ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail*



Sommaire

Dédicace

Remerciant

Sommaire

Liste d'abréviations.....	I
Tableau des figures	II
Liste des tableaux	III
Introduction générale	1

CHAPITRE I : concepts et définitions

I.1. Introduction	3
I.2. Définition de l'explosion	3
I.3. Régimes d'explosion	3
I.4. Types d'explosion	3
I.4.1. Explosion de solide condensés	3
I.4.2. Explosion de gaz	3
I.4.3. Explosion de poussières	4
I.4.4. BLEVE	5
I.4.5. Explosion de gaz non confinée (VCE)	5
I.5. Types de propagation	9
I.6. Onde de choc	9
I.7. Limites d'explosivités	10
I.8. Dispersion atmosphérique	11
I.8.1. Rejets contenus	11
I.8.2. Rejets instantanés	11
I.8.3. Conditions climatiques	12
I.8.4. Environnement de rejet	12

Sommaire

CHAPITRE II : Modélisation des effets de surpression

II.1. Introduction	13
II.2. Modélisation des effets d'explosion	13
II.2.1. Méthode équivalente TNT	14
II.2.1.1. Calcul de la masse équivalente TNT	14
II.2.1.2. Calcul de la distance réduite Z	14
II.2.1.3. Détermination de la surpression	15
II.2.2. Méthode multi-énergie TNO	15
II.2.2.1. Calcul de l'Energie de combustion.....	16
II.2.2.2. Choix de degré de sévérité (indice de violence)	16
II.2.2.3. Détermination de la distance réduite $\bar{R}$	17
II.2.2.4. Détermination de la surpression réduite $\bar{P}$	17
II.3. Conclusion	18

CHAPITRE III : Application des modèles proposés à un système opérationnel

III.1. Introduction	19
III.2. Présentation de la région Hassi R'mel	19
III.3. Présentation du site d'étude « phase commune B »	21
III.3.1. Différentes sections de la phase B	21
III.3.2. Description du procédé de la phase B	22
III.4. Présentation du système étudié « ballon de propane V302 »	22
III.5. Modélisation de l'onde de la surpression	24
III.5.1. Méthode équivalente TNT	24
III.5.2. Méthode multi-Energie TNO	27
III.5.3. Comparaison des résultats	29
III.6. Conclusion	30

Conclusion générale	31
---------------------------	----

Références bibliographique	32
----------------------------------	----

Résumé	
--------	--

Liste d'abréviations :

Abréviation	Désignation
- BLEVE	- Boiling liquide expanding vapor explosion
- CAM	- Congestion assesment method
- E_x	- L'Energie de combustion
- f	- Le rendement d'explosion
- GPL	- Gaz de pétrole liquéfié
- HAZOP	- Hazard and operability analysis
- HR DP	- Direction production Hassi R'mel
- HRM	- Hassi R'mel
- LIE	- La limite inferieur d'explosivité
- LSE	- La limite superieur d'explosivité
- M	- La masse
- M_{TNT}	- La masse équivalente du TNT
- NF EN	- La norme française européenne
- $\bar{P}$	- La pression réduite
- P_s	- La surpression
- P_0	- La pression atmosphérique
- QRA	- Quantitative risk assesment
- R, X	- La distance (entre centre d'explosion et seuil du surpression)
- $\bar{R}, Z$	- La distance réduite
- TNO	- La méthode multi-énergie (Netherlands Organisation for Applied Scientific Research)
- TNT	- La méthode équivalente de (Trinitrotoluène explosif)
- UVCE	- Unconfined vapor cloud explosion
- VCE	- Vapor cloud explosion
- ΔH	- La chaleur de combustion

Tableau des figures :

Figure	Titre	Page
Figure 1.1	Synoptique de développement d'une explosion	4
Figure 1.2	Explosion de gaz non confiné	5
Figure 1.3	Domaine d'explosivité	10
Figure 1.4	Rejets continue dans un réservoir	11
Figure 1.5	Rejets instantanés	11
Figure 2.1	Abaque empirique de Brasie & Simpson (TNT)	15
Figure 2.2	Abaque de la méthode multi-Energie TNO (van den berg)	18
Figure 3.1	Représentation de la position géographique de Hassi R'mel	19
Figure 3.2	Champ de hassi R'mel	21
Figure 3.3	Boucle de propane de la phase commune B	22
Figure 3.4	Variation du surpression P_s en fonction de distance $X(m)$	25
Figure 3.5	Contours d'effets de surpression obtenus a l'aide de l'équivalente TNT	25
Figure 3.6	Variation du surpression P_s en fonction du distance $R(m)$	27
Figure 3.7	Contours d'effets de surpression obtenus à l'aide de TNO	28
Figure 3.8	La surpression en fonction de la distance par les deux modelés	29

Liste des tableaux :

Tableau	Titre	Page
Tableau 1.1	Ordres des grandeurs des zones de dégâts sur les constructions	7
Tableau 1.2	Dégâts matériels en fonction des pressions aériennes	8
Tableau 1.3	LIE & LES de quelque gaz	10
Tableau 1.4	Les classes de stabilité climatologique	12
Tableau 2.1	Correspondance entre les surpressions maximale et les indices de sévérité	16
Tableau 2.2	Grille de Kinsella (pour choix de l'indice de sévérité)	17
Tableau 3.1	Unités de la region de Hassi R'mel	20
Tableau 3.2	Caracterestiques techniques du ballon V302	23
Tableau 3.3	Variation de Z et P_s en fonction de distance(m)	24
Tableau 3.4	Seils des effets de surpression	26
Tableau 3.5	Variation de $\bar{R}$ et $\bar{P}$ et P_s en fonction du distance R(m)	27
Tableau 3.6	Comparaison des resultats des seuils des effets optenus par TNT et TNO	29

Introduction générale

INTRODUCTION GÉNÉRALE

L'Industrie des hydrocarbures présente des risques des différentes natures dont les effets et les impacts peuvent être très graves sur les travailleurs, la population riveraine, les biens et l'environnement. Parmi ces risques, le risque de l'explosion des gaz à champ libre.

L'importance de dommage causé par les explosions au cours de l'histoire (accidents de l'industrie ou dans la société), fait les industriels et les scientifiques s'intéresser par ce phénomène, pour le contrôler ou limiter les dégâts s'il survient par des mesures préventives ou protectrices en procédant par la modélisation et l'évaluation de l'explosion.

Dans le monde, les pays ont obligé par réglementation, les entreprises qui présentent un risque majeur d'élaborer une étude de danger.

Avec l'évolution des exigences réglementaire algériennes, la société SONATRACH DP HR devient obligée d'élaborer une étude de danger pour se conformer aux exigences et déterminer le niveau du risque sur l'agglomération qui entoure les unités de production et de traitement de gaz à Hassi R'mel, en essayant de trouver les moyens appropriés pour élaborer une étude de danger démontrant le niveau réel de risque et donnant des résultats fiables.

Lors de l'élaboration d'une étude de danger, on s'intéresse aux phénomènes dangereux, pour les évaluer et les modéliser par des différentes méthodes (Equivalent TNT, Multi-Energie, Baker-Sterhlow, CAM) et outils (mathématiques et informatiques).

L'élaboration de l'étude de danger (vérifier les exigences de l'état) n'est pas le seul motif pour la modélisation des explosions, l'entreprise va bénéficier en diminuant le nombre des accidents et les frais des assurances et préserver la santé de ses travailleurs et son image de marque.

Donc la méthode utilisée a une influence majeure sur les résultats de l'étude et le status de l'entreprise.

Le travail présent est une contribution à la modélisation des effets de l'un de ces risques majeurs est l'explosion de gaz, par la comparaison entre les méthodes les plus utilisées pour l'évaluation de la surpression causée par l'explosion d'un gaz, ces méthodes sont: Equivalent TNT et méthode multi-Energie TNO.

L'utilisation et la manipulation de l'énergie hydrocarbure était toujours une source de danger destructif comme les explosions. L'Algérie n'est à l'abri de ce phénomène, à titre d'exemple l'accident de Skikda en 2004 qui a causé la mort de 27 personnes et l'explosion de restaurant de la cité universitaire « BAKHTI Abd El Madjid » à Tlemcen, qui a causé la mort de 07 personnes. [1] [2]

Pour cela, la modélisation des phénomènes dangereux doit être faite en premier lieu pour préparer une bonne plate-forme pour permettre aux autres instructions ou méthodes comme QRA, HAZOP, ... d'utiliser ses résultats et ses recommandations afin d'optimiser le système de management des risques, à l'intérieur et à l'extérieur de l'entreprise.

Les résultats obtenus peuvent dessiner une cartographie de site industriel délimitant les zones à haut risque sur toute la région, et donner des idées sur l'amélioration de l'aménagement de site et de territoire extérieur autour de ce dernier.

Objectifs :

Notre projet de fin d'étude intitulé « Modélisation de l'onde de surpression par les méthodes TNT & TNO », a pour but de :

- ☐ L'utilisation de deux différentes méthodes pour modéliser les effets d'une onde de surpression.
- ☐ Définir les zones d'effets pour l'évaluation et la modélisation d'un phénomène Dangereuse (explosion).
- ☐ Aider à déterminer la méthode la plus adaptée pour les différents scénarios pour élaborer une étude de danger fiable et conforme à la réglementation.
- ☐ Aider à déterminer les zones agglomérées qui sont susceptibles d'être touchées lors d'une explosion.
- ☐ La comparaison entre les deux différentes méthodes.

Chapitre I : concepts et définition

CHAPITRE I : CONCEPTS ET DÉFINITIONS

I.1. Introduction:

L'étude de phénomène de l'explosion nécessite une recherche profonde afin de trouver les définitions des éléments qui facilitent sa compréhension, et les outils utilisés (analytiques, numériques) pour aboutir à une modélisation permettant de simuler le phénomène.

I.2. Définition de l'explosion:

« En champ libre, une explosion survient si une quantité suffisamment grande d'énergie est libérée, pendant un temps suffisamment court pour engendrer une onde de souffle qui se propage dans l'environnement à partir de la source d'émission appelée source de l'explosion ».

La norme française [NF EN 1127-1](#) définit l'explosion comme suit: « une explosion est une réaction brusque d'oxydation ou de décomposition entraînant une élévation de la température, de pression ou les deux simultanément ».

I.3. Les régimes d'explosion:

On distingue deux régimes d'explosion:

I.3.1. Déflagration:

On parle de déflagration lorsque le front de flamme se déplace plus lentement que l'onde de choc. La vitesse du front de flamme est subsonique c'est-à-dire inférieur à la vitesse du son, soit 340 m/s.

I.3.2. Détonation:

L'onde de choc et le front de flamme sont confondus ce qui a pour conséquence une augmentation considérable de la pression (suit après d'une dépression), un déplacement de volume d'air très important et un bruit très élevé.

La vitesse de détonation est supersonique donc supérieur à 340 m/s. Mais les vitesses de détonations sont plutôt de l'ordre de plusieurs Km/s.

I.4. Les types d'explosion:

I.4.1. Explosion de solides condensés:

Les solides condensés correspondent principalement aux matières pyrotechniques (les explosifs).

L'explosif le plus courant est le TNT (trinitrotoluène ou tolite), découvert en 1863, mais de nombreux dérivés ont été élaborés par la suite en fonction des propriétés recherchées (souffle, brisance, etc...) tels la dynamite en 1867, la pentrite ou l'hexogène. [\[3\]](#)

I.4.2. Explosion de gaz:

Une explosion de gaz est une combustion rapide d'un mélange de réactif avec l'oxygène de l'air.

L'intensité des effets de surpressions varie en fonction du régime d'explosion: déflagration ou détonation (rare). Ce dernier est lié à la vitesse de propagation de la flamme à travers le nuage explosible et dépend principalement:

- de la nature et de la quantité de combustible dans les limites d'inflammabilité.
- des conditions de la réaction (turbulence initiale et pré-mélange).
- du confinement apporté par les parois.
- de l'encombrement généré par les obstacles.
- de la source d'allumage. **Figure 1.1** [4]

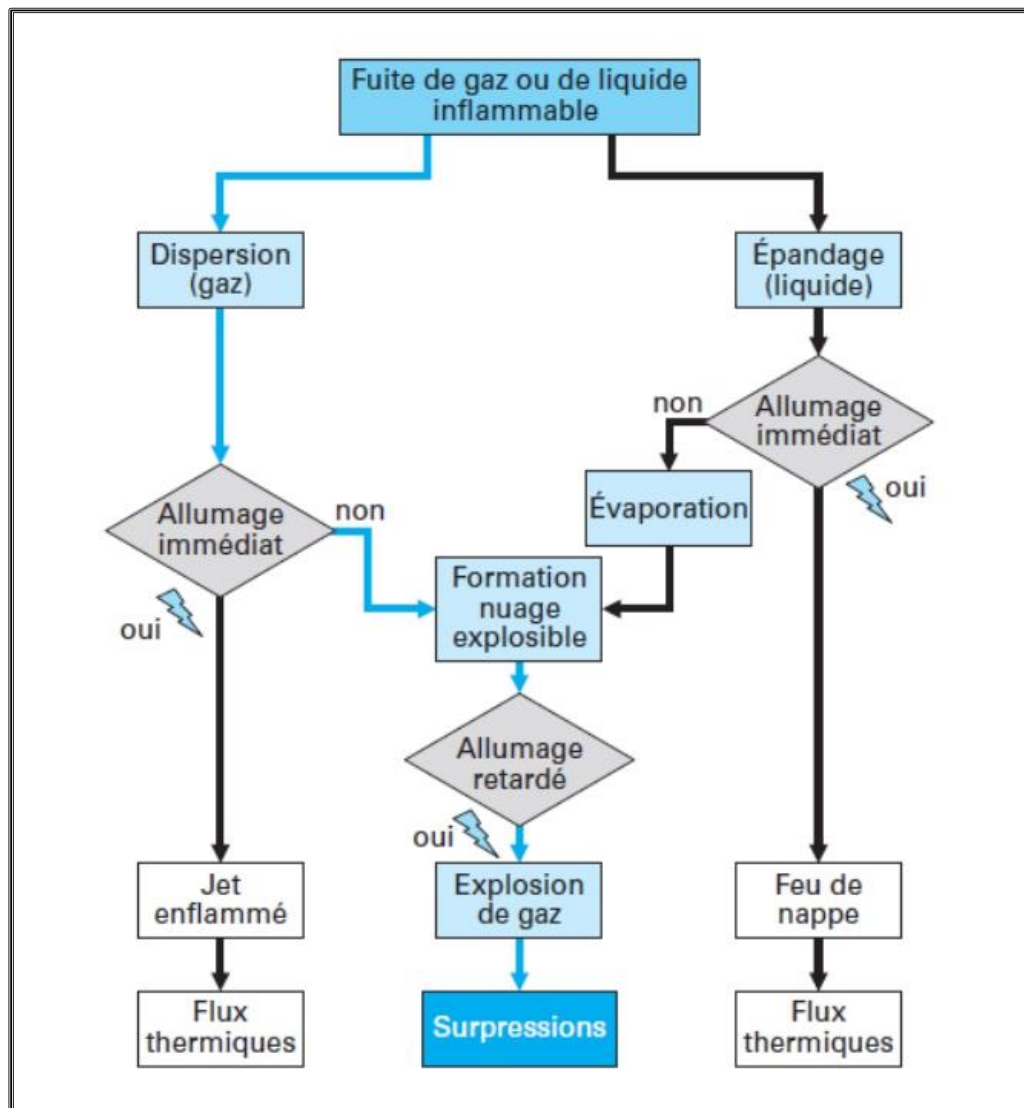


Figure 1.1: Synoptique de développement d'une explosion

I.4.3. Explosion de poussières:

La manipulation et le stockage de produits pulvérulents entraîne des frottements entre les grains ou avec des surfaces rugueuses, ce qui présente un risque d'inflammation qui, dans certaines conditions, peut conduire à une explosion plus ou moins violente, car elles présentent une surface de combustion très importante bien que fortement divisée. Cette évolution est directement liée au produit, sa granulométrie, sa concentration, ainsi qu'au milieu (confiné ou non).

I.4.4. BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion):

Le BLEVE est un acronyme qui signifie "Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion". Ce phénomène correspond à une vaporisation violente, à caractère explosif, suite à la rupture d'un réservoir contenant un liquide à une température significativement supérieure à sa température normale d'ébullition à la pression atmosphérique. [5]

Dans le cas d'un produit inflammable, la détente conduit à la formation d'une boule de feu, il s'agit d'une explosion dont les effets dominants sont les effets de rayonnement thermique plus que de surpression.

I.4.5. Explosion de gaz non confiné (Unconfined Vapour Cloud Explosion UVCE):

I.4.5.1. Définition:

Suite à une fuite de gaz combustible dans un environnement non confiné, un nuage formé d'un mélange d'air et de gaz combustible se forme. Lorsque ce mélange atteint les critères d'explosibilité (teneurs en combustible et en oxygène comprises dans le domaine d'inflammabilité) et rencontre une source d'allumage, il explose. Un front de flamme se propage associé à l'expansion des gaz brûlés qui agissent sur les gaz frais environnant à la manière d'un piston pouvant donner lieu à une onde de pression aérienne. **Figure 1.2** [4]

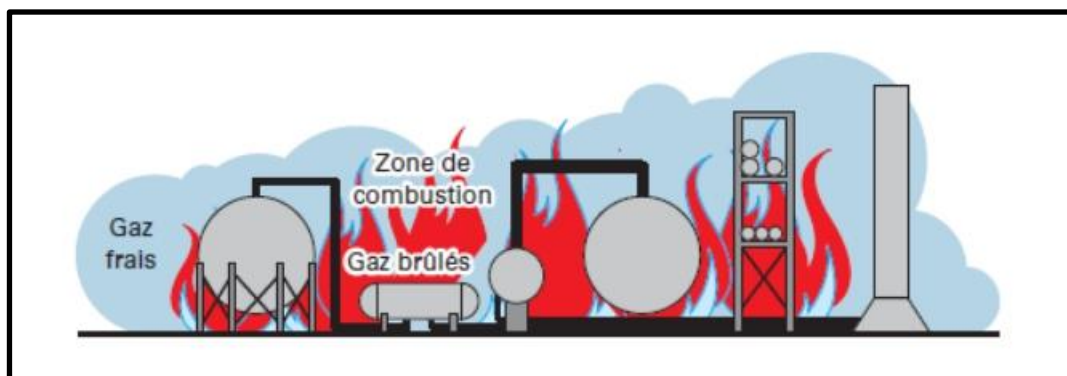


Figure 1.2: Explosion de gaz non confinée

I.4.5.2. Description de phénomène:

Un UVCE comprend généralement les étapes suivantes:

- ☐ Rejet dans l'atmosphère d'un liquide inflammable volatil.
- ☐ L'évaporation de la phase liquide épandue,
- ☐ Mélange avec l'oxygène de l'air pour former un volume inflammable,
- ☐ En présence d'une source d'allumage, inflammation de ce nuage,
- ☐ Propagation d'un front de flamme à une vitesse suffisamment élevée, une onde de pression se forme et donne naissance à un phénomène de déflagration.
- ☐ Inflammation du reste du nuage qui était à l'origine trop riche en combustible pour être inflammable.

I.4.5.3. La rapidité de phénomène:

Le UVCE est un phénomène classé **Très Rapide**. La durée de la phase pré-accidentelle se déroulant entre l'événement initiateur et l'événement redouté central est instantanée. De même, la durée de la phase post-accidentelle se produisant entre l'événement central redouté et la fin du phénomène, sera immédiate:

- ☐ Le délai d'occurrence (D₁) est instantané.
- ☐ Le délai lié à la montée en puissance du phénomène jusqu'à son état stationnaire (D₂) peut être estimé à quelques millisecondes.
- ☐ Le temps d'atteinte (D₃) est immédiat étant donné la vitesse de propagation des ondes de surpression.
- ☐ Le temps d'exposition (D₄) est également instantané.

Pour les phénomènes très rapides, les possibilités de réduction de la gravité et d'évacuation sont limitées. L'intervention après coup consistera principalement à limiter les dégâts et à protéger les équipements suite aux éventuels feux générés par l'explosion. L'accent doit être mis sur la prévention plutôt que sur la protection dont l'efficacité ne serait que réduite.

I.4.5.4. Importance de la source:

La première notion qui est liée à la source est celle de l'énergie de la source d'inflammation. La vitesse de propagation est d'autant plus grande que l'énergie d'inflammation est importante. À noter que les sources industrielles d'inflammation délivrent une énergie de l'ordre du Joule. L'autre notion est reliée à la position de l'allumage du nuage gazeux. Deux cas sont alors possibles: soit l'inflammation se fait par le cœur, soit par la périphérie. Même s'il n'existe pas de règle absolue, les expériences en laboratoires tendent à prouver que l'allumage au centre du nuage donne une vitesse plus importante qu'un allumage à la périphérie. [4]

I.4.5.5. Conséquences:

I.4.5.5.1. Conséquences sur l'homme:

Les principales conséquences d'une explosion de gaz sur l'homme sont dues aux effets de l'onde de surpression aérienne, de la pénétration des fragments, de l'impact des missiles, de la projection des corps et des effets thermiques. Dès lors, il est possible de simplifier l'approche des conséquences d'un VCE en s'intéressant aux deux principaux effets lors d'une explosion c'est à dire la surpression et les effets thermiques. Pour cela, on peut utiliser des valeurs seuils. Par exemple, prenons les valeurs réglementaires pour l'évaluation des effets de surpression sur l'Homme (valeurs extraites du code français de l'environnement article [L.515-16](#)) [\[6\]](#)

- 20 mbar: effets de bris de verre.
- 50 mbar: effets irréversibles délimitant la "zone des dangers significatifs pour la vie humaine".
- 140 mbar: effets létaux délimitant la "zone des dangers graves pour la vie humaine".
- 200 mbar: effets létaux significatifs délimitant la "zone des dangers très graves pour la vie humaine".

Les valeurs données par les exemples nous informent que pour les VCE, la surpression est généralement de quelques dizaines de millibars. Ainsi, seuls les deux premiers seuils sont à prendre en compte dans la plupart des cas. Malheureusement certaines catastrophes affichent des valeurs de surpression beaucoup plus importantes. Même si ce type de catastrophe est très rare, il est important de ne pas négliger ces valeurs.

Concernant les effets thermiques, il est courant de dire que ceux-ci sont négligeables lors d'une VCE. De fait, l'exposition se déroule durant un temps très court. Les effets thermiques sont donc dus au passage du front de flamme ce qui implique que toute personne se trouvant sur le passage de la flamme risque de subir l'effet léthal. Le problème réside dans le fait qu'une VCE peut être le point de départ d'un incendie et peut mettre en marche les effets dominos déjà abordés auparavant.

Cependant, cette approche ne permet pas d'évaluer les effets avec précision, nous allons donc regarder plus attentivement les dégâts possibles sur le corps humain.

I.4.5.5.2. Conséquences sur les bâtiments:

Il est assez difficile d'estimer les possibles effets de destruction engendrés par une explosion. Cependant, il est possible de simplifier le problème en utilisant des valeurs seuils de surpression statique. Par exemple, le TNO nous donne le tableau suivant, ce qui nous permet de trouver un ordre de grandeur concernant les destructions possibles. **Tableau 1.1.** [\[7\]](#)

Tableau 1.1: Ordres de grandeurs des zones de dégâts sur les constructions

Zone	Dégâts	Pression (kPa)
A	destruction totale	> 83
B	important	> 35
C	moyen	> 17
D	faible	> 3,5

Le tableau 2 classe les effets possibles en quatre zones allant de A à D en fonction de la gravité des dégâts et en fonction de la pression aérienne incidente. Néanmoins, il est possible d'aller plus loin dans le classement en quittant les résultats du TNO. En effet, on peut alors utiliser les conclusions d'une étude appelée Modélisation et approche opérationnel du BLEVE, du boiloover, du flashover et du backdraft, publiée en 1995 par Baily, Legouec, Lefevre et Roure. Cette étude nous donne ainsi le tableau suivant qui est d'une précision redoutable concernant les faits, et qui s'avère de plus, très proche de la réalité. **Tableau 1.2** [8]

Tableau 1.2: Dégâts matériels en fonction des pressions aériennes

Pression (mbar)	Dégâts matériels
2	Fentes occasionnelles de la vitre de grandes fenêtres
7	Bris des vitres de petites fenêtres
10	Pression "typique" de bris de vitres
20	10% des vitres brisées en éclats, quelques dommages aux plafonds des maisons
27 - 48	Déplacement des tuiles
30	Dégâts mineurs et limités aux structures
35 - 70	Petites et grandes fenêtres brisées en éclats Dégâts occasionnels aux cadres des fenêtres
50	Dégâts mineurs aux structures des maisons
55	Bris des petites fenêtres des maisons
70	90% des vitres brisées Démolition partielle des maisons
70 - 140	Eclatement des panneaux fibrociment Implosion des panneaux en tôles ondulées ou aluminium Déformation des attaches des panneaux en bois en construction traditionnelle

90 - 100	Torsion légère des encadrements en acier des revêtements des bâtiments
140	Dégâts possibles aux réservoirs d'hydrocarbures de grandes dimensions
140 - 200	Effondrement partiel des murs et des toits de maison
160	Les murs en moellons non renforcés volent en éclats
175	Limite inférieure des dégâts sérieux aux structures
200	50 % de destruction des maçonneries en briques des maisons Déplacement et légers dégâts aux machines dans les bâtiments industriels Démolition des cadres en fer sans encadrement autoportant
200 - 300	Déformation des bâtiments à charpente en acier et sortie de leurs fondations
300	Rupture des réservoirs de pétrole
350	Rupture des revêtements des bâtiments industriels légers Rupture des poteaux en bois des lignes téléphoniques
350 - 500	Endommagement des presses hydrauliques de 20 tonnes dans les bâtiments
500	Destruction complète des maisons
650	Renversement des wagons chargés
700 - 3000	Démolition des containers ferroviaires chargés Destruction totale probable des bâtiments

I.5. Types de propagation:

La géométrie de la masse gazeuse est influencée par le type de confinement. Par conséquent, le mode de propagation de flamme est influencé par la vitesse de la surpression.

Il existe 3 modes de propagation:

I.5.1- Mode axial:

Ce mode caractérise les explosions qui se déroulent dans une enceinte ou un local caractérisé par un rapport entre longueur et diamètre (largeur) important de l'endroit de propagation, et cette enceinte est ouverte aux extrémités.

I.5.2- Mode radial:

Ce mode caractérise les explosions qui se déroulent entre deux plans parallèles (sol et plafond).

I.5.3- Mode sphérique:

Ce mode est observé lorsqu'il n'existe aucune paroi pouvant diriger la propagation de la flamme.

I.6. Onde de choc (surpression):

Le terme « onde de choc » est employé pour décrire l'onde qui résulte de l'explosion d'une charge explosive. Ce nom est donné au « vent violent » qui accompagne l'onde et est senti par un observateur stationnaire pendant qu'elle passe. En outre, le terme « onde de choc » est généralement employé pour décrire le gradient de pression dans lequel le modèle de l'onde n'est pas caractérisé en détail.

L'onde de choc a deux profils différents selon le régime de l'explosion:

I.6.1- Détonation:

Dans une détonation, une onde de choc accompagnant un front de flamme propage à travers le mélange air-gaz avec des vitesses supersoniques. Par conséquent, pour une quantité donnée d'explosifs, les détonations sont plus destructives que des déflagrations. Le profil de pression au fil du temps d'une onde de choc peut être caractérisé par son temps de montée, surpression maximale, la durée de la phase positive et toute sa durée.

I.6.2- Déflagration:

Dans le cas d'une déflagration, le volume de mélange air-gaz est généralement vaste, et le taux de libération de l'énergie est lent, ceci se produit parce que la réaction est plus lente que dans cas d'une détonation. Les souffles sont caractérisés par des ondes de choc plus régulières qui propagent à des vitesses subsoniques. Au début, les effets de pression sont petits. Puis, pendant que la turbulence est produite, la vitesse de combustion augmente, ce qui conduit à une augmentation de pression.

I.7. Limites d'explosivité:

I.7.1- La limite inférieure d'explosivité (LIE):

La limite inférieure d'explosivité ou d'inflammabilité d'un gaz ou d'une vapeur dans l'air est la concentration minimale en volume dans le mélange au-dessus de laquelle il peut être enflammé.

I.7.2- Limite supérieure d'explosivité (LSE):

Limite supérieure d'explosivité ou d'inflammabilité d'un gaz ou d'une vapeur dans l'air est la concentration maximale en volume dans le mélange au-dessous de laquelle il peut être enflammé.

La LIE et la LSE peuvent être aussi exprimées en poids de vapeur par litre ou mètre cube de mélange. [5] [6]

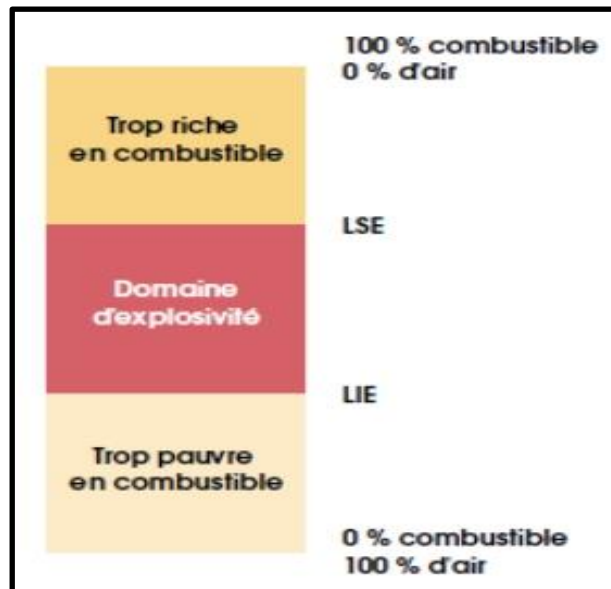


Figure 1.3: Domaine d'explosivité

Tableau 1.3: LIE et LSE de quelques gaz

Produit	LIE (%)	LSE (%)
Acétone	2.6	12.8
Acétylène	2.5	100
Butane	1.8	8.4
Méthane	5	15
Pentane	1.5	7.8
Propane	2.1	9.5

I.8. La dispersion atmosphérique:

Les défaillances d'équipement représentent la cause la plus importante qui entraîne la libération de produits dangereux et explosifs. La défaillance peut être:

- ☐ Perçage d'une paroi, défaillance d'un joint, défaillance d'une garniture.
- ☐ Eclatement d'un disque de rupture, ouverture d'une soupape.
- ☐ Brèche partielle ou totale d'une canalisation courte ou longue.
- ☐ Eclatement d'un réservoir.

Pour caractériser la dispersion atmosphérique d'une substance inflammable ou explosive, il est nécessaire de quantifier le rejet, c'est-à-dire de déterminer son volume ou sa masse, sa température, sa pression et son état physique.

Le rejet des gaz peut être classé en deux catégories:

I.8.1. Rejets continus:

Ce terme correspond à une brèche sur la paroi d'un réservoir ou à un petit trou sur une canalisation de grand diamètre qui se comporte alors comme un réservoir. **Figure 1.4**

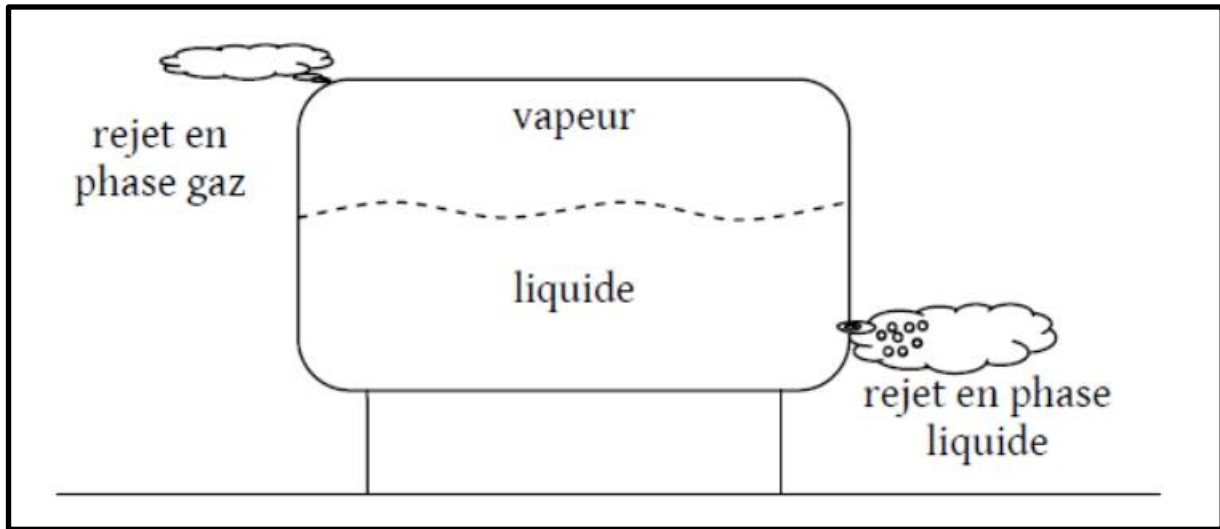


Figure 1.4: Rejets continus dans un réservoir

I.8.2. Les rejets instantanés:

La ruine, encore appelée rupture catastrophique, consiste en la rupture totale du confinement entraînant un relâchement immédiat et instantané de la totalité du contenu. Les rejets de type instantané sont principalement caractérisés par la quantité émise dans l'atmosphère et la pression de la capacité au moment de la rupture. Cette dernière peut être différente dans certains cas de la pression de stockage. **Figure 1.5**

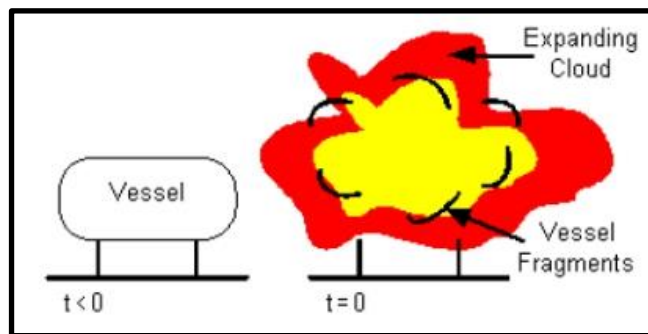


Figure1.5 : rejets instantanées

La dispersion atmosphérique caractérise la répartition, dans le temps et l'espace, d'un ensemble des particules rejetées dans l'atmosphère. Elle caractérise donc la façon dont le nuage est transporté et dilué.

La dispersion du nuage dépend de:

1. Conditions climatologiques.
2. L'environnement de rejet.

I.8.3. Les conditions climatologiques:

Les conséquences d'un accident dépendent, pour la plupart des phénomènes physiques et notamment dans le cas des dispersions des explosifs, des conditions météorologiques ou turbulence atmosphérique. Ces conditions sont principalement définies en termes de classes de stabilité atmosphérique, de vitesse et direction du vent.

La stabilité atmosphérique est souvent décrite à l'aide des classes de stabilité de Pasquill. On distingue 6 classes allant des atmosphères très instables (A,B), aux atmosphères très stables (E,F), en passant par des atmosphère neutre (C,D).

Les classes de stabilité peuvent être associées à des conditions météorologiques données.
Tableau 1.4 [11]

Tableau 1.4: Les classes de stabilité climatologique

Vitesse du vent à 10 m	JOUR			NUIT	
	Rayonnement solaire incident			Nébulosité	
[m/s]	Fort	Modéré	Faible	entre 4/8 et 7/8	<3/8
<2	A	A-B	B	F	F
2-3	A-B	B	C	E	F
3-5	B	B-C	C	D	E
5-6	C	C-D	D	D	D
>6	C	D	D	D	D

I.8.4. Environnement de rejet:

Les obstacles et les accidents topographiques perturbent la trajectoire du vent et modifient les caractéristiques moyennes et turbulentes de l'écoulement de l'air. Ces modifications sont naturellement en fonction de la taille et la forme des obstacles topographiques rencontrés par le vent.

Chapitre II : Modélisation des effets de suppression

CHAPITRE II : MODÉLISATION DES EFFETS DE SURPRESSION

II.1. Introduction:

L'explosion est l'une des conséquences catastrophiques des accidents liés aux équipements de stockage de GPL (Gaz de Pétrole Liquéfié) qui est largement observé dans l'industrie de procédés gaziers ou dans le transport de matières dangereuses. Il présente toujours une crainte pour les services d'intervention et les spécialistes de la sécurité qui sont bien sensibilisés à l'ampleur d'un tel phénomène. Leurs effets sur les personnes, les biens et l'environnement se manifestent généralement de trois manières: [\[11\]](#)

- ☐ la propagation de l'onde de choc (surpression).
- ☐ le rayonnement de la boule de feu si le produit impliqué est inflammable.
- ☐ la projection des fragments.

En effet, il est important d'estimer les dommages potentiels qui pourraient être causés par une telle explosion. Cependant, dans le cas d'un équipement de haute pression, la propagation d'une onde de surpression peut devenir prépondérante en termes de conséquences. C'est pourquoi nous essayerons dans ce chapitre d'illustrer les différents modèles traitant l'effet de surpression associé à ce phénomène afin d'estimer quantitativement ses conséquences.

II.2. Modélisation des effets d'explosion:

Les effets d'une explosion sont caractérisés principalement par une onde de pression de forte intensité mais de courte durée, qui se propage dans l'environnement et balaye tout sur son passage. L'onde peut avoir des effets directs sur les individus et indirects lors de l'effondrement des structures.

Les effets d'une explosion sont désastreux, en particulier dans le cas d'un équipement dans un site industriel, ce qui conduit à l'amplification des phénomènes initiateurs par effet domino.

Dans le cadre du développement de la sécurité industrielle, il est apparu très tôt la nécessité de caractériser les effets des explosions malgré leur complexité apparente.

La modélisation des effets des surpressions d'une explosion, se fait par plusieurs méthodes de calcul telle que: [\[12\]](#) [\[13\]](#) [\[14\]](#)

- ☐ La méthode « Equivalent TNT »
- ☐ La méthode « Multi-Energie »
- ☐ La méthode de « Baker-Strehlow »
- ☐ La méthode « CAM » (Congestion Assesment Method).

Dans notre travail nous utiliserons les deux premières méthodes: la méthode equivalent TNT et la méthode Multi-Energie (TNO).

II.2.1. La méthode Equivalent TNT:

Le principe du modèle équivalent TNT est de rapporter l'énergie de l'explosion à une masse équivalente de TNT, pour laquelle on peut faire un lien entre la surpression engendrée par l'explosion et la distance au centre de l'explosion. [15]

Le modèle conduit, en trois étapes, à évaluer le niveau de pression atteint en fonction du niveau de confinement ou d'obstruction du mélange inflammable.

- 1ère étape: Calcule de la masse de TNT (M_{TNT}).
- 2ème étape: Calcule de la distance réduite (Z).
- 3ème étape: A l'aide d'abaque (**Figure 2.1**), déterminer la valeur de la surpression P_s en fonction de la distance réduite (Z) de la source de danger à un point d'impact donné.

II.2.1.1. Calcule de la masse d'équivalent TNT

La masse de TNT est calculé comme suit:

$$M_{TNT} = \frac{f \times \Delta H_c \times M}{\Delta H_{TNT}} \quad \dots\dots\dots (II.1)$$

Ou:

M_{TNT} : est la masse équivalente du TNT (kg).

f : est le rendement d'explosion (empirique).

ΔH_c : est la chaleur de combustion d'hydrocarbure (kJ/kg).

M : est la masse d'hydrocarbure (kg).

ΔH_{TNT} : est la chaleur de combustion du TNT (4437- 4765 kJ/kg).

Comme les hydrocarbures (les substances les plus impliquées dans les explosions de nuages de vapeur) sont en fait des explosifs faibles, seule une petite partie de l'énergie libérée est utilisée pour créer l'onde de souffle. En effet, des valeurs de f entre 0.01 et 0.1 ont été proposées par différents auteurs. Ces valeurs de f sont généralement influencées par la réactivité du combustible impliqué et le confinement partiel du nuage.

II.2.1.2. Calcule de la distance réduite Z:

La distance réduite est calculé comme suit:

$$Z = \frac{x}{M_{TNT}^{\frac{1}{3}}} \quad \dots\dots\dots (II.2)$$

Ou:

z : est la distance réduite ($\frac{m}{kg^{\frac{1}{3}}}$)

x : est la distance entre le centre de l'explosion et le seuil de surpression (m).

M_{TNT} : est la masse équivalente du TNT (kg).

II.2.1.3. Détermination de la surpression:

La surpression P_s (bar) est déterminée en fonction d'une distance réduite (scaled distance) $Z \left(\frac{m}{kg^{1/3}} \right)$ à l'aide d'abaque empirique de Brasie & Simpson (**Figure 2.1**). [12]

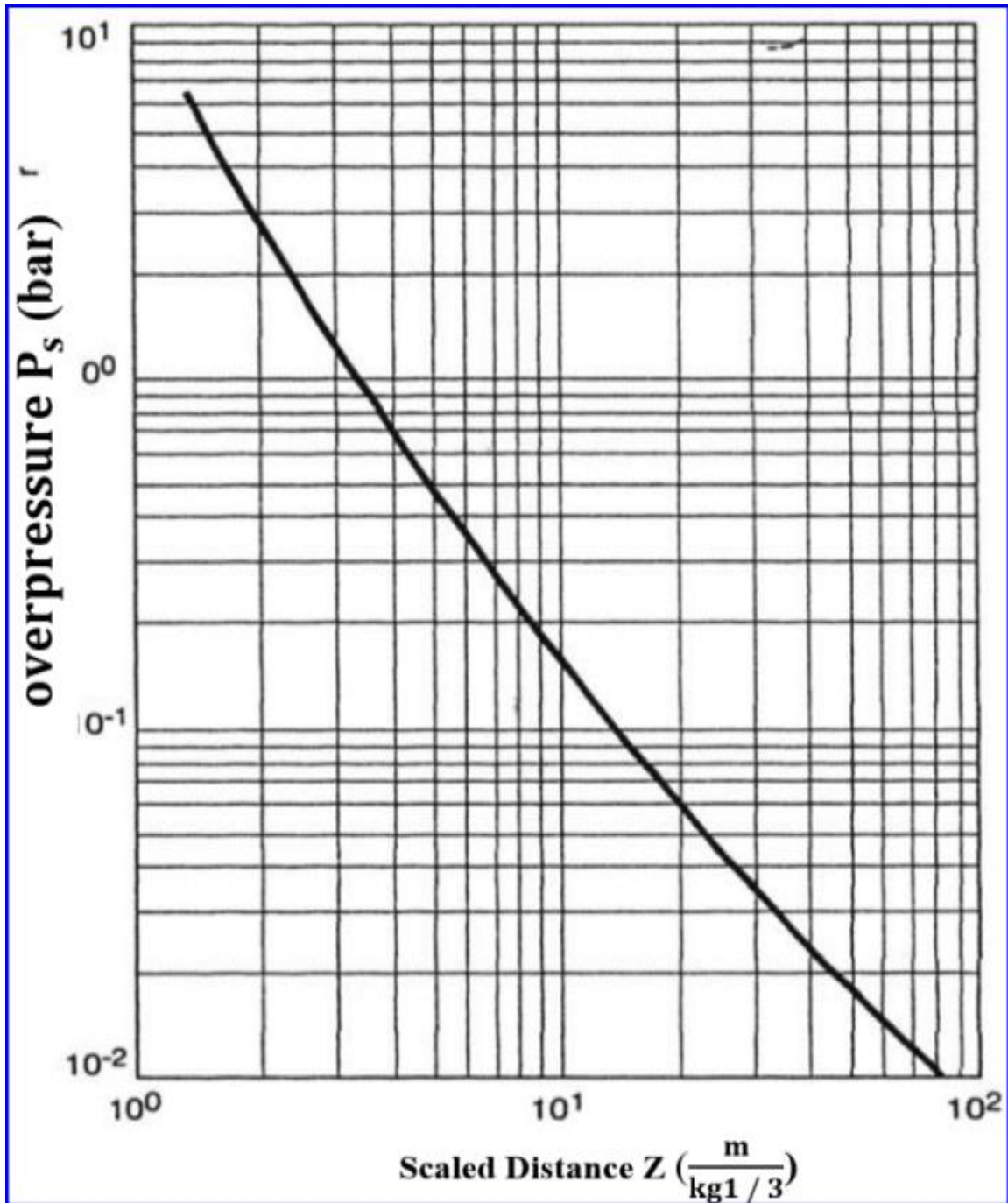


Figure 2.1: Abaque empirique de Brasie & Simpson

II.2.2. La méthode Multi-Energie TNO :

Le principe de ce modèle, développé par l'organisation TNO, est d'accumuler la masse participante à l'explosion, évaporée dans un environnement plus ou moins encombré.

La méthode conduit, en quatre étapes, à évaluer le niveau de pression atteint en fonction du niveau de confinement ou d'obstruction du mélange explosif:

- 1ère étape: Calcul de l'énergie de combustion (E_X).
- 2ème étape: Choix du degré de sévérité (Indice de violence).
- 3ème étape: Détermination de la distance réduite ($\bar{R}$).
- 4ème étape: Détermination de la surpression réduite ($\bar{P}$) et ensuite la surpression (P_S).

II.2.2.1. Calcul de l'énergie de combustion:

L'énergie de combustion est l'énergie dégagée par la réaction de combustion d'un gaz par le dioxygène de l'air. Le calcul de cette énergie est uniquement valable dans le cas d'un VCE (Vapour Cloud Explosion). Le VCE représente l'inflammation (au contact d'une source de chaleur suffisante) d'un nuage de vapeur inflammable dont la partie comprise entre la LIE et la LSE va être le siège d'une combustion.

L'énergie de combustion est calculée comme suit:

$$E_X = M \times \Delta H_c \dots\dots(II.3)$$

Où:

E_X : est l'énergie de combustion (J).

ΔH_c : est la chaleur de combustion d'hydrocarbure (J/kg).

M : est la masse d'hydrocarbure (kg).

II.2.2.2. Choix du degré de sévérité (Indice de violence):

Ce modèle repose sur le principe selon lequel seules les zones encombrées sont susceptibles de générer des effets significatifs de surpression. La violence de l'explosion est alors caractérisée par un degré/indice de sévérité variant de 1 à 10, chaque degré faisant en fait référence à un niveau de surpression maximale atteinte dans le nuage inflammable. [\[14\]](#)

Tableau 2.1: correspondance entre les surpressions maximales et les indices de sévérité

Indice de sévérité	Surpression max correspondante (mbar)
1	10
2	20
3	50
4	100
5	200
6	500
7	1 000
8	2 000
9	5 000
10	10 000

Pour les explosions de gaz à l'air libre ou UVCE modélisées à travers un modèle Multi-énergie, le choix du degré de sévérité peut se faire à l'aide la méthode de KINSELLA qui se présente sous la forme d'un tableau présenté ci-dessous (**Tableau 2.2**). Le degré de sévérité peut être estimé en fonction de 3 paramètres, à savoir: l'énergie d'inflammation, le degré de confinement et le degré d'encombrement. [15].

Tableau 2.2: Grille de Kinsella

Energie d'inflammation		Degré d'encombrement			Degré de confinement		Indice
Faible	Fort	Fort	Faible	Inexistant	Existant	Inexistant	
	⊙	⊙			⊙		7 à 10
	⊙	⊙				⊙	7 à 10
⊙		⊙			⊙		5 à 7
	⊙		⊙		⊙		5 à 7
	⊙		⊙			⊙	4 à 6
	⊙			⊙	⊙		4 à 6
⊙		⊙				⊙	4 à 5
	⊙			⊙		⊙	4 à 5
⊙			⊙		⊙		3 à 5
⊙			⊙			⊙	2 à 3
⊙				⊙	⊙		1 à 2
⊙				⊙		⊙	1

Le choix de l'indice de sévérité est la phase la plus délicate de la méthode Multi-énergie puisqu'il n'existe pas aujourd'hui de méthode consensuelle. La méthode la plus couramment utilisée est celle de KINSELLA.

II.2.2.3.Détermination de la distance réduite ($\bar{R}$):

La distance reduite est calculé comme suit:

$$\bar{R} = R \times \left(\frac{E_X}{P_0}\right)^{\frac{-1}{3}} \dots\dots(\text{II.4})$$

Ou:

$\bar{R}$: est la distance réduite (-).

R : est la distance entre le centre de l'explosion et le seuil de surpression (m).

E_X : est l'énergie de combustion (J).

P_0 : est la pression atmosphérique en Pascal = 101325 (Pa).

II.2.2.4.Détermination de la surpression réduite ($\bar{P}$):

La surpression réduite $\bar{P}$ est déterminée en fonction d'une distance réduite (scaled distance) $\bar{R}$ à l'aide des courbes d'abaque de la méthode Multi-énergie (Van Den Berg, 1985) (**Figure 2.2**).

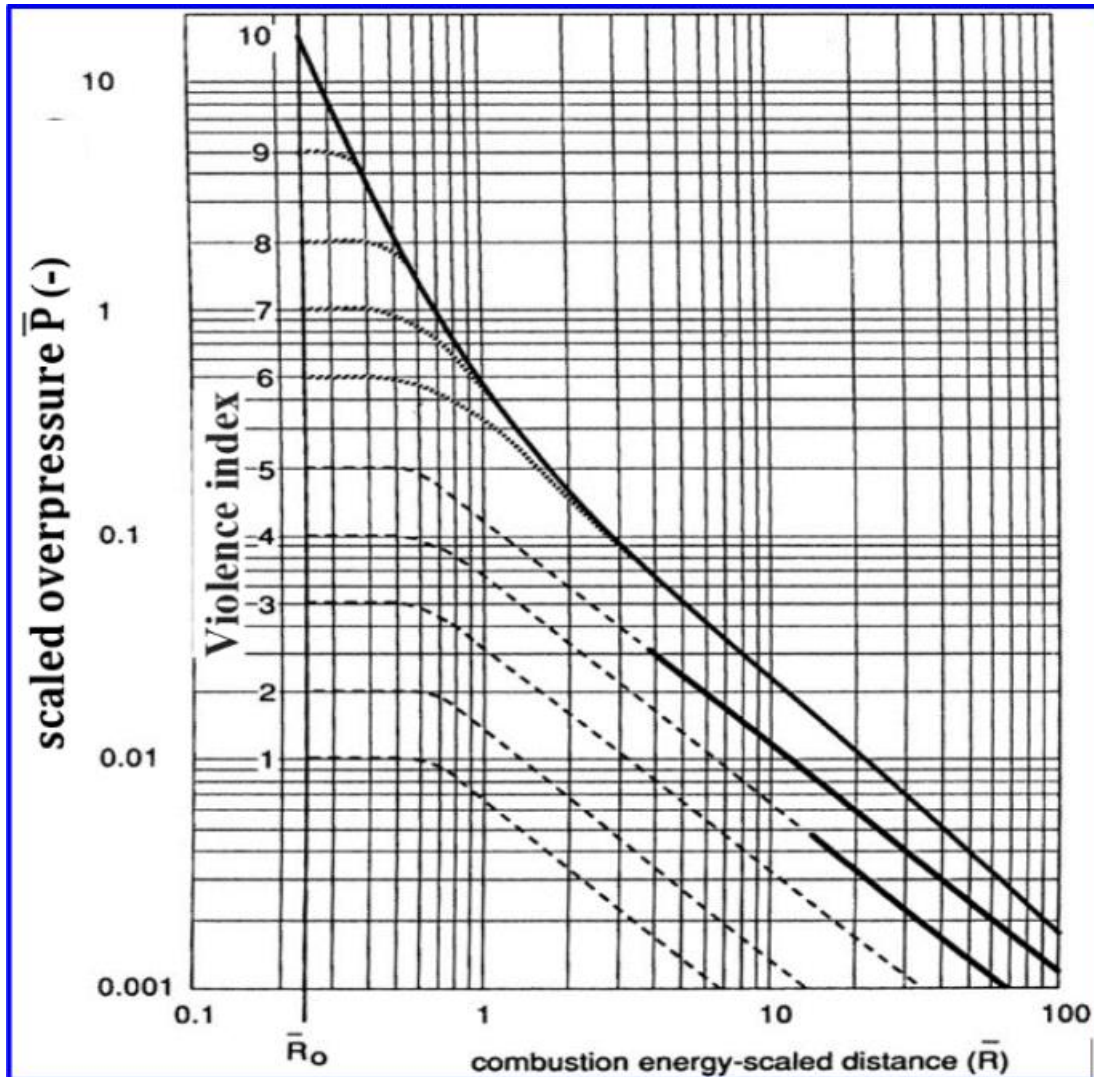


Figure 2.2: Abaque de la méthode Multi-énergie (Van den berg,1985)

Après avoir déterminer la surpression réduite $\bar{P}$, nous pouvons calculer la surpression P_s en utilisant la formule suivante:

$$\bar{P} = \left(\frac{P_s}{P_0} \right) \dots\dots(\text{II.5})$$

Ou:

$\bar{P}$: est la surpression réduite (-).

P_s : est la surpression (bar).

P_0 : est la pression atmosphérique (bar).

II.3. Conclusion:

Dans ce chapitre, nous avons essayé de décrire les fondements de base relatifs au phénomène d'explosion. Ensuite, nous avons présenté les deux principaux modèles permettant d'analyser les effets de surpression associés à ce phénomène. Dans un but de validation des modèles proposés, nous présenterons dans le chapitre suivant une application à un système industriel au niveau de la zone industrielle de Hassi R'mel (Accumulateur de propane réfrigérant V302).

Chapitre III : application des modèles proposes à un système opérationnel

CHAPITRE III : APPLICATION DES MODÈLES PROPOSÉS À UN SYSTÈME OPÉRATIONNEL

III.1. Introduction:

Ce chapitre est consacré à l'application des modèles de quantification de l'effet de suppression au niveau de la zone industrielle de Hassi R'mel (particulièrement au système "Accumulateur de propane réfrigérant V302" situé à la Phase Commune B) au sein de l'entreprise SONATRACH-DP.

III.2. Présentation de la région Hassi R'mel:

La région de Hassi R'mel possède environ 2.4 % des ressources mondiales en gaz naturel, L'Algérie se place en 10ème rang des pays producteurs du gaz, elle satisfait ses besoins et ceux d'une partie de l'Europe en gaz sec, le GPL et le condensât qui sont des produits de qualité, subissant des traitements au niveau des raffineries avant d'être vendus ou envoyés vers l'industrie pétrochimique.

Hassi R'mel se trouve à 550 km au sud de la capitale à une altitude moyenne de 760 m (**Figure 3.1**). Elle est située au sein de la région administrative de la wilaya de Laghouat à environ 40 kilomètres à l'ouest de Berriane, 60 kilomètres au nord-ouest de Ghardaïa et 130 kilomètres au sud-est de Laghouat.

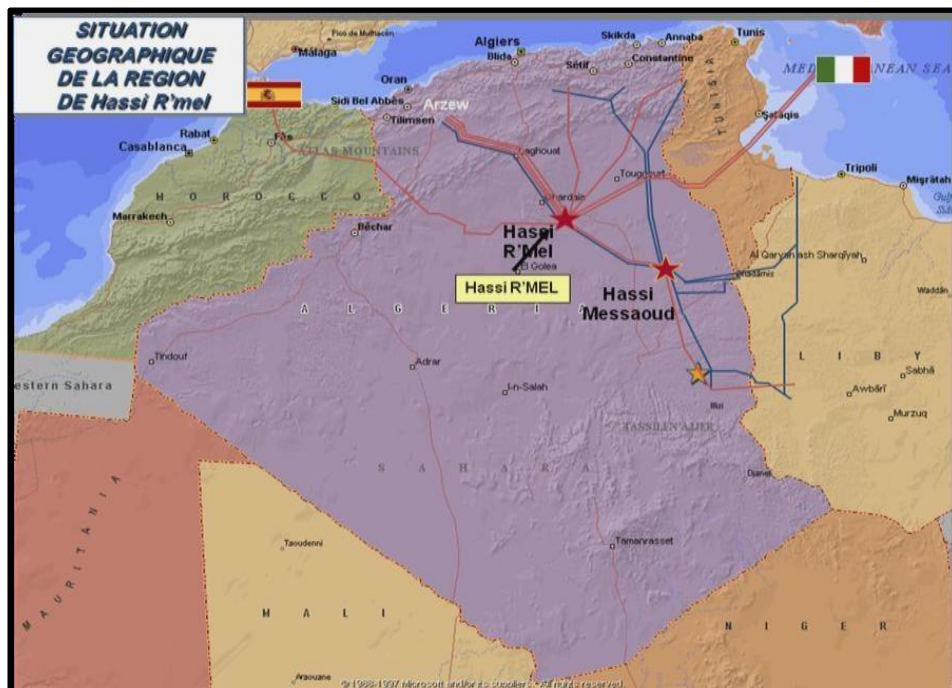


Figure 3.1 - Représentation de la position géographique de Hassi R'mel

La région HRM est un champ qui produit le gaz sec, le GPL et le condensât avec une activité secondaire qui consiste à produire le pétrole. Le champ de Hassi R'mel est divisé en trois zones de production, comme le montre le **Tableau 3.1**.

Tableau 3.1 - Unités de la région de Hassi R'mel

Zones	Unités
Zone nord	- Module de traitement de gaz brut (MPP3) - Station de Boosting 3 gaz Nord (SBN3) - Station de déshuilage - Station de Réinjection Nord (SC-Nord) - Centres de traitement d'huile (CTH2, CTH4) - Centre de stockage et de prélèvement butane (NAFTAL) - Centrale électrique (SONELGAZ)
Zone centre	- Modules de traitement de gaz brut (MPP0, MPP1 et MPP4) - Station de Boosting gaz Centre (SBC) - Station de Boosting 3 gaz Centre (SBC3) - Centre de stockage et transfert du GPL et condensat (CSTF) - Communs (Phase B de MPP0 et MPP1) - Station de compression des gaz associés (SRGA) - Centres de traitement d'huile CTH1-CTH3 - Centre national de dispatching de gaz (CNDG) - Station de compression de gaz GR1/GR2 - Station de compression de gaz (GR3) - Station de pompage (SP4) - Centre de stockage et de prélèvement butane et propane (NAFTAL) - Centrale électrique (SONELGAZ) - Station d'épuration (STEP) - Station de déshuilage
Zone sud	- Modules Traitement de gaz brut (MPP2, DJB et HRSUD) - Station de Boosting 3 gaz Sud (SBS3) - Station de réinjection gaz HP (SC-Sud) - Unité de traitement d'huile CTH- Sud) - Station de déshuilage

Le plan d'ensemble des installations gazières implantées sur le champ HRM est élaboré de façon à avoir une exploitation rationnelle du gisement et pouvoir récupérer le maximum du liquide. Les cinq modules de traitement de gaz (0, 1, 2, 3, et 4) sont disposés d'une manière alternée par rapport aux deux stations de compression tel que présenté sur la **Figure 3.2**.

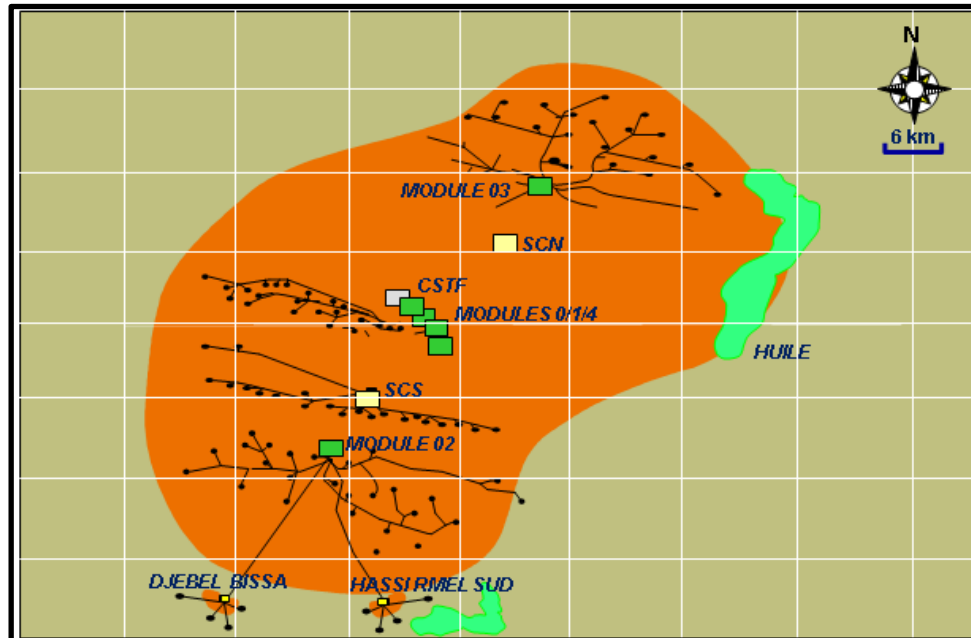


Figure 3.2 - Champ de Hassi R'mel

III.3. Présentation du site d'étude "Phase Commune B":

Cette installation a été construite dans le cadre de la Phase B du module 1 et 0. Son rôle est de maintenir les modules en exploitation grâce à un circuit de réfrigération au propane pour une meilleure récupération du GPL et du condensât.

La mise en marche de la Phase B a permis de faire une meilleure production avec une récupération des produits torchés auparavant. Grâce à la boucle de propane qui donne une bonne réfrigération, le condensât est stabilisé et le GPL est récupéré pour la production du propane et du butane. Les C_2 sont déshydratés et comprimés pour être réinjectés dans le pipeline d'expédition. L'unité de la Phase B est alimentée par trois lignes, deux provenant du module 0 et l'autre du module 1.

III.3.1. Différentes sections de la Phase B:

Les principales parties de production de la Phase B sont :

- La partie de production du propane qui comprend une colonne de séparation de propane et des auxiliaires pour la production et le stockage de propane réfrigérant et aussi le GPL.
- La partie de réfrigération (trois compresseurs propane dont un de réserve).
- Une partie de régénération du Glycol avec contacteur Gaz Glycol.

III.3.2. Description du procédé de la Phase B:

Le gaz en provenance des trois dééthaniseurs (T 201-1, 2, 3) du module 1 est envoyé vers le contacteur Glycol/Gaz T330. La teneur en eau dans ce gaz est réduite à moins de 50 ppm en volume à la sortie de ce contacteur par contact à contre-courant, avec une solution concentrée (Glycol). Ensuite, le gaz sortant de ce contacteur T330 passe par le séparateur du Glycol V330 afin de retenir tous entraînement de Glycol avant d'être comprimé et injecté dans le pipeline du gaz de vente. Le Glycol dilué s'écoule vers le système de régénération.

Ainsi, le gaz en provenance des deux dééthaniseurs (T401-1 et 2) du module 0 passe par un circuit parallèle identique au premier circuit précédemment cité.

Une fois déshydraté, les gaz des deux modules sont collectés dans les ballons d'aspiration V308, d'où une partie est prélevée pour être utilisée comme combustible pour les modules 0, 1 et les installations communes. L'autre partie est comprimée dans les compresseurs des vapeurs de tête C302A/B, puis refroidie dans l'aéroréfrigérant E304 à environ 60 °C. Après sa déshydratation et sa compression, ce gaz est dirigé vers les deux modules (0 et 1) pour être mélangé avec le gaz de vent.

III.4. Présentation du système étudié "Ballon de propane V302":

Le ballon V302 fait partie de la boucle de propane des communs qui assure l'alimentation en propane réfrigérant nécessaire pour la réfrigération des têtes des dééthaniseurs des modules MPP-0 et MPP-1 ainsi que pour le traitement du gaz brut de ces modules (**Figure 3.3**).

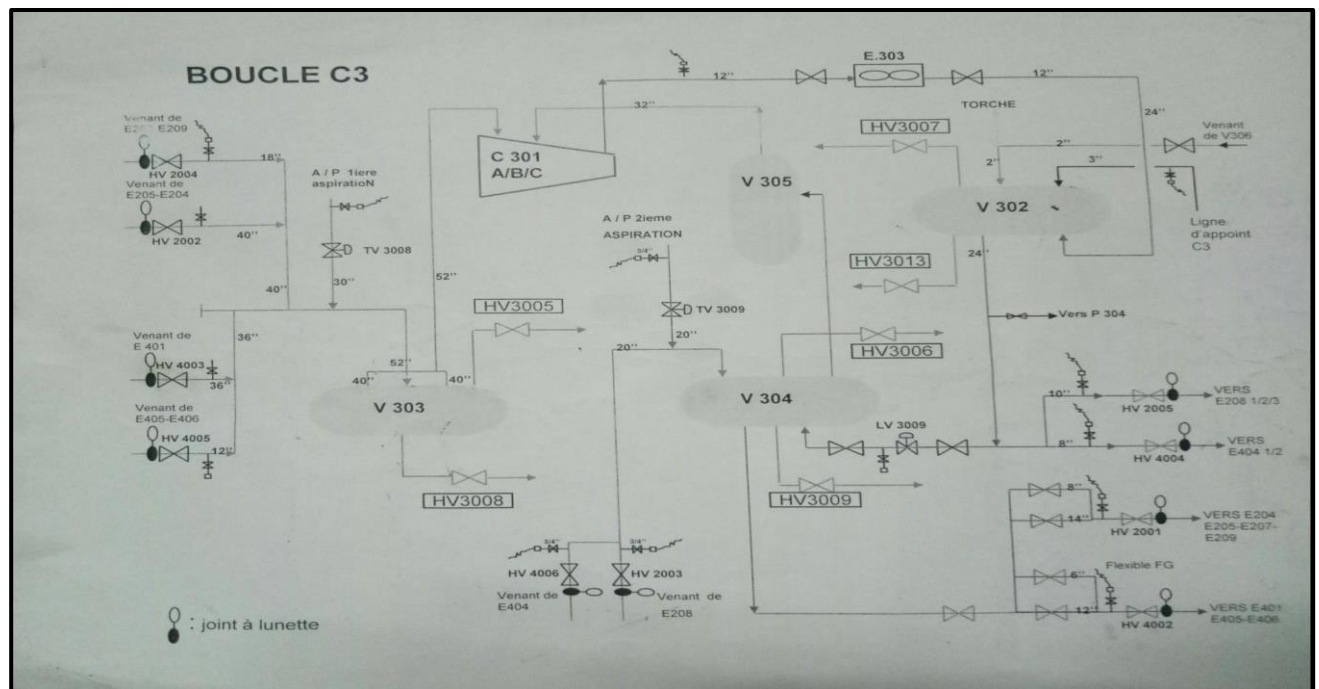


Figure 3.3 - Boucle de propane de la phase commune B

Les caractéristiques techniques et opératoire du ballon V302 sont indiqués dans le **Tableau 3.2**:

Tableau 3.2 - Caractéristiques techniques du ballon V302

Caractéristiques	Valeurs
Type d'installation	Accumulateur de propane réfrigérant
Substance	Propane
Temperature service (°C)	50
Temperature calcul (°C)	80
Pression service (bar)	20
Pression d'épreuve (bar)	42
Volume (m ³)	209.6
Densité (kg/m ³)	431.6

Le ballon accumulateur de propane réfrigérant V302 est dotée des accessoires suivants :

- ▢ LAH3006: alarme de niveau haut reportée en salle de contrôle.
- ▢ LAHH3057: alarme de niveau très haut reportée en salle de contrôle.
- ▢ LSHH3057: switch de niveau très haut qui déclenche le compresseur.
- ▢ PAHH3004: alarme de très haute pression (consigne 25 barg).
- ▢ HV3001: vanne commandée à distance pour décharge vers torche.
- ▢ PSHH3004: alarme de très haute pression reportée en salle de contrôle.
- ▢ PSV3003: soupape de décharge vers torche s'ouvre à 28 barg.
- ▢ PAL3004: alarme de basse pression reportée en salle de contrôle.
- ▢ LAL3006: alarme de bas niveau reportée en salle de contrôle.
- ▢ LSL3006: switch de bas niveau qui déclenche les pompes P304A/B. [\[16\]](#)

III.5. Modélisation de l'onde du surpression:

III.5.1.Méthode Equivalent TNT:

- Le calcul de la masse équivalente TNT (M_{TNT}):

$$M_{TNT} = \frac{f \times \Delta H_c \times M}{\Delta H_{TNT}}$$

Soit:

$$f = 0.1, \Delta H_c(\text{propane}) = 50300 \text{ Kj/Kg}, \Delta H_{TNT} = 4184 \text{ Kj/Kg}$$

$$M_{Propane} = \rho_{propane} \times V_{Ballon} (80\%) = 481 \text{ Kg/m}^3 \times 209.6 \times 0.8 \text{ m}^3 = 80654.08 \text{ Kg}$$

* Puisque par mesure de sécurité, généralement le ballon doit être rempli à 80%.

Alors:

$$M_{TNT} = \frac{f \times \Delta H_c \times M}{\Delta H_{TNT}} = \frac{0.1 \times 50300 \times 80654.08}{4184} = 96962.2424 \text{ Kg}$$

- Le calcul de la distance réduite Z et l'extraction de la surpression P_s d'après l'abaque (figure 2.1):

Les valeurs de Z et P_s varient selon la distance "x", nous prenons donc des valeurs "x" comme suite (100-200-500-700-1000-1200), et nous calculons les valeurs correspondantes de Z et P_s dans le **Tableau 3.3** ci-dessous:

Tableau 3.3 – Variation de Z et P_s en fonction du distance x(m)

X (m)	100	200	500	700	1000	1200
$Z \left(\frac{m}{kg^{\frac{1}{3}}} \right)$	2.716703	4.353405	10.88351	15.23692	21.76703	26.12043
P_s (Bar)	1.68	0.62	0.16	0.097	0.057	0.041

En utilisant les résultats obtenus dans le **Tableau 3.3** nous pouvons designer un courbe de la surpression en fonction du distance **Figure3.4**

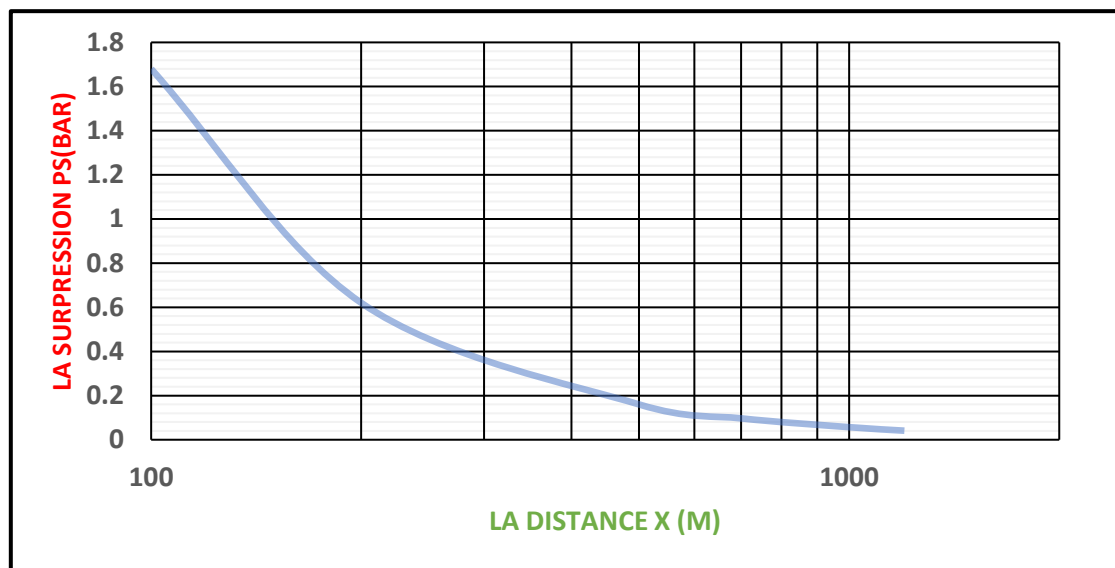


Figure 3.4 : variation de surpression P_s en fonction de distance X(m)

Enfin il nous restera que la modélisation des contours des effets des surpression en utilisant le logiciel « Google Earth Pro ». **Figure 3.5**

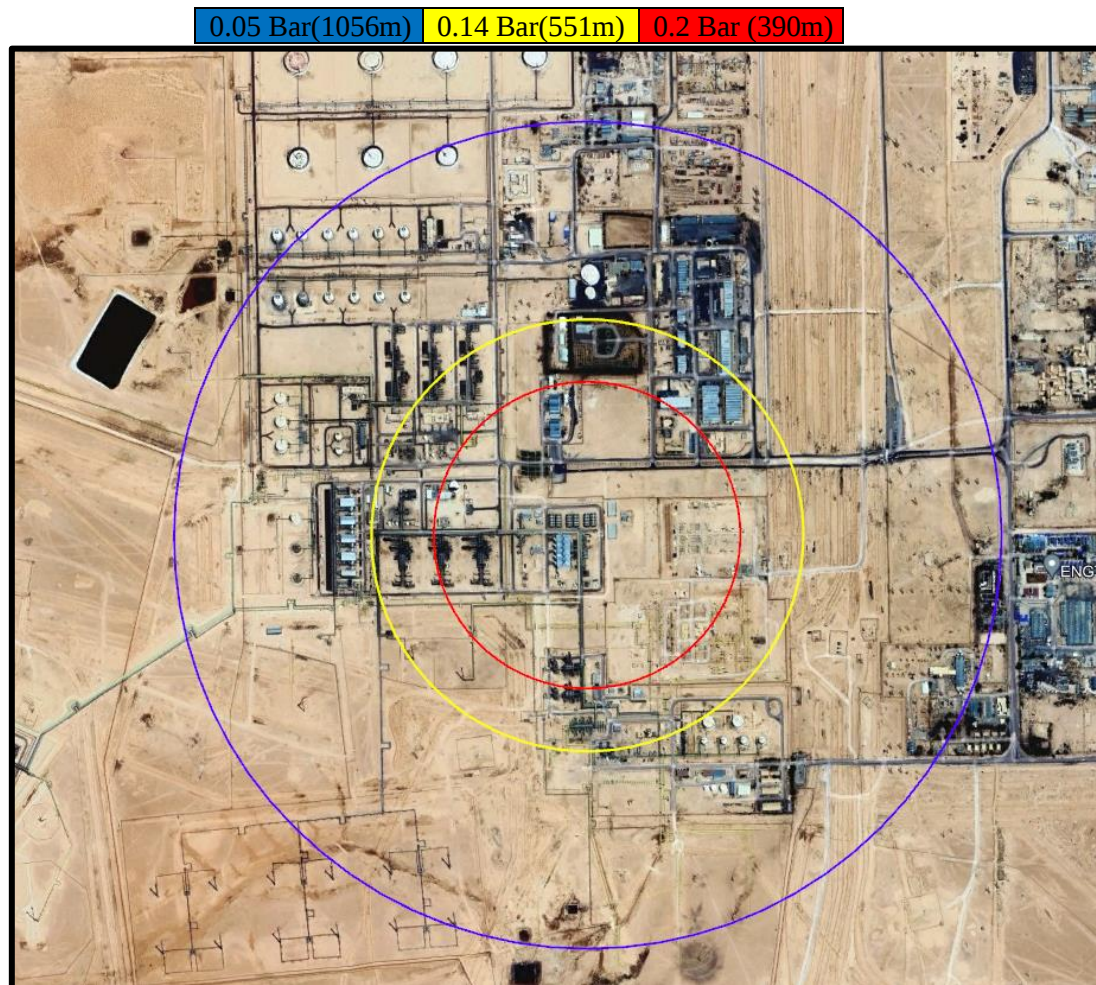


Figure 3.5 – Contours d’effets de surpression obtenus à l’aide de l’équivalent TNT

En se basant sur ces résultats, on constate que pratiquement tous les opérateurs de Phase B ainsi que ceux travaillant au niveau des trains des modules MPP-0 et MPP-1 sont exposés à des effets corporels irréversibles/létaux (rayon d’effet atteint les 1056 m pour le seuil 50 mbar, et les 551 m pour le seuil 140 mbar). **Tableau 3.4.**

Ainsi, la majorité des équipements de la Phase B (3 turbocompresseurs de propane, 6 ballons pressurisés de propane, unité Glycol, blocs d’aéroréfrigérants, salle de contrôle, blocs administratifs) sont exposés à des dégâts matériels significatifs avec des effets dominos générés par l’explosion (distance d’effet atteint les 390 m pour le seuil 200 mbar). **Tableau 3.4**

Tableau 3.4 – Seuils des effets de surpression

Surpression (Bar)	Effets sur les structures	Effets sur l'homme
0.05	Seuil des dégâts légers sur les structures	Seuil des effets irréversibles délimitant la « zone de dangers significatifs pour le vie humaine »
0.14	Seuil des dégâts graves sur les structures	Seuil des effets létaux délimitant la « zone de dangers graves pour le vie humaine »
0.2	Seuil des effets domino	Seuil des effets létaux significatifs délimitant la « zone de dangers très graves pour le vie humaine »

Suite aux effets dominos, il est possible d'avoir une perte de confinement de certains équipements suivi par l'ignition immédiate des produits inflammable relâchés. En effet, ce phénomène est un évènement de caractère soudain et les possibilités d'intervention après son occurrence sont limitées. Par conséquent, il est nécessaire de renforcer les barrières et les mesures préventives afin d'empêcher la survenance de tel événement.

III.5.2. Méthode Multi-Energie TNO:

- Le calcul de l'énergie de combustion (E_X):

$$E_X = M \times \Delta H_c$$

Soit:

$$\Delta H_c(\text{propane}) = 50300 \text{ KJ/Kg}, M_{\text{Propane}} = 80654.08 \text{ Kg}$$

Alors:

$$E_X = M \times \Delta H_c = 80654.08 \times 50300 = 4.057 \times 10^{12} \text{ J}$$

- Le choix du degré de sévérité (Indice de violence):

A l'aide du grille de Kinsella (**Tableau 2.2**), on considère les paramètres suivantes: Energie d'inflammation = Forte, Degré d'encombrement = Fort, Degré de confinement = Existant, selon le grille de Kinsella ces paramètres correspondent a un indice de violence de 7 à 10, alors nous supposons que l'indice de violence = **8**.

Les valeurs de la distance réduite $\bar{R}$, la suppression réduite $\bar{P}$, et la surpression P_s varient selon la variation du distance “ R ”, nous prenons donc des valeurs de “ R ” comme suite (100-200-500-700-1000-1200), et nous calculons les valeurs correspondantes des $\bar{R}$, $\bar{P}$ et P_s dans le **Tableau 3.5** ci-dessous:

Tableau 3.5 – Variation de $\bar{R}$, $\bar{P}$ et P_s en fonction du distance R (m)

R (m)	100	200	500	700	1000	1200
$\bar{R}$ (–)	0.29	0.58	1.46	2.05	2.92	3.51
$\bar{P}$ (–)	2	1.4	0.27	0.17	0.098	0.078
P_s (Bar)	2.03	1.42	0.27	0.17	0.099	0.079

En utilisant les résultats obtenus dans le **Tableau 3.5** nous pouvons designer un courbe de la surpression en fonction du distance **Figure3.6**.



Figure 3.6 – Variation du surpression P_s en fonction du distance R (m)

Enfin il nous restera que la modélisation des contours des effets des surpression en utilisant le logiciel « Google Earth Pro ». **Figure 3.5**

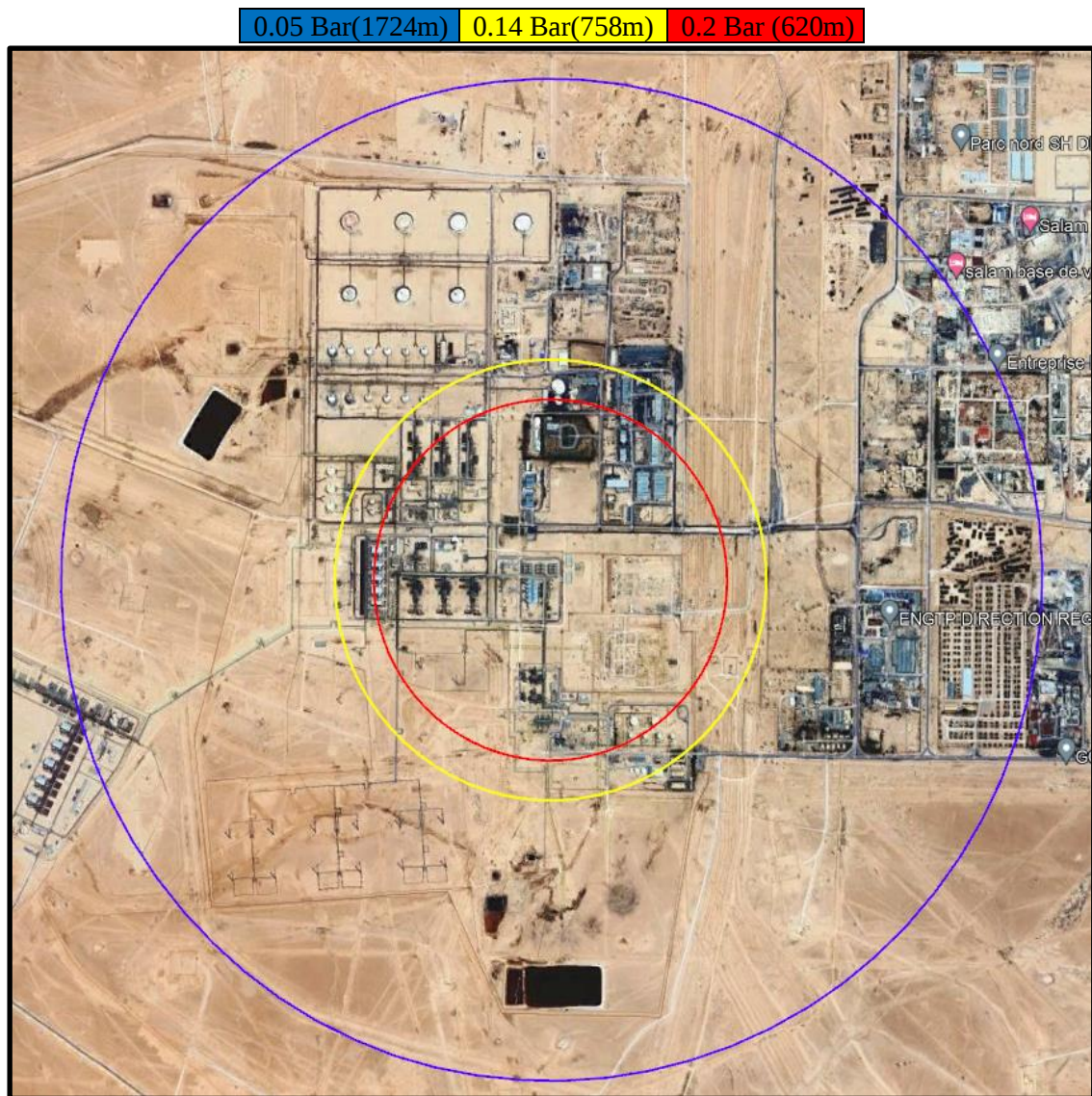


Figure 3.7 – Contours d’effets de surpression obtenus à l’aide de TNO

Comme le montre la **Figure 3.7**, tous les opérateurs de la Phase B et ceux travaillant au niveau des modules MPP-0, MPP-1, MPP-4 et CSTF sont exposés à des effets irréversibles/létaux (rayon d’effet atteint les 1724 m pour le seuil 50 mbar, et les 758 m pour le seuil 140 mbar). Egalement, les prédictions de ce modèle montrent que l’effet domino est plus large vis-à-vis au scénario du modèle équivalent TNT (rayon d’effet atteint les 620 m pour le seuil 200 mbar). **Tableau 3.4**

III.5.3. Comparaison des résultats des deux méthodes:

Les valeurs caractéristiques de surpression en fonction de la distance pour la méthode TNO sont supérieures à celles obtenues par la méthode Equivalent TNT. **Tableau 3.6**

Tableau 3.6 – Comparaison des résultats des seuils des effets obtenus par TNT et TNO

Seuils de surpression	Distances d'effet (m)	
	Modèle TNT	Modèle TNO
50 mbar	1056	1724
140 mbar	551	758
200 mbar	390	620

Les différences des surpression ne sont observées que sur les très petites distances où l'augmentation de pression est assez forte, mais dans les grandes distances les prédictions des deux modèles sont presque en bon accord entre eux comme montré dans le **figure 3.8**.

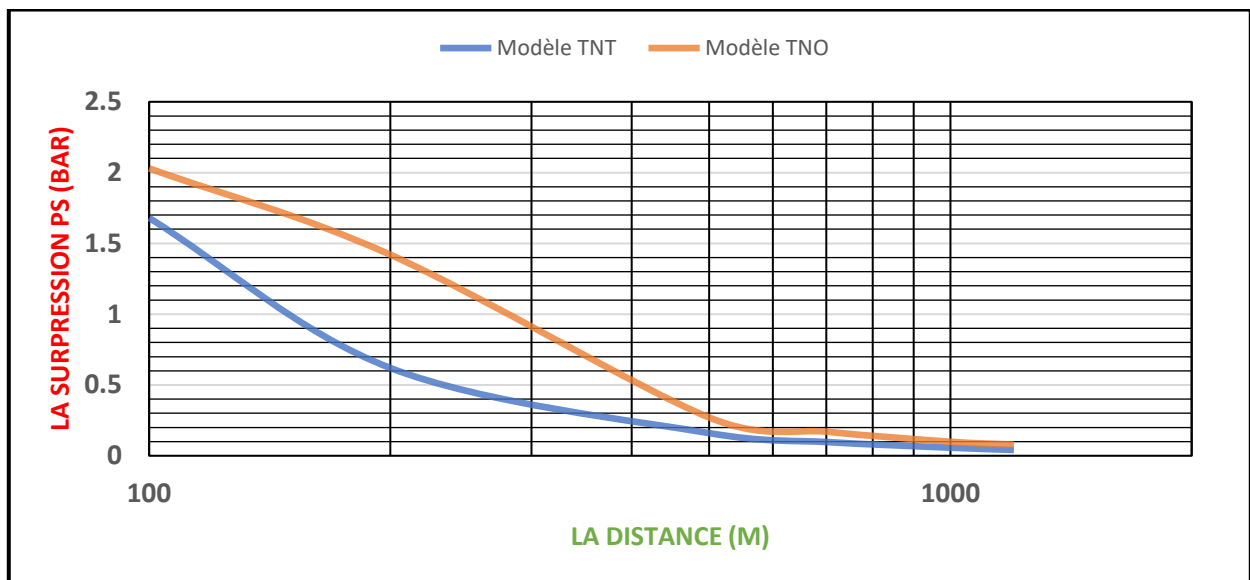


Figure 3.8 – La surpression en fonction de la distance par les deux modèles.

Au contraire des résultats obtenus à partir du modèle TNT, les résultats issus du modèle Multi-énergie TNO montrent que l'effet de surpression est supérieur. En effet, ce résultat est dû à la prise en compte des obstacles et du degré de confinement dans le modèle TNO. En se basant sur ce résultat, on peut dire que le modèle TNO est le plus proche à la réalité et à la physique de propagation de l'onde de choc dans les sites industriels complexes (encombrés), tandis que l'équivalent TNT surestime la surpression à cause de la subjectivité dans l'estimation du rendement de l'explosion f et de sa simplicité (supposant que l'explosion se propage dans un environnement constitué par une surface horizontale sans obstacles).

Par ailleurs, il y a un certain degré de difficulté dans l'application de ces méthodes. Dans le cas de la méthode d'équivalent TNT, il est nécessaire de spécifier un rendement d'explosion f et le résultat changera en fonction de la valeur sélectionnée. Dans la méthode Multi-énergie, le degré de sévérité initial doit être choisi en fonction des degrés de confinement, d'encombrement et l'énergie d'inflammation dans la zone ou des zones couvertes par le nuage inflammable.

III.6. Conclusion:

Dans le cadre de ce chapitre, nous avons présenté la région de Hassi R'mel, et l'unité Phase B, ainsi que le système opérationnel (Accumulateur de propane V302) situé au sein de cette unité, ou on a appliqué les deux méthodes TNT et TNO. Cette application nous a permis de montrer l'impact des conséquences dangereuses engendrées par l'effet de surpression et de visualiser les différents contours d'effets associés en utilisant les deux différents modèles TNT et TNO. Ensuite, une comparative entre des prédictions des modèles a été réalisée.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Dans le cadre de ce mémoire, nous avons opté pour l'utilisation des deux méthodes: Méthode Equivalant TNT et Méthode Multi-Energie TNO sur un système industriel (Accumulateur de propane réfrigérant V302) afin d'identifier les effets des surpression d'une explosion. L'application de ces méthodes nous a aidé à déterminer les conséquences sur l'homme et sur les installations de chaque scénario et ces contours et ces effets.

Le phénomène d'explosion a fait l'objet d'une présentation détaillée dans le premier chapitre. Une attention particulière à l'effet de surpression d'une explosion est portée, car la propagation d'une onde de choc peut devenir prépondérante en termes de conséquences dans le cas d'une explosion issu d'un équipement de haute pression.

A travers l'étude comparative présentée au chapitre 3 des résultats issus des deux modèles proposés, nous a montré que le modèle TNO est plus ou moins proche à la réalité et à la physique de propagation de l'onde de choc dans les sites industriels encombrés, tandis que l'équivalent TNT surestime souvent la surpression à cause de la subjectivité dans la détermination du rendement de l'explosion et de sa simplicité (supposant que l'explosion se propage dans un environnement ouvert sans obstacles).

De plus, les résultats obtenus ont montré que l'effet de surpression peuvent entrainer des atteintes fatales et des dégâts catastrophiques avec des effets dominos sur des grandes superficies. C'est pourquoi il est nécessaire d'investissement en matière de réduction des risques associés à ces phénomènes, par optimisation de la performance des systèmes de sécurité existants ou l'implémentation de nouveaux systèmes plus fiables.

En conclusion, les résultats obtenus peuvent être considérés comme une première étape. Il sera nécessaire de prendre en compte la combinaison des différents effets (thermique, surpression et missiles) afin de modéliser d'une manière plus complète les impacts d'une explosion.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] <https://www.echoroukonline.com/tlemcen-les-residents-de-la-cite-bakhti-abdelmajid-transferes-vers-une-nouvelle-residence-universitaire>.
- [2] <https://lematindalgerie.com/retour-sur-la-catastrophe-du-19-janvier-2004-a-gnl-skikda>.
- [3] NF EN 1127-1, atmosphere explosives. Prevention de l'explosion et protection contre l'explosion, partie 1: notion fondamentale et methodologie.
- [4] PARIS, L'Évaluation des effets d'une explosion de gaz à l'air libre. Techniques de l'ingénieur 2009.
- [5] INERIS, OMEGA 5 - Le BLEVE: phénoménologie et modélisation des effets thermiques, in, Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques, 2002.
- [6] (valeurs extraites du code français de l'environnement article L.515-16).
- [7] TNO, Methods for the calculation of physical effects (yellow book): CPR 14E, (2005).
- [8] (publiée en 1995 par Baily, Legougec, Lefevre et Roure).
- [9] edition INRS ED 911 ISBN 2-7389-1183-8.
- [10] J.F.LECHAUDEL, Y.M.e., Guide des méthodes d'évaluation des effets d'une explosion de gaz à l'air libre. 1999, INERIS.
- [11] Sochet, I., Blast effects of external explosions. 2011, Ecole Nationale Supérieure d'Ingénieurs de Bourges.
- [12] S. Mannan, Lee's loss prevention in the process industries: hazard identification, assessment, and control, (2012).
- [13] TNO, Guidelines for quantitative risk assessment (purple book): CPR 18E, (1999)
- [14] CCPS, Guidelines for vapor cloud explosion, pressure vessel burst, BLEVE, and flash fire hazards, (2010).
- [15] SAFEGE, Généralités sur l'évaluation des effets de surpression liés aux phénomènes d'explosion in, SAFEGE Unité Industrie.
- [16] SONATRACH, Risk assessment study of industrial units, Report N° EP002715, in, Hassi R'Mel, 2010.

عنوان المذكرة: نمذجة موجة الضغط الزائد بطريقتي TNT و TNO دراسة حالة حاسي الرمل.

اللقب: - قاسمي الاسم: - مصطفى عبد الرحيم المؤطر: د. حلاس محمد الصديق
- جودي - عبيدة

ملخص: يعد العمل الحالي مساهمة في نمذجة تأثيرات أحد المخاطر الرئيسية في الصناعة: انفجار الغاز، من خلال المقارنة بين الطرق الأكثر استخدامًا لتقييم الضغط الزائد الناتج عن انفجار الغاز، هذه الطرق هي: طريقة مكافئة TNT وطريقة تعدد الطاقات TNO.

تتكون هذه الأطروحة من ثلاثة أجزاء رئيسية، الجزء الأول عبارة عن تقديم تذكير نظري للمفاهيم والتعاريف، وخاصة تلك المتعلقة بانفجار الغاز. في الجزء الثاني، يهدف هذا العمل إلى تقديم الطريقتين اللتين تتيحان تحليل ونمذجة تأثيرات موجة الضغط الزائد المرتبطة بالانفجار. وأخيراً، الجزء الأخير يتمحور حول تطبيق هاتين الطريقتين على نظام صناعي ألا و هي "كرة غاز البروبان V302" التابعة لمعمل "Phase B" بالمديرية الجهوية حاسي الرمل، أين تعرفنا على مخاطر انفجار هاته الكرة، مدى إنتشار موجات الضغط الزائد الناتجة عن هذا الانفجار و آثارها، كما تم إستنتاج أن طريقة TNO هي الأقرب للواقع من طريقة TNT، غير أن هذه الأخيرة هي الأكثر بساطة.
كلمات مفتاحية: انفجار الغاز، نمذجة، موجة الضغط الزائد، TNT، TNO.

Memory title: Modelling of the overpressure wave by TNT and TNO methods case study Hassi R'mel.

Name: - GACEMI First name: - MUSTAPHA ABDERRAHIM Directed by: Dr.HELLAS MOHAMED SEDDIK
- DJOUDI - OUBEIDA

Abstract: This present work is a contribution to the modeling of the effects of one of the major risks in the industry: Gas explosion, by comparing the most used methods for the evaluation of the overpressure caused by an explosion of a gas, these methods are: Equivalent TNT and multi-Energy method TNO.

This thesis is composed of three main parts, firstly, to draw up a theoretical reminder of the concepts and definitions, especially those related to gas explosion. Secondly, this project then aims at the presentation of the two methods allowing to analyze and model the effects of the overpressure wave associated with an explosion. Finally, the last part consists of an application of these two methods on an operational system which is "Propane tank V302" situated in "Phase B" unit in the regional direction of Hassi R'mel, where we have identified the consequences of the explosion of this tank, the contours of propagation of the overpressure waves and its effects, we have also concluded that the TNO method is closer to reality than the TNT method, although this last one is simpler.

Key words: Gas explosion, Modeling, Overpressure wave, TNT, TNO.

Le résumé doit être rédigé en deux langues différentes au moins

Titre du mémoire : Modélisation de l'onde du surpression par les méthodes TNT et TNO étude de cas Hassi R'mel.

Nom: - GACEMI **Prénom:** - MUSTAPHA ABDERRAHIM **Directed by:** Dr.HELLAS MOHAMED SEDDIK
- DJOUDI - OUBEIDA

Résumé: Ce travail présent est une contribution à la modélisation des effets de l'un de des risques majeurs dans l'industrie: l'explosion de gaz, par la comparaison entre les méthodes les plus utilisées pour l'évaluation de la surpression causée par l'explosion d'un gaz, ces méthodes sont: Equivalent TNT et méthode multi-Energie TNO.

Le présent mémoire est composé en trois grandes parties, il s'agit dans un premier lieu, de dresser un rappel théorique des concepts et définitions, surtout cels liés à l'explosion du gaz. Dans un deuxième lieu, ce projet vise ensuite à la présentation des deux méthodes permettant d'analyser et de modéliser les effets de l'onde du surpression associés à une explosion. Finalement, la dernière partie consiste d'une application de ces deux méthodes à un système opérationnel "Ballon de propane V302" qui fait partie de la Phase B dans la region de Hassi R'mel, ou on a d'identifier les consequence de l'explosion de cet ballon, les contours de propagation des ondes du surpression et ces effets, ainsi que nous avons conclu que la méthode TNO et la plus proche au réalité que la méthode TNT, et cette dernière et la plus simple.

Mots clés : Explosion de gaz, Modélisation, onde du surpression, TNT, TNO