



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



**Université Amar Thelidji- Laghouat**

**FACULTE : TECHNOLOGIE**

**DEPARTEMENT : GÉNIE DES PROCÉDÉS**

## **MEMOIRE DE MASTER**

**Présenté par : BELMECHERI HADJ AISSA**

**BENZOUBIR BACHIR SAID**

**DOMAINE : Sciences et Technologies**

**FILIERE : Hygiène et Sécurité Industrielle HSI**

**OPTION : Master En Hygiène et Sécurité Industrielle HSI**

### **Thème**

**Modélisation l'effet thermique de boule de feu (BLEVE) de  
sphère de stockage, étude de cas Ouad Benrahmoun  
Constantine**

#### **Jury de soutenance :**

<b>Nom et Prénom</b>	<b>Grade</b>	<b>Qualité</b>
BOUARAR fahima	MCB	Président
MERIGUI khaled	MCB	Examinateur
HELLAS mohamed seddik	MAA	Rapporteur

**Promotion : 2023/2024**



# Dédicace

*Je dédie ce travail*

*A mon père et ma mère*

*A toute ma famille*

*A tous mes amis*

*Tous les enseignants et notre encadrant plus spécialement.*

*A toute la promotion HSE 2024.*

*A tous ceux qui m'ont aidé de près et de loin à la réalisation  
de ce travail.*

## Remerciement

*Nous remercions tout d'abord ALLAH le Tout Puissant de m'avoir accordé la santé, la patience d'aller jusqu'au bout de ce modeste travail,*

*Nous remercions les membres de nos familles pour leur grand soutien quand nous en avons eu besoin, de leur encouragement et tous les efforts qu'ils nous ont offert pour en arriver là,*

*Nous remercions ensuite notre directeur de recherche pour ses conseils, la liberté qu'il nous a accordé pour faire les choses à notre aise et surtout pour sa patience,*

*Nous tenons également mes quelques amis qui ont été à mes cotés et qui ont contribué si ce n'est avec de l'aide concrète, avec leur soutien moral.*

## Table des matières

Introduction Générale : ..... Erreur ! Signet non défini.

### **Chapitre 1 : Concept Et Définition**

Introduction : ..... Erreur ! Signet non défini.

I.1-Concept et définition : ..... Erreur ! Signet non défini.

I-2-les accidents majeurs : ..... Erreur ! Signet non défini.

I-2.1- Définition de l'accident ..... Erreur ! Signet non défini.

I.2.2- Les accidents naturels majeurs ou catastrophes naturelles: ..... Erreur ! Signet non défini.

I.2.3- Les accidents technologiques majeurs: ..... Erreur ! Signet non défini.

I.3. Les méthodes d'identification des accidents majeurs : ..... Erreur ! Signet non défini.

I.4. Les démarches de gestion de risques..... Erreur ! Signet non défini.

I.4.1- Analyse des risques : ..... Erreur ! Signet non défini.

I.4.2- Identification des risques : ..... Erreur ! Signet non défini.

I.5. Présentation des accidents majeurs en Algérie: ..... Erreur ! Signet non défini.

I.5.1 l'explosion de complexe GNLK1 de Skikda survenu le 19-01-2004: ... Erreur ! Signet non défini.

I.6 Conclusion ..... Erreur ! Signet non défini.

### **Chapitre 2 : Modélisation l'effet thermique de BLEVE**

Introduction: ..... Erreur ! Signet non défini.

II.1-Définition de BLEVE : ..... Erreur ! Signet non défini.

II.2. Les étapes de BLEVE : ..... Erreur ! Signet non défini.

II.2.1. Échauffement initial : ..... Erreur ! Signet non défini.

II.2.2. Augmentation de la pression interne..... Erreur ! Signet non défini.

II.3.Processus de réalisation du BLEVE : ..... Erreur ! Signet non défini.

II.4.Types de phénomène BLEVE: ..... Erreur ! Signet non défini.

II.4.1.BLEVE froid ..... Erreur ! Signet non défini.

II.4.2.Caractéristiques : ..... Erreur ! Signet non défini.

II.4.3.Différences entre BLEVE froid et BLEVE chaud : ..... Erreur ! Signet non défini.

II.5.les causes de BLEVE : ..... Erreur ! Signet non défini.

II.6.Produits concernes : ..... Erreur ! Signet non défini.

II.7.Equipements concernes : ..... Erreur ! Signet non défini.

II.7.1. Les réservoirs cryogéniques de gaz liquéfiés ..... Erreur ! Signet non défini.

II.7.2. Calorifuge (Isolation thermique) pour les réservoirs métalliques : ..... Erreur ! Signet non défini.

II.7.3 Enveloppe extérieure en béton précontraint : ..... Erreur ! Signet non défini.

II.8. Les conséquences de BLEVE : ..... Erreur ! Signet non défini.

II.9-Modalisation de l'effet de BLEVE : ..... Erreur ! Signet non défini.

### Chapitre 3: Application des Modèles proposés à Un Système Opérationnel

Introduction : .....	Erreur ! Signet non défini.
III.1.Description de site : .....	Erreur ! Signet non défini.
III.1.1 Localisation du projet : .....	Erreur ! Signet non défini.
III.1.2 Situation de la Commune de OULED RAHMOUN : .....	Erreur ! Signet non défini.
<b>Fig01 : Localisation du site d'étude au niveau de la Commune de Ouled Rahmoun..</b>	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
III.2. DESCRIPTION DES DIFFERENTES PHASES DU PROJET : .....	Erreur ! Signet non défini.
2.1.1. Phase de travaux : .....	Erreur ! Signet non défini.
III.2.2.Phase D'exploitation : .....	Erreur ! Signet non défini.
III.3. Scenari 1 : BLEVE d'un réservoir butane. ....	Erreur ! Signet non défini.
III.3.1. Données de l'équipement : .....	Erreur ! Signet non défini.
III.3.3.Données sur le produit : .....	Erreur ! Signet non défini.
III.4.Phénomènes à quantifier : .....	Erreur ! Signet non défini.
III.5.la modélisation de l'effet thermique de BLEVE : .....	Erreur ! Signet non défini.
<b>III.5.1 Paramètres du Réservoir et Conditions Initiales : .....</b>	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
III.5.1.1. Calcul de la masse d'hydrocarbure : .....	Erreur ! Signet non défini.
III .5.2. les caractéristiques de Bleve de le réservoir 2000m3 : .....	Erreur ! Signet non défini.
III.5.3.la Distances a les seuils (3 ,5 ,8) kW/m <sup>2</sup> : .....	Erreur ! Signet non défini.
Les graphes de l'effet thermique de réservoir 2000m2 : .....	Erreur ! Signet non défini.
III.5.4. les caractéristiques de Bleve de le réservoir 3000m3 : .....	Erreur ! Signet non défini.
III.5.5. la Distances a les seuils (3 ,5 ,8) kW/m <sup>2</sup> : .....	Erreur ! Signet non défini.
Les graphes de l'effet thermique de réservoir 3000m2 : .....	Erreur ! Signet non défini.
III.5.6. évaluation de risque : .....	Erreur ! Signet non défini.
III.5.7. Distances de dangers (effets thermiques): BLEVE d'un réservoir butane (2000m3) 40% : .....	Erreur ! Signet non défini.
Conclusion : .....	Erreur ! Signet non défini.
Conclusion générale.....	50

## *Liste d'abréviation*

**UVCE : Unconfined Vapor Cloud Explosions**

**INERIS : Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques**

**APR : Analyse préliminaire des risques**

**ED : Étude de dangers :**

**AdD : Analyse d'arbre de défaillance**

**AdE : Analyse d'arbre d'événements**

**HAZOP: Hazard and Operability Study**

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

**GPL : Gaz de pétrole liquéfié**

**GNL : Gaz naturel liquéfié**

**NH<sub>3</sub> : Ammoniac anhydre liquéfié**

**CO<sub>2</sub> : Dioxyde de carbone liquéfié**

***I* : Flux reçu par la cible (kW/m<sup>2</sup>)**

***Fview* : Facteur de forme**

***ra*: Facteur de transmissivité atmosphérique**

***E*: Pouvoir émissif de la flamme**

***d* : Distance de la cible à la source**

**RH : Taux d'humidité relative de l'air**

***rb* : Rayon de boule de feu**

**Hb: Hauteur de boule de feu**

**tb: Durée de boule de feu**

***fs* : Fraction de chaleur émise par radiation**

***m*: Masse d'hydrocarbure**

**$\Delta H_c$ : Pouvoir calorifique du produit**

**PSat : Pression d'éclatement**

**SEI : Seuil des effets irréversibles**

**SEL : Seuil des effets létaux**

**SELS : Seuil des effets létaux significatifs**

**BLEVE:Boiling liquid expanding vapor explosion**

# Liste des figures

## CHAPITRE I

<u>Fig.01 : Différence entre risques et danger. [ qualitiso.2020]</u> .....	3
<u>Fig.02 Principe de phénomène UVCE [previnfo.net]</u> .....	4
<u>Figure03 Explosion de feu</u> .....	5
<u>Fig04 Classification des principales méthodes d'analyse de risque.</u> .....	8
<u>Fig05 Processus de la gestion des risques Source /référence..... mentionner la figure dans le texte...</u>	8
<u>Fig 06 L'effet d'explosion GNL1/k référence mentionner la figure dans le texte</u> .....	10

## CHAPITRE II

<u>Fig. 01 : Les phases du phénomène de BLEVE Référence</u> .....	13
<u>Fig. 02 : Processus de réalisation du BLEVE [Hellas ,2021] [INERIS DRA006., 2002]</u> .....	14
<u>Fig.03 : les effets thermiques BLEVE froid et BLEVE chaud (aida.ineris.fr).</u> .....	15
<u>Fig. 04 : Réservoirs de stockage (equip-fluides)</u> .....	17
<u>Fig. 05 : camion-citerne</u> .....	18
<u>Fig. 06 : Représentation schématique de la boule de feu (HELLAS 2021)</u> .....	22

## CHAPITRE III

<u>Fig01 : Localisation du site d'étude au niveau de la Commune de Ouled Rahmoun.</u> .....	27
<u>Fig02. Localisation du projet sur l'image satellitaire Google map.</u> .....	28
<u>Fig03. Localisation du projet sur l'image satellitaire Google map.</u> .....	28
<u>Fig.03 : Température moyenne mensuelle (1996-2006).</u> .....	29
<u>Fig.04 : La rose des vents (1996-2006).</u> .....	30
<u>fig.05 : shema de stockage projete</u> .....	33
<u>fig.06 : exemple de scenarion de BLEVE</u> .....	36
<u>Fig. 07. Durée et la hauteur de vie de boule de feu en taux a remplissage 85% et 40%</u> .....	39
<u>Fig.08 : distance pour l'effet thermique a taux remplissage 40%</u> .....	40
<u>Fig 09. distance pour l'effet thermique a taux remplissage 85%</u> .....	41
<u>Fig. 10. Durée et la hauteur de vie de boule de feu en taux a remplissage 85% et 40%</u> .....	42
<u>Fig 11. distance pour l'effet thermique de taux a remplissage 85%</u> .....	43
<u>Fig 12. distance pour l'effet thermique de taux a remplissage 85%</u> .....	43
<u>fig.13 : la Distances aux seuils (3 ,5 ,8) kW/m<sup>2</sup></u> .....	45
<u>fig.14 : la Distances aux seuils (3 ,5 ,8) kW/m<sup>2</sup></u> .....	46
<u>fig.15 : la Distances aux seuils (3 ,5 ,8) kW/m<sup>2</sup></u> .....	47
<u>fig.16 : la Distances aux seuils (3 ,5 ,8) kW/m<sup>2</sup></u> .....	48

# Liste des tableaux

## CHAPITRE III

Tableau.01 : Les caractéristiques des réservoirs.....	33
Tableau.02 : Caractéristiques du butane.....	34
Tableau 03 : les caractéristiques de Bleve .....	38
Tableau 04 : l'effet thermique en distance.....	39
Tableau.05 : les caractéristiques de Bleve.....	40
Tableau 06 : l'effet thermique en distance.....	41
Tableau07 : Les seuils de l'effet thermique.....	43
Tableau 08 : couleur des seuils avec distance.....	44
Tableau 09 : couleur des seuils avec distance.....	45
Tableau 10 : couleur des seuils avec distance.....	46
Tableau 11 : couleur des seuils avec distance.....	47

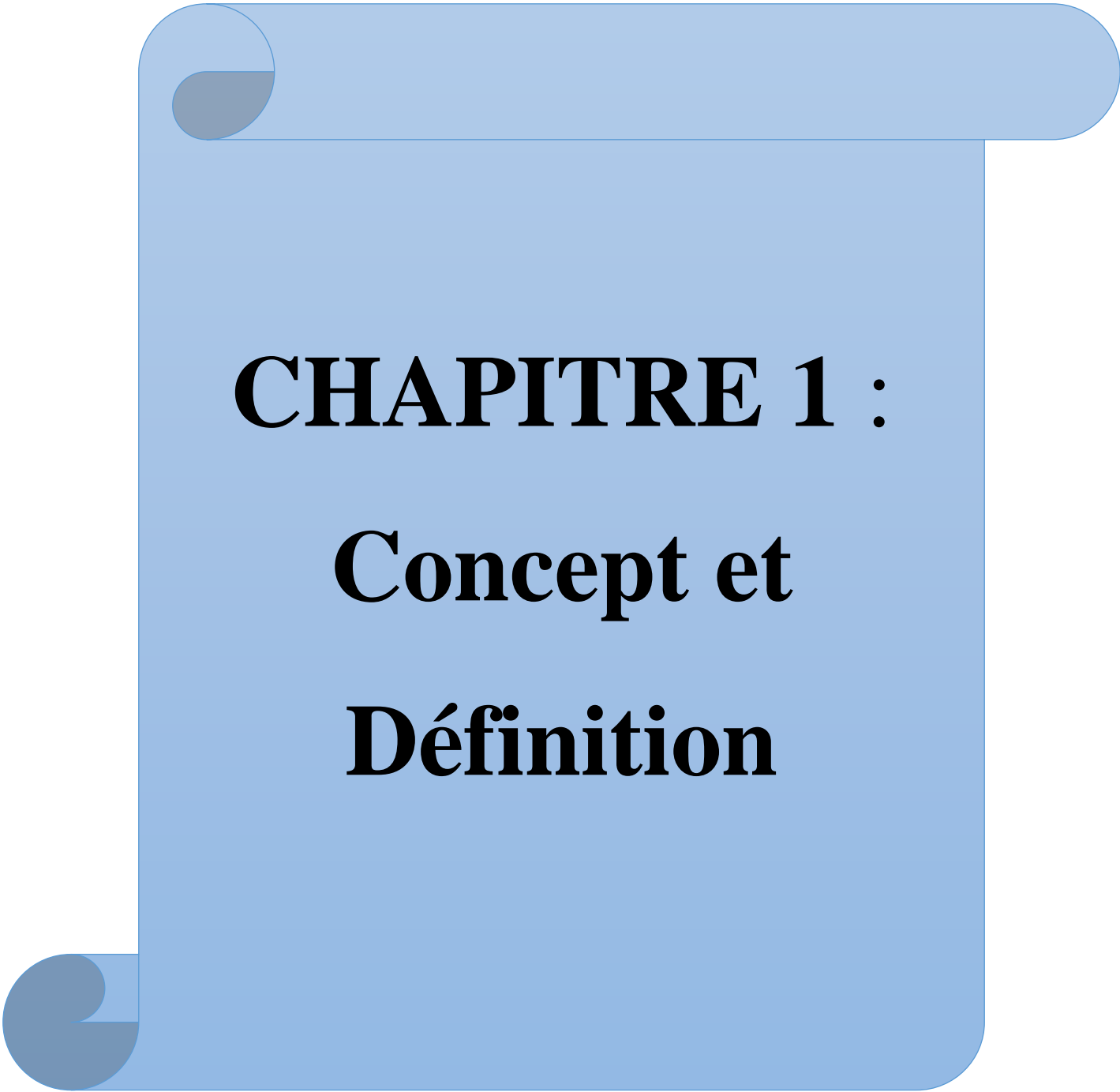


# ***Introduction Générale***

## **Introduction Générale :**

Les accidents majeurs, tels que les explosions et les BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion), sont des événements catastrophiques aux conséquences dévastatrices pour les êtres humains et l'environnement. Les explosions peuvent résulter de fuites de gaz, d'erreurs de manipulation de substances chimiques, de défaillances d'équipements ou d'actes intentionnels, causant des pertes humaines, des blessures graves et des dommages matériels importants. Le BLEVE, quant à lui, survient lorsqu'un réservoir de liquide inflammable ou de gaz liquéfié sous pression se rompt sous l'effet de la chaleur, provoquant une vaporisation explosive et un incendie. Les conséquences de ces incidents incluent des impacts psychologiques sur les survivants, la contamination de l'environnement et des pertes économiques. La prévention repose sur une surveillance rigoureuse, la formation du personnel, l'installation de systèmes de détection et de suppression des incendies, et des plans d'urgence bien établis. Une gestion proactive et une collaboration étroite entre toutes les parties prenantes sont cruciales pour réduire la fréquence et l'impact de ces catastrophes.

La modélisation des accidents majeurs, tels que les explosions et les BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion), est essentielle pour comprendre les mécanismes sous-jacents, prévoir les impacts potentiels et élaborer des stratégies de prévention et d'intervention efficaces. Elle permet de simuler divers scénarios, d'évaluer les risques et de tester les mesures de sécurité avant leur mise en œuvre. Cependant, cette modélisation présente des défis significatifs, notamment la complexité des phénomènes physiques à reproduire, la nécessité de données précises et complètes, et la difficulté d'intégrer des variables humaines et environnementales. Les modèles doivent être constamment mis à jour pour refléter les dernières avancées technologiques et les nouvelles connaissances en matière de sécurité. De plus, il est crucial de valider les modèles par des expériences pratiques et des données réelles pour garantir leur fiabilité. Malgré ces défis, la modélisation reste un outil indispensable pour améliorer la sécurité et minimiser les risques associés aux accidents majeurs.

A blue scroll graphic with a white background, featuring a dark blue shadow on the top-left and bottom-left corners, suggesting it is unrolled. The text is centered on the white background.

**CHAPITRE 1 :**  
**Concept et**  
**Définition**

# CHAPITRE 1 : Concept et Définition

---

## **Introduction :**

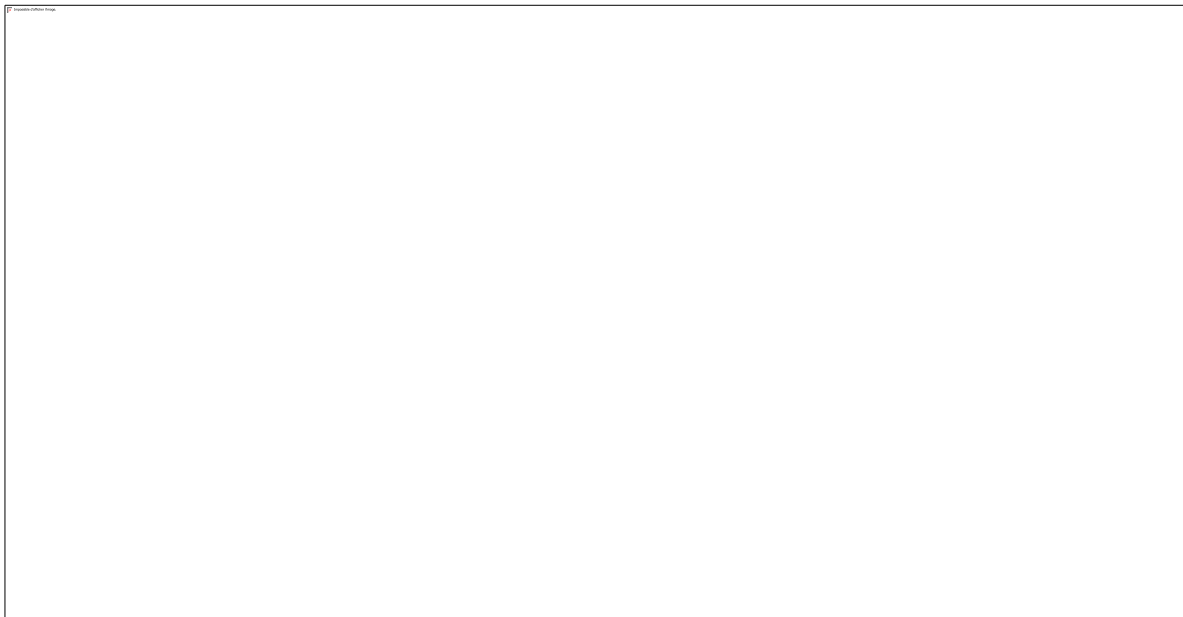
Les accidents majeurs sont des événements soudains et graves qui peuvent causer des dommages importants aux personnes, à l'environnement ou aux biens. Ils peuvent survenir dans divers contextes tels que l'industrie, les transports, ou même les catastrophes naturelles. Ces incidents peuvent avoir des conséquences dévastatrices et nécessitent souvent une réponse rapide et coordonnée pour minimiser les dommages et protéger les populations concernées.

## **I.1-Définition :**

**I.1.1-Danger :** Est toute source potentielle de dommage, de préjudice ou d'effet nocif à l'égard d'une chose ou d'une personne **Fig.01.** [Catherine-Isabelle,D.G.(1992)]

**I.1.2-risque :** La possibilité de survenance d'un dommage résultant d'une exposition à un danger **Fig.01 .**

[KEBIR,M.A.Z.(2022)]



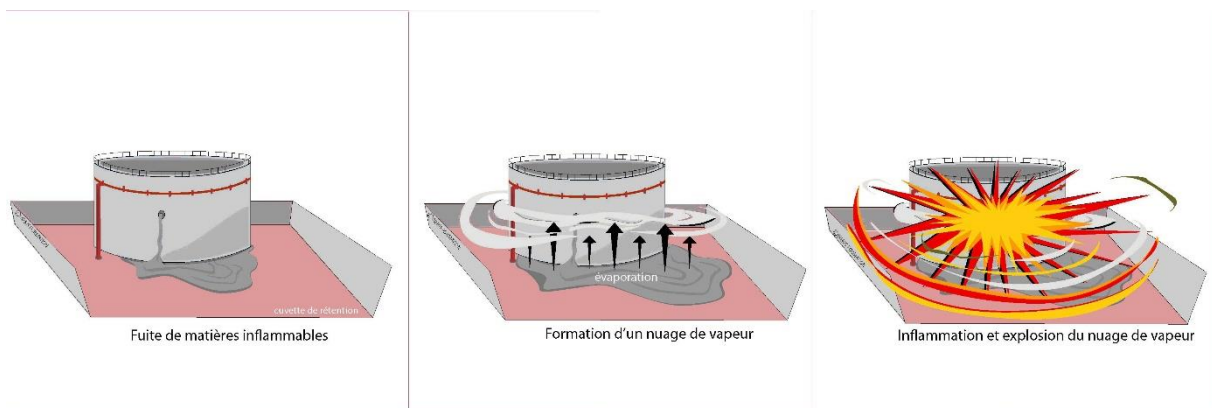
**Fig.01 : Différence entre risques et danger. [ qualitiso.2020]**

**I.1.3-Risque majeur:** Est la possibilité d'un événement d'origine naturelle ou anthropique, dont les effets peuvent mettre en jeu un grand nombre de personnes, occasionner des dommages importants et dépasser les capacités de réaction de la société. [www.yonne.gouv.fr]

**I.1.4-Risque industriel:** Fait référence aux dangers potentiels associés aux activités industrielles et aux installations industrielles. Ces risques peuvent inclure des accidents tels que les fuites de produits chimiques, les explosions, les incendies, les déversements toxiques, les défaillances d'équipement, ainsi que des problèmes environnementaux tels que la pollution de l'air, de l'eau et du sol.

## CHAPITRE 1 : Concept et Définition

**I.1.5- L'UVCE: "Explosion d'un nuage de vapeur non confiné":** Une explosion de nuage de vapeurs non confinées (UVCE) est une explosion qui se produit lorsqu'un nuage de vapeurs inflammables s'enflamme dans un environnement ouvert sans contraintes physiques. Cela se produit lorsqu'un liquide ou un gaz inflammable est libéré dans l'atmosphère, formant un nuage qui se mélange à l'air ambiant. S'il est enflammé, ce mélange subit une combustion rapide, entraînant une violente libération d'énergie sous forme d'explosion. Les UVCE présentent des dangers importants dans les environnements industriels où des substances inflammables sont manipulées, nécessitant des mesures de sécurité rigoureuses pour atténuer les risques **Fig.02. [INERIS]**



**Fig.02 Principe de phénomène UVCE [previnfo.net]**

**I.1.6-BOILOVER :** Le phénomène de Boilover désigne une éruption soudaine et violente de liquide chaud d'un conteneur, se produisant généralement lorsque de l'eau est chauffée dans un récipient jusqu'à ce qu'elle vaporise rapidement, créant ainsi une explosion de vapeur. Ce phénomène est l'origine de violentes projection de combustible, du bouillonnement du contenu du bac, de l'extension des flammes et de la formation d'une boule de feu. **[INERIS]**

Trois scénarios sont afférents au phénomène de boilover :

- Feu du bac avec création d'une de chaleur
- Feu de la cuvette de rétention contenu le réservoir et vaporisation d'un fond d'eau après un échange thermique de long durée par rayonnement et conduction entre le foyer et le réservoir.
- Feu du bac et de la cuvette de rétention cumulant les deux effets mentionnés ci-dessus.

**I.1.7-explosion:** C'est un phénomène de désintégration violente et instantanée, accompagné de bruit et parfois d'éclats, suite à des conditions favorables à une explosion, à travers une libération soudaine d'énergie plus ou moins confinée, plus ou moins maîtrisée, avec ou sans conséquences externes. L'explosion peut donner lieu à une onde de surpression (onde de choc), et à la formation d'une boule de feu. Voici Types d'explosions : **[INERIS]**

- Explosions chimiques

# CHAPITRE 1 : Concept et Définition

---

- Explosion physique



**Figure03 Explosion de feu**

## **I-2-les accidents majeurs :**

**I-2.1- Définition de l'accident :** L'accident est défini comme un événement imprévu et soudain, ayant entraîné des dégâts corporels et matériels. Les dégâts provoqués peuvent être plus ou moins importants, à caractère temporaire ou permanent. On distingue, suivant le lieu et l'origine, les accidents domestiques, les accidents du travail pour lesquels il existe une législation et une réglementation particulières, les accidents de la route, les accidents dus aux transports, les accidents de montagne, les accidents technologiques, etc. [ouvrage de **Risque et Accident industriels majeurs 2006** ]

Le caractère a priori imprévisible de l'accident semble quelque peu désarmant et inquiétant, mais les analyses et les études menées après des catastrophes montrent que s'il existe un risque, un jour, ce risque peut se traduire par un accident, dès lors qu'un certain nombre de paramètres sont réunis. Une ville située sur une faille tectonique peut, à tout moment, être détruite par un tremblement de terre, reste à savoir quand et avec quelle magnitude ; les Californiens vivent toujours dans l'attente du « big one », le grand séisme ; les régions côtières peuvent à tout moment subir des raz-de-marée destructeurs.

**I.2.2- Les accidents naturels majeurs ou catastrophes naturelles:** Egalement appelés accidents industriels majeurs ou accidents majeurs en matière de sécurité, se réfèrent à des événements graves qui peuvent avoir des conséquences importantes sur la santé publique, l'environnement ou les biens matériels. Ces événements sont souvent caractérisés par un niveau élevé de dangerosité, une ampleur significative et des conséquences potentiellement catastrophiques. Une autre caractéristique importante d'un accident majeur est l'incertitude et l'imprévisibilité. Bien que certains accidents puissent être anticipés grâce à des analyses de risques et des mesures préventives, la nature exacte, le moment, et l'ampleur d'un accident majeur peuvent souvent être difficiles à prédire avec précision. [INERIS]

Deux critères caractérisent le risque majeur:

# **CHAPITRE 1 : Concept et Définition**

---

- Une faible fréquence : L'homme et la société peuvent être d'autant plus enclins à l'ignorer que les catastrophes sont peu fréquentes.
- La gravité : Nombreuses victimes et ou dommages importants aux biens et aux personnes

Les exemples d'accidents majeurs incluent les explosions industrielles, les déversements de produits chimiques toxiques, les accidents nucléaires, les catastrophes naturelles majeures, etc. La gestion efficace des risques et la prévention des accidents majeurs sont essentielles pour protéger la sécurité publique et l'environnement.

Voici quelques exemples de catastrophes naturelles majeures : [INERIS]

- 1999 : tempête du 26 décembre en France ;
- 1999 : avalanche de Mon troc près de Chamonix ;
- 2003 : inondation catastrophique en Europe (département du Grand) ;
- 2004 : tsunami dans l'océan Indien ; cotes de l'Indonésie, de la Thaïlande, de l'Inde et du Sri-Lankais fortement endommagées ; près de 300 000 morts ;
- 2005 : cyclone ouragan Katrina sur les côtes de la Louisiane et de Floride (Etats-Unis) ; plus de 5 000 morts et plus de 50 milliards de dollars de dégâts.

**I.2.3- Les accidents technologiques majeurs:** Se réfèrent à des incidents graves résultant de l'utilisation, du fonctionnement ou de la défaillance de technologies complexes. Ces incidents peuvent avoir des conséquences importantes sur la sécurité publique, l'environnement et l'économie, Ces accidents technologiques majeurs nécessitent une gestion efficace des risques, des mesures de prévention robustes et une réponse rapide en cas d'urgence pour minimiser les impacts sur la sécurité publique et l'environnement. Voici quelques exemples d'accidents technologiques majeurs : [INERIS]

- 2001 : explosion de l'usine d'AZF à Toulouse (France)
- 2001 : accident du tunnel de Saint-Gothard (suisse) ; 11 morts
- 2002 : naufrage du pétrolier prestige : très importante des côtes du Portugal jusqu'à la Bretagne par du fioul lourd
- 2004 : explosion l'explosion de complexe GNLK1 de Skikda survenu le 19-01-2004
- 2005 : Accident du 04 Octobre 2005 RTE "Bacs S106 & S105
- 2006 : Accident de TP 159 au puits de gaz NEZLA 19

## **I.3. Les méthodes d'identification des accidents majeurs :**

L'identification des accidents majeurs est une étape cruciale dans la gestion des risques industriels et environnementaux. Elle permet aux organisations et aux autorités de comprendre les risques associés à des activités spécifiques et de mettre en place des mesures préventives pour éviter ces accidents ou en

## **CHAPITRE 1 : Concept et Définition**

---

minimiser les conséquences. Plusieurs méthodes peuvent être utilisées pour identifier les potentiels accidents majeurs :

- ❖ Analyse préliminaire des risques (APR) [INERIS] : C'est une méthode qualitative initiale visant à identifier les risques potentiels dans une installation ou un projet. Elle permet d'obtenir une vue d'ensemble des dangers possibles.
- ❖ Étude de dangers (ED): Plus détaillée que l'APR, l'étude de dangers évalue les risques d'accidents majeurs en analysant les scénarios d'accidents, leurs probabilités et leurs conséquences potentielles
- ❖ Analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité (AMDEC) : Technique systématique pour identifier les modes de défaillance potentiels, leurs causes et effets sur le système global.
- ❖ Analyse d'arbre de défaillance (AdD) : Méthode qui utilise un diagramme pour représenter les différentes chaînes d'événements pouvant mener à un accident, en partant d'un événement initiateur jusqu'aux événements finaux.
- ❖ Analyse d'arbre d'événements (AdE) : Similaire à l'AdD, cette méthode examine les différents chemins possibles à partir d'un événement initiateur, en prenant en compte les défaillances des systèmes de protection et de mitigation
- ❖ La méthode HAZOP ou Analyse de perturbation, largement utilisée dans l'industrie pétrochimique et chimique est une analyse systématique et formalisée d'identification des risque et des problèmes d'opérabilité d'installation ou de procédés, l'identification systématique et la détermination des causes et des conséquences des perturbations susceptibles de survenir au cours de l'exploitation des installations permettent en fait une analyse de l'intégration opérationnelle du système étudié.

Les conclusions des différentes méthodes d'analyse des risques appliquées au site ont été regroupées afin de définir la liste des scénarios d'accidents majeurs susceptibles de survenir sur le site **Fig04**.

# CHAPITRE 1 : Concept et Définition

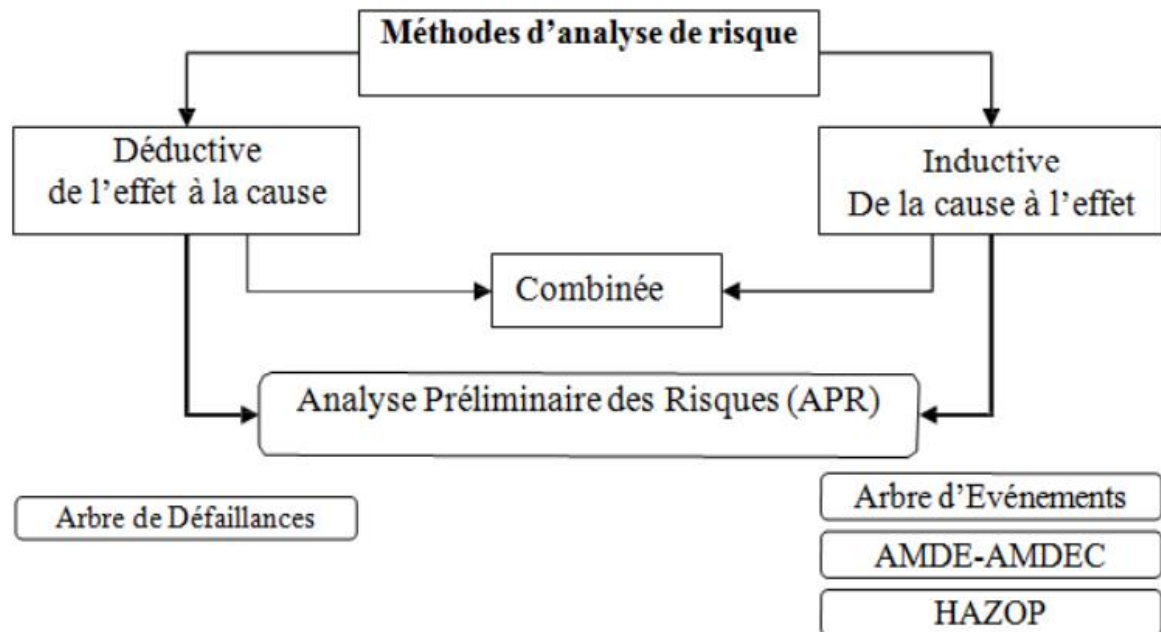


Fig04 Classification des principales méthodes d'analyse de risque. [Document Gestion et la méthode d'analyse des risques]

## I.4. Les démarches de gestion de risques

Les démarches de gestion de risques permettent à une entreprise d'appréhender les risques pouvant menacer l'atteinte de ses objectifs, et agir en conséquence. Pour ce faire, elle va identifier les risques, les évaluer et les analyser, pour ensuite établir des plans stratégiques de gestion de risques qui vont servir à anticiper et réduire leurs retombées.

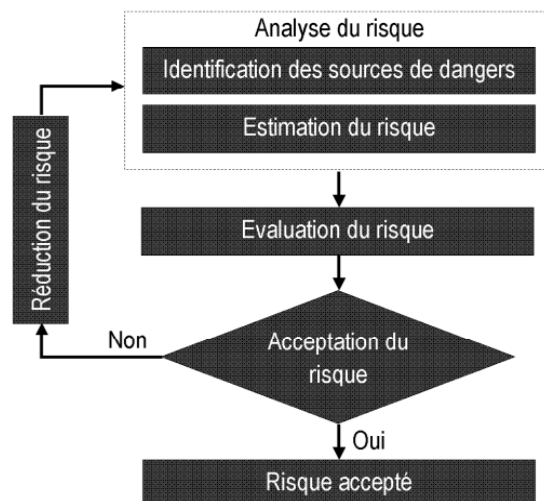


Fig05 Processus de la gestion des risques [ISO/CEI 51,1999]

**I.4.1- Analyse des risques :** Déterminez la probabilité d'occurrence d'un risque grâce à l'analyse des facteurs et à la documentation de ses conséquences potentielles.

# **CHAPITRE 1 : Concept et Définition**

---

**I.4.2- Identification des risques :** Identifiez et décrivez les risques potentiels. Il peut s'agir de risques financiers, de risques pour l'exploitation (par exemple pour la chaîne logistique), de risques liés aux projets, à l'activité et au marché, entre autres. Les risques identifiés doivent être consignés dans un registre des risques ou documentés dans un autre format.

**I.4.3- Évaluation des risques :** Déterminez l'importance d'un risque grâce aux audits internes et aux analyses de risques. Vous devrez également définir le niveau de risque acceptable ainsi que les éléments à traiter en priorité.

**I.4.4- Estimation du risque :** Est une étape essentielle dans le processus de gestion des risques. Elle consiste à évaluer la probabilité et l'impact potentiels des risques identifiés sur les objectifs de l'organisation.

**I.4.5- Réduction des risques:**

Est une composante essentielle de la gestion des risques. Elle vise à diminuer l'impact potentiel des risques identifiés sur l'organisation.

## **I.5. Présentation des accidents majeurs en Algérie:**

**I.5.1 l'explosion de complexe GNLK1 de Skikda survenu le 19-01-2004:** Une explosion se produit vers 18h40 dans un complexe pétrochimique portuaire, situé sur la côte et comprenant 6 unités de traitement de gaz et d'hydrocarbures ; 12 000 personnes travaillent sur ce site qui est en partie alimenté par du gaz et du pétrole en provenance du Sahara. [WWW. ARIA historique .COM]

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

Les effets et les conséquences de l'accident :

- 27 victimes parmi les employés dont 9 gardiens ou agents de sécurité situés dans un poste proche et 74 blessés (dont 43 sortiront le lendemain après examens).
- L'estimation des dégâts matériels se monte à 800 M de dollars.
- 3 des 6 unités de liquéfaction sont détruites. Des débris sont projetés jusqu'à 250 m du point de l'explosion mais les dégâts restent limités au site.
- Destruction totale des unités 40 – 30 –20

## CHAPITRE 1 : Concept et Définition

---

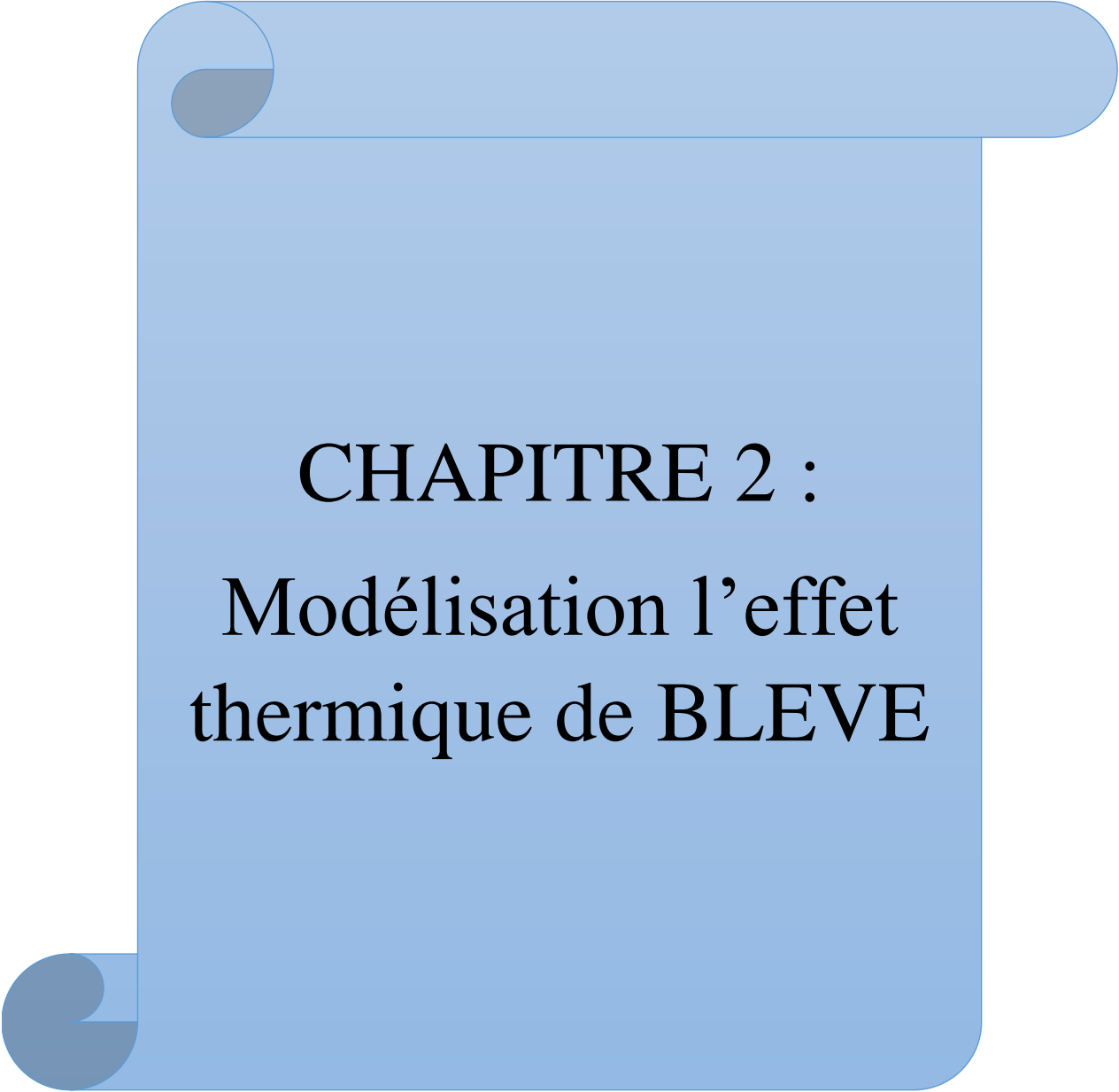
- Effondrement total de : Bâtiment de maintenance R+1, Bloc administratif R+1, Locaux de sécurité, Magasins de stockage, Ateliers et annexes **fig06**.



**Fig 06 L'effet d'explosion GNL1/k [WWW. ARIA historique .COM]**

### **I.6 Conclusion**

La gestion des risques d'accidents majeurs est cruciale pour prévenir les conséquences dévastatrices sur les personnes, les biens et l'environnement. Cela nécessite une approche proactive, comprenant l'identification des dangers, l'évaluation des risques, et la mise en œuvre de mesures de prévention, de mitigation et de préparation. Une culture de sécurité forte et une collaboration entre les parties prenantes sont également essentielles. Investir dans la gestion des risques d'accidents majeurs assure la sécurité des employés, la protection des actifs et la durabilité à long terme des organisations et de la société.

A blue scroll graphic with a white background, featuring a dark blue shadow on the top-left and bottom-left corners, giving it a three-dimensional appearance.

**CHAPITRE 2 :**  
**Modélisation l'effet  
thermique de BLEVE**

# **CHAPITRE 2 : Modélisation l'effet thermique de BLEVE**

## **Introduction:**

Les BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion), ou explosions par vaporisation instantanée de liquide en expansion, représentent l'un des risques les plus graves associés au stockage et à la manipulation de liquides inflammables et de gaz liquéfiés sous pression. Comprendre les causes et les conséquences de ces incidents est essentiel pour mettre en place des mesures préventives efficaces et des interventions d'urgence appropriées.

## **II.1-Définition de BLEVE :**

Le BLEVE est un type d'explosion qui se produit à la rupture d'un équipement contenant un liquide dont la tension de vapeur est très supérieure à la pression atmosphérique. Suite à la décompression rapide, une ébullition extrêmement violente et une vaporisation quasi instantanée d'une partie du liquide entraîne des ondes de pression semblables à une explosion. Cela concerne donc l'ensemble des liquides à l'ébullition sous pression. Par inadvertance, le terme BLEVE a été associé aux accidents survenus sur des réservoirs contenant des gaz liquéfiés inflammables, ce qui a entraîné des conséquences.. [INERIS]

a) Des ondes de pression

b) Une boule de feu

## **II.2. Les étapes de BLEVE :**

**II.2.1. Échauffement initial :** Un récipient sous pression contenant un liquide inflammable, tel que du propane, du butane ou tout autre gaz liquéfié, est chauffé par une source externe de chaleur (comme un feu)..(fig.01.a)

**II.2.2. Augmentation de la pression interne :** À mesure que le liquide dans le récipient est chauffé, sa température augmente, entraînant une augmentation de la pression interne du récipient. Si la pression dépasse la résistance mécanique du récipient, cela peut conduire à une rupture. (fig.01.b)

**II.2.3. Rupture du récipient :** Lorsque le récipient se rompt, le liquide sous pression se vaporise instantanément, libérant une grande quantité d'énergie en très peu de temps. Ce processus rapide d'ébullition produit une explosion violente. (fig.01.c)

**II.2.4. Formation de la boule de feu :** Si le liquide libéré est inflammable et qu'il y a une source d'ignition, une grande boule de feu peut se former. La combustion du gaz vaporisé produit une intense radiation thermique. (fig.01.d)

## CHAPITRE 2 : Modélisation l'effet thermique de BLEVE

**II.2.5. Onde de choc :** L'explosion initiale génère une onde de choc qui se propage dans l'air, provoquant des dégâts mécaniques aux structures environnantes et représentant un danger pour les personnes à proximité.

**II.2.6. Projection de débris :** La rupture du récipient peut projeter des fragments métalliques et autres débris à grande vitesse, augmentant le potentiel de dégâts matériels et humains.

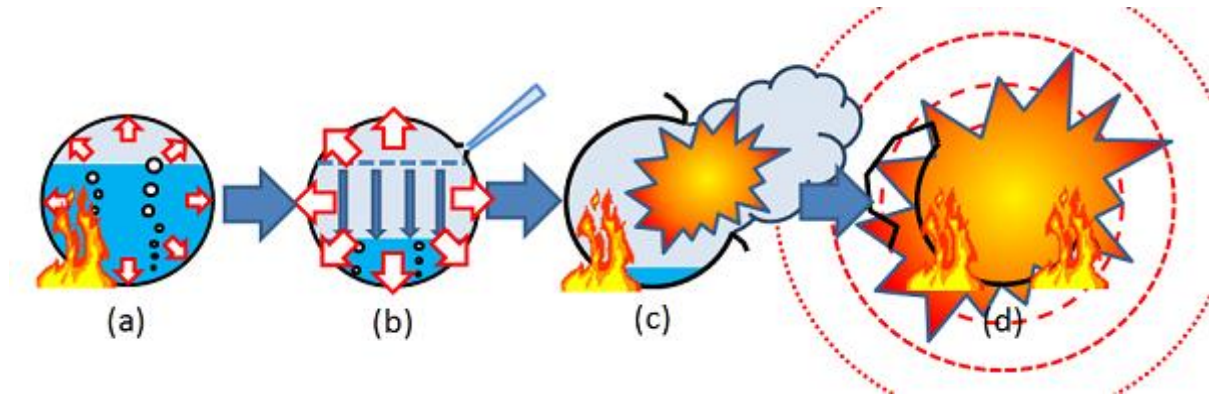


Fig. 01 : Les phases du phénomène de BLEVE [D.HASSANI 2021]

**II.3.Processus de réalisation du BLEVE :** Ce phénomène d'éclatement des réservoirs peut se réaliser en plusieurs phases successives ou simultanées comme représentées par la **figure 02**

## CHAPITRE 2 : Modélisation l'effet thermique de BLEVE

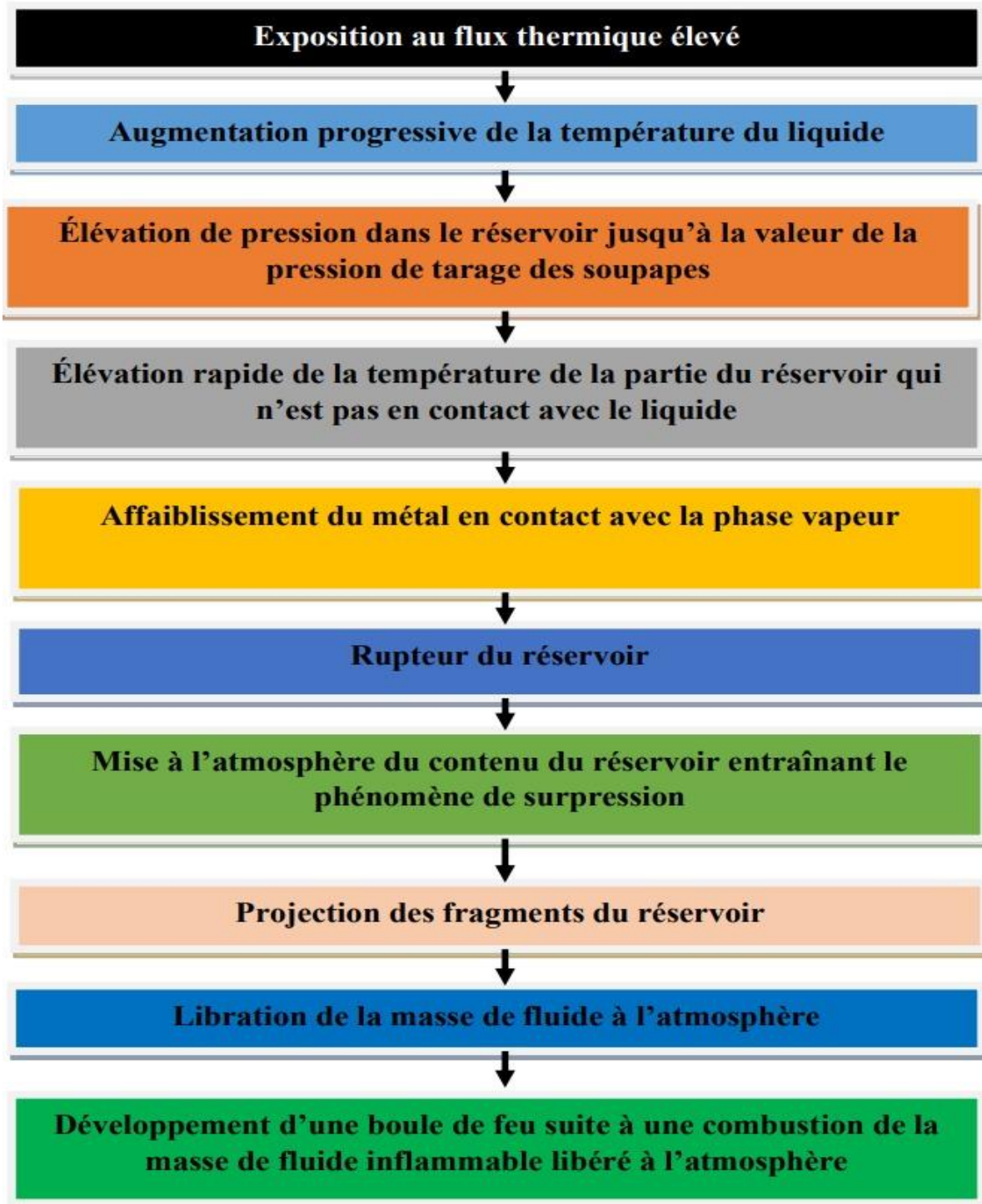


Fig. 02 : Processus de réalisation du BLEVE [Hellas ,2021] [INERIS DRA006., 2002]

### II.4. Types de phénomène BLEVE:

1. **BLEVE froid** : Le BLEVE froid (Fig.03) se produit lorsque la rupture du réservoir contenant du GPL se produit alors que la température du fluide est inférieure à la température limite de surchauffe (TLS) ça il s'appelle Bleve froid. [Staff.univ-batna2.dz S. CHEBIRA]

## CHAPITRE 2 : Modélisation l'effet thermique de BLEVE

### Caractéristiques :

- **Conditions** : La transformation se produit à des températures en dessous de la TLS du produit, ce qui signifie que le liquide est relativement froid.
  - **Conséquences** : Lors de la rupture du réservoir, le liquide sous pression se vaporise instantanément en raison de la décompression rapide, mais comme la température est inférieure à la TLS, la quantité de vapeur générée est moins importante par rapport à un BLEVE chaud.
2. **BLEVE chaud** : Un BLEVE chaud (**Fig.03**) se produit lorsque la rupture du réservoir contenant du GPL survient alors que la température du liquide est supérieure à la température limite de surchauffe (TLS) ça il s'appelle Bleve chaud.

### Caractéristiques :

- **Conditions** : La transformation se produit à des températures au-dessus de la TLS du produit, indiquant que le liquide est surchauffé.
- **Conséquences** : Lors de la rupture du réservoir, le liquide surchauffé se vaporise de manière extrêmement rapide et violente, générant une grande quantité de vapeur et une surpression significative. Cela entraîne des effets plus destructeurs, comme une grande boule de feu et une onde de choc intense.

### II.4.3. Différences entre BLEVE froid et BLEVE chaud :

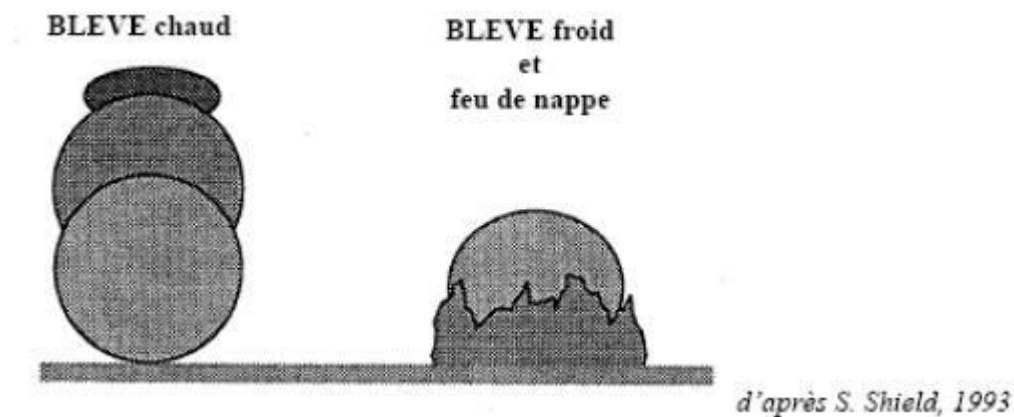


Fig.03 : les effets thermiques BLEVE froid et BLEVE chaud (aida.ineris.fr).

- **Intensité de l'explosion** : Un BLEVE chaud est généralement plus violent qu'un BLEVE froid en raison de la plus grande quantité de vapeur générée par l'évaporation du liquide surchauffé.

## ***CHAPITRE 2 : Modélisation l'effet thermique de BLEVE***

---

- **Boule de feu** : Un BLEVE chaud est plus susceptible de produire une grande boule de feu si le contenu du réservoir est inflammable, car la vapeur chaude s'enflamme plus facilement et plus intensément.
- **Onde de choc** : La surpression et l'onde de choc générées par un BLEVE chaud sont plus intenses, entraînant des dommages plus étendus.

### **II.5.les causes de BLEVE :**

- **Agression mécanique** : Il est possible que la corrosion affaiblisse la structure des réservoirs de stockage de gaz, ce qui augmente le risque de défaillance mécanique. [Roberts, A. F. (1982) ]
- **Agression thermique** : Les BLEVE peuvent aussi survenir dans les réservoirs de gaz en raison des sources de chaleur comme les feux de torche, les incendies de nappe ou les températures élevées. [API Standard 2510]
- **Sur-remplissage du réservoir** : Une augmentation de la pression interne peut résulter d'un sur-remplissage des réservoirs de gaz, ce qui augmente le risque de BLEVE. [Lenoir, D., & Davenport, J. A. (1993)]

### **II.6.Produits concernes :**

Il s'agit des gaz liquéfiés combustibles tels que :

- **Gaz liquéfiés** : Gaz de pétrole liquéfié (GPL) : comme le propane et le butane, largement utilisés comme carburants domestiques, industriels et automobiles.
- **Gaz naturel liquéfié (GNL)** : utilisé comme carburant pour les véhicules, ainsi que dans l'industrie et le transport maritime.
- **Ammoniac anhydre liquéfié** : utilisé dans l'industrie chimique comme réfrigérant, engrais et agent de nettoyage.
- **Dioxyde de carbone liquéfié (CO2)** : utilisé dans diverses applications industrielles, notamment comme réfrigérant, agent d'extinction d'incendie et dans la production alimentaire et des boissons.
- **Chlorure de méthylène liquéfié** : utilisé comme solvant dans divers processus industriels.

#### **Liquides inflammables :**

- **Essence** : utilisée comme carburant pour les véhicules à moteur.
- **Diesel** : utilisé comme carburant pour les moteurs diesel et dans diverses applications industrielles.
- **Kérosène** : utilisé comme carburant pour les avions et les turbines à gaz, ainsi que dans le chauffage et l'éclairage.

## **CHAPITRE 2 : Modélisation l'effet thermique de BLEVE**

- **Alcools** : comme l'éthanol, utilisé comme carburant et dans l'industrie chimique pour la production de divers produits.
- **Produits chimiques inflammables** : comme le méthanol, l'acétone, etc., utilisés dans divers processus industriels et comme solvants.

### **Autres produits liquides sous pression :**

- **Eau chaude** : dans les chaudières industrielles et les systèmes de chauffage.
- **Fluides hydrauliques** : utilisés dans les équipements hydrauliques pour la transmission de puissance.

### **II.7. Equipements concernés :**

Le BLEVE concerne les équipements aériens contenant ces gaz liquéfiés sous pression :

**Réservoirs de stockage** : Les réservoirs de stockage (**Fig. 04**) de liquides inflammables ou de gaz liquéfiés sont l'un des principaux équipements associés aux BLEVE. Cela peut inclure des réservoirs souterrains ou aériens utilisés pour stocker des produits tels que le GPL, le GNL, l'essence, le diesel, etc.

**Le réservoir de stockage de GPL** : conformément à la réglementation technique (GG 1257 B' /3.9.03), est un récipient métallique sous pression stable, destiné au stockage de gaz, de plus de 150 L, cylindrique ou sphérique, qui répond aux exigences de la directive 97/23/CE pour les équipements sous pression.

**[Directive 97/23/CE]**



**Fig. 04 : Réservoirs de stockage (equip-fluides)**

## CHAPITRE 2 : Modélisation l'effet thermique de BLEVE

**Cylindres de stockage :** Les cylindres de stockage (Fig. 04), utilisés pour stocker et transporter des gaz comprimés ou liquéfiés, peuvent également être impliqués dans les BLEVE. Cela inclut les bouteilles de gaz utilisées dans les applications domestiques, industrielles et médicales.



Fig. 04 : cylindriques de stockage avec ensemble de gaz liquéfié comprimé

**Équipements de traitement :** Les équipements de traitement des liquides inflammables, tels que les colonnes de distillation, les échangeurs de chaleur, les réacteurs chimiques, etc., peuvent également être sujets aux BLEVE en cas de surpression ou de surchauffe.

**Citerne de transport :** Les citernes de transport (Fig. 05) utilisées pour le transport routier, ferroviaire ou maritime de liquides inflammables ou de gaz liquéfiés peuvent être impliquées dans des accidents de BLEVE en cas d'impact, de renversement ou de surchauffe.



Fig. 05 : camion-citerne

## ***CHAPITRE 2 : Modélisation l'effet thermique de BLEVE***

---

**Installations de ravitaillement :** Les installations de ravitaillement en carburant, les stations-service, les dépôts de carburant et les terminaux de stockage peuvent être concernés par les BLEVE en raison de la présence de liquides inflammables et de gaz liquéfiés. **API Standard 2610]**

**Équipements de chauffage :** Les chaudières industrielles, les échangeurs de chaleur, les fours, etc., utilisés pour chauffer des liquides inflammables ou des gaz liquéfiés peuvent être associés à des risques de BLEVE en cas de surchauffe ou de défaillance du système de sécurité. **[OSHA 29 CFR 1910 SubpartR]**

**II.7.1. Les réservoirs cryogéniques de gaz liquéfiés :** Les réservoirs cryogéniques de gaz liquéfiés ne sont donc pas sujets au BLEVE car, rarement à une pression supérieure à la pression atmosphérique, et de plus protégés :

- Par le calorifuge “froid” lorsqu’ils sont métalliques
- Par l’enveloppe extérieure en béton précontraint

### **Les chaudières**

et en particulier les ballons supérieurs sont aussi concernés. Par le BLEVE. **[2005 ENSPM Formation Industrie - IFP Training]**

### **II.7.2. Calorifuge (Isolation thermique) pour les réservoirs métalliques :**

- **Fonction :** Le calorifuge, ou isolation thermique, est essentiel pour maintenir les gaz liquéfiés à des températures cryogéniques, généralement bien en dessous de la température ambiante.
- **Matériaux utilisés :** Le calorifuge est souvent constitué de matériaux à faible conductivité thermique comme la perlite, les mousses polymères, ou les isolants sous vide. Ces matériaux minimisent le transfert de chaleur de l’extérieur vers l’intérieur du réservoir, aidant à maintenir des températures extrêmement basses.
- **Avantages :** Cette isolation réduit le risque d’augmentation de la température et de pression à l’intérieur du réservoir, diminuant ainsi la probabilité d’un BLEVE. La plupart des gaz liquéfiés cryogéniques sont maintenus à une pression proche de la pression atmosphérique, ce qui réduit également les risques de surpression explosive. **[ www.metalvin.eu]**

### **II.7.3 Enveloppe extérieure en béton précontraint :**

- **Fonction :** Pour les grands réservoirs cryogéniques, une enveloppe extérieure en béton précontraint est souvent utilisée pour fournir une protection mécanique et thermique supplémentaire.
- **Structure :** Le béton précontraint est renforcé avec des câbles en acier tendus avant que le béton ne soit coulé. Cela crée une structure très robuste capable de résister à des forces internes et externes importantes.

## **CHAPITRE 2 : Modélisation l'effet thermique de BLEVE**

---

- **Avantages :** Le béton précontraint offre une protection contre les dommages mécaniques et les influences environnementales, ainsi qu'une barrière supplémentaire contre les incendies externes. Cela aide à prévenir une augmentation rapide de la température du réservoir, [ **API 620 - Design and Construction of Large, Welded, Low-Pressure Storage Tanks**]
- **7.3.2. Ballons supérieurs :**
  - **Description :** Les ballons supérieurs sont des réservoirs sous pression situés au sommet des chaudières, où la vapeur ou l'eau chaude est stockée.
  - **Risques :** Comme les chaudières, les ballons supérieurs peuvent être soumis à des conditions de surpression et de surchauffe. Leur position et leur rôle dans la gestion de la vapeur les rendent particulièrement vulnérables en cas de défaillance des systèmes de sécurité.

### **II.8. Les conséquences de BLEVE :**

- **Une boule de feu :** qui consume ou endommage ce qui se trouve à l'intérieur. Il y a ignition de la substance inflammable lors du BLEVE et une boule de feu en résulte. Il est par ailleurs possible que la substance ne s'enflamme pas lors du BLEVE mais se disperse sous forme de nuages, dans le sens du vent. Elle peut alors s'enflammer soudainement à n'importe quel moment avec des conséquences catastrophiques (UVCE).
- **Le rayonnement thermique :** un rayonnement thermique sur le voisinage immédiat de la boule de feu. Les intervenants devront donc respecter une certaine distance minimale face au réservoir afin d'être épargnés par la radiation.
- **Une Onde de pression choc (détonation) :** Le BLEVE est une explosion, il va donc générer une onde de choc (détonation), un important déplacement d'air qui va affecter l'environnement proche du réservoir.
- **Projection de débris :** La plus dangereuse des conséquences d'un BLEVE est la projection des débris. Ces derniers sont propulsés majoritairement vers les extrémités du réservoir. Cette projection est donc imprévisible et peut parfois atteindre des proportions énormes, à quelquefois plus d'un kilomètre. Même si des distances d'approches sont définies, le personnel qui intervient sur le sinistre n'est pas à l'abri des projections. La meilleure solution est donc de procéder à l'évacuation d'une zone qui a été établie, pour être sécuritaire, à 22 fois le rayon de la boule de feu. [[www.aisne.gouv.fr](http://www.aisne.gouv.fr)]
- **II.9-Modalisation de l'effet de BLEVE :**

Les modèles à flamme solide supposent que la flamme a une forme solide qui ne dégage de la chaleur que de sa surface. Les modèles prennent en compte la forme de la flamme et calculent le flux thermique en fonction de la puissance émissive de la surface, du facteur de forme et de la transmissivité atmosphérique. Ces modèles sont adoptés et implémentés dans

## **CHAPITRE 2 : Modélisation l'effet thermique de BLEVE**

la modélisation de la boule de feu (Fireball), jet enflammé (jet fire) et feu de nappe (pool fire) de façon simple à appliquer, facile à programmer et produisent des résultats relativement satisfaisants. [Hellas ,2021]

- ❖ **Calcul du flux rayonne reçu par la cible :** Dans le modèle de la flamme solide, la cible est supposée exposée au rayonnement d'une flamme de géométrie constante et depouvoir émissif homogène. Le flux qu'elle reçoit est alors déterminé grâce à la formule:

$$I = E \times F_{view} \times r_a \quad (2.1)$$

Avec :

$I$  : Flux reçu par la cible (kW/m<sup>2</sup>) ;

$F_{view}$  : Facteur de forme (-) ;

$r_a$ : Facteur de transmissivité atmosphérique (-) ;

$E$ : Pouvoir émissif de la flamme (kw/m<sup>2</sup>).

- ❖ **Facteur de transmissivite atmospherique :** Le facteur de transmissivité atmosphérique traduit le fait que les radiations émises sont en partie absorbées par l'air présent entre la surface radiante et la cible.
- ❖ **La corrélation de brzustowski et sommer :** Elle donne le meilleur compromis entre précision et complexité (API, 1973).

$$\tau_a = 0,79(100 / d)^{1/16} \times (30,5 / RH)^{1/16} \quad (2.2)$$

Où :

$d$  : Distance de la cible à la source (m) ;

$RH$  : Taux d'humidité relative de l'air (%).

- ❖ **Le pouvoir émissif boule de feu (fireball) :** L'émissivité de la boule de feu est calculée à l'aide de l'équation suivante (Roberts., 1981) :

$$E = \frac{f_s \times M \times \Delta H}{4\pi \times t_b \times r^2} \quad (2.3)$$

Avec :  $r_b$ ,  $H_b$ ,  $t_b$  et  $f_s$  doivent être calculés à partir des expressions empiriques suivantes (Crossthaite et al., 1988):

$$r_b = \left\{ \begin{array}{l} 2.9 \times M^{0.333} \text{ pour HSE} \\ 3.24 \times M^{0.325} \text{ pour TNO} \\ 0.45 M^{0.333} \text{ } M < 37000 \end{array} \right\}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} t_b = 2.59 M^{0.167} \text{ } M \geq 37000 \text{ pour HSE} \\ 0.852 M^{0.26} \text{ } \text{pour TNO} \end{array} \right\} \quad (2.8)$$

Où :

$r_b$  : Rayon de boule de feu (m);

$H_b$ : Hauteur de boule de feu (m);

## CHAPITRE 2 : Modélisation l'effet thermique de BLEVE

**tb**: Durée de boule de feu (s);

**fs** : Fraction de chaleur émise par radiation (-) ;

**m**: Masse d'hydrocarbure(Kg) ;

**$\Delta H_c$** : Pouvoir calorifique du produit (J / kg);

**PSat** : Pression d'éclatement (saturates burst pressure) (N/m<sup>2</sup>).

**Facteur de forme Fview** (-): Le facteur de forme est calculé à l'aide des équations suivantes, **Figure 06** (Van Den Bosh and Weterings., 1997) :

- **Fview** =  $(R/X)^2$
- $X = \sqrt{(H_b)^2 + x^2}$
- Où  $x$  est la distance mesurée au niveau de terre entre le centre de la boule et le récepteur(m)



Fig. 06 : Représentation schématique de la boule de feu (HELLAS 2021)

### II.9-Conclusion:

La modélisation de l'effet thermique d'une BLEVE est un outil crucial pour la gestion des risques dans les industries manipulant des liquides sous pression. Elle permet de mieux comprendre les dynamiques de l'explosion, de prévoir les impacts thermiques potentiels et de mettre en place des stratégies de mitigation efficaces pour protéger les vies humaines et les infrastructures.

Cette synthèse des modèles et formules offre une base solide pour comprendre et anticiper les impacts thermiques des explosions de type BLEVE, contribuant ainsi à la sécurité et à la gestion des risques dans les environnements industriels,

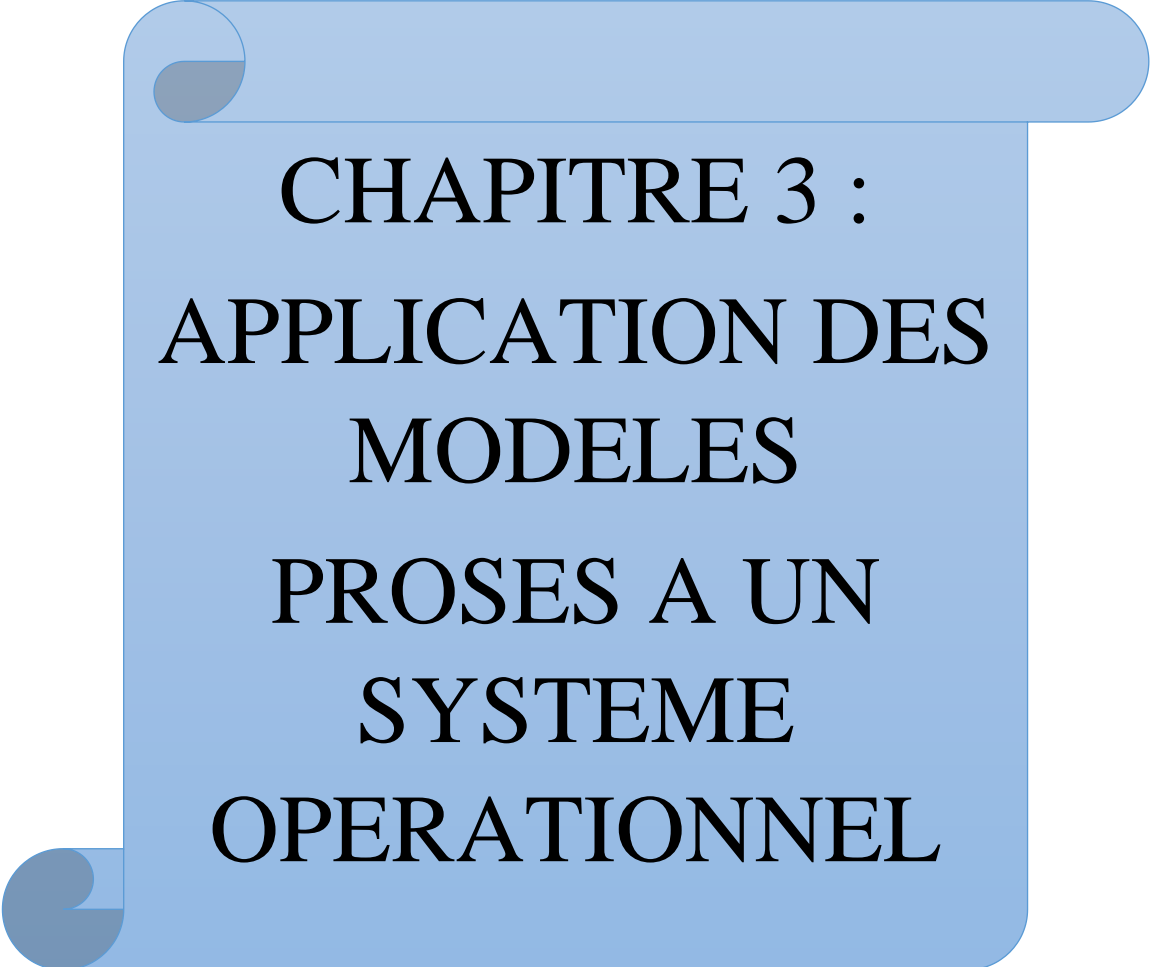
- API (1973). Modélisation des effets thermiques des explosions.
- LANNON, J. P. (1984). Corrélation pour le calcul de la transmissivité atmosphérique.
- BAGSTER, D. F. (1989). Modélisation de la dispersion des radiations thermiques.
- WAYNE. (1989). Méthode relativement simple pour estimer la transmissivité atmosphérique en fonction de la distance
- Roberts, A. (1981). Calcul du pouvoir émissif des boules de feu.

## ***CHAPITRE 2 : Modélisation l'effet thermique de BLEVE***

---

- Crossthaite, P. J., et al. (1988). Expressions empiriques pour les caractéristiques des boules de feu.
- Van Den Bosch, J., & Weterings, R. (1997). Manuel de sécurité industrielle et modélisation des incendies.

en résumé, la modélisation représente un élément fondamental dans l'approche proactive de la sécurité industrielle, intégrant les connaissances scientifiques et techniques pour prévenir et gérer les catastrophes liées aux BLEVE.

A light blue scroll graphic with rounded corners and a shadow effect, containing the chapter title text.

**CHAPITRE 3 :**  
**APPLICATION DES**  
**MODELES**  
**PROSES A UN**  
**SYSTEME**  
**OPERATIONNEL**

---



## **Introduction :**

L'étude des phénomènes de Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion (BLEVE) dans le contexte des installations de stockage de GPL revêt une importance cruciale pour la sécurité industrielle. Les BLEVE représentent des événements catastrophiques où un liquide sous pression subit une vaporisation soudaine, entraînant une explosion violente avec des conséquences potentiellement dévastatrices en termes de vies humaines et de dommages matériels. Comprendre et modéliser ces phénomènes permet non seulement de prédire leur comportement dans divers scénarios, mais aussi de développer des stratégies de prévention et d'intervention efficaces pour réduire les risques associés. Cette introduction met en lumière l'importance critique de la modélisation thermique des BLEVE, soulignant la nécessité d'une approche rigoureuse pour garantir la sécurité et la protection des installations industrielles et de leurs environnements.

## **2.Étapes de la Modélisation des BLEVE**

### **1. Collecte des Données Initiales :**

- **Propriétés du réservoir :** Volume, matériau, épaisseur des parois.
- **Conditions de stockage :** Pression, température, type de liquide.
- **Environnement :** Conditions atmosphériques, distance aux structures et aux personnes.

### **2. Définition des Scénarios de Rupture :**

- Identifier les causes potentielles de rupture (corrosion, surpression, agression thermique).
- Déterminer les scénarios réalistes de rupture et de libération de liquide.

### **3. Sélection des Modèles et des Corrélations :**

- Choisir les modèles appropriés pour la prédiction du comportement de la flamme et de la propagation des ondes de choc.
- Utiliser les corrélations empiriques pour estimer les paramètres clés (pouvoir émissif, facteur de transmissivité atmosphérique).
- Calculer le flux thermique reçu par les cibles à différentes distances avec MATLAB.

### **4. Analyse et Validation :**

## CHAPITRE 3 : APPLICATION DES MODELES PROSES A UN SYSTEME OPERATIONNEL

- Comparer les résultats des simulations avec des données expérimentales ou des incidents passés pour valider les modèles.
- Ajuster les paramètres et les hypothèses en fonction des observations.

### III.1. Description de site :

#### III.1.1 Localisation du projet :

Constantine se situe entre latitude  $36^{\circ} 17'$  et la longitude  $6^{\circ} 37'$  en plein centre de l'Est algérien, Précisément à 245 km des frontières algéro tunisiennes, à 431 km de la capitale Alger vers l'Ouest, à 89 km de Skikda vers le Nord et à 235 km de Biskra vers le Sud.

Elle est bâtie sur un majestueux ROCHER situé sur les deux côtés de OUED RAHUMEL, elle est Ainsi cernée par de véritables obstacles naturels; les repères géographiques montrent que la région N'est pas homogène par rapport à sa position et par rapport au niveau de la mer. Elle se situe entre Les deux lignes KENTOUR 400 et 800 m et 1200 m vers le Sud.

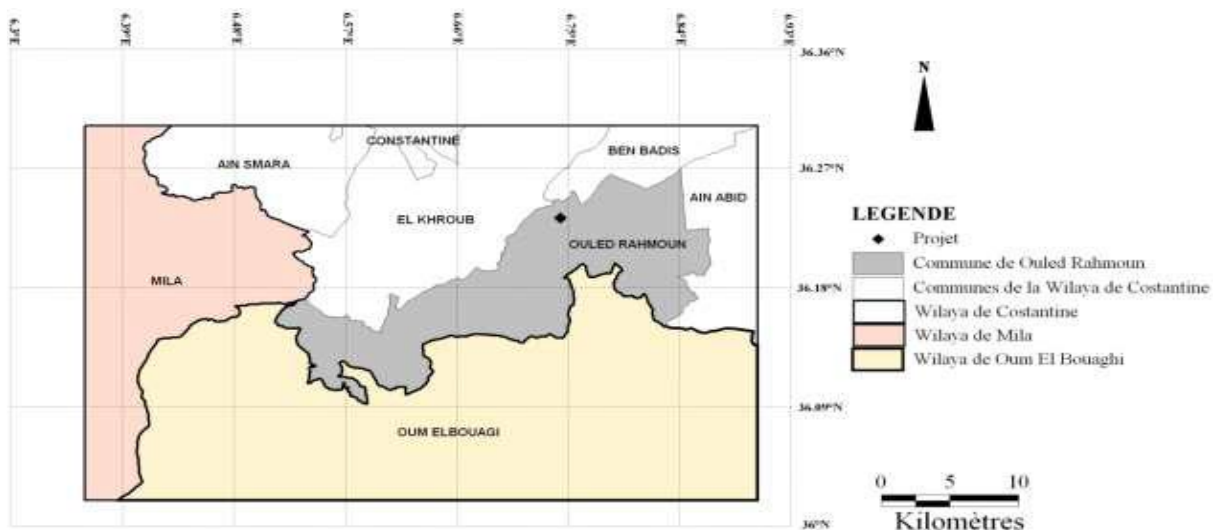
De par ses potentialités économiques et sociales, la wilaya de Constantine se place parmi les Wilayas les plus importantes du pays, elle s'étend sur une superficie de l'ordre de 2297,20 Km<sup>2</sup>.

#### III.1.2 Situation de la Commune de OULED RAHMOUN :

Le territoire de la Commune de Ouled Rahmoun (**Fig01**) est situé au sud de la wilaya de Costantine.

La Commune de Ouled Rahmoun est limitée :

- Au Nord par la commune de El Khroub et Ben Badis;
- A l'Est par la Commune de Ain Abid;
- Au Sud par la Commune de Oum El Bouagi;
- A l'Ouest par la Commune de Mila et Oum El Bouagi



**Fig01 : Localisation du site d'étude au niveau de la Commune de Ouled Rahmoun.**

## CHAPITRE 3 : APPLICATION DES MODELES PROSES A UN SYSTEME OPERATIONNEL



Fig02. Localisation du projet sur l'image satellitaire Google map.



Fig03. Localisation du projet sur l'image satellitaire Google map.

## CHAPITRE 3 : APPLICATION DES MODELES PROSES A UN SYSTEME OPERATIONNEL

### III.1.2. Description Conditions initiale de stockage :

#### 1.2.1 Température :

La température n'est jamais négative Fig.03 (partie méridionale). Sur les reliefs, des pluies peuvent dépasser les 1000 mm. Sur les parties centrales et méridionales, les précipitations sont plus faibles variant entre 767,6 et 325,5mm.

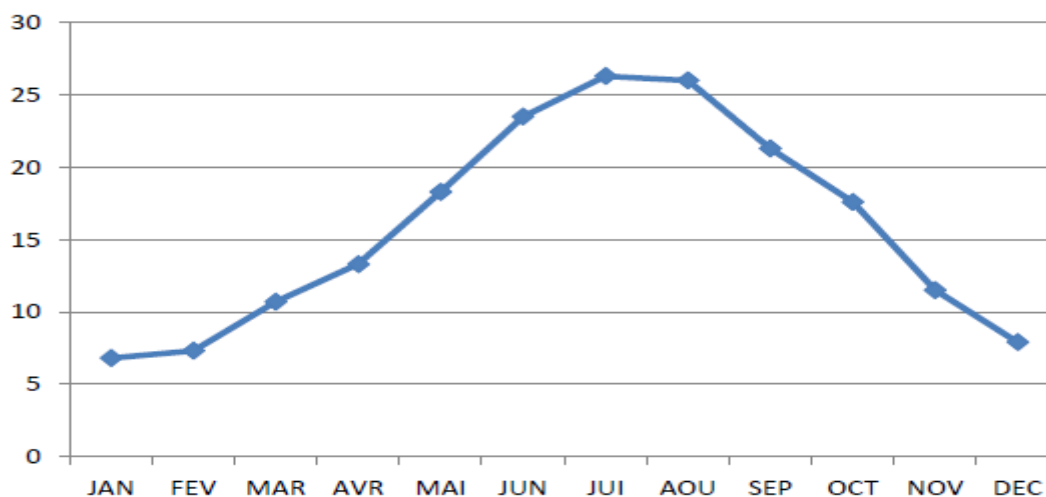


Fig.03 : Température moyenne mensuelle (1996-2006).

#### 1.2.3 Vent :

Les vents dominants sont de direction Nord et Nord-Ouest. La vitesse et la fréquence nous permettent d'estimer l'efficacité des vents dans le déplacement des vapeurs d'eau et éventuellement des poussières fines quand il s'agit de la tour de séchage. A partir des données de la station d'Ain El Bey récapitulées dans Fig.04, nous relevons que la vitesse la plus dominante varie entre 1 et 5m/s. Ces mesures indiquent que la commune est à l'abri des vents violents.

## CHAPITRE 3 : APPLICATION DES MODELES PROSES A UN SYSTEME OPERATIONNEL

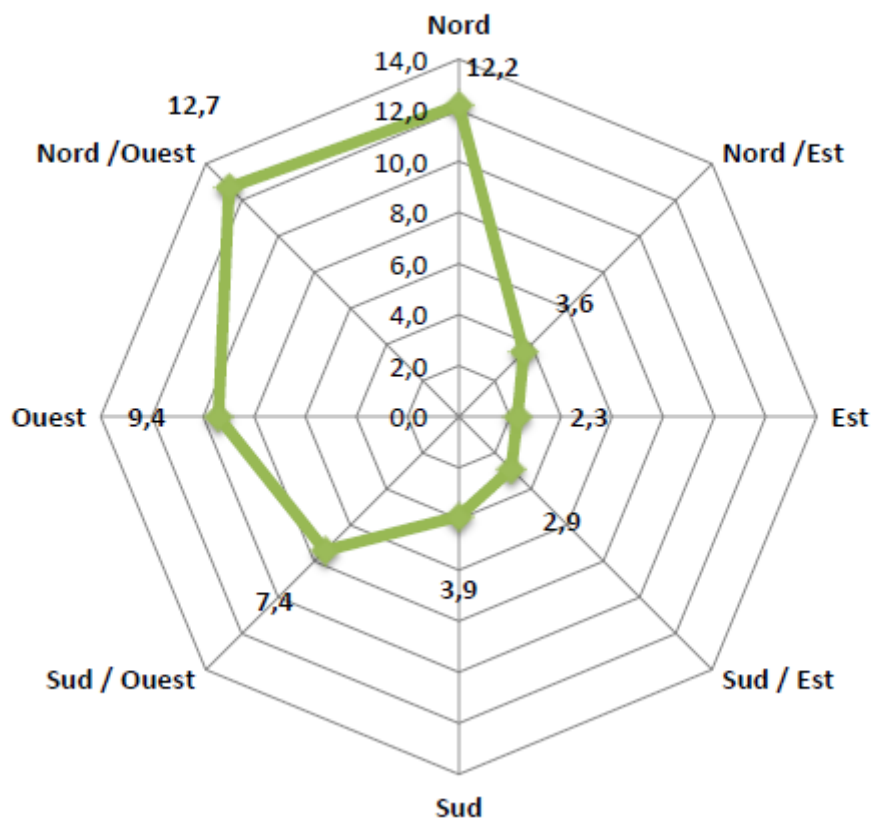


Fig.04 : La rose des vents (1996-2006).

### 1.2.4 Relief :

- **La zone montagneuse au nord :**

Ces formations sont le prolongement de la chaîne tellienne qui s'abaisse vers l'Est. Elles prennent des directions d'ensemble Sud-Ouest et Nord-Est qui sont dominées respectivement par le mont de Chettaba et le massif de Djebel Ouahch. A l'extrême Nord aux limites de la wilaya de Mila et Skikda on trouve le mont Sidi Driss qui culmine à 1364 m d'altitude.

- **La zone des bassins intérieurs :**

Cet ensemble en forme de dépression s'étend d'Est-Ouest de Ferdjioua dans la wilaya de Mila à Zighoud-Youcef. Elle est limitée au Sud par les hautes plaines avec une altitude variant de 500 à 600 m; cet ensemble composée de basses collines est entrecoupé par les vallées du RHUMEL et de Bumerzoug.

- **La zone des hautes plaines :**

Située en Sud-Est de la wilaya entre les chaînes intérieures de l'atlas tellien et l'atlas saharien, elles s'étendent sur les communes de Ain Abid et Ouled Rahmoune.

# **CHAPITRE 3 : APPLICATION DES MODELES PROSES A UN SYSTEME OPERATIONNEL**

## **III.2. DESCRIPTION DES DIFFERENTES PHASES DU PROJET :**

Le projet consiste en la réalisation des capacités de stockage GPL Vrac, de type aérien, (Butane et Propane) et l'installation des moyens de distribution par camions-citernes du Centre GPL de Khroub

La réalisation de cette station sera divisée **fig.05** en trois principales phases :

- Phase de travaux.
- Phase d'exploitation.
- Phase de post-exploitation

### **2.1.1. Phase de travaux :**

#### **2.1.2 Description du bloc administratif :**

C'est un bloc en dur, qui regroupe 07 bureaux qui sont :

- Le bureau du chef de micro centre;
- Le bureau de facturation ;
- Le bureau de comptabilité ;
- Le bureau du caissier
- Le bureau d'archive ;
- Le bureau de secrétariat.

#### **2.1.2 Atelier d'entretien :**

C'est un atelier en dur, qui sert comme un bloc de maintenance et d'entretien des équipements du CV.

#### **2.1.3. Approvisionnement en eau :**

Le CV est alimenté par le réseau d'eau potable : utilisé pour

- Les exercices de démarrage du réseau incendie,
- Le refroidissement des réservoirs de stockage de butane,
- L'arrosage des installations de GPL.

#### **2.1.4. Postes de garde :**

Le CV comprend un poste de garde, situé à l'entrée principale du CV. Le poste veille sur le Contrôle et la sécurité du site.

#### **2.1.5. Station d'avitaillement gasoil pour des besoins du site :**

Le CV dispose d'une station de distribution gasoil pour des besoins du site, elle comprend:

- Une cuve enterrée,
- Un volucompteur d'un débit maximum de 90l/min

#### **2.1.6. Accessibilité du site aux secours :**

Le CV comporte une seule entrée. Les voies de circulation ne sont pas encombrées pour permettre La circulation des engins de secours et les croisements des engins. Tout stationnement hors secteurs Réservés à cet effet est interdit, sauf pour les opérations de chargement des bouteilles pleines, de

## **CHAPITRE 3 : APPLICATION DES MODELES PROSES A UN SYSTEME OPERATIONNEL**

---

Déchargement des bouteilles vides et de dépotage des camions citernes.

### **2.1.7. La surveillance du site :**

La surveillance du site est assurée par un service permanent du personnel sur le site.

Des équipements adaptés sont également en place afin de renforcer le contrôle d'accès et la

Surveillance du site comme une clôture sur la périphérie du site et l'installation de guérites.

BEHAVE \_SAHNOUN

### **2.1.8. Description du projet :**

Le projet à réaliser comprendra les installations suivantes :

- -Deux (02) nouveaux réservoirs sphériques de stockage Butane,
- -Deux (02) nouveaux réservoirs sphériques de stockage Mixte (Butane/Propane),
- Remplacement des quatre (04) Electropompes centrifuges butane existantes par des nouvelles

Électropompes en parallèle de 100 m<sup>3</sup>/h chacune,

- -Remplacement des clapets anti-retour et filtre en Y situés à la réception des électropompes

Butane.

- Extension du réseau de la tuyauterie des raccordements GPL,
- Extension de l'installation du réseau eau anti-incendie existant,
- Extension de l'installation Electrique,
- Installation de l'Instrumentation des quatre (04) nouveaux réservoirs sphériques,
- Mise à jour du système de contrôle/commande existant,
- Extension du système de centralisation des niveaux et de téléjaugeage existant,
- Extension du système de détection incendie et fuite de gaz existant,
- Installations générales.

### **2.1.9 Installation de stockage GPL :**

**Capacités de stockage actuelles : 10.000 m<sup>3</sup>**

- Butane : 02 x 3000 m<sup>3</sup> soit : 6.000 m<sup>3</sup>,
- Propane : 01 x 2000 m<sup>3</sup> soit : 2.000 m<sup>3</sup>,
- Mixte Butane/Propane : 01 x 2000 m<sup>3</sup> soit : 2.000 m<sup>3</sup>,

**Capacités de stockage à réaliser : 9.000 m<sup>3</sup>**

Les capacités de stockage Mixte (Propane/Butane) à prévoir est :

- Deux (02) réservoirs sphériques Butane de capacité 2000 m<sup>3</sup> chacun,
- Deux (02) réservoirs sphériques Mixtes de capacité 2500 m<sup>3</sup> chacun,

## **III.2.2.Phase D'exploitation :**

### **III.2.2.1. Capacité de production du centre :**

Les capacités de stockage à prévoir sont :

- -Deux (02) réservoirs de stockage Butane de capacité unitaire 2000 m<sup>3</sup>,

# CHAPITRE 3 : APPLICATION DES MODELES PROSES A UN SYSTEME OPERATIONNEL

- Deux (02) réservoirs de stockage GPL mixtes (Butane/Propane) de capacité unitaire 2500 m3.

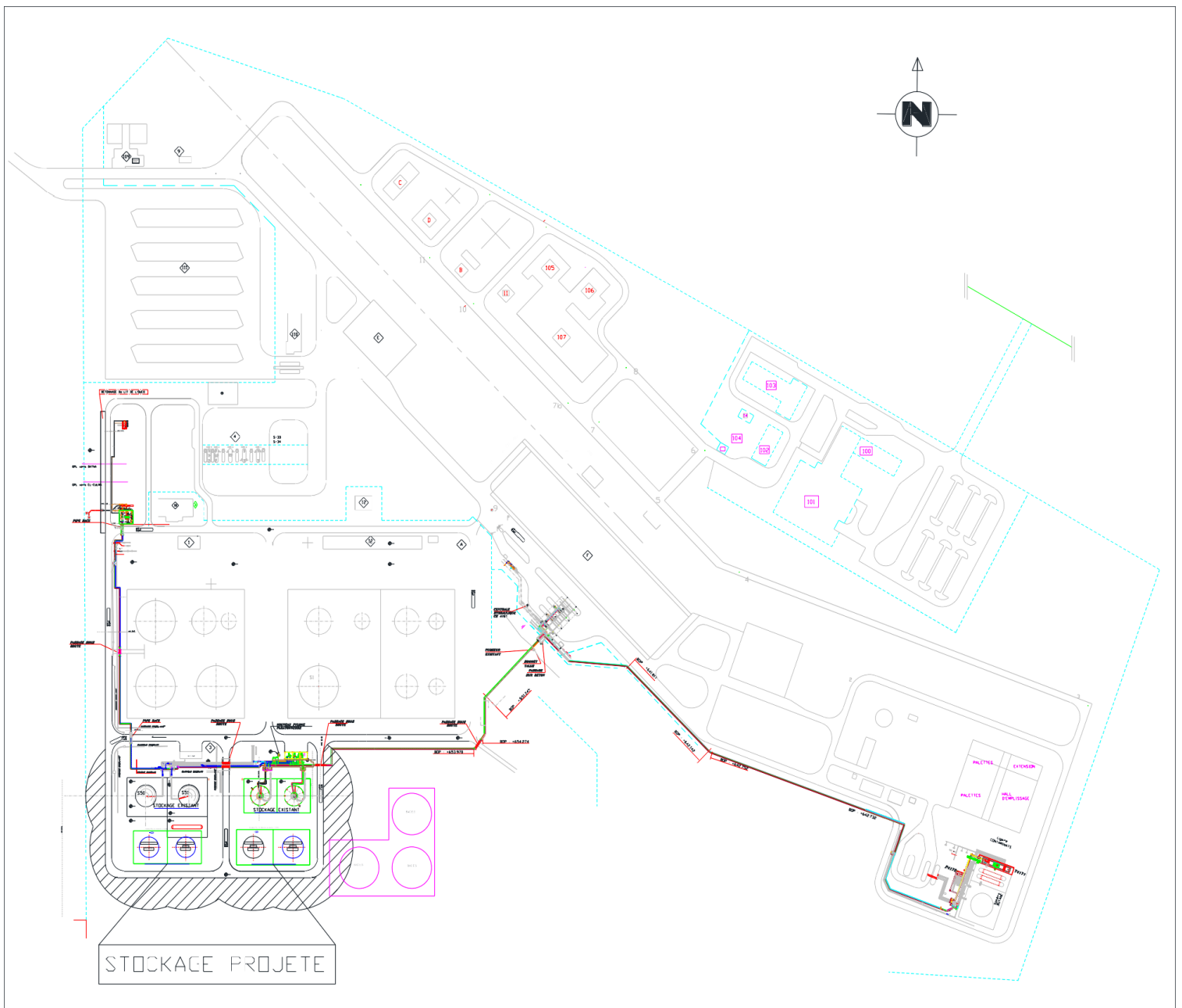
## III.2.2.2. Produits :

- Gaz propane et butane

fig.05 : shema de stockage projete

## III.3. Scenario 1 : BLEVE d'un réservoir butane.

### III.3.1. Données de l'équipement :



Les caractéristiques des réservoirs de butane sont énumérées dans le tableau suivant :

## **CHAPITRE 3 : APPLICATION DES MODELES PROSES A UN SYSTEME OPERATIONNEL**

<b>Reservoir 1000 m<sup>3</sup></b>		
	<b>Unité</b>	<b>Reservoirs de Butane</b>
Diamètre	mm	13000
Volume	m <sup>3</sup>	1000 m <sup>3</sup>
Tserv	°K	288
Pserv	kPa	2000
Distance aux limites de propriété	m	Vers l'Est
		Vers le Nord
		Vers l'ouest
		Vers le sud
<b>Réservoir 2000 m<sup>3</sup></b>		
	<b>Unité</b>	<b>Réservoirs de Butane</b>
Diamètre	mm	14 000
Volume	m <sup>3</sup>	2000 m <sup>3</sup>
Tserv	°K	288
Pserv	kPa	2000
Distance aux limites de propriété	m	Vers l'Est
		Vers le Nord
		Vers l'ouest
		Vers le sud
<b>Réservoir 3000 m<sup>3</sup></b>		
	<b>Unité</b>	<b>Réservoirs de Butane</b>
Diamètre	mm	16 000
Volume	m <sup>3</sup>	3000 m <sup>3</sup>
Tserv	°K	288
Pserv	kPa	2000
Distance aux limites de propriété	m	Vers l'Est
		Vers le Nord
		Vers l'ouest
		Vers le sud

**Tableau.01 : Les caractéristiques des réservoirs**

III.3.3. Données sur le produit :

	<b>Unite</b>	<b>butane</b>
Densité (à la temperature de service)	kg/m <sup>3</sup>	580

## **CHAPITRE 3 : APPLICATION DES MODELES PROSES A UN SYSTEME OPERATIONNEL**

Masse molaire	kg/kmol	58
P critique du gaz (flash généré)	bar	38,8
T ebullition	°K	273.15
Produit contenu ou vehicule par la phase gazeuse (flash généré)	% massique	100% butane
QFLU	J/kg	$4,5 \times 10^7$
LII	% vol	1,8
LSI	% vol	8,8

**Tableau.02 : Caractéristiques du butane**

### **III.4. Phénomènes à quantifier :**

#### **1. Énergie libérée par l'explosion :**

- **Pouvoir calorifique du produit ( $\Delta H_c$ ) :** La quantité de chaleur libérée par la combustion du produit. Par exemple, pour le GPL (gaz de pétrole liquéfié), le pouvoir calorifique est de l'ordre de 46 MJ/kg.
- **Fraction de chaleur émise par radiation ( $f_s$ ) :** Proportion de l'énergie libérée sous forme de rayonnement thermique. Typiquement, cette fraction est comprise entre 0,1 et 0,3.

#### **2. Dimensions de la boule de feu :**

- **Rayon de la boule de feu ( $r_b$ ) :** Calculé en fonction de la masse du produit impliqué.
- **Durée de la boule de feu ( $t_b$ ) :** Temps pendant lequel la boule de feu reste visible et produit un rayonnement thermique intense.
- **Hauteur de la boule de feu ( $H_b$ ) :** La hauteur à laquelle la boule de feu se développe.

#### **3. Rayonnement thermique :**

- **Pouvoir émissif de la flamme ( $E$ ) :** Quantité d'énergie radiée par unité de surface de la flamme.
- **Flux thermique reçu par la cible ( $I$ ) :** Intensité du rayonnement thermique reçu par une cible située à une certaine distance de l'explosion.

#### **4. Transmissivité atmosphérique ( $\tau_a$ ) :**

- **Facteur de transmissivité atmosphérique :** Mesure de la quantité de rayonnement thermique atténuée par l'atmosphère entre la source et la cible.

## **CHAPITRE 3 : APPLICATION DES MODELES PROSES A UN SYSTEME OPERATIONNEL**

- **Corrélations empiriques** : Utilisation de corrélations (Brzustowski et Sommer, Lannoy, Bagster, Wayne) pour estimer la transmissivité en fonction de la distance, de l'humidité relative et de la composition de l'air.

### 5. **Onde de choc :**

- **Surpression générée par l'explosion** : Mesure de la force de l'onde de choc sur les structures environnantes.
- **Distance de l'effet de souffle** : Portée à laquelle l'onde de choc peut causer des dommages significatifs.

### 6. **Projection de débris :**

- **Portée des fragments** : Distance à laquelle les fragments du réservoir peuvent être projetés.
- **Vitesse des débris** : Vitesse à laquelle les fragments sont expulsés du point d'explosion.

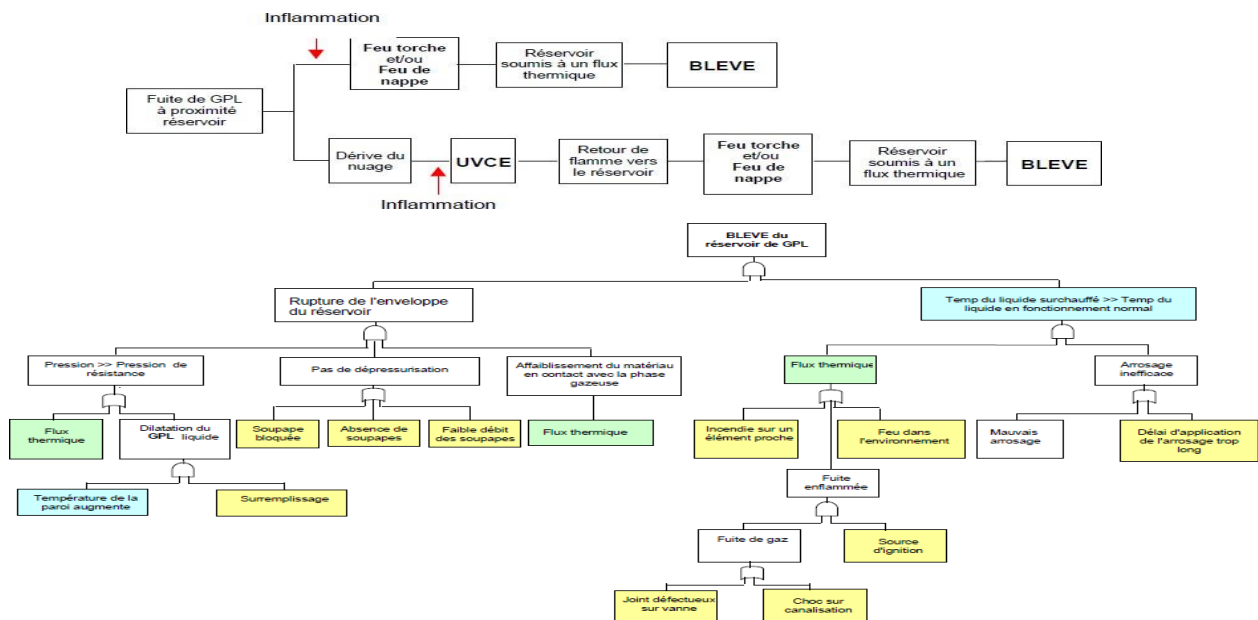


fig.06 : exemple de scénario de BLEVE

### III.5.1a modélisation de l'effet thermique de BLEVE :

Pour modéliser l'effet thermique d'un BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion) pour un réservoir contenant du butane avec les conditions fournies, nous allons suivre les étapes suivantes :

1. **Définir les paramètres du réservoir et les conditions initiales.**
2. **Calculer la masse de butane dans le réservoir.**
3. **Déterminer les dimensions de la boule de feu.**
4. **Calculer le pouvoir émissif de la flamme.**
5. **Calculer le flux thermique reçu par une cible à différentes distances.**

# CHAPITRE 3 : APPLICATION DES MODELES PROSES A UN SYSTEME OPERATIONNEL

## III.5.1 Paramètres du Réservoir et Conditions Initiales :

- Volume du réservoir : 2000 m<sup>3</sup> et 3000 m<sup>3</sup>
- Diamètre du réservoir : 14000 mm et 16000mm
- Température de stockage : 288 K
- Pression de stockage : 2000 kPa (20 bar)
- Densité du butane : 580 kg/m<sup>3</sup>
- Masse molaire : 58 kg/kmol
- Pression critique du butane : 38,8 bar
- Température d'ébullition : 273,15 K
- QFLU (Pouvoir calorifique) :  $4,5 \times 10^7$  J/kg
- Limites d'inflammabilité inférieure (LII): 1,8 % vol
- Limites d'inflammabilité supérieure (LSI): 8,8 % vol

### Conditions de stockage:

- Taux de remplissage: 85% et 40%
- Pression d'éclatement du butane: 7,5 bar (abs)
- Température ambiante: 293 K (20°C)
- Humidité relative: 70%

#### III.5.1.1. Calcul de la masse d'hydrocarbure :

Le volume du réservoir est de 2000 m<sup>3</sup> et nous avons deux taux de remplissage : 85% et 40%

- **Volume à 85% :**

$$V_{85} = 0.85 \times 2000 \text{ m}^3$$

$$= 1700 \text{ m}^3$$

- **Volume à 40% :**

$$V_{40} = 0.40 \times 2000 \text{ m}^3$$

$$= 800 \text{ m}^3$$

### La densité du butane est de 580 kg/m<sup>3</sup> :

- **Masse d'hydrocarbure à 85% :**

$$M_{85} = 1700 \text{ m}^3 \times 580 \text{ kg/m}^3$$

$$= 986000 \text{ kg}$$

- **Masse d'hydrocarbure à 40% :**

$$M_{40} = 800 \text{ m}^3 \times 580 \text{ kg/m}^3$$

$$= 464000 \text{ kg}$$

## **CHAPITRE 3 : APPLICATION DES MODELES PROSES A UN SYSTEME OPERATIONNEL**

### **III.5.1.2. Calcul du rayon de la boule de feu (rb) et de la durée de vie de la boule de feu (tb) :**

Les formules empiriques données sont :

- $rb = 2.9 \times M^{0.333}$  (pour HSE)
- $tb = 2.59 \times M^{0.167}$  (pour HSE)

À 85% :

- **Rayon de la boule de feu :**  
 $rb_{85} = 2.9 \times (986000)^{0.333} \approx 287 \text{ m}$
- **Durée de vie de la boule de feu :**  
 $tb_{85} = 2.59 \times (986000)^{0.167} \approx 26 \text{ s}$

À 40% :

- **Rayon de la boule de feu :**  
 $rb_{40} = 2.9 \times (464000)^{0.333}$   
 $\approx 223 \text{ m}$
- **Durée de vie de la boule de feu :**  
 $tb_{40} = 2.59 \times (464000)^{0.167}$   
 $\approx 23 \text{ s}$

- **Pouvoir émissif de la flamme :**  
 $E_{85} = \frac{0.3 \times 986000 \times 4.5 \times 10^7}{4\pi \times 39.2 \times (185.5)^2}$   
 $\approx 396.60 \text{ kW/m}^2$

À 40% :

- **Pouvoir émissif de la flamme :**  
 $E_{40} = \frac{0.3 \times 464000 \times 4.5 \times 10^7}{4\pi \times 29.5 \times (143.4)^2}$   
 $\approx 350 \text{ kW/m}^2$

III.5.1.3. Calcul des distances pour les flux thermiques :

- **Facteur de transmissivité atmosphérique ( $\tau_a$ ) :**  
 $\tau_a = 0.79 (100/d)^{1/16} (30.5/RH)^{1/16}$

où  $RH = 70\%$

- **Facteur de forme  $F_{view}$  :**  
 $F_{view} = (rb/X)^2$

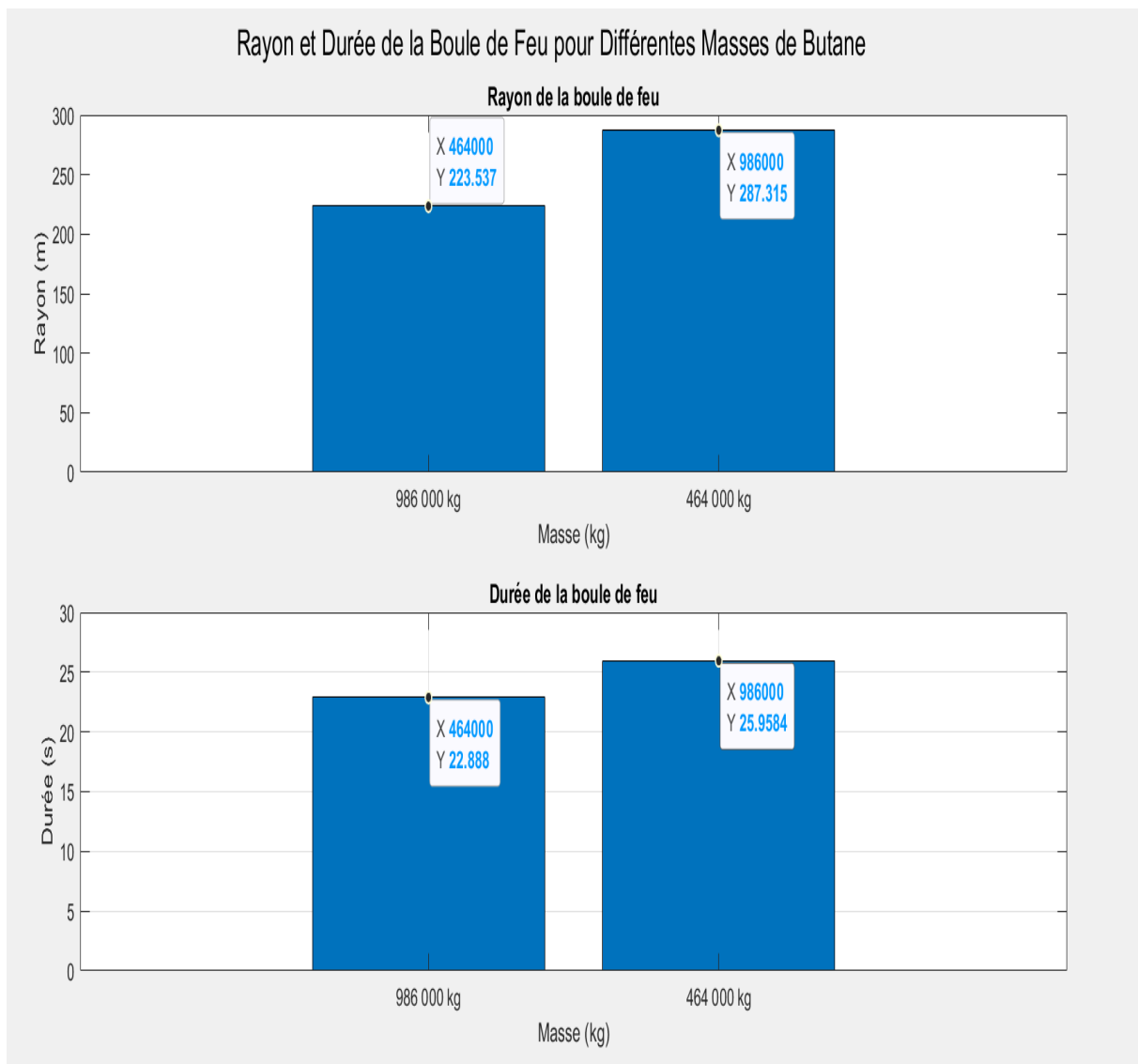
$$X = \sqrt{(Hb^2 + d^2)}$$

## CHAPITRE 3 : APPLICATION DES MODELES PROSES A UN SYSTEME OPERATIONNEL

### III .5.2. les caractéristiques de Bleve de le réservoir 2000m3 :

<b>Taux de remplissage</b>	<b>85</b>	<b>40</b>
<b>La masse de butane</b>	986000 Kg	464000 Kg
<b>Pouvoir émissif</b>	396.60 kW/m <sup>2</sup>	349.64 kW/m <sup>2</sup>
<b>Rayon de boule de feu rb</b>	287.32 m	223.54 m
<b>Durée de boule de feu tb</b>	25.96 s	22.89 s

**Tableau 03 : les caractéristiques de Bleve**



**Fig. 07. Durée et la hauteur de vie de boule de feu en taux a remplissage 85% et 40%**

# CHAPITRE 3 : APPLICATION DES MODELES PROSES A UN SYSTEME OPERATIONNEL

## III.5.3.la Distances a les seuils (3 ,5 ,8) kW/m<sup>2</sup> :

Taux de remplissage	85	40
3kw/m <sup>2</sup>	2550m	1882m
5kw/m <sup>2</sup>	1987m	1461m
8kw/m <sup>2</sup>	1573m	1159m

Tableau 04 : l'effet thermique en distance

## Les graphes de l'effet thermique de réservoir 2000m<sup>2</sup> :

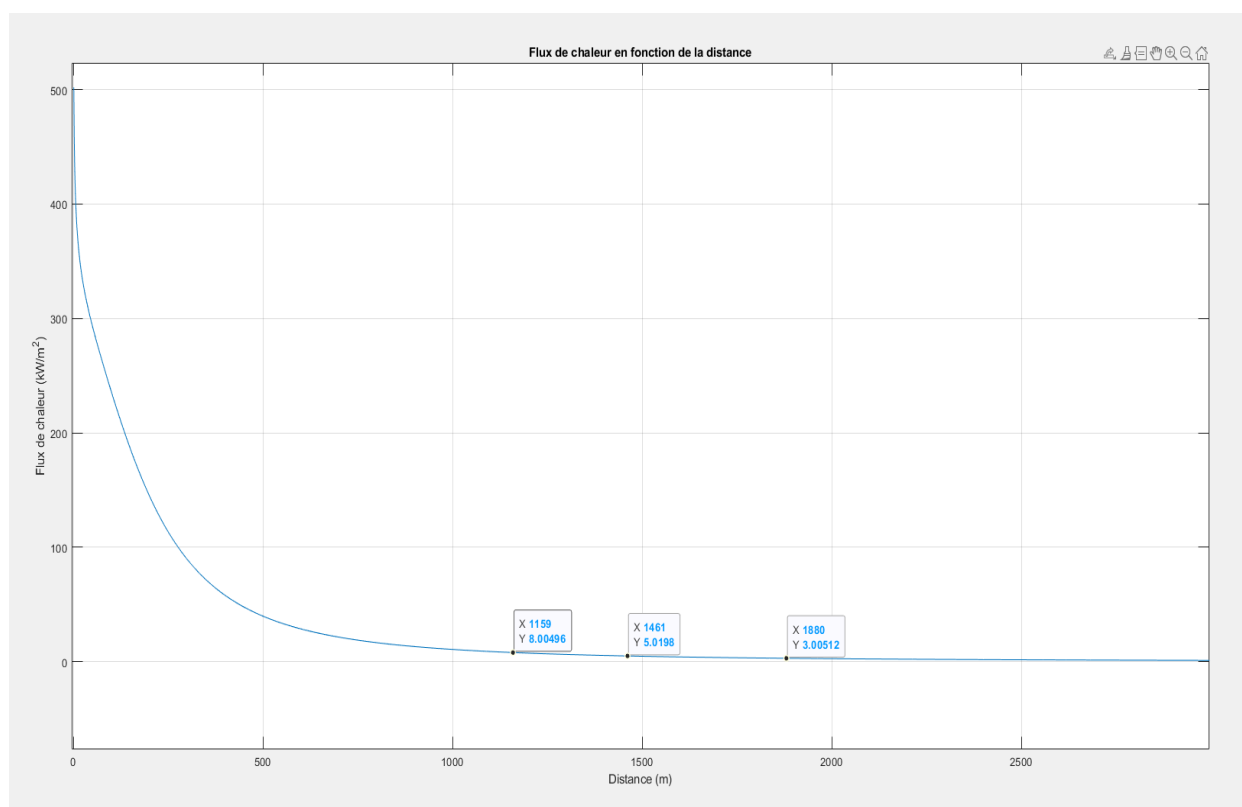
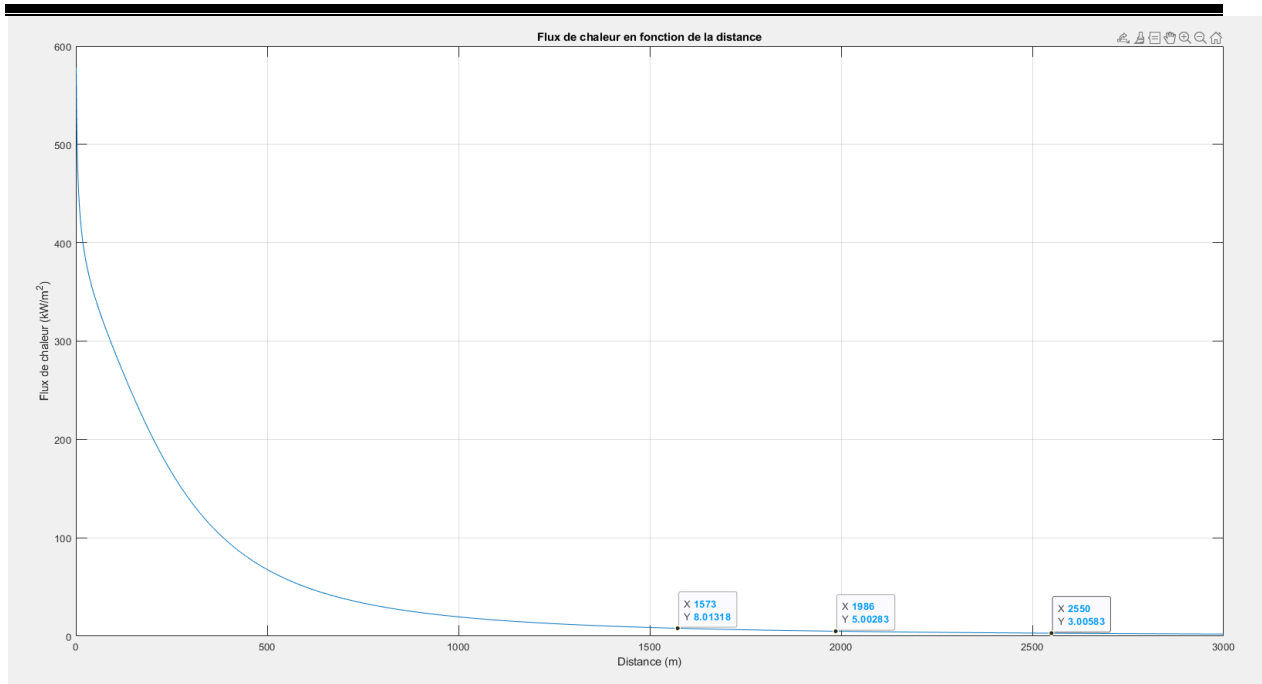


Fig.08 : distance pour l'effet thermique a taux remplissage 40%

## CHAPITRE 3 : APPLICATION DES MODELES PROSES A UN SYSTEME OPERATIONNEL



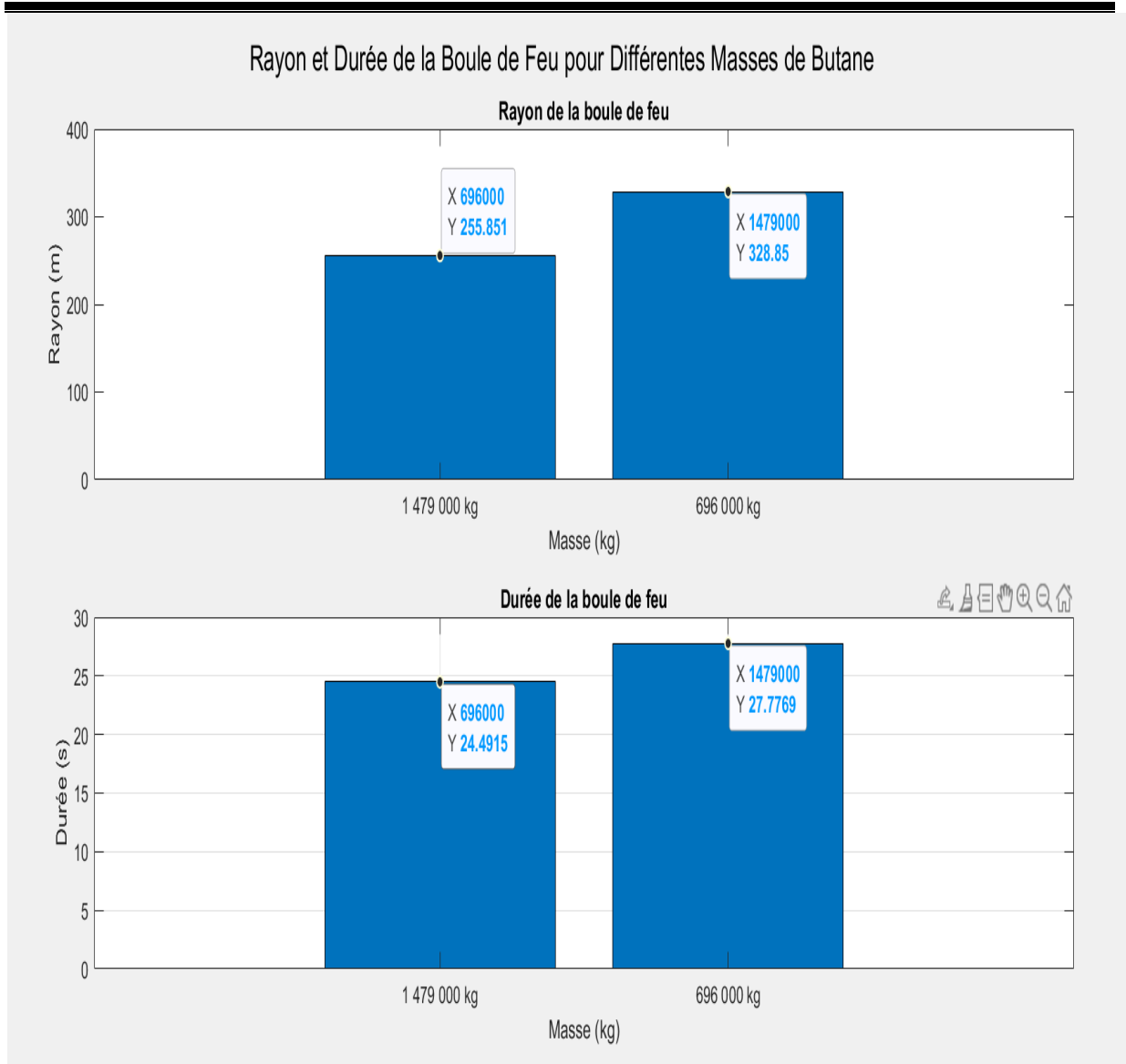
**Fig 09. distance pour l'effet thermique a taux remplissage 85%**

### III.5.4. les caractéristiques de Bleve de le réservoir 3000m3 :

Taux de remplissage	85	40
<b>La masse de butane</b>	1 479 000 Kg	696 000 Kg
<b>Pouvoir émissif</b>	424.4 kW/m2	374.2 kW/m2
<b>Rayon de boule de feu rb</b>	328.84 m	255.9 m
<b>Durée de boule de feu tb</b>	27.7 s	24.5 s

**Tableu.05 : les caractéristiques de Bleve**

## **CHAPITRE 3 : APPLICATION DES MODELES PROSES A UN SYSTEME OPERATIONNEL**



**Fig. 10. Durée et la hauteur de vie de boule de feu en taux a remplissage 85% et 40%**

### III.5.5. la Distances a les seuils (3 ,5 ,8) kW/m<sup>2</sup> :

<b>Taux de remplissage</b>	<b>85</b>	<b>40</b>
<b>3kw/m2</b>	3007m	2216m
<b>5kw/m2</b>	2339m	1725m
<b>8kw/m2</b>	1856m	1366m

**Tableau 06 : l'effet thermique en distance**

### Les graphes de l'effet thermique de réservoir 3000m<sup>2</sup> :

# CHAPITRE 3 : APPLICATION DES MODELES PROSES A UN SYSTEME OPERATIONNEL

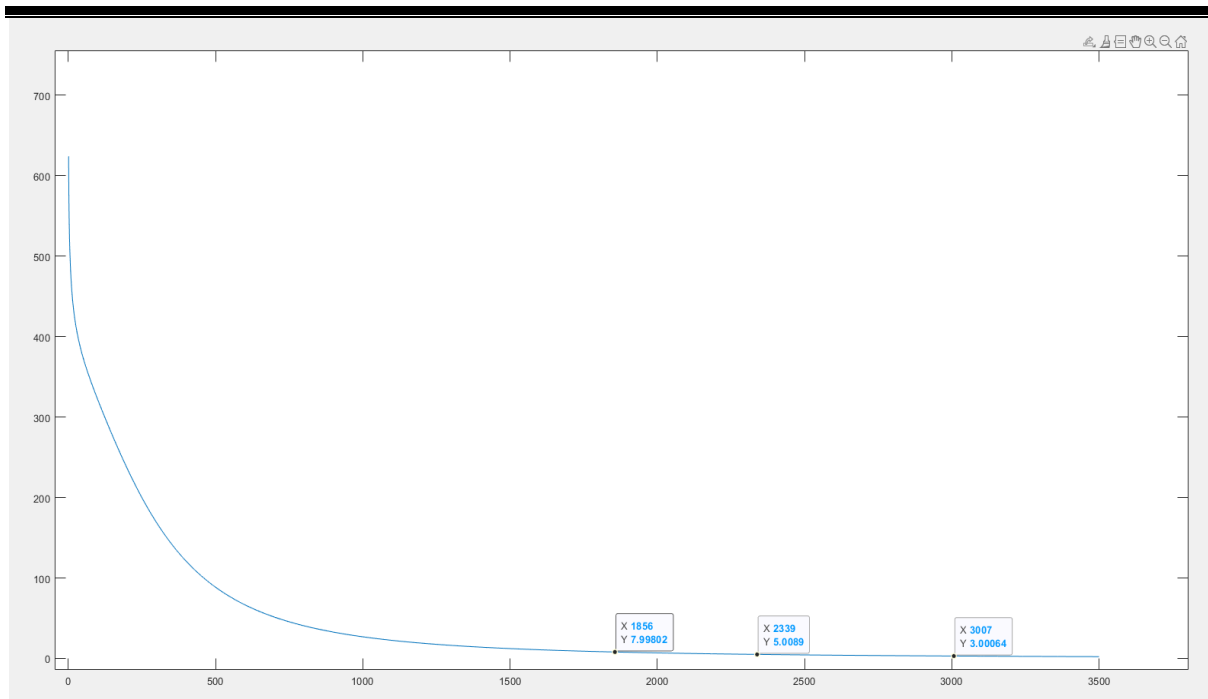


Fig 11. distance pour l'effet thermique de taux a remplissage 85%

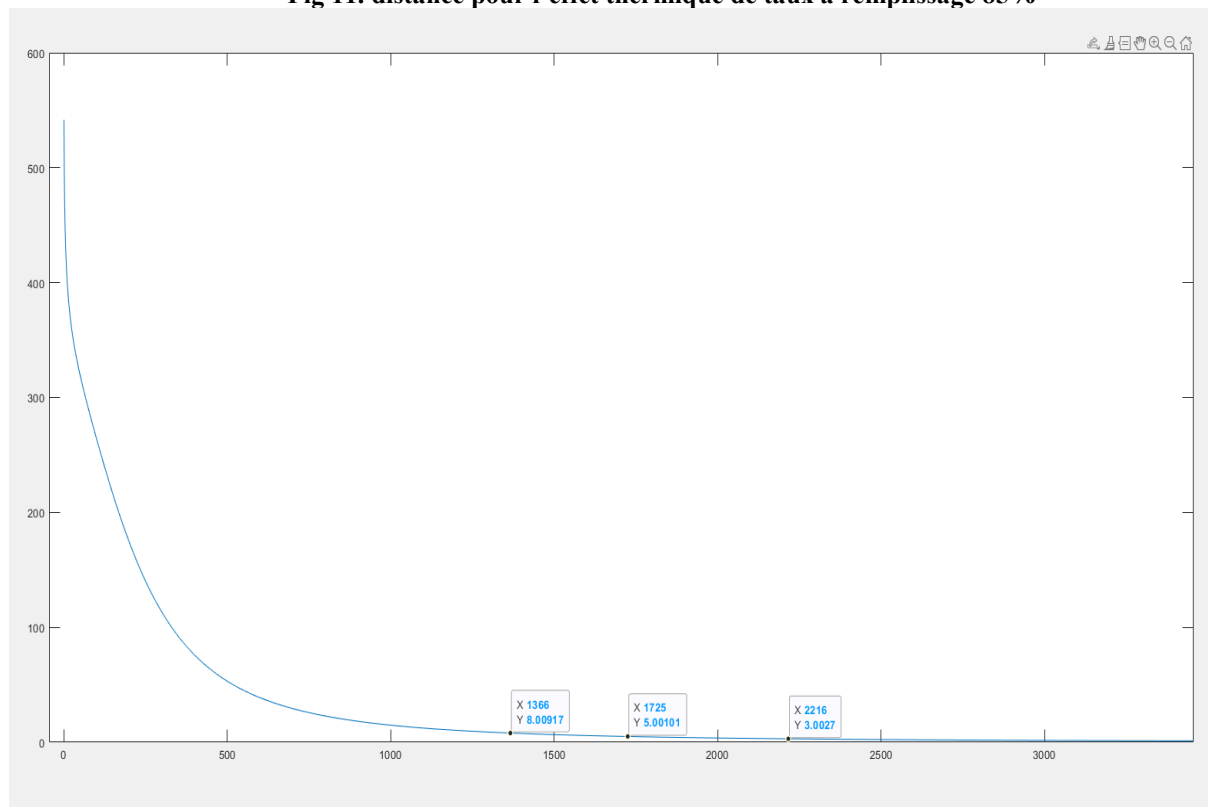


Fig 12. distance pour l'effet thermique de taux a remplissage 85%

## III.5.6. évaluation de risque :

- Les seuils de l'effet thermique :

## **CHAPITRE 3 : APPLICATION DES MODELES PROSES A UN SYSTEME OPERATIONNEL**

Seuils d'effets thermique	Personnes hors établissement	L'effet sur l'homme	L'effet sur les structures
<b>3kw/m<sup>2</sup></b>	≤ 1 personne	Seuil des effets irréversibles <b>SEI</b> Il peut inclure des brûlures graves, des lésions tissulaires permanentes et d'autres dommages corporels importants.	
<b>5kw/m<sup>2</sup></b>	entre 1 et 10 personnes	Seuil des effets létaux <b>SEL</b> Les brûlures de deuxième et troisième degré sont courantes, et la survie sans traitement médical immédiat est improbable.	Seuil des destructions de vitres significative
<b>8kw/m<sup>2</sup></b>	entre 10 et 100 personnes	Seuil des effets létaux significatifs <b>SELS</b> Les brûlures sévères, les lésions internes et la mort surviennent rapidement en raison de l'intensité de la chaleur	Seuil des effets domino et correspondant au seuil de dégâts graves sur les structures

Tableau07 : Les seuils de l'effet thermique

## CHAPITRE 3 : APPLICATION DES MODELES PROSES A UN SYSTEME OPERATIONNEL

### III.5.7. Distances de dangers (effets thermiques): BLEVE d'un réservoir butane (2000m<sup>3</sup>) 40% :



fig.13 : la Distances aux seuils (3 ,5 ,8) kW/m<sup>2</sup>

● SELS 8Kw/m <sup>2</sup> S des effets létaux significatifs	1159m
● SEL 5Kw/m <sup>2</sup> Seuil des effets létaux	1461m
● SEI 3Kw/m <sup>2</sup> Seuil des effets irréversibles	1882m

Tableau 08 : couleur des seuils avec distance

## **CHAPITRE 3 : APPLICATION DES MODELES PROSES A UN SYSTEME OPERATIONNEL**

### **III.5.8. Distances de dangers (effets thermiques): BLEVE d'un réservoir butane (2000m<sup>3</sup>) 85% :**



fig.14 : la Distances aux seuils (3 ,5 ,8) kW/m<sup>2</sup>

● SELS 8Kw/m <sup>2</sup> S des effets létaux significatifs	1573m
● SEL 5Kw/m <sup>2</sup> Seuil des effets létaux	1987m
● SEI 3Kw/m <sup>2</sup> Seuil des effets irréversibles	2250m

Tableau 09 : couleur des seuils avec distance

### **III.5.9. Distances de dangers (effets thermiques): BLEVE d'un réservoir butane (3000m<sup>3</sup>) 40% :**

## CHAPITRE 3 : APPLICATION DES MODELES PROSES A UN SYSTEME OPERATIONNEL



fig.15 : la Distances aux seuils (3 ,5 ,8) kW/m<sup>2</sup>

● SELS 8Kw/m <sup>2</sup> S des effets létaux significatifs	1366m
● SEL 5Kw/m <sup>2</sup> Seuil des effets létaux	1725m
● SEI 3Kw/m <sup>2</sup> Seuil des effets irréversibles	2216m

Tableau 10 : couleur des seuils avec distance

### III.5.10. Distances de dangers (effets thermiques): BLEVE d'un réservoir butane (3000m<sup>3</sup>)

85% :

## CHAPITRE 3 : APPLICATION DES MODELES PROSES A UN SYSTEME OPERATIONNEL



fig.16 : la Distances aux seuils (3 ,5 ,8) kW/m<sup>2</sup>

● SELS 8Kw/m <sup>2</sup> S des effets létaux significatifs	1856m
● SEL 5Kw/m <sup>2</sup> Seuil des effets létaux	2339m
● SEI 3Kw/m <sup>2</sup> Seuil des effets irréversibles	3006m

Tableau 011 : couleur des seuils avec distance

## **CHAPITRE 3 : APPLICATION DES MODELES PROSES A UN SYSTEME OPERATIONNEL**

---

### **Conclusion :**

La modélisation des explosions de type BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion) joue un rôle crucial dans la prévention des accidents industriels et la protection des travailleurs, de l'environnement, et des infrastructures. Voici les principales raisons pour lesquelles cette modélisation est essentielle :

### **Protection des Travailleurs :**

La modélisation du BLEVE permet de prédire les zones de danger autour des installations contenant des substances dangereuses. En calculant les distances d'isolement appropriées pour divers seuils thermiques, les entreprises peuvent :

- **Établir des zones de sécurité :** Assurer que les travailleurs sont à une distance sécuritaire des réservoirs potentiellement dangereux. Mettre en place des procédures d'évacuation efficaces : Réduire le risque de blessures graves ou de décès en cas d'explosion.
- **Réduction de l'Impact Environnemental :**

Les explosions de type BLEVE peuvent avoir des conséquences dévastatrices sur l'environnement, y compris la pollution de l'air, des sols et de l'eau. La modélisation permet de :

- **Prévenir les déversements toxiques :** En anticipant les effets d'une explosion, des mesures peuvent être prises pour contenir les substances dangereuses.
- **Limiter les dommages écologiques :** Protéger les écosystèmes environnants en contrôlant les zones de risque et en mettant en place des barrières de protection.

### **Sécurité des Infrastructures et du Site de Travail :**

Les installations industrielles, telles que les réservoirs de stockage de gaz, sont vulnérables aux explosions. La modélisation du BLEVE aide à :

- **Concevoir des infrastructures plus résistantes :** Utiliser les données de modélisation pour renforcer les structures contre les effets des explosions.
- **Planifier l'aménagement du site :** Positionner les installations critiques de manière à minimiser les dommages en cas d'explosion.

**Protection de la Population Humaine :** En cas d'incident majeur, les zones résidentielles et les communautés proches des sites industriels peuvent être gravement affectées. La modélisation du BLEVE permet de :

**Informé les autorités locales :** Aider les services d'urgence à planifier des interventions efficaces.

**Éduquer le public :** Sensibiliser les communautés aux risques potentiels et aux mesures de sécurité.

Impact sur la Pratique Industrielle

## **CHAPITRE 3 : APPLICATION DES MODELESPROSES A UN SYSTEME OPERATIONNEL**

---

**Amélioration des Normes de Sécurité :** Les résultats de la modélisation sont souvent intégrés dans les réglementations et les directives de sécurité, contribuant à élever les standards industriels.

**Formation des Travailleurs :** Utiliser des scénarios de modélisation pour former les employés aux procédures de sécurité et aux réponses d'urgence.

**Audits et Inspections Régulières :** Incorporer les données de modélisation dans les programmes d'inspection pour identifier et corriger les vulnérabilités potentielles.

La modélisation du BLEVE est un outil indispensable pour la prévention des risques industriels. En fournissant des informations précises sur les effets potentiels des explosions, elle permet de mettre en place des mesures de sécurité proactives, de protéger les travailleurs et le public, et de minimiser les impacts environnementaux. Ainsi, la modélisation contribue significativement à la création d'environnements de travail plus sûrs et à la protection de la société dans son ensemble.

## **CHAPITRE 3 : APPLICATION DES MODELESPROSES A UN SYSTEME OPERATIONNEL**

---

### **Conclusion générale**

Dans notre travail, nous avons tout d'abord abordé la thématique théorique sur les définitions et les concepts de base relatifs aux accidents majeurs. Ensuite, nous avons choisi un modèle proposé pour un système opérationnel afin d'appliquer la modélisation thermique. Nous nous sommes concentrés sur la partie de stockage de GPL (Gaz de Pétrole Liquéfié).

Nous avons réalisé la modélisation de l'effet thermique d'une BLEVE en utilisant MATLAB. Les résultats obtenus montrent que les conséquences thermiques sur la santé des opérateurs sont très graves, soulignant l'importance d'éviter toute situation dans la zone de stockage susceptible de provoquer une BLEVE. Cette étude indique clairement que les mesures de protection et d'intervention en cas de BLEVE ne peuvent éliminer totalement la gravité des conséquences. En classant les distances d'isolement thermique en SEL (Seuil d'Effet Léger), SELS (Seuil d'Effet Semi-Sévère), et SEI (Seuil d'Effet Irréversible), il apparaît que la prévention reste la mesure la plus efficace pour éviter le phénomène de BLEVE.

Nous avons rencontré de grandes difficultés lors de la réalisation de ce travail, ce qui nous amène à suggérer que ce projet pourrait être un sujet d'étude future. Une attention accrue à la prévention et à la modélisation précise est nécessaire pour améliorer la sécurité dans les installations de stockage de GPL.

عنوان المذكرة: نمذجة تأثير الكرة النارية الحرارية (BLEVE) لمجال التخزين، دراسة حالة واد بن رحمون قسنطينة

ملخص : تعتبر دراسة ظاهرة BLEVE مهمة جدًا في سياق منشآت تخزين غاز البترول المسال للسلامة الصناعية. يمثل BLEVE أحداثًا كارثية يتبخر فيها سائل مضغوط فجأة، مما يتسبب في انفجار عنيف له عواقب وخيمة محتملة من حيث الأرواح البشرية وأضرار في الممتلكات. من الممكن التنبؤ بسلوكهم في سيناريوهات مختلفة وتنفيذ استراتيجيات الوقاية والتدخل الفعالة لتقليل المخاطر المرتبطة بها.

كلمات مفتاحية : انفجار عنيف , السلامة الصناعية

---

**Memory title : Modeling the thermal fireball effect (BLEVE) for the storage field, a case study of Oued Benrahmoun Constantine**

**Abstract : The study of the BLEVE phenomenon is very important in the context of LPG storage facilities for industrial safety. BLEVE represents catastrophic events in which a pressurized liquid suddenly evaporates, causing a violent explosion with potentially catastrophic consequences in terms of human lives and property damage. It is possible to predict their behavior in different scenarios and implement effective prevention and intervention strategies to reduce the associated risks.**

**Keywords: violent explosion, industrial safety**

---

**Titre du mémoire : Modélisation l'effet thermique de boule de feu (BLEVE) de sphère de stockage, étude de cas Oued Benrahmoun Constantine**

**Résumé: L'étude du phénomène BLEVE est très importante dans le cadre des installations de stockage de GPL pour la sécurité industrielle. BLEVE représente des événements catastrophiques au cours desquels un liquide sous pression s'évapore soudainement, qui fait une explosion violente avec des conséquences potentiellement graves en termes de vies humaines et de dommages matériels. Il est possible de prédire leur comportement dans divers scénarios et de mettre en place des stratégies de prévention et d'intervention efficaces pour réduire les risques qui y sont associés.**

**Mots-clés : explosion violente, sécurité industrielle**

## **CHAPITRE 3 : APPLICATION DES MODELESPROSES A UN SYSTEME OPERATIONNEL**

---

### **Références**

1. [Catherine-Isabelle,D.G.(1992)
2. KEBIR,M.A.Z.(2022
3. qualitiso.2020
4. [www.yonne.gouv.fr](http://www.yonne.gouv.fr)]

## **CHAPITRE 3 : APPLICATION DES MODELES PROSES A UN SYSTEME OPERATIONNEL**

---

5. INERIS]
6. ouvrage de Risque et Accident industriels majeurs 2006 ]
7. [Document Gestion et la méthode d'analyse des risques]
8. [ISO/CEI 51,1999]
9. WWW. ARIA historique .COM]
10. WWW. ARIA historique .COM]
11. D.HASSANI 2021
12. Hellas 2021 INERIS DRA006., 2002
13. Lenoir, D., & Davenport, J. A. (1993)]
14. Directive 97/23/CE]
15. equip-fluides)
16. API Standard 2610]
17. OSHA 29 CFR 1910 SubpartR]
18. 2005 ENSPM Formation Industrie - IFP Training]
19. [ API 620 - Design and Construction of Large, Welded, Low-Pressure Storage Tanks]
20. www.aisne.gouv.fr]
21. Hellas ,2021]
22. API., 1973).
23. Roberts., 1981)
24. (Van Den Bosh and Weterings., 1997