



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique

جامعة وهران 2 محمد بن أحمد  
Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed  
-----  
معهد الصيانة و الأمن الصناعي  
Institut de Maintenance et de Sécurité Industrielle

**Département de Sécurité Industrielle et Environnement**

## **MÉMOIRE**

Pour l'obtention du diplôme de Master

**Filière :** Hygiène et Sécurité Industrielle

**Spécialité :** Sécurité Industrielle et Environnement

### **Thème**

**Mise en œuvre d'une étude de danger dans le  
domaine des hydrocarbures selon le nouveau  
décret exécutif**

**Présenté et soutenu publiquement par :**

Boualem Ikram                      et                      Deroua Amina

**Devant le jury composé de :**

<b>Nom et Prénom</b>	<b>Grade</b>	<b>Etablissement</b>	<b>Qualité</b>
Mme. Moulessehoul Atika	MCB	IMSI	<b>Présidente</b>
Mr. Guetarni Islam Hadj Mohamed	MCB	IMSI	<b>Encadrant</b>
Mme. Serat Fatima Zohra	MCB	IMSI	<b>Examinatrice</b>

**Année 2021/2022**

## **Remerciement:**

Tout d'abord nous remercions ALLAH le miséricordieux de nous avoir donné le courage qui nous a permis de bien accomplir ce modeste travail.

La rédaction de ce mémoire n'était possible que grâce à la contribution de plusieurs personnes à qui nous voudrions témoigner nos sincères gratitude.

Nous tenons au premier temps à remercier notre encadrant, Dr Islam Guetarni de nous avoir encadré, orienté, aidé et conseillé tout au long de réalisation de notre projet. Sa perspicacité et son expertise ont été inestimables ; un grand merci à Mme Serat Fatima qui nous a aidés à bien structurer notre travail.

Nous désirons aussi remercier les membres de jury d'avoir acceptés l'évaluation de notre travail et de participer à notre soutenance.

Nous remercions également toute l'équipe pédagogique de l'Institut de Maintenance et de sécurité Industrielle IMSI Oran et les intervenants professionnels responsables de notre formation tout au long de notre cursus.

Enfin, un grand merci à nos amis, nos collègues et les membres de nos famille les Mamans et les papas, nos frères qui nous ont soutenu tout au long de ce processus avec leurs amour et leurs encouragements.

## **Dédicace**

Ce mémoire est dédié aux membres de ma famille, qui m'ont toujours soutenu dans mes efforts académiques et professionnels.

À ma mère qui a toujours été ma plus grande championne et m'a enseigné de nombreuses leçons de vie importantes qui ont contribué à faire de moi la personne que je suis aujourd'hui.

À mon père qui a été une source constante de force et d'encouragement tout au long de ces années.

À mon grand frère, à tous les moments d'enfance passés avec toi, t'as toujours été mon source d'inspiration et d'encouragement ans la vie...

À mon encadrant Mr Guetarni Islam, pour son aide et ses conseils.

À ma binôme Amina laquelle était comme la sœur que je n'ai jamais eu.

À mes collègues et mes amies que je considère comme mes frères et mes sœurs, pour leur aide et leur soutien durant notre formation :

Maroua, Nadia, Hayet, Amel, khouloud, Zaki, Mokhtar, Djawed...

**Boualem Ikram**

## **Dédicace**

Je dédie ce mémoire à :

Mes parents

Ma mère qui m'a comblé de son amour, qui m'a appris que les bonnes choses dans la vie n'arrivent pas facilement, qui m'a toujours soutenu et conseillé, pour toute son assistance et sa présence dans ma vie, reçois à travers ce travail aussi modeste soit-il, l'expression de mon éternelle gratitude

Mon père, mon super-héros qui a sacrifié tous ce qu'il pouvait pour nous voir heureux, je te remercie pour les valeurs nobles et pour ton éducation.

Mon monsieur Guetarni Islam pour tous les sacrifices et ses conseils.

Mon binôme Ikram, pour son soutien moral, sa patience et sa compréhension tout au long de ce travail.

Mes amis, j'aurais besoin de toute une vie pour vous remercier et vous décrire combien je vous aime.

A tous ceux qui de près ou de loin m'ont soutenu.

**Deroua Amina**

## RESUME

On entend dire que la manipulation des hydrocarbures même au sein des grandes entreprises peut engendrer des dommages assez importants lors de l'occurrence d'un scénario catastrophique qui peut être la cause d'une perte de confinement d'une quantité importante du produit suite à une défaillance quelque part dans les équipements. Et pour cela, la réglementation à chaque fois développe des textes législatifs en objet d'augmenter l'efficacité et la qualité des mesures sécuritaires sélectionnées par l'étude de danger en amont et lors d'un sinistre dans les industries.

L'intrinsèque de notre travail est de mettre en évidence le contenu de l'étude de danger selon le nouveau décret exécutif algérien n°21-319 relatif aux installations et ouvrages des activités des hydrocarbures, ainsi que les modalités d'approbation de cette étude en faisant une étude de danger sur le site d'EL Merk situé au sud-est de Hassi Messaoud, en effectuant une modélisation des conséquences des scénarios catastrophiques sur deux zones différentes à l'aide du logiciel PHAST 8.23.

Cette étape nous a permis de mieux prendre une décision sur le choix des barrières de prévention et d'intervention que nous avons établies par le logiciel Bow Tie XP, afin de prévenir l'apparition de ces scénarios et d'intervenir d'une manière efficace.

**Mots clés :** décret exécutif 21-319, Etude de Danger, hydrocarbures, scénarios catastrophiques, Analyse des risques.

### Abstract:

We hear that the handling of hydrocarbons, even within large companies, can cause significant damage as a result of a catastrophic scenario that can cause a loss of containment of a large quantity of the product following a failure somewhere in the equipment. And for this, the regulation each time develops legislative texts in order to increase the efficiency and the quality of the security measures selected by the study of danger upstream and during a disaster in the industries.

The intrinsic of our work is to highlight the content of the danger study according to the new Algerian executive decree n°21-319 relating to the installations and works of the hydrocarbon activities, as well as the methods of approval of this study by carrying out a hazard study on

the EL Merk site located south-east of Hassi Messaoud, we are modeling the consequences of catastrophic scenarios on two different areas using the PHAST 8.23 software.

This step allowed us to better make a decision on the choice of prevention and intervention barriers that we established by the Bow Tie XP software, in order to prevent the occurrence of these scenarios and to intervene in an effective way .

**Keywords:** Executive decree 21-319, Hazard study, hydrocarbons, catastrophic scenarios, Risk analysis.

# Tables des Matières

<b>Remerciement:</b> .....	<b>I</b>
<b>Dédicace</b> .....	<b>II</b>
<b>Boualem Ikram</b> .....	<b>II</b>
<b>Dédicace</b> .....	<b>III</b>
<b>RESUME</b> .....	<b>IV</b>
<b>Liste des abréviations :</b> .....	<b>XVII</b>
<b>Introduction générale :</b> .....	<b>XIX</b>
<b>1. Chapitre 1 : Généralité sur l'étude de danger</b> .....	<b>2</b>
1.1 Introduction : .....	2
1.2 Définition : .....	2
1.3 Les Objectifs d'une étude de danger: .....	2
1.4 Pourquoi menons-nous des études de danger ?.....	3
1.5 Les avantages des études de danger comprennent : .....	3
1.6 Aspects réglementaires et normatives: .....	4
1.7 Les nouveautés du décret 21-319 :.....	5
1.7.1 Champ d'application du décret 21-319 : .....	5
1.8 Structure d'une étude de danger :.....	6
1.8.1 Le contenu de l'EDD selon l'ancienne réglementation :.....	6
1.8.2 Le contenu de l'EDD selon la nouvelle réglementation :.....	6
1.9 Les parties prenantes : .....	8
1.10 L'approbation de l'EDD : .....	8
1.11 Notions de bases : .....	9
1.11.1 Etablissement : .....	9
1.11.2 Installations : .....	9
1.11.3 Définition du Danger : .....	9

1.11.4	Substances dangereuses :	9
1.11.5	Définition du Risque :	9
	Risque industriel :	10
	Risque majeur :	10
1.11.6	Situation dangereuse :	10
1.11.7	Dommage :	10
1.11.8	Accident :	10
1.11.9	Incident :	10
1.11.10	Presque-accident :	11
1.11.11	Accident majeur :	11
1.11.12	Incident majeur :	11
1.11.13	Effets dominos :	11
1.12	Les scénarios catastrophiques et le phénomène dangereux :	11
1.12.1	Phénomènes instantanés :	12
	1.12.1.1 BLEVE :	12
	1.12.1.2 UVCE ou Flash Fire:	14
	1.12.1.3 Boil Over:	15
1.12.2	Phénomènes continus :	17
	1.12.2.1 Feu chalumeau (Jet Fire) :	17
	1.12.2.2 Feu de nappe (Pool Fire):	18
1.13	Historique des accidents survenus et REX :	19
	1.13.1 Explosion dans le complexe de GNL1K Skikda 19 janvier 2004 :	20
	1.13.2 Explosion de la raffinerie de pétrole Châteauneuf les Martigues09/11/1992 :...	21
1.14	Les mesures de lutte contre l'incendie :	22
	1.14.1 Système déluge :	22
	1.14.2 Système à mousse :	23
	Conclusion :	23



<b>2</b>	<b>Chapitre 2 : Méthodes d'analyse des risques.....</b>	<b>24</b>
2.1	Introduction :.....	24
2.2	L'analyse des risques :.....	24
2.3	Le but de l'AnalyseDes Risques dans un document EDD: .....	24
2.4	La matrice des risques : .....	25
2.5	Les différentes méthodes d'analyse de risques :.....	28
2.5.1	Méthode HAZOP : .....	28
2.5.2	La méthode Arbre D'Evénement ADE : .....	32
2.5.3	Nœud papillon :.....	34
2.6	Comparaison entre les méthodes :.....	36
2.7	Les Eléments Important Pour la Sécurité EIPS : .....	37
2.8	Sélection des EIPS : .....	37
2.9	Conclusion : .....	38
	<b>La partie pratique.....</b>	<b>39</b>
<b>3</b>	<b>Chapitre 3 : modélisation des scénarios catastrophiques d'une étude de cas.....</b>	<b>40</b>
3.1	Introduction :.....	40
3.2	Présentation générale du site EL Merk :.....	40
3.3	Les scénarios choisis dans notre étude :.....	43
3.4	Description des installations étudiées dans le site EL Merk :.....	43
3.4.1	Area 9 : Stockage et expédition de GPL.....	43
3.4.2	Area 10 : Stockage et expédition de condensats .....	44
3.5	Les scénarios choisis dans notre étude :.....	45
3.6	Modélisation des scénarios avec logiciel PHAST : .....	45
3.6.1	Scénario 1 : défaillance d'un bac de stockage de condensat à toit flottant : .....	45
3.6.1.1	Modélisation de la dispersion : .....	47
3.6.1.2	Modélisation de la dispersion de nuage de polluant : .....	49
3.6.1.3	Modélisation d'explosion : .....	53

3.6.1.4	Modélisation de Feu Flash :.....	56
3.6.1.5	Modélisation de feu de nappe : .....	57
3.6.1.6	Modélisation de jet enflammé :.....	63
3.6.1.7	Adéquation des mesures sécuritaires :.....	66
3.6.1.8	Interprétation des résultats :.....	69
3.6.2	Scénario 2 : défaillance d'une ligne d'expédition de GPL.....	71
3.6.2.1	Modélisation dispersion :.....	72
3.6.2.2	Modélisation de la dispersion des nuages de polluant : .....	76
3.6.2.3	Modélisation de feu flash : .....	80
3.6.2.4	Modélisation de l'explosion : .....	82
3.6.2.5	Modélisation de jet enflammé :.....	86
3.6.2.6	Modélisation de Feu de flaque immédiat: .....	89
3.6.2.7	Modélisation de Feu de nappe retardé :.....	90
3.6.2.8	Adéquation des mesures sécuritaires :.....	92
3.7	Conclusion : .....	95
	<b>Conclusion générale : .....</b>	<b>96</b>
	<b>Bibliographie .....</b>	<b>97</b>
	<b>ANNEXE (A) : Liste des installations relevant des activités d'hydrocarbures soumise à étude d'impact sur l'environnement et étude de dangers .....</b>	<b>92</b>
	<b>ANNEXE (B) : Présentation du logiciel PHAST .....</b>	<b>94</b>
	<b>ANNEXE (C) : Présentation du logiciel BOW TIE XP.....</b>	<b>99</b>

## Liste des figures

Figure 1 :L'évolution de la réglementation algérienne relative à l'EDD au cours des années...4	
Figure 2 : schéma de l'apparition du phénomène dangereux. ....12	
Figure 3 : schéma explicatif du phénomène BLEVE. ....13	
Figure 4 : les étapes d'occurrence d'un UVCE.....15	
Figure 5 : les étapes d'un Boil Over .....16	
Figure 6 : image du phénomène Jet Fire.....17	
Figure 7 : les étapes d'occurrence d'un feu de nappe. ....19	
Figure 8 : accident Skikda 2004.....21	
Figure 9 : accident Châteauneuf les Martigues 1992 .....22	
Figure 10 : exemple de l'ADE .....34	
Figure 11 : exemple de la méthode Nœud Papillon .....35	
Figure 12 : localisation du site EL Merk. ....40	
Figure 13 : vue aérienne du site EL Merk. ....43	
Figure 14 : Localisation sur le plot plan des unités d'El Merk au sein du CPF.....45	
Figure 15 : La concentration maximale du polluant en fonction de la distance (Rupture) .....47	
Figure 16 : Concentration du polluant en fonction de la distance en hauteur (Rupture).....47	
Figure 17 : La concentration maximale du polluant en fonction de la distance (grande fuite) 47	
Figure 18 : Concentration du polluant en fonction de la distance en hauteur (grande fuite)....48	
Figure 19 : La concentration maximale du polluant en fonction de la distance (moyenne fuite). .....48	
Figure 20 : La concentration maximale du polluant en fonction de la distance (petite fuite). .49	
Figure 21 : largueur de dispersion de polluant en fonction de la distance (Rupture).....49	

Figure 22 : les zones affectées par le polluant (Rupture). .....	50
Figure 23 : la distance atteinte par le nuage du polluant en ppm (grande fuite). .....	50
Figure 24 : les zones atteintes par le polluant (Moyenne fuite). .....	51
Figure 25 : dispersion du nuage de polluant en fonction de la distance (petite fuite). .....	51
Figure 26 : les zones atteintes par le polluant (Petite fuite). .....	52
Figure 27 : dispersion de nuage de polluant en fonction de la distance (m). .....	51
Figure 28 : les distances atteintes par l'explosion (Rupture). .....	53
Figure 29 : les effets du pire cas d'explosion (Rupture). .....	53
Figure30 : les zones affectées par l'explosion en fonction du temps (Rupture). .....	53
Figure 31 : les distances atteintes par l'explosion .....	54
Figure 32 : les zones affectées par l'explosion en fonction du temps (Grande fuite). .....	54
Figure 33 : les distances atteintes par l'explosion (Moyenne fuite). .....	54
Figure 34 : les zones affectées par l'explosion en fonction du temps (Moyenne fuite). .....	55
Figure 35 : Les zones atteintes par le feu de flash (Rupture). .....	56
Figure 36 : Les zones atteintes par le feu de flash (Grande fuite). .....	56
Figure 37 : Les zones atteintes par le feu de flash (Moyenne fuite). .....	56
Figure 38 : Les zones atteintes par le feu de flash (Petite fuite). .....	57
Figure 39 : effet de radiation thermique pour feu de nappe retardé en fonction de la distance (Rupture). .....	57
Figure 40 : les zones touchées par le feu de nappe retardé (Rupture). .....	58
Figure 41 : effet de radiation pour feu de nappe retardé en fonction de la distance (Grande fuite). .....	58
Figure 42 : les zones touchées par l'effet de feu de nappe retardé (Grande fuite). .....	58

Figure 43 : effet de radiation thermique pour feu de nappe retardé en fonction de la distance (Moyenne fuite).....	59
Figure 44 : les zones touchées par l'effet de feu de nappe retardé (Moyenne fuite).....	59
Figure 45 : effet de radiation thermique pour feu de nappe retardé en fonction de la distance (Petite fuite).....	59
Figure 46 : les zones touchées par l'effet de feu de nappe retardé (Petite fuite). ....	60
Figure 47 : Les effets de feu de nappe immédiat (Grande fuite). ....	60
Figure 48 : Les radiations de feu de nappe immédiat en fonction de la distance (grande fuite). .....	61
Figure 49 : Les effets de feu de nappe immédiat (Moyenne fuite). ....	61
Figure 50 : Les radiations de feu de nappe immédiat en fonction de la distance (Moyenne fuite).....	61
Figure 51 : Les effets de feu de nappe immédiat (Petite fuite). ....	62
Figure 52 : Les radiations de feu de nappe immédiat en fonction de la distance (Petite fuite). .....	62
Figure 53 : Les effets de jet de feu (Grande fuite). ....	63
Figure 54 : Les radiations thermiques de jet enflammé en fonction de distance (Grande fuite). .....	63
Figure 55 : l'intensité de radiation pour jet enflammé (Grande fuite) .....	63
Figure 56 : les zones affectées par jet enflammé (Moyenne fuite). ....	64
Figure 57 : Les radiations thermiques de jet enflammé en fonction de distance (Moyenne fuite).....	64
Figure 58 : les zones touchées par jet enflammé (petite fuite).....	64
Figure 59 : Les radiations thermiques de jet enflammé en fonction de distance (Moyenne fuite).....	65

Figure 60 : implantation des barrières de sécurité sur le nœud papillon (scénario n°1). ....	68
Figure 61 : capture montrant la classification des scénarios dans la matrice des risques dans le logiciel Bow Tie Xp. ....	70
Figure 62 : La concentration maximale du polluant en fonction de la distance (Rupture). ....	72
Figure 63 : Concentration du polluant en fonction de la distance en hauteur (Rupture).....	72
Figure 64 : Concentration du polluant en fonction de la distance en hauteur (Grande fuite)...	73
Figure 65 : La concentration maximale du polluant en fonction de la distance (Grande fuite). .....	73
Figure 66 : La concentration maximale du polluant en fonction de la distance (Moyenne fuite).....	74
Figure 67 : Concentration du polluant en fonction de la distance en hauteur (Moyenne fuite). .....	74
Figure 68 : La concentration maximale du polluant en fonction de la distance (Petite fuite). .	75
Figure 69 : Concentration du polluant en fonction de la distance en hauteur (Petite fuite). ....	75
Figure 70 : surface de la dispersion de polluant en fonction de la distance (Rupture). ....	76
Figure 71 : les zones affectées par le polluant (Rupture). ....	76
Figure 72 : surface de la dispersion de polluant en fonction de la distance (Rupture). ....	77
Figure 73 : les zones affectées par le polluant (Grande fuite). ....	77
Figure 74 : surface de la dispersion de polluant en fonction de la distance (Moyenne fuite). .	78
Figure 75 : les zones affectées par le polluant (Moyenne fuite). ....	78
Figure 76 : surface de la dispersion de polluant en fonction de la distance (Petite fuite). ....	79
Figure 77 : les zones affectées par le polluant (Petite fuite). ....	79
Figure 78 : Les zones atteintes par le feu de flash (Rupture).....	80
Figure 79 : Les zones atteintes par le feu de flash (Grande fuite).....	81

Figure 80 : Les zones atteintes par le feu de flash (Moyenne fuite). .....	81
Figure 81 : Les zones atteintes par le feu de flash (Petite fuite). .....	81
Figure 82 : les zones affectées par l'explosion en fonction du temps (Rupture). .....	82
Figure 83 : les effets du pire cas d'explosion (Rupture).....	82
Figure 84 : les zones affectées par l'explosion en fonction du temps (Rupture). .....	83
Figure 85 : les distances atteintes par l'explosion (Grande fuite). .....	83
Figure 86 : les zones affectées par l'explosion en fonction du temps (Grande fuite). .....	83
Figure 87 : les distances atteintes par l'explosion (Moyenne fuite). .....	84
Figure 88 : les zones affectées par l'explosion en fonction du temps (Moyenne fuite). .....	84
Figure 89 : les distances atteintes par l'explosion (Petite fuite).....	84
Figure 90 : les zones affectées par l'explosion en fonction du temps (Petite fuite). .....	85
Figure 91 : Les radiations thermiques de jet enflammé en fonction de distance (Rupture). ....	86
Figure 92 : l'intensité de radiation pour jet enflammé (Rupture). .....	86
Figure 93 : Les effets de jet de feu (Rupture). .....	86
Figure 94 : Les radiations thermiques de jet enflammé en fonction de distance (Grande fuite). .....	87
Figure 95 : Les effets de jet de feu (Grande fuite). .....	87
Figure 96 : Les radiations thermiques de jet enflammé en fonction de distance (Moyenne fuite).....	87
Figure 97 : Les effets de jet de feu (Moyenne fuite). .....	88
Figure 98 : Les radiations thermiques de jet enflammé en fonction de distance (Petite fuite). 88	
Figure 99 : Les effets de jet de feu (Petite fuite). .....	88
Figure 100 : Les radiations de feu de nappe immédiat en fonction de la distance (Rupture)...	89
Figure 101 : l'intensité des radiations pour Pool fire immédiat.....	89

Figure 102 : Les effets de feu de nappe immédiat (Rupture). .....	90
Figure 103 : effet de radiation thermique pour feu de nappe retardé en fonction de la distance (Rupture). .....	90
Figure 104 : l'intensité de radiation pour feu de nappe retardé (Rupture). .....	91
Figure 105 : les zones touchées par le feu de nappe retardé (Rupture). .....	91
Figure 106 : implantation des barrières de sécurité sur le nœud papillon (scénario n°2). .....	93

### **Liste des tableaux :**

Tableau 1 : La matrice des risques. ....	26
Tableau 2 : description de la gravité. ....	26
Tableau 3 : description de la probabilité. ....	27
Tableau 4 : Les composants du tableau HAZOP. ....	32
Tableau 5 : comparaison entre les méthodes d'analyse des risques. ....	36
Tableau 6 : les caractéristiques du bac de stockage de condensat. ....	46
Tableau 7 : fréquences des évènements. ....	46
Tableau 8 : les résultats obtenus par la dispersion de nuage. ....	52
Tableau 9 : les résultats obtenus par les graphes de l'explosion. ....	55
Tableau 10 : les distances atteintes par le feu flash. ....	57
Tableau 11 : les résultats obtenus par feu de nappe retardé. ....	60
Tableau 12 : les résultats obtenus par feu de nappe immédiat. ....	62
Tableau 13 : les résultats obtenus par jet enflammé. ....	65
Tableau 14 : les effets des radiations thermiques. ....	66
Tableau 15 : les causes de défaillance d'un bac de stockage à toit flottant. ....	67
Tableau 16 : rapport sur les barrières établis pour le 1 <sup>er</sup> scénario. ....	69



Tableau 17 : caractéristique des scénarios étudiés. ....	70
Tableau 18 : les caractéristiques de ligne GPL. ....	71
Tableau 19 : fréquences des évènements.....	72
Tableau 20 : les résultats obtenus par la dispersion de nuage.....	80
Tableau 21 : les distances atteintes par le feu flash.....	82
Tableau 22 : les effets des radiations thermiques.....	85
Tableau 23 : les résultats obtenus par jet enflammé.....	89
Tableau 24 : les résultats obtenus par feu de nappe immédiat.....	90
Tableau 25 : les résultats obtenus par feu de nappe retardé.....	91
Tableau 26 : rapport sur les barrières établis pour le 2 <sup>ème</sup> scénario.....	94

## Liste des abréviations :

**EDD** : Etude De Danger.

**ARH** : Autorité de Régulation des Hydrocarbures.

**BET**: Bureau d'Etude.

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

**UVCE**: Unconfined Vapor Cloud Explosion (Explosion de nuage de vapeur non confinée).

**HAZOP**: HAZard and OPerability study (Étude de danger et d'opérabilité).

**ALARP**: As Low As Reasonably Practicable (Aussi bas que raisonnablement pratique).

**ADE**: Arbre D'Événement.

**EIPS**: Élément Important Pour la Sécurité.

**PHAST**: Process Hazard Analysis Software Tool(Outil logiciel d'analyse de risques de procédé).

**P** : Probabilité.

**G** : Gravité.

**GNL**: Gaz Naturel Liquéfié.

**GPL**: Gaz de Pétrole Liquéfié.

**CPF**: Central Processing Facility (Installation central de traitement).

**DNV**: Det Norrske Veritas.

**REX**: Retour d'EXpérience.

**SAA**: Sonatrach Anadarko Association.

**PSV**: Pressure Safety Valve (soupape de sécurité).

**SGS** : Système de Gestion de Sécurité.

**LSE** : Limite Supérieur d'Explosibilité.

**LIE** : Limite Inferieur d'Explosibilité.

**Ppm** : particule par million.

**PII** : Plan d'Intervention Interne.

**ATEX** : Atmosphère Explosif.

**BT** : Bow Tie (Nœud papillon).

## **Introduction générale :**

Dans l'industrie des hydrocarbures on parle de plus en plus sur l'importance de l'étude de danger, étant l'économie de notre pays s'appuie essentiellement sur la production et la commercialisation des hydrocarbures géré par les sociétés algériennes il est important d'avoir une industrie sécurisée et fiable afin d'assurer la protection de la population, des installations ainsi que l'environnement.

Cependant, l'exploitation, la production, le transport et le stockage des hydrocarbures génèrent énormément de risques qui entraînent souvent des sinistres graves faisant parfois des victimes et causant d'importants dégâts matériels et une atteinte à l'environnement.

A cet effet La législation algérienne faisait des mises à jour presque annuelles des décrets qui concernent la sécurité industrielle en générales et le domaine des hydrocarbures en particulier par contre un nouveau décret vient d'apparaître permettant tout un changement structurel dans la réalisation des études de danger.

Alors que notre étude vient de mettre en évidence les nouveautés du l'EDD présent dans décret exécutif 21-319 et les étapes à suivre pour bien élaborer une étude de danger fiable dans le cadre de la sécurité industrielle et la protection de l'environnement qui peut contribuer à la diminution des impacts de ces industries sur l'homme et son environnement.

Notre travail se divisera en deux parties :

Une partie théorique qui est scindé sur deux chapitres :

Le premier chapitre présente une recherche bibliographique ainsi que des généralités et des notions de base sur l'étude de danger selon la réglementation algérienne ainsi que les différents scénarios catastrophiques qui peuvent probablement avoir lieu dans les industries, en complétant le chapitre par une recherche sur accidentologie et retour d'expérience des accidents déjà survenus et vers la fin les moyens de maîtrise de ces scénarios.

Le deuxième chapitre s'intéresse aux principales méthodes d'analyse des risques qui peuvent contribuer à l'identification et l'évaluation des scénarios catastrophiques permettant l'élaboration d'une étude de danger consistante.

La partie pratique présente la modélisation d'une étude de cas des scénarios catastrophiques dans le complexe d'EL Merk ou deux scénarios différents vont être étudié afin de voir une multitude de conséquences et d'essayé par la suite de proposer les barrières de sécurité adéquates permettant la prévention ainsi que la protection.

Enfin nous terminons par une synthèse globale sur notre travail dans la partie conclusion.

**CHAPITRE I:**

**GENERALITE SUR L'ETUDE DE**

**DANDER**

## 1. Chapitre 1 : Généralité sur l'étude de danger

### 1.1 Introduction :

Les activités dans le domaine des hydrocarbures sont considérées comme activité à risque, où la gestion de l'entreprise compte toujours sur la maîtrise des risques industriels pour assurer la fiabilité de l'effectif humain, la fiabilité technique des installations ainsi que la préservation de l'environnement dans le cadre du développement durable.

L'étude des risques est une approche inventée pour guider l'industrie vers le bon chemin de la politique de sécurité industrielle et de protection de l'environnement, afin d'adopter les bonnes mesures de prévention et vérifier l'efficacité des barrières de sécurité.

### 1.2 Définition :

Une étude de dangers (EDD) est un document technique qui présente la principale source d'informations sur les situations dangereuses; il s'agit d'une étude approfondie sur la nature et l'environnement des installations industrielle ainsi que leur environnement avoisiné; il vise à identifier, évaluer et classer tous les risques qui peuvent donner un lieu dans un siège industriel, ainsi qu'à décrire et estimer les effets des accidents (explosions/ incendies, fuites des matières toxiques, pollution, ...etc.) présente en cas de dysfonctionnement ou un sinistre dans le territoire industriel peut importer les causes.

### 1.3 Les Objectifs d'une étude de danger:

La réalisation d'une étude de danger a pour objets de donner une vision globale sur tous les risques industrielles liés aux différentes activités présentes dans l'entreprise, lesquels présente une menace sur les personnes, les biens, ainsi que l'environnement, et que les réalisateurs des projets doivent les cibler pour obtenir l'autorisation de lancer le fonctionnement de leurs industries.

- Elle contribue à la maîtrise des paramètres essentiels du risque identifiés :
  - La probabilité d'occurrence pour prévenir la survenance des événements indésirables,
  - La gravité pour atténuer les dommages si le risque est déjà présent.

- Développer ou de mettre à jour la structure d'intervention et les plans d'urgence avec les exigences récentes et moderne de la sécurité.
- La mise en évidence de tous les dangers existants, et informer les personnels au travail à leur sujet et sur la manière de les prévenir en cas d'accident.
- Identifier les barrières de sécurité appropriés et les plans d'actions les plus adaptés à chaque site industriel.
- Aide à améliorer la performance des moyens de secours, et à prendre la bonne décision en matière de prévention des risques industriels.
- Contribue au management des risques et des situations dangereuses.
- Favoriser la communication transparente en matière sécurité et protection de l'environnement avec les autorités et les parties prenantes, en leur fournissant des éléments d'appréciation clairs sur les risques.

### 1.4 Pourquoi menons-nous des études de danger ?

La réalisation d'études de risques peut nous aider à documenter la conformité aux normes et réglementations internationales de sécurité industrielle, qui exigent l'identification et le contrôle des risques, telles que les exigences pour les installations à risques majeurs en vertu des réglementations sur la santé et la sécurité au travail. Mais plus généralement, les études sur les dangers constituent le fondement de notre culture de la sécurité en nous aidant à identifier systématiquement les dangers avant qu'ils ne puissent entraîner une blessure, un rejet dans l'environnement ou d'autres événements imprévus susceptibles de mettre notre entreprise, notre réputation et notre communauté en danger.[1]

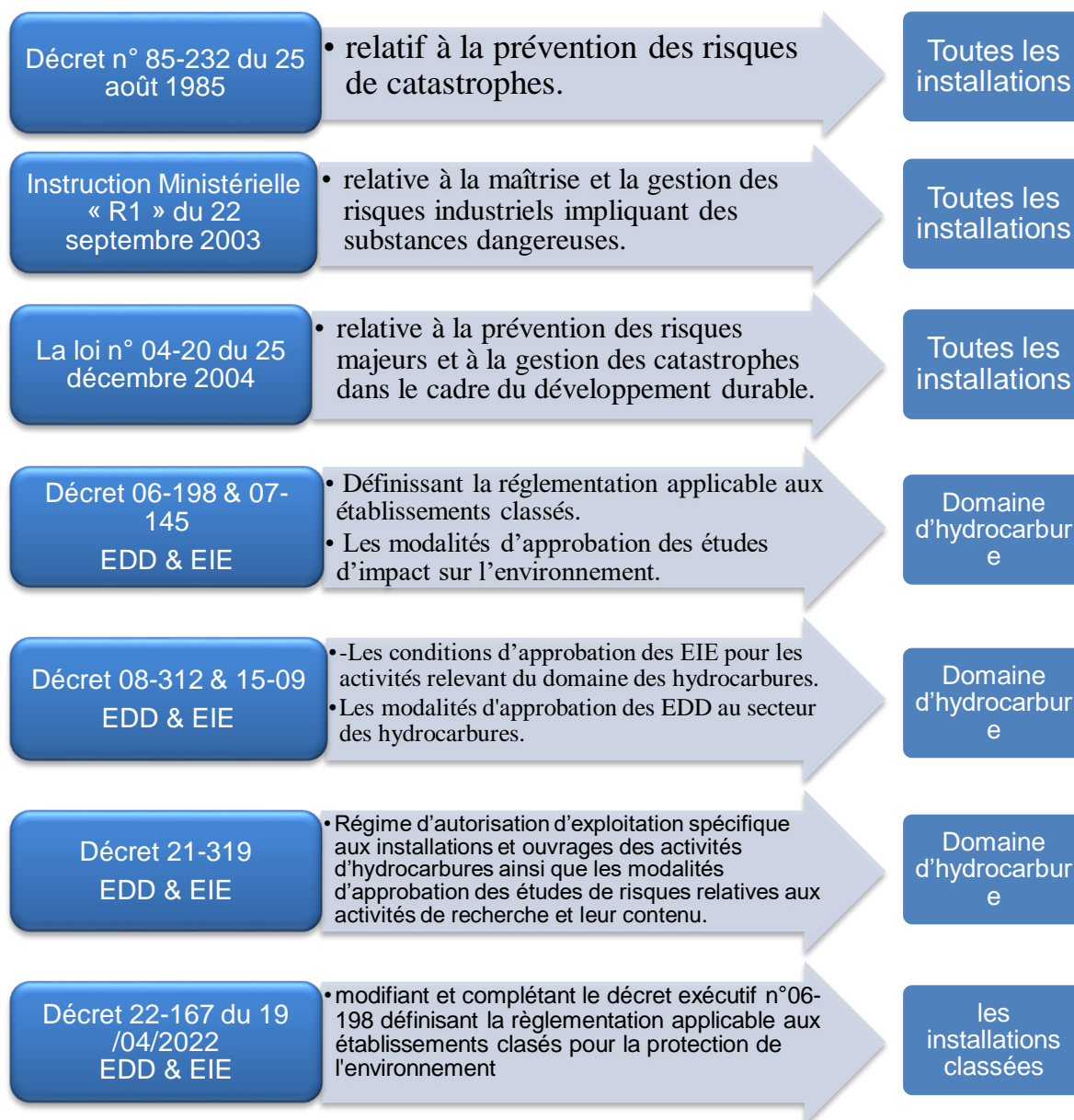
### 1.5 Les avantages des études de danger comprennent :

- Identification précoce et correction des dangers.
- Visibilité et contrôle du risque plus systématique.
- Une meilleure protection pour les travailleurs.
- Conformité aux exigences légales.
- Productivité accrue, moins de temps d'arrêt.
- Amélioration du moral des employés.



## 1.6 Aspects réglementaires et normatives:

Depuis le 14 août 2021, le décret exécutif n° 08-312 présente des nouvelles exigences relatives aux études de dangers (EDD)



**Figure 1 :** L'évolution de la réglementation algérienne relative à l'EDD au cours des années

Avant, le risque environnemental étaient régis par la loi algérienne n° 03-10 du 19 Jomada El Oula 1424 correspondant au 19 juillet 2003 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable. De cette loi découle plusieurs

décrets relatifs aux établissements industriels, notamment les établissements classés et le régime d'autorisation d'exploitation.

Depuis le 14 aout 2021, le décret exécutif n° 08-312 fixant les conditions d'approbation des études d'impact sur l'environnement et le décret exécutif n° 15-09 fixant les modalités d'approbation des études de dangers ont été abrogées par le nouveau décret exécutif n° 21-319 qui instaure des évolutions et des nouveautés par rapport aux deux textes précités.[2]

### 1.7 Les nouveautés du décret 21-319 :

Depuis le lancement du nouveau décret exécutif n° 21-319 le 14 août 2021 ; des nouvelles exigences relatives aux études de dangers (EDD) ont été fixées.

- Changement dans le processus d'approbation de l'autorisation d'exploitation.
- Création de la commission d'hydrocarbure (locale) et la commission de consultation (nationale).
- Modification dans le contenu de l'étude de danger.
- Nouvelle classification des installations hydrocarbure (**tableau dans l'annexe A**).
- L'apparition de l'étude de risque pour les Activités de recherche.
- Mise à jour obligatoire des EDD au minimum toutes les 5 années ou en cas de modification/conversion/reconversion des installations.[3]

#### 1.7.1 Champ d'application du décret 21-319 :

Ce décret représente la séparation entre la réglementation relative aux installations classées et celles qui est relative aux ouvrages et installation de production des hydrocarbures. Ce décret est applicable sur :

- Les nouveaux ouvrages, activités de recherche et les installations relevant du domaine des hydrocarbures.
- Les installations et les ouvrages existants disposant déjà d'une autorisation d'exploitation délivrée avant la date de publication de ce nouveau décret (actualisation réglementaire ou bien modification de l'autorisation).
- Les installations et les ouvrages dont l'accord préalable de création a été déjà accordé avant l'entrée en vigueur du présent décret. Le demandeur contenu avec l'autorisation

préalable ensuite il présent le dossier de demande d'autorisation suivant les dispositions du nouveau décret

- Les installations et les ouvrages existants dont les dossiers de demande d'autorisation sont postérieurs au 19 juillet 2005.

### 1.8 Structure d'une étude de danger :

L'étude de dangers est établie par un groupe de travail, à partir d'une analyse très détaillée des potentiels de dangers du site industrielle sur la population, les biens et l'environnement.

#### 1.8.1 Le contenu de l'EDD selon l'ancienne réglementation :

1. Présentation de la méthodologie.
2. Présentation de l'environnement de l'ouvrage ou de l'installation
3. Description de l'ouvrage ou de l'installation
4. Evaluation de l'accidentologie avec l'analyse du retour d'expérience
5. Identification des dangers et évaluation des risques d'accident
6. Descriptif des mesures de prévention et de protection pour limiter les conséquences d'un accident majeur
7. Système de gestion de sécurité SGS
8. Les modalités d'organisation et d'intervention en cas d'urgence

#### 1.8.2 Le contenu de l'EDD selon la nouvelle réglementation :

Selon le nouveau décret n° 21-319, la réalisation d'une étude de dangers doit s'appuyer sur une description suffisante des installations, de leur voisinage et de leur zone d'implantation. Elle doit présenter les mesures techniques et organisationnelles de maîtrise des risques et expliciter un certain nombre de points clés fondés sur une démarche d'analyse des risques.[4]

1. Présentation générale du projet ;
2. Description de l'environnement immédiat du projet et du voisinage potentiellement affecté en cas d'accident en recensant les activités, les établissements voisins, les zones, les aménagements et les ouvrages susceptibles d'être à l'origine, ou d'accroître le risque ou les conséquences, d'un accident majeur et d'effets domino ;

## CHAPITRE I : GENERALITE SUR L'ETUDE DE DANDER

---

3. Description du projet et ses différentes installations (implantation, taille et capacité, accès, choix du procédé retenu, fonctionnement, produits et matières mis en œuvre ...) en se servant au besoin de cartes (plan d'ensemble, plan de situation, plan de masse, plan de mouvement) ;
4. Evaluation de l'accidentologie avec l'analyse du retour d'expérience des installations similaires ;
5. Description de la démarche et des méthodes d'identification, d'analyse et d'évaluation des risques et des conséquences en justifiant les outils ou modèles de calcul utilisés ;
6. Identification de tous les facteurs de risques générés par l'exploitation de chaque installation ou ouvrage considéré(e). Cette identification doit tenir compte des facteurs intrinsèques et extrinsèques auxquels la zone est exposée ;
7. Analyse des risques et leurs conséquences inhérentes à l'exploitation de l'installation ou de l'ouvrage afin de déterminer de façon exhaustive leurs effets, pouvant survenir en leur attribuant une cotation en termes de gravité et de probabilité. Cette analyse doit : identifier de façon exhaustive tous les risques ; contenir les travaux de modélisation ; cartographier les scénarios majorants pouvant survenir ; attribuer une cotation entérinée de gravité et de probabilité permettant de les hiérarchiser ;
8. Analyse des effets domino pouvant survenir ;
9. La hiérarchisation des risques en fonction de la cotation attribuée ;
10. Analyse des impacts potentiels en cas d'accidents sur les populations (y compris les travailleurs au sein de l'installation ou de l'ouvrage), sur l'environnement ainsi que les impacts économiques et financiers prévisibles ;
11. Descriptif des mesures de prévention et de protection afin de réduire la probabilité d'occurrence et limiter les conséquences d'un accident majeur, comprenant les éléments suivants :
  - a. Descriptif des paramètres techniques et des équipements installés pour la sécurité intégrée des ouvrages et des installations ;
  - b. Description des équipements et des dispositifs de sécurité mis en place pour limiter les conséquences d'accidents majeurs pour préserver la santé et la sécurité des personnes, la protection des installations et de l'environnement ;
  - c. Description de toute mesure technique et non technique utile pour la réduction des conséquences d'un accident majeur.

12. Registre des risques majeurs contenant les résultats de l'analyse qualitative des risques, de l'analyse quantitative des risques et la planification de la réponse aux risques ;
13. La conclusion générale qui doit porter sur l'acceptabilité des scénarios ainsi que les moyens envisagés par l'exploitant pour la maîtrise du risque ;
14. Résumé non technique de l'étude. [5]

### 1.9 Les parties prenantes :

**Le demandeur :** Le prospecteur, l'entreprise nationale, les parties contractantes, l'opérateur amont, l'opérateur aval et le concessionnaire.[5]

**Les bureaux d'étude :** L'étude de dangers est réalisée, à la charge du demandeur, par un bureau spécialisé pré-qualifié conformément à la réglementation en vigueur, qui précise les risques auxquels l'installation peut exposer, directement ou indirectement en cas d'accident, que la cause soit interne ou externe à l'installation.

L'étude de dangers doit être un document finalisé et figé dans l'état, et établie conformément aux prescriptions législatives et réglementaires en vigueur au moment de la demande où il a été remis à l'Administration, ceci afin d'assurer une totale indépendance du Tiers Expert vis-à-vis de l'Administration et de l'Industriel.[6]

L'étude de dangers est réalisée, à la charge du demandeur, par un bureau spécialisé pré-qualifié conformément à la réglementation en vigueur

**L'ARH :**L'étude de dangers est soumise par le demandeur à l'ARH pour approbation.

### 1.10 L'approbation de l'EDD :

1. Le promoteur élabore l'étude par un BET agréé ;
2. Le promoteur dépose l'étude auprès du Wali ;
3. Examen par la commission de wilaya ou interministérielle de l'étude de danger ;
4. Elaboration de l'approbation ou du rejet de l'étude de danger ;
5. En cas de rejet le promoteur peut introduire un recours administratif et un nouvel examen sera effectué.[7]

## 1.11 Notions de bases :

### 1.11.1 Etablissement :

L'ensemble de la zone placée sous le contrôle d'un exploitant où des substances dangereuses se trouvent dans une ou plusieurs installations, y compris les infrastructures ou les activités communes ou connexes.[8]

### 1.11.2 Installations :

Une unité technique à l'intérieur d'un établissement où des substances dangereuses sont produites, utilisées, manipulées ou stockées. Elle comprend tous les équipements, structures, canalisations, machines, outils, embranchements ferroviaires particuliers, mais des chargements appointements desservant l'installation, jetées, dépôts ou structures analogues, flottantes ou non, nécessaires pour le fonctionnement de l'installation.[8]

### 1.11.3 Définition du Danger :

Le danger représente la propriété intrinsèque inséparable, continue à une substance (Mercure, CO...), à une tâche donnée (Transport des Matières Dangereuses...), à un système technique (unité de séparation...), à un dispositif (machine, outil ...), à un organisme (microbe, virus...)... capable à entraîner un dommage sur un élément vulnérable (fragile, délicat, faible); l'élément vulnérable peut être une personne, une organisation, une installation, une infrastructure, un environnement... [9]

### 1.11.4 Substances dangereuses :

Les substances, mélanges ou préparations présents sous forme de matière première, de produits, de sous- produits intermédiaires, y compris ceux dont il est raisonnable de penser qu'ils sont générés en cas d'accidents.[8]

### 1.11.5 Définition du Risque :

Un **risque** en générale est définit comme la possibilité (probabilité) d'occurrence d'un événement indésirable et imprévisible qui peut entraîner des dommages en fonction d'une exposition à un danger potentiel.

➤ Risque= danger \* exposition

Donc le Danger ne peut devenir un Risque que lors qu'il y'a une exposition d'un élément vulnérable à ce danger, ce qui guide vers une situation dangereuse qui résulte des dommages

Et le niveau du risque se présente en fonction de la gravité de ce dommage

### **Risque industriel :**

Le Risque industriel peut être considéré comme des situations dangereuses se produisant dans le site industriel et leurs annexe (les locaux de stockage, de distribution...), entraînant des conséquences immédiates pour le personnels, les populations avoisinantes, les biens et l'environnement.[10]

### **Risque majeur :**

Est un événement faiblement probable, d'origine naturelle ou anthropique, dont les effets peuvent mettre en jeu un grand nombre de personnes, occasionnant des dommages énormes qui dépassent les capacités de réaction de la société.

#### **1.11.6 Situation dangereuse :**

Une situation laquelle une personne est exposée à un ou plusieurs phénomènes dangereux.

#### **1.11.7 Dommage :**

Lésion physique où atteinte à la santé ou aux biens.

#### **1.11.8 Accident :**

Un événement inattendu non souhaité du fait du travail ou pendant le travail associé aux opérations du site industriel, qui entraîne des lésions/ blessures pour les personnes et/ou les biens (matériels).

#### **1.11.9 Incident :**

Un événement de caractère secondaire, inattendu et non souhaité survenu au cours du travail n'ayant pas entraîné ni des lésions corporelles, ni des dommages matériels, mais peut perturber le déroulement normal de travail.

### **1.11.10 Presque-accident :**

Un événement non souhaité qui, en des circonstances sensiblement différentes, aurait pu blesser des personnes, endommager une propriété et/ou l'environnement, ou qui aurait pu causer une perte d'activité. [8]

### **1.11.11 Accident majeur :**

Événement survenu du fait du travail ou pendant le travail associé aux opérations d'un site industriel, et ayant entraîné des lésions professionnelles mortelles ou des blessures graves multiples avec un arrêt de travail de 21 jours et plus.[8]

### **1.11.12 Incident majeur :**

Événement, lié ou survenu au cours du travail n'ayant pas entraîné des lésions corporelles graves, défini par un incendie important/explosion, un coût estimé de la perte (matériel, production...) supérieur à 10 Millions de DA et/ou des émissions ou déversement accidentels de produit chimique classé dangereux supérieur à 10 tonnes / 10 000 litres.[8]

### **1.11.13 Effets dominos :**

L'effet domino est un phénomène dangereux affectant une ou plusieurs installations d'un établissement et susceptible de déclencher un autre phénomène sur une installation voisine, entraînant une aggravation générale des effets du premier accident. Ce phénomène peut se produire dans tout établissement composé de plusieurs installations, chacune étant reliée aux autres par des routes, des canalisations ou d'autres moyens.[11]

## **1.12 Les scénarios catastrophiques et le phénomène dangereux :**

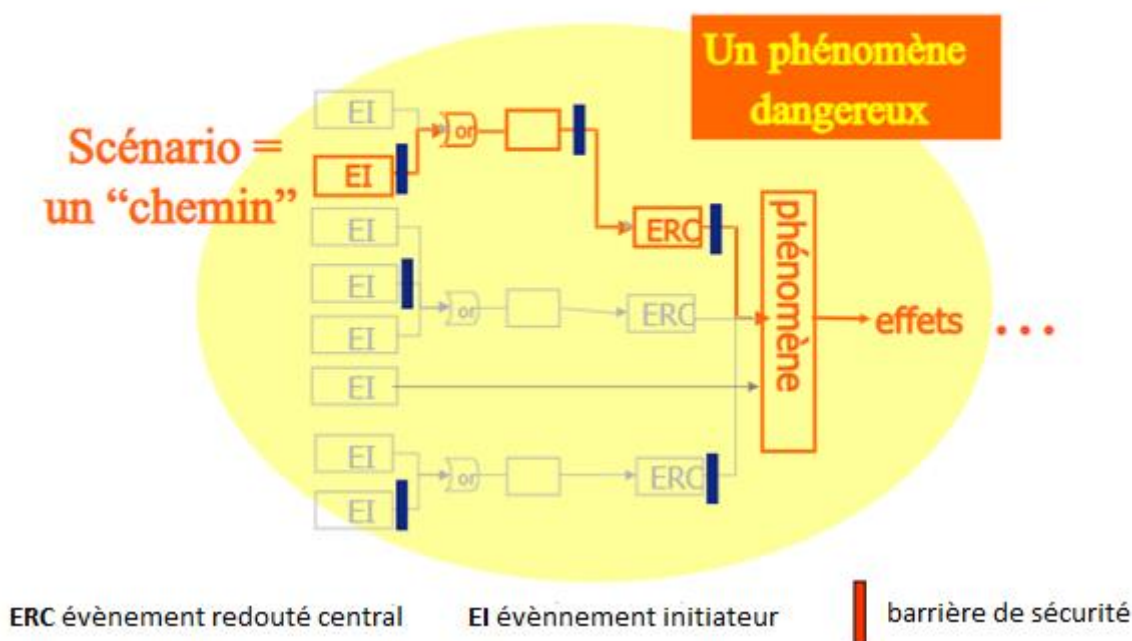
Un scénario catastrophique signifie le chemin du l'événement initiateur jusqu'à l'événement redouté centrale et par la suite vers le phénomène ; c'est-à-dire il ne se réalise qu'à travers une conjonction de nombreux événements sous certaines conditions ce qui donne naissance au phénomène dangereux. Un phénomène dangereux peut être un événement susceptible de provoquer un dommage, ou être une source potentielle de dommage.

Il est possible que plusieurs scénarios puissent conduire au même phénomène dangereux par plusieurs événements redoutés centraux.



## Scénarios / phénomène / barrières

Plusieurs scénarios peuvent conduire au même phénomène dangereux



**Figure 2** : schéma de l'apparition du phénomène dangereux.[12]

Dans le domaine des hydrocarbures on distingue deux types de phénomène dangereux : phénomènes instantanés et phénomènes à effets continus.

### 1.12.1 Phénomènes instantanés :

Sont les phénomènes à caractère thermique dont les effets engendrés sont important (accident majeur) au cours d'une courte durée (instantanée).

On peut citer comme phénomènes instantanés :

#### 1.12.1.1 BLEVE :

##### Définition :

**BLEVE** c'est une abréviation anglaise signifie « Boiling liquide Expanding Vapor Explosion », cela veut dire en français "explosion de vapeur en expansion de liquide bouillant", qui correspond à une libération brutale d'une masse de liquide combustible en état d'ébullition sous l'effet d'augmentation de la pression interne, suite à la perte d'intégrité ou la perforation de son enveloppe de stockage, suivi d'une inflammation générale immédiate. Il

s'agit d'une explosion dont les effets dominants sont les effets de rayonnement thermique plus que de surpression.[13]

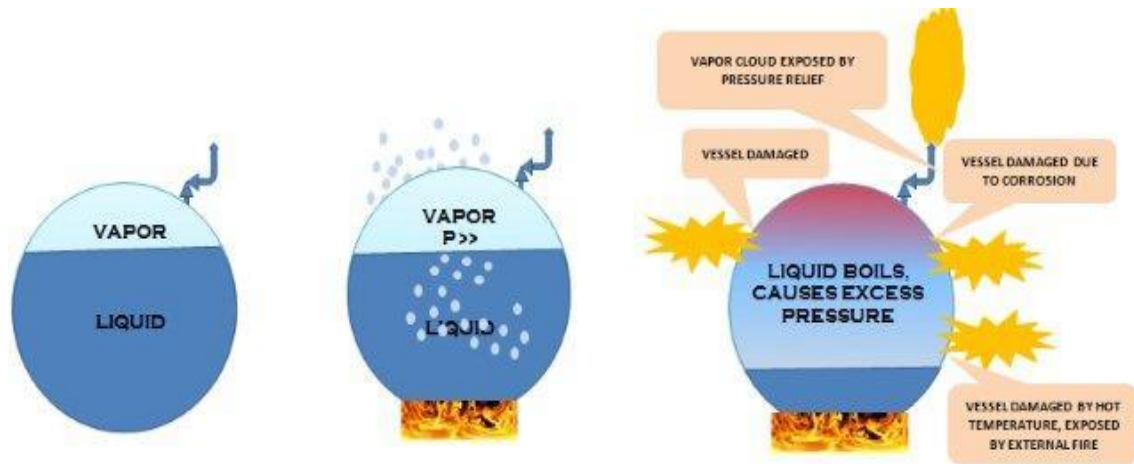


Figure 3 :schéma explicatif du phénomène BLEVE.[14]

### Les causes principales :

- Augmentation de la pression et la température à l'intérieur du réservoir (incendie).
- Fragilisation de l'enveloppe de stockage (corrosion).
- Choc mécanique ou détérioration de l'enveloppe par une force physique (projection violente des objets)

### Les effets du BLEVE :

- Une boule de feu : qui consume ou endommage ce qui se trouve à l'intérieur.
- Rayonnement thermique à proximité immédiate de la boule de feu. Ainsi les émissions d'un tel front de flamme peuvent atteindre des valeurs allant jusqu'à plusieurs centaines de kW/m<sup>2</sup>.
- 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 : Des débris sont propulsés majoritairement vers les extrémités du réservoir. Cette projection est donc imprévisible et peu parfois atteindre des proportions énormes, à plus d'un kilomètre de diamètre de la source.

### La prévention contre le BLEVE :

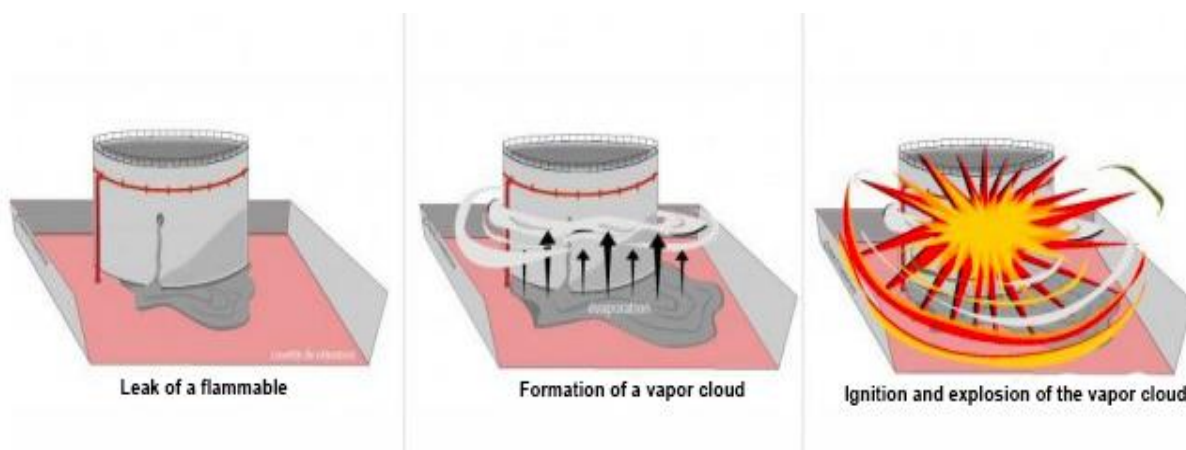
Pour limiter le risque d'accident, les réservoirs sont en général munis de soupapes de sécurité qui permettent d'évacuer la pression avec une ébullition contrôlée avant la rupture de la paroi. Il peut toutefois arriver que ces soupapes soient insuffisantes pour contrôler l'augmentation de pression interne dans le cas d'incendies très violents

- Un renforcement de la structure du réservoir.
- Une fiabilisation de la soupape de sécurité.
- Une bonne maîtrise du remplissage en limitant l'échauffement du réservoir par:
  - Un film d'eau ruisselant sur la paroi.
  - Un revêtement isolant thermique.
  - Une mise sous talus.
  - Un aménagement du sol sous le réservoir qui éloigne le liquide inflammable (cuvette de rétention déportée).
  - Un dimensionnement approprié de la soupape de sécurité pour qu'elle assure une lente dépressurisation du réservoir, à une pression qui maintienne le liquide au dessous de sa température limite de surchauffe.

#### 1.12.1.2 UVCE ou Flash Fire:

##### Définition :

UVCE terme anglais « Unconfined Vapor Cloud Explosion » signifie en français “explosion d'un nuage de gaz en milieu non confiné” Suite à une fuite de gaz combustible dans l'air d'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 (déflagration).



**Figure 4** : les étapes d'occurrence d'un UVCE.[14]

### Les causes de l'UVCE :

- Une émission des vapeurs due à une fuite d'un produit combustible liquéfié, formant un nuage inflammable dans l'air.
- Evaporation d'une nappe de liquide combustible, qui nécessite une petite énergie pour compléter la réaction du triangle de feu.
- Parfois on assiste à une combinaison des deux points précédents comme dans le cas du rejet d'un liquide sous pression produit, sous l'influence de la vitesse du fluide lors de la pénétration et du frottement dans l'air, une désintégration mécanique du jet en fines gouttelettes qui généralement tombent au sol où ils contribuent à la formation d'un bassin d'évaporation.

### Les effets du l'UVCE :

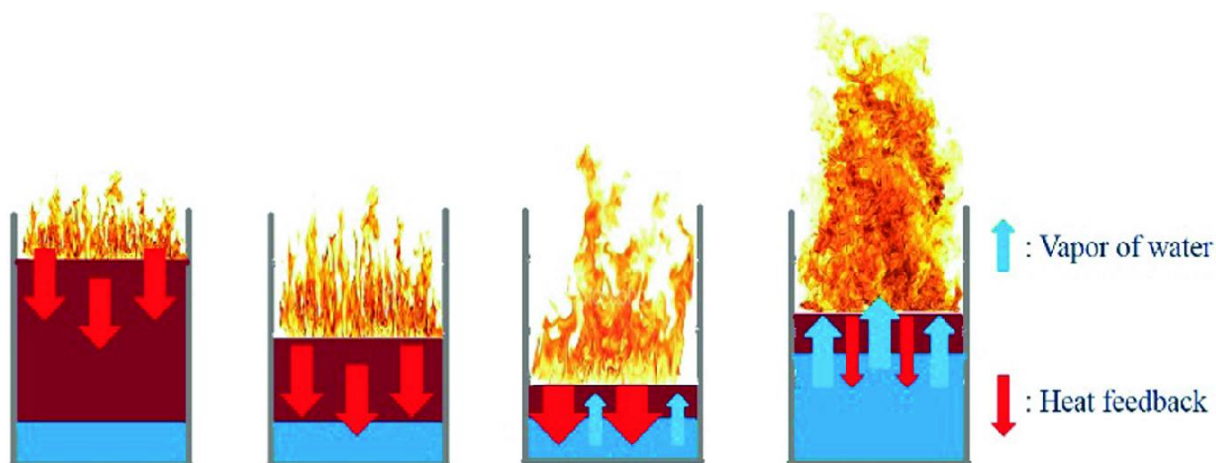
- Une boule de feu qui consume ou endommage ce qui se trouve à l'intérieur.
- Un rayonnement thermique sur le voisinage immédiat de la boule de feu.
- Des effets de pression plus ou moins importants suivant l'encombrement du lieu de l'accident.

#### 1.12.1.3 Boil Over:

##### Définition :

L'**explosion par vaporisation** en français ou dite **Boil Over** en anglais, est un phénomène explosif son principe d'apparition est similaire à l'ajout d'eau dans de l'huile chaude, qui se produit souvent lors d'opérations de lutte contre les incendies impliquant certains types d'hydrocarbures (généralement les huiles, les distillats ou les gaz légères avec

une masse volumique inférieure par rapport à celle de l'eau). Ce phénomène est à l'origine de projections violentes de liquide enflammé et de la formation d'une boule de feu dans un bac de stockage d'hydrocarbures en flamme. L'eau utilisée pour combattre un incendie peut s'y accumuler en raison de la différence de densité des deux liquides. La chaleur est transférée du feu à l'eau, qui peut soudainement s'évaporer, libérant des gouttelettes d'hydrocarbures enflammées dans l'air sous la forme d'une boule de feu.



**Figure 5 : les étapes d'un Boil Over.[14]**

### **Les principales causes de Boil Over :**

- Présence d'eau dans le réservoir (teneur en eau de l'hydrocarbure, pénétration de l'eau de pluie au travers des événements, condensation sur les parois internes, introduction d'eaux d'extinction)
- Incendie prolongé en partie supérieure.
- Propagation d'une onde de chaleur.
- Vaporisation de l'eau

### **Les conséquences du phénomène Boil Over:**

Un Boil Over peut provoquer plusieurs effets :

- Une explosion (rupture de la capacité).
- Une éjection de liquide en émulsion et en feu. (Extension de l'incendie).
- Une boule de feu avec ses retombées (effets thermiques).

### 1.12.2 Phénomènes continus :

Contrairement aux phénomènes décrits ci-dessus, certains phénomènes sont caractérisés par une durée pouvant aller de quelques minutes à quelques heures, voire plusieurs jours dans certains cas :

- Feu chalumeau (Jet Fire)
- Feu nappe (pool Fire)

#### 1.12.2.1 Feu chalumeau (Jet Fire) :

##### Définition :

Le jet Fire ou feu chalumeau appelé également feu de torche peut survenir suite à des fuites accidentelles de fluides inflammables ou à des évacuations intentionnelles de sous-produits par l'intermédiaire de torchères.



**Figure 6** : image du phénomène Jet Fire.[15]

##### L'origine du phénomène de feu chalumeau :

Le phénomène de feu chalumeau apparaît lors un rejet continu qui forme un jet de carburants à l'état gazeux ou liquide résultant d'une fuite accidentelle ou intentionnelle (par rupture de canalisation ou de réservoir, fissures d'un bac de stockage...) pénètre dans l'air ambiant au ralenti, le carburant se mélange à l'air par effet de réchauffement et de diffusion. Si ce mélange est enflammé par une source d'allumage, le feu torche prend naissance sous la forme d'une flamme de diffusion.[6]

L'inflammation du produit se produit généralement :

- Si sa température spontanément est suffisamment élevée.

- En raison de points chauds.
- Par la présence d'une étincelle à proximité (démarrage d'un véhicule, collision d'objets, la foudre...)

### **Conséquence de Jet Fire :**

Le jet fire peut causer des dommages graves notamment :

- Les pertes humaines (intoxication, suffocation, brûlures...).
- Pertes matérielles (détérioration des installations ce qui peuvent perturber le processus de production).
- Conséquences pour l'environnement (rejets toxique dans le milieu naturel).

### **1.12.2.2 Feu de nappe (Pool Fire):**

#### **Définition :**

Le terme « Feu de nappe », ou « Pool-Fire », décrit une flamme au-dessus d'une nappe de liquides inflammables qui atteint une température supérieure à son point d'éclair et à partir d'un point chaud (étincelles, flamme...).

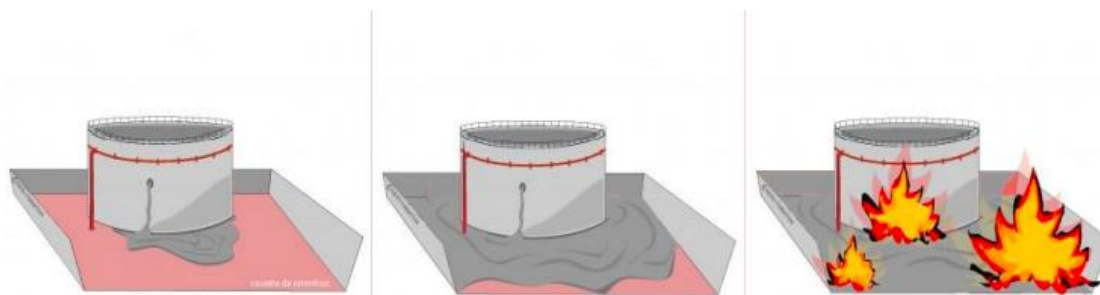
Il existe deux types de feux de bassin (pour deux périodes différentes) :

1) Feu de nappe précoce (Early pool fire): lorsque le taux de combustion et le taux d'alimentation de la nappe sont égaux.

2) Feu de nappe tardif (Late pool fire): l'extension maximale de la nappe.

Les propriétés de la combustion dépendront de :

- La nature du liquide inflammable.
- La forme et de la taille de la nappe.
- Conditions météorologiques (vent notamment).
- Substrat sur lequel l'épandage a eu lieu.[16]



**Figure 7** : les étapes d'occurrence d'un feu de nappe. [14]

### **Les principales causes :**

Le phénomène Feu de nappe est un d'épandage de liquide inflammable dans le sol, se produit fréquemmentent cas d'une fuite peut être à l'origine de :

- Corrosion de réservoir de stockage.
- Fissure dans le conteneur provoqué par un choc physique.
- Explosion du réservoir et détérioration totale du revêtement...

L'inflammation des vapeurs émise par la flaque du liquide peut être à l'origine d'un point chaud (un incendie, une étincelle ou une cigarette allumée à proximité...).

### **Les conséquences du phénomène :**

Les conséquences de ce phénomène sont similaires aux celles des explosions, des effets thermiques et de pression, et effets des missiles. .

L'effet d'un feu de nappe dépend de la taille de la surface brûlée, du produit brûlé et de la durée du feu.

Le feu en nappe est un accident relativement fréquent mais s'il est bien maîtrisé, des conséquences faibles sur l'homme ; par contre, une autre conséquence de l'explosion d'un réservoir est le danger de voir une nappe de liquide brûlant s'échapper brutalement après la rupture du réservoir, donc si le feu prend naissance à proximité du stockage de matières combustibles, les effets dominos peuvent être désastreux (plus violents incendie, explosion...)

### **1.13 Historique des accidents survenus et REX :**

Pour la prévention de la survenance d'un accident majeur, l'analyse des risques au sein de l'étude de dangers s'appuie essentiellement sur le retour d'expérience qui permet de



mettre en évidence que les accidents industriels majeures sont généralement la conséquence d'un enchaînement d'évènements indésirables combiné à des défaillances de barrière de sécurité dans le système de production.

### **1.13.1 Explosion dans le complexe de GNL1K Skikda 19 janvier 2004 :**

De nombreux pays aient connu des explosions impliquant des installations de stockage de gaz naturel, la catastrophe algérienne est l'une des pires de l'histoire récente, quand une explosion se produit vers 18h40 dans un complexe pétrochimique portuaire, 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.

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.

Le bilan final est très lourd : 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). La plupart des décès est liée aux effets de surpression ou de projection et effondrements de structures.

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.

La cause principale de l'explosion était initialement inconnue, mais selon un des témoins, des bruits anormaux correspondant à des vibrations ou à des fuites sur soupapes auraient été entendus avant l'explosion violente. L'unité (train 40) où s'est produite l'explosion, semblait présenter des anomalies de fonctionnement régulières. Suite à une fuite importante signalée par un agent de maintenance qui décèdera dans l'explosion, un mélange d'air et d'hydrocarbures gazeux aurait été aspiré par l'entrée d'air de la chaudière du train n°40. Cette aspiration aurait provoqué une première explosion à l'intérieur de cette dernière,

suivie d'une seconde déflagration à l'extérieur puis d'un incendie détruisant les trains n°20 et 30 voisins espacés de 60 m les uns des autres.[17]



**Figure 8 :accident Skikda 2004.[18]**

### **1.13.2 Explosion de la raffinerie de pétrole Châteauneuf les Martigues09/11/1992 :**

Une très violente explosion se produit à 5h20 dans une raffinerie en marche normale. L'explosion perçue jusqu'à 30 km est suivie de plusieurs autres. Le POI est déclenché à 5h45 et les secours extérieurs interviennent. Le plan rouge est activé à 6h15 ; 250 pompiers en provenance de sites industriels et de villes et département limitrophes sont mobilisés. L'incendie reprend à 9h50 et est maîtrisé à 13h30.

Un bilan très lourd est à déplorer : 6 morts et 37 blessés dont 1 grave parmi le personnel et 2 blessés parmi les pompiers. Le site est dévasté sur 2 ha et des vitres sont brisées dans un rayon de 1 000 m à l'extérieur de l'établissement (bris ponctuellement constatés à 8 km). Il n'y a pas d'impact relevé sur le milieu : les eaux d'extinction sont collectées dans 2 rétentions couvrant 33 000 m<sup>3</sup>, avec mise en place préventive de barrages flottants.

Une enquête judiciaire est effectuée. Ses conclusions font état d'une fuite de gaz qui se serait produite sur une tuyauterie de 8 pouces de l'unité "gas plant" (tour de traitement des gaz sous 10 bars, associés au craqueur catalytique). Le nuage à l'origine de l'explosion (UVCE) est évalué à 5 t d'un mélange de différents gaz (butane, propane) et de naphthas légers. Par effet domino, le dépropaniseur explose à son tour (boule de feu) et 6 foyers d'incendie sont dénombrés, dont l'un sur un bac situé à 200 m.

Pour maîtriser les 5 000 m<sup>2</sup> en feu, 150 m<sup>3</sup> d'émulseur sont utilisés. La salle de contrôle de l'unité est détruite ; 3 opérateurs en poste sont tués. Une grue s'écroule dans une unité en construction.

Le montant des dégâts matériels internes, enlèvement des débris et coûts de réhabilitation sont évalués à 428 M€ (basé sur les indices de valeur à décembre 2019). Le site redémarre ses activités en 1994.[17]



**Figure 9** : accident Châteauneuf les Martigues 1992.[17]

### 1.14 Les mesures de lutte contre l'incendie :

La lutte contre les incendies dans l'industrie de la production d'hydrocarbures est un sujet sérieux et sensible au temps, car elle implique la manipulation de matériaux hautement inflammables. Le feu est une menace constante pour cette industrie, donc il est important pour les entreprises d'avoir un système de lutte contre les incendies fiable en place.

**Les systèmes de lutte contre l'incendie** : on distingue deux types :

#### 1.14.1 Système déluge :

Un système déluge est un système de lutte contre l'incendie qui utilise de l'eau pour éteindre les incendies, ce type de système est l'un des plus couramment utilisés dans le domaine d'hydrocarbures car il est efficace et relativement peu coûteux.

Les systèmes déluge sont conçus pour pulvériser de grandes quantités d'eau sur l'incendie aussi rapidement que possible afin de l'éteindre avant qu'il ne se propage ou devienne incontrôlable. Cette action a deux effets principaux : elle refroidit l'endroit enflammé pour qu'il ne puisse plus brûler et elle éteint les flammes qui sont encore en activité.

## CHAPITRE I : GENERALITE SUR L'ETUDE DE DANDER

---

Pour des raisons de sécurité, ce type de système ne doit être utilisé que lorsqu'il n'y a pas d'autre solution pour éteindre un incendie ; sinon, il risque de propager le feu au lieu de l'arrêter (respectant le tableau des classes de feu).

Le système déluge, lorsqu'il est correctement mis en œuvre, peut constituer un système de protection contre l'incendie fiable et efficace pour les plates-formes pétrolières et autres sites où des incendies sont susceptibles de se produire.

### 1.14.2 Système à mousse :

Les systèmes d'extinction à mousse sont un moyen très efficace et écologique de lutter contre les incendies. Ils utilisent un mélange moussant pour éteindre les flammes, ce qui signifie qu'ils peuvent être utilisés sur une grande variété de matériaux combustibles.

La mousse utilisée par ces systèmes est composée d'eau, d'un agent moussant (l'émulseur) et d'additifs. Le mélange est créé en injectant de l'air dans le liquide, ce qui produit des bulles qui fragmentent le combustible en petites gouttelettes plus faciles à refroidir. Lorsque ces gouttelettes refroidissent, elles perdent leur énergie et cessent de brûler.

Ces systèmes sont souvent installés dans les zones où le risque d'incendie est élevé ou dans celles où des matières inflammables sont stockées en grandes quantités.

### Conclusion :

Par ce présent chapitre nous avons établi une étude bibliographique nous permettant de mieux comprendre la différence entre l'ancien décret et le nouveaux on a eu une idée détaillée sur les risques présent dans l'industrie en générale et dans celle de production des hydrocarbures en spéciale, ainsi qu'un petit rappel sur l'historique des accidents déjà survenus, soulignant l'importance de REX pour empêcher la réapparition de ce genre d'accident ainsi que les mesure de protection et de prévention mise pour le contrôle de ces accidents. Lors du chapitre suivant, on s'intéressera aux méthodes d'analyse des risques afin de mieux élaborer une étude de danger efficace pour faire face à ces risques.

**CHAPITRE II :**

**LES METHODES D'ANALYSE DES**

**RISQUES**

### 2 Chapitre 2 : Méthodes d'analyse des risques

#### 2.1 Introduction :

Les scénarios catastrophiques dans les industries des hydrocarbures peuvent être hors de contrôle causant des dommages très graves affectant les installations de production ainsi que l'environnement environnant, et pour cela des nombreuses méthodologies d'analyse des risques et de leurs effets ont été développées a fin de prévenir l'apparition de l'un de ces scénarios ;L'analyse des risques a donc un sens très large et ne peut se limiter à l'application de certaines méthodes d'analyse des risques constatés, et nous avons choisi dans ce chapitre certaines méthodes pour leur mise en œuvre dans le domaine de l'EDD (ces méthodes sont comme suit: Hazop, Arbre d'événement et Nœud papillon).

#### 2.2 L'analyse des risques :

L'analyse des risques est considérée comme la première étape du processus de gestion des risques, sa réalisation consiste à mettre une identification systématique et structurée des différents facteurs de risque et les potentiels de danger dans les situations de travail et les procédés de production dans une entreprise

#### 2.3 Le but de l'AnalyseDes Risques dans un document EDD:

Il s'agit ici de donner un avis sur la méthode d'identification des risques liés à l'exploitation des installations adoptée dans l'étude de dangers, objet de l'analyse critique.

L'analyse des risques est le cœur de toute étude de dangers. Les objectifs de l'analyse des risques sont multiples, parmi ceux-ci, on citera :

- L'analyse des risques examine la séquence des scénarios concernée et la nature et la fréquence des conséquences nuisibles des dangers identifiés pour obtenir une mesure du niveau de risque à analyser, ainsi que les circonstances atténuantes à tenir (barrières de sécurité).
- Identifier, de la façon la plus exhaustive possible, les scénarios susceptibles de conduire à un accident majeur quelque soit la phase d'exploitation des installations (fonctionnement normal, phases d'arrêt/démarrage, phases de maintenances, modes dégradés);

- Identifier les mesures de maîtrise des risques mises en œuvre, sur une installation existante, ou prévues, dans le cas d'une installation nouvelle ;
- Vérifier que ces mesures permettent de maîtriser les risques définis dans l'étude de dangers.
- L'application de méthodes d'analyse de risques permet donc de regrouper un certain nombre de données dans le but de maintenir à tout instant l'installation en sécurité que ce soit en fonctionnement normal ou en marche dégradée.[9]

### 2.4 La matrice des risques :

#### **Définition :**

La matrice des risques est un outil utilisé pour évaluer la probabilité de survenance des risques liés à un projet ou à une situation et leurs conséquences en permettant d'identifier les risques les plus importants à traiter et la manière dont ils doivent être traités, elle donne immédiatement une vue d'ensemble sur le degré de criticité des risques, et permet de les catégoriser afin de mieux les gérer et identifier ceux sur lesquels il faut agir en priorité.

La matrice des risques a été utilisée dans de nombreuses industries différentes pour aider à identifier les risques, tels que l'industrie de pétrole et le gaz, la production d'énergie nucléaire et même les soins de santé. Une matrice des risques est également un outil important pour les ingénieurs qui souhaitent améliorer la sécurité de leurs procédés, elle permet d'effectuer des évaluations des risques sur les processus en identifiant les risques potentiels associés à différentes actions ou décisions.

#### **Pourquoi faire une matrice de risques ?**

La matrice des risques est un outil très important dans le processus de l'analyse des risques, elle permet d'identifier et de hiérarchiser les risques associés à un projet et de déterminer la probabilité de survenance de chaque risque et son impact sur le projet s'il se produit afin d'aider les industries à prendre des décisions éclairées sur les risques qui doivent être atténués en priorité et comment.

## CHAPITRE II : METHODES D'ANALYSE DES RISQUES

**Tableau 1 :** La matrice des risques.

					<b>P5</b>	<b>Probabilité</b>
					<b>P4</b>	
					<b>P3</b>	
					<b>P2</b>	
					<b>P1</b>	
<b>G5</b>	<b>G4</b>	<b>G3</b>	<b>G2</b>	<b>G1</b>	<b>Risque</b>	
<b>Gravité</b>						

**L'interprétation de la matrice :** Les clés :

**Tableau 2 :** description de la gravité.

<b>Gravité</b>		<b>Description</b>
<b>G1</b>	<b>Mineur</b>	Pas de blessure ou impact mineur sur la santé. Perte de production négligeable/ Dégât équipement négligeable.
<b>G2</b>	<b>Modéré</b>	Blessure ou impact modérés sur la santé. Perte de production mineure ; Dégât équipement avec intervention mineure.
<b>G3</b>	<b>Important</b>	Blessure ou impact important sur la santé Perte de production importante ; Dégât équipement important
<b>G4</b>	<b>Grave</b>	Blessure ou impact sur la santé. Perte d'une partie des installations ; Arrêt d'une partie du site.
<b>G5</b>	<b>Catastrophique</b>	Mort ou traumatisme très grave. Perte de plusieurs installations ; Arrêt complet du site.



## CHAPITRE II : METHODES D'ANALYSE DES RISQUES

**Tableau 3** : description de la probabilité.

Probabilité	Description
<b>P1</b>	Presque 100% sûr que l'incident aura lieu Peut se produire à plusieurs reprises sur ce site.
<b>P2</b>	Peut se produire à plusieurs reprises pendant la durée de vie des installations.
<b>P3</b>	Pourrait se produire pendant la durée de vie des installations.
<b>P4</b>	Un évènement similaire déjà rencontré dans le secteur d'activité ou dans ce type d'organisation au niveau mondial.
<b>P5</b>	Improbable de se produire mais n'est pas impossible au vu des connaissances actuelles.

### Les zones colorées :

La matrice comporte trois zones : rouge, jaune/orange et verte

- **La zone rouge** : contient les risques les plus graves qui sont extrêmement susceptibles de se produire et d'avoir un impact significatif sur l'entreprise s'ils se produisent. Ces types de risques doivent être atténués dès que possible car ils peuvent causer des dommages importants à la réputation ou aux finances de l'organisation.
- **Les zones jaunes (zone ALARP : As Low As Reasonably Practicable)**: contiennent des risques à faible impact qui sont peu probables mais possibles de se produire. Ces types de risques doivent être surveillés de près afin de pouvoir réagir rapidement si quelque chose se produit afin qu'il n'y ait pas de dommages durables causés par l'évènement. **Zone Orange** : On considère que les risques de cette zone sont gérables. Pour ces risques-là on peut planifier des actions préventives et/ou correctives.
- **Les zones vertes** : contiennent des risques moins graves que les rouges mais toujours très susceptibles de se produire. Les risques de cette catégorie doivent être atténués

dès que possible car ils peuvent causer des dommages qui pourraient affecter votre réputation ou vos finances s'ils ne sont pas contrôlés trop longtemps.

### 2.5 Les différentes méthodes d'analyse de risques :

#### 2.5.1 Méthode HAZOP :

##### **Définition :**

Méthode HAZOP (HAZard and OPerability study) est l'application d'une procédure critiques estimative d'examen des principes de fonctionnement d'un système pour évaluer le danger potentiel résultant d'un mauvais fonctionnement ou de l'utilisation correcte de certains composants et des effets en résultant sur le système. Le principe est basé sur le fait que des dangers se produisent uniquement quand existe une déviation à partir des conditions normales.[19]

La méthode HAZOP, a été développée par la société Imperial Chemical Industries (ICI) au début des années 1970. Elle a depuis été adaptée dans différents secteurs d'activité. la société britannique Imperial Chemical Industries, l'une des plus grosses entreprises de l'industrie chimique au monde, a décidé d'améliorer les performances de ses processus et la sécurité de ses installations. Pour ce faire, la méthode HAZOP a été mise au point. Son objectif est d'identifier l'ensemble des dangers et des risques pouvant menacer un site industriel afin de pouvoir éviter tout événement indésirable.

La plupart des méthodes utilisées à l'époque étaient basées sur l'analyse d'événements antérieurs observés. HAZOP propose une approche originale en déterminant les dangers et les défauts d'une installation à priori et non à posteriori. Chaque processus est analysé en prenant en compte l'ensemble des paramètres le gouvernant. Ainsi, toute modification des paramètres est tracée et analysée de façon à détecter tout dysfonctionnement potentiel.

En 1974, l'industrie chimique vit sa plus grande catastrophe lorsqu'une explosion libère dans l'atmosphère de Flixborough, en Grande-Bretagne, un nuage de 40 tonnes de cyclohexane, qui fait 28 morts et 89 blessés. La méthode HAZOP va alors se répandre dans de nombreuses industries à risques (notamment dans la chimie et la pétrochimie, le nucléaire ou encore les transports).[19]

## CHAPITRE II : METHODES D'ANALYSE DES RISQUES

---

HAZOP étant une approche inductive d'analyse de risque s'est développée pour s'adapter à d'autres secteurs ; étudie l'influence de déviations des divers paramètres régissant le procédé analysé par rapport à leurs valeurs nominales de fonctionnement. A l'aide de mots-clés, les dérives imaginées de chaque paramètre sont examinées systématiquement afin de mettre en évidence leurs causes, leurs conséquences, les moyens de détection et les actions correctrices.

### **Le champ d'application d'une étude HAZOP :**

A l'origine, l'étude HAZOP a été conçue pour les systèmes incluant le traitement d'un milieu fluide ou autres flux de matière dans les industries de transformation. Son domaine d'application n'a cessé de s'étendre au cours de dernières années, et la technique HAZOP s'applique aujourd'hui par exemple :

- Aux applications logicielles, y'a compris les systèmes électroniques programmables ;
- Aux systèmes assurant le déplacement des par différentes modes comme le transport routier et le transport ferroviaire ;
- A l'examen de différentes séquences de procédures d'exploitation ;
- A l'évaluation des procédures administratives dans différentes industries ;
- A l'évaluation de systèmes spécifiques, comme les appareils médicaux.

L'étude HAZOP n'est particulièrement utile pour déterminer les faiblesses des systèmes qui nécessitent la circulation de matières, de personnes ou de données, un certain nombre d'événement ou d'activités d'une séquence planifiée ou des procédures contrôlant cette séquence.

L'étude HAZOP n'est pas seulement un outil précieux pour la conception et la mise sur pied de nouveaux systèmes, elle peut être utilisée avec profit pour :

- L'examen des dangers et des problèmes potentiels liés à différents états de l'exploitation d'un système donné (démarrage, attente, fonctionnement normal, arrêt normal, arrêt d'urgence...)
- Le processus et les séquences de fabrication par lots et régime instable ainsi que dans les séquences continues.

L'étude HAZOP peut être considérée comme une partie intégrante du processus global de bonne ingénierie des valeurs et de la gestion du risque.[9]

### **L'objectif de l'étude HAZOP :**

L'objectif de la méthode HAZOP est, à l'origine, d'identifier les dysfonctionnements de nature technique et opératoire dont l'enchaînement peut conduire à des événements non souhaités. Il s'agit donc de déterminer, pour chaque sous-ensemble ou élément d'un système bien défini, les conséquences d'un fonctionnement hors du domaine d'utilisation pour lequel ce système a été conçu. Les risques peuvent être de plusieurs natures, notamment ceux sur les personnes et les biens, tant sur le Site qu'en dehors. Il est également important de considérer les impacts potentiels sur l'environnement. Quel que soit le type de risque, nombre d'entre eux ont des conséquences financières directes.

Les études HAZOP sont généralement utilisées pour identifier des problèmes significatifs d'opérabilité ou de qualité et cela sera inclus comme un objectif d'étude spécifique.

L'étude HAZOP peut également tenir compte des problèmes de qualité dans la conception proposée. Il est conseillé de couvrir les aspects des opérations de maintenance, y compris l'isolement, la préparation et le retrait pour la maintenance, car ceux-ci entraînent souvent des dangers en plus d'un problème d'opérabilité. Dans le cas de processus ou d'activités manuels, il peut être nécessaire d'analyser en détail l'environnement de travail de l'ensemble du processus ou de l'activité.

### **Le déroulement de la méthode HAZOP :**

La méthode HAZOP se compose de six étapes :

1. Définition du problème : Cette étape implique un examen approfondi des dangers du procédé et de leurs mesures de contrôle, ainsi que l'identification de tout problème potentiel ;
2. Sélection des dangers du procédé : Les dangers sont identifiés en fonction de leur gravité et de leur probabilité d'occurrence, ou de leur sensibilité aux changements des conditions d'exploitation ;
3. Analyse des dangers : Les dangers identifiés dans les étapes précédentes sont analysés pour déterminer leurs effets sur le procédé, ses équipements et son personnel, ainsi que pour identifier les éventuelles synergies entre eux ;

## CHAPITRE II : METHODES D'ANALYSE DES RISQUES

---

4. **Évaluation des dangers** : les dangers sont évalués en fonction de leur probabilité d'occurrence et d'ampleur, ainsi qu'en déterminant l'ampleur des dommages qui peuvent être causés s'ils se produisent, la probabilité qu'ils se produisent et s'il existe des vulnérabilités présentes dans le processus (c'est-à-dire les conditions dans lesquelles un accident pourrait se produire) ;
5. **Atténuation des dangers** : des mesures d'atténuation sont proposées pour réduire ou éliminer les dangers en fonction des résultats obtenus à l'étape 4 ci-dessus ; Ces actions peuvent inclure des modifications de la conception du procédé ou des conditions de fonctionnement, entre autres, en fonction de ce qui a été trouvé au cours de cette étape ;
6. **Mise en œuvre** : si elle est correctement mise en œuvre en suivant toutes les autres étapes, aucune autre action n'est requise à ce stade.

### **Feuille HAZOP :**

La méthode HAZOP est un processus qui permet de concevoir et d'évaluer des systèmes, à l'aide d'un tableau. Ses 8 colonnes correspondent termes suivants :

1. **Mots-clés** : Il décrit en quoi consiste chaque étape et pourquoi il est nécessaire d'en tenir compte. Par exemple, "la quantité d'eau utilisée" est un mot-clé car il décrit ce qui est analysé et comment il se rapporte au problème à résoudre.
2. **Paramètre** : c'est la variable qui est analysée. Elle est parfois appelée variable de contrôle.
3. **Causes** : cette colonne explique les causes de l'effet que vous analysez. Par exemple, si vous analysiez la façon dont les élèves réagissent à différents types d'ensembles de problèmes, votre cause pourrait être que « les élèves préfèrent les ensembles de problèmes comportant moins de six problèmes ».
4. **Conséquences** : Cette colonne explique quelles conséquences résultent des causes. Par exemple, si vous analysiez la façon dont les étudiants réagissent à différents types d'ensembles de problèmes, votre conséquence pourrait être que "les étudiants qui préfèrent les petits ensembles de problèmes ont des résultats aux tests inférieurs à ceux qui préfèrent les plus grands".
5. **Détection** : cette colonne explique comment détecter une instance où votre paramètre a été modifié ou altéré par une force extérieure ou par accident.

## CHAPITRE II : METHODES D'ANALYSE DES RISQUES

6. Sécurité existante : nous écrivons toutes les mesures de sécurité existantes qui existent pour cette cause de défaillance
7. Proposition d'amélioration : cette colonne contient toutes les nouvelles mesures de sécurité qui pourraient être mises en œuvre afin d'éviter que cette cause ne se reproduise lors des futures itérations de ce processus.
8. Observation : Y a-t-il d'autres observations concernant ce paramètre ?

**Tableau 4** : Les composants du tableau HAZOP.

Date :								
Ligne ou équipement:								
N°	Mot clé	paramètre	causes	conséquence	détection	Sécurité existante	Proposition d'amélioration	Observation

### 2.5.2 La méthode Arbre D'Événement ADE :

#### Définition :

La méthode de l'arbre des événements a été développée pour la première fois dans les années 1950 par l'ingénieur britannique W. H. Lewis, qui l'a utilisée pour évaluer les résultats potentiels des accidents de réacteurs nucléaires.

L'arbre des événements est un outil de prise de décision utilisé pour analyser les risques permettant de déterminer la probabilité qu'un événement se produise en fonction de l'occurrence d'autres événements. Il s'agit d'une approche descendante qui part du résultat souhaité pour le décomposer en éléments plus petits.

#### L'objectif de l'ADE :

Un arbre d'événements vous aidera à comprendre ce qui pourrait se produire et ce qui devrait se produire pour provoquer cet événement. À la suite de l'identification des séquences d'accidents individuels, les combinaisons spécifiques de défaillance qui peuvent conduire à des accidents peuvent être déterminées à l'aide de l'arbre d'événements. L'arbre d'événements permet :

## CHAPITRE II : METHODES D'ANALYSE DES RISQUES

---

- De rechercher toutes les causes et les combinaisons de causes conduisant à l'événement de tête;
- De déterminer si chacune des caractéristiques de fiabilité du système est conforme à l'objectif prescrit;
- De vérifier les hypothèses faites au cours d'autres analyses à propos de l'indépendance des systèmes et de la non-prise en compte de certaines défaillances;
- D'identifier les facteurs qui ont les conséquences les plus néfastes sur une caractéristique de fiabilité ainsi que les modifications nécessaires pour améliorer cette caractéristique ;
- D'identifier les événements communs ou les défaillances de cause commune.[21]

### **Le champ d'application de l'ADE dans le domaine de l'analyse des risques :**

La méthode de l'arbre des événements est basée sur le théorème de Bayes, qui peut être utilisé pour déterminer des distributions de probabilité pour des événements qui sont mutuellement exclusifs et exhaustifs (c'est-à-dire qu'ils ne se chevauchent pas). Cette méthode a été utilisée par de nombreux chercheurs pour modéliser les risques associés aux catastrophes naturelles et les autres événements catastrophiques.

### **Le principe de l'ADE :**

L'ADE est un raisonnement inductif où l'analyste commence par un événement initiateur (une défaillance d'un équipement ou un dérangement de procédé) et développe la séquence probable d'événements qui conduisent aux accidents potentiels. Elle consiste à utiliser un diagramme en arbre pour représenter toutes les issues possibles d'un événement particulier, chaque branche de l'ADE représente une séquence séparée d'accident qui est, pour un événement initiateur donné, un ensemble de relations entre les barrières de sécurité, puis à calculer la probabilité de chaque issue.

Ce processus comporte trois étapes principales :

- Identifier tous les événements possibles qui pourraient se produire au cours d'une tâche ou d'un projet spécifique.
- Créer un diagramme en arbre de ces événements avec des branches représentant les résultats potentiels.
- Calculer la probabilité que chaque résultat se produise.

### Caractéristiques de l'ADE :

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

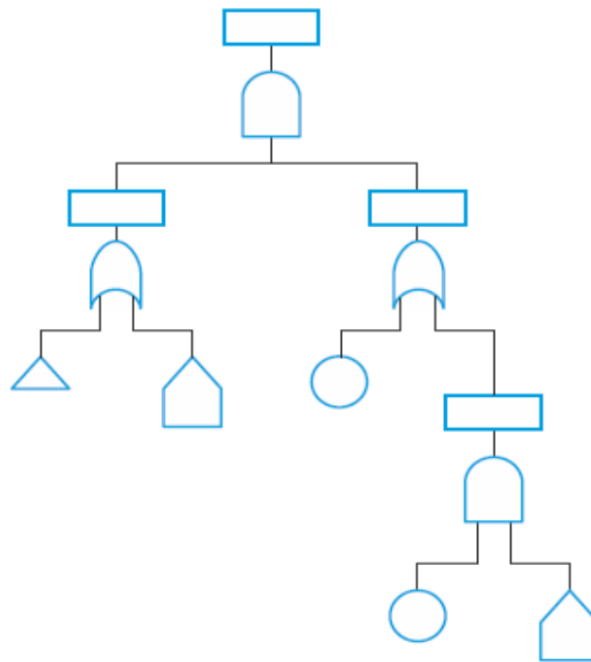


Figure 10 : exemple de l'ADE.[21]

### 2.5.3 Nœud papillon :

#### Définition :

Le terme Nœud Papillons a été défini comme un modèle de réseau conçu pour évaluer et relier les risques associés à un scénario ou à une situation spécifique et indique que le nœud papillon est utile pour l'évaluation des risques car il permet aux analystes d'évaluer les risques à grande échelle et à long terme dans des systèmes complexes sans avoir à envisager toutes les possibilités de défaillance à la fois.



### L'objectif de la méthode Nœud Papillon :

La méthode du nœud papillon peut être utilisée par toute organisation intéressée par l'évaluation et l'atténuation des risques. L'objectif de la méthode dans le domaine de l'analyse des risques est de :

- Fournir un cadre quantitatif pour identifier et analyser les risques.
- La méthode montre aussi comment les risques sont interconnectés et répartis dans une organisation ou un système.
- Elle cherche à résoudre le problème de la surcharge d'informations dans l'analyse des risques en créant un système qui permet aux utilisateurs de visualiser leurs données d'une manière plus intuitive, plus facile à comprendre et plus accessible que les méthodes traditionnelles.

### Le principe de Nœud Papillon :

L'approche est de type dit arborescente (Comme indiqué ci-dessous) ce qui permet de visualiser en un coup d'œil les causes possibles d'un accident, ses conséquences et les barrières mises en place. L'accident non désiré (au centre) peut être le résultat de plusieurs causes possibles.

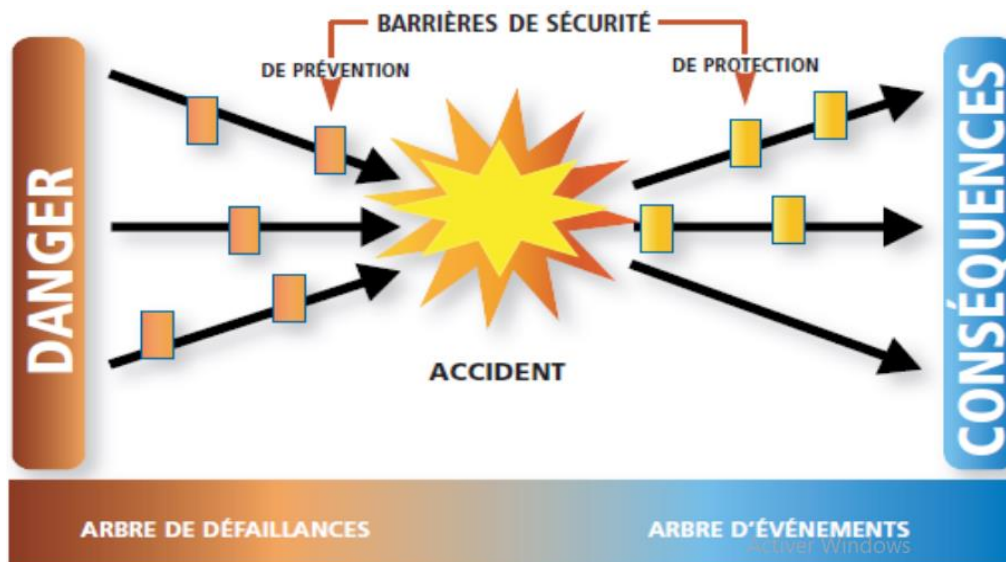


Figure 11 : exemple de la méthode Nœud Papillon. [21]

La partie gauche du nœud représente l'identification des dangers, des causes possibles d'accident et des divers enchaînements ou combinaisons (flèches noires) pouvant engendrer l'accident non désiré. Entre ces causes possibles et l'accident, des barrières dites de prévention (rectangles orange) doivent être installées.

## CHAPITRE II : METHODES D'ANALYSE DES RISQUES

La partie droite du nœud représente les conséquences possibles de l'accident. Par exemple, lors de la rupture d'une canalisation ou d'une brèche dans un réservoir, il peut en résulter la formation d'une flaque ou d'un nuage. Entre cet accident et les récepteurs, des barrières de protection doivent être installées pour réduire les effets sur ces récepteurs.

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

On parle de barrières de prévention et de barrières de protection. Les barrières de protection abaissent le niveau de gravité des conséquences et celles de prévention abaissent la probabilité. À l'aide d'une matrice où on établit notre zone d'acceptabilité, l'effet des barrières est visible et peut rendre tolérable une situation qui était au départ inacceptable.[20]

### 2.6 Comparaison entre les méthodes :

**Tableau 5** : comparaison entre les méthodes d'analyse des risques.[22]

Méthode	Avantages	Limites
<b>HAZOP</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Plus ouverte et créative.</li><li>• Identifier les dangers et les dysfonctionnements d'une installation.</li><li>• Analyse systématique des causes conséquences.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Application particulière (système thermo hydraulique).</li><li>• Difficile d'affecter les mots clés à une fonction.</li><li>• Difficile d'analyser les événements résultant de la combinaison simultanée de plusieurs défaillances.</li></ul>
<b>AdE</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• L'élaboration des chemins de succès et les coupes de panne du système étudié.</li><li>• peut être utilisée pour l'analyse d'accidents a posteriori.</li><li>• Met en évidence les interactions entre système élémentaires.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Elle ne permet pas de justifier l'apparition des événements initiateurs.</li><li>• Nécessite d'autre méthode pour l'analyse des événements initiateurs.</li><li>• peut s'avérer lourde à mettre en œuvre.</li></ul>

## CHAPITRE II : METHODES D'ANALYSE DES RISQUES

<b>Nœud Papillon</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Offre une visualisation concrète des scénarios d'accidents qui pourraient survenir en partant des causes initiales de l'accident jusqu'aux conséquences.</li><li>• met clairement en valeur l'action des barrières de sécurité s'opposant à ces scénarios d'accidents et permet d'apporter une démonstration renforcée de la maîtrise des risques.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Nécessite combinaison avec d'autres méthodes pour l'évolution de la probabilité des évènements (AdD / AdE).</li><li>• Mise en œuvre plus détaillée et peut être coûteuse en temps.</li></ul>
----------------------	--	--

### 2.7 Les Eléments Important Pour la Sécurité EIPS :

#### Définition :

La définition des Eléments Importants Pour la Sécurité suivante peut être couramment admise : « Pour être qualifié d'important pour la sécurité, un élément (opération ou équipement) doit être choisi parmi les barrières de sécurité destinées à prévenir l'occurrence ou à limiter les conséquences d'un évènement redouté (perte de confinement ou d'intégrité physique) susceptible de conduire à un accident majeur ». [23]

Les E.I.P.S peuvent être :

- Des équipements (vannes, lignes de mesures...).
- Des procédures (formation, habilitation, fabrication, intervention...).
- Des paramètres.

### 2.8 Sélection des EIPS :

Le choix des EIPS s'effectue à l'issue de l'Analyse Détaillée des Risques :

- Dans le cas de scénario d'accident dont la cotation aboutit à un niveau de risque « faible » ou « ALARP », la sélection des EIPS s'effectue à partir des mesures de maîtrise des risques identifiées pour chacun des scénarios.

- Dans le cas de scénario d'accident dont la cotation à aboutit à un niveau de risque « intolérable ou élevé » la sélection des EIPS s'effectue à partir des mesures de maîtrise des risques existantes (actuellement prévues dans le design) et à partir des mesures complémentaires de réduction des risques proposées.[23]

### **2.9 Conclusion :**

Ce chapitre nous a permis de présenter les méthodes d'analyse de risques parmi ceux les plus utilisés et ceux qui permettent de bons résultats afin d'élaborer une étude de danger de pointes, ainsi que de proposer des mesures de contrôle et de prévention les plus adaptées au système étudié d'où un aperçu sur les éléments importants pour la sécurité a été présenté.

La mise en œuvre de ces méthodes va être présentée par le prochain chapitre afin de montrer l'utilité de ces méthodes pour aboutir vers une étude de danger consistante par l'application sur un cas d'étude pratique.

# **La partie pratique**

## **CHAPITRE III :**

### **MODELISATION DES SCENARIOS CATASTROPHIQUES D'UNE ETUDE DE CAS**

## CHAPITRE III : MODELISATION DES SCENARIOS CATASTROPHIQUES D'UNE ETUDE DE CAS

### 3 Chapitre 3 : modélisation des scénarios catastrophiques d'une étude de cas

#### 3.1 Introduction :

Après avoir présenté quelques méthodes d'analyse de risque dans le chapitre précédent, dans ce chapitre on va passer à la réalisation les principaux partie d'une étude de danger selon le temps consacré a notre projet de fin d'étude basé sur la modélisation des scénarios catastrophique qui correspond à une évaluation approfondie de l'occurrence des phénomènes dangereux qui peuvent avoir lieu dans le site étudiée EL Merk du groupement de Berkine à Hassi Messaoud.

#### 3.2 Présentation générale du site EL Merk :

Le champ pétrolifère El Merk est situé à 300 km au sud-est de Hassi Messaoud dans le bassin de Berkine au sein du bloc minier 208 localisée dans la Wilaya d'Ouargla, un désert reculé et aride à 80 km de la frontière Libyenne, est le deuxième plus grand gisement de pétrole d'Algérie après celui de Hassi Messaoud, la production globale du gisement est de plus de 300 000 barils par jour<sup>2</sup>. Les installations de surfaces à El Merk servent de centre de production pour la région. Le CPF, construit par Petrofac, est exploité par la société nationale algérienne Sonatrach (51%) et le groupe américain Anadarko Petroleum Corp (49%), est destiné à la production de pétrole et de gaz de pétrole liquéfié (GPL) avec un train de GNL d'une capacité nominale de 600 millions de pieds cubes standards par jour.

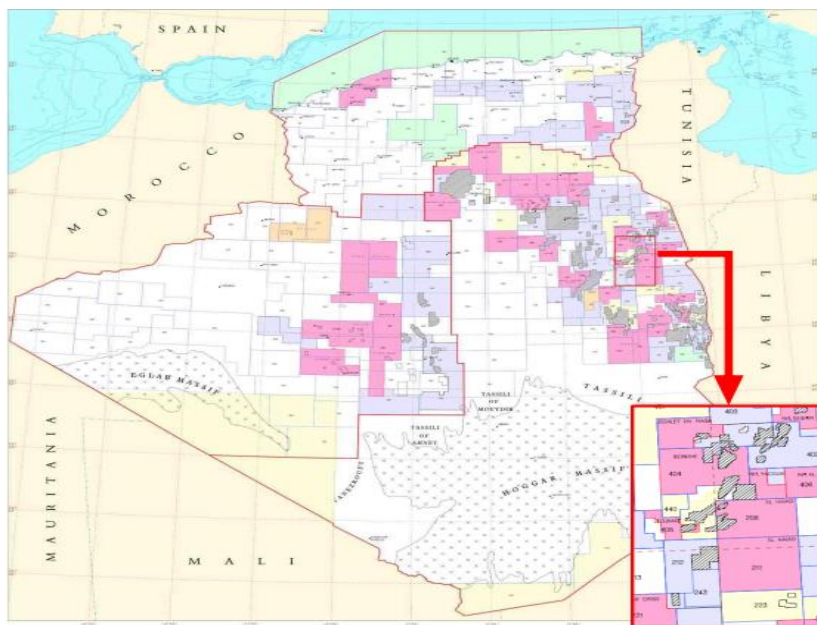


Figure 12 : localisation du site EL Merk.

## **CHAPITRE III : MODELISATION DES SCENARIOS CATASTROPHIQUES D'UNE ETUDE DE CAS**

---

L'Installation Centrale de Traitement (CPF) d'EL MERK traite les hydrocarbures provenant des blocs :

- 208 exploité par l'association Sonatrach Anadarko (SAA) constitué de 4 champs :
  - EKT (El Kheit eh Tessekha).
  - EMN (El Merk Nord).
  - EME (El Merk Est).
  - EMK / MLSE (champ groupé d'El Merk et de Menzel Ledjmat Sud-Est). Ce bloc se compose de trois formations réservoir différentes (TAGI, RKF et strunien). La formation TAGI se compose de pétrole, alors que les formations RKF et strunien contiennent du gaz/condensat.
- De deux champs (à Amedjene Nord (IAN) et El Ouar (EOR)) du bloc 212 (exploité par l'association Sonatrach-Eni) qui produisent à partir de réservoirs TAGI, RKF et dévonien.
- De la portion de champ unifié d'El Merk située dans le bloc 405a (exploité par Sonatrach et Burlington Resources),
- Ainsi que le gaz riche en propane en provenance des installations de Hassi Berkine Sud (HBNS) dans le bloc 404.

Ces blocs se trouvent dans l'est de l'Algérie, près des frontières de la Tunisie et de la Libye. Ces gisements d'hydrocarbures sont situés dans le désert du Sahara, dans la partie centre-est de l'Algérie, à environ 265 km au Sud-Est de Hassi Messaoud.

Le CPF occupe un emplacement d'environ 100 hectares, dans un bassin situé entre des dunes de sable culminant à environ 300 m. Sur le site de la CPF, à l'intérieur des clôtures, des subdivisions discrètes existent entre :

- Les récepteurs de pipe-lines et les récepteurs de condensats (2 hectares) ;
- L'usine de traitement du pétrole (3 hectares) ;
- L'usine de récupération de GNL (3 hectares) ;
- Le lieu de stockage des produits pétroliers (2,5 hectares) ;
- Le lieu de stockage des condensats (1,5 hectares) ;
- Le poste de garde, la salle de restauration, la salle de commande et le laboratoire (5 hectares) ;
- Les ateliers et entrepôts d'équipement (9 hectares) ;

## **CHAPITRE III : MODELISATION DES SCENARIOS CATASTROPHIQUES D'UNE ETUDE DE CAS**

---

- Une zone à clôture simple de 13 hectares située à côté du site principal de la CPF, au Sud-Ouest, abritant quatre torchères.

Les installations du Groupement Berkine associées au champ EL MERK sont constituées :

- Des puits producteurs de pétrole et de gaz, des installations de gas-lift, des puits injecteurs de gaz et d'eau, des équipements de dilution à l'eau, des systèmes d'injection de produits chimiques, ainsi que des puits de production d'eau (barrémien) ;
- Des installations périphériques comprenant des stations de collecte (FGS), des lignes de production et d'injection de fluides et des canalisations principales ;
- Une installation centrale de traitement (CPF) pour la récupération, le traitement, le stockage et l'expédition du pétrole et du gaz. Le point de référence pour les coordonnées de la CPF est situé, par le coin occidental sud du site, à 3346600N 411800E UTM (zone 32 d'UTM). L'emplacement est situé dans le bloc algérien 208 ;
- Une base industrielle (BI) située à côté de la CPF sur le front nord et séparée par une clôture. Elle comprendra les bâtiments destinés à l'administration, la formation, l'entretien, la fabrication et l'entreposage, la sécurité, l'exploitation des puits et la réparation des véhicules. L'entrepôt des équipements sera également situé dans la BI. Les équipements tels que le traitement de l'eau, les principaux générateurs diesel et le stockage du carburant diesel seront eux aussi situés dans cette zone ;
- Une base de vie située à environ 7,80 km au nord-ouest de la CPF ;
- Une zone de traitement des déchets située à environ 3 km au nord de la CPF ;
- Des pipelines pour expédier les hydrocarbures à partir de la CPF.
  - Un pipeline de pétrole de 70 km et de diamètre 500mm (20 pouces) vers les équipements de stockage central (CSF) de Hassi Berkine ou directement dans le pipeline de pétrole brut existant OH3/OH4 (30 pouces) ;
  - Un pipeline de gaz de 90 km et de diamètre 600mm (24 pouces) vers HBNS
  - Un pipeline de gaz de 58 km et de diamètre 500mm (20 pouces) vers l'IAN
  - Deux pipelines de 160 km vers Gassi Touil à l'Ouest :
    - Un de 450 mm (18 pouces) pour le condensat stabilisé.
    - Un de 400 mm (16 pouces) pour le GPL.[24]





**Figure 13** : vue aérienne du site EL Merk.

### 3.3 Les scénarios choisis dans notre étude :

Le complexe d'EL Merk est un grand site qui contient différents types d'installations, dans notre travail pratique on a choisi d'étudier les scénarios résultants des défaillances d'un **bac de stockage de condensat** et d'une **ligne d'expédition de GPL**.

### 3.4 Description des installations étudiées dans le site EL Merk :

#### 3.4.1 Area 9 : Stockage et expédition de GPL

Le GPL du débutaniseur est pompé vers deux sphères de stockage d'une capacité nominale de 500 m<sup>3</sup>. Le GPL hors spécifications est envoyé vers la sphère de recyclage du GPL (capacité nominale de 500 m<sup>3</sup>) d'où il pourra être réacheminé vers les dééthaniseurs des trains 1 ou 2. Si les sphères de stockage du GPL sont pleines et que le pipe-line d'expédition du GPL est temporairement fermé/ hors service, le GPL peut être réinjecté avec le gaz d'injection via le compresseur d'injection.

Les pompes d'expédition du produit et les pompes de surpression transfèrent les produits depuis leurs zones de stockage respectives, en passant par l'équipement régulateur fiscal, jusqu'à leurs canalisations respectives d'expédition. Chaque canalisation d'expédition est équipée de gare racleur de part et d'autre de la canalisation.

## **CHAPITRE III : MODELISATION DES SCENARIOS CATASTROPHIQUES D'UNE ETUDE DE CAS**

---

Le GPL est expédié dans un pipe-line sur une distance de 160 km à destination du pipe-line existant LR1 au niveau de Gassi Touil à l'Est de El Merk.

### **3.4.2 Area 10 : Stockage et expédition de condensats**

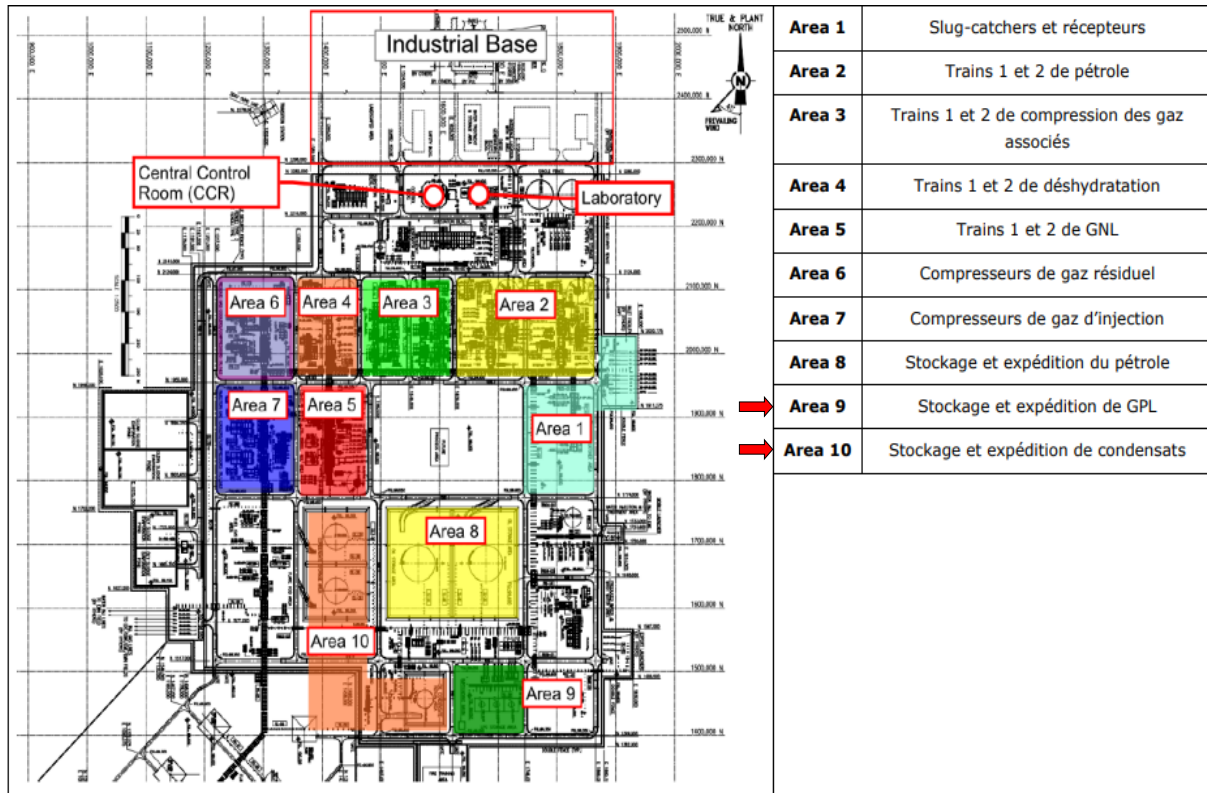
Les condensats sont pompés vers deux réservoirs de stockage de condensats à toit flottant. Ces réservoirs ont chacun une capacité nominale de 15 585m<sup>3</sup> et sont situés dans une zone close distincte. L'enceinte de cette zone de rétention est conçue pour contenir au moins 100% de la capacité du réservoir de stockage. Le drainage de cette zone est identique à celui des zones de stockage du pétrole.

Les pompes d'expédition du produit et les pompes de surpression transfèrent les produits depuis leurs zones de stockage respectives, en passant par l'équipement régulateur fiscal, jusqu'à leurs canalisations respectives d'expédition. Chaque canalisation d'expédition est équipée de gare racleur de part et d'autre de la canalisation.

Les condensats sont expédiés dans un pipe-line sur une distance de 160 km à destination du pipe-line existant NH2 (condensats) au niveau de Gassi Touil à l'Est de El Merk. La qualité des hydrocarbures est vérifiée en aval du procédé de stabilisation du pétrole.

La qualité des condensats est vérifiée après que les condensats du débutaniseur aient été ajoutés au flux de condensats stabilisé. Si un produit ne répond pas aux spécifications d'expédition, il est dévié vers un réservoir de recyclage du pétrole/des condensats. Ce réservoir à toit fixe offre une capacité nominale de 6 760m<sup>3</sup>. Le pétrole/les condensats hors spécifications de ce réservoir est pompé de nouveau vers les trains de traitement des hydrocarbures et suit le processus de traitement du pétrole/des condensats.[24]

## CHAPITRE III : MODELISATION DES SCENARIOS CATASTROPHIQUES D'UNE ETUDE DE CAS



**Figure 14 :** Localisation sur le plot plan des unités d'El Merk au sein du CPF.[24]

### 3.5 Les scénarios choisis dans notre étude :

Le complexe d'EL Merk est un grand site qui contient différents types d'installations, dans notre travail pratique on a choisis d'étudier les scénarios résultants des défaillances d'un **bac de stockage de condensat** et d'une **ligne d'expédition de GPL**.

### 3.6 Modélisation des scénarios avec logiciel PHAST :

#### 3.6.1 Scénario 1 : défaillance d'un bac de stockage de condensat à toit flottant :

##### Description des évènements redoutés :

L'évènement redouté est une rupture complète et instantanée du tank. Le scénario étudié est donc la perte de confinement d'une quantité importante d'hydrocarbures liquides ( $C_7H_{16}$ ).

Les phénomènes dangereux redoutés sont un feu de flaque en cas d'ignition immédiate et une explosion retardée (VCE) ou un feu flash suite à l'évaporation de la flaque et à une ignition retardée. Nous étudierons également les phénomènes liés à la fuite correspondant au diamètre de la plus grande ligne connectée (soit, 500 mm).

## CHAPITRE III : MODELISATION DES SCENARIOS CATASTROPHIQUES D'UNE ETUDE DE CAS

Le tank est supposé en phase d'attente entre l'alimentation et l'expédition. Ainsi, le tank est considéré plein et l'alimentation coupée.

**Tableau 6** : les caractéristiques du bac de stockage de condensat.

L'équipement	Bac de stockage de condensat 08-2303 A / B
Type d'installation	Bac de stockage à toit flottant
Substance	n-Heptane
Capacité (m <sup>3</sup> )	15585
Masse (Kg)	10597800
Hauteur (m)	12
Température de service (C°)	60

**Conditions météorologiques** : Notre étude est effectuée sous des conditions de vitesse de vent de 5 m/s et une stabilité atmosphérique de classe C.

### La probabilité d'occurrence des évènements :

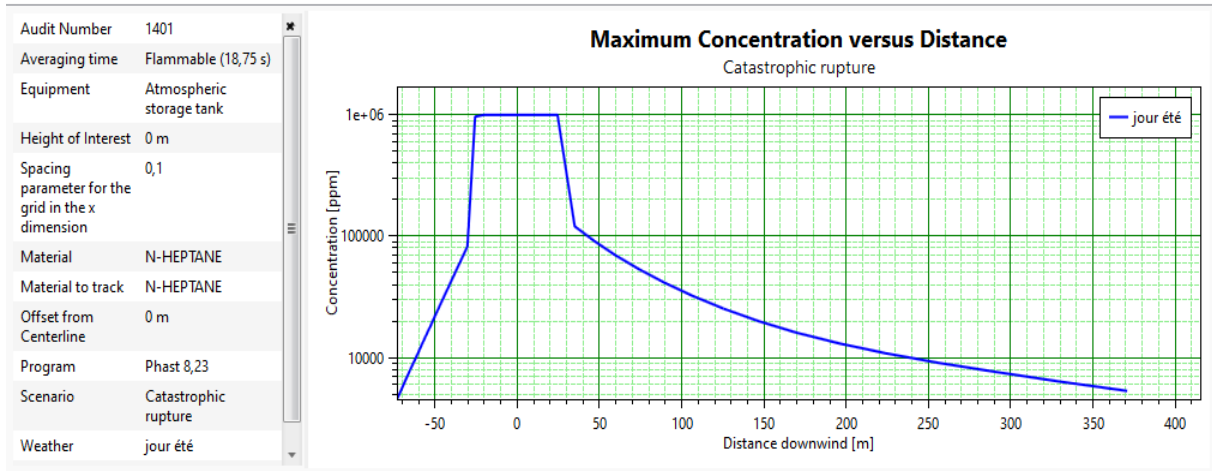
Sur la base des fréquences génériques de défaillance extraites du Handbook Failure Frequencies 201716, et compte tenu de bac de stockage, on obtient les fréquences de défaillance suivantes :

**Tableau 7** : fréquences des évènements.[24]

Type de défaillance	Fréquence de défaillances (/an)
Petite fuite (D=10mm)	3.40 E-3
Moyenne fuite (D=25mm)	1.06 E-3
Grande fuite (D=18" =457,2mm)	1.18 E-3
Catastrophique rupture	2.00 E-5
Totale	5.66 E-3

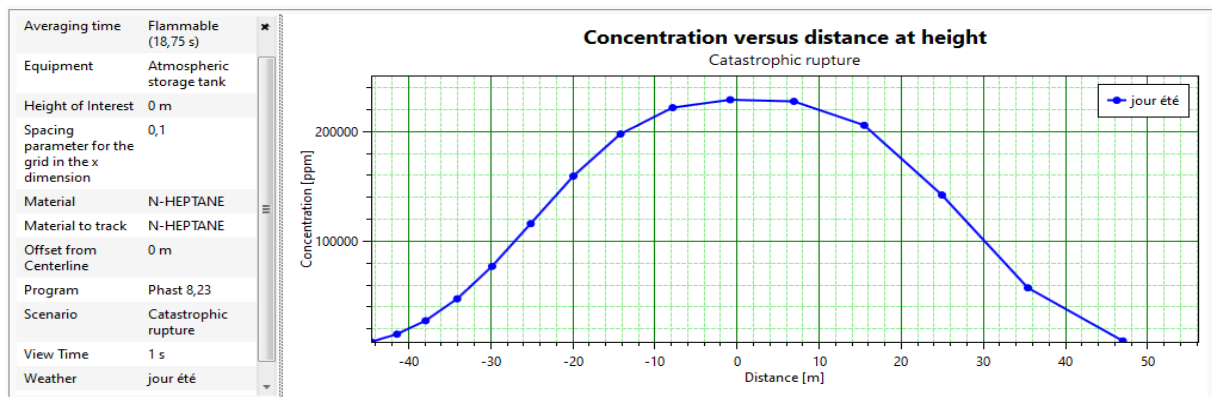
# CHAPITRE III : MODELISATION DES SCENARIOS CATASTROPHIQUES D'UNE ETUDE DE CAS

## 3.6.1.1 Modélisation de la dispersion :

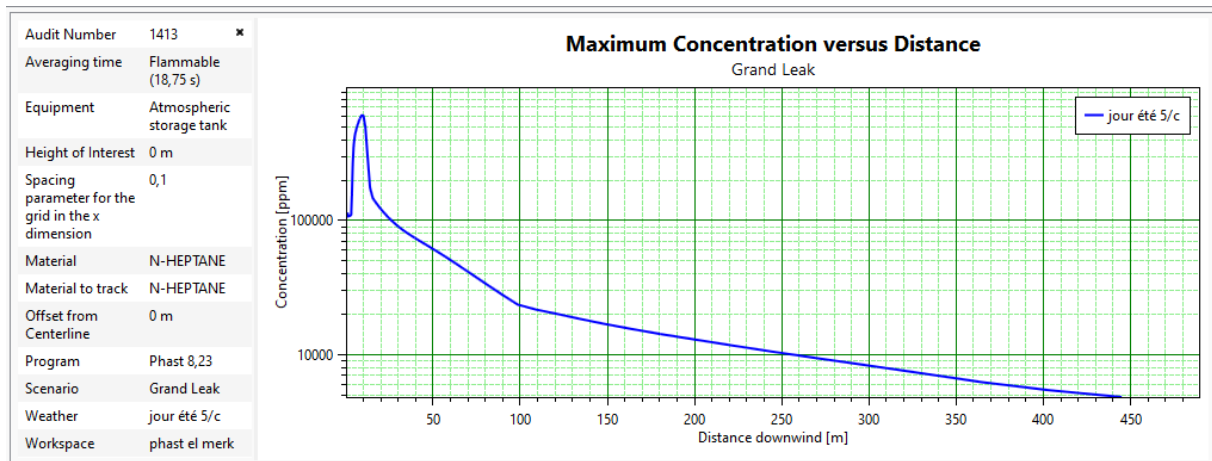


**Figure 15 :** La concentration maximale du polluant en fonction de la distance (Rupture)

La figure ci-dessus montre l'évolution de la concentration du polluant en ppm en fonction de la distance pendant un temps de 18.75 secondes de flamme. On constate que la concentration maximale du polluant a atteint  $10^6$  ppm. Le polluant peut atteindre jusqu'à 370 m de hauteur.



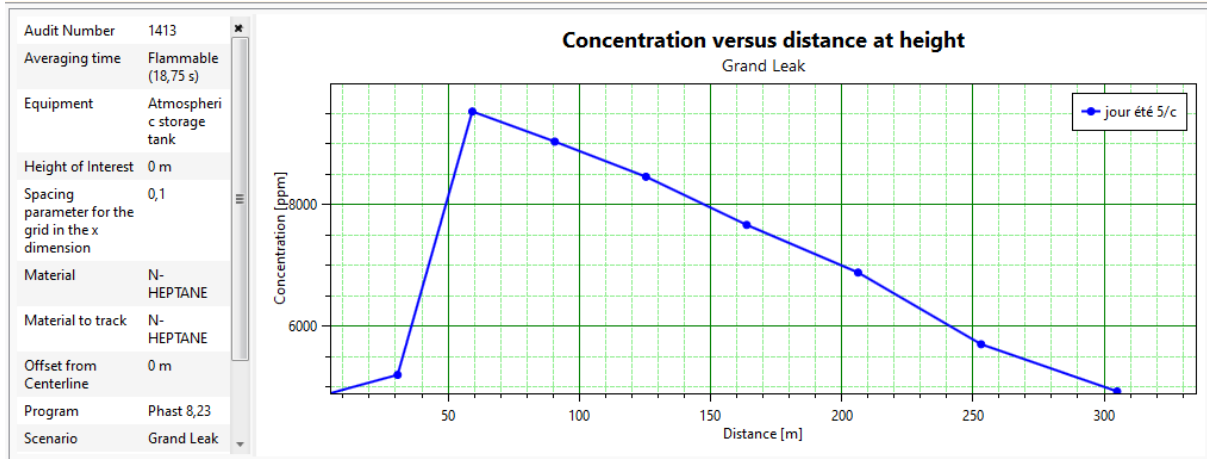
**Figure 16 :** Concentration du polluant en fonction de la distance en hauteur (Rupture).



**Figure 17 :** La concentration maximale du polluant en fonction de la distance (grande fuite)

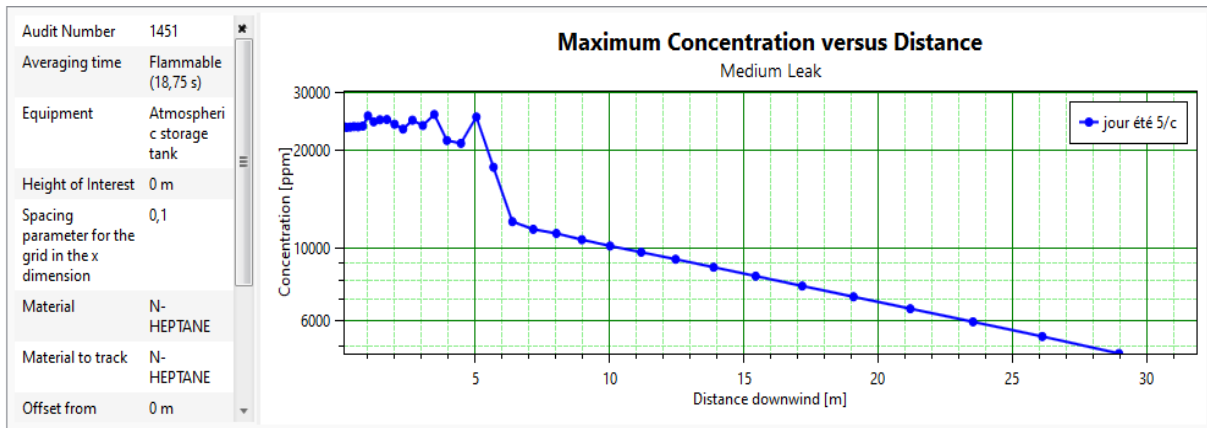
## CHAPITRE III : MODELISATION DES SCENARIOS CATASTROPHIQUES D'UNE ETUDE DE CAS

La figure ci-dessus montre l'évolution de la concentration du polluant en ppm en fonction de la distance pendant un temps de 18.75 s de flamme. On constate que la concentration maximale du polluant atteinte est 609550 ppm à 9 m de distance. Le polluant peut atteindre jusqu'à 445 m de distance.



**Figure 18 :** Concentration du polluant en fonction de la distance en hauteur (grande fuite)

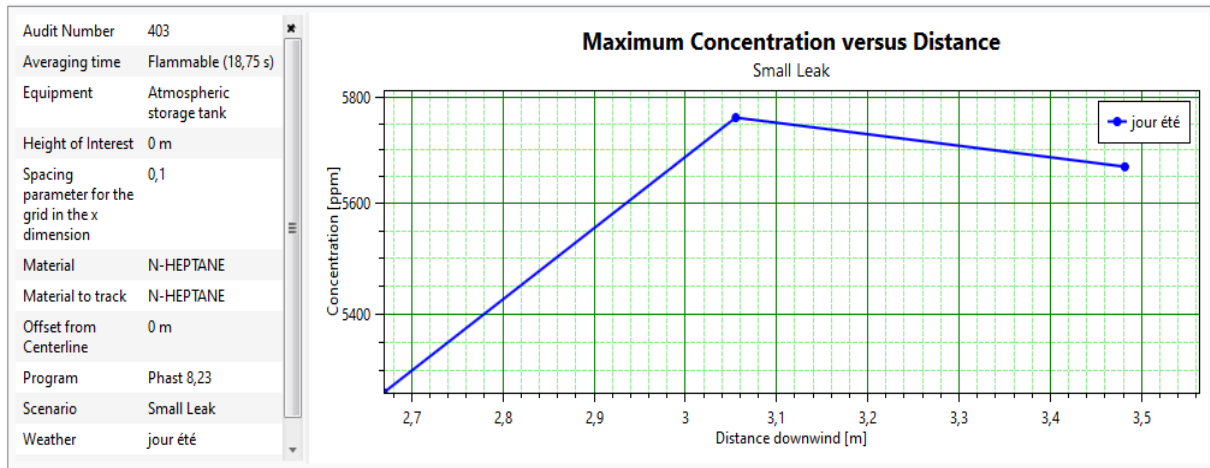
Cette figure présente la hauteur du nuage du polluant pendant 18.75 s, on voit que le nuage de polluant peut atteindre jusqu'à 305 m de hauteur.



**Figure 19 :** La concentration maximale du polluant en fonction de la distance (moyenne fuite).

La figure ci-dessus montre l'évolution de la concentration du polluant en ppm en fonction de la distance pendant un temps de 18.75 s. On constate que la concentration maximale du polluant atteinte est 25641 ppm a 3.48 m de distance, et commence à diminuer jusqu'à 29 m de distance.

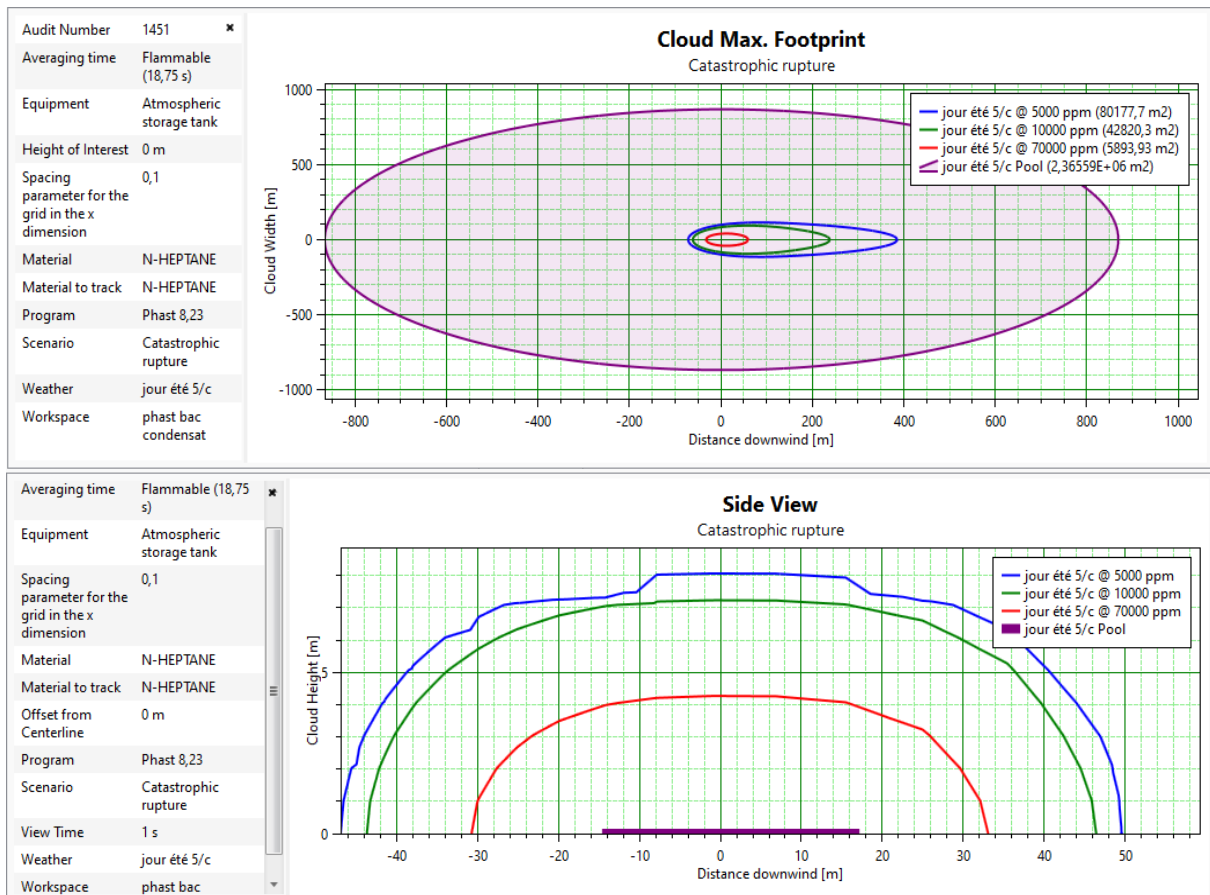
## CHAPITRE III : MODELISATION DES SCENARIOS CATASTROPHIQUES D'UNE ETUDE DE CAS



**Figure 20 :** La concentration maximale du polluant en fonction de la distance (petite fuite).

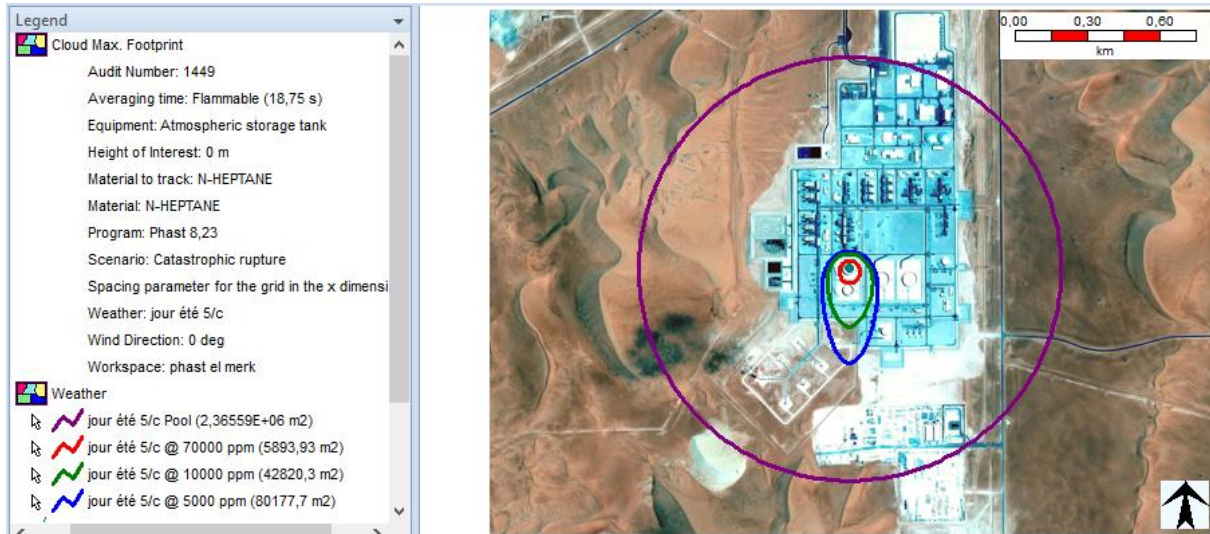
La figure ci-dessus montre l'évolution de la concentration du polluant en ppm en fonction de la distance pendant un temps de 18.75 secondes. On constate que la concentration maximale du polluant atteint 5762 ppm à 3,05 m de distance, le polluant peut atteindre jusqu'à 3,48 m de distance.

### 3.6.1.2 Modélisation de la dispersion de nuage de polluant :

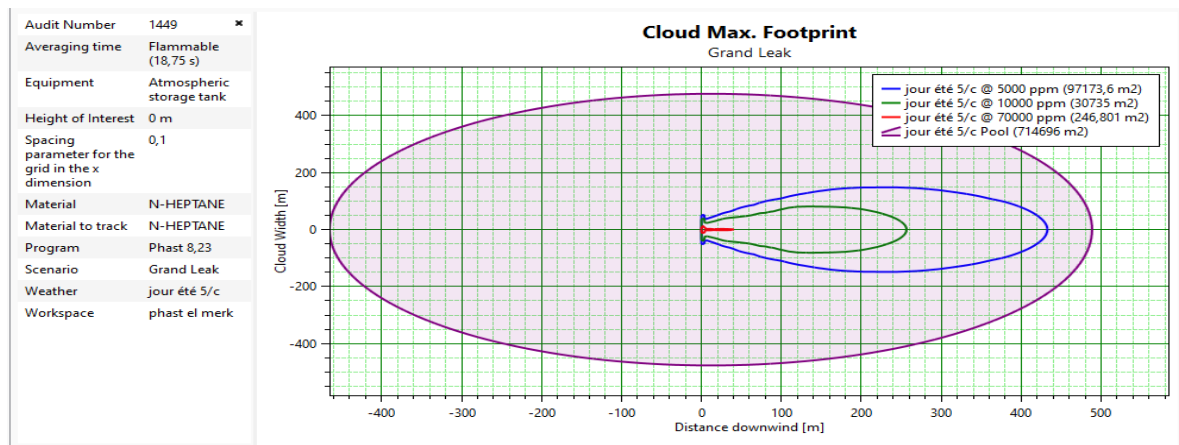


**Figure 21 :** largeur de dispersion de polluant en fonction de la distance (Rupture).

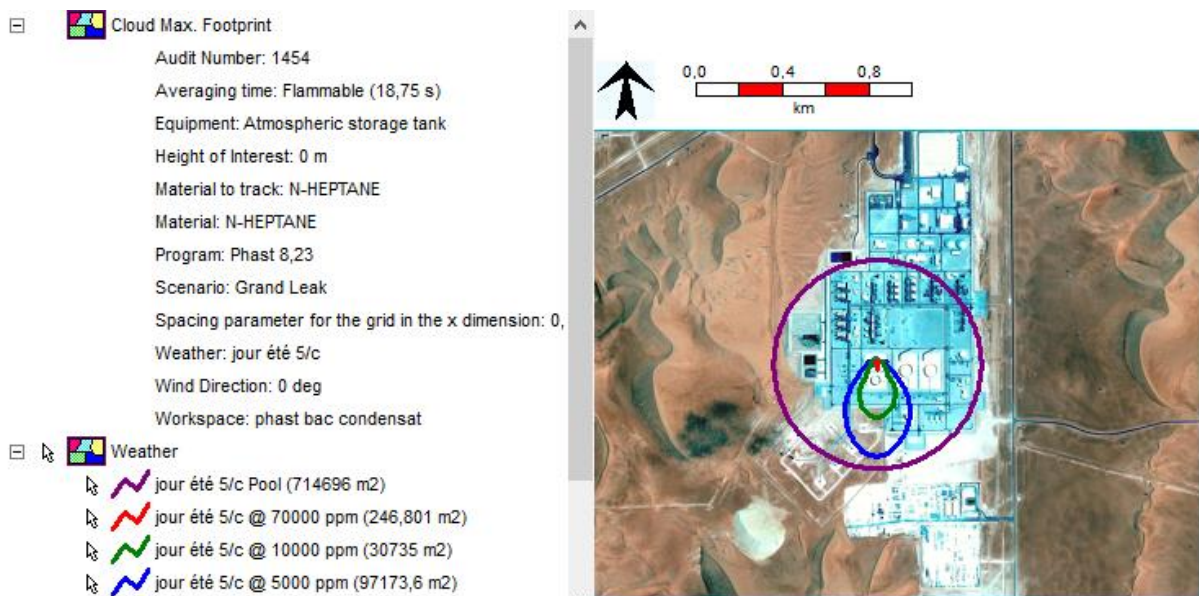
## CHAPITRE III : MODELISATION DES SCENARIOS CATASTROPHIQUES D'UNE ETUDE DE CAS



**Figure 22 :** les zones affectées par le polluant (Rupture).



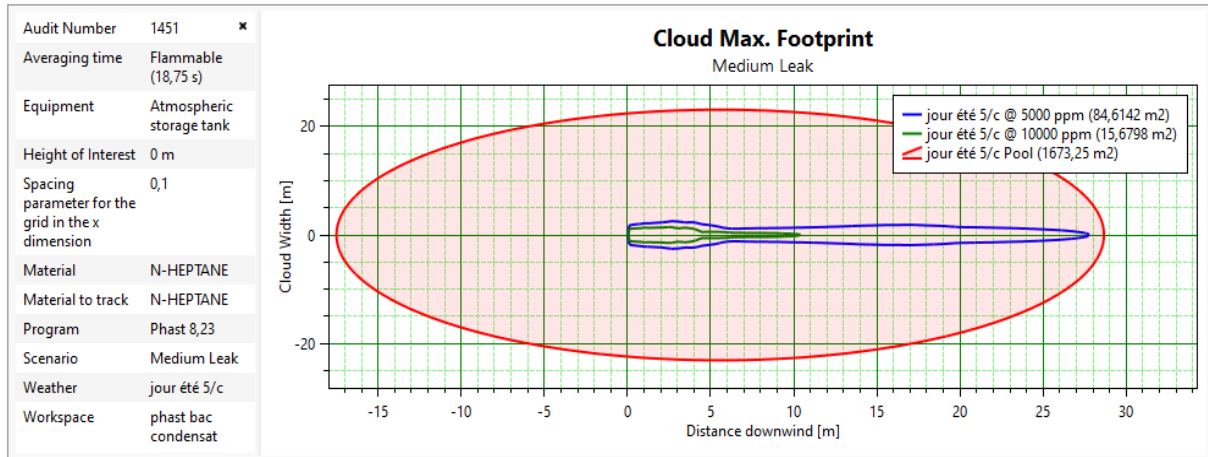
**Figure 23 :** la distance atteinte par le nuage du polluant en ppm (grande fuite).



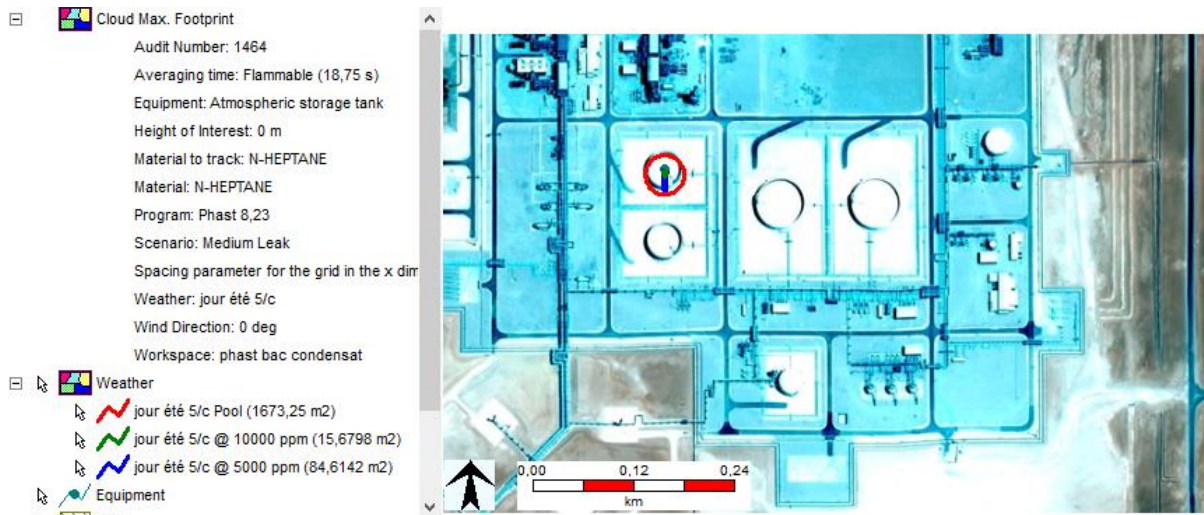
**Figure 24 :** les zones affectées par le polluant (Grande fuite).



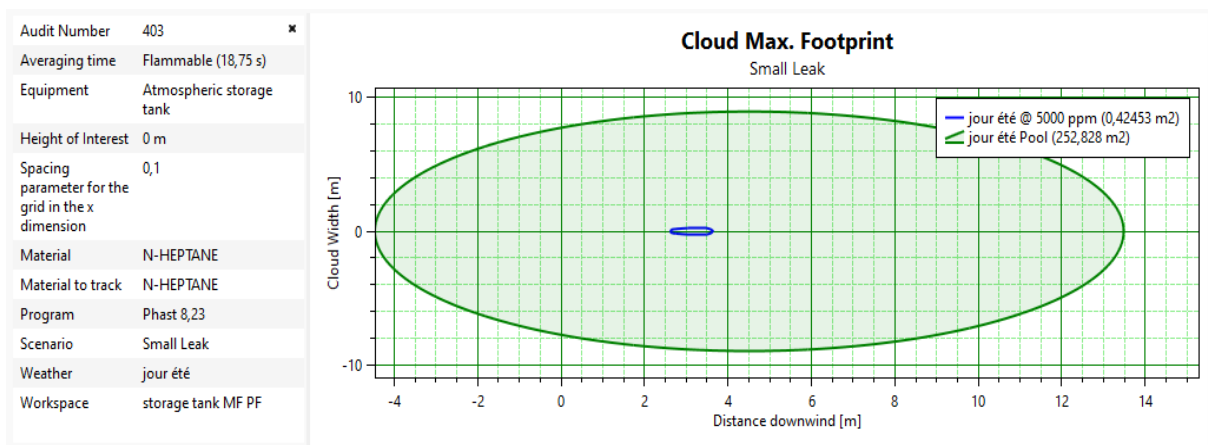
## CHAPITRE III : MODELISATION DES SCENARIOS CATASTROPHIQUES D'UNE ETUDE DE CAS



**Figure 25 :** dispersion du nuage de polluant en fonction de la distance (moyenne fuite).

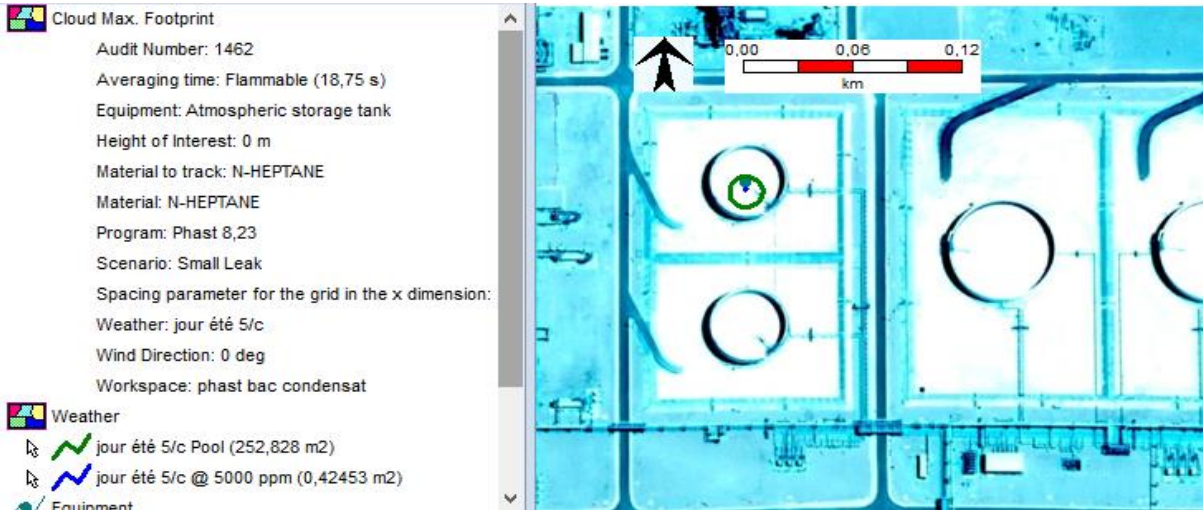


**Figure 26 :** les zones atteintes par le polluant (Moyenne fuite).



**Figure 27 :** dispersion de nuage de polluant en fonction de la distance (m).

## CHAPITRE III : MODELISATION DES SCENARIOS CATASTROPHIQUES D'UNE ETUDE DE CAS



**Figure 28** : les zones atteintes par le polluant (Petite fuite).

Le résultat dans les figures ci-dessus montre les zones touchées par le polluant pendant un temps de 18.75s pour les différentes brèches. On résumé les résultats dans ce tableau :

**Tableau 8** : les résultats obtenus par la dispersion de nuage.

Type de défaillance	MAX concentration (ppm)	MAX distance (m)	MAX hauteur (m)
Rupture	991580	370.8	89.5
Grande fuite	609550	445	305
Moyenne fuite	25641.5	29	/
Petite fuite	5762	3.5	/

# CHAPITRE III : MODELISATION DES SCENARIOS CATASTROPHIQUES D'UNE ETUDE DE CAS

## 3.6.1.3 Modélisation d'explosion :



Figure 29 : les distances atteintes par l'explosion (Rupture).

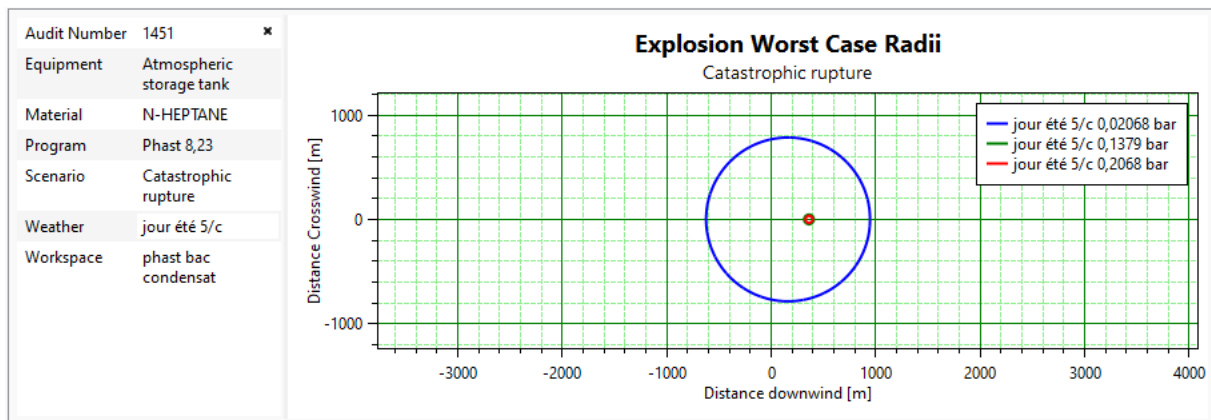


Figure 30 : les effets du pire cas d'explosion (Rupture).

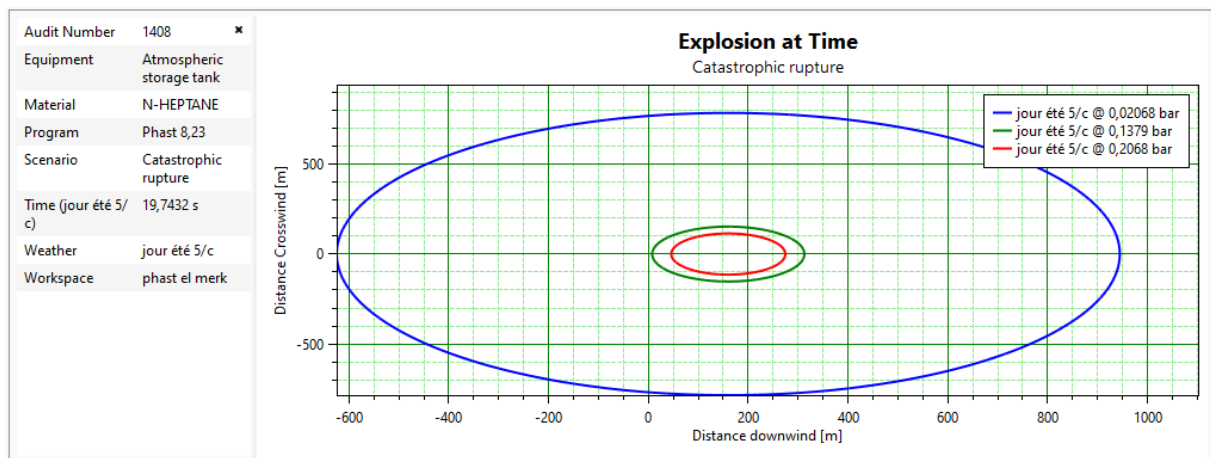
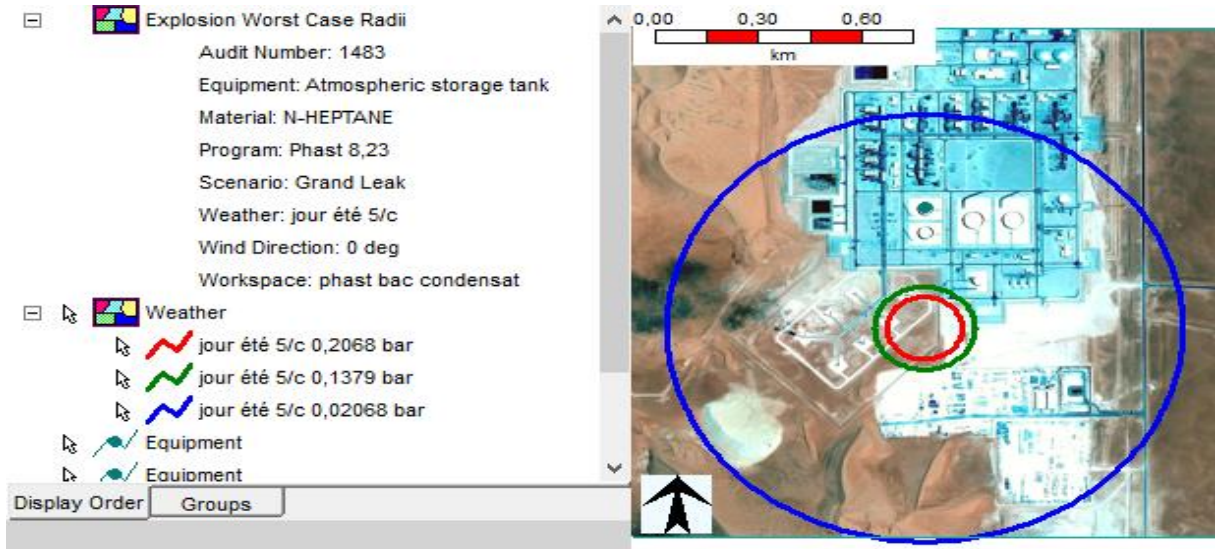
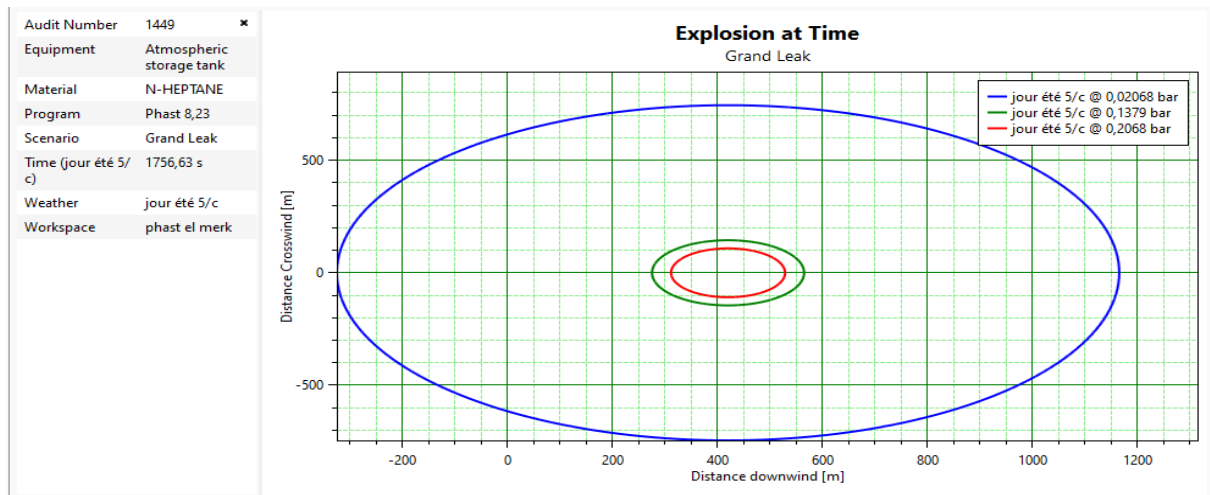


Figure 31 : les zones affectées par l'explosion en fonction du temps (Rupture).

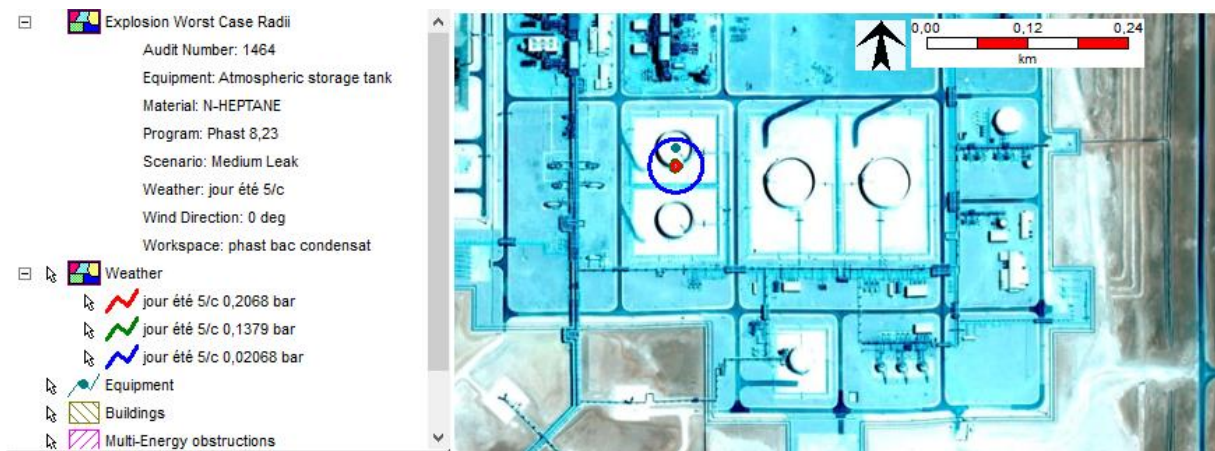
## CHAPITRE III : MODELISATION DES SCENARIOS CATASTROPHIQUES D'UNE ETUDE DE CAS



**Figure 32 :** les distances atteintes par l'explosion.

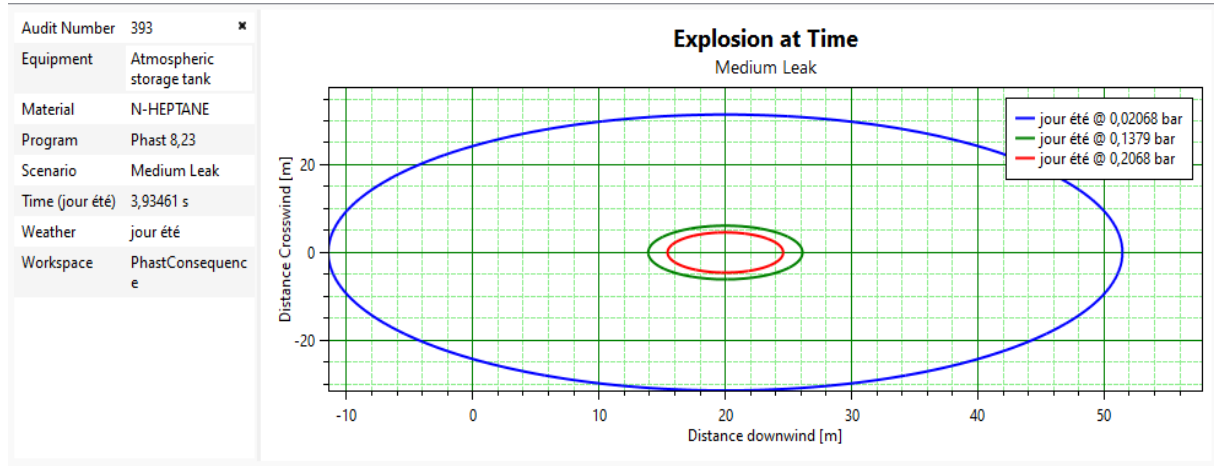


**Figure 33 :** les zones affectées par l'explosion en fonction du temps (Grande fuite).



**Figure 34 :** les distances atteintes par l'explosion (Moyenne fuite).

## CHAPITRE III : MODELISATION DES SCENARIOS CATASTROPHIQUES D'UNE ETUDE DE CAS



**Figure 35** :les zones affectées par l'explosion en fonction du temps (Moyenne fuite).

**Tableau 9** : les résultats obtenus par les graphes de l'explosion.

Surpression (bar)	<b>0.02068</b>		<b>0.1379</b>		<b>0.2068</b>	
Dimensions(m)	Distance	Diamètre	Distance	Diamètre	Distance	Diamètre
Rupture	623.7	1147.4	161.5	223	133.6	167.2
Grande fuite	268.5	436	92.4	84.5	81.8	63
Moyenne fuite	51.4	62.8	26	12.2	24.6	9.6
Impact sur l'homme	Seuils des effets irréversibles correspondant à la zone des effets indirects par bris de vitre sur l'homme.		- Seuils des effets irréversibles correspondant à la zone des dangers significatifs pour la vie humaine ;  - Seuil des premiers effets létaux correspondant à la zone des dangers graves pour la vie humaine.		Seuil des effets létaux significatifs correspondant à la zone des dangers très graves pour la vie humaine.	
Impact sur la structure	- Seuil des destructions significatives de vitres ; - Seuil des dégâts légers sur les structures.		- Seuil des dégâts graves sur les structures ; - Seuil des effets dominos.		Seuil des dégâts très graves sur les structures.	

# CHAPITRE III : MODELISATION DES SCENARIOS CATASTROPHIQUES D'UNE ETUDE DE CAS

## 3.6.1.4 Modélisation de Feu Flash :

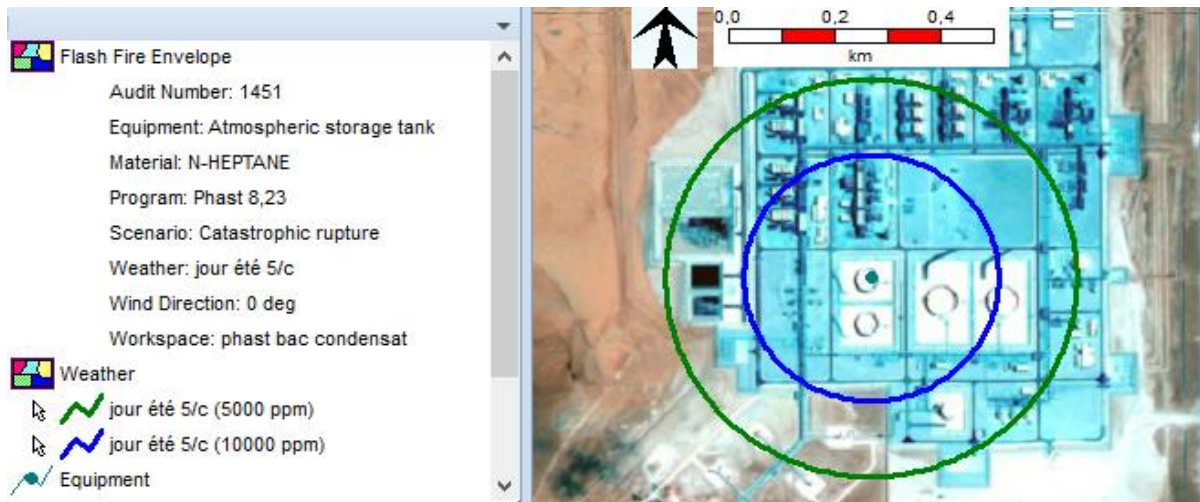


Figure 36 :Les zones atteintes par le feu de flash (Rupture).



Figure 37 :Les zones atteintes par le feu de flash (Grande fuite).

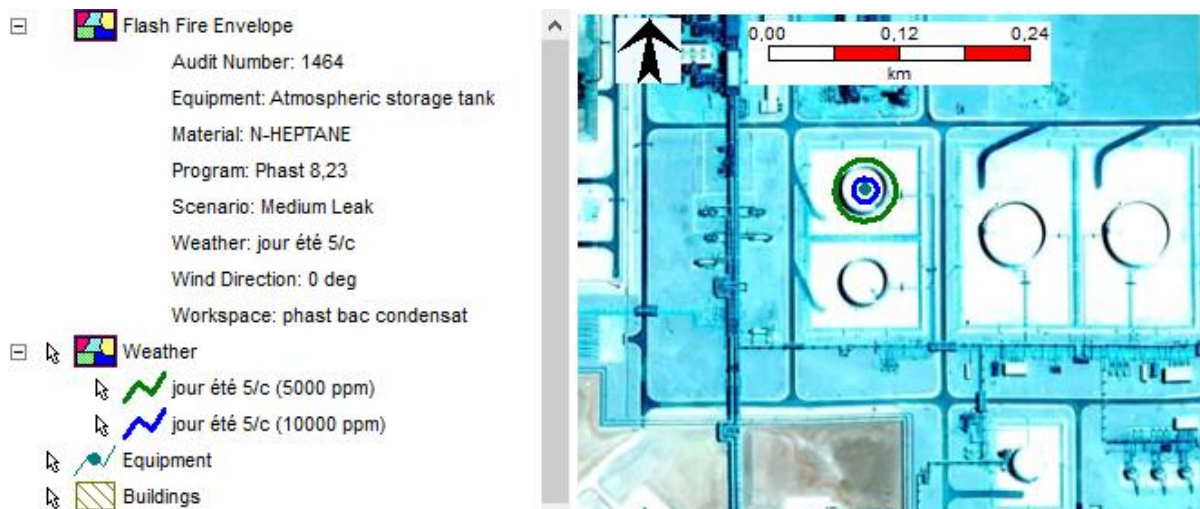
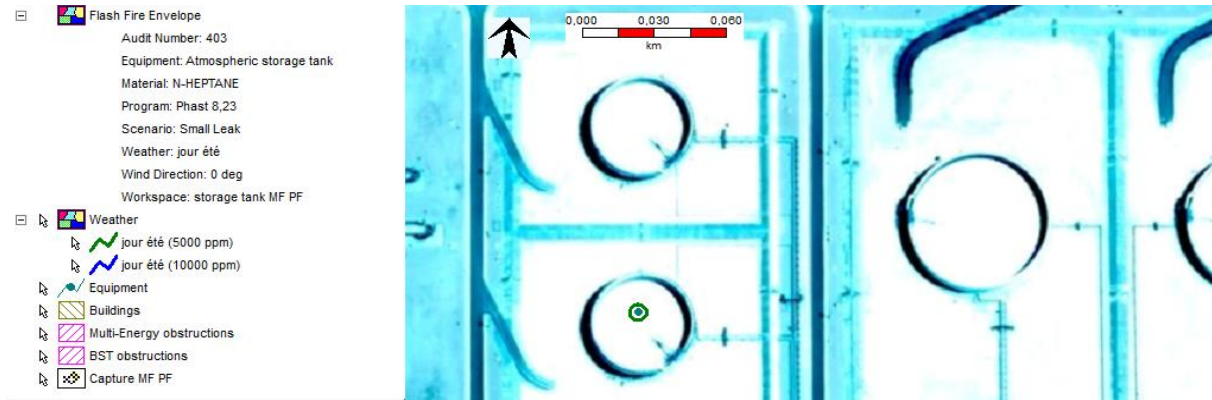


Figure 38 : Les zones atteintes par le feu de flash (Moyenne fuite).

## CHAPITRE III : MODELISATION DES SCENARIOS CATASTROPHIQUES D'UNE ETUDE DE CAS



**Figure 39 :** Les zones atteintes par le feu de flash (Petite fuite).

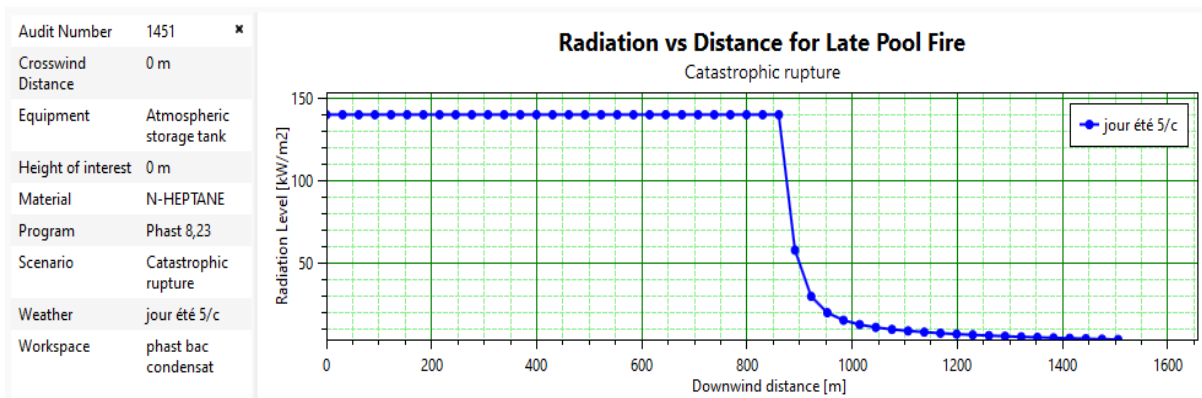
Les résultats obtenus par ces différentes figures nous permettent d'obtenir les limites d'explosivité, d'où on peut déterminer les distances des zones ATEX afin de mettre en place les dispositifs nécessaires, le tableau suivant résume les distances des [LIE- LES].

**Tableau 10 :** les distances atteintes par le feu flash.

Concentration de polluant (ppm)		<b>10000 (LSE)</b>	<b>5000 (LIE)</b>
<b>Distances (m)</b>	Rupture	238.5	385
	Grande fuite	260	427
	Moyenne fuite	10.5	28
	Petite fuite	/	3.4

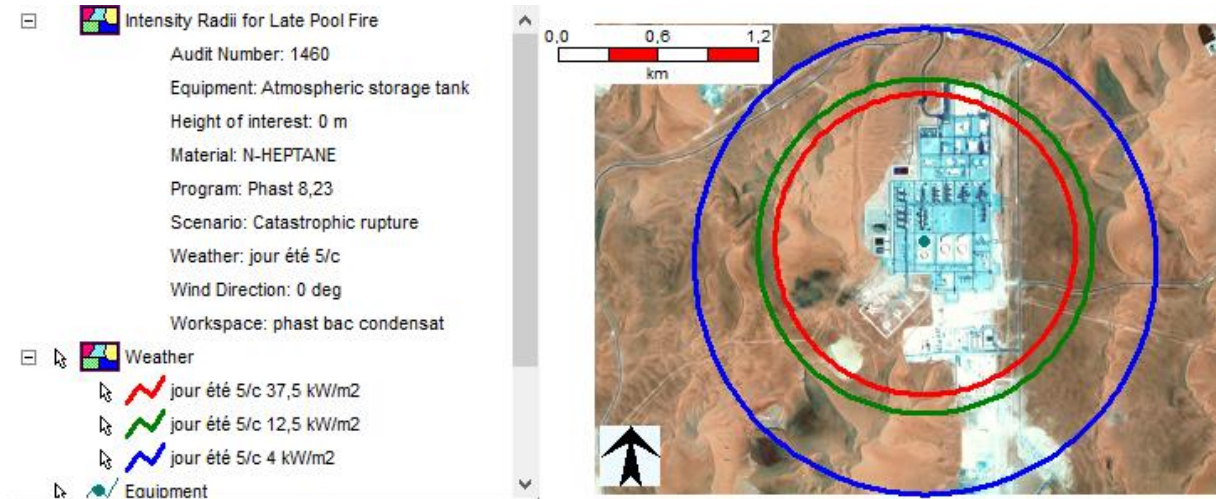
### 3.6.1.5 Modélisation de feu de nappe :

#### Feu de nappe retardé :

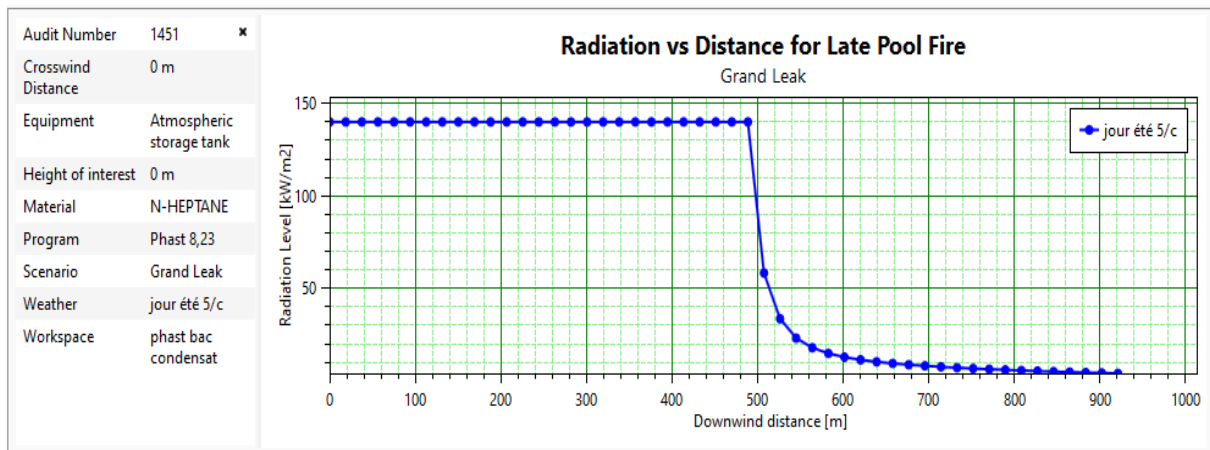


**Figure 40 :** effet de radiation thermique pour feu de nappe retardé en fonction de la distance (Rupture).

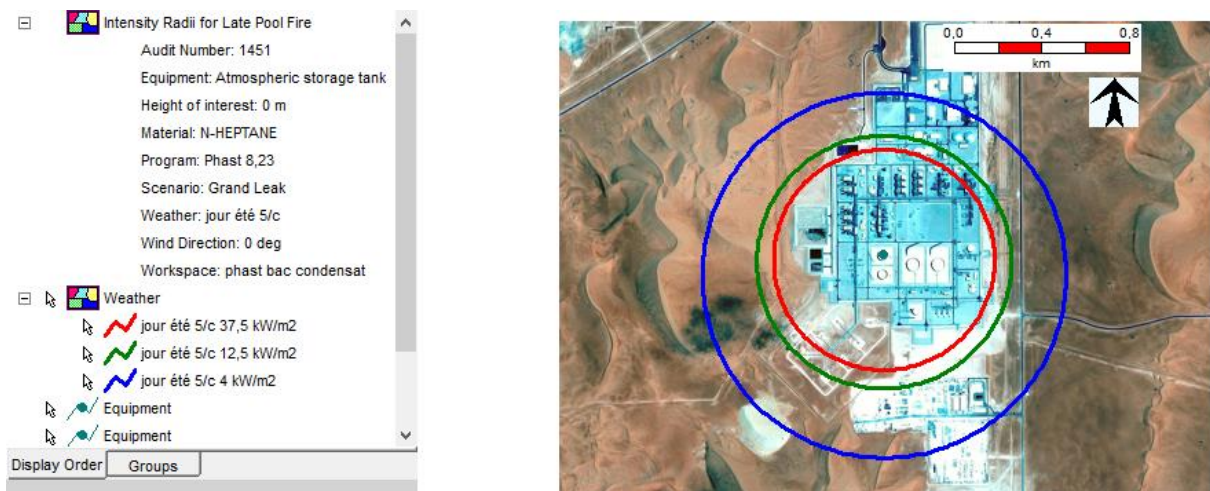
## CHAPITRE III : MODELISATION DES SCENARIOS CATASTROPHIQUES D'UNE ETUDE DE CAS



**Figure 41 :** les zones touchées par le feu de nappe retardé (Rupture).



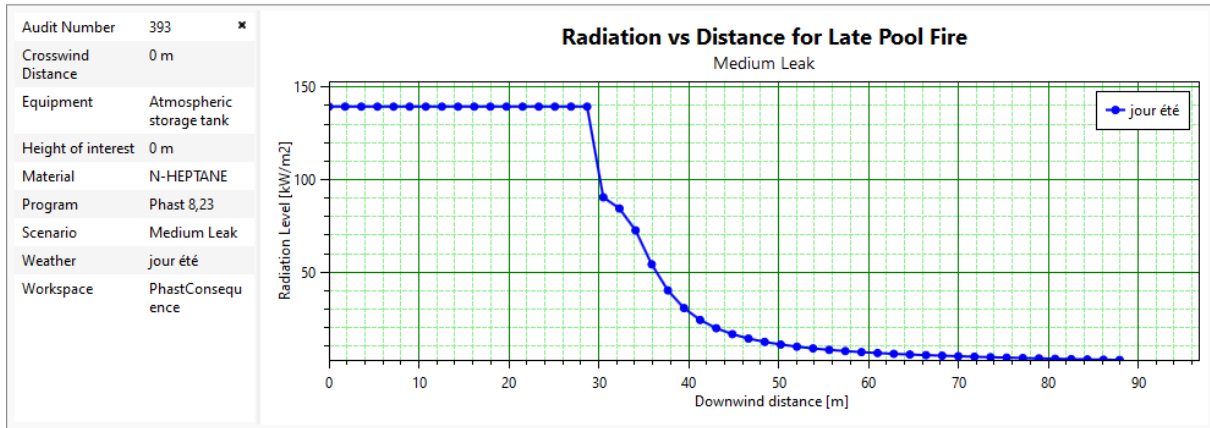
**Figure 42 :** effet de radiation pour feu de nappe retardé en fonction de la distance (Grande fuite).



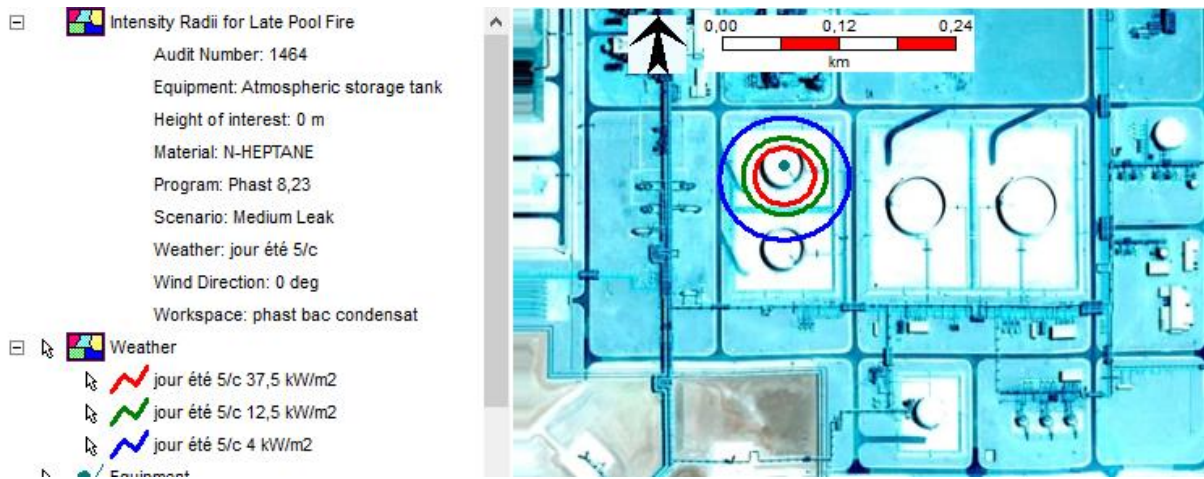
**Figure 43 :** les zones touchées par l'effet de feu de nappe retardé (Grande fuite).



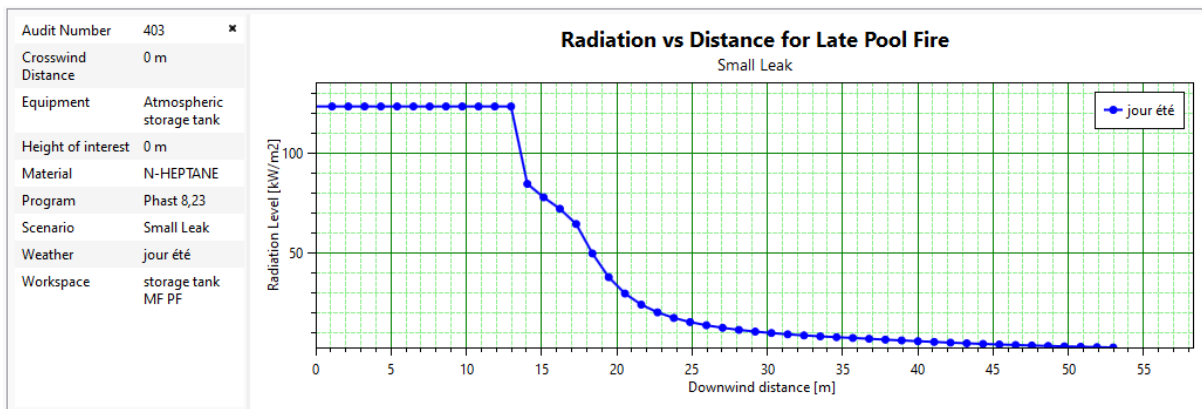
## CHAPITRE III : MODELISATION DES SCENARIOS CATASTROPHIQUES D'UNE ETUDE DE CAS



**Figure 44 :** effet de radiation thermique pour feu de nappe retardé en fonction de la distance (Moyenne fuite).

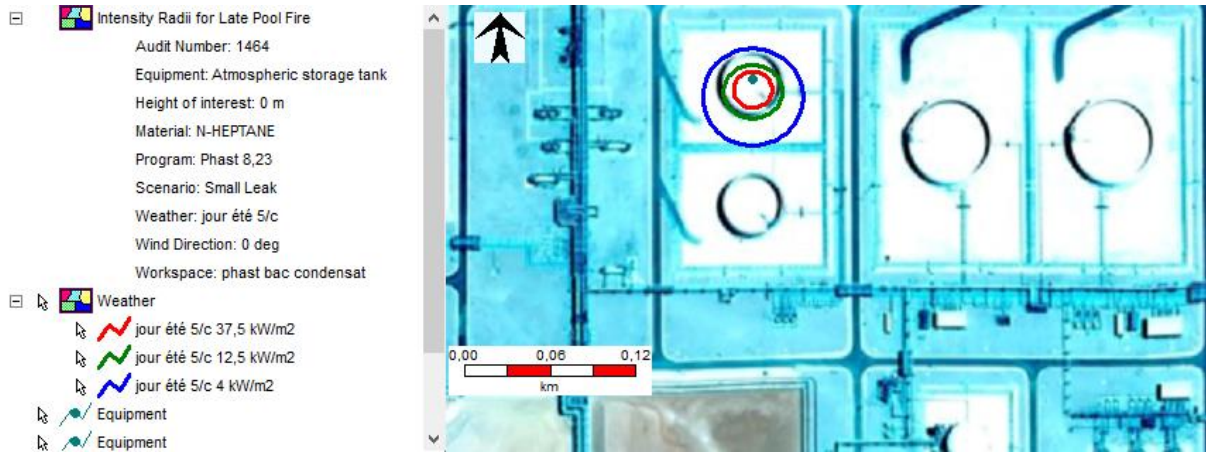


**Figure 45 :** les zones touchées par l'effet de feu de nappe retardé (Moyenne fuite).



**Figure 46 :** effet de radiation thermique pour feu de nappe retardé en fonction de la distance (Petite fuite).

## CHAPITRE III : MODELISATION DES SCENARIOS CATASTROPHIQUES D'UNE ETUDE DE CAS

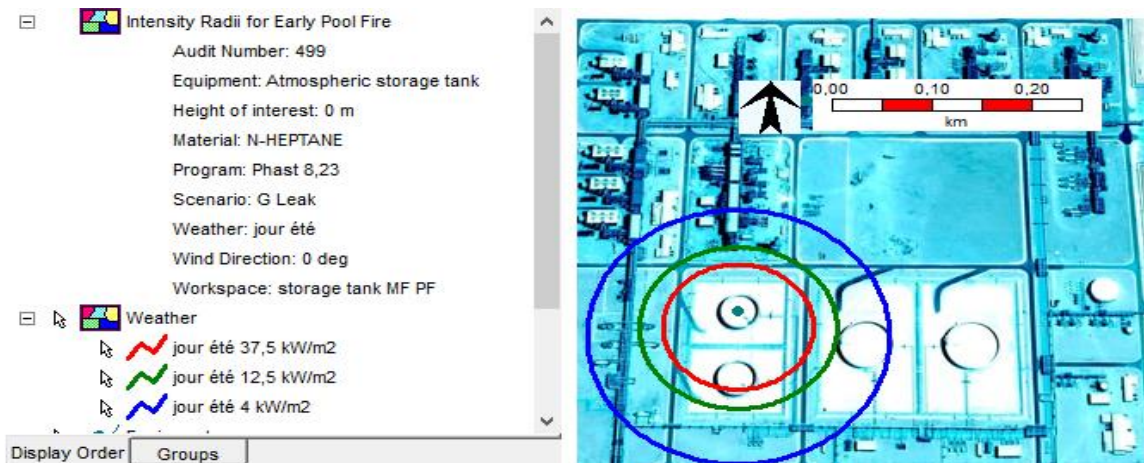


**Figure 47 :** les zones touchées par l'effet de feu de nappe retardé (Petite fuite).

**Tableau 11 :** les résultats obtenus par feu de nappe retardé.

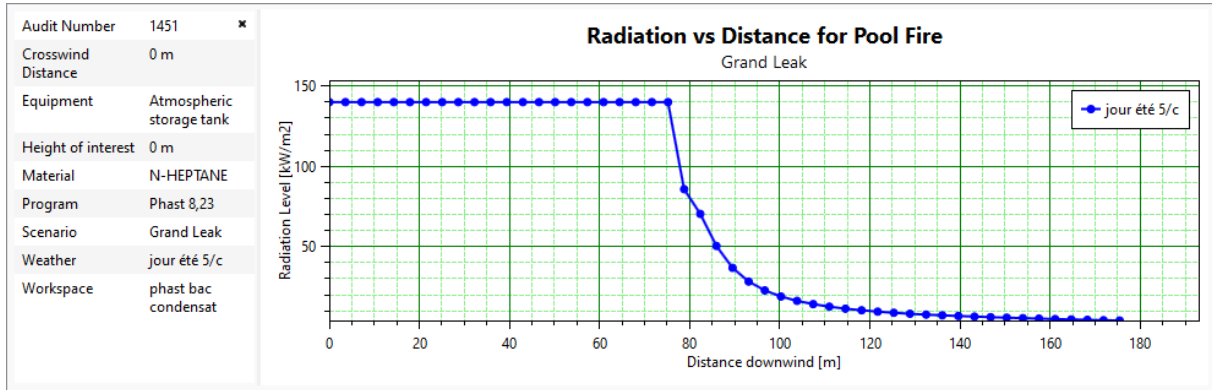
Niveau de radiation thermique (KW/m <sup>2</sup> )		4	12.5	37.5
Dimensions(m)	Diamètre	Distance	Distance	Distance
Rupture	2780	1505.7	1022.5	909.95
Grande fuite	1660	921	605	522
Moyenne fuite	125	88	48.3	38
Petite fuite	67	53	27	19.5

### Feu de nappe immédiat :

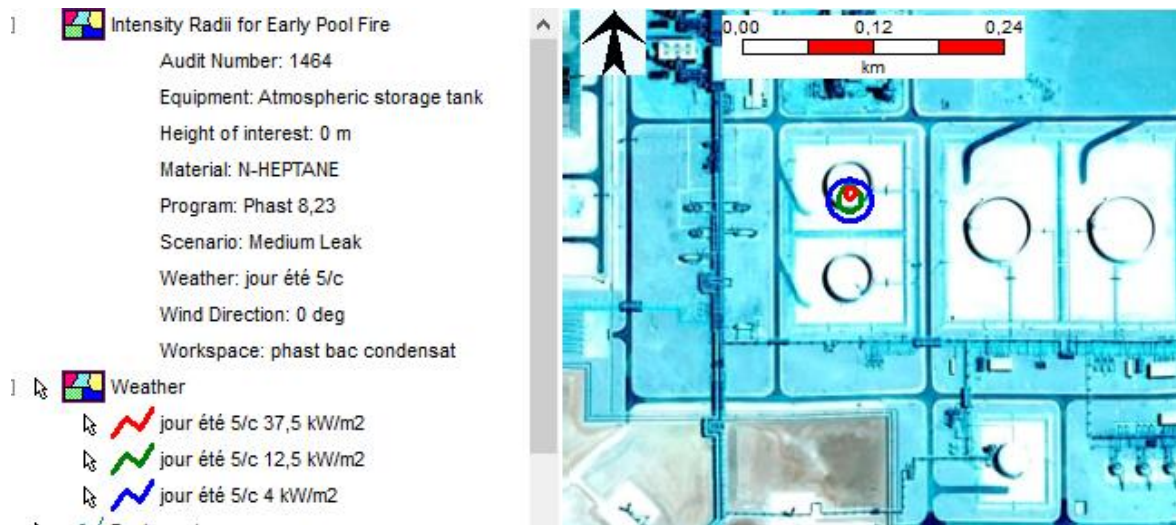


**Figure 48 :** Les effets de feu de nappe immédiat (Grande fuite).

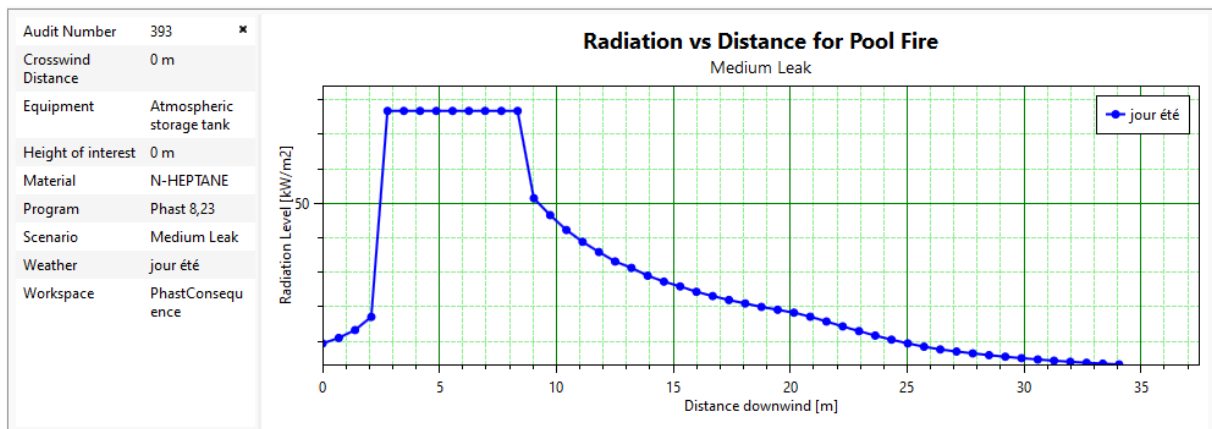
## CHAPITRE III : MODELISATION DES SCENARIOS CATASTROPHIQUES D'UNE ETUDE DE CAS



**Figure 49 :** Les radiations de feu de nappe immédiat en fonction de la distance (grande fuite).

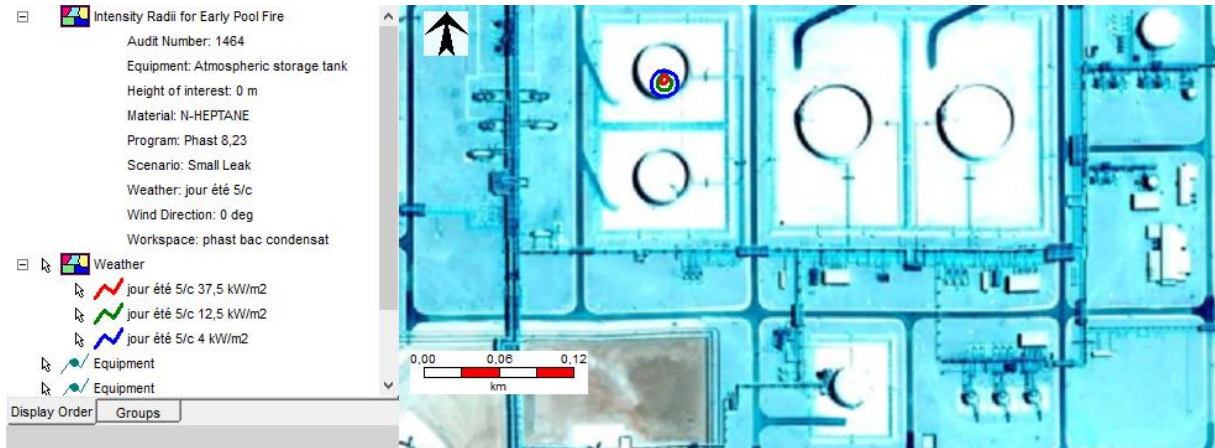


**Figure 50 :** Les effets de feu de nappe immédiat (Moyenne fuite).

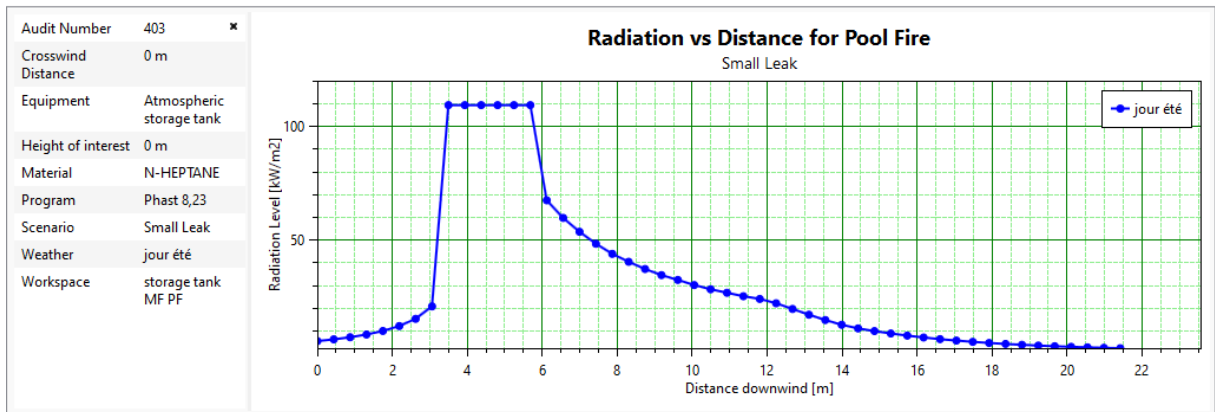


**Figure 51 :** Les radiations de feu de nappe immédiat en fonction de la distance (Moyenne fuite).

## CHAPITRE III : MODELISATION DES SCENARIOS CATASTROPHIQUES D'UNE ETUDE DE CAS



**Figure 52 :** Les effets de feu de nappe immédiat (Petite fuite).



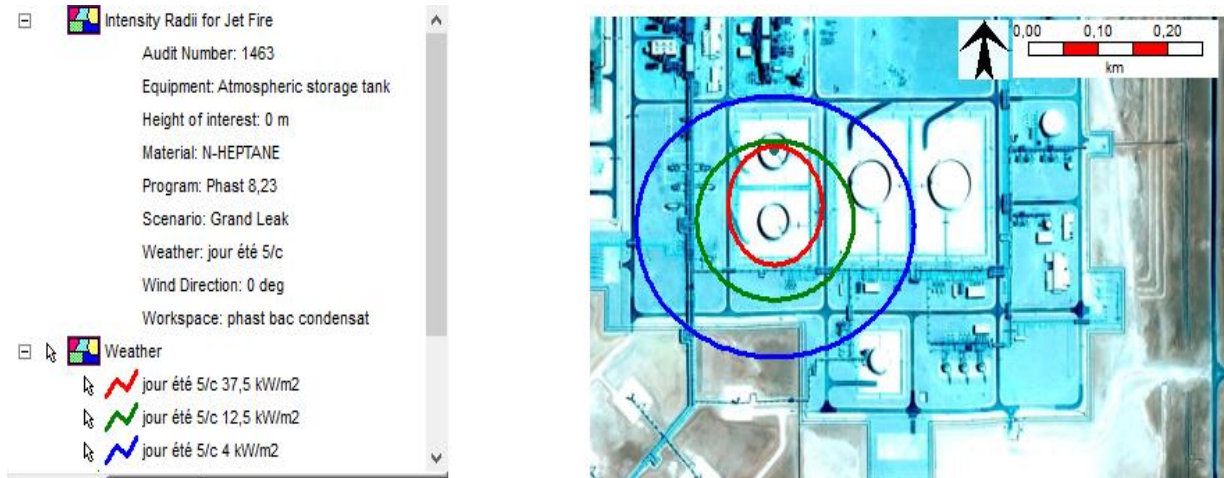
**Figure 53 :** Les radiations de feu de nappe immédiat en fonction de la distance (Petite fuite).

**Tableau 12 :** les résultats obtenus par feu de nappe immédiat.

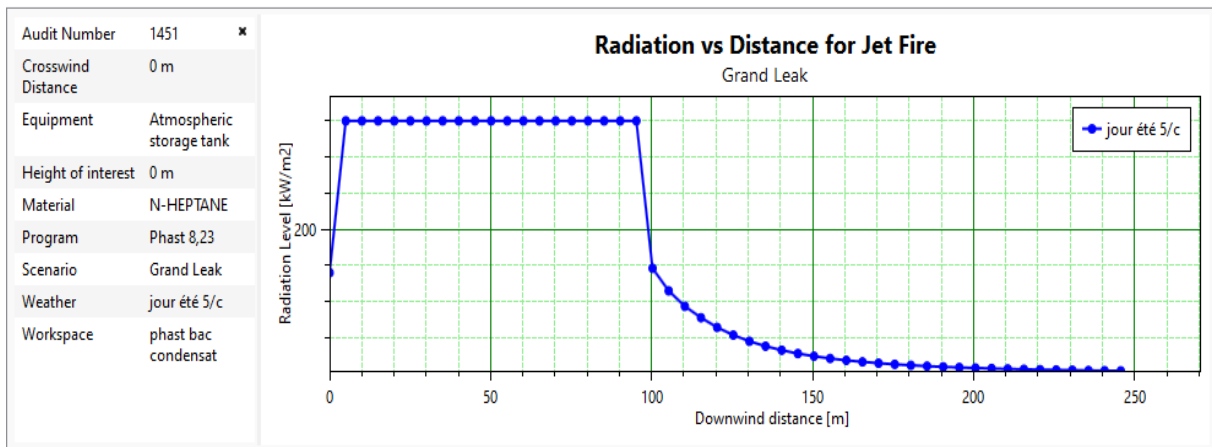
Niveau de radiation thermique (KW/m <sup>2</sup> )		4	12.5	37.5
Dimensions(m)	Diamètre	Distance	Distance	Distance
Grande fuite	292.6	175.4	111.3	89.2
Moyenne fuite	37.6	34	23.2	11.4
Petite fuite	20	18.7	14	8.7

# CHAPITRE III : MODELISATION DES SCENARIOS CATASTROPHIQUES D'UNE ETUDE DE CAS

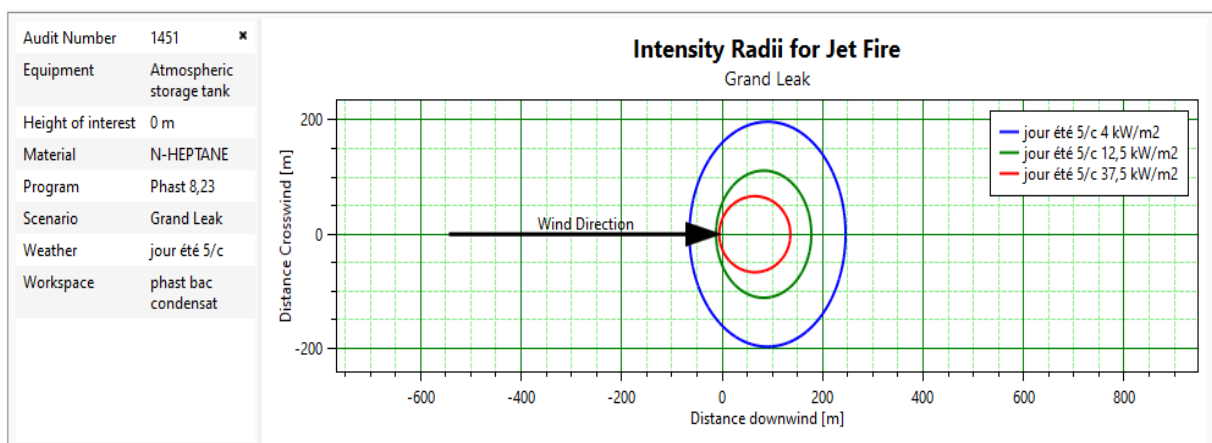
## 3.6.1.6 Modélisation de jet enflammé :



**Figure 54 :** Les effets de jet de feu (Grande fuite).

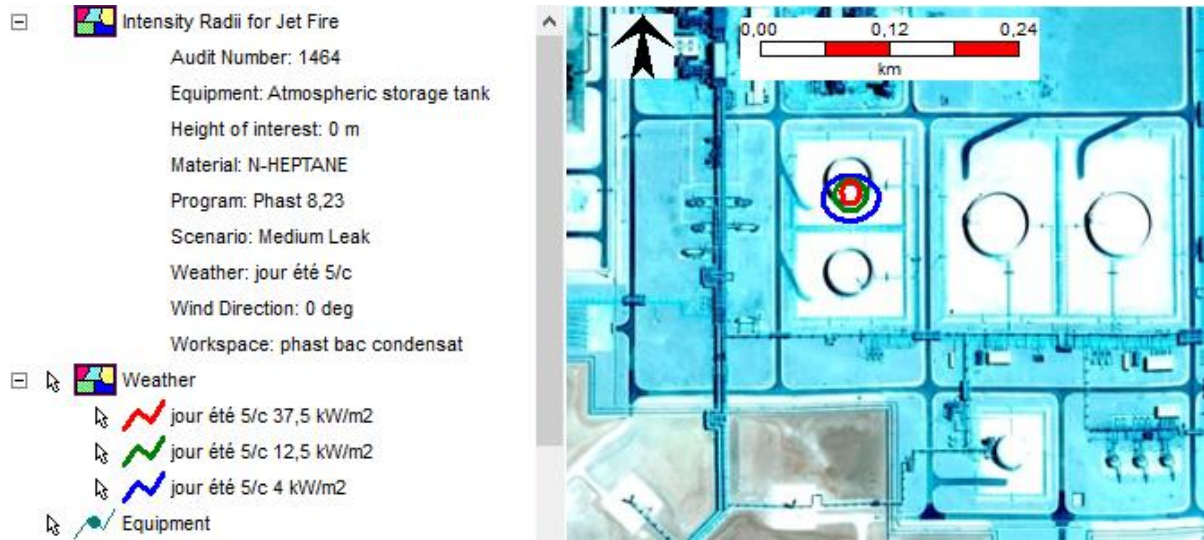


**Figure 55 :** Les radiations thermiques de jet enflammé en fonction de distance (Grande fuite).

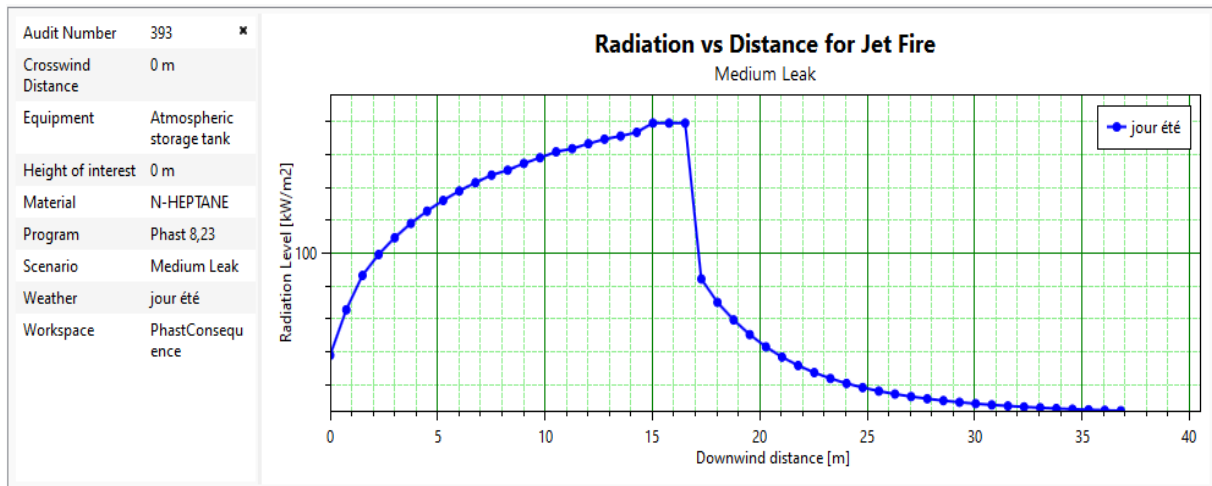


**Figure 56 :** l'intensité de radiation pour jet enflammé (Grande fuite)

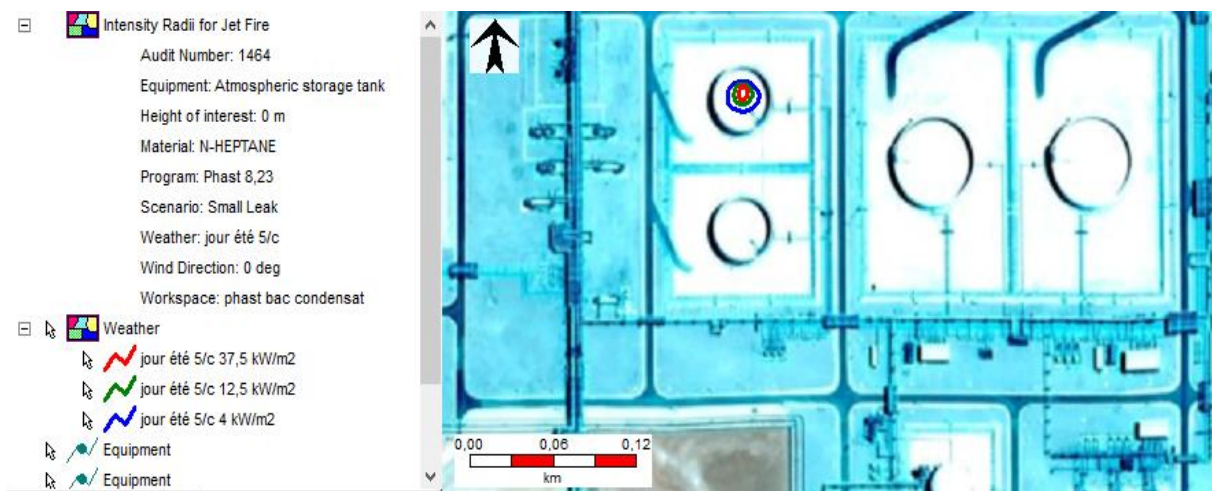
## CHAPITRE III : MODELISATION DES SCENARIOS CATASTROPHIQUES D'UNE ETUDE DE CAS



**Figure 57 :** les zones affectées par jet enflammé (Moyenne fuite).

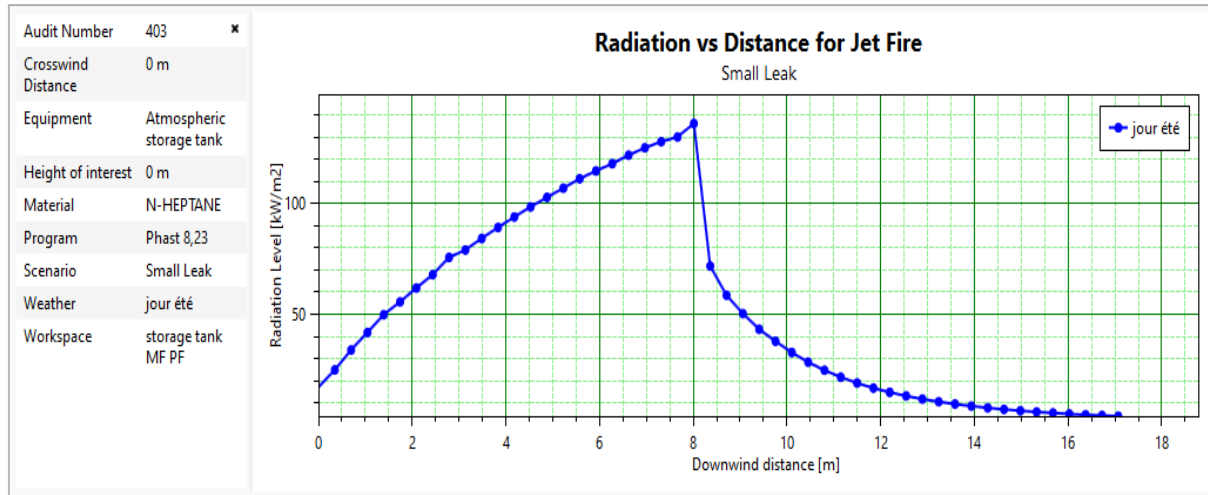


**Figure 58 :** Les radiations thermiques de jet enflammé en fonction de distance (Moyenne fuite).



**Figure 59 :** les zones touchées par jet enflammé (petite fuite).

## CHAPITRE III : MODELISATION DES SCENARIOS CATASTROPHIQUES D'UNE ETUDE DE CAS



**Figure 60 :** Les radiations thermiques de jet enflammé en fonction de distance (Moyenne fuite).

**Tableau 13 :** les résultats obtenus par jet enflammé.

	Niveau de radiation thermique (KW/m <sup>2</sup> )	4	12.5	37.5
Distances (m)	Grande fuite	245.7	177.5	135.8
	Moyenne fuite	36.8	27.12	21
	Petite fuite	17	12.7	9.7

### Interprétation des effets de radiations thermiques :

Les figures ci-dessus représentent une étude sur les effets de radiation thermique obtenue soit à partir du feu de nappe immédiat, retardé ou bien un jet enflammé. Pour chaque scénario catastrophique un tableau résumant les distances des radiations vis-à-vis aux différents niveaux les interprétations sont présenté par le tableau suivant.

## CHAPITRE III : MODELISATION DES SCENARIOS CATASTROPHIQUES D'UNE ETUDE DE CAS

**Tableau 14** : les effets des radiations thermiques.

Niveau de radiation thermique (KW/m <sup>2</sup> )	<b>4</b>	<b>12.5</b>	<b>37.5</b>
Impact sur l'homme	- Seuil des effets irréversibles correspondant à la zone des dangers significatifs pour la vie humaine.	- Seuil des premiers effets létaux correspondant à la zone des dangers graves pour la vie humaine.	- Seuil des effets létaux significatifs correspondant à la zone des dangers très graves pour la vie humaine.
Impact sur la structure	- Seuil des destructions de vitres significatives ; - Seuil des effets domino et correspondant au seuil de dégâts graves sur les structures.	- Seuil d'exposition prolongée des structures et correspondant au seuil des dégâts très graves sur les structures, hors structures béton ; - Seuil de tenue du béton pendant plusieurs heures et correspondant au seuil des dégâts très graves sur les structures béton.	- Seuil de ruine du béton en quelques dizaines de minutes.

### 3.6.1.7 Adéquation des mesures sécuritaires :

#### Analyse des causes :

Pour définir les mesures de lutte contre les conséquences de perte de confinement d'un bac de stockage de condensat, il faut d'abord chercher les causes de ces dernières. L'étude LASTFIRE15 menée en 1997 sur 33906 tanks partout dans le monde donne entre autres les causes de défaillances pour des fuites hors du tank :



### CHAPITRE III : MODELISATION DES SCENARIOS CATASTROPHIQUES D'UNE ETUDE DE CAS

---

**Tableau 15** :les causes de défaillance d'un bac de stockage à toit flottant.[24]

Causes	Contribution (%)
Corrosion du fond	20
Défaillance des pieds du toit flottant	1
Corrosion de la plaque annulaire de fond	5
Défaillance du serpentin de vapeur	4
Défaillance du drain	17
Fuite au mixer	12
Fuite de ligne, bride, vanne	21
Sur remplissage	19
Inconnues	28

L'ensemble des mesures de prévention et de protection pertinentes pour ce scénario ont été reprises dans le graphique présenté ci-dessous par le logiciel Bow-tieXP :

# CHAPITRE III : MODELISATION DES SCENARIOS CATASTROPHIQUES D'UNE ETUDE DE CAS

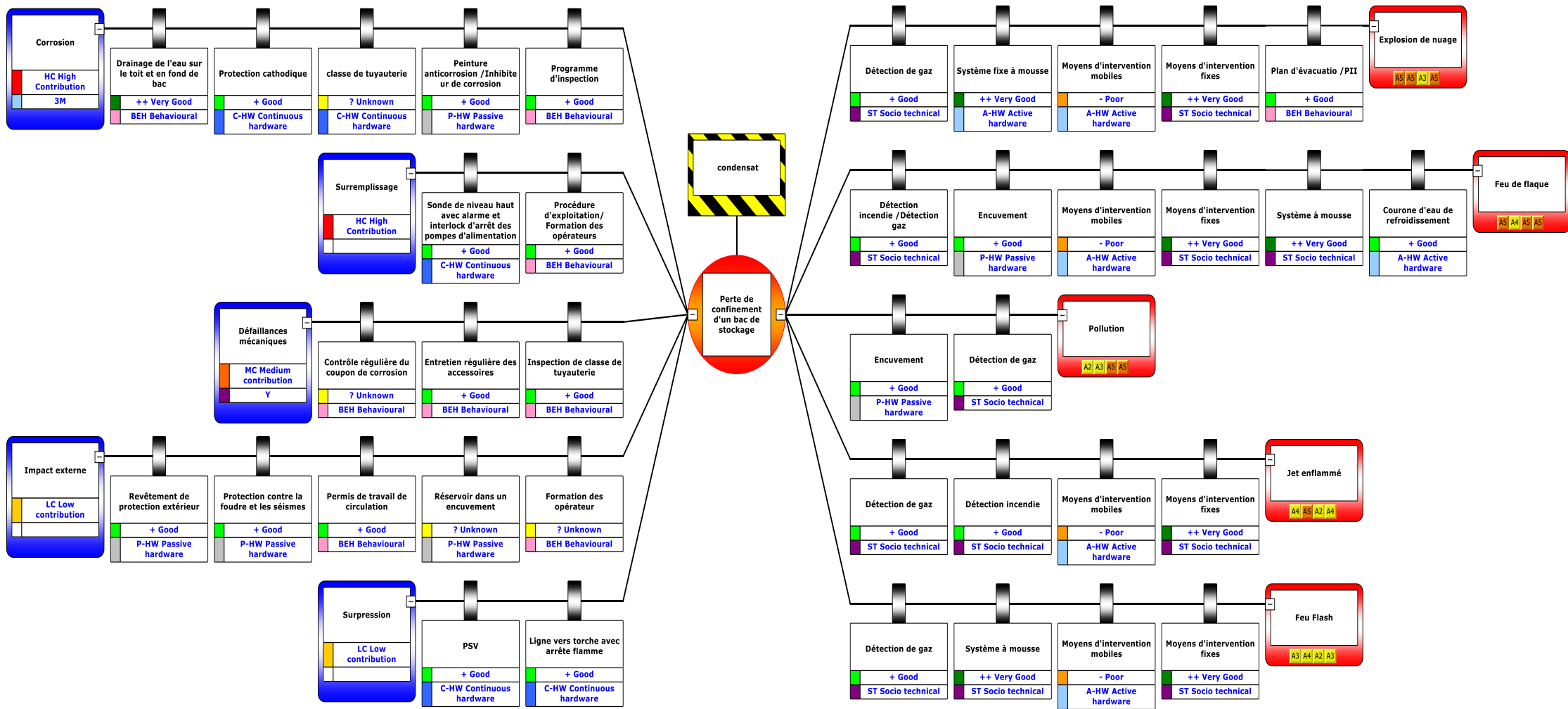


Figure 61 : implantation des barrières de sécurité sur le nœud papillon (scénario n°1).

## CHAPITRE III : MODELISATION DES SCENARIOS CATASTROPHIQUES D'UNE ETUDE DE CAS

**Tableau 16** : rapport sur les barrières établis pour le 1<sup>er</sup> scénario.

Type de barrière	Active hardware	Behavioural	Continuous hardware	Passive hardware	Socio technical
<b>condensat</b>					
<b>Threats:</b>					
Corrosion		2	2	1	
Surremplissage		1	1		
Défaillances mécaniques		3			
Impact externe		2		3	
Surpression			2		
<b>Consequences:</b>					
Explosion de nuage	2	1			2
Feu de flaque	2			1	3
Pollution				1	1
Jet enflammé	1				3
Feu Flash	1				3

### 3.6.1.8 Interprétation des résultats :

A partir de la méthode de nœud papillon et le tableau ci-dessus on constat que la maîtrise de scénario étudié nécessite des barrières préventives contribuant à la réduction de probabilité d'occurrence des causes ainsi que des barrières d'intervention permettant de réduire la gravité des conséquences, ces barrières-là se divise selon plusieurs catégories : barrières actives (active hardware), barrières organisationnelles (behavioural), barrières continus (continuous hardware), barrières passives (passive hardware), barrière sociotechnique (socio-technical).

Une évaluation des conséquences a été établi selon quatre paramètres d'évaluation (la population, la structure, l'environnement, réputation) par le biais d'une matrice d'évaluation des risques préétablie par le logiciel BowTie Xp, nous avons élaboré ces évaluations à partir des principes suivants :

## CHAPITRE III : MODELISATION DES SCENARIOS CATASTROPHIQUES D'UNE ETUDE DE CAS

**Tableau 17** : caractéristique des scénarios étudiés.

Phénomène dangereux	Caractéristiques
VCE	Très rapide/ susceptible d'entraîner des effets dominos sur la structure.
feu flash	Très rapide avec un effet limité par la courte durée de ce phénomène. Il n'y a pas d'effets domino à craindre.
Feu de flaque	Long mais peut immédiat ou retardé/ effets dominos sur les équipements protégés et les stockages adjacents.
Jet enflammé	Long mais immédiat/ son impact dépend de la direction du chalumeau/ pas d'impact sur les équipements adjacent/ peut entraîner des dégâts sur les installations non-protégés.

Et d'après le tableau ci-dessus on a pu déduire l'emplacement de chaque scénario dans la matrice des risques.



**Figure 62** : capture montrant la classification des scénarios dans la matrice des risques dans le logiciel Bow Tie Xp.

## CHAPITRE III : MODELISATION DES SCENARIOS CATASTROPHIQUES D'UNE ETUDE DE CAS

---

### 3.6.2 Scénario 2 : défaillance d'une ligne d'expédition de GPL

#### Description des évènements redoutés :

L'évènement redouté est une rupture complète et instantanée d'une ligne. Le scénario étudié est donc la perte de confinement d'une quantité importante d'hydrocarbures liquide. Le phénomène dangereux redouté est un feu de nappe en cas d'ignition à la source. En cas de dispersion ou d'évaporation de nappe, il y aura formation d'un nuage inflammable qui engendrera une explosion (VCE) ou un feu flash en cas d'ignition retardée.

**Tableau 18** : les caractéristiques de ligne GPL.

L'équipement	Ligne d'expédition de GPL
Type	Ligne aérienne usine
Substance	GPL (80% Butan)
Diamètre (mm)	304,8
Longueur (m)	1400
Débit (Kg/h)	115104
Pression (bar g)	77
Température de service (C°)	60

**Conditions météorologiques** : Notre étude est effectuée sous des conditions de vitesse de vent de 5 m/s et une stabilité atmosphérique de classe C.

#### La probabilité d'occurrence des évènements :

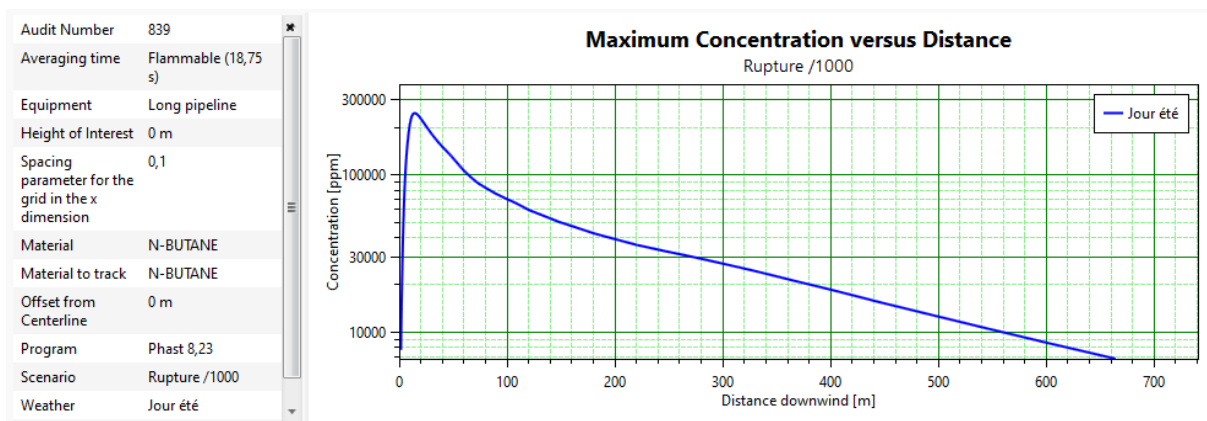
Sur la base des fréquences génériques de défaillance extraites du Handbook Failure Frequencies 2017<sup>29</sup>, et compte tenu des 6 pompes et des lignes recensées présentant un rapport représentatif cumulé L/D de 1148, on obtient les fréquences de défaillance interne au site EL MERK suivantes :

## CHAPITRE III : MODELISATION DES SCENARIOS CATASTROPHIQUES D'UNE ETUDE DE CAS

**Tableau 19** : fréquences des évènements.[24]

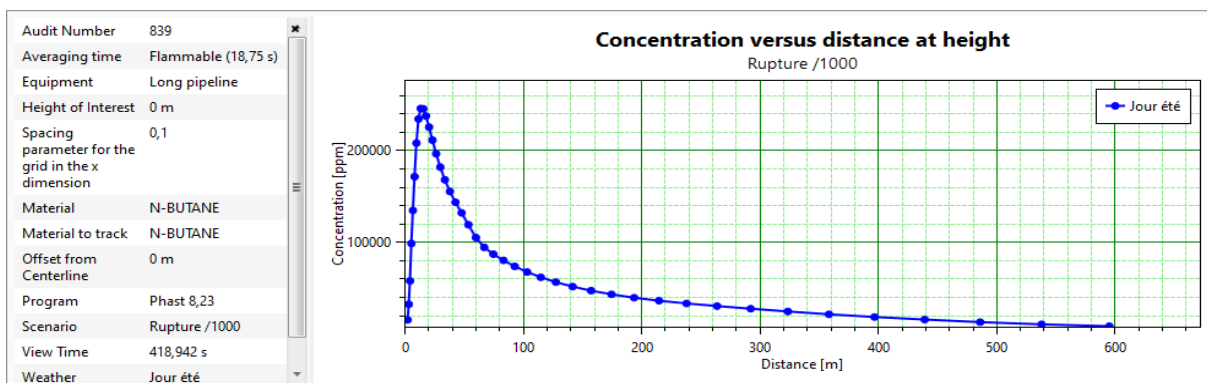
Type de défaillance	Fréquence de défaillances (/an)
Petite fuite (D=30,5mm)	3.22 E-3
Moyenne fuite (D=45,7mm)	2.65 E-2
Grande fuite (D=109,8mm)	5.74 E-5
Catastrophique rupture	2.53 E-5
<b>Totale</b>	<b>2.69 E-2</b>

### 3.6.2.1 Modélisation dispersion :



**Figure 63** :La concentration maximale du polluant en fonction de la distance (Rupture).

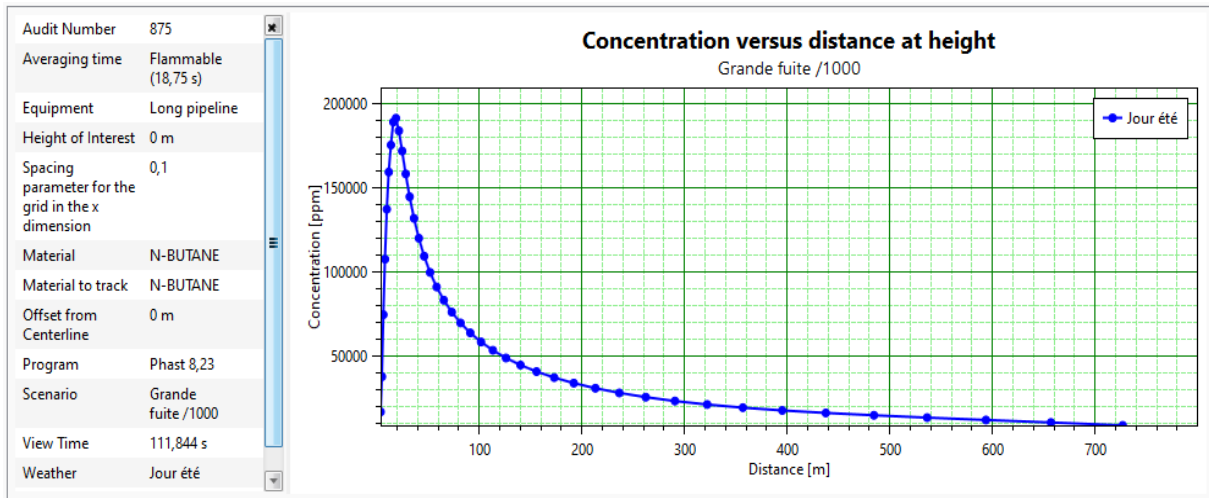
La figure ci-dessus montre l'évolution de la concentration du polluant en ppm en fonction de la distance pendant un temps d'inflammabilité de 18.75 secondes. On constate que la concentration maximale du polluant a atteint 247097 ppm. Le polluant peut atteindre jusqu'à 665 m de distance.



**Figure 64** :Concentration du polluant en fonction de la distance en hauteur (Rupture).

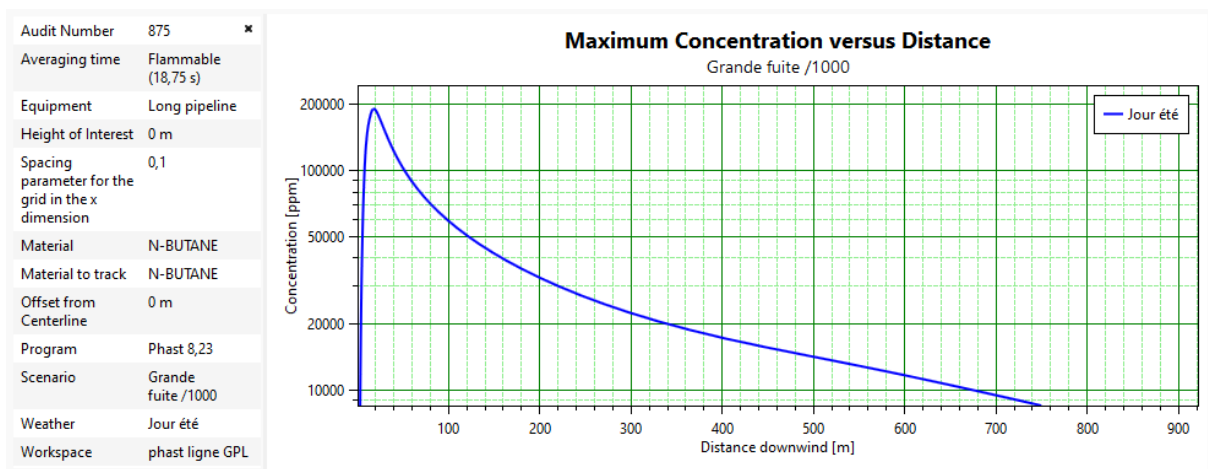
## CHAPITRE III : MODELISATION DES SCENARIOS CATASTROPHIQUES D'UNE ETUDE DE CAS

Cette figure présente la hauteur du nuage du polluant pendant 18.75 s de flamme, on voit que le nuage du polluant peut atteindre jusqu'à 595 m de hauteur.



**Figure 65 :** Concentration du polluant en fonction de la distance en hauteur (Grande fuite).

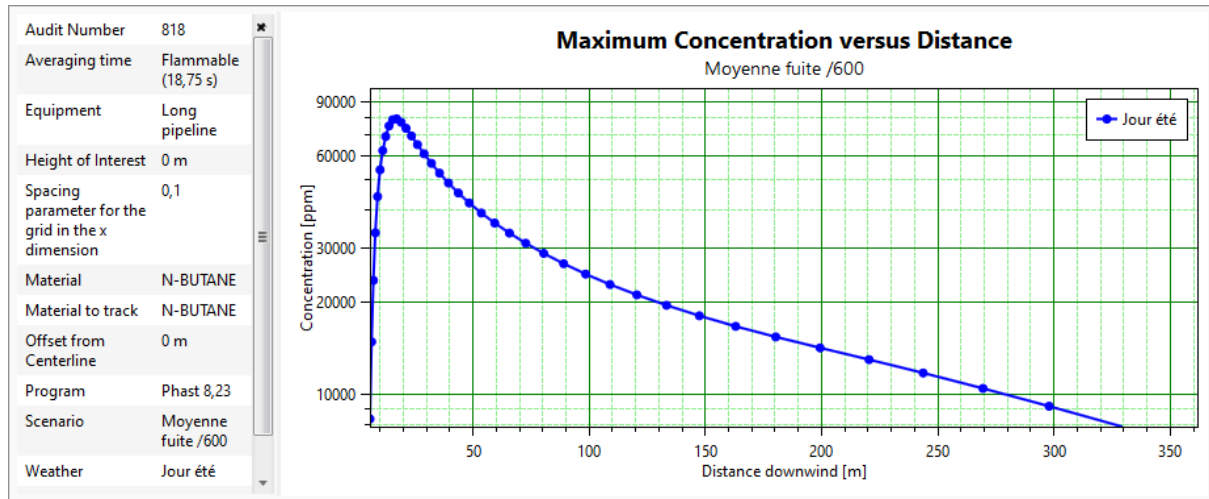
Cette figure présente la hauteur du nuage du polluant pendant 18.75 s de flamme, on voit que le nuage du polluant peut atteindre jusqu'à 727 m de hauteur.



**Figure 66 :** La concentration maximale du polluant en fonction de la distance (Grande fuite).

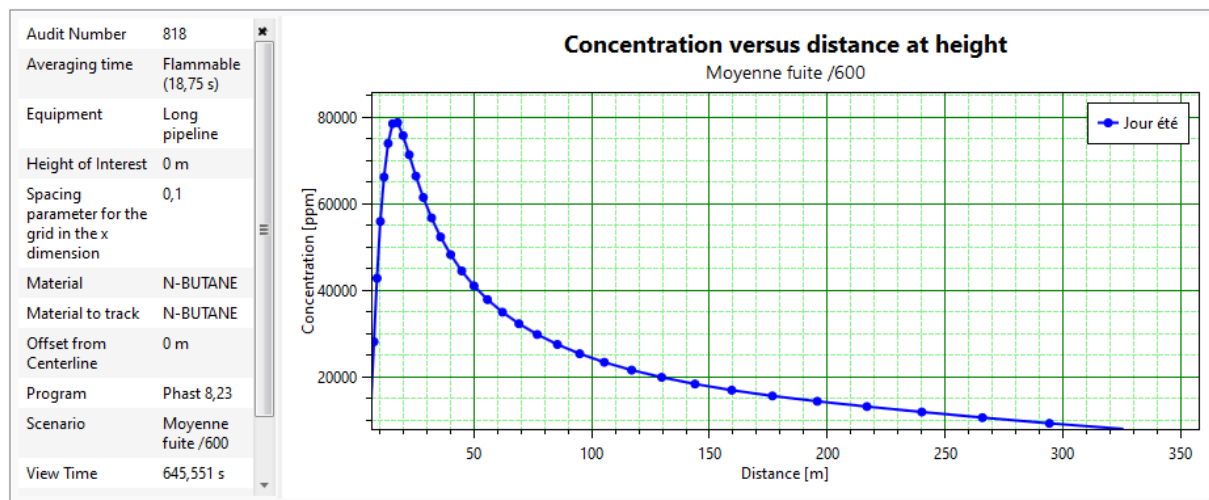
La figure ci-dessus montre l'évolution de la concentration du polluant en ppm en fonction de la distance pendant un temps d'inflammabilité de 18.75 s. On constate que la concentration maximale du polluant atteinte est 191460 ppm à 17 m de distance. Le polluant peut atteindre jusqu'à 812 m distance.

## CHAPITRE III : MODELISATION DES SCENARIOS CATASTROPHIQUES D'UNE ETUDE DE CAS



**Figure 67 :** La concentration maximale du polluant en fonction de la distance (Moyenne fuite).

La figure ci-dessus montre l'évolution de la concentration du polluant en ppm en fonction de la distance pendant un temps de 18.75 s d'inflammabilité. On constate que la concentration maximale du polluant atteinte est 78991 ppm a 17 m de distance, et commence à diminuer jusqu'à 330 m de distance.

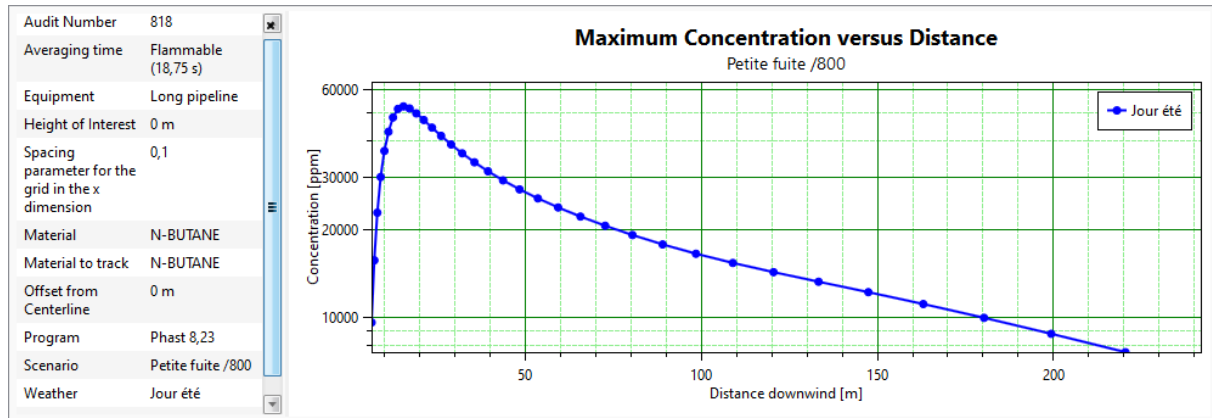


**Figure 68 :** Concentration du polluant en fonction de la distance en hauteur (Moyenne fuite).

Cette figure présente la hauteur du nuage du polluant pendant 18.75 s de flamme, on voit que le nuage du polluant peut atteindre jusqu'à 325 m de hauteur.

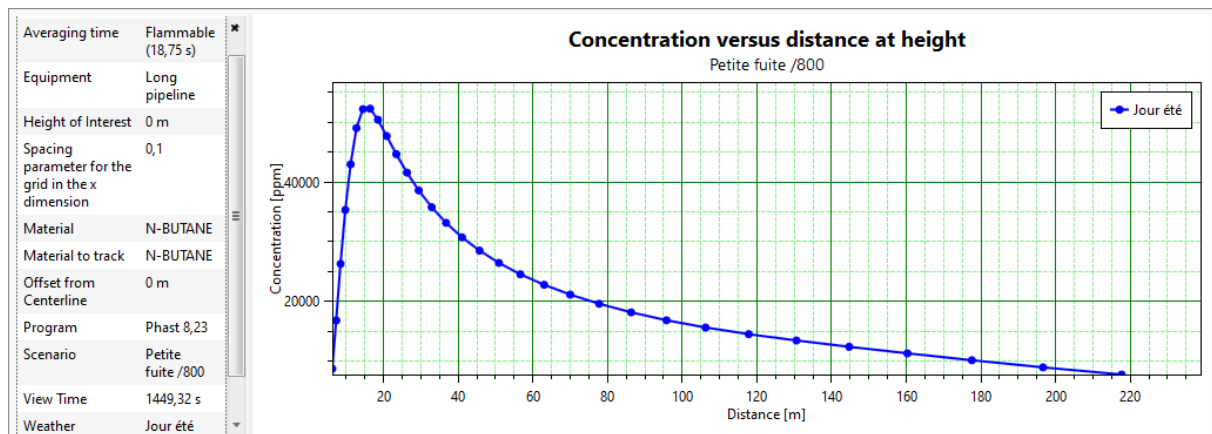


## CHAPITRE III : MODELISATION DES SCENARIOS CATASTROPHIQUES D'UNE ETUDE DE CAS



**Figure 69 :** La concentration maximale du polluant en fonction de la distance (Petite fuite).

La figure ci-dessus montre l'évolution de la concentration du polluant en ppm en fonction de la distance pendant un temps d'inflammabilité de 18.75 secondes. On constate que la concentration maximale du polluant atteint 52564.6 ppm à 15.8 m de distance, le polluant peut atteindre jusqu'à 220.4 m.

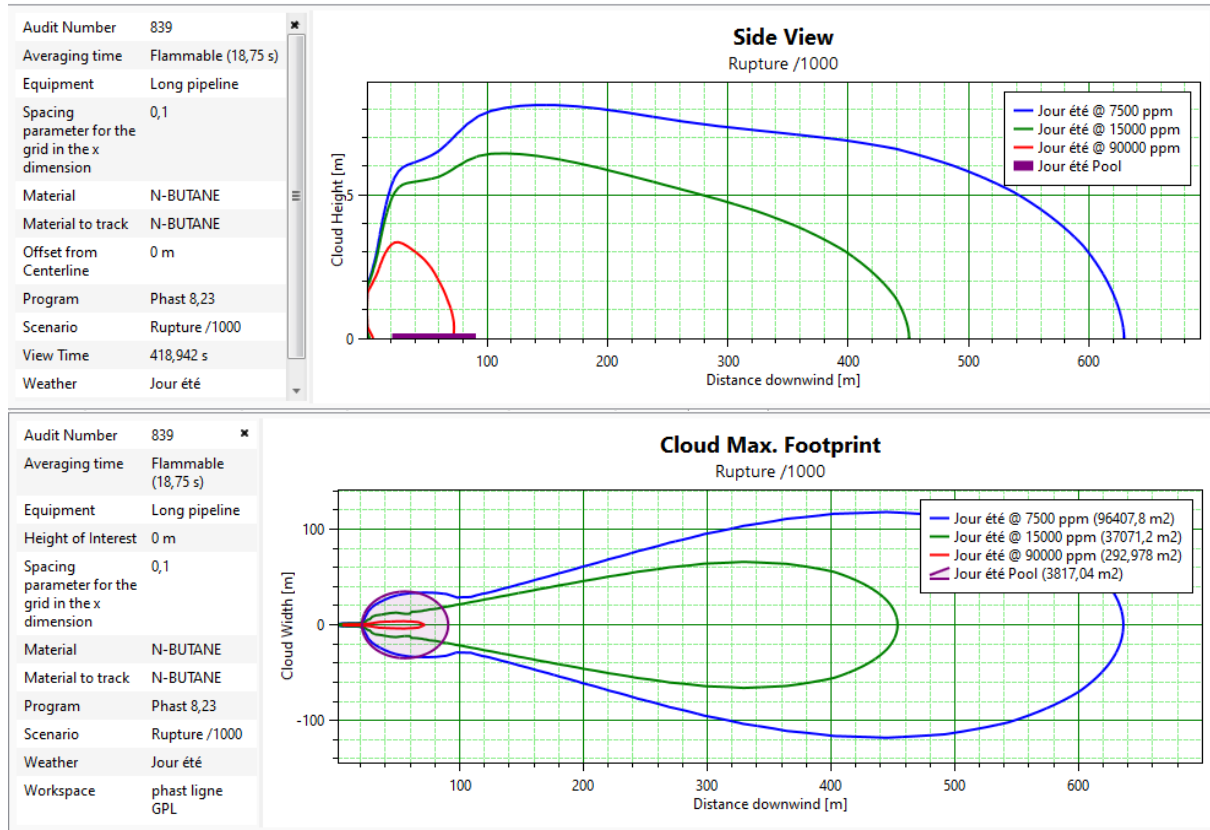


**Figure 70 :** Concentration du polluant en fonction de la distance en hauteur (Petite fuite).

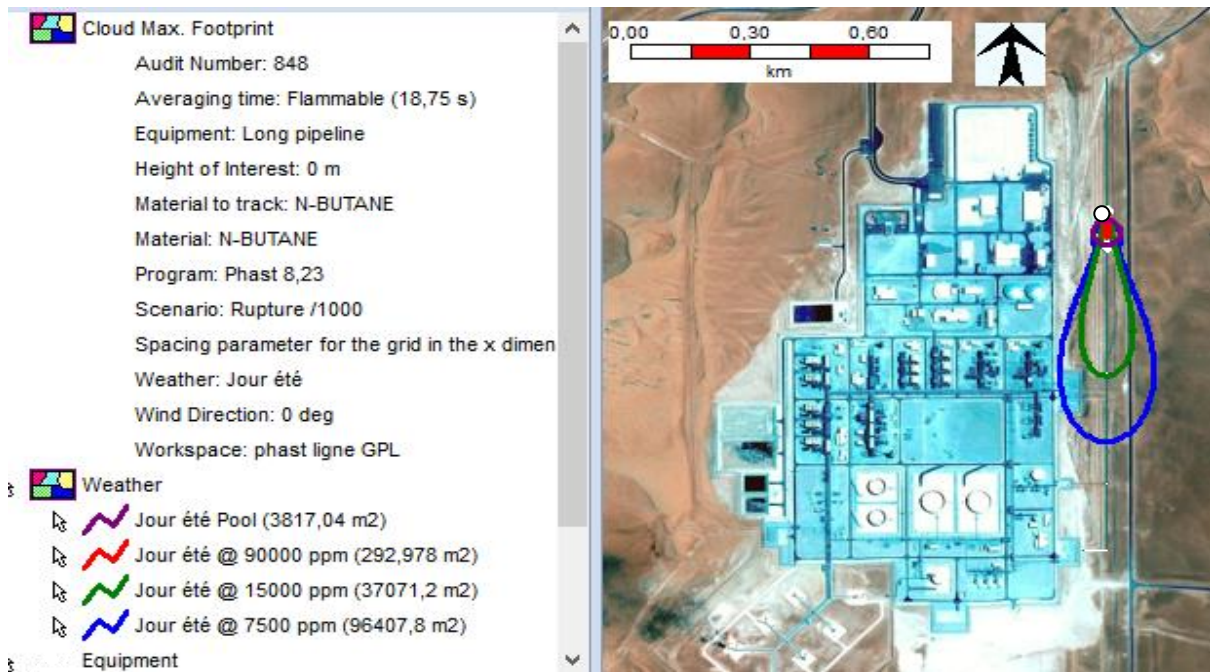
Cette figure présente la hauteur du nuage du polluant pendant 18.75 s de flamme, on voit que le nuage du polluant peut atteindre jusqu'à 218 m de hauteur.

## CHAPITRE III : MODELISATION DES SCENARIOS CATASTROPHIQUES D'UNE ETUDE DE CAS

### 3.6.2.2 Modélisation de la dispersion des nuages de polluant :

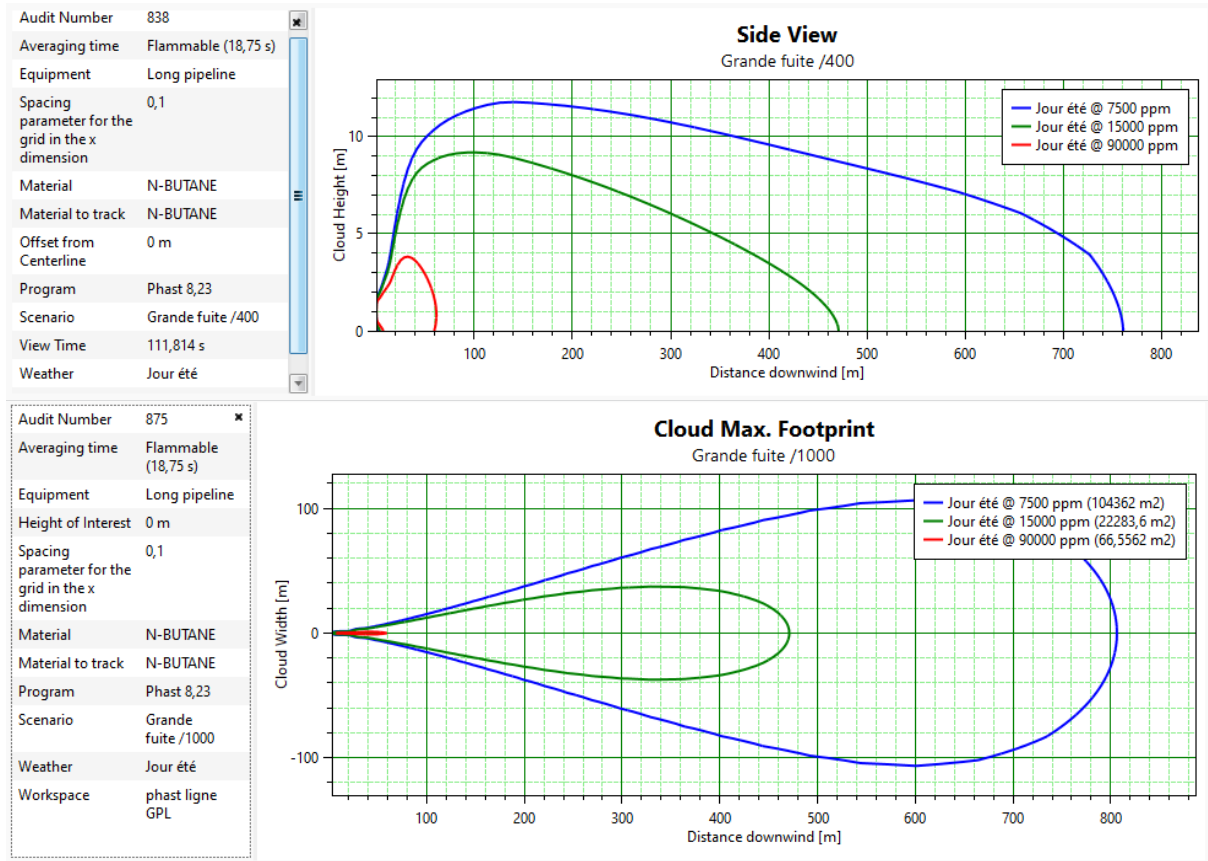


**Figure 71** : surface de la dispersion de polluant en fonction de la distance (Rupture).

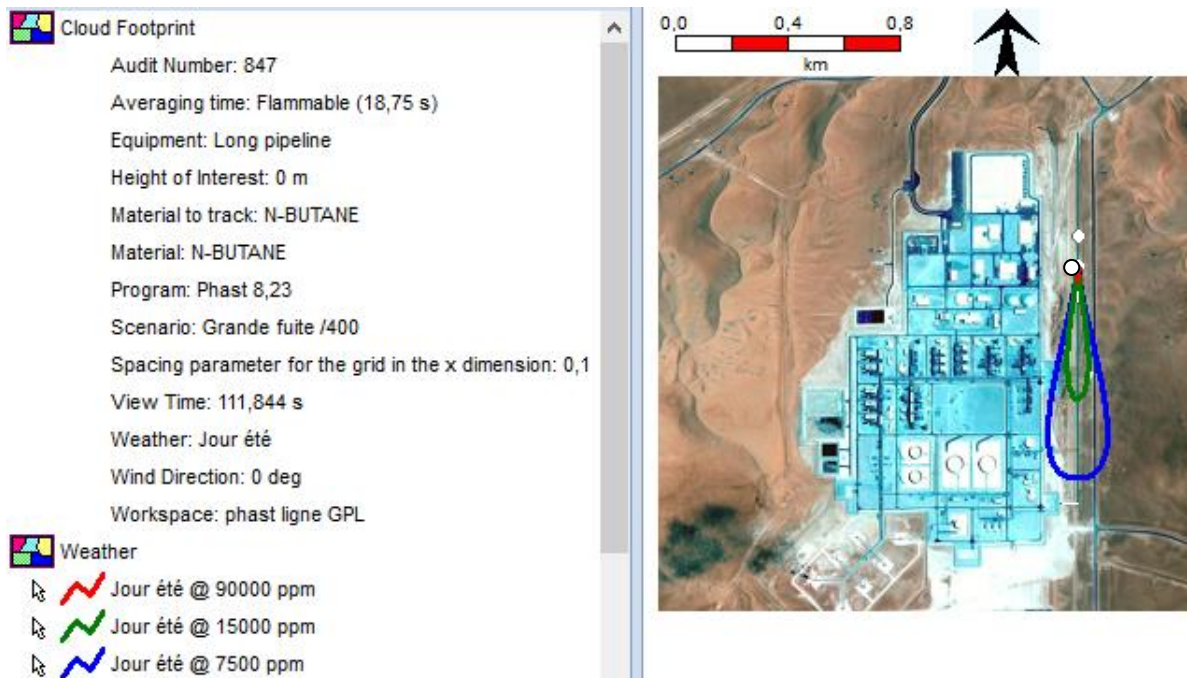


**Figure 72** : les zones affectées par le polluant (Rupture).

## CHAPITRE III : MODELISATION DES SCENARIOS CATASTROPHIQUES D'UNE ETUDE DE CAS

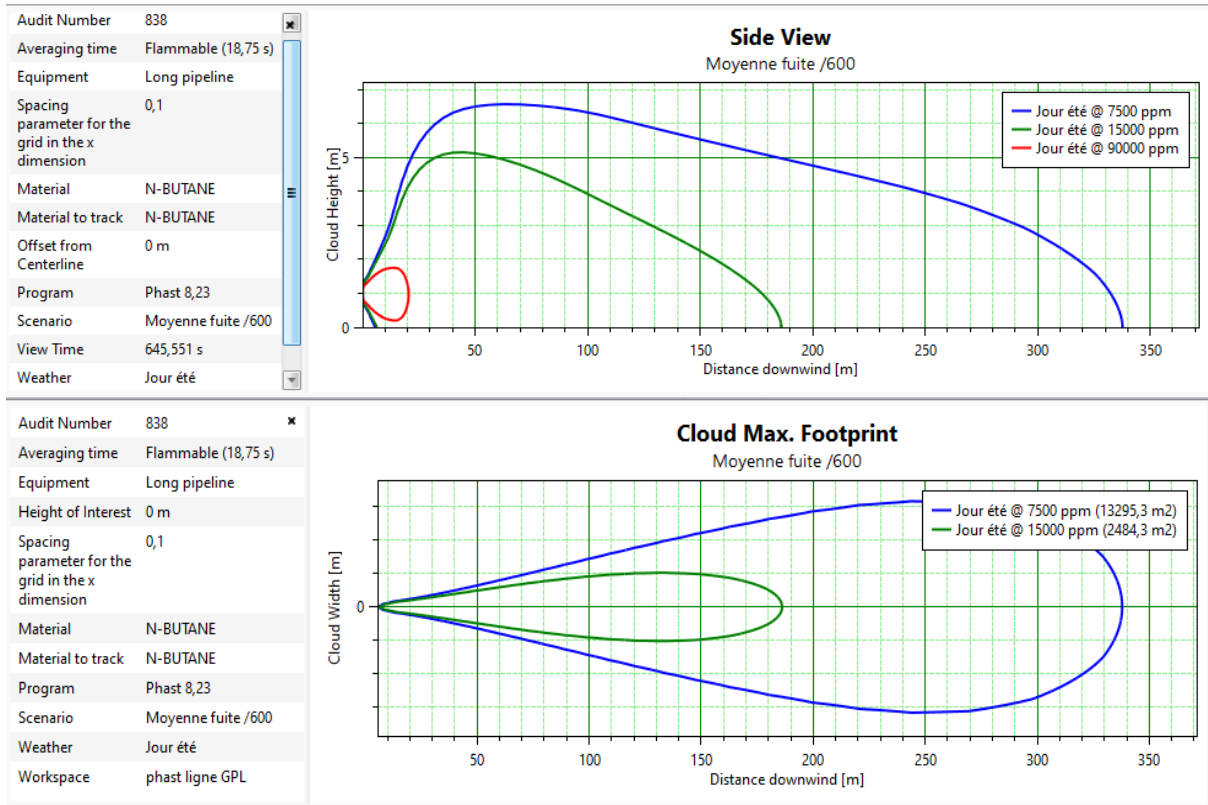


**Figure 73 :** surface de la dispersion de polluant en fonction de la distance (Rupture).

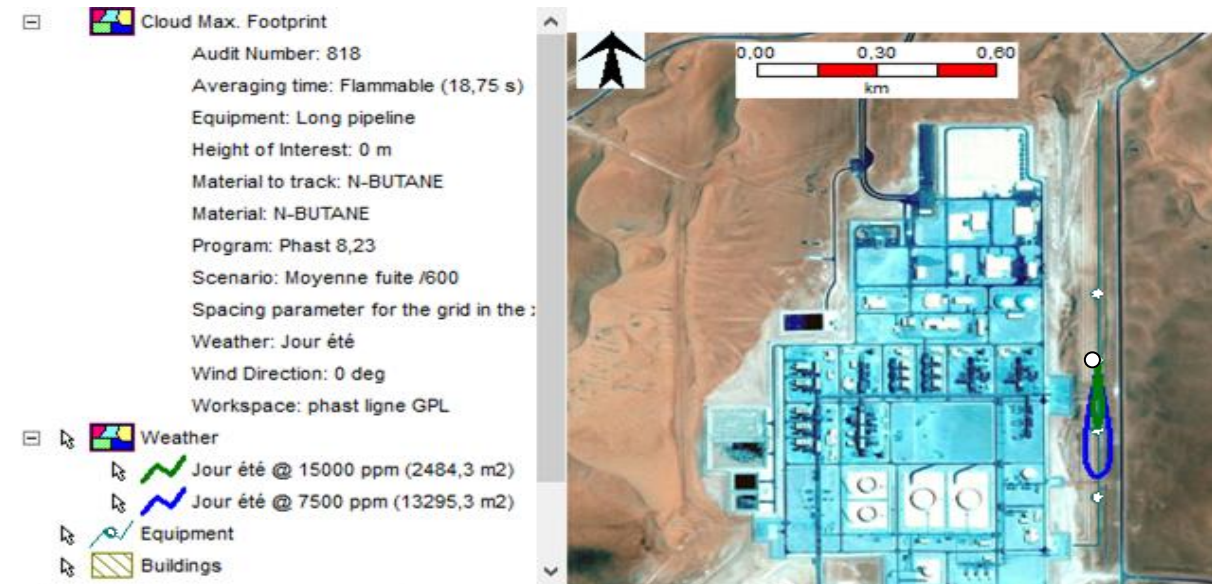


**Figure 74 :** les zones affectées par le polluant (Grande fuite).

## CHAPITRE III : MODELISATION DES SCENARIOS CATASTROPHIQUES D'UNE ETUDE DE CAS

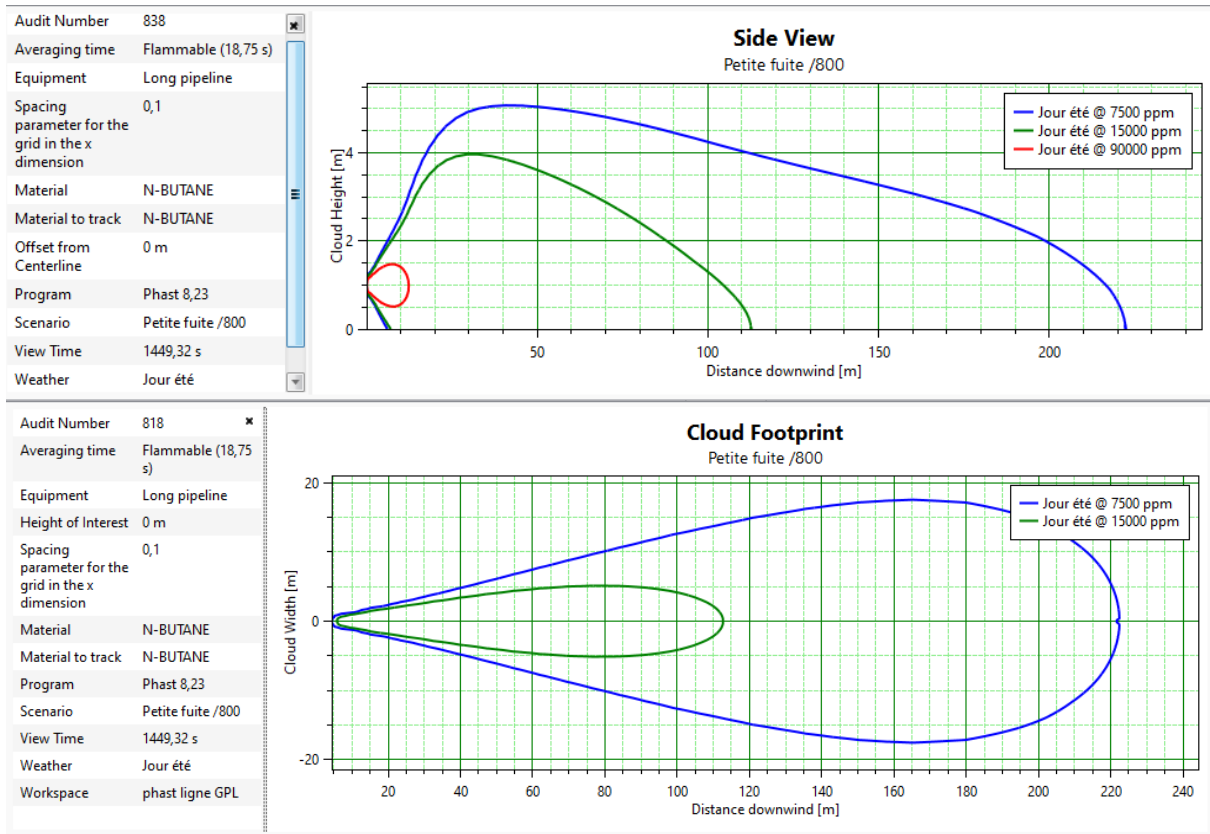


**Figure 75 :** surface de la dispersion de polluant en fonction de la distance (Moyenne fuite).

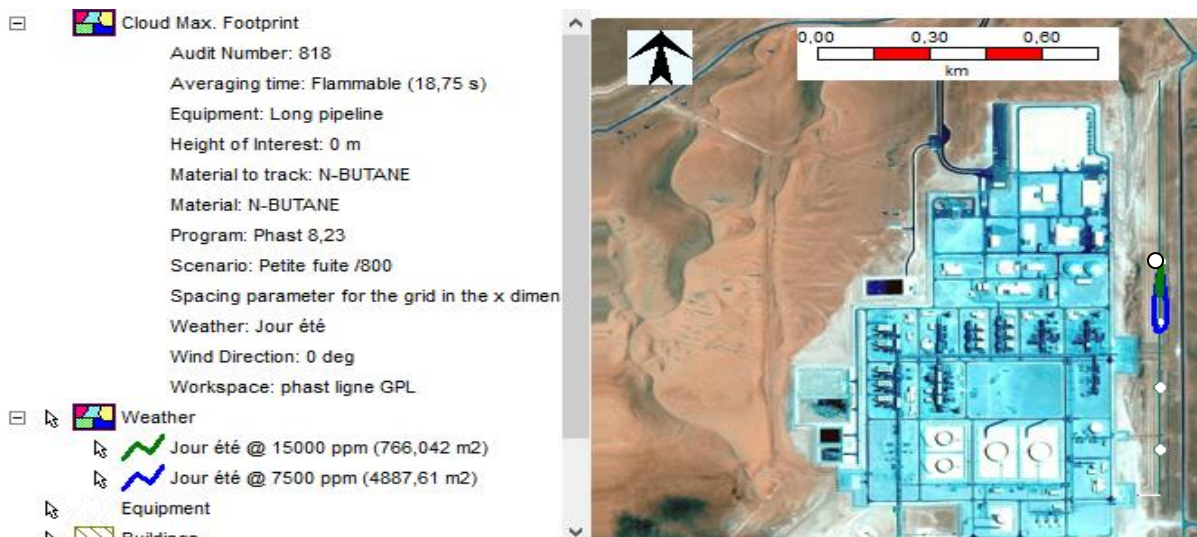


**Figure 76 :** les zones affectées par le polluant (Moyenne fuite).

## CHAPITRE III : MODELISATION DES SCENARIOS CATASTROPHIQUES D'UNE ETUDE DE CAS



**Figure 77 :** surface de la dispersion de polluant en fonction de la distance (Petite fuite).



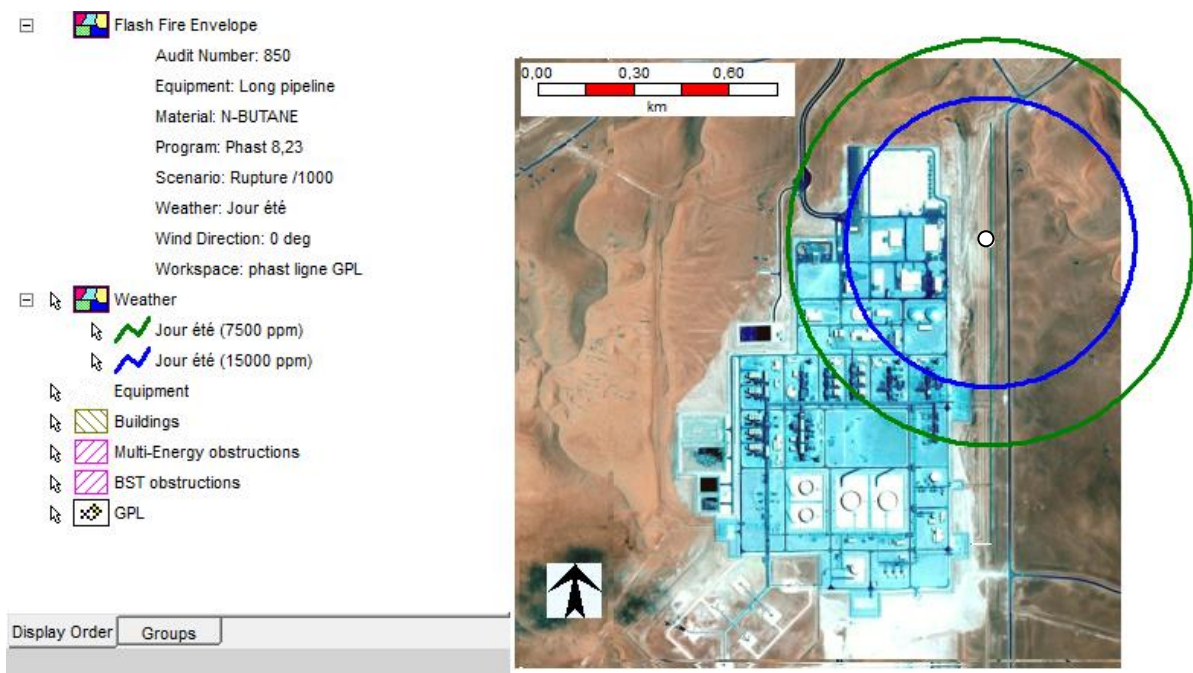
**Figure 78 :** les zones affectées par le polluant (Petite fuite).

## CHAPITRE III : MODELISATION DES SCENARIOS CATASTROPHIQUES D'UNE ETUDE DE CAS

**Tableau 20** : les résultats obtenus par la dispersion de nuage.

Type de défaillance	MAX concentration (ppm)	MAX distance (m)	MAX hauteur (m)
Rupture	247096.5	665	595
Grande fuite	191460	811.4	727
Moyenne fuite	78991	330	325.7
Petite fuite	52564.6	220.4	217.7

### 3.6.2.3 Modélisation de feu flash :

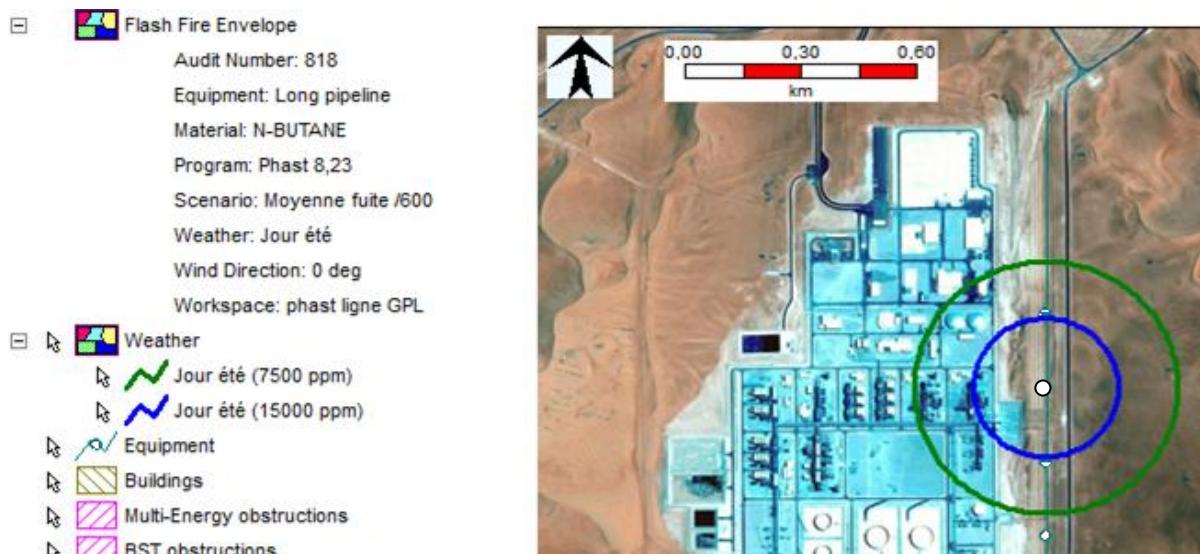


**Figure 79** : Les zones atteintes par le feu de flash (Rupture).

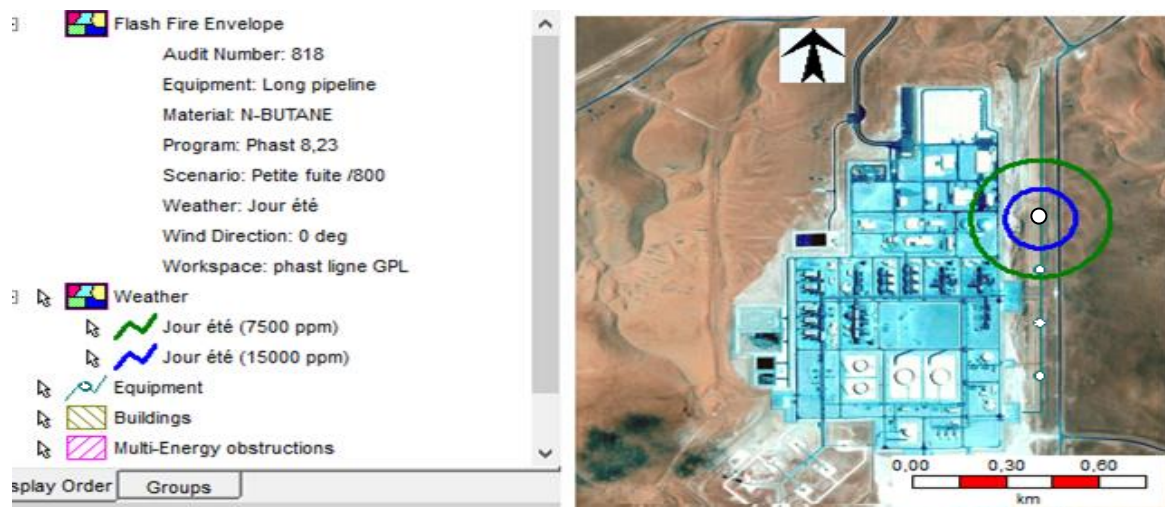
# CHAPITRE III : MODELISATION DES SCENARIOS CATASTROPHIQUES D'UNE ETUDE DE CAS



**Figure 80 :** Les zones atteintes par le feu de flash (Grande fuite).



**Figure 81 :** Les zones atteintes par le feu de flash (Moyenne fuite).



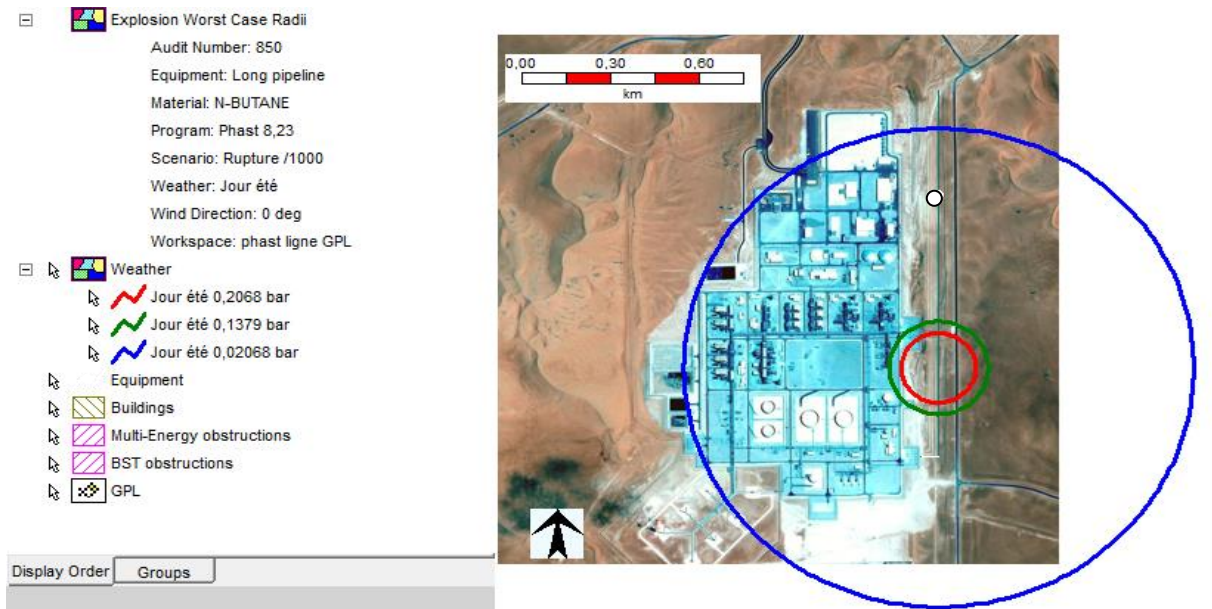
**Figure 82 :** Les zones atteintes par le feu de flash (Petite fuite).

## CHAPITRE III : MODELISATION DES SCENARIOS CATASTROPHIQUES D'UNE ETUDE DE CAS

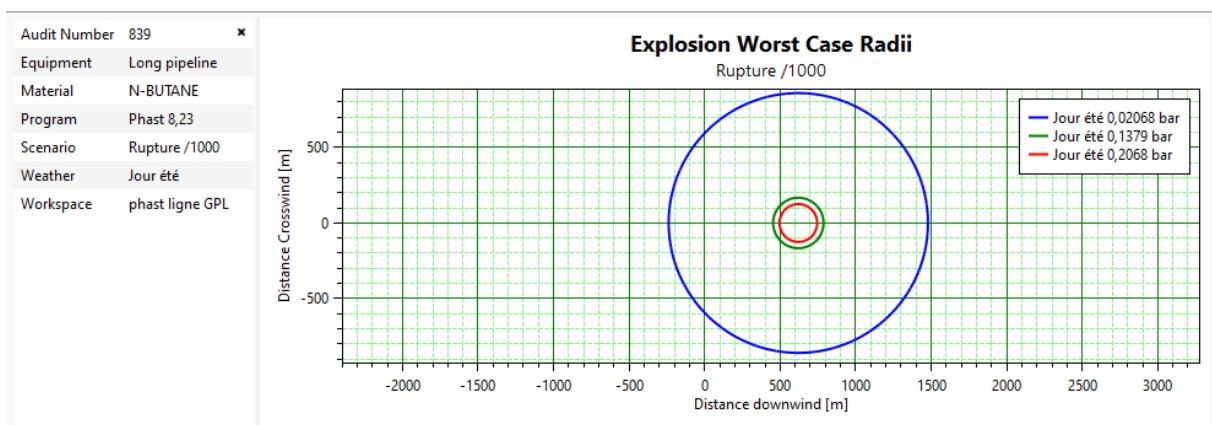
**Tableau 21** : les distances atteintes par le feu flash.

	Concentration de polluant (ppm)	10000 (LSE)	5000 (LIE)
Distances (m)	Rupture	450.4	631.8
	Grande fuite	471	808.6
	Moyenne fuite	186.2	338.2
	Petite fuite	112.7	222.7

### 3.6.2.4 Modélisation de l'explosion :



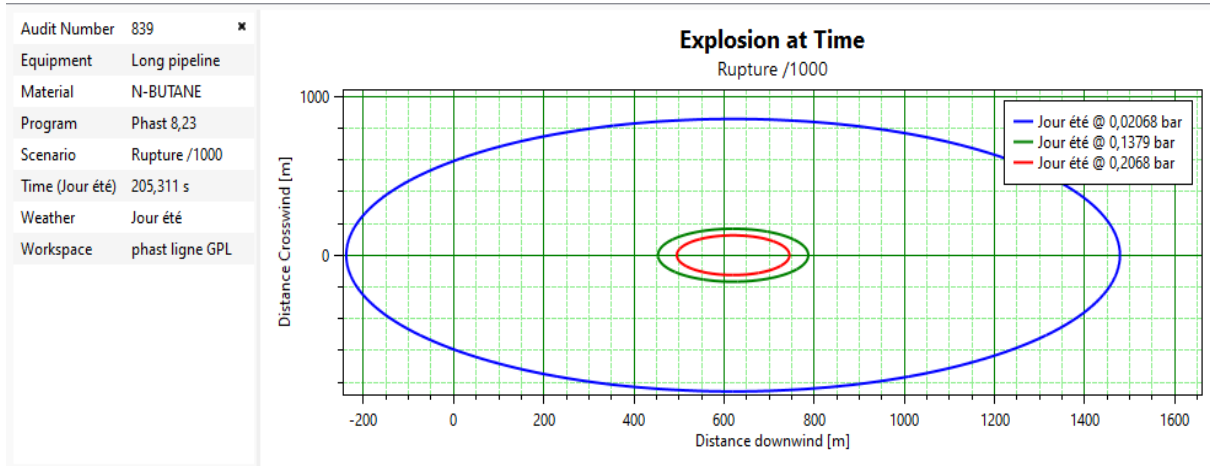
**Figure 83** : les zones affectées par l'explosion en fonction du temps (Rupture).



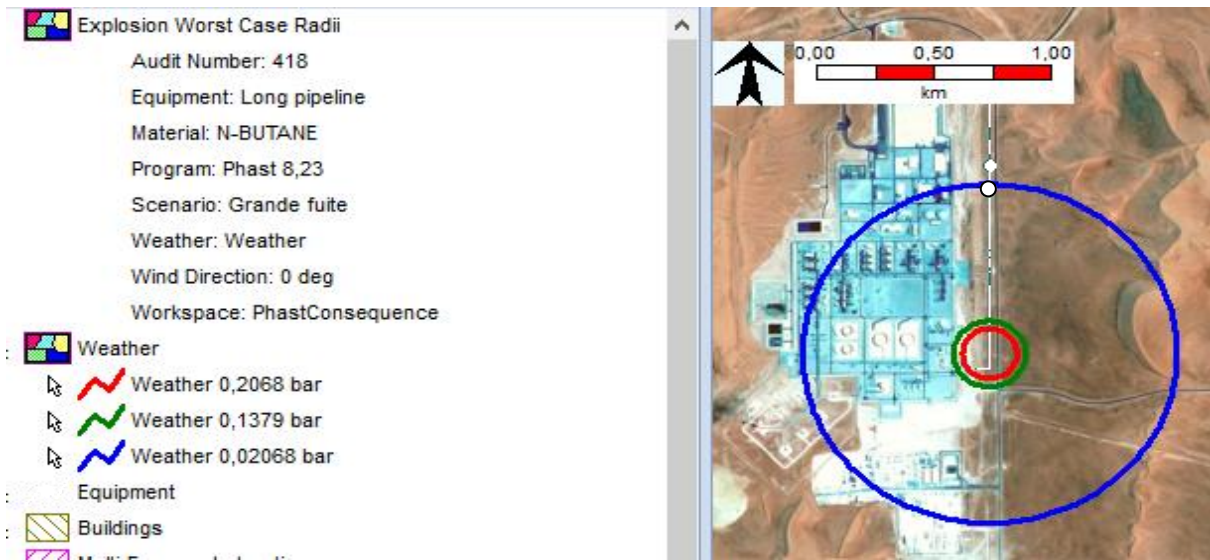
**Figure 84** : les effets du pire cas d'explosion (Rupture).



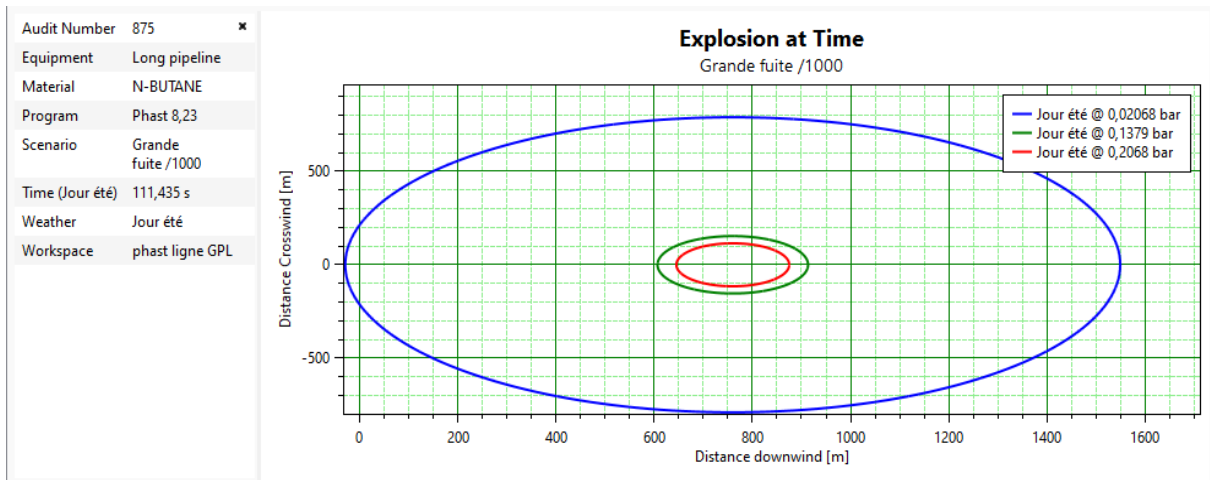
## CHAPITRE III : MODELISATION DES SCENARIOS CATASTROPHIQUES D'UNE ETUDE DE CAS



**Figure 85 :** les zones affectées par l'explosion en fonction du temps (Rupture).

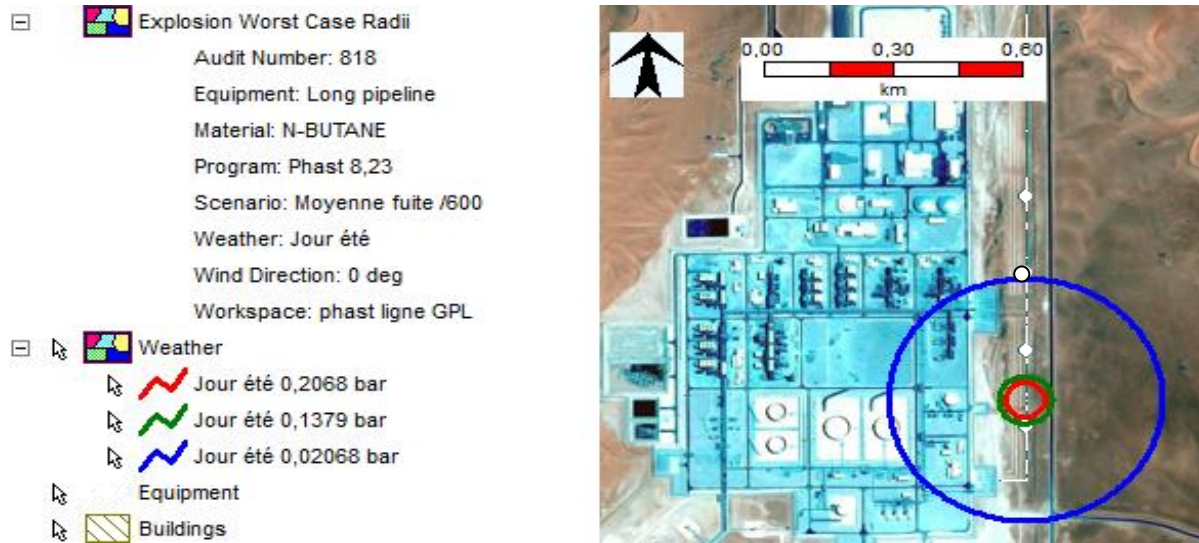


**Figure 86 :** les distances atteintes par l'explosion (Grande fuite).

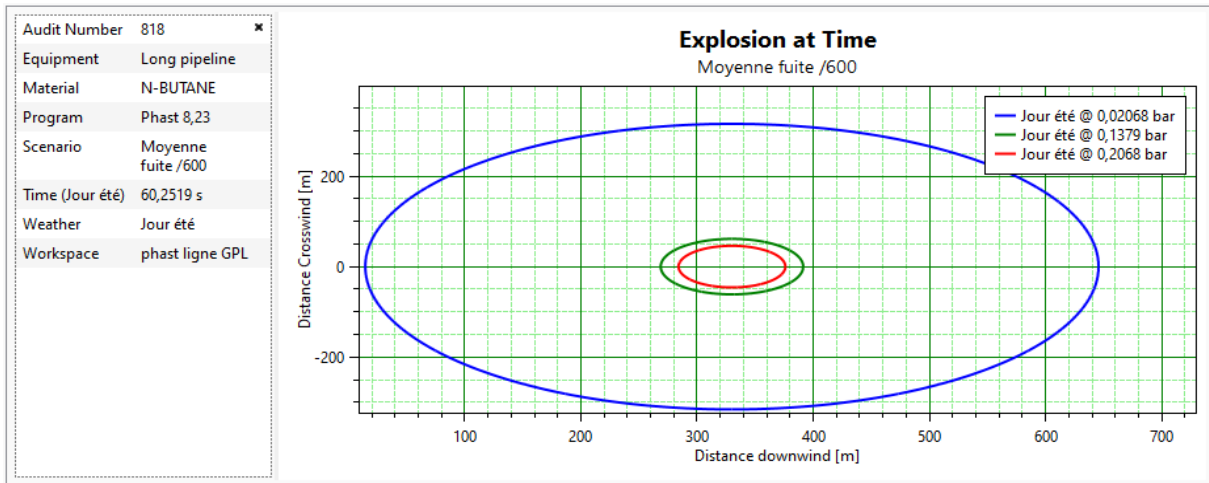


**Figure 87 :** les zones affectées par l'explosion en fonction du temps (Grande fuite).

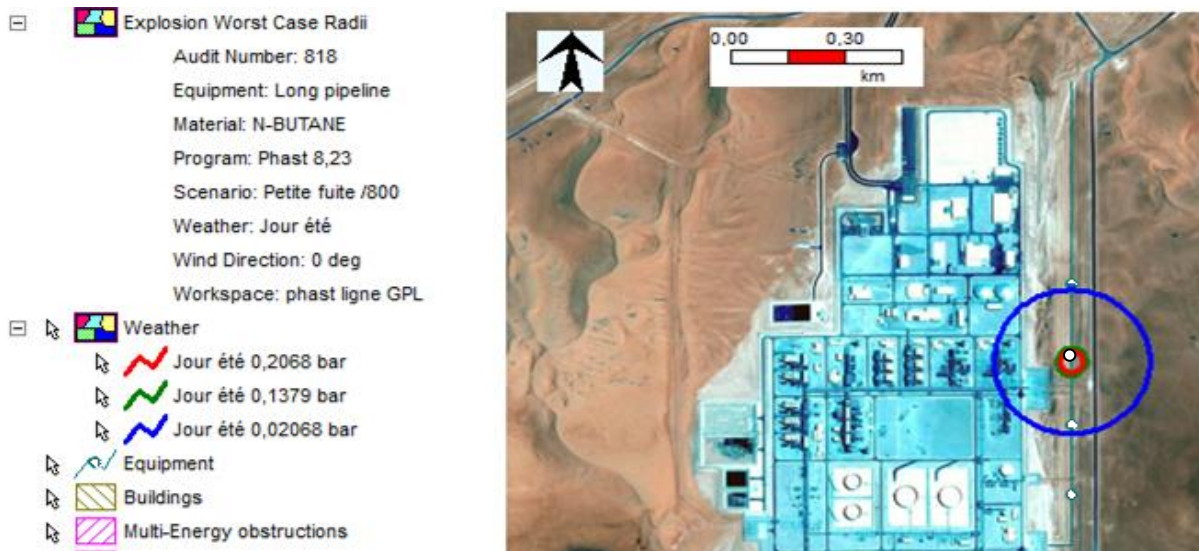
## CHAPITRE III : MODELISATION DES SCENARIOS CATASTROPHIQUES D'UNE ETUDE DE CAS



**Figure 88** : les distances atteintes par l'explosion (Moyenne fuite).

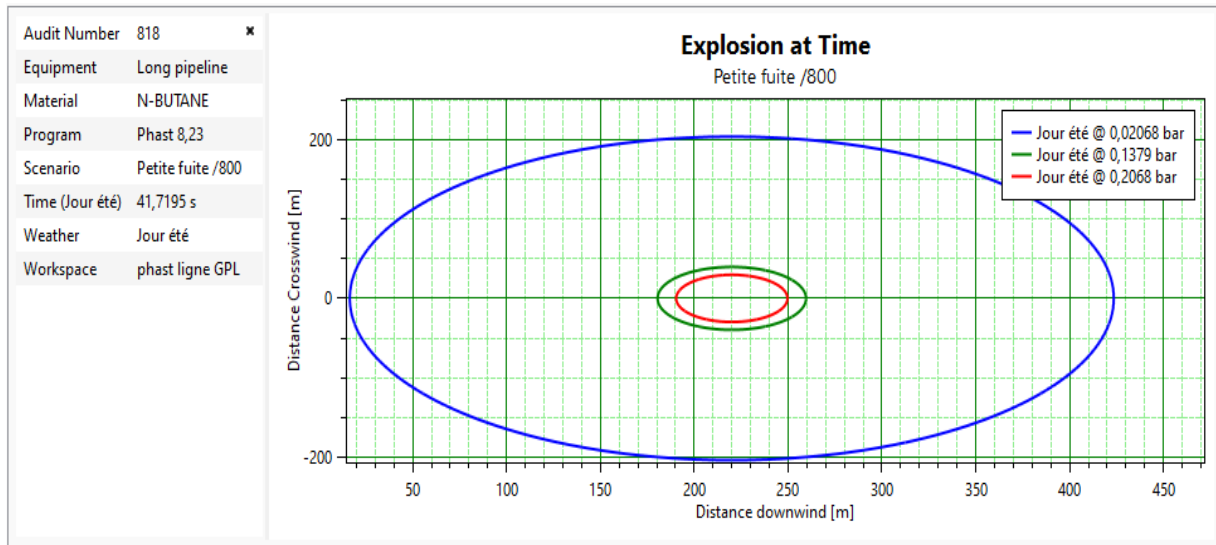


**Figure 89** : les zones affectées par l'explosion en fonction du temps (Moyenne fuite).



**Figure 90** : les distances atteintes par l'explosion (Petite fuite).

## CHAPITRE III : MODELISATION DES SCENARIOS CATASTROPHIQUES D'UNE ETUDE DE CAS



**Figure 91** : les zones affectées par l'explosion en fonction du temps (Petite fuite).

**Tableau 22** : les effets des radiations thermiques.

Surpression (bar)	<b>0.02068</b>		<b>0.1379</b>		<b>0.2068</b>	
Dimensions(m)	Distance	Diamètre	Distance	Diamètre	Distance	Diamètre
Rupture	1478.3	1716.6	786.8	333.8	745	250
Grande fuite	1550	1579	913	306.4	875	230
Moyenne fuite	645.6	631.3	391.3	122.6	376	92
Petite fuite	423.5	407.1	260	79.5	250	59.7
Impact sur l'homme	seuils des effets irréversibles correspondant à la zone des effets indirects par bris de vitre sur l'homme.		- seuils des effets irréversibles correspondant à la zone des dangers significatifs pour la vie humaine ; - seuil des premiers effets létaux correspondant à la zone des dangers graves pour la vie humaine.		seuil des effets létaux significatifs correspondant à la zone des dangers très graves pour la vie humaine.	
Impact sur la structure	- seuil des destructions significatives de vitres ; - seuil des dégâts légers sur les structures.		- seuil des dégâts graves sur les structures ; - seuil des effets dominos.		seuil des dégâts très graves sur les structures.	

# CHAPITRE III : MODELISATION DES SCENARIOS CATASTROPHIQUES D'UNE ETUDE DE CAS

## 3.6.2.5 Modélisation de jet enflammé :

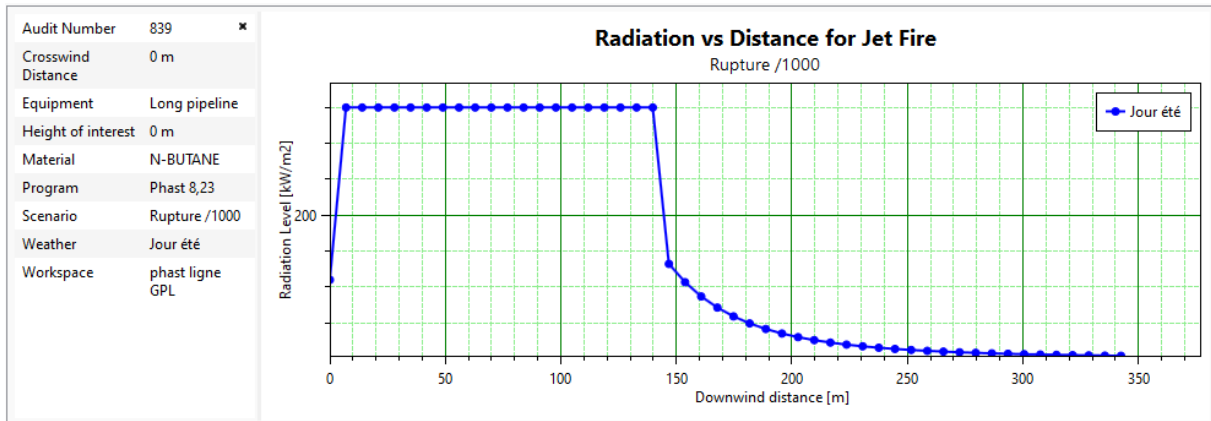


Figure 92 : Les radiations thermiques de jet enflammé en fonction de distance (Rupture).

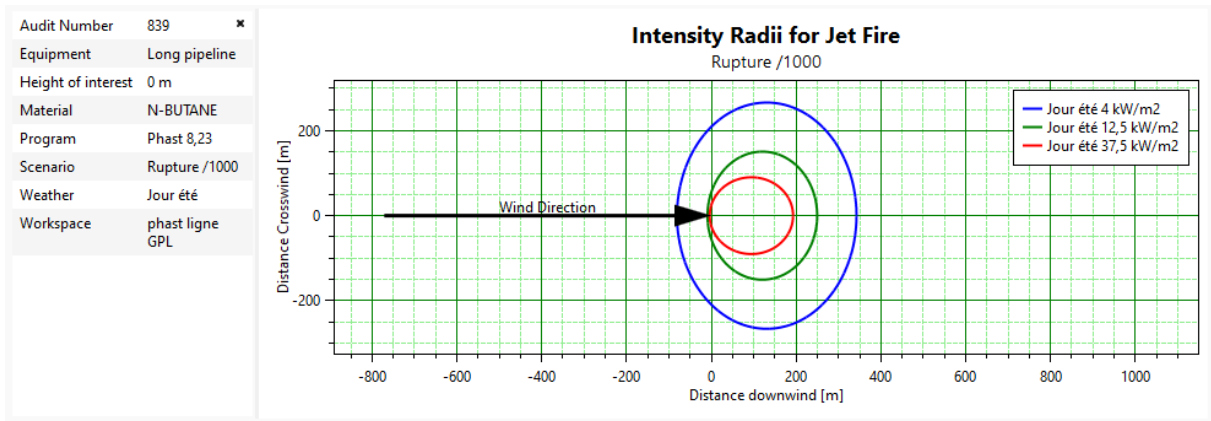


Figure 93 : l'intensité de radiation pour jet enflammé (Rupture).

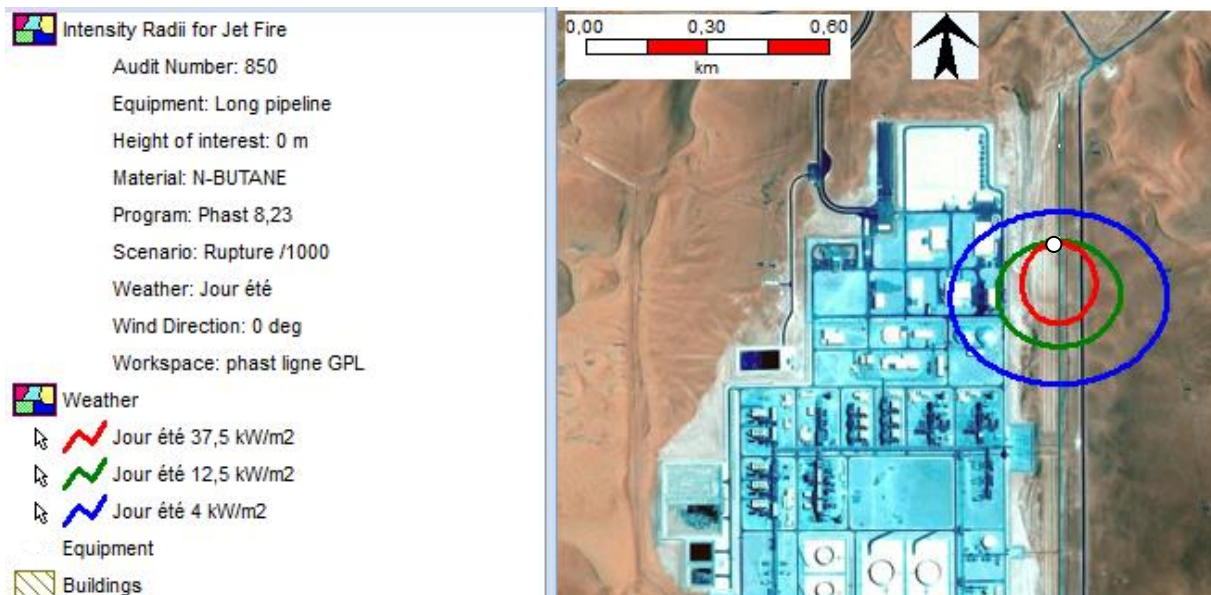
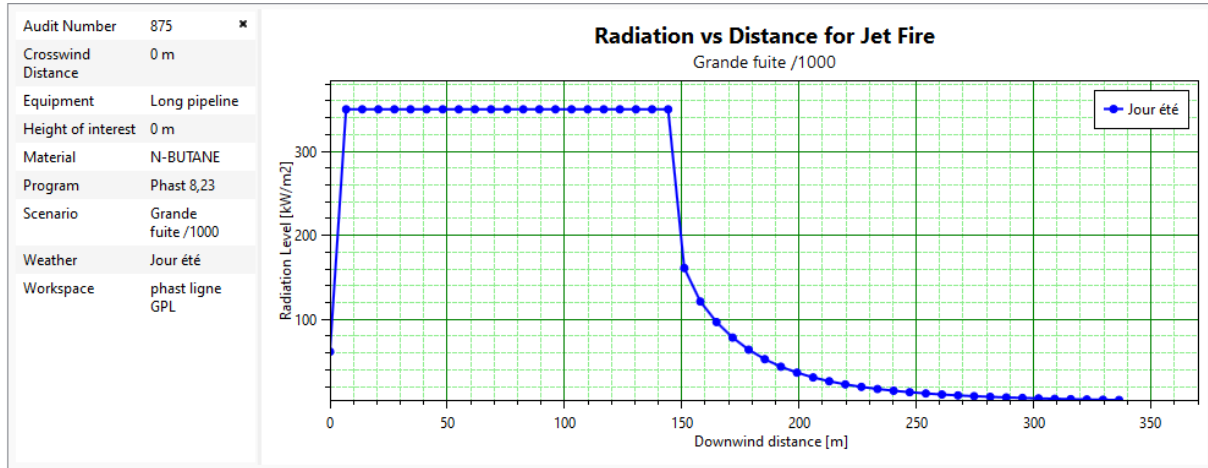


Figure 94 : Les effets de jet de feu (Rupture).

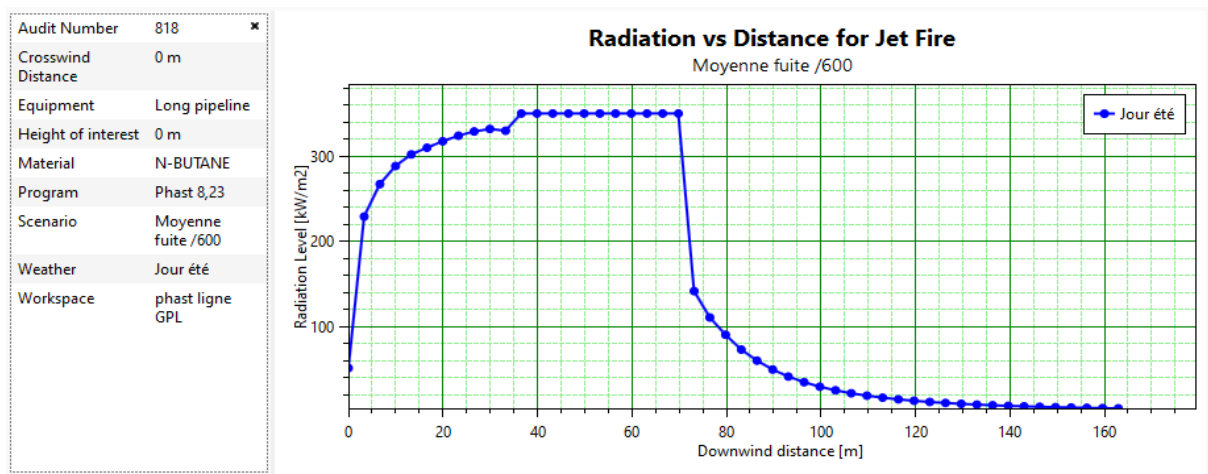
## CHAPITRE III : MODELISATION DES SCENARIOS CATASTROPHIQUES D'UNE ETUDE DE CAS



**Figure 95 :** Les radiations thermiques de jet enflammé en fonction de distance (Grande fuite).

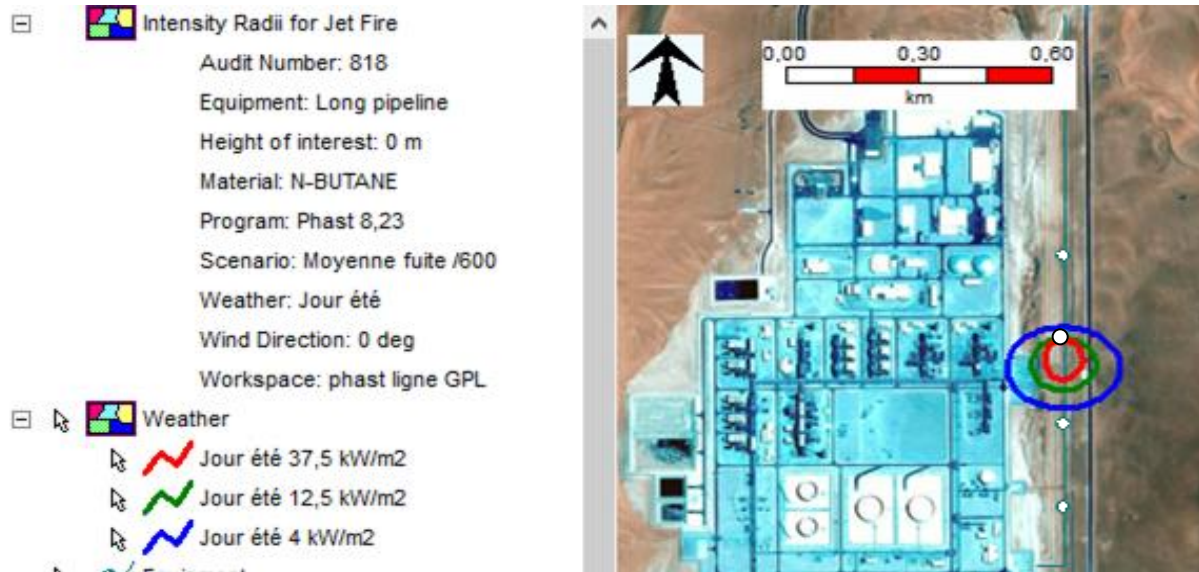


**Figure 96 :** Les effets de jet de feu (Grande fuite).

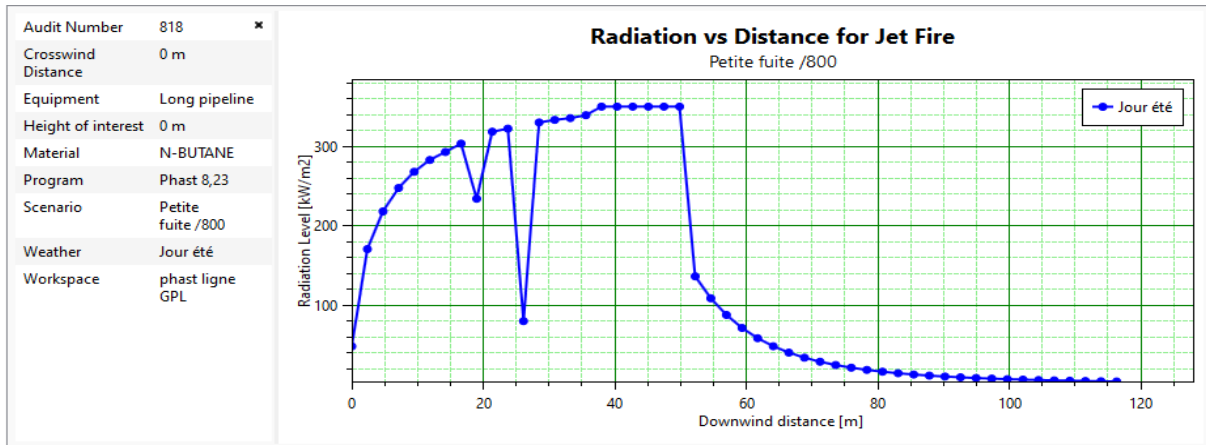


**Figure 97 :** Les radiations thermiques de jet enflammé en fonction de distance (Moyenne fuite).

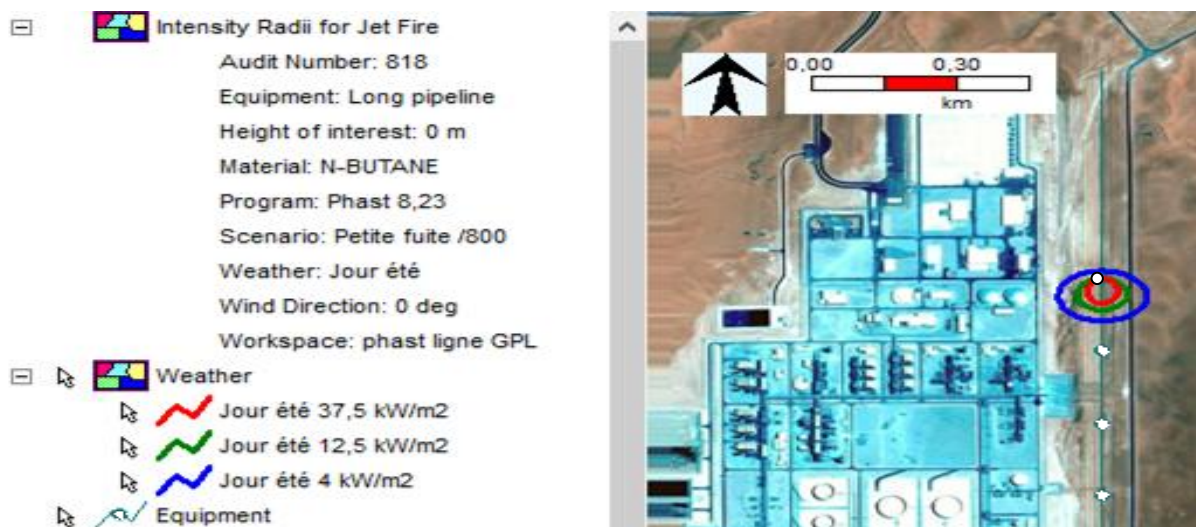
## CHAPITRE III : MODELISATION DES SCENARIOS CATASTROPHIQUES D'UNE ETUDE DE CAS



**Figure 98 :** Les effets de jet de feu (Moyenne fuite).



**Figure 99 :** Les radiations thermiques de jet enflammé en fonction de distance (Petite fuite).



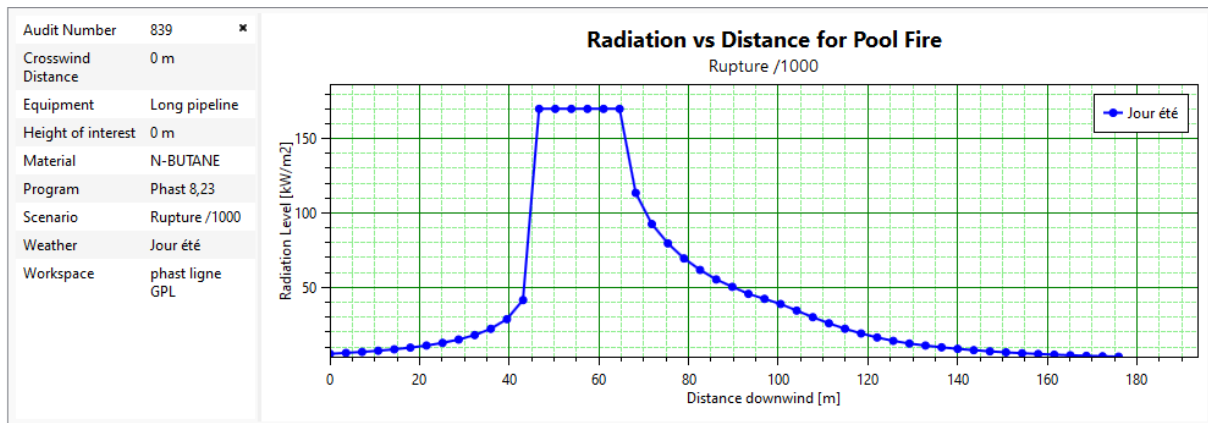
**Figure 100 :** Les effets de jet de feu (Petite fuite).

## CHAPITRE III : MODELISATION DES SCENARIOS CATASTROPHIQUES D'UNE ETUDE DE CAS

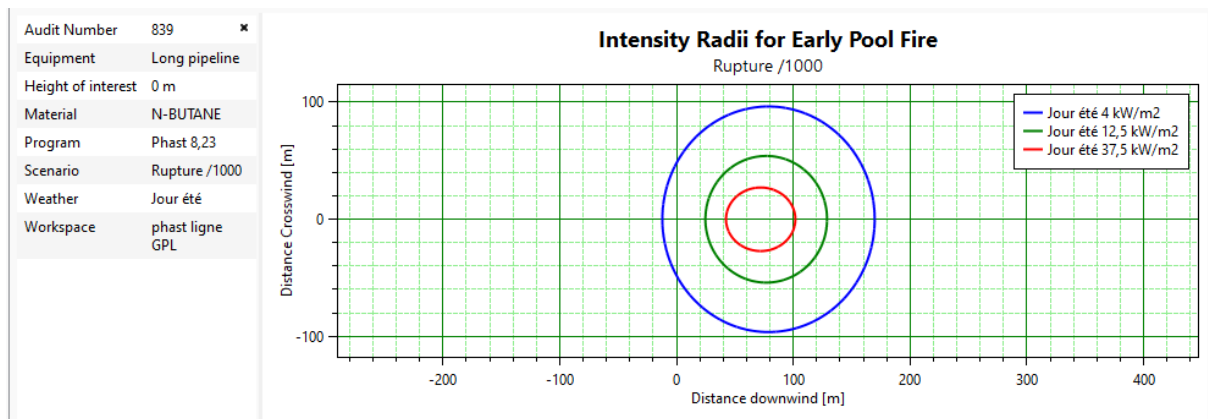
**Tableau 23** : les résultats obtenus par jet enflammé.

		4	12.5	37.5
<b>Distances (m)</b>	Rupture de pipe	342.4	250	193
	Grande fuite	336.5	250.7	198.1
	Moyenne fuite	163	120.6	95
	Petite fuite	116.3	86	67.5

### 3.6.2.6 Modélisation de Feu de flaque immédiat:

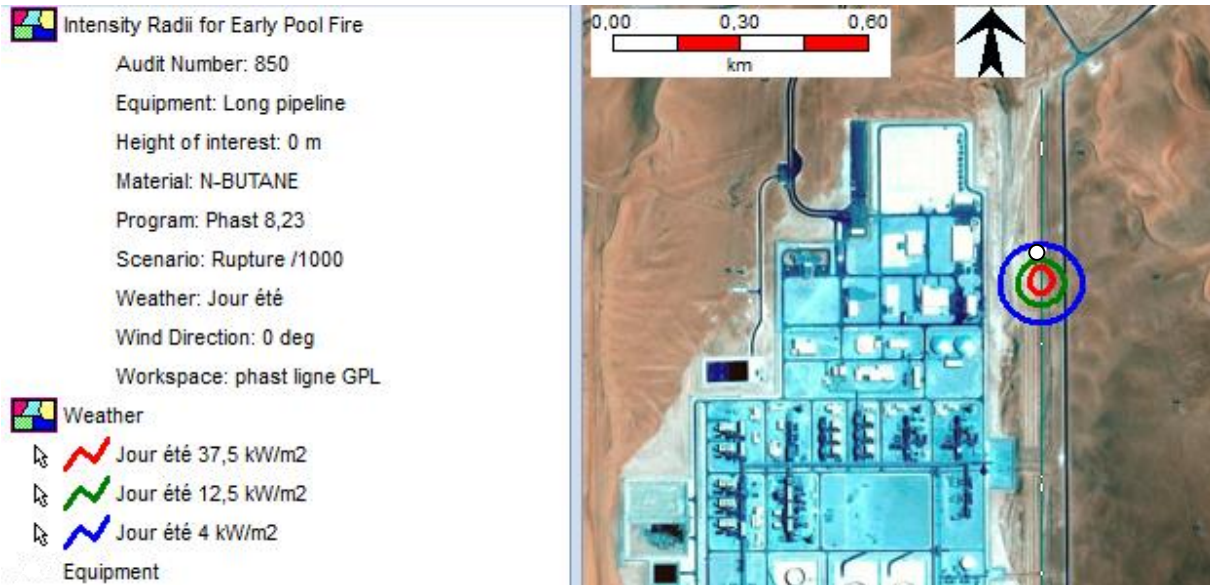


**Figure 101** : Les radiations de feu de nappe immédiat en fonction de la distance (Rupture).



**Figure 102** : l'intensité des radiations pour Pool fire immédiat.

## CHAPITRE III : MODELISATION DES SCENARIOS CATASTROPHIQUES D'UNE ETUDE DE CAS

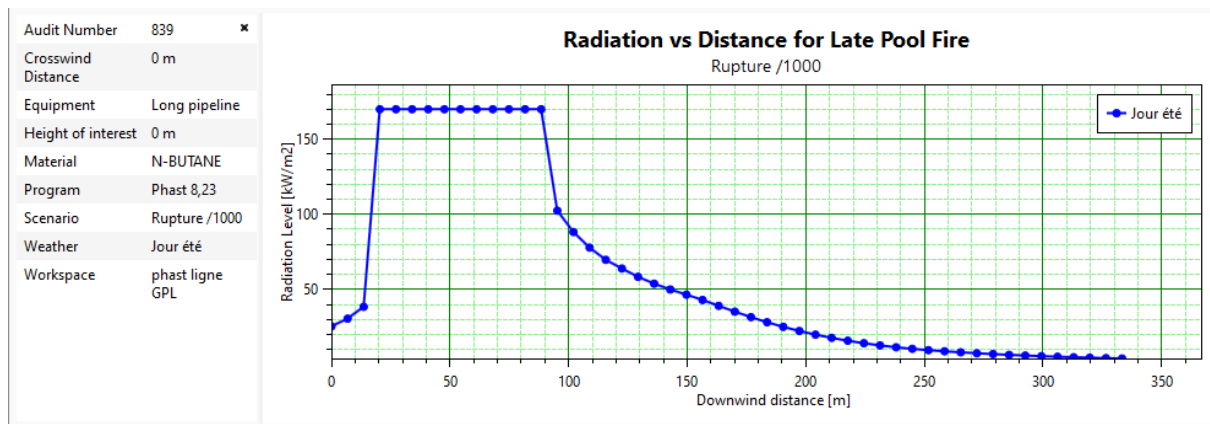


**Figure 103 :** Les effets de feu de nappe immédiat (Rupture).

**Tableau 24 :** les résultats obtenus par feu de nappe immédiat.

Niveau de radiation thermique (KW/m <sup>2</sup> )	Distance (m)	Diamètre de flaque (m)
<b>4</b>	175	182
<b>12.5</b>	129	
<b>37.5</b>	101.6	

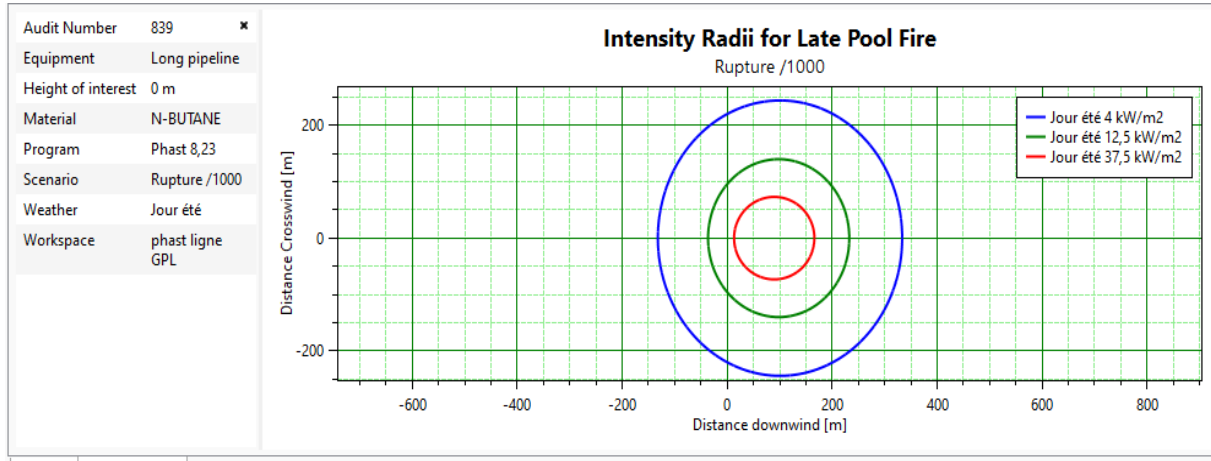
### 3.6.2.7 Modélisation de Feu de nappe retardé :



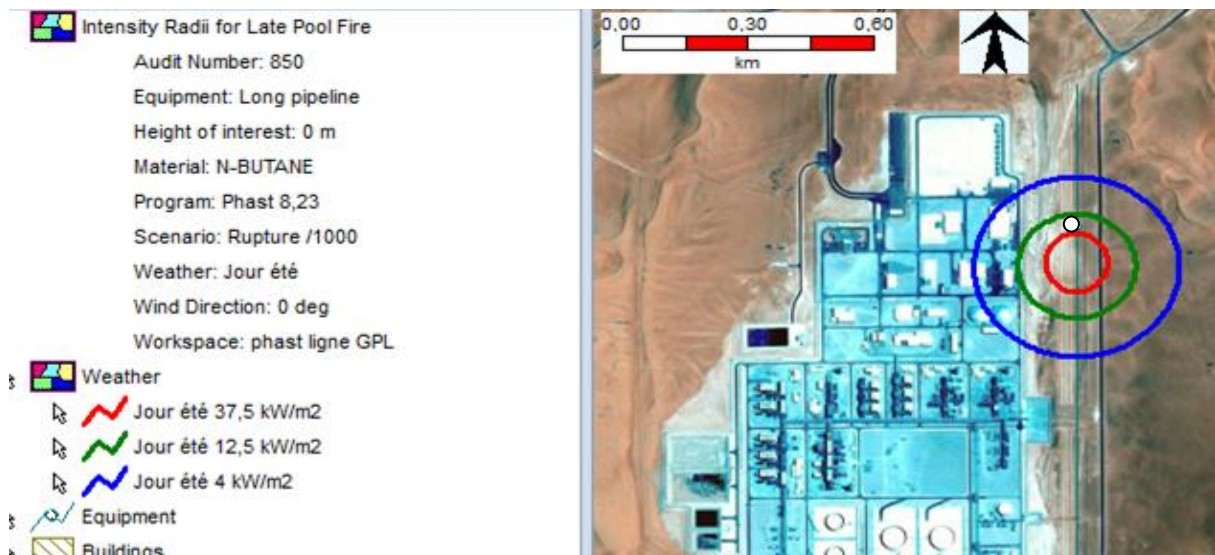
**Figure 104 :** effet de radiation thermique pour feu de nappe retardé en fonction de la distance (Rupture).



## CHAPITRE III : MODELISATION DES SCENARIOS CATASTROPHIQUES D'UNE ETUDE DE CAS



**Figure 105 :** l'intensité de radiation pour feu de nappe retardé (Rupture).



**Figure 106 :** les zones touchées par le feu de nappe retardé (Rupture).

**Tableau 25 :** les résultats obtenus par feu de nappe retardé.

Niveau de radiation thermique (KW/m <sup>2</sup> )	Distance (m)	Diamètre de flaque (m)
<b>4</b>	333.3	465.5
<b>12.5</b>	232.5	
<b>37.5</b>	166	

**Interprétation des effets de radiations thermiques :** voir le tableau de résultat N° 14 p65.

## **CHAPITRE III : MODELISATION DES SCENARIOS CATASTROPHIQUES D'UNE ETUDE DE CAS**

---

### **3.6.2.8 Adéquation des mesures sécuritaires :**

#### **Analyse des causes :**

Les principaux modes de défaillance pour les lignes sont :

- Fuite externe par les parois ou les soudures des conduites.
- Bouchage dû à une déformation ou un objet à l'intérieur.
- Déformation ou corrosion (sans fuite ni bouchage).

Les principales causes de défaillance d'une ligne sont les défaillances mécaniques (typiquement dues à la combinaison de surcharge et de design inadéquat) et la corrosion. Notons enfin que les agressions externes, les erreurs humaines et la surpression sont également des causes possibles.

L'ensemble des mesures de prévention et de protection pertinentes pour ce scénario ont été reprises dans le graphique présenté ci-dessous par le logiciel BowtieXP :

# CHAPITRE III : MODELISATION DES SCENARIOS CATASTROPHIQUES D'UNE ETUDE DE CAS

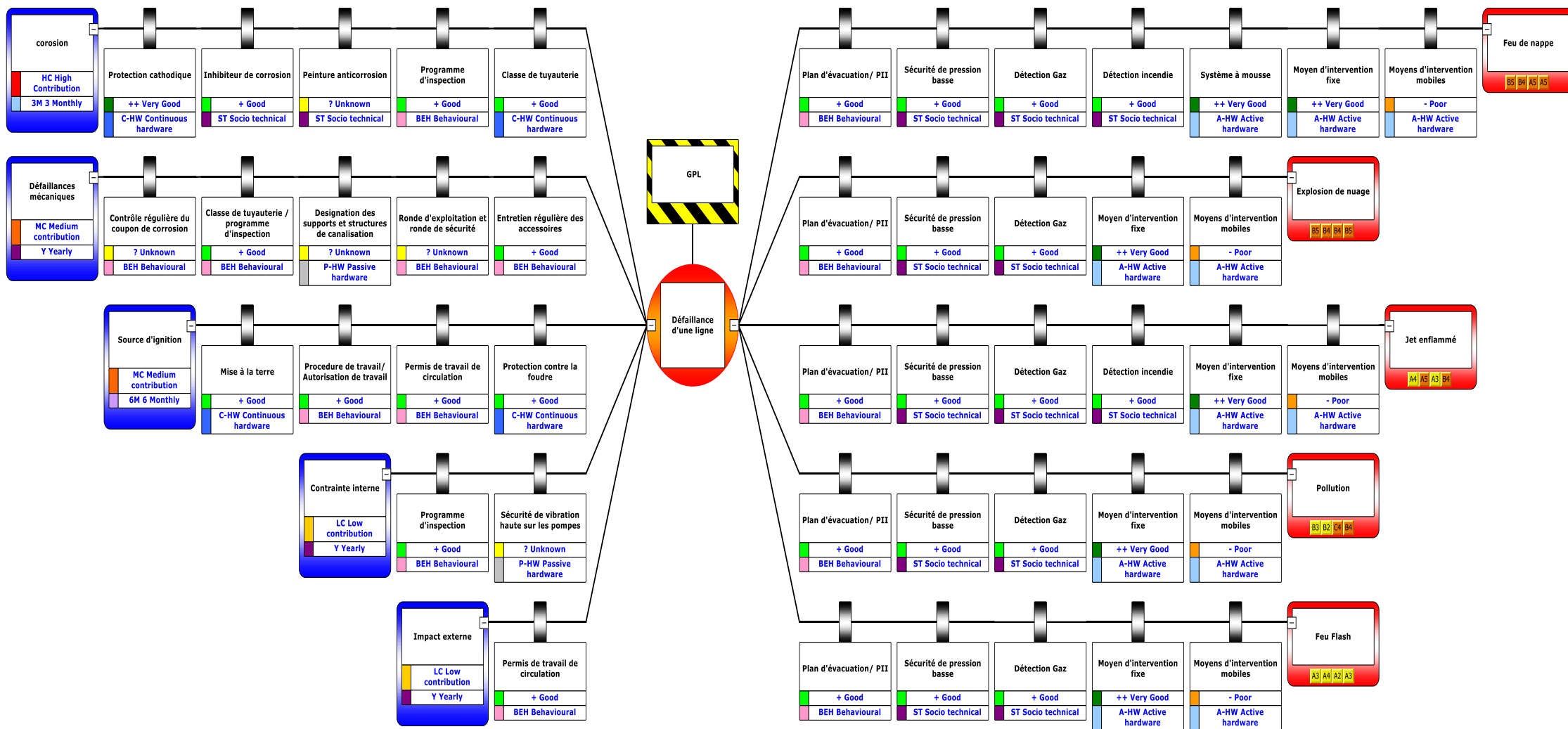


Figure 107 : implantation des barrières de sécurité sur le nœud papillon (scénario n°2).

## CHAPITRE III : MODELISATION DES SCENARIOS CATASTROPHIQUES D'UNE ETUDE DE CAS

**Tableau 26** : rapport sur les barrières établis pour le 2<sup>ème</sup> scénario.

Type de barrière	Active hardware	Behavioural	Continuous hardware	Passive hardware	Socio technical
<b>GPL</b>					
<b>Threats:</b>					
corrosion		<b>1</b>	<b>2</b>		<b>2</b>
Défaillances mécaniques		<b>4</b>		<b>1</b>	
Source d'ignition		<b>2</b>	<b>2</b>		
Contrainte interne		<b>1</b>		<b>1</b>	
Impact externe		<b>1</b>			
<b>Consequences:</b>					
Feu de nappe	<b>3</b>	<b>1</b>			<b>3</b>
Explosion de nuage	<b>2</b>	<b>1</b>			<b>2</b>
Jet enflammé	<b>2</b>	<b>1</b>			<b>3</b>
Pollution	<b>2</b>	<b>1</b>			<b>2</b>
Feu Flash	<b>2</b>	<b>1</b>			<b>2</b>

**Interprétation des résultats** : voir l'interprétation page 68 et le tableau n°17.

### **3.7 Conclusion :**

Par ce chapitre on a complété notre projet par l'application de notre étude de cas en réalisant les étapes importante d'une étude de danger sur deux zones faisant partie du site CPF EL Merk , et par l'utilisation du logiciel PHAST 8.23 on a établi une simulation des scénarios associés a ces deux cas d'étude, en mettant en évidence la différence de l'impact de chaque scénarios sur le site industriel et l'environnement avoisinant, ensuite on a présenté des interprétations des résultats obtenu par le logiciel en terminant par la proposition des barrières de sécurité nécessaires pour prévenir et de lutter contre ces scénarios sous forme des diagrammes de nœud papillon a l'aide du logiciel BOW TIE XP.

## **Conclusion générale :**

Presque partout dans le monde, nous entendons parler des accidents industriels, surtout dans le domaine des hydrocarbures. Il s'agit non seulement d'un problème grave, mais aussi d'une menace pour l'humanité les installations la réputation de l'entreprise et l'environnement, la solution pour ces derniers nécessite l'adoption des outils sécuritaires efficace et utile.

Au cours du temps la réglementation se dirigée de plus en plus vers les méthodes de protection contre les risques industriels jusqu'au jours ou l'outil étude de danger se développé, l'importance de l'étude de danger se trouve vers le regroupement d'une multitude de méthode d'analyses des risques pour mieux comprendre les évènements et/ou scénarios catastrophiques et établir les bonnes mesures de maitrise.

Le travail présenté par notre mémoire de fin d'étude se focalise sur l'application de la nouvelle réglementation algérienne relative à la mise en œuvre d'une étude de danger dans le domaine des hydrocarbures.

Ce travail nous a permis de voir d'un point de vue pratique les exigences d'une réalisation d'une étude de danger ainsi que d'appliqué les principaux points de cette étude sur un cas réel et de voir les risques associés a ces cas pratique, pour notre cas on a pris deux différents scénarios perte de confinement du condensat ainsi qu'une ligne de GPL afin de voir plusieurs conséquences pouvant survenir de voir aussi leurs causes et de proposer les barrières de prévention et d'intervention efficace en adéquation avec ce que nous avons appris au cours de notre formation ainsi que notre savoir-faire dans la matière.

## Bibliographie

- [1] « Hazard Studies ». <https://www.ehs.com/resources/ehs-library/hazard-studies/>
- [2] Groupe CEI Halfaoui, « NOUVELLE RÉGLEMENTATION HYDROCARBURES EN ALGÉRIE », 3 octobre 2021. <https://cei-halfaoui.com/actu/reglementation-hydrocarbure-igerie/#:~:text=Le%20risque%20environnemental%20est%20r%C3%A9gi,le%20cadre%20du%20d%C3%A9veloppement%20durable.>
- [3] « La réglementation algérienne », 20 janvier 2022.
- [4] « Etude de dangers.doc ».
- [5] JORA, « JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE N° 64 ». 22 août 2021.
- [6] INERIS, « REFERENTIEL\_OMEGA8\_final1-Formalisation du savoir et des outils dans le domaine des risques majeurs (DRA-76) ». 10 mars 2014. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.ineris.fr/sites/ineris.fr/files/contribution/Documents/referentiel-omega8-final1-couverture-1395914430.pdf>
- [7] « Approbation de l'étude de danger (EDD) ». l'aprobation de l'etude de danger
- [8] Groupe Sonatrach Direction Centrale Santé, Sécurité & Environnement, « Guideline etude de dangers & termes de ref ». juillet 2004.
- [9] F. Mehnan, « Etude des dangers d'un générateur de vapeur de la raffinerie d'Arzew », Mémoire de fin d'étude, Université d'Oran/ IMSI, 2014.
- [10] F. Serrat, « cours de sécurité de génie des procédés », 2022.
- [11] « 3- ETUDE DANGERS Briqueterie Lamour Roucourt.pdf ».
- [12] INERIS, « « L'étude de dangers » Notions de base et éléments de réglementation », 2011. [En ligne]. Disponible sur: <https://slideplayer.fr/slide/9488846/>
- [13] B. Touhar, « MODELISATION ET SIMULATION NUMERIQUE POUR LADISPERSION ATMOSPHERIQUE DE POLLUANTApplication des logiciels : ALOHA, PHAST », UNIVERSITE HADJ LAKHDAR - BATNA INSTITUT D'HYGIENE ET SECURITE INDUSTRIELLE, 2013.
- [14] « chapter01\_VF.docx ».
- [15] « Safety and Sustainability: A new standard of safety for onshore passive fire protection », 2012. <http://www.gasprocessingnews.com/columns/202012/safety-and-sustainability-a-new-standard-of-safety-for-onshore-passive-fire-protection.aspx> (consulté le 1 mai 2022).

- [16] technique de l'ingénieur, « Phénomènes dangereux dans les dépôts de liquides inflammables - Incendies et explosions ». 10 mai 2020. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/environnement-securite-th5/risques-d-explosion-42157210/phenomenes-dangereux-dans-les-depots-de-liquides-inflammables-se5086/feu-de-nappe-feu-de-bac-se5086niv10005.html>
- [17] « La référence du retour d'expérience sur accident technologique », *explosion d'une pied de torche*. <https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/accident/25619/> (consulté le 2 juin 2022).
- [18] « Explosion de GNL à Skikda », 21 janvier 2016. <https://www.vitamedz.com/fr/Skikda/evocation-il-y-a-202106-Photos-21-22-1.html>
- [19] G. Zwingelstein, *la maintenance basée sur la fiabilité*. 1996.
- [20] « Cours HAZOP cours 5[1610].pptx ».
- [21] Bennedjai Nouh et Douahi Oussama abd elghafour, « Etude et analyse des risques industriels (Etude de cas) », mémoire de fin d'étude, BADJI MOKHTAR- ANNABA UNIVERSITY UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR- ANNABA, 2019.
- [22] Med. F. DEBBAKH et I. BENATALLAH, « Identification des risques d'explosion sur le bac de stockage condensat off-spec de GTFT Application la méthode HAZOP », mémoire de fin d'étude, Université KasdiMerbah OUARGLA Institut de technologie, 2017.
- [23] A. Graine et S. Kerroum, « Identification et évaluation de la performance des EIPS », IMSI institut de maintenance et de sécurité industrielle, 2021.
- [24] DNV, « Etude De Danger - site EL Merk groupement Berkine Sonatrach - Anadarko ». 22 janvier 2021.



**ANNEXE (A) : Liste des installations relevant des activités d'hydrocarbures soumise à étude d'impact sur l'environnement et étude de dangers**

<b>INSTALLATIONS/ OUVRAGES RELEVANTES DES HYDROCARBURES</b>	<b>DESIGNATION DE L'ACTIVITE</b>
<b>Installations de Raffinage</b>	Raffinage de pétrole et de condensat
<b>Installations d'extraction et de traitement des hydrocarbures.</b>	Extraction, séparation, fractionnement, compression, collecte et desserte, stockage sur site et les moyens d'évacuation des hydrocarbures, y compris les activités de gestion et de soutien inhérentes à ces opérations, présentes sur le même périmètre d'exploitation
<b>Ouvrages de transport d'hydrocarbures par canalisation</b> (à l'exception des réseaux de collectes et de dessertes, des conduites d'évacuation, des réseaux des produits pétroliers et des réseaux de gaz desservant exclusivement le marché national).	Canalisation de transport hydrocarbures y compris les installations qui lui sont intégrées
	Station de compression ou de pompage interconnectée à deux ou plusieurs canalisations de transport d'hydrocarbures
	Terminal : installations de départ ou d'arrivée d'une ou de plusieurs canalisation(s), comprenant les installations de stockage d'hydrocarbures
	Chargement ou déchargement d'hydrocarbures au niveau des ports pétroliers et au large au moyen des bouées (SPM)
<b>Canalisation de transport de produits pétroliers.</b>	Transport de produits pétroliers par canalisations y compris les stations de pompage intégrées à la canalisation et les terminaux départs et arrivées
<b>Installations de stockage de carburants y</b>	Stockage : essences, naphtas, gasoil, kérosène

<b>compris les installations de chargement ou de déchargement associées à ces stockages (à l'exception des stations de services).</b>	(carburants d'aviation compris), fuel-oils, combustibles marins Lorsque la quantité totale susceptible d'être présente dans l'installation étant supérieure ou égale à 10 000 t
<b>Installations portuaires de chargement ou de déchargement de navire pétrolier.</b>	Chargement ou déchargement de produits pétroliers et de produits transformés
<b>Installations assurant les opérations de transformation des hydrocarbures.</b>	Liquéfaction du gaz naturel (GNL) y compris les stockages GNL associés aux installations de liquéfaction
	Séparation de GPL y compris les stockages GPL associés aux installations de séparation
	Pétrochimie et gazochimie utilisant les hydrocarbures comme matière première principale
<b>Installation de remplissage de Gaz inflammables liquéfiés.</b>	Remplissage de gaz inflammable liquéfié : La quantité susceptible d'être présente dans l'installation étant supérieure ou égale à 200 t
<b>Installation de stockage de Gaz inflammables liquéfiés y compris les installations de chargement ou de déchargement associées à ces stockages.</b>	Stockage de gaz inflammable liquéfié : La quantité susceptible d'être présente dans l'installation étant supérieure ou égale à 200 t
<b>Unités de fabrication, stockage ou de distribution de bitumes.</b>	Fabrication, stockage ou distribution de bitumes : La quantité susceptible d'être présente dans l'installation étant supérieure ou égale à 500 t

---

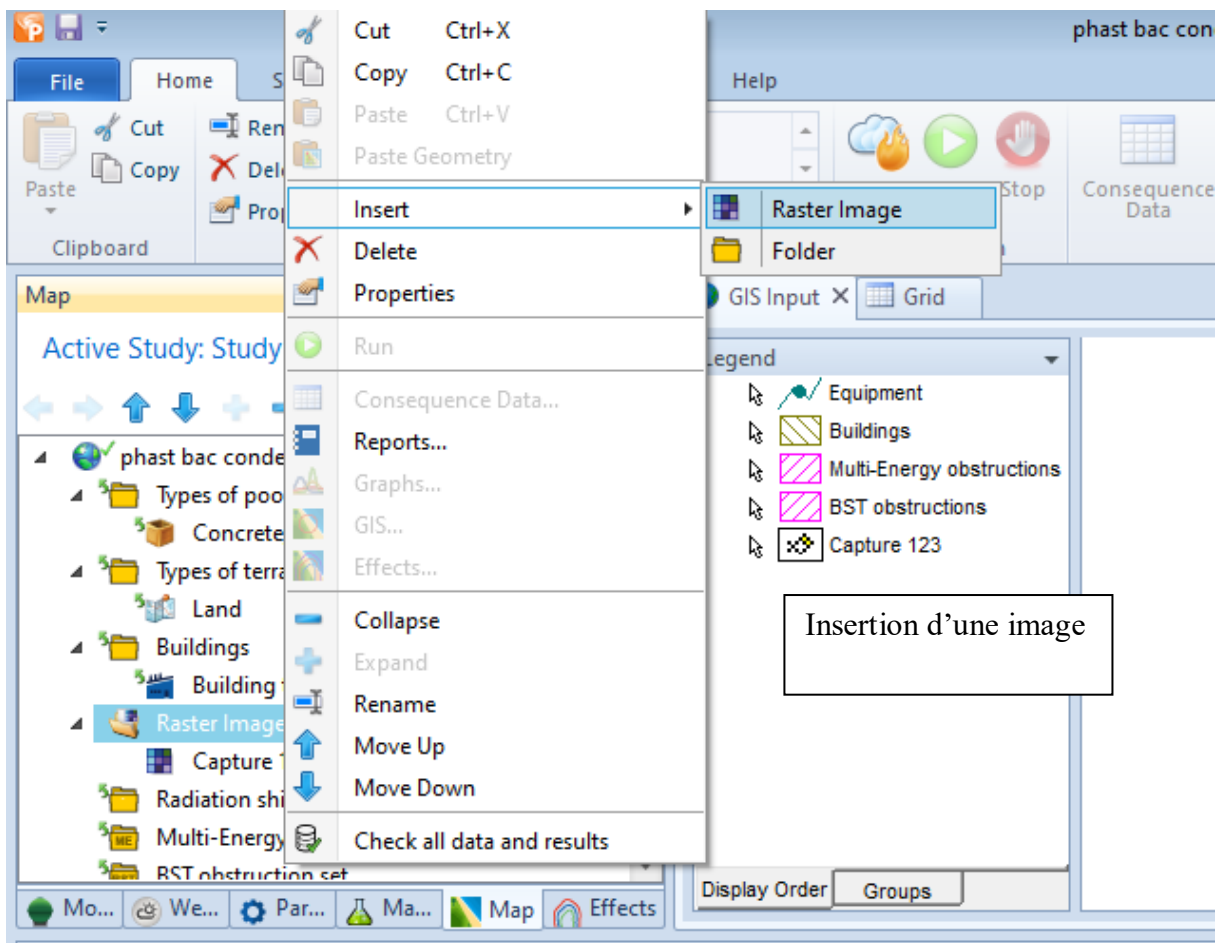
## ANNEXE (B) : Présentation du logiciel PHAST

PHAST est un logiciel qui a été développé et mis à jour par DNV software pour évaluer les conséquences des fuites de gaz, des incendies, des explosions, de la toxicité et des autres dangers technologiques reliés à diverses industries. PHAST est l'acronyme anglais de Process Hazard Analysis Software Tool (qui peut se traduire par Outil logiciel d'analyse de risques de procédé). C'est un outil complet d'analyse des risques d'une installation industrielle. PHAST simule l'évolution d'un rejet accidentel d'un produit toxique et/ou inflammable, depuis la fuite initiale jusqu'à la dispersion atmosphérique en champ lointain, incluant la modélisation de l'épandage et de l'évaporation de flaque. PHAST est capable de modéliser les scénarios de rejets à partir des divers termes sources (fuite sur la paroi d'un réservoir, rupture d'une canalisation, ...) qui sont ensuite combinés avec le modèle de dispersion de PHAST de type intégral, appelé Unified Dispersion Model (UDM), pour obtenir par exemple : les distances de sécurité correspondant aux seuils toxiques et l'empreinte du nuage au Sol à un instant donné. La nouvelle version de l'UDM a été mise au point dans laquelle il est possible de calculer un profil uniforme de concentration intégrant les différentes phases de la dispersion. Ce nouveau modèle prend en compte les phénomènes d'évaporation, de formation de flaque, d'élévation du nuage et de dispersion variable au cours du temps. UDM est capable de traiter un grand nombre de produits, qu'ils soient toxiques et/ou inflammables, légers, lourds ou neutres. Il traite les rejets liquides, gazeux ou diphasiques. Pour les rejets diphasiques, il modélise la formation et l'évaporation de flaque.

### **Modélisation :**

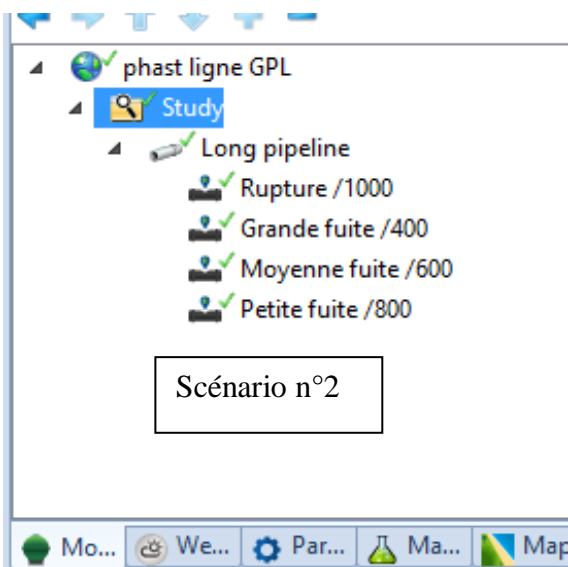
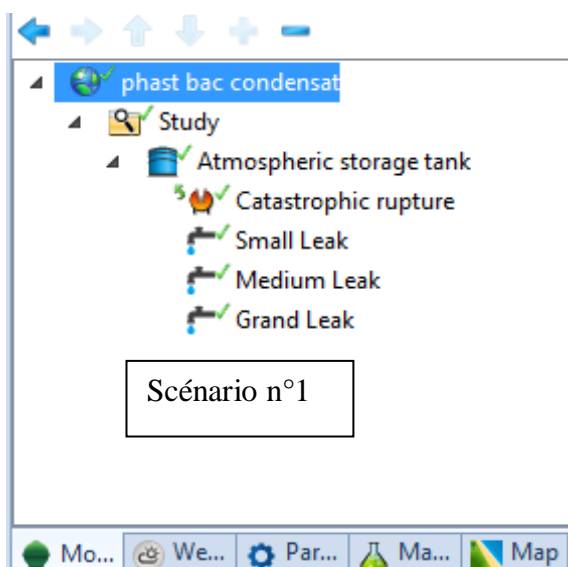
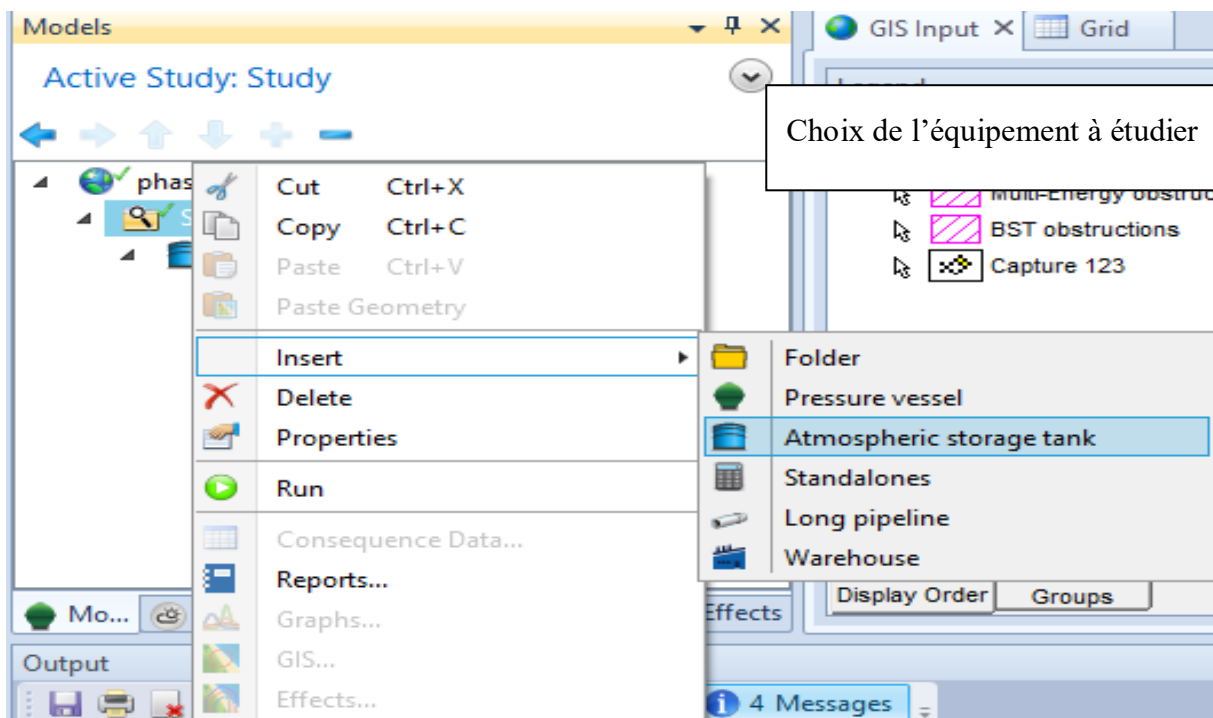
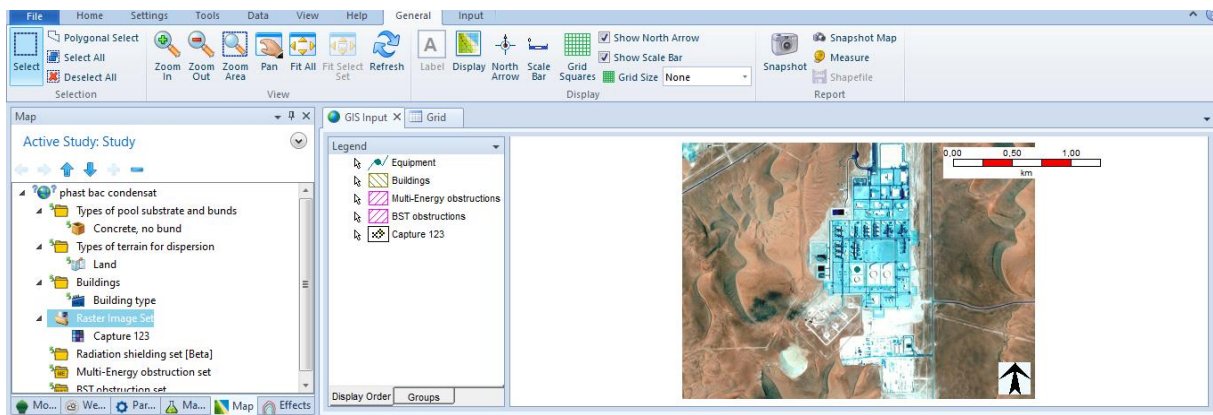
PHAST peut modéliser les phénomènes suivants :

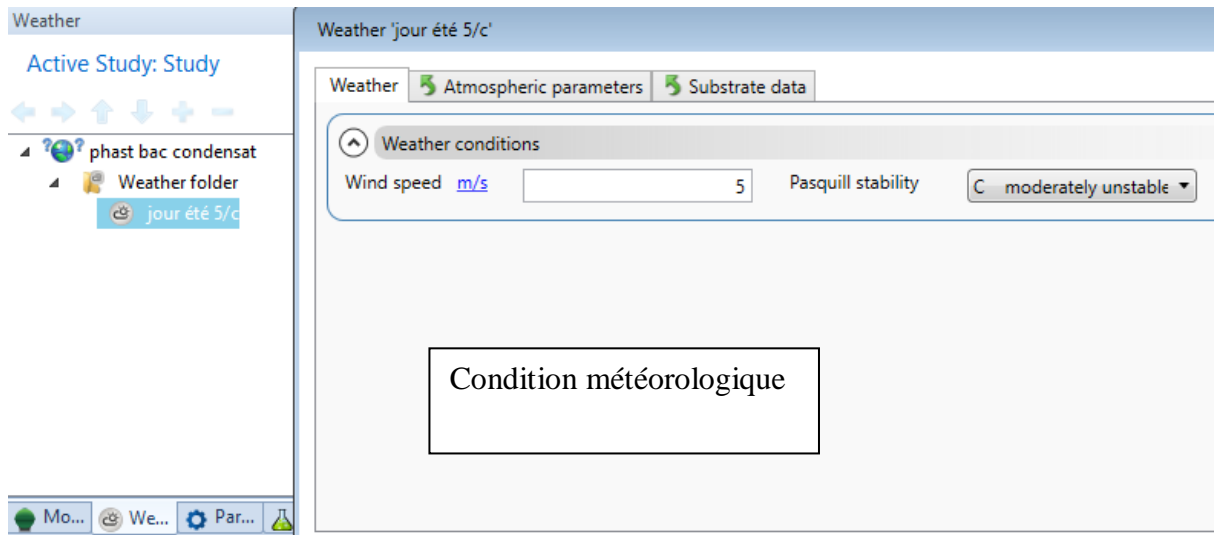
- Feu chalumeau (jet fire) ;
- Feu de flaque (nappe) ;
- Feu nuage (feu flash) ;
- Boule de feu (BLEVE) ;
- Modélisation des Explosions ;
- Modélisation des Effets Toxiques (Distance à la concentration toxique /Distance à la Dose toxique).



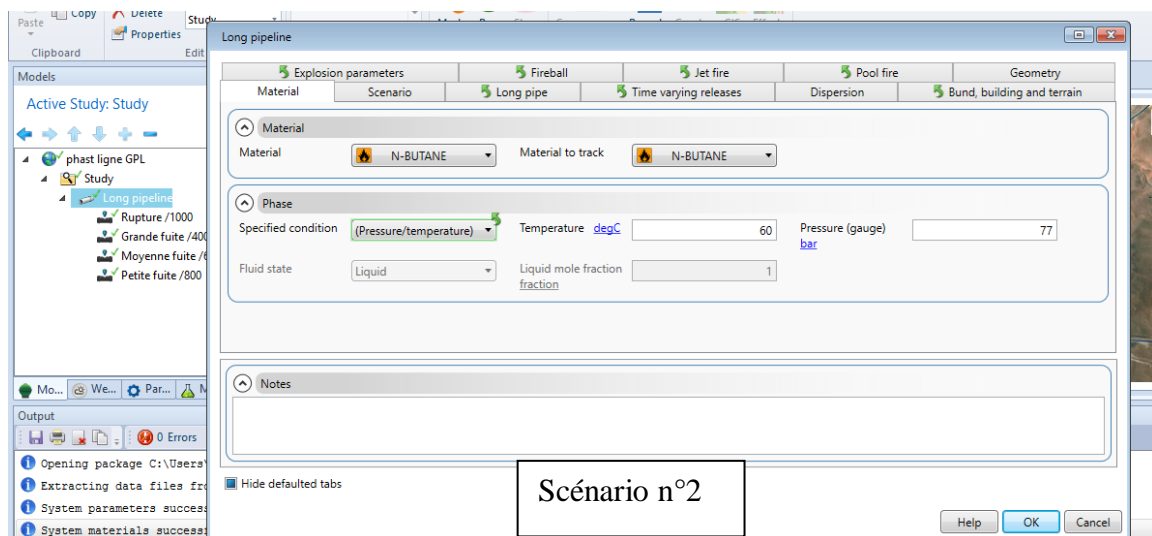
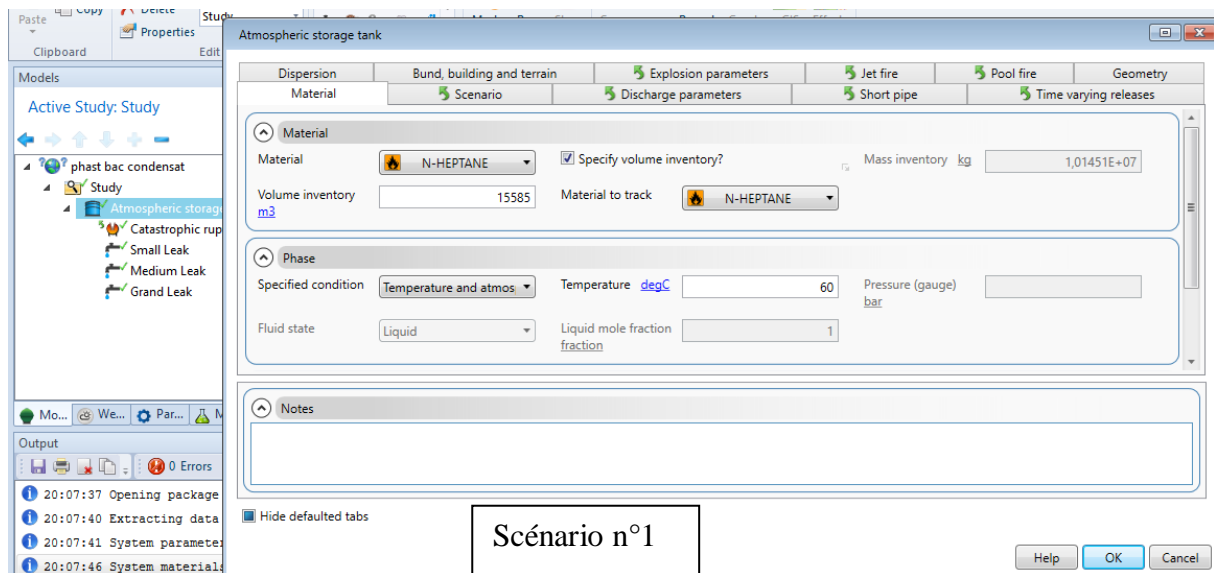
Insert Raster Image

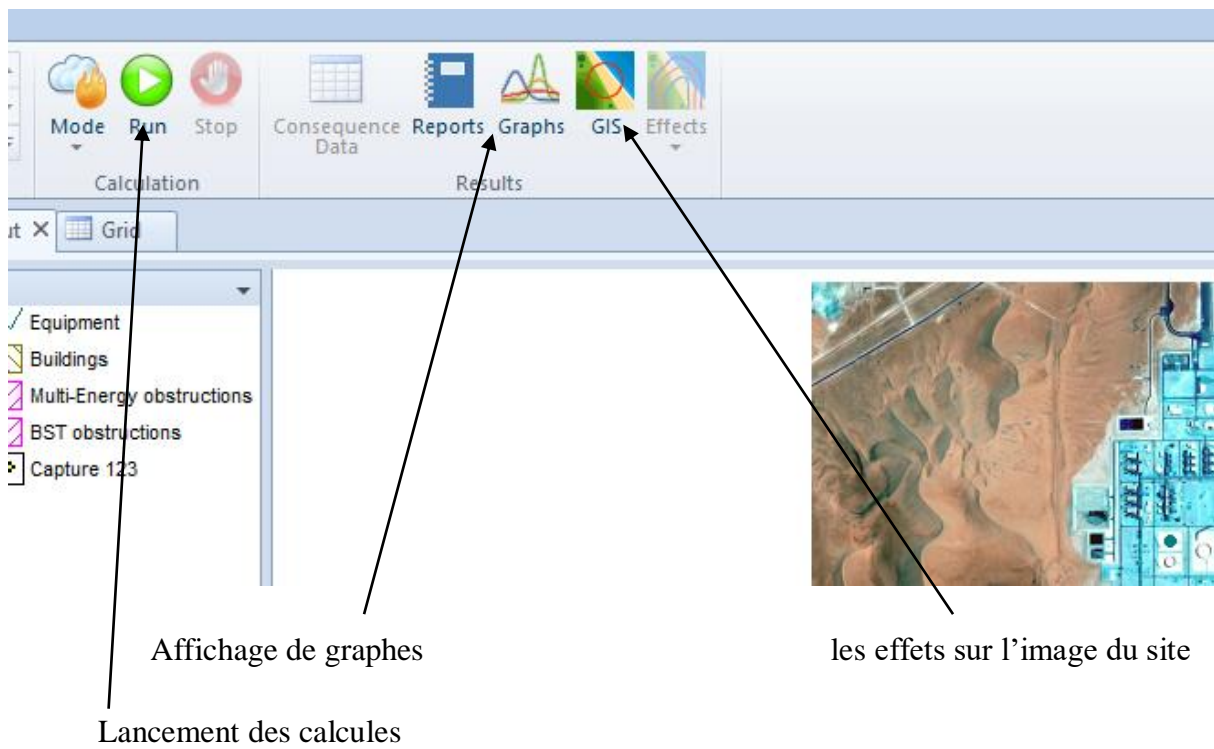
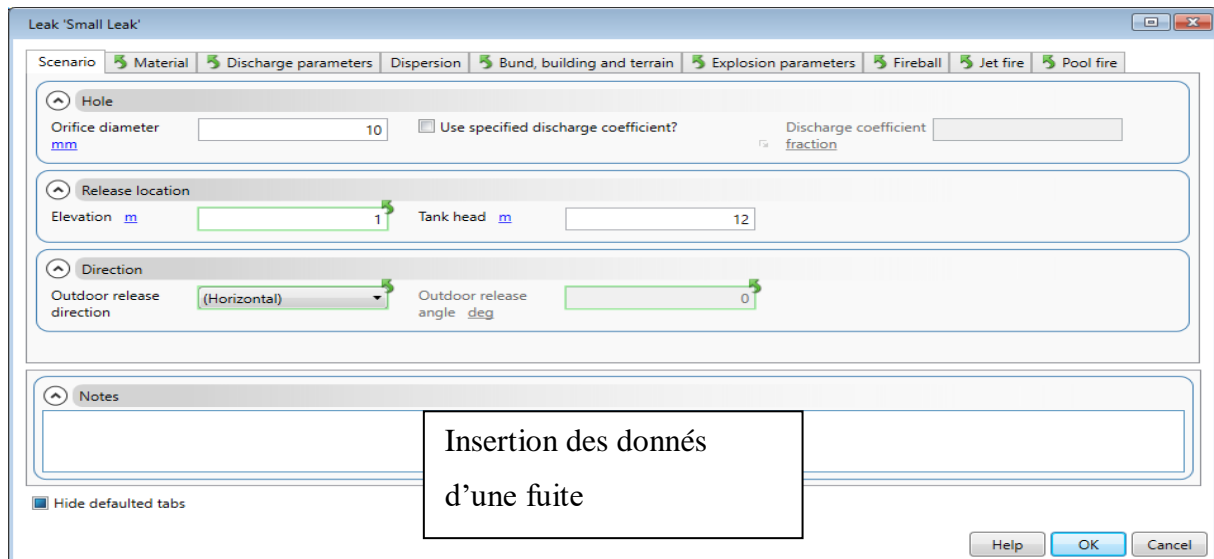






### Insertion des données des scénarios :





## ANNEXE (C) : Présentation du logiciel BOW TIE XP

BowTieXP est le logiciel d'évaluation des risques le plus utilisé, cet outil est basé sur la méthode nœud papillon. Il vous permet de créer facilement des diagrammes nœud papillon pour évaluer le risque. BowTieXP est unique dans sa capacité à visualiser des risques complexes de manière compréhensible, mais permet également d'élaborer des plans d'amélioration détaillés basés sur les risques.

Un diagramme nœud papillon permet de visualiser le risque, auquel vous faites face, dans un seul schéma compréhensible. Le diagramme a la forme d'un nœud papillon et crée une distinction claire entre les aspects proactifs et réactifs de la gestion des risques. Dans BowTieXP, le diagramme nœud papillon vous donne un aperçu de plusieurs scénarios d'incidents plausibles et indique quelles barrières vous avez mis en place pour contrôler ces scénarios. Le logiciel BowTieXP est développé pour l'utilisateur final, ce qui en fait l'un des outils d'évaluation des risques les plus simples à utiliser. Il est facile de créer un diagramme dans BowTieXP, mais le logiciel vous permet également d'actualiser le diagramme pour qu'il reflète toujours l'état actuel de vos barrières de sécurité.

