

**RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**



**UNIVERSITE ABDERRAHMANE MIRA BEJAIA
FACULTÉ DE TECHNOLOGIE
DÉPARTEMENT DE GÉNIE MÉCANIQUE**

MEMOIRE
PRÉSENTÉ POUR L'OBTENTION DU DIPLÔME DE
MASTER
FILIÈRE : GÉNIE MÉCANIQUE
SPÉCIALITÉ : CONSTRUCTION MÉCANIQUE
PAR :

SID NABILA

Thème

Modélisation et simulation d'accidents industriels majeurs.
Contribution a l'analyse de risque dans l'industrie pétrochimique
« terminal marin de Bejaia »

Soutenu le 04/07/2019 devant le jury composé de:

Mr. Bensaïd

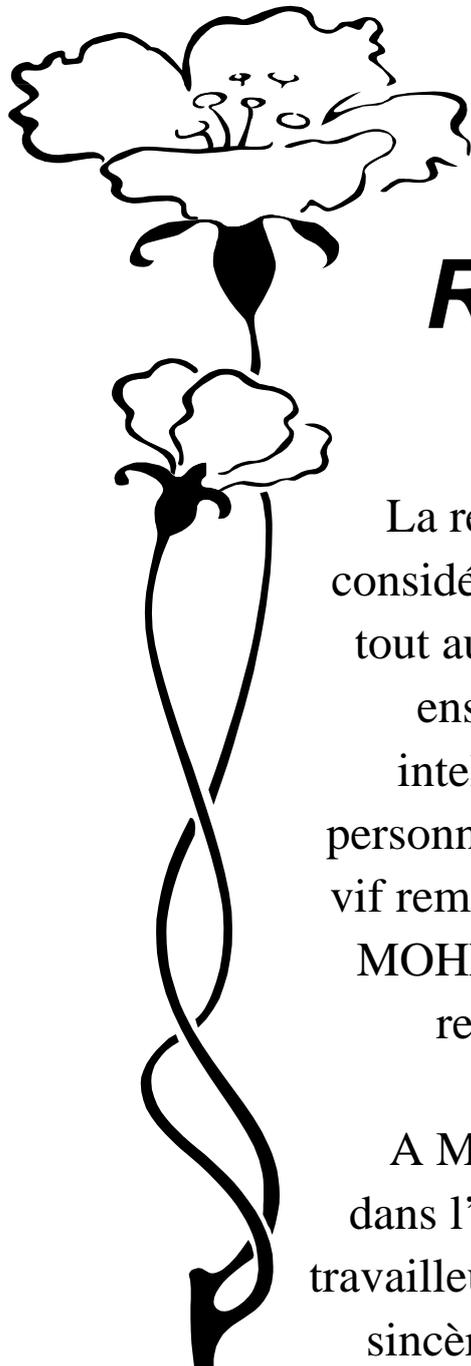
President

Melle. Himed

Examinatrice

Encadré par : Mr. Sahali mohend akli

ANNÉE UNIVERSITAIRE 2018-2019



Remerciement

La réalisation de ce travail ne s'aurait être considéré comme le fruit d'un effort individuel, tout au contraire ce travail est le résultat d'un ensemble conjugué d'apport humain et intellectuel. Je tiens a remercié toutes les personnes qui mon apportés leurs soutiens. Mon vif remerciement à monpromoteur Mr SAHALI MOHEND AKLI qui a bien voulu prendre la responsabilité de diriger mon travail.

A Mr GUEROUT à son aide.

A MrCHELOUAH DJAMELmon encadreur dans l'entreprise SONATRACH et a tous les travailleurs de service. Pour cela j'assure de mon sincère gratitude et respect le plus profond.



Dédicace

*Je dédie ce modeste travail :
A mes très chers parents,*

A mes amies : SABRINA et SORAYA.

A mes camarades de classe M2 CM.

A mes collègues de l'association RAQ.

*A mes copines de chambre (C 302) : YOUSRA
HADJAR*

*A toutes personnes qui m'ont aidé à réaliser ce
travail*

Sommaire

Remerciement

Dédicace

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction

Chapitre 1. Présentation de l'entreprise

I.	Introduction	1
II.	Présentation de DRGB	1
	a) Terminal Nord	3
	b) Terminal sud	4
III.	Description des différents services de la DRGB	7
IV.	Description de la ligne OB1 24''/22''	8

Chapitre 2. Accidents industriels majeurs

I-	La définition des concepts clé	11
	a) Le risque	11
	b) Facteurs de risques	11
	c) Accident industriel majeur	
II-	Caractéristiques	12
III-	Données et informations de base	12
	a) Données de l'eau	12
IV-	Les feux de nappe	13
	a) Définition.....	13
	b) Rappel.....	13
V-	Énergie d'inflammation.....	14
VI-	Modélisation des effets thermiques radiatifs de feu de nappe.....	15
VII-	Paramètre de calcul	15
VIII-	Corrélations des différents modèles	15
	a) Diamètre équivalent	15
	b) Hauteur de flamme	16
	c) Angle d'inclinaison de la flamme.....	17
	d) Facteur de vue	18

e)	Facteur de vue plan vertical	18
f)	Facteur de vue d'un plan incliné	19
IX-	Transmissivité atmosphérique	19
X-	Environnement	20
a)	Effets mécaniques.....	20
b)	Effets thermiques.....	20

Chapitre 3. Etude de cas d'incendie

I-	Introduction	21
II-	Identification du site.....	22
III-	Données et paramètres d'étude	22
IV-	Scénario d'étude.....	30
V-	Logiciel CAMEO-ALOHA.....	31
a)	Présentation	31
b)	Ce que fait ALOHA.....	31
c)	Méthodologie de simulation avec ALOHA.....	32
VI-	Simulation d'accident	34
VII-	Résultats et discussion.....	34
J	Cas N°1: Feu de nappe du bac R13.....	34
J	Cas N°2: Feu de bac 4E2.....	38
VIII-	Conclusion.....	40

Conclusion générale

Référence bibliographique.

Introduction generale

Introduction

Le pétrole ou l'or noir est l'une des matières premières la plus recherchée actuellement dans le monde entier, vu son importance dans le développement économique énergétique et technologique en général.

Dans le cadre de ses activités relativement au risque d'accident industriel majeur, on doit notamment déterminer des périmètres de sécurité autour de Terminal Marin de Bejaia (TMB). Suite à une perte de produit stocké, les risques encourus peuvent être instantanés, tels que l'incendie et l'explosion de produit hautement inflammable.

L'étude résultante d'un incendie présente un intérêt majeur pour deux raisons. D'une part, le pétrole est stocké en très grande quantité (4 bacs de 50 000 m³ chacun au terminal sud et 12 bacs de 35000 m³). D'autre part, le pétrole est inflammable et explosif dans certaines conditions. Pour mémoire, Le 16.02.2016 à 08h10, la foudre s'est abattue au voisinage du parc de stockage sud du Terminal Marin de Bejaia, provoquant un début d'incendie au niveau du joint annulaire du bac R13. Des flammes, d'une hauteur dépassant le mètre, sont par la suite apparues sur plusieurs endroits du joint annulaire ; le nombre de foyers identifiés est de cinq, L'intervention a été immédiatement déclenchée. Le début d'incendie a été totalement maîtrisé au bout de vingt-cinq minutes de lutte.

Les principaux objectifs de ce mémoire sont :

-) Analyser les risques présentés par les produits inflammables (pétrole) a TM Bejaia ;
-) Compléter les connaissances sur la dispersion atmosphérique du pétrole;
-) Faire des simulations d'accident avec le codes de calcul (ALOHA) suivant des scénarii bien précis et de comparer les résultats obtenus avec des modèles de dispersion atmosphérique.

Pour cela, un stage pratique a été réalisé chez SONATRACH ce qui ma permît la collecte des données nécessaires aux simulations.

Le présent rapport est organisé de la manière suivante. Présentation de l'entreprise au chapitre 1. Ensuite, une Analyse de Risques Industriels, un rappel sur les incendies et les feux de nappe en général et sur le pétrole en particulier au chapitre 2. Enfin, une étude de cas et des scenarii sont décrits dans le chapitre 3.

I- Introduction

La Société Nationale de Transport et de la Commercialisation des Hydrocarbures 'SONATRACH', créé le 31/12/1963 par le décret N°63/491 pour assurer le transport et la commercialisation des hydrocarbures, s'est vue élargir ses compétences en 1966, quand les statuts ont été changés par le décret N°66/292 du 22/09/1966, à partir de cette date, la SONATRACH intervient également dans l'exploration, production ainsi que la transformation des hydrocarbures.

C'est pour cela qu'elle est la plus importante compagnie des hydrocarbures en Algérie ainsi qu'en Afrique. Puisqu'elle intervient dans l'exploration, la production, le transport, la transformation et commercialisation des hydrocarbures et de leurs dérivés, et cela joue un rôle très important dans l'économie du pays puisque les exportations de l'Algérie se concentrent en majorité sur cette richesse naturelle.

Elle est classée 1^{ère} compagnie en Afrique et 12^{ème} à l'échelle internationale

II-Présentation de DRGB

Le terminal marin de Bejaia est une zone de stockage d'hydrocarbures liquides, il contient deux demi zones, le nord et le sud; Elle est située au nord de Bejaia (arrière port) et à l'entrée de la ville sur la zone industrielle.

La direction régionale de Bejaïa est une direction parmi les 7 directions opérationnelles composant l'activité de transport par canalisation avec les régions d'ARZEW, SKIKDA, HAOUD ELHAMRA, GPDF, et GME ces deux derniers sont 2 gazoducs traversant l'Italie et l'Espagne.



Figure 1.1 : Vue de l'entrée de DRGB.

Le site renferme seize bacs métalliques de forme cylindrique de capacité variable de 35000 à 50000 m³. Ces bacs ont été construits en 1957.

Leur structure est composée d'un assemblage de viroles métalliques d'épaisseurs variables de 8 à 32 mm soudées sur une fondation souple en tôles métalliques de 12 mm d'épaisseur. Le diamètre des bacs varie de 56 à 68 m et leur hauteur est de 16 m. A l'intérieur coulis un toit flottant en acier d'un poids propre avoisinant 430 tonnes. Les bacs reposent sur un sol reconstitué en surface par un TVO compacté en forme de galette de 2 à 3 m d'épaisseur surélevée par rapport au terrain naturel [1].

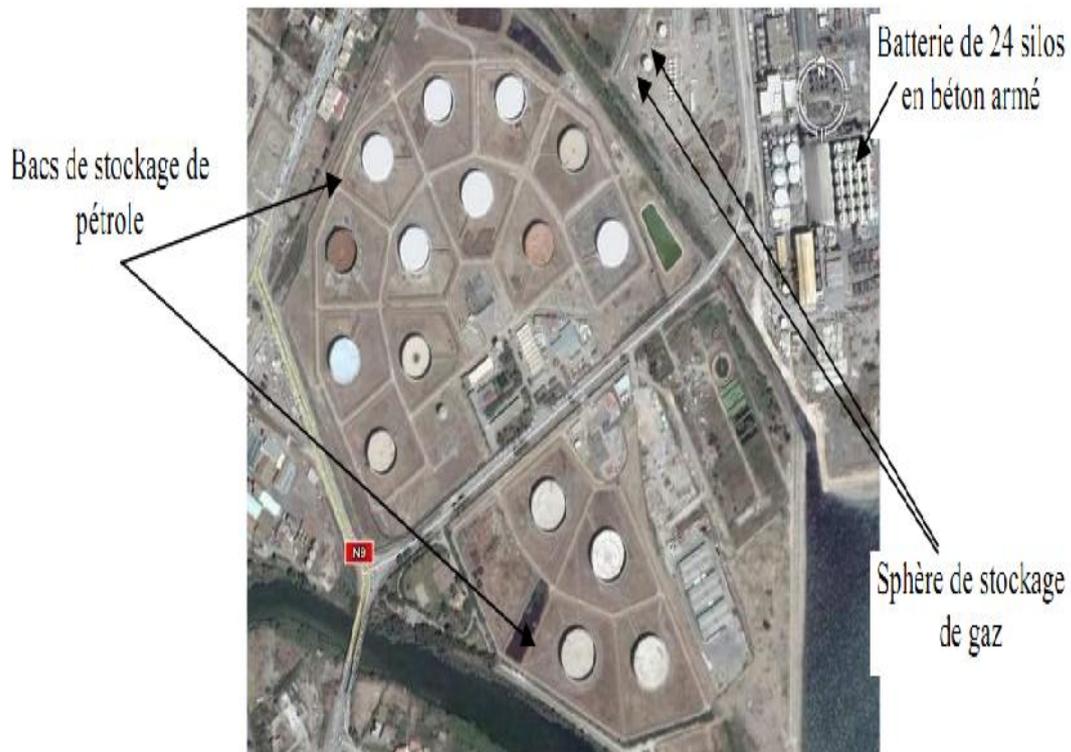


Figure 1.2 : Le Terminal Marin de Bejaia Nord et Sud.

a) Terminal Nord

➤ Parc de stockage

Il contient 12 bacs à toit flottant de capacité volumique de 35000 m³, chaque bac contient une vanne, deux agitateurs, un jaugeur (transmetteur de niveau et de température), en plus de ça des bouteilles de halon pour étouffer le feu en cas d'incendie. Un bac 4Y1 à toit fixe de capacité de 2900 m³ utilisé pour emmagasiner le brut et le condensat en cas de surpression et lors de nettoyage des bacs.



Figure 1.3 : Le terminal nord.

➤ **Manifold**

C'est un ensemble de canalisations, de vannes et de pompes de chargement utilisés pour réceptionner les hydrocarbures venant du Sahara et stockage.

Il contient sept pompes, six vannes chacune d'elle alimente deux bacs et d'autres vannes.



Figure 1.4 : Manifold à DRGB.

➤ **Tour de contrôle**

C'est une salle dans laquelle on trouve les tables de commande pour le terminal nord et sud pour commander l'ouverture des vannes et la sélection du bac, la pompe et le chemin de circulation du fluide, en plus de ça la tour a une hauteur importante permettant de visualiser l'état des vannes et des bacs.



Figure 1.5 : Tour de contrôle.

b) Terminal sud

➤ **Parc de stockage**

Il contient 4 bacs à toit flottant de capacité volumique de 50 000 m³, chaque bac contient une vanne, deux agitateurs, un jaugeur (transmetteur de niveau et de température), en plus de ça des bouteilles de halon pour étouffer le feu en cas d'incendie.



Figure 1.6 : Terminal sud.

➤ **Salle électrique**

Elle est divisée en trois chambres, haute tension, moyenne et basse tension.

On trouve dans la chambre de haute tension, les deux arrivées de sonal gaz sont connectées à deux disjoncteurs principaux redondants, un disjoncteur en amont et en aval de chaque transformateur de tension 30kv/5.5kv.

Dans la chambre de moyenne tension, on trouve deux transformateurs 5.5kv/380v redondant, un transformateur 380v/380v pour extraire le neutre du secondaire, un disjoncteur en amont et en aval de chaque transformateur et des petits disjoncteurs pour l'alimentation des moteurs et des pompes.

Dans la chambre de basse tension, on trouve des batteries rechargeables, des redresseurs de tension, des chargeurs de batterie et des armoires contenant les automates Allen Bradley et Siemens S7 300, S7 400 et un ordinateur pour la supervision des installations qui sont connectées directement avec l'automate

S7 400 par un câble Ethernet. Dans ces chambres on trouve des capteurs de fumée et des bouteilles de Halon pour la sécurité de la salle électrique.

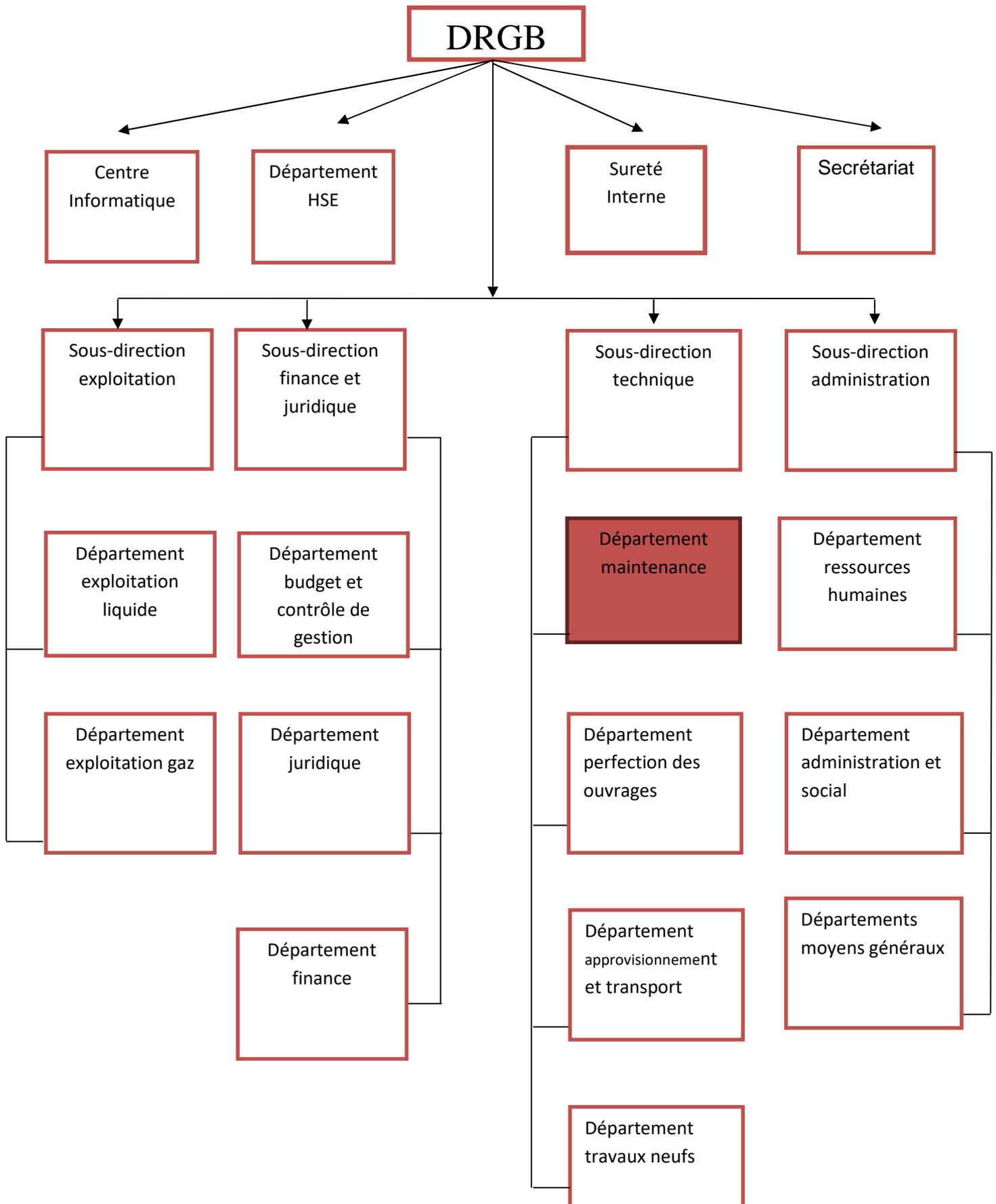


Figure 1.7 : Salle électrique.

➤ **Manifold**

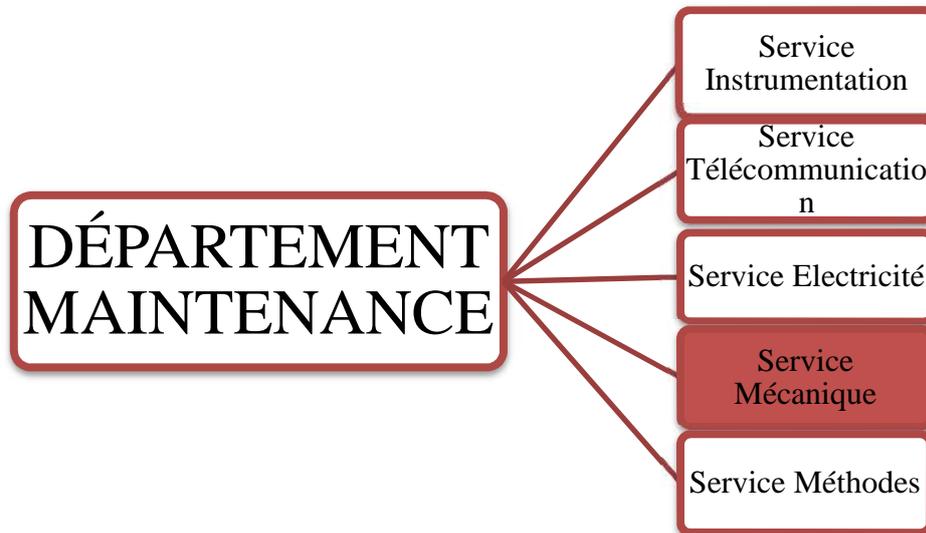
Il contient un ensemble de canalisations, pompes, moteurs, électrovannes, la conduite d'étalonnage. ces pompes aspirent le pétrole ou bien le condensat ensuite le refoulent vers les postes de chargement qui se trouvent au port.

III- Description des différents services de la DRGB



a) Département maintenance :

Le département maintenance est chargé de l'entretien des lignes (OB1, DOG1 et GG1) et s'occupe de toutes les opérations de maintenance. Sa structure est représentée sur la figure.

**➤ Service mécanique**

Ce service s'occupe essentiellement de la maintenance des parties mécaniques des équipements principaux des stations.

IV- Description de la ligne OB1 24''/22'' :

L'oléoduc OB1 fut le premier pipeline réalisé en ALGERIE par la société pétrolière de gérance SOPEG, il a été mis en service en 1959 avec une longueur de 660,72 Km reliant le centre de stockage HAUD EL HAMRA avec le terminal marin de BEJAIA.

Oléoducs	OB1 (24''et 22'')	OG1 (20'')
Départ de	Haoud-El-Hamra	Béni-Mansour
Arrivée à	Bejaia	Sidi-Arcine
Diamètre (pouce)	24''sur 533Km et 22''sur 135Km	20''
Longueur (Km)	668	145
Nombre de stations	7	1
Nombre de machines	34	7
Capacité (MTA)	15	8
Mise en service	1959	2005(1971pour l'ex16'')

Au départ (au PK 0) de L'oléoduc OB1, l'altitude est de 150 m, OB1 commence par décroître pour atteindre 45 m d'altitude au PK 320 Km, ensuite il s'étend progressivement pour se hisser au point le plus culminant de la ligne appelé point de contrôle qui est caractérisé par une hauteur de 1033 m au PK 533 Km et situé sur le col de SELATNA c'est à partir de ce point qu'il décroît une deuxième fois pour atteindre le niveau le plus bas TM BEJAIA.

Le diamètre du pipeline varie sur deux tronçons à savoir :

- Le premier tronçon : de HEH au col SELATNA, le pipeline est de 24'' de diamètre.
- Le deuxième tronçon ; du col SELATNA au TM BEJAIA, le pipeline est de 22'' de diamètre.

L'épaisseur du pipeline est télescopique, c'est à dire le calcul de l'épaisseur nominale des différentes sections tient compte des pertes de charge, donc cette dernière varie entre 6,32 mm et 9,5 mm suivant les conditions des pression sur la ligne, à la sortie des stations l'épaisseur égale à 12,7 mm, la nuance d'acier des tube est le X52– X42.

Par ailleurs, la ligne OB1 est constituée de huit stations de pompage dont quatre stations principales, à savoir : SP1 bis Djamaa, SP2 Biskra, SP3 Msila, TM BEJAIA et quatre stations intermédiaires ou satellite : SPA, SPB, SPC et SPD.

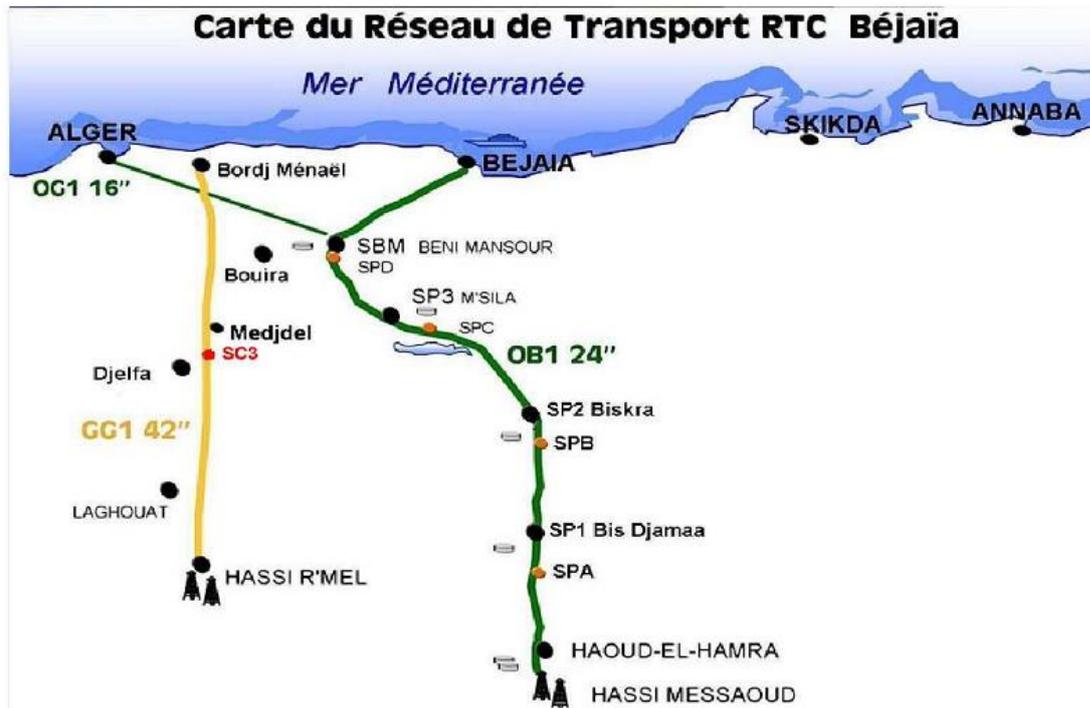


Figure 1.8 : carte de transport région centre.

Il existe un piquage sur la ligne à BENI MANSOUR au PK 573.

Cet oléoduc transporte le pétrole brut vers la raffinerie d'ALGER avec un pipe –line de 16'' de diamètre sur une longueur de 131 Km, mise en service année 1970, la ligne est constituée d'une station départ équipée par deux GEP et une station arrivée TRA.

I. Introduction

Le risque industriel est défini comme un évènement accidentel se produisant sur un site industriel mettant en jeu des produits et/ou des procédés dangereux et entraînant des conséquences immédiates graves pour le personnel, les riverains, les biens et l'environnement. Afin d'en limiter la survenue et les conséquences, les établissements les plus dangereux sont soumis à une réglementation particulière (classement des installations) et à des contrôles réguliers

II. La définition des concepts clé :

a) Le risque :

On peut définir le risque comme la mesure du danger par deux paramètres : la probabilité P et la gravité G . Pour la fréquence F de l'enchaînement des événements qui le constituent, la gravité G de l'impact du danger (de l'ENS cible) sur une cible [2].

« Le terme **danger** désigne une situation matérielle comportant un potentiel d'atteinte à l'intégrité physique des personnes, des dommages pour les biens ou l'environnement ou d'une combinaison de ces atteintes. »

b) Facteurs de risques :

Les facteurs de risques est tout type d'évènement ou de situation susceptible d'amplifier un indicateur de risque (augmentation de sa probabilité et/ou de sa gravité) ; un tel facteur ne peut constituer une condition nécessaire et suffisante à l'apparition d'un ENS [3].

c) Accident industriel majeur :

À côté des risques naturels comme les tremblements de terre, les éruptions volcaniques, les raz de marée, les cyclones et les tempêtes, il existe des risques technologiques, par exemple les risques nucléaires, ceux dus aux barrages, à la circulation routière et notamment les risques industriels qui existent dans un grand nombre d'usines et de dépôts divers.

Le Bureau international du travail (BIT) donne les définitions suivantes :

« L'expression **accident industriel majeur** désigne un évènement inattendu et soudain, y compris en particulier une émission, un incendie ou une explosion de caractère majeur, dû à un développement anormal dans le déroulement d'une activité industrielle, entraînant un danger grave, immédiat ou différé, pour les travailleurs, la population ou l'environnement à

l'intérieur ou à l'extérieur de l'installation et mettant en jeu un ou plusieurs produits dangereux. »

Les risques industriels, du moins ceux qui sont à l'origine d'accidents majeurs appelés également **catastrophes industrielles** sont essentiellement des risques chimiques et ont pour origine des produits et des processus chimiques [4].

III. Caractéristiques

Les accidents industriels sont :

- soit des incendies éventuellement précédés ou suivis d'explosions,
- soit des explosions éventuellement précédées ou suivies d'incendies,
- soit la formation et la libération dans la nature de substances nocives ou toxiques,
- soit encore les deux ou trois à la fois.

Le plus souvent, ces accidents majeurs correspondent à des émanations de produits toxiques à la suite d'explosions [4].

IV. Données et informations de base

a) Données de l'eau

Densité: 1025 kg/m³

Viscosité: 1.2 CP = 0.0012 Pa s

Codes et Standards des tuyauteries Les données de tuyau suivantes ont été utilisées à des fins d'étude hydraulique, selon la classe de tuyauterie utilisée pour le réseau d'eau d'incendie et pour les lignes de pré mélange.

Classe de tuyauterie réseau d'eau d'incendie: A13

Tableau 2.1 : Données des tuyaux classe A13.

Diamètre Nominal (mm)	101.6	152.4	203.2	254	304.8	355.6
Diamètre Extérieur (mm)	114.30	168.28	219.08	273.05	323.85	355,6
Epaisseur (mm))	6,01	7,11	7,04	7,8	8,38	7,92
Diamètre Intérieur (mm))	102,26	154,06	205	257,45	307,09	339,76
Matériel	Acier au Carbone API5L Grade B					
Rugosité (mm)	0,04572					

Classe de tuyauterie réseau de pré-mélange: A30

Tableau 2.2 : Données des tuyaux classe A30.

Diamètre Nominal (mm)	76.2	101.6	152.4	203.2
Diamètre Extérieur (mm)	86,4	106,4	156,4	208,2
Epaisseur (mm))	3,02	3,02	3,02	4,01
Diamètre Intérieur (mm))	80	100	150	200
Matériel	Fibre de verre			
Rugosité (mm)	0,002			

Les longueurs des segments des tuyauteries du réseau ont été calculées sur la base du dessin des plans d'implantation d'appareillages et du P&ID pour les réseaux d'eau et de mousse, et augmenté de 20% en marge [5].

V. Les feux de nappe

a) Définition

Le terme « feu de nappe », décrit un incendie résultant de la combustion d'une nappe de combustible liquide. Ce phénomène implique principalement la surface de la nappe en contact avec l'air [6].

On peut distinguer parmi les feux de nappe :

- Les feux de réservoir ;
- Les feux de flaque libre ;
- Les feux de cuvette (de rétention) : l'extension de la nappe peut être limitée par une cuvette de rétention dont le dimensionnement est imposé notamment par les exigences réglementaires applicables au stockage.

) Rappel

Pour qu'un produit brûle, il faut qu'il émette des vapeurs inflammables. Donc pour le pétrole, les vapeurs inflammables sont émises par évaporation de la phase liquide.

La combustion a ainsi lieu en phase gazeuse dans la zone qualifiée de « flamme ». Une partie de l'énergie libérée par l'exo thermicité de la réaction de combustion est cédée

(rétrocession d'énergie) au combustible, entretenant ainsi l'émission de gaz inflammables. Le feu de nappe est alors un phénomène de combustion auto-entretenu [8].

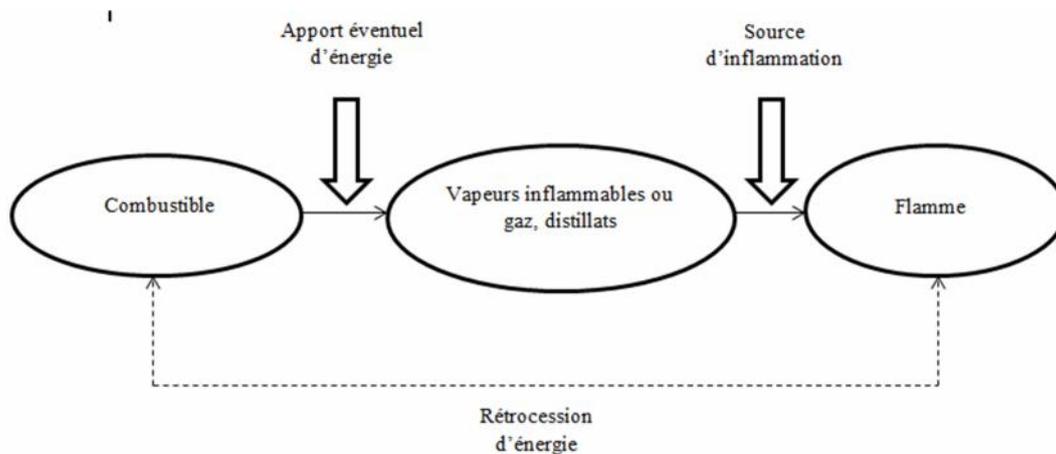


Figure 2.1 : Représentation schématique de processus de feu de nappe [8].

Le combustible émet une certaine quantité de vapeurs à une température donnée. Cette émission de vapeurs conduit à la formation d'une zone riche en combustible au-dessus de la nappe. Au fur et à mesure de son élévation, le combustible entraîne de l'air froid extérieur.

Lorsque le mélange air-combustible se trouve dans le **domaine d'inflammabilité** et en présence d'une **source d'inflammation**, il s'enflamme. Les gaz brûlés sont ensuite évacués vers le haut tout en continuant à entraîner l'air ambiant. L'essentiel de l'air entraîné (environ 90%) depuis la base de la flamme jusqu'à son sommet dilue les produits de la combustion tout en les refroidissant.

b) Énergie d'inflammation

Lorsque le mélange inflammable formé ne se trouve pas à sa température d'auto-inflammation, il est nécessaire de lui fournir une petite quantité d'énergie pour déclencher l'inflammation. Cette énergie, appelée énergie d'inflammation, peut être d'origine diverse (étincelles, flamme, foudre...) et varie selon les propriétés de la substance inflammable considérée.

L'énergie d'inflammation d'une substance dépend en outre de la concentration en gaz, vapeurs du mélange inflammable. Elle présente ainsi, l'énergie minimale d'inflammation, pour le mélange le plus susceptible de s'enflammer. L'énergie minimale d'inflammation correspond sensiblement à un mélange à la stœchiométrie.

c) Modélisation des effets thermiques radiatifs de feu de nappe [8]

Le rayonnement est le mode de transfert privilégié de la chaleur dans un plan horizontal pour des feux de grande taille. Ainsi, il convient de s'intéresser en priorité à ce mode transfert de chaleur, notamment lorsqu'il s'agit de déterminer des distances d'effets thermiques sur l'homme ou de prévenir un effet domino.

Ces relations s'appliquent aux hydrocarbures liquides de catégories B et C et largement utilisées par le logiciel CAMEO (ALOHA).

La formule générale du flux thermique émis par un feu de diamètre D_{eq} et reçu par une cible située à 1 mètres du feu est :

$$q_{reçu} = F_{cible - flamme} \times \tau \times \dot{q}_{émis}$$

$F_{cible - flamme}$: angle de vue entre la cible et la flamme (sans unité)

τ : transmittance de l'air (sans unité)

$\dot{q}_{émis}$: pouvoir émissif de la flamme par unité de surface de la flamme (kW/m²)

[9]

d) Paramètre de calcul

Pour déterminer la valeur du facteur de vue, il est nécessaire, au préalable, de connaître :

- la distance entre une cible potentielle et les flammes,
- les dimensions de la flamme, à savoir :
 -) son diamètre et sa hauteur de flamme pour un cylindre de flamme droit,
 -) son diamètre et sa longueur de flamme pour un cylindre de flamme incliné,
 -) sa largeur et sa hauteur de flamme pour un mur de flamme,
- l'inclinaison éventuelle de la flamme.

e) Corrélations des différents modèles**) Diamètre équivalent**

Pour un feu de nappe circulaire :

- $D_{eq} = \text{Diamètre de la nappe en feu}$;

Pour un feu de forme rectangulaire :

- $D_{eq} = 4 S / P$ si la Longueur < 2,5 x largeurs ;
- $D_{eq} = \text{largeur}$ si la Longueur > 2,5 x largeurs ;

Pour un feu de nappe de forme quelconque : $D_{eq} = 4 S / P$.

) **Hauteur de flamme**

La détermination de la longueur de la flamme est différente, selon la présence ou non de vent.

Les formules utilisées par l'ensemble des experts sont les formules de Thomas (avec et sans vent). [8]

Corrélation de Thomas :

✓ vent < 1 m/s :

$$H = 0,42 D_{eq} \left(\frac{m''}{\rho_{air} \sqrt{g D_{eq}}} \right)^{0,61} \quad [10]$$

H : hauteur de la flamme (m)

D : diamètre hydraulique de la surface en feu (m)

m'' : taux de pyrolyse (kg/m²/s)

ρ_{air} : masse volumique de l'air (kg/m³)

g : accélération de la pesanteur (9,81 m/s²)

Remarque : avec ρ_{air} = 1,161 kg/m³, cette expression de L devient :

$$H = 0,191 D_{eq}^{0,695} m''^{0,61}$$

✓ vent > 1 m/s :

$$H = 0,55 D_{eq} \left(\frac{m''}{\rho_{air} \sqrt{g D_{eq}}} \right)^{0,67} \left(\frac{u_w}{u^*} \right)^{0,21} \quad [11]$$

Avec

$$u^* = \frac{u_w}{\left(\frac{g m''}{\rho_{air}} \right)^{1/3}}$$

[12]

m'' = 0,055 kg/m².s (valeur retenue pour les hydrocarbures liquides)

Remarque : avec ρ_{air} = 1,161 kg/m³, l'expression de L devient :

$$H \propto D^{0,74} | m^{0,74} | u_w^{20,21} | Deq^{0,735} \quad [13]$$

) **Angle d'inclinaison de la flamme**

Correlation de Welker and Sliepcevic:

$$\frac{\tan \alpha}{\cos \alpha} \propto 3,3 | fFr A^{0,8} | fRe A^{0,07} | \frac{v_v^{20,6}}{v_{air}} \quad [14]$$

avec:

Fr: Nombre de Froude

$$Fr \propto \frac{u_w^2}{Deq | g} \quad [15]$$

Re: Nombre de Reynolds

$$Re \propto \frac{Deq | u_w | v_{air}}{v_{air}} \quad [16]$$

v_v : Masse spécifique du produit en phase vapeur, à sa température d'ébullition (2,56 kg/m³ pour essence)

v_{air} : Masse volumique de l'air : 1,161 kg/m³

μ_{air} : viscosité dynamique de l'air ambiant

$$v_{air} = 1.9 \times 10^{-5} \text{ kg.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$$

) **Mudan et Croce :**

L'approche proposée par Mudan et Croce résulte d'une corrélation établie à partir d'essais réalisés sur des feux de 1m à 80 m de diamètre, avec différents hydrocarbures (le pétrole, le benzène).

Le pouvoir émissif de la flamme est donné par l'équation :

$$\theta_o \propto 20000 \Gamma^{120000} e^{20,12 Deq} \quad [17]$$

VI. Facteur de vue

Le facteur de vue (ou facteur de forme) traduit la fraction de l'énergie émise par un feu et qui est reçue par une cible. Ce facteur, purement géométrique, ne dépend que de la disposition relative du feu par rapport à la cible [8].

Ce facteur se détermine donc à partir :

- des dimensions et de la forme de la flamme,
- de la position et de l'orientation de la cible vis-à-vis de la flamme.

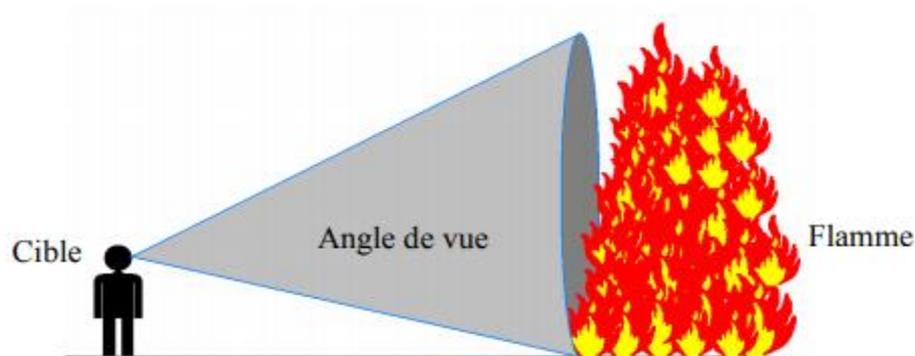


Figure2.2 : Facteur de vue

Il s'obtient à partir de l'angle solide sous lequel la cible voit la flamme et s'exprime sous la forme générale suivante :

$$\int_s \frac{\cos \theta_1 \cos \theta_2}{f^2} dS$$

Il existe, à notre connaissance, deux types de facteur de vue pouvant être utilisés pour la modélisation de feux de nappe :

- le facteur de vue cylindrique,
- et le facteur de vue plan.

Le facteur de vue maximal est égal à la moyenne géométrique des facteurs de vue verticaux F_v (cible verticale) et horizontaux F_h (cible horizontale).

$$F_m = \sqrt{F_v F_h} \quad [18]$$

a) Facteur de vue plan vertical

Dans la littérature, il n'existe qu'une seule corrélation permettant de calculer le facteur de vue plan. Cette corrélation est fonction des dimensions du « mur » de flamme, ainsi que de la distance entre la cible et la flamme. Elle est présentée dans les rapports.

La situation réelle est la situation A.

Afin de pouvoir la modéliser, nous sommes contraints de la simplifier et de se ramener à la situation B.

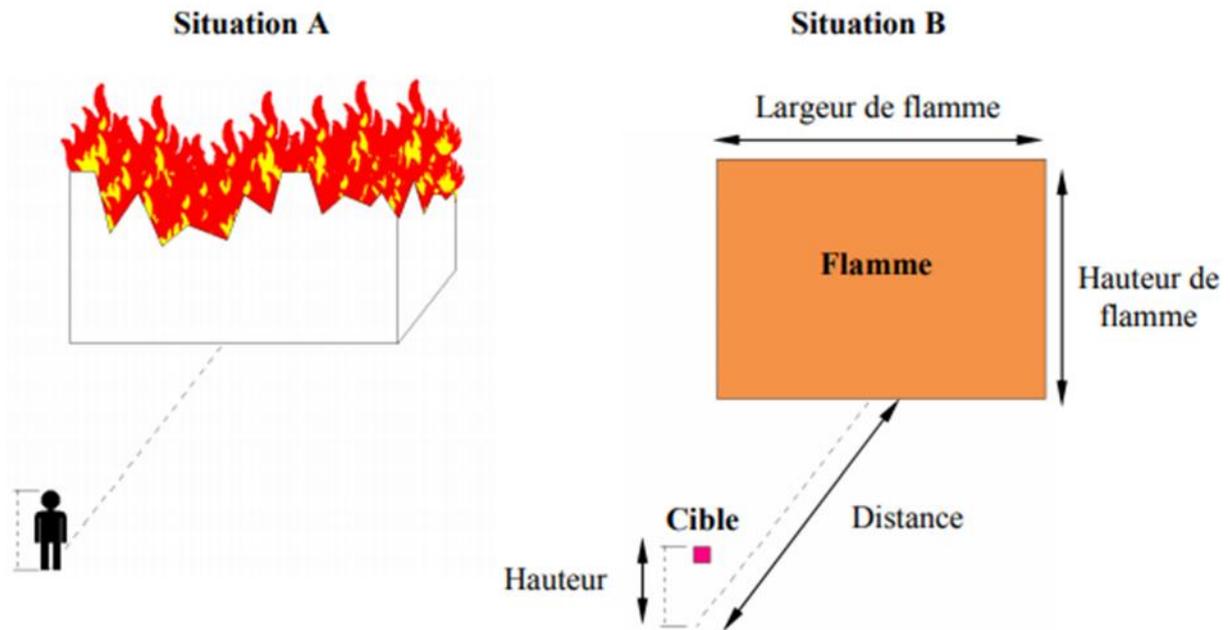


Figure 2.3 : Facteur de vue plan vertical

Cette corrélation correspond à la configuration d'un vent nul.

▪ $X=L/r$; $Y=b/r$

$$F_v = X \frac{1}{2f} \frac{X}{\sqrt{1+\Gamma X^2}} \text{Arctg} \frac{Y}{\sqrt{1+\Gamma X^2}} + \Gamma \frac{Y}{\sqrt{1+\Gamma Y^2}} \text{Arctg} \frac{X}{\sqrt{1+\Gamma Y^2}} \quad [19]$$

▪ $X=L/b$; $Y=r/b$

$$A = X \frac{1}{\sqrt{X^2 + \Gamma Y^2}} + F_h \frac{X}{2f} \text{Arctg} \frac{1}{Y} + Z_A \frac{Y}{Y} \text{Arctg} A \quad [20]$$

b) Facteur de vue d'un plan incliné

Dans le cadre de la présente étude, l'INERIS a développé un outil permettant de prendre en compte l'effet du vent sur la flamme, l'outil permet ainsi de calculer le facteur de vue associé à un plan incliné.

$$F \propto \frac{\text{Surface Zen Z feu}}{f | r^2} \quad [21]$$

VII. Transmissive atmosphérique

Ce facteur (r) permet d'intégrer l'influence de l'air sur le flux émis. En effet, une partie du flux est absorbée par l'air, (plus particulièrement par l'eau et le CO_2) entre le front de flamme et la cible. Ce facteur est indépendant de la surface en feu et du produit mis en jeu.

Corrélation de Bagster :

$$(r) = 2,02 \times (P_{\text{VAP}}(\text{H}_2\text{O}) \times r)^{-0,09} \quad [22]$$

$$\text{Avec} \quad P_{\text{VAP}}(\text{H}_2\text{O}) = \text{HR} \times T_{\text{VAP}(\text{H}_2\text{O})} \quad [23]$$

$$(r) = 2,02 \times (\text{HR} \times T_{\text{VAP}(\text{H}_2\text{O})} \times r)^{-0,09} \quad [24]$$

$T_{\text{VAP}}(\text{H}_2\text{O}) = 1665 \text{ Pa}$ à 15 °C ;

$T_{\text{VAP}}(\text{H}_2\text{O}) = 5810 \text{ Pa}$ à 35 °C ;

VIII. Environnement

La dispersion atmosphérique d'un produit est influencée par deux effets (mécaniques, thermiques).

a) Effets mécaniques

Les obstacles et les accidents topographiques perturbent la trajectoire du vent et modifient les caractéristiques moyennes et turbulentes de l'écoulement de l'air.

Lorsque les irrégularités au sol sont de faible taille par rapport à celle du nuage, les perturbations qu'elles engendrent, affectent de façon globale la dispersion du nuage.

L'hypothèse d'un terrain idéalement plat et de rugosité uniforme est généralement bien adaptée à cette problématique.

Dans le tableau ci-après, des valeurs de rugosité sont données pour quelques types caractéristiques de surface.

b) Effets thermiques

Vent à caractère local ou régional et à alternance diurne, qui s'établit à proximité des lacs, des mers, dans les régions montagneuses, près des villes, etc. et qui résulte des différences de température dans les basses couches de l'atmosphère.

IX. Conclusion

Ces risques industriels sont qualifiés de « risques majeurs » quand ils sont caractérisés par une probabilité faible et une gravité importante. Cette notion de « risques majeurs » ne concerne que les risques environnementaux.

I. Introduction

La modélisation et la simulation des accidents industriels (incendies, explosion) concernant des produits inflammables est un outil indispensable pour évaluer leurs impacts (asphyxie, rayonnement thermique, surpression...) sur l'environnement et l'être humain.

Dans ce chapitre on utilisera des logiciels spécialisés pour apprécier l'impact de tels accidents industriels. Le code de calcul ALOHA est parfaitement adapté à notre problème : il prend en compte un large panel de scénario d'accidents, donne des informations concernant la sécurité des individus et permet la visualisation des zones à risque. D'un autre côté, où les modèles gaussiens et DEGADIS du code ALOHA semblent échouer on utilisera d'autres codes de calculs commerciaux et cela pour renforcer notre étude en terme de qualité (visualisation en 3D) et permettre de faire la comparaison des résultats.

Pour couvrir le plus vaste périmètre d'évacuation, on a élaboré les pires et plausibles des scénarios qui soient pour chaque installation ciblée, donc Il y a deux scénarios normalisés à modéliser et à simuler suivant le produit et l'installation.

II. Identification du site

Le bac R13, est un réservoir à toit flottant, implanté dans le parc de stockage sud du Terminal Marin de Bejaia, qui est constitué de trois autres bacs à toits flottants de capacité similaire au R13, d'un manifold, d'une pomperie de chargement vers le port pétrolier et d'une pomperie de chargement pour la bouée offshore (SEALINE).

Le bac 4E2 est un réservoir a toit flottant, implanté dans le parc de stockage nord tu TMB,



Figure 3.1 : description du lieu d'accident.

III. Données et paramètres d'étude

➤ Propriété physique et chimique du produit stocké

Les produits pompés et stockés sont de deux types (Généralement Pétrole brut & Condensât exceptionnellement).

CARACTERISTIQUES	Unité	Max	Min
Densité à 15 °c	-	0.8098	0.7755
VISCOSITE CINEMATIQUE A 25°C	C. ST	3.10	1.52
POINT D'ECOULEMENT	°C	-30	-
POINT D'ECLAIR, VASE FERME	°C	< -20	-

Tableau3.1 : caractéristiques du produit stocké

➤ **Caractérisation physico-chimique du pétrole**

Le pétrole est un mélange d'hydrocarbures avec des propriétés physico-chimiques qui peuvent varier d'un gisement à l'autre [26]. Les propriétés physiques et chimiques de pétroles bruts varient considérablement dépendent de la concentration des divers types des hydrocarbures [27].

Les propriétés du pétrole vont être importantes du point de vue du transport Car elles vont limiter les possibles destinations .Chaque centre de traitement ou de raffinage de pétrole est conçu pour traiter des types de pétrole avec des propriétés spécifiques, souvent avec une marge de tolérance assez grande [28]. Mis à part la densité, la tension de vapeur, teneur en sédiment et en sels et la teneur en soufre qui seront détaillés dans le chapitre II on peut citer les propriétés suivantes :

) **La composition chimique**

La composition chimique du pétrole va dépendre de la proportion des différents types d'hydrocarbures présents qui peut être de type paraffinique, naphthénique ou aromatique [29].

) **Teneur en azote**

Généralement présentant en faible quantité (0,1%). Les pétroles bruts renferment de s hydrocarbure s azotés sous forme basique « quinoléine, iso quinoléine, pyridine ... » Ou neutre « pyrrole, indole ,carbazole ... »[30].

Ces composés peuvent être malodorants « quinoléine », ou avoir une odeur agréable « Indole ». Ils se décomposent sous l'action de la chaleur pour donner des bases organiques ou de l'ammoniac, qui réduisent l'acidité des catalyseurs des unités de transformation ou de conversion « reformage, craquage» et activent la formation des gommages dans les distillats « kérogène, gazole»[31].

) **Teneur en oxygène**

La teneur en composés oxygénés varie de « 0,03 à 3% ». Les bruts contiennent généralement moins d'oxygène que de soufre . Bien que peu abondant, l'oxygène peut jouer un rôle non négligeable en particulier, il est responsable de l'acidité des pétroles. On trouve l'oxygène dans:

- Les phénols formés par la substitution d'un hydroxyde (OH) à un hydrogène d'un cycle aromatique ;
- Les furanes et Benz furanes dans lesquels un cycle oxygéné est condensé à un ou plusieurs cycles aromatiques;
- Les acides carboxyliques: R-COOH [32].

) **Point d'éclair**

Le point d'éclair est défini comme étant la température minimale à laquelle il faut porter un échantillon de brut pour ce que les hydrocarbures légers parce lui-ci se brûlent au contact d'une flamme .ainsi cette caractéristique est un paramètre à connaître lors de la manipulation d'un brut notamment en ce qui concerne les conditions de stockage[33].

Autrement dit le point d'éclair mesure la tendance que possède un produit pétrolier à former avec l'air un mélange inflammable .C'est une des propriétés qu'il faut considérer pour évaluer les risques d'inflammabilités d'une coupe pétrolières. Les limites d'inflammabilité d'un hydrocarbure dépendent de sa nature chimique et de sa masse molaire [34].

) **La viscosité**

La viscosité est une grandeur physique déterminée par la mesure du temps d'écoulement du pétrole brut dans un tube capillaire de longueur donnée à une température bien déterminée :

La viscosité du pétrole va affecter la facilité avec laquelle il peut être transporté. La mesure de la viscosité du pétrole brut à différentes températures est particulièrement importante pour le calcul des pertes de charge dans les pipelines, les tuyauteries et les conduites de raffineries ainsi que pour la spécification des pompes et des échangeurs [35].

) **Point d'écoulement**

Le point d'écoulement d'un pétrole brut est la plus basse température à laquelle un pétrole brut s'écoule encore lors qu'il est refroidi sans agitation, dans des conditions normalisées. Cet essai caractérise soit la teneur en fractions lourdes, soit indiqué la quantité des longues chaînes paraffiniques (la cire de pétrole) contenues dans le brut. La connaissance du point d'écoulement est importante pour la détermination des conditions de pompage du brut en hiver et aussi pour donner une indication approchée sur leur comptabilité. [36]

Lorsqu'un pétrole brut est exposé au froid, on n'observe pas, comme pour un produit pur, un passage net de l'état liquide à l'état solide .Il apparaît d'abord une augmentation plus ou moins importante de la viscosité, puis si l'abaissement de température est suffisant, les pétroles bruts cessant d'être des fluides, et s'approchent de l'état solide en s'épaissant.

Donc la connaissance du passé thermiques du pétrole brut est très importante : un préchauffage à 45 -65°C diminue la température du point d'écoulement car le pétrole brut contient des germes de cristaux de paraffines, et ceux -ci sont détruits lors du préchauffage [37].

) **Le rapport H/C**

Le rapport du nombre d'atomes d'hydrogène à celui du carbone est directement lié aux types d'hydrocarbures qui composent le pétrole .Il est aussi en relation étroite avec la viscosité.

Le rapport du nombre d'atomes d'hydrogène sur le nombre d'atome de carbone, est très employé pour une première indication utile sur la nature organique du pétrole .Ainsi on débouche sur une première classification du pétrole :

- Les paraffiniques , plutôt molécule chaîne linéaire ;
- Les asphaltique , plutôt molécule cycle ;
- Les mixtes, l'ensemble des deux précédents [38].

) **Taux de cendres**

Le test indique la quantité des composés métalliques présents dans le pétrole brut. Le taux de cendres est déterminé par la combustion complète (calcination) d'un échantillon de pétrole brut [39].

) **Indice d'acide**

Les pétroles bruts contiennent des acides carboxyliques. Ceux-ci sont dosés par neutralisation avec de la potasse caustique ; le résultat de l'analyse est exprimé en mg de KOH/g de brut. Il y a lieu de remarquer par ailleurs que la répartition des acides n'est pas uniforme dans un même brut, puisqu'on enregistre en générale une teneur maximale dans les fractions distillées entre 400 e t450°C de densité moyenne 0,950 [40].

) **Les courbes de distillation**

Une des premières caractéristiques à obtenir sur le pétrole ou même sur un produit pétrolier, est sa courbe de distillation. Il s'agit d'une graphique température d'ébullition -volume distillé. Ce graphique est obtenu à la suite d'une distillation réalisée sans recyclage de matière et selon des normes précises (vitesse, pression, appareillage) [41].

L'opération consiste à chauffer progressivement l'échantillon de pétrole qui va s'évaporer progressivement .La vapeur formée monte, puis elle est refroidie dans un tuyau réfrigéré pour être ensuite recueillie dans un récipient de mesure. Après distillation, on obtient la courbe qui permet notamment d'évaluer les propriétés fondamentales d'un pétrole [42].

) **Quelques caractéristiques physiques des pétroles**

Les principales caractéristiques de brut montrent que les pétroles les plus courants sont sous forme d'un liquide d'origine naturelle, autrement dit ce sont des huiles minérales généralement leur densité varie entre 0,6 à 0,9 d'un autre part leur viscosité s'apparente à celle du miel ainsi que leur molécules sont non miscibles dans l'eau [43].

➤ **Capacité et dimensions des bacs**

Bac R13

- Produit : Pétrole brut ;
- capacité de stockage de 50000 m³ ;
- Quantité du produit : 45 000 m³ (niveau haut) ;

Bac 4E2

- Produit : Pétrole brut ;
- capacité de stockage de 35 000 m³ ;
- Quantité du produit : 27500 m³ ;

➤ **Conditions météorologiques et environnement**

Les Équipements, Matériels et Bâtiments composant l'Ouvrage, seront conçus pour les conditions climatiques suivantes :

Ñ **Vents**

D'après (tableau ci-dessous), la, on constate que les vents les plus fréquents ont une direction dominante Nord Est (NE) durant la période estivale (de juin à août) et une direction dominante Sud-Ouest (SO) pendant les autres périodes de l'année [25].

Tableau3.2 :Répartition fréquentielle, mensuelles et annuelles, des vents[25].

Mois	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai.	Juin.	Juil.
Vitesse moyenne (m/s)	4.7	4.3	3.9	3.5	3.6	3.4	3.6
direction	SO	SO	SO	SO	SO	NE	NE
Mois	Aout	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Moy.annuelle	
Vitesse moyenne (m/s)	3.4	3.5	4.1	4.5	4.9	4.0	
Direction	NE	SO	SO	SO	SO	SO	

De plus, les vents de la région ont une vitesse supérieure à la moyenne annuelle entre les mois d'octobre et février.

) Vitesse du Vent (Normale/Extrême) 50 Km/h /180 Km/h

) Pression de base du vent..... 70 kgf/m²

Ñ Températures

La zone du littoral Nord jouit d'un climat méditerranéen avec des hivers doux et une longue période estivale chaude, tempérée par des brises de mer. Les températures mensuelles moyennes sont présentées dans le tableau ci-dessous [25].

Tableau3.3: Répartition fréquentielle, mensuelles et annuelles, des Températures[25].

Mois	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.
Moyenne mensuelle (°c)	11.3	11.6	12.5	14.3	17.3	20.7	23.8
Mois	Aout	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Moyenne annuelle	
Moyenne mensuelle (°c)	24.5	21.6	18.7	14.8	11.8	16.9	

Ñ Humidité

Le pourcentage d'humidité varie entre 72 et 78 % au cours de l'année avec un taux maximum au mois de mai (cf. tableau ci-dessous) [25].

Tableau3.4 : Répartition fréquentielle, mensuelles et annuelles de l'humidité[25].

Mois	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.
Moyenne mensuelle (%)	74.90	77.00	76.80	78.20	78.50	77.00	72.70
Mois	Aout	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Moyenne annuelle	
Moyenne mensuelle (%)	75.50	75.40	74.20	76.20	75.50	76.00	

L'Humidité relative de l'air (Max /Min)90% / 73%

Ñ Pluviométrie et précipitations

La région de Bejaïa est l'une des plus pluvieuses d'Algérie, avec une pluviométrie moyenne de 900 mm/an. La répartition des pluies dans le cycle annuel est très inégale.

Le maximum des pluies est atteint entre novembre et mars et culmine à plus de 160 mm entre janvier et février. Le minimum annuel est relevé entre mai et août avec une hauteur de pluie inférieure à 6 mm en moyenne. La neige est à envisager ! [25]

Tableau3.5: les conditions atmosphériques qu'on a utilisés[25].

Conditions atmosphériques					
Température °c	Humidité relative(%)	Classe de stabilité	Ensoleillement (%)	Vitesse du vent à 10 m de hauteur (m/s)	Direction du vent à 10 m de hauteur °c
30	75.50	C	99	4.9	SO

) **A l'intérieur du TMB**

Le terminal marin comporte plusieurs bâtiments de hauteur importante (bacs de stockage, hangars, ateliers, tuyauteries...) avec un dégagement des vapeurs ce qui perturbe le champ de vent et favorise une turbulence non négligeable d'origine mécanique et thermique.

) **A l'extérieur du TMB**

Le terminal marin est situé entre la ville de Bejaia au Nord, une zone urbaine à l'East du TM et la mer méditerranéenne par le sud.

La présence de la mer méditerranée au sud du site a créé une brise de mer due au gradient de température présent entre terre et mer.

Vu l'environnement du site on a considéré la rugosité du terrain comme étant (urbain et forestier).

Remarque : On a pris les mêmes conditions météorologiques de la région et le même environnement pour tous les cas d'étude.

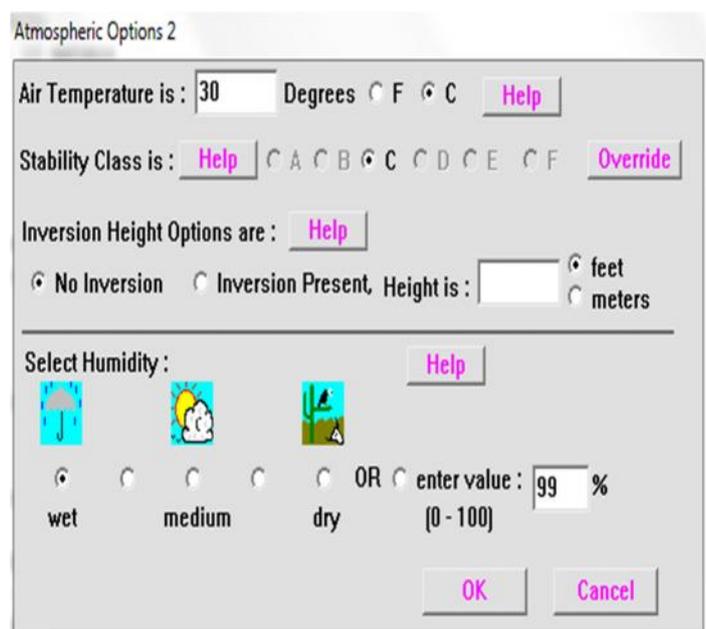
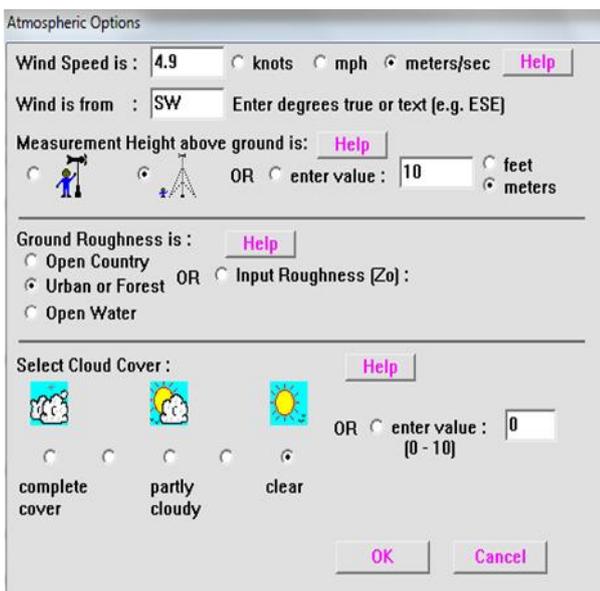


Figure 3.2 : Conditions météorologique sur ALOHA.

➤ **Les coordonnées géographiques**

- L'altitude : 36°75 Nord
- Longitude : 5°08 Est
- Latitude : 1 m.

IV. Scenarios d'étude

Tableau 3.6: Illustration des cas d'étude de scenario

Installation ciblée	Produit	logiciel	Modèle	Phénomène modélisé
Bac R13	Pétrole	ALOHA	DEGADIS	Feu de nappe.
Bac 4E2	Pétrole	ALOHA	DEGADIS	Feu de bac

Tableau 3.7 : déroulement des scenarii.

Produitset installation	Scenarii plausibles	cas
Bac R13	<ol style="list-style-type: none"> 1. Rupture catastrophique du fond de bac (R13) due à la fatigue (déchargement et rechargement alternatif) ou à un séisme. 2. Fuit de pétrole dans le bac suite à une fissuration ; 3. Déversement en continu et partiel du pétrole dans la cuvette de rétention ; 4. Formation d'une nappe autour du réservoir ; 5. Déclanchement d'une flamme qui remonte jusqu'à la source ; 6. Déclanchement d'un feu de nappe et d'un incendie dans le bac de stockage ou d'une explosion du mélange resté dans le bac. <ul style="list-style-type: none">) Calcul de la quantité déversée, la distance de propagation du nuage.) Calcul du rayonnement thermique dégagé par l'incendie. 	Cas N°1
4E2	<p>Déclanchement d'un feu de nappe et d'un incendie dans le bac de stockage ou d'une explosion du mélange resté dans le bac.</p> <ul style="list-style-type: none">) Calcul de la quantité déversée, la distance de propagation du nuage.) Calcul du rayonnement thermique dégagé par l'incendie. 	Cas N°2

La matière retenue pour l'étude a été sélectionnée à partir des résultats de l'enquête après le stage. C'est donc la matière dangereuse la plus produite et stockée dans le secteur d'étude qui va faire l'objet de simulation.

V. Logiciel CAMEO-ALOHA

a. présentation

CAMEO - ALOHA a été développé conjointement par les 2 entités américaines suivantes : "Environmental Protection Agency's office of emergency prevention, Preparedness and Response" (EPA) et le "National Oceanic and Atmospheric Administration's Office of Response and Restoration" (NOAA).

Le module CAMEO qui contient principalement des bases de données chimiques et toxicologiques,

Le module ALOHA ("Areal Locations of Hazardous Atmospheres") qui est un programme informatique permettant d'évaluer, dans des situations d'urgence, la dispersion atmosphérique, de composés rejetés dans des conditions accidentelles.

b. Ce que fait ALOHA

ALOHA permet la modélisation d'émissions à partir :

- de flaques en ébullition ou non,
- de réservoirs sous pression de gaz ou de liquide, de réservoirs liquides non pressurisés, de réservoirs contenant des gaz liquéfiés, de conduite de gaz sous pression.

ALOHA modélise la dispersion atmosphérique de gaz, par un module basé sur l'approche gaussienne, et de pétrole plus lourd que l'air au moyen d'un module de pétrole léger basé sur le modèle DEGADIS (Spicer, Tom and Jerry Havens, 1989) qui a été simplifié par souci de rapidité de calcul. Il propose à l'utilisateur le choix entre les deux modules, et de définir lui-même le module. Plus précisément les critères du logiciel sont la masse molaire du produit, la taille du rejet et la température du nuage.

Enfin, il faut préciser que les résultats ne seront pas fiables si les vents sont très forts. Pour pallier cette dernière situation, des tirets de chaque côté du panache indiquent la zone où pourra se déplacer dans 95 % des cas.

Remarque : Le modèle ne prend pas en compte les incendies, les explosions, les réactions chimiques et les mélange de produits mais il donne des informations pour évaluer le danger d'un incendie ou d'une explosion (avec les températures et concentrations).

ALOHA calcule la décroissance du débit de rejet au cours du temps (quel que soit le type de source : réservoir, longue conduite, flaque), puis moyenne la valeur sur des pas de temps d'une minute. Le logiciel permet la visualisation de la décroissance du débit.

c. Méthodologie de simulation avec ALOHA

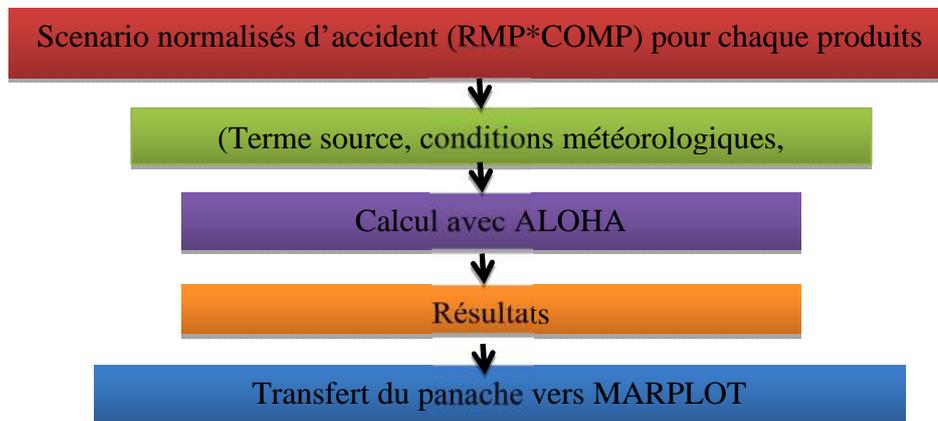


Figure 3.3 : Processus de simulation des déversements et dispersion.

VI. Simulation d'accident

➤ Propriétés physiques et thermodynamiques du produit

- Masse moléculaire : 78.11 g/mol ;
- Densité : 876 kg/m³ à 20 °C ;
- Point de fusion : 5.5 °C ;
- Point d'ébullition : 80.1° C;
- Point éclair : - 11 °C ;
- Tension de vapeur : 56mmHg;
- Concentration à saturation : < 612 000 ppm ;
- Limite de détection olfactive : 0,025 ppm ;
- Facteur de conversion (1ppm = 4,662 mg/m³) ;
- Température d'auto-inflammation : 498 °C ;
- Limite inférieure d'explosibilité : 1.2 % ;
- Limite supérieure d'explosibilité : 7.8 % ;
- Solubilité dans l'eau : 25°C _1.79 g.L⁻¹ ;

➤ Définition des termes source

En termes de quantité déversée, les simulations s'appuient sur le pire scénario, c'est-à-dire qu'on veut reproduire un scénario d'un feu de nappe et d'un feu de bac. Pour cela on considère que 20 % de la matière sera déversée et consommée par le feu.

Les dimensions approximatives de la fuite ont été estimées pour que le diamètre de la mare en feu soit égal au diamètre équivalent de la cuvette, puis par la suite la formation de la flaque calculée pour la production d'un feu de nappe dans ALOHA.

Le logiciel ALOHA ne donne pas d'informations supplémentaires sur les caractéristiques des produits résultants de la combustion ni la dispersion du panache d'incendie.

Tableau3.8 : Données d'entrée pour le calcul de diversement dans le cas d'un feu de nappe.

Produit	Pétrole
Volume du bac	50000 m ³
Diamètre du bac	68m
Taux du remplissage	82%
Volume du produit reste dans le bac	60%
Forme de la fissure	Rectangulaire
Longueur de la fissure	80cm
largeur de la fissure	20 cm
Hauteur du réservoir	13.8m
Température initiale du produit	30°
Masse totale du produit	41000 m ³
Surface de la cuvette de rétention	18000m ²
Diamètre équivalent de cuvette	44 m

Tableau3.9: Données d'entrée pour le calcul de diversement dans le cas d'un feu de bac.

Produit	Pétrole
Volume du bac	35000 m ³
Diamètre du bac	56m
Taux du remplissage	78.6%
Volume du produit reste dans le bac	60%
Forme de la fissure	Rectangulaire
Longueur de la fissure	80cm
largeur de la fissure	20 cm
Hauteur du réservoir	14.4m
Température initiale du produit	30°
Masse totale du produit	27500m ³
Surface de la cuvette de rétention	12500m ²
Diamètre équivalent de cuvette	44 m

Les feux de cuvette peuvent être à l'origine de Roll-Over, conduisant à un feu généralisé à l'ensemble du bac ainsi qu'à la ruine par effet domino des autres réservoirs et trains de liquéfaction.

Le rayonnement thermique important et la hauteur des flammes de 55 m rend l'accès et l'extinction du feu de cuvette ou de bac des opérations souvent difficiles qui se chiffrent en plusieurs dizaines d'heures.

VII. Résultats et discussion

Les différents résultats des deux cas d'études sont présentés par la suite sous forme de cartographie et de graphes.

) Cas N°1 : Feu de nappe du bac R13

Tableau3.10: les paramètres du feu de nappe du pétrole estimé par ALOHA

Hauteur des flammes (m)	55
Diamètre équivalent de cuvette en feu (m)	44
Taux de combustion (Kg/mn)	7.770
Quantité totale brûlée (Kg)	460.547
Durée d'incendie (h)	1

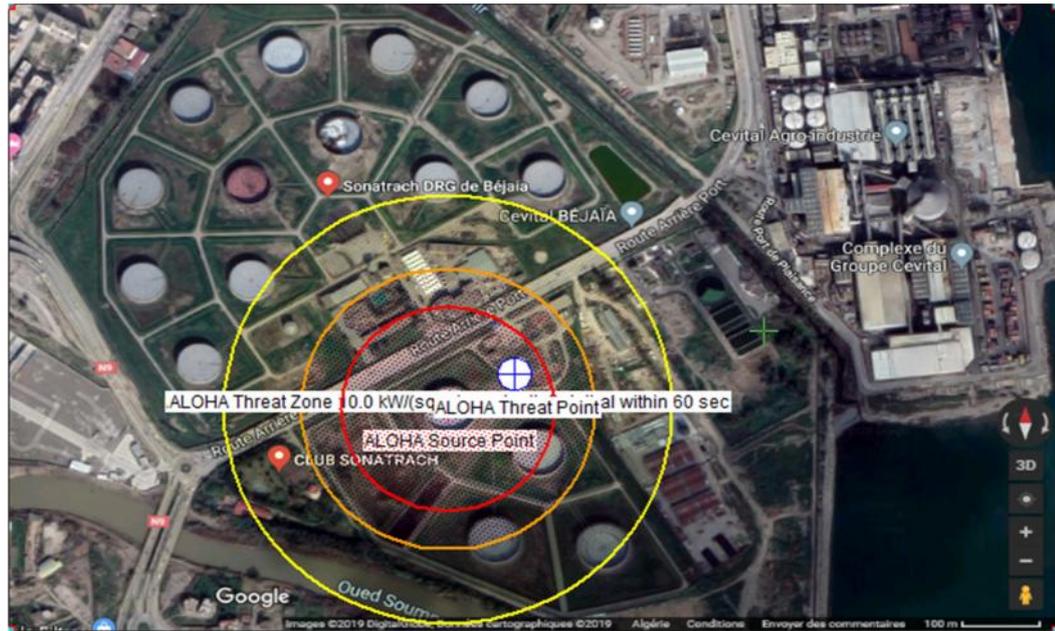


Figure3.4 : Cartographie des flux thermique d'un feu de nappe sur le bac R13.

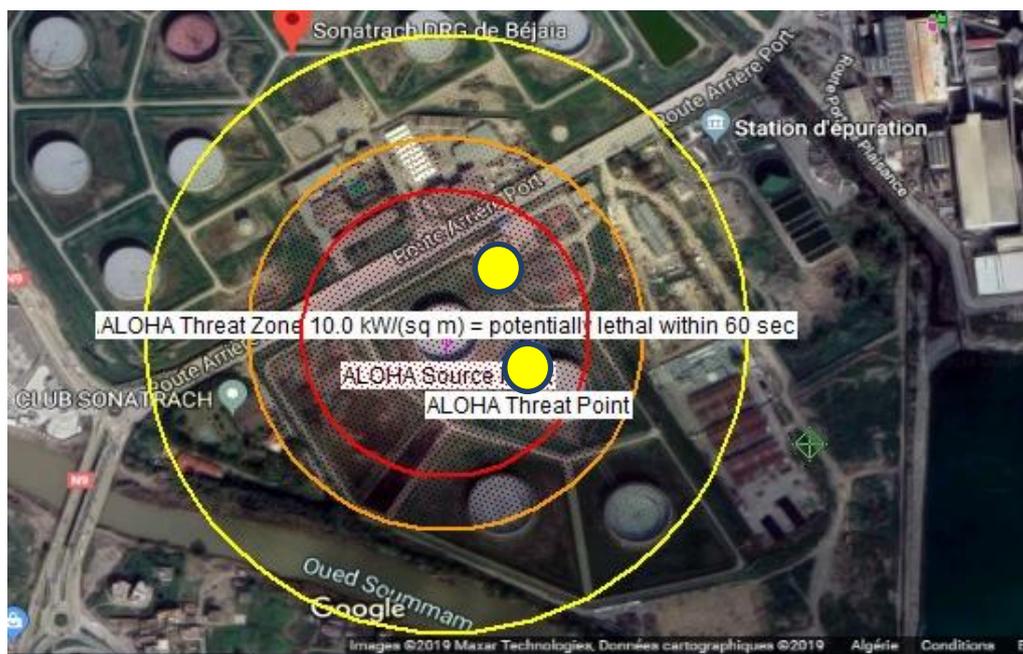


Figure3.5 : Cartographie des flux thermique d'un feu de nappe sur le bac R13, avec les deux points considéré.

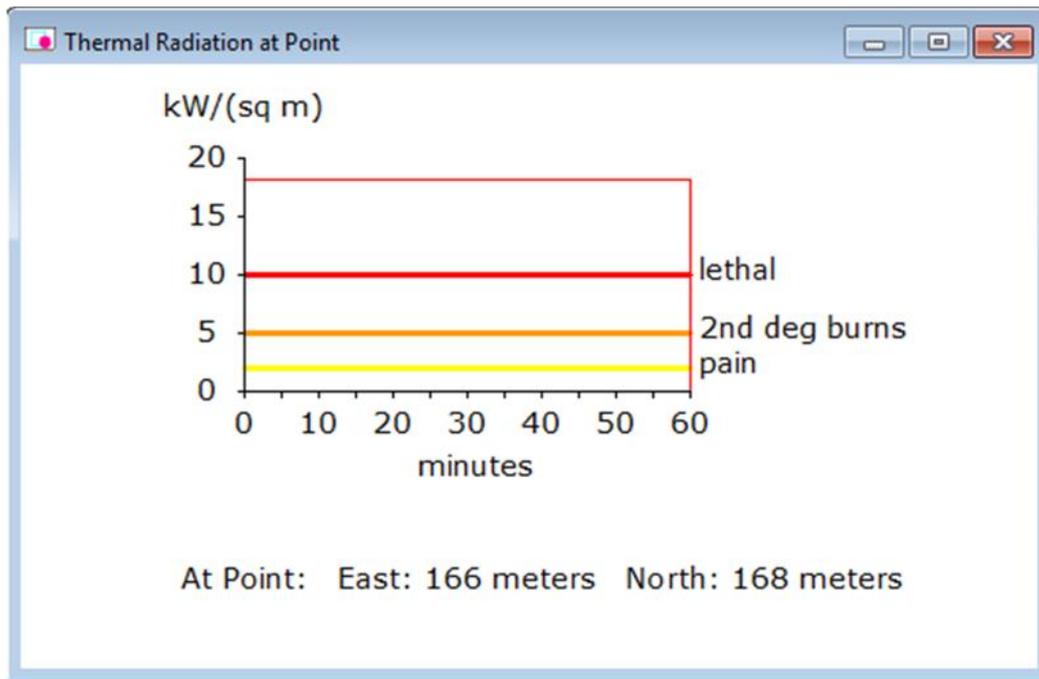


Figure 3.6 : Evolution de la radiation en fonction du temps sur le manifold.

-  de plus de 10.0KW/m² (potentiellement létale au sein de 60 sec)
-  de plus de 5.0KW/m²(brûture de 2eme degré au sein de 60 sec)
-  de plus de 2.0KW/m²(la peine au sein de 60 sec)

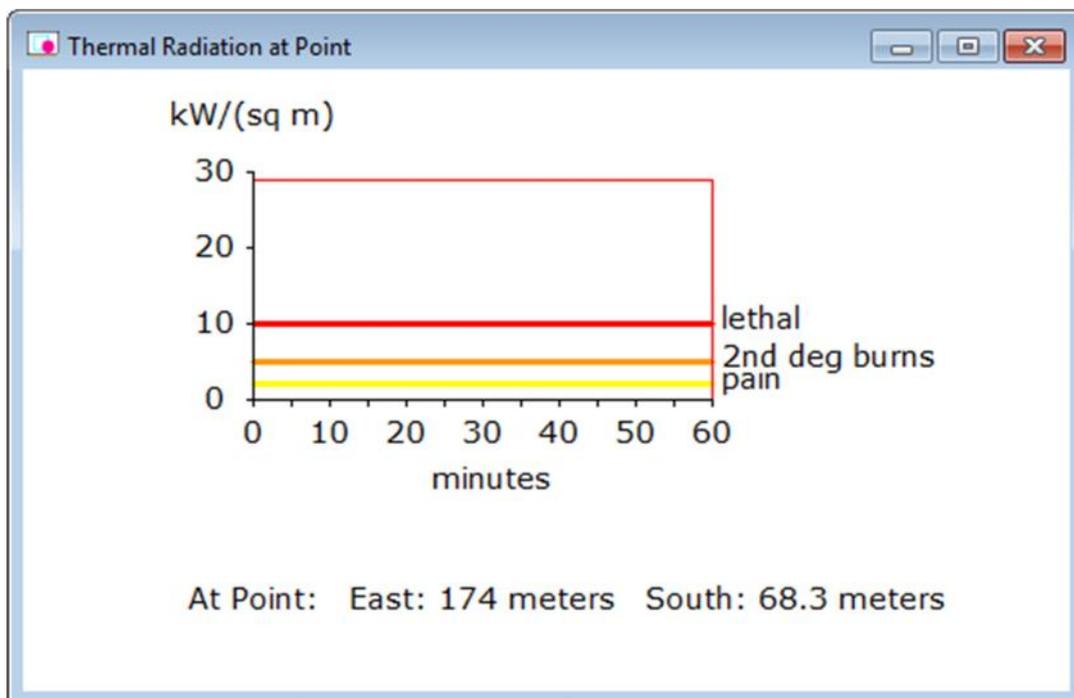


Figure3.7:Evolution de la radiation en fonction du temps sur la paroi N14.

-  de plus de 10.0KW/m² (potentiellement létale au sein de 60 sec)
-  de plus de 5.0KW/m²(brûlure de 2eme degré au sein de 60 sec)
-  de plus de 2.0KW/m²(la peine au sein de 60 sec)

L'expérience montre que l'effet du rayonnement thermique est assez limité, et que l'effet létal est dimensionné par la distance à LII (LEL), (figure 3.6 et figure 3.7). Autrement dit, toute personne se trouvant sur le parcours de pétrole brûlés est susceptible de subir l'effet létal avec une probabilité élevée.



Figure3.8: Cartographie des flux thermique d'un feu de bac 4E2.



Figure3.9 : Cartographie des flux thermique d'un feu de bac 4E2, avec le point considéré.

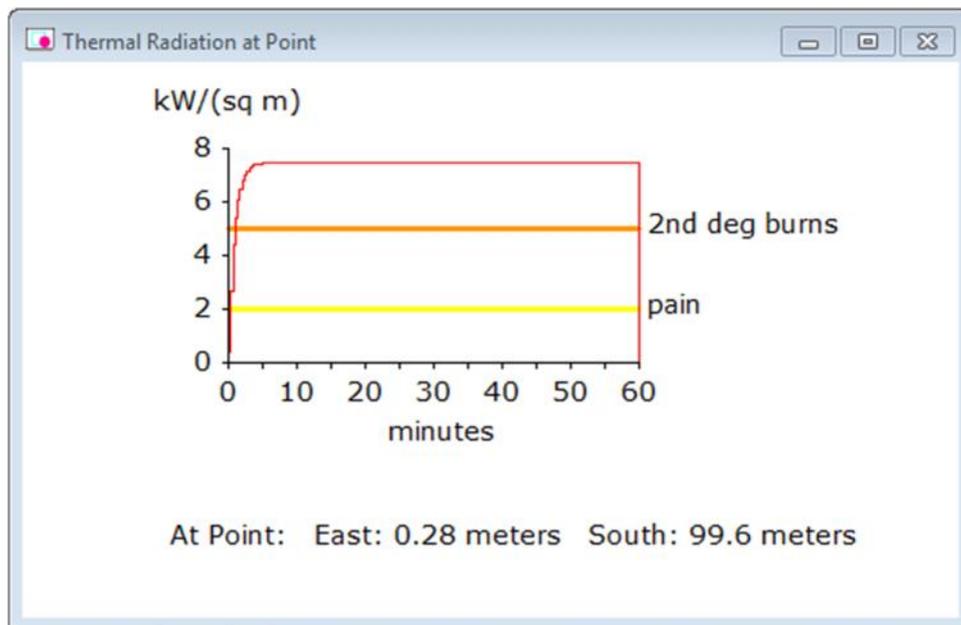


Figure3.10: Evolution de la radiation en fonction du temps sur la paroi N14.

-  de plus de 10.0KW/m² (potentiellement létale au sein de 60 sec)
-  de plus de 5.0KW/m²(brulure de 2eme degré au sein de 60 sec)
-  de plus de 2.0KW/m²(la peine au sein de 60 sec)

Cas N°2 : Feu de bac 4E2

Tableau3.11: suivant donne les paramètres du feu de bac pétrole estimé par ALOHA

Hauteur des flammes (m)	49
Diamètre équivalent de cuvette en feu (m)	46
Taux de combustion (Kg/mn)	7.850
Quantité totale brûlée (Kg)	464.768
Durée d'incendie (h)	1

En termes de vulnérabilité des individus aux radiations thermiques, les trois seuils critiques suivants sont généralement retenus, par ordre de gravité croissante :

- le **seuil de douleur**, qui permet de déterminer le temps d'exposition supportable pour un flux donné,
- le **seuil des brûlures significatives**, qui correspond à l'apparition de cloques (phlyctènes) caractéristiques des brûlures du 2^{ème} degré,
- le **seuil de létalité**, donné souvent à 1%, 50% et 100% de mortalité.

Pour l'évaluation des effets d'un flux thermique radiatif du feu de nappe ou d'une explosion dans le temps, il est nécessaire en particulier d'estimer le temps de réaction des individus. L'hypothèse généralement prise en compte est une réaction des individus en 1 minute [26].

L'inclinaison et l'élargissement de la base de la flamme peuvent constituer un facteur favorable en termes d'effet domino sur des équipements à proximité du feu comme le vent peut être un vecteur possible de la propagation de l'incendie.

La fumée et la suie dégagées par le feu de pétrole (lorsqu'il brûle marque un panache noir) est très dense et épaisse, en conséquence elles agissent comme un rideau en réduisant le flux thermique radiatif, ce phénomène est appelé effet écran.

Le flux thermique radiatif dégagé par le feu de nappe atteindra le manifold et le bac N14 (marquer par des points jaunes sur la figure3.5) avec un flux de plus de (10 kW/m²) ce qui entrainera probablement le feu sur ces derniers.

Les effets seront :

- 100% de létalité pour toute personne exposée à ce flux.
- Le dysfonctionnement d'appareils électriques ou électroniques.

Déplacement du feu sur la zone couverte par ce dernier (matériaux plastiques, bois).

Un flux thermique (5kW/m^2) touchera la pompe de pétrole et entraînera des dommages considérables (fissuration due à l'accroissement rapide du volume de pétrole). Dans ces conditions, il pourrait avoir un autre incendie du pétrole qui plus tard peut atteindre les bacs. (figure 3.5)

On constate que le flux radiatif de 1kW/m^2 touché le manifold du sud et le bac 4F5 affaiblira les risques et peut ne pas évaporer le pétrole.

VIII. Conclusion

Le présent rapport constitue une approche sommaire de l'analyse des effets du phénomène ayant engendré l'accident objet de l'investigation. Sachant que la foudre est à caractère aléatoire, dont les conséquences sont imprévisibles en plus de la diversité de ses effets, nous estimons qu'il serait judicieux d'engager une expertise approfondie de cet accident.

Conclusion generale

Conclusion générale

Le sujet proposé se veut une contribution à l'analyse de risques pour le périmètre recouvrant la zone pétrochimique de SONATRACH à Bejaia.

L'étude porte sur la modélisation et la simulation du rejet accidentel ou non de polluants dans l'environnement.

Le stage passé au terminal marin de Bejaia a permis d'atteindre ce premier objectif en dressant une liste des installations à risque potentiel.

Pour atteindre le deuxième objectif, nous avons eu recours à divers outils informatiques tels que CAMION CHEMICAL, ALOHA et MARPLOT pour produire nos simulations. Nous avons pu constater que l'ampleur d'accident dépend du type de matière déversée et de son rythme de dispersion dans l'atmosphère.

Nos résultats démontrent ainsi une très grande amplitude en termes d'impacts sur la population en cas d'accident. La localité de TMB pourrait être la plus fortement affectée par un accident majeur.

Selon les résultats de la modélisation obtenue précédemment dans le chapitre 3, d'une part on conclue que pour la zone habitée a les environs du terminal marin de Bejaia sera fortement touché par :

- Le joint annulaire du bac R13 est détérioré par les flammes ;
- Les cartes électroniques de commande des vannes motorisées de la SPM (sealine) ont été détériorées (15);
- L'ensemble des modules analogiques des armoires déportées du contrôle-commande de la SPM (sealine) ont été détériorées (08);
- Le système de détection extinction au FM200 du bâtiment électrique est hors service ;
- Les cartes de commande des vannes pied-de-bac des bacs R13 ; P21 et N14 du TM Sud ont été détériorées ;
- Les cartes de commande (carte mère et carte de communication) de l'ensemble des vannes du manifold Sud ont été détériorées (61);
- Les unités de couplage entre les automates et les armoires déportées du contrôle-commande de la SPM (sealine) ont été détériorées (08)
- Les racks des armoires déportées ont été détériorées (14);
- L'ensemble des répéteurs du système de communication du contrôle-commande de la SPM (sealine) a été détériorés (10) ;
- Un nombre considérable de caméras STS (47) sont hors service suite à cet accident (28 au TMSud et 19 au TMNord) ;
- Un enregistreur vidéo numérique est hors service ;
- Quatre (04) alimentations de coffret vidéo sont hors service ;
- Les deux systèmes anti-intrusion, y compris la barrière infrarouge des dépôts Nord et Sud sont hors-service ;
- Le système de contrôle d'accès du TM Sud a été hors service ;
- L'interphone central du système STS a été détériorée ;

On peut dire qu'un effet domino qui se déclencherait de l'un des cas étudiés et qui embraserait toutes les installations à risque potentiel et même les bacs P21, N14, le manifold et la pomperie, etc...) aura des conséquences désastreuses sur l'environnement et l'homme. Pour évacuer ou confiner toute la localité de TMB et sans avoir d'exercice au passé implique une planification hors du commun.

Suite à notre étude de risque, TMB pourrait notamment décider de mettre en place plusieurs mesures de prévention et d'atténuation en plus à celles existant déjà telles que:

- Réaliser un diagnostic approfondi des mise à la terre des installations et évaluer la compatibilité électromagnétique (CEM) entre les différentes installations du Terminal;
- Réaliser une étude ARF (Analyse Risque Foudre) ;
- Réaliser une étude technique complète basée sur l'ARF. Cette étude aura pour but de définir et de dimensionner les dispositifs de protection contre les effets de la foudre à l'effet d'atteindre le niveau de protection recommandé par l'ARF; Ces études doivent être réalisées par des experts reconnus en la matière ;
- Adapter un nouveau type de joint annulaire à l'effet d'assurer une meilleure étanchéité;

Malgré toutes ces mesures de prévention, le risque zéro n'existe pas et un événement non souhaité, identifié ou pas dans l'étude de danger, peut survenir dans un établissement industriel. C'est pour faire face à ces événements que des réponses opérationnelles **doivent impérativement être planifiées.**

L'organisation interne à l'établissement, reposant sur le plan d'opération interne, est la première réponse.

C'est un dispositif opérationnel **mis en place par l'exploitant, avec des moyens propres ou mixtes** (industriels et secours publics), afin de lutter contre les sinistres pour :

- limiter et réduire le sinistre et donc veiller qu'il ne sorte pas des limites de l'établissement,
- protéger les salariés des éventuels effets du sinistre,
- remettre les installations dangereuses dans un état le plus sûr possible.

Malgré tous nos efforts, l'étude réalisée dans le cadre de ce mémoire n'est pas parfaite. Elle n'a pas permis, par exemple, d'étudier et de prendre en compte toutes les sources de risque et d'évaluer leurs impacts.

Enfin, des efforts supplémentaires devront être consentis en ce qui a trait aux simulations d'impacts suite à un déversement. Des scénarios d'évacuation de la population tenant compte de la capacité du réseau routier de même que des mouvements quotidiens de population sont essentiels pour la planification des mesures d'urgence.

Résumé

La manipulation et le stockage des produits hautement inflammable et toxique dans le TMB fait partie des risques que la population accepte avec plus ou moins de réticence. Ce risque se traduit par le déversement, de fuite et d'explosion de pétrole pouvant entraîner des conséquences graves pour la population adjacente et l'environnement.

Le présent mémoire vise à évaluer l'impact d'un éventuel accident industriel majeur implique le stockage du pétrole. Suite à une analyse de risques industriel sur le TM Bejaia et une sélection des installations à haut risque visant la population avoisinante de TMB et le personnel, on veut établir le scénario le plus plausible et pénalisant d'accident. De cette manière la mise en œuvre du code de calcul ALOHA qui est simple, facile à utiliser et qui offre un large choix de scénario d'accident ainsi que des informations sur la sécurité des individus, nous permet d'apprécier leurs impacts sur l'environnement. Puis une autre étude de cas impose pour pallier les inconvénients rencontrés dans ALOHA.

Abstract

Handling and storage of highly flammable and toxic products in TMB are some of the risks that the public accepts with some degree of reluctance. This risk is reflected in the spill, leak and explosion of oil.

This paper aims to evaluate the impact of a possible major accident. Following an industrial risk analysis on TMB and a selection of high-risk facilities for the surrounding population of TMB and staff, we want to establish the most plausible and penalizing accident scenario. ALOHA is simple, easy to use and offers a wide choice of accident scenarios, as well as information on the safety of people, allows us to appreciate their impact on the environment. Then another study was needed to overcome the disadvantages encountered in ALOHA.

تعد معالجة وتخزين المنتجات شديدة الاشتعال والسامة في TMB بعض المخاطر التي يقبلها الجمهور بدرجة من الممانعة. ينعكس هذا الخطر في تسرب النفط وتسربه وانفجاره. تهدف هذه الورقة إلى تقييم تأثير حادث كبير محتمل. بعد إجراء تحليل للمخاطر الصناعية على TMB من المنشآت عالية الخطورة للسكان المحيطين في TMB والموظفين ، نريد إنشاء سيناريو للحوادث الأكثر منطقية . ALOHA بسيط وسهل الاستخدام ويوفر مجموعة واسعة من سيناريوهات الحوادث ، فضلاً عن المعلومات المتعلقة بسلامة الأشخاص ، مما يسمح لنا بتقدير تأثيرها على البيئة. ثم كانت هناك حاجة لدراسة أخرى للتغلب على العيوب التي صودفت في ALOHA.

Liste des abréviations

ENS : évènement non souhaité

HEH : Haoud El Hamra

OB1 : Oléoduc Bejaia 1

PK: Point Kilométrique

SP : Station de Pompage

DRGB : direction régionale de Bejaia

SONATRACH : société nationale de transport et de commercialisation des hydrocarbures

TRC : transport région centre

SPA : société par action

BIT : bureau international du travail

SPM : single point mooring (amarrage sur bouée unique)

TMB : terminal marin de Bejaia

IR : infra rouge (infra red)

UV : ultra-violet (ultraviolet)

TMN : terminal marin nord

TMS : terminal marin sud

EPA: Environmental Protection Agency's

NOAA: National Oceanic and Atmospheric Administration's (Administration nationale océanique et atmosphérique)

LII: Limite Inferieure d'Inflammabilité

EPA: Environmental Protection Agency's Office of Emergency Prévention (Bureau de prévention d'urgence de l'Agence de protection de l'environnement)

Liste des figures

Figure 1.1 : Vue de l'entrée de DRGB	2
Figure 1.2 : Le Terminal Marin de Bejaia Nord et Sud.....	3
Figure 1.3 : Le terminal nord	3
Figure 1.4 : Manifold à DRGB	4
Figure 1.5 : Tour de contrôle	4
Figure 1.6 : Terminal sud.....	5
Figure 1.7 : Salle électrique.....	5
Figure 1.8 : carte de transport région centre.....	10
Figure 2.1 : Représentation schématique de processus de feu de nappe	14
Figure 2.2 : Facteur de vue	18
Figure 2.3 : Facteur de vue plan vertical	19
Figure 3.1 : description du lieu d'accident	23
Figure 3.2 : Conditions météorologique sur ALOHA.....	29
Figure 3.3 : Processus de simulation des déversements et dispersion	32
Figure 3.4 : Cartographie des flux thermique d'un feu de nappe sur le bac R13.....	34
Figure 3.5 : Cartographie des flux thermique d'un feu de nappe sur le bac R13, avec les deux points considéré	35
Figure 3.6 : Evolution de la radiation en fonction du temps sur le manifold	35
Figure 3.7: Evolution de la radiation en fonction du temps sur la paroi N14.....	36
Figure 3.8 : Cartographie des flux thermique d'un feu de bac 4E2	36
Figure 3.9 : Cartographie des flux thermique d'un feu de bac 4E2, avec le point considéré	37
Figure 3.10: Evolution de la radiation en fonction du temps sur la paroi N14.....	37

Liste des Tableaux

Tableau 2.1 : Données des tuyaux classe A13	12
Tableau 2.2 : Données des tuyaux classe A30	13
Tableau 3.1 : caractéristiques du produit stocké.....	23
Tableau3.2 : Répartition fréquentielle, mensuelles et annuelles, des vents.....	27
Tableau3.3 : Répartition fréquentielle, mensuelles et annuelles, des températures	28
Tableau3.4 : Répartition fréquentielle, mensuelles et annuelles de l'humidité	28
Tableau 3.6: Illustration des cas d'étude de scenario	30
Tableau 3.7 : déroulement des scenarii	30
Tableau3.8 : Données d'entrée pour le calcul de diversement dans le cas d'un feu de nappe	33
Tableau3.9 : Données d'entrée pour le calcul de diversement dans le cas d'un feu de bac	33
Tableau3.10: les paramètres du feu de nappe du pétrole estimé par ALOHA	34
Tableau3.11: les paramètres du feu de bac du pétrole estimé par ALOHA	38

Références bibliographiques

- [1] : Sonatrach1991
- [2] :p.perilhon. La gestion des risques. DEMOS. Paris, 2007, p28.
- [3] : p.perilhon . Op.Cit.p30 .
- [4] :Nichan MARGOSSIAN - Aide-mémoire Risque chimique.
- [5] : rapport d'investigation accident bac R13296607932.
- [6] :P16IT03129-SAF-SP-000-002-F0.
- [7] : P16IT03129-SAF-CA-000-002-F0.
- [8]:méthode pour l'évaluation et la prévention des risques accidentels (DRA.006) -12 dispersion atmosphérique (mécanisme et outils de calcul).
- [8] :Modélisation des effets thermiques dus à un feu de nappe d'hydrocarbures liquides.
- [9] : C.PROUST- Mécanismes de dispersion et d'explosion lors de fuites d'hydrogène liquide - Rapport INERIS référencé INERIS – DRA –CPr – Mars 2000 – 11AP50 – CGR 20393.
- [10] :C.PROUST- Mécanismes de dispersion et d'explosion lors de fuites d'hydrogène liquide - Rapport INERIS référencé INERIS – DRA –CPr – Mars 2000 – 11AP50 – CGR 20393.
- [11] :S.R. HANNA (1982a) - « Guidelines for use of vapor cloud dispersion models ». Technical Information Center.U.S. Department of Energy.
- [12]:U.I.C - « Cahier n°6: Dispersion atmosphérique ». Juin 1995, Edition Chimie Promotion.
- [13] : Olivier DENOUX. CRAIM Atelier GPL/GNL- LA SCIENCE DU GNL.

- [14] :Y.RIOU (1989)- « Comment estimer la dispersion des gaz lourds ? ». EDF, Bulletin de la Direction des Etudes et Recherches. Série A - Nucléaire, hydraulique, thermique n°1, 1989, pp 23-60.
- [15] : RICHARDSON, 1920 - « Some measurements of atmospheric turbulence » Phil. Trans. Roy. Soc., London, Ser.A, vol 221 p1-28.
- [16]: F.PASQUILL (1974) - « Atmospheric Diffusion ». 1974, Ellis Horwood.
- [17]: F.P. LEES - « Loss prevention in the process industries » Chap. 15: Emission et dispersion - Volume 1 – 2ème édition.
- [18]: G.TURBELIN. (2000) - « Modélisation de la turbulence atmosphérique en vue de l'étude du chargement aérodynamique des structures soumises aux effets du vent ».
- [19] : Olivier DENOUX- CRAIM Atelier GPL/GNL: LA SCIENCE DU GNL.ppt-p21
- [20]- Méthodes pour l'évaluation et la prévention des risques accidentels (DRA-006) -12 Dispersion atmosphérique (Mécanismes et outils de calcul).
- [21]- S.R. HANNA (1982b), « Handbook on atmospheric diffusion ». Technical Information Center.U.S. Department of Energy.
- [22]- DOURY « Vade-mecum des transferts atmosphériques » Rapport DSN n°440
- [23]- D. B. TURNER 1970 « Workbook of atmospheric dispersion estimates ». Public Health Service Publication n°999-Ap-26.
- [24]- Modélisation des effets thermiques dus à un feu de nappe d'hydrocarbures liquides. Septembre 2006. Groupe de Travail Dépôt de Liquides Inflammables-GTDLI version 01.
- [25] : étude d'un système de détection /extinction automatique d'incendie TM Bejaia
- [26] : Guo Boyun « Petroleum Production Engine e ring »; Elsevier Science and Technology Books. February (2007).

- [27]: weast, r. etm .astle « CRC handbook of chemistry and physics» 60^{eme} edition floride , crc press(1979).
- [28]: Fiche pédagogique réalisés par Applica sciences « pic de pétrole et du gaz » (2007-2008).
- [29] : C.E.Chitour « les propriétés physiques des hydrocarbures et des fractions pétrolières » édition Techniptome 1(1999).
- [30] : Wuithier.P « le pétrole raffinage et génie chimique (tom e 1), Edition Technip(1972).
- [31] : Wuithier.P « distillation dans l'industrie du pétrole France », Edition Technip(1956).
- [32] : Document de TOTAL « Manuel de formation ; Course xp-pr-eq090 »; p4-97 (2007).
- [33]: Atlas, R .M .and Bartha, R « Hydrocarbon degradation and oil spill bioremediation », Vol. 13, pp.287-338.Plenum Press London (1992).
- [34]: Franennec J. P, Le prince P, Trembouze P. Et Favennec J. P « Pétrole brut- produits pétrolier», T om e 1 Technip(1998).
- [35] : Boy de la tour x « Le pétrole, au-delà du mythe », IFP, Ed. Technip(2004).
- [36] : Tissot et Welt , thèse de doctorat de l'université Pau et des pays de l'Adour « composées pétroliers» (1984).
- [37] : article « CEPII, Document de travail » n°98-08, CEPII, (1998).
- [38] : Y .Mathieu, « Estimer les réserves pétrolières, une question de méthodologie ? », Revue de l'Energie n°562, (2004).
- [39] : Maccain William D .« The Properties of Petroleum Fluids » Second edition. By Penn Well Company Publishing Company, Tulsa, Oklahoma (1990).
- [40]: X -Normand, A – Treil « industrie du raffinage du pétrole 6^{ème} édition tome 1(1985) :
- [41] : Brooke , James: article « fiche pédagogique connaissance des énergies fossiles» (1992).

[42] :IFP, Panorama 2005, « La consommation d'énergie dans le secteur de transports », Institut Français du Pétrole , (2006).

[43] :J.Kergueris et C.Saunier « Rapport d'information n°105 sur les perspectives d'évolution du prix des hydrocarbures à moyen et long terme », Sénat, (2005).

[44]- 2 - INERIS: FEUX DE NAPPE INERIS-DRA-2002-25427.