

République Algérienne Démocratique Et Populaire

Ministère De L'enseignement Supérieur Et De La Recherche Scientifique



Université M'hamed Bougara Boumerdes



Faculté Des Hydrocarbures Et De La Chimie

Département Génie Des Procédés Chimiques Et Pharmaceutiques

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

En vue de l'obtention du diplôme de Master

Filière : Hydrocarbures

Spécialité : Génie des Procédés

Option : sécurité industriel

THEME

*Les risques liés au stockage du brut et étude de
phénomène boil-over au niveau de la RTO Arzew*

Présenté par :

DERKI Mourad

Encadré par :

Mme YOUNSI

Boumerdes 2016



Remerciements



En premier lieu, nous tenons à remercier notre Dieu, notre créateur, pour le courage et la patience qu'il nous a donné pour accomplir ce travail.

Nous remercions notre professeur consultant Mme younsi pour ses orientations et conseils.

Nous adressons nos vifs remerciements à tout le personnel de complexe RTO en particulier :

➤ *Mr DAHOU AËK: Inspecteur HSE ;*

Sans oublier, Les personnel de laboratoire qui ont nous aidé avec tous ses plaisirs.

Nous tenons aussi à exprimer nos profonds remerciements à nos enseignants de la faculté des hydrocarbures et de la chimie (INH).

Enfin nos remerciements s'adressent aux membres de jury qui nous feront l'honneur de juger mon travail.

MOURAD





Dédicace

DÉDICACE

J'ai le grand honneur de dédier ce travail

A celui qui m'a fait

De moi un homme, « mon père »

A « ma mère »

A toute ma famille

A tous mes profs

A tous mes amis de l'INH et de RELIZANE

- MOURAD -



GLOSSAIRE :

BARPI : Bureau d'Analyse des Risques et des Pollutions Industrielles

TLS : Température Limite de Surchauffe

T.N.O.: The Netherlands Organisation of applied Scientific Research

CIE: Commission Internationale de l'énergie

CEI: Commission Electro technique International

ADOE: American Department of Energy

AM : Accidents Majeurs

PhD : Phénomène Dangereux

POI : Plan d'Opération Interne / Plan d'Organisation Interne

PPI : Plan de Particulier d'Intervention

SEI : Seuils d'Effets Irréversibles

SEL : Seuils des Effets Létaux

SELS : Seuils des Effets Létaux Significatifs

SGS : Système de Gestion de la Sécurité

TVR : Tension de Vapeur Reid

ZI : Zone industrielle

Installation :

Unité technique à l'intérieur d'un établissement où des substances dangereuses sont produites, manipulées ou stockées. Elle comprend tous les équipements, structures, canalisations, machines, outils, embranchements ferroviaires particuliers, quais de chargement et de déchargement, appontements desservant l'installation, jetées, dépôts ou structures analogue, flottantes ou non, nécessaires pour le fonctionnement de l'installation.

Accident Majeur :

Événement tel qu'une émission, un incendie ou une explosion d'importance majeure résultant de développements incontrôlés survenus au cours de l'exploitation d'un établissement, entraînant pour la santé humaine, à l'intérieur ou à l'extérieur de l'établissement, et/ou pour l'environnement, un danger grave, immédiat ou différé, et faisant intervenir une ou plusieurs substances dangereuses.

Danger :

Est une situation, une condition ou une pratique qui comporte en elle-même un potentiel à causer des dommages aux personnes, aux biens ou à l'environnement.

Risque :

Est la possibilité de survenance d'un dommage résultant d'une explosion à un danger. Le risque est la composante de deux paramètres : la « gravité » et la « probabilité ». Plus la gravité et la probabilité d'un événement sont élevées, plus le risque n'est élevé.

Substances dangereuses :

Substances, mélanges ou préparations, présents sous forme de matière première, de produits, de sous-produits, de résidus ou de produits intermédiaires, y compris ceux dont il est raisonnable de penser qu'ils sont générés en cas d'accidents dont les propriétés intrinsèques sont susceptibles de pouvoir provoquer des dommages pour la santé humaine et/ou l'environnement.

Limite d'élasticité :

Charge unitaire à laquelle correspond un allongement non proportionnel égal à un pourcentage prescrit de la longueur initiale entre repères.

Limite de rupture :

Charge maximum que le matériel est capable de supporter après dépassement de la limite d'élasticité. A chaque instant de l'essai, la charge unitaire correspond au quotient de la charge à la rupture, par l'aire de la section initiale de l'éprouvette.

Un réservoir est dit frangible : lorsque sous l'effet d'une surpression interne accidentelle, il se rompt au niveau de l'assemblage de la liaison robe / toit et non au niveau de la jonction robe / fond.

Chaleur de combustion :

Energie thermique dégagée par la combustion d'une unité de masse d'une substance donnée. Elle est exprimée en joules par kilogrammes (J/kg)

Chaleur spécifique :

La chaleur spécifique, ou bien chaleur massique d'échauffement, d'un corps correspond à la quantité de chaleur absorbée par 1 g de ce corps pour que sa température s'élève de 1°K.

Cette grandeur s'exprime ainsi généralement en J/kg.K

Combustible :

Susceptible de brûler. Objet pouvant brûler.

Combustion :

Réaction exothermique d'une substance avec un comburant. La combustion émet généralement des effluents accompagnés de flammes et/ou d'incandescence.

Convection :

La convection est le mode de transport de chaleur par le mouvement d'un fluide.

Effets dominos :

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

Emissivité :

L'émissivité de la flamme est un nombre sans dimension entre 0 et 1 qui traduit l'aptitude de la flamme à se comporter comme un corps noir.

Facteur de vue / de forme :

Le facteur de vue ou de forme traduit l'angle solide sous lequel la cible perçoit le rayonnement d'un émetteur.

Feu :

Combustion auto entretenue qui a été délibérément organisée pour produire des effets utiles et dont l'extension dans le temps et l'espace est contrôlée. Lorsque cette extension ne peut être contrôlée, on parle alors d'incendie.

Flammes :

Zone de combustion en phase gazeuse généralement avec émission de lumière.

Flux thermique radiatif :

Quantité de chaleur transférée par rayonnement thermique, par unité de temps. Elle s'exprime en kW.

Incendie :

Combustion autoentretenue qui se développe sans contrôle dans le temps et dans l'espace.

Inflammable :

Capable de brûler avec flamme, dans des conditions spécifiées.

Inflammation :

Première apparition de flammes. Action de provoquer une combustion avec flammes.

LII ou LIE :

Limite Inférieure d'Inflammabilité (ou Limite Inférieure d'Explosivité) correspond à la concentration d'un fluide inflammable dans l'air au-dessous de laquelle le mélange fluide/air ne s'enflammera pas.

LSI ou LES :

Limite Supérieure d'Inflammabilité (ou Limite Supérieure d'Explosivité) correspond à la concentration d'un fluide inflammable dans l'air au-dessus de laquelle le mélange fluide/air ne s'enflammera pas.

Point éclair :

Température minimale à laquelle doit être porté un matériau, un produit pour que les vapeurs émises s'allument momentanément en présence d'une flamme, dans des conditions spécifiées.

Pouvoir émissif (surfamique) ou émittance :

Flux thermique radiatif de la flamme par unité de surface. Il est exprimé en kilowatts par m² (kW/m²).

Rayonnement thermique : Transfert d'énergie par ondes électromagnétiques.

Liste des figures :

Figure I.2 : Organigramme de la SONATRACH	3
Figure I.3: réseau transport actuel.....	6
Figure.I.4 : Divisions de la TRC.....	7
Figure I.5 : Organigramme général de RTO.....	10
Figure I.6 : organigramme du département HSE.....	12
FigureI.7 : Précipitations mensuelles moyennes (station d'Arzew).....	18
FigureI.8 : répartition mensuelle et annuelle des températures(en °C).....	19
Figure.II.1. les tris modes de stockage pour des liquides avec (PEN) inf à T_{ambiante}	21
Figure II.2 Bac de stockage a toit fixe.....	24
Figure II.3 : Bac de stockage a toit flottant.....	28
Figure II.4 : bac a toit flottant, ponton annulaire.....	31
Figure II.5: boil-over d'un bac a toit flottant 813.....	40
Figure III .1 Principe de combustion d'un liquide inflammable.....	47
Figure III.2 : principe pour connaître le phénomène dangereux à considérer pour un liquide inflammable.....	48
Figure III.3 : première phase d'un boil-over début d'incendie.....	49
Figure.III.4 : deuxième phase d'un boil- over (séparation des coupes légères).....	49
Figure III.5 : troisième phase d'un boil-over (évaporation brutale de couche d'eau).....	50
Figure III.6 : quatrième phase d'un boil-over (déclenchement du phénomène).....	50
Figure III.7 : première phase d'un boil-over en couche mince.....	53
Figure III.8 : la deuxième phase d'un boil-over en couche-mince.....	54
Figure III.9 : troisième phase d'un boil-over en couche-mince.....	54
Figure IV.1 : courbe de distillation d'hydrocarbure (pétrole brut).....	62
Figure IV.2 : Influence de l'auteur de brut sur le volume de la boule de feu.....	67
Figure .IV.3 : Influence de la hauteur de brut sur la hauteur de la boule de feu.....	68
Figure IV.4 : placement schématique des notations relatives à la boule de feu.	69
Figure IV.5 : Influence de la hauteur de brut sur les distances des effets thermiques.....	72

Liste des tableaux :

Tableau 1.1 : Précipitations mensuelles moyennes (station d'Arzew).....	17
Tableau 1.2 : répartition mensuelle et annuelle des températures(en °C).....	18
Tableau I.3 : variation des fréquences des vents moyens (station d'Arzew).....	19
Tableau IV.1 : caractéristique de bac 813.....	60
Tableau IV.2 : distances de surpression.....	60
Tableau IV.3 : Calcul de volume da boule de feu pour déférents hauteur de brut.....	67
Tableau IV.4 : Calcul de hauteur de boule de feu pour déférent hauteur de brut.....	68
Tableau IV.5 : couples de constantes de pétrole brut stocké.....	70
Tableau IV.6 : Calcul des distances d'effets thermiques pour différents hauteurs de pétrole brut.....	71
Tableau IV.7 : Les caractéristiques de pétrole brut.....	73

Sommaire

Sommaire

Remerciements.....	I
Dédicaces.....	II
Glossaire.....	III
Liste des figures.....	IV
Liste des tableaux.....	V

Introduction générale	01
-----------------------------	----

Chapitre I : présentation de la zone industrielle (TRC).

I. Historique du site	02
I.1) Organigramme générale.....	03
I.2) Les activités de la sonatrach.....	04
II. Présentation de l'activité TRC (Transport par canalisation).....	05
III. Présentation de la RTO (Région transport ouest) ARZEW.....	08
III.1) Présentation générale.....	08
III.2) Organigramme de la DRGA /RTO.....	10
III.3) Les activités /missions de la RTO.....	11
III.4) Le rôle de la RTO.....	12
IV. Situation géographique de la zone d'ARZEW.....	16
IV.1) Topo morphologie.....	16
IV.2) Géologie.....	17
IV.3) Climatologie.....	17

Chapitre II : Généralité sur les bacs de stockage

I. Introduction	20
II. Modes de stockages.....	20
II.1) Liquides volatils qui ne bouillent pas à T_{ambiante}	20
II.2) Liquides volatils qui bouillent à des températures inférieures ou égales à la température ambiante.....	20
III. Réservoirs atmosphériques.....	22
III.1) Définition.....	22
III.2) Réservoirs a toit fixe	23
III.3) Réservoirs a toit flottant.....	26
IV. Les différents phénomènes dangereux liés au stockage :.....	34
IV.1) le feu et l'incendie :.....	35
IV.2) Froth-over.....	36
IV.3) UVCE « unconfind vapor could explosion ».....	36
IV.4) Explosion de la phase gazeuse d'un bac	37
IV.5) Effet de vague	37
IV.6) Les effets domino	38
IV.7) Le BLEVE	39
IV.8) Le boil-over.....	39
V. La prévention et la protection contre ces phénomènes dangereux	40

Sommaire

V.1) Sources d'inflammation	40
V.2) Information et formation	41
V. 3) Actions de prévention au niveau des réservoirs	41
V.4) Action de protection	43
V.5) Action réflexe lors d'incendie	43
VI. Les équipements anti-incendie	43
VI.1) Détection gaz	43
VI.2) Détection incendie	44
V.3) inefogage	44
VI.4) Système déluge	44

Chapitre III : Généralité sur le phénomène boil-over.

I. Introduction.....	45
II. Le boil-over classique.....	45
II.1) Définition du phénomène boil-over classique.....	45
II.2) Conditions de formation d'un boil-over.....	46
II.3) Onde de chaleur.....	46
II.4) Les différents phases d'un boil-over.....	49
II.5) Les conditions d'occurrence du phénomène boil-over classique.....	51
III. Le boil-over couche mince	52
III.1) Définition du phénomène boil-over en couche mince.....	52
III.2) Les différentes étapes conduisant à un boil-over en couche mince.....	53
III.3) Conditions d'occurrence du boil-over en couche mince.....	54
IV. Conclusions sur les boil-over classique et en couche mince.....	55

Chapitre IV : calculs de boil-over classique

I. Introduction.....	56
II. Calcul le facteur de propension au phénomène boil-over	56
II.2) Application numérique	56
III. Modélisation de boil-over	57
III.1) Les effets de la surpression	57
III.2) Détermination de la quantité d'hydrocarbure participant à la formation de la boule de feu	60
III.3) Estimation des caractéristiques de la boule de feu	65
III.4) caractérisation des effets du rayonnement thermique de la boule de feu.....	69
IV. Interprétation des résultats.....	74
Conclusion générale recommandation	73

Annexes

Bibliographies



Introduction

Introduction générale

Ces dernières décennies ont été un théâtre de catastrophes et d'accidents majeurs alertant les consciences collectives sur les risques générés et encourus au quotidien.

En effet, l'Algérie a été touchée directement ou indirectement par des catastrophes collectives multiples (inondation, séismes, accidents industriels,...) qui ont provoqué des pertes humaines, matérielles et économiques estimées à plusieurs milliards de dinars.

Parmi ces catastrophes qui se sont gravées dans la mémoire des ouvriers et des populations riveraines on peut citer :

1. l'incendie du complexe de liquéfaction de gaz naturel de Skikda le 19-01-2004 et qui a engendré la destruction de 50% des installations et la perte de 27 agents ainsi qu'une réduction du pouvoir de production et d'exploitation de GNL vers l'étranger.
2. l'incendie au niveau des tours de refroidissement du complexe RA1K (raffinerie de Skikda).
3. l'incendie de deux bacs S105 et S106 au niveau du complexe RTE (région de transport est), qui a causé la mort de 02 agents et une dizaine de blessés.
4. l'incendie de bac de stockage de Skikda.

La sécurité industrielle est devenue un enjeu primordial avec le développement des différents secteurs technologiques d'où plusieurs études ont été menées pour éviter les conséquences humaines et matérielles de ces catastrophes. C'est dans ce contexte que s'inscrit notre étude qui concerne les risques liés aux stockages de pétrole brut dans un bac atmosphérique. Ce travail se compose des chapitres suivants :

- Le premier chapitre comporte la présentation de lieu de stage (TRC ARZEW).
- Le deuxième chapitre représente les différents modes et bacs de stockage et les risques liés au stockage de pétrole brut.
- Dans le troisième, on a fait une généralité sur le phénomène boil-over.
- En fin, on a fait une modélisation et des calculs sur le phénomène boil-over.



CHAPITRE-I-

**Présentation de la zone TRC
ARZEW**

I. Historique du site :

SONATRACH est une compagnie étatique algérienne et un acteur international majeur dans l'industrie des hydrocarbures. Le groupe pétrolier et gazier est classé 1ère en Afrique et 12ème dans le monde en 2013, toutes activités confondues, avec un chiffre d'affaires à l'exportation de plus de 63 milliards de US\$. Elle est 4ème exportateur mondial de GNL, 3ème exportateur mondial de GPL et 5ème exportateur de Gaz Naturel.

L'aventure de l'exploration pétrolière en Algérie remonte au dernier quart du 19ème siècle, avec les premières explorations dans le Nord, en 1877, dans la région d'Ain Zeft, près de Relizane, dans l'Ouest de l'Algérie. La France coloniale crée en 1946 la SNREPAL et lance en 1949 l'exploration pétrolière au Sahara, puis découverte du gisement de Hassi-Messaoud en 1956. Et 1961, lance le premier Gazoduc GZ0 « Hassi R'mel-Arzew ».

Le 31 décembre 1963, par Décret Présidentiel, le N° 63 – 491 du 31/12/1963, l'Etat Algérien décida de créer la SONATRACH, la Société Nationale de Transport et de Commercialisation des Hydrocarbures dont l'objet social, le transport et le commerce, répondait aux tâches et aux limites historiques de l'époque.

Après l'indépendance, et à la demande de Sid-Ahmed Ghazali, Ciné crée en 1964 le logo de Sonatrach et la première école algérienne de graphisme.

Très vite, le champ d'action de la compagnie nationale s'élargissait et après la construction de son premier oléoduc, le Haoud El Hamra – Arzew en 1964/65, Sonatrach allait se lancer dans la recherche et l'exploitation des hydrocarbures, en appui sur la détermination de l'Etat algérien à rééquilibrer le contenu des Accords d'Evian. Sonatrach est alors devenue par suite du Décret du 22 septembre 1966, « Société Nationale pour la Recherche, la Production, le Transport, la Transformation et la Commercialisation des Hydrocarbures ».

Avec la nationalisation du domaine des énergies le 24 février 1971, et au fil du temps elle devient l'une des puissantes entreprises pétrolières dans le continent africain contribuant ainsi à un développement économique et social du pays.

Adoptant une stratégie de diversification, Sonatrach se développe aussi bien dans les activités de génération électrique, d'énergies nouvelles et renouvelables, de dessalement d'eau de mer, de recherche et d'exploitation minière.

Poursuivant sa stratégie d'internationalisation depuis 1992, Sonatrach opère en Algérie et dans plusieurs régions du monde : Afrique (Mali, Niger, Libye, Egypte), Europe (Espagne, Italie, Portugal, Grande Bretagne), Amérique Latine (Pérou) et U.S.A.

I.1) Organigramme général :

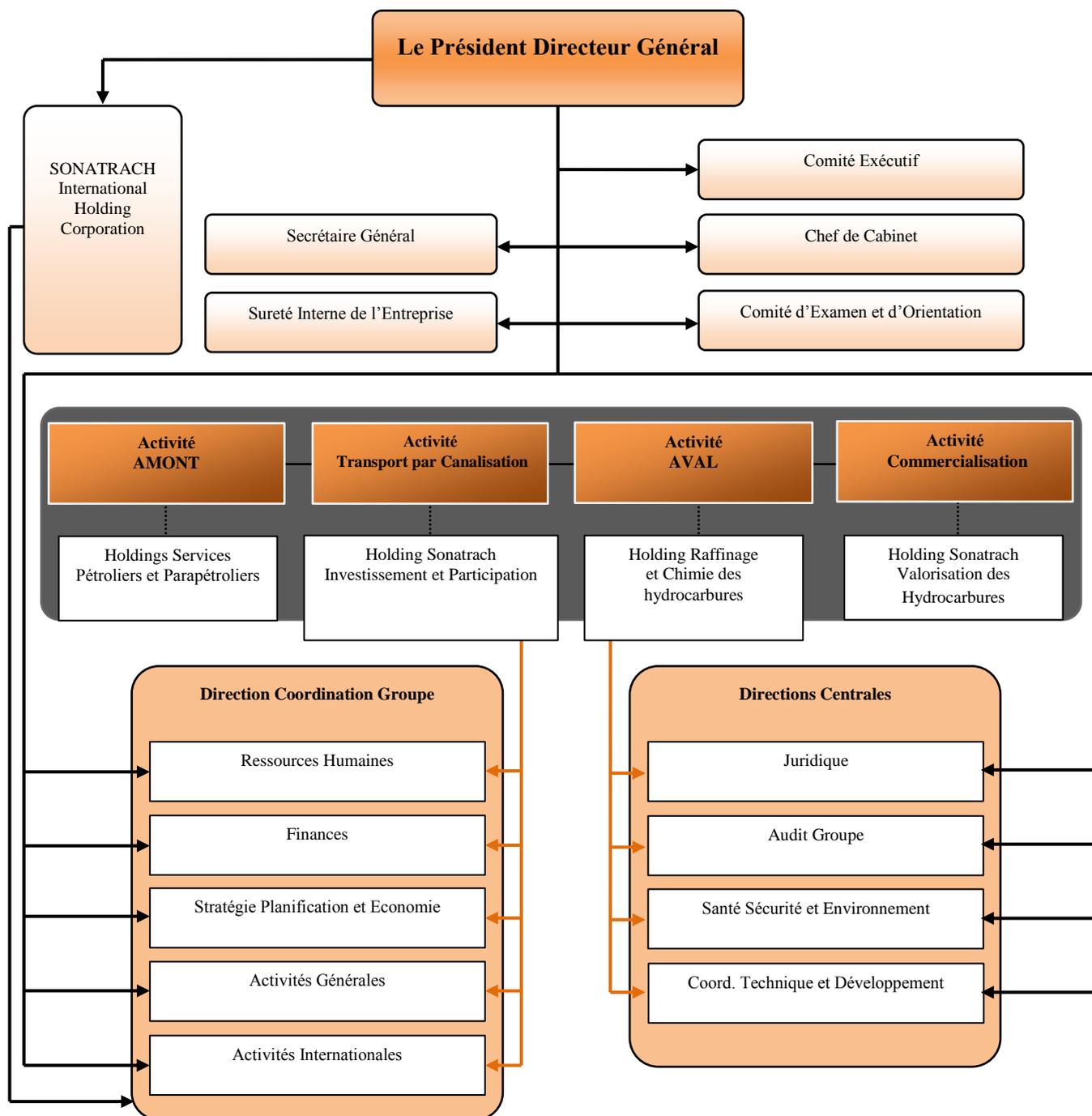


Fig I.2 : Organigramme de la SONATRACH.

I.2.) Les activités de la Sonatrach :**I.2.1) Activité Amont :**

L'activité recouvre les activités de recherche, d'exploration, de développement et de production d'hydrocarbures. Celles-ci sont assurées par Sonatrach seule ou en association avec d'autres compagnies pétrolières.

Presque la totalité des réserves découvertes à ce jour se situe dans la partie Est du Sahara. La répartition géographique sur la base d'un découpage du domaine minier en plusieurs provinces pétrolières plus ou moins homogènes, donne ce qui suit :

- 67% des réserves en huile et en gaz sont renfermées dans les provinces de Oued Mya et de Hassi Messaoud, où sont situés les deux gisements géants de Hassi Rmel (gaz) et Hassi Messaoud (huile) ;
- Le bassin d'Illizi occupe la 3ème position avec 14% des réserves initiales en place, Puis viennent les bassins de Rhourde Nouss (9%), Ahnet Timimoun (4%) et le bassin de Berkine.

I.2.2) Activité Transport par Canalisation :

L'Activité assure l'acheminement des hydrocarbures (pétrole brut, gaz naturel, GPL et condensat) et dispose d'un réseau de canalisations de près de 19599 km en 2013

Il a été procédé en 2010 à la mise en service des projets de gazoduc GZ4 phase III « Moctaa Douze – Béni Saf » destiné à alimenter le projet MEDGAZ et de l'oléoduc G.P.L LZ2 « Hassi R'Mel – Arzew ».

En matière de volumes transportés, près de 148 Millions TEP ont été évacuées vers le Nord en 2011.

I.2.3) Activité Aval :

L'activité Aval a en charge le développement et l'exploitation de la liquéfaction de gaz naturel, la séparation de GPL, le raffinage, la pétrochimie et la valorisation des gaz industriels.

L'activité Aval à également à travers le Holding Sonatrach Activités Industrielles Externes, la gestion de l'ensemble des projets hors hydrocarbures.

I.2.3) Activité Commercialisation :

L'activité Commercialisation a pour missions l'élaboration et l'application de la stratégie de Sonatrach en matière de commercialisation des hydrocarbures sur le marché intérieur et à l'international par les opérations de trading et de shipping.

Ces opérations sont menées en coopération avec les filiales NAFTAL pour l'approvisionnement du marché national en produits pétroliers et gaziers (GPL), HYPROC S.C pour le transport maritime de ces produits et COGIZ pour la commercialisation des gaz industriels.

II. Présentation de l'activité TRC (transport par canalisation) :

Le marché international représente près de 70% des ventes d'hydrocarbures liquides et gazeux. En effet, Sonatrach s'est donné les moyens de se positionner en qualité de groupe pétrolier et gazier international. Sa stratégie est réduite par une participation à la promotion de son produit et à leur commercialisation directe sur les marchés mondiaux.

SONATRACH par l'activité TRC gère un réseau de canalisations d'une longueur totale d'environ 16000 km intégrant deux gazoducs transcontinentaux, l'un vers l'Espagne via le Maroc, l'autre vers l'Italie via la Sicile.

L'activité Transport par Canalisations, TRC de la SONATRACH est en charge d'acheminer le pétrole brut, le gaz et les condensats vers les ports pétroliers, les zones de stockage du groupe et les pays d'exportation.

Le transport par canalisation est une activité névralgique qui constitue le véritable intermédiaire entre l'amont et l'aval de la chaîne production, transformation et commercialisation.

A ce titre son objectif vise dans sa finalité la liaison entre les centres de production et les centres de commercialisation et ce dans des conditions optimales (maximisation des prestations de services et minimisation des coûts).

Au sein du groupe SONATRACH, l'activité transport par canalisation TRC est en charge de l'acheminement des hydrocarbures (liquide et gazeux) caractérisé par plusieurs kilomètres

de pipelines en exploitation de : Pétrole brut, Gaz naturel, GPL Condensat, Depuis les zones de production jusqu'aux :

- Zones de stockage.
- Complexe GNL, GPL.
- Raffineries.
- Ports pétroliers.



Fig I.3: réseau transport actuel.

L'activité transport par canalisation à la charge de définir, de réaliser, d'exploiter, d'assurer la maintenance, de faire évoluer le réseau de canalisation ainsi que la différente installation qui s'y rattache.

TRC veille également au respect des conditions de sécurité et de préservation de l'environnement, et assure la régulation entre la production et la commercialisation.

Placée sous l'autorité d'un vice-président, elle regroupe trois divisions :

- **La division maintenance :**

Elle définit au plus haut niveau les politiques et stratégies de la maintenance qui est d'une importance primordiale pour le réseau de transport et qui mobilise chaque jour des moyens humains et matériels immenses.

- **La division études et développement :**

Elle vise à trouver des solutions nouvelles et plus développées pour le transport par canalisation.

- **La division exploitation :**

Afin de mieux gérer le trafic, la maintenance et distribution aux différents clients nationaux et internationaux.

La division exploitation gère en sept (07) directions :

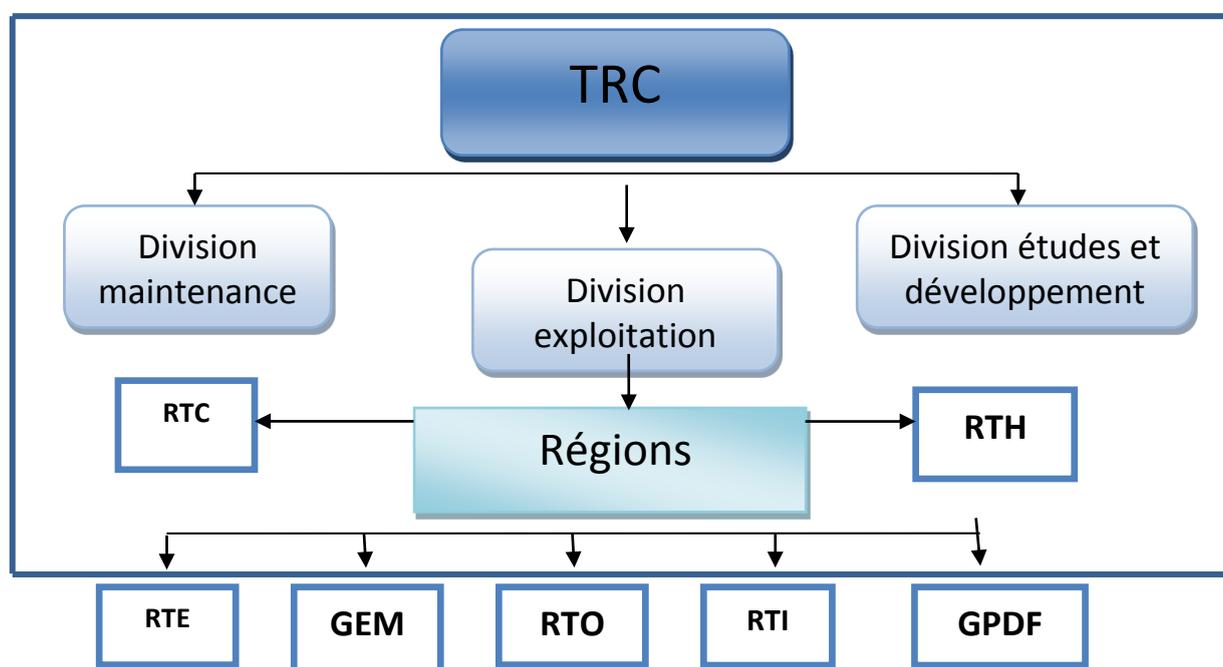


Fig.I.4.Divisions de la TRC.

RTH: Région de Transport de HAOUD EL HAMRA.

RTE: Région de Transport Est.

RTO: Région de Transport Ouest.

RTI: Région de Transport d'IN AMENAS.

RTC: Région de Transport Centre.

GPDF: Gaz Pedro Duran Farrel (EL ARRICHA vers Portugal).

GEM : Gaz Enrico Matei (vers l'Italie).

III. Présentation de la RTO (Région Transport Ouest) ARZEW:

III.1) présentation de générale :

Située dans la zone industrielle d'Arzew, la *Région Transport Ouest*, se charge de l'acheminement du pétrole brut et le condensât depuis le site de stockage de Haoud El Hamra – Hassi Messaoud, du gaz naturel et le GPL depuis les champs de production de Hassi R'Mel, vers les terminaux de livraison et chargement d'Arzew.

La RTO a pour seconde mission d'entretenir et de maintenir l'exploitation de ses pipes qui consistent plus de 5400 Km linéaire répartis comme suit :

❖	Gaz naturel	2030 Km
❖	Pétrole brut	1600 Km
❖	Condensat	506 Km
❖	GPL	1304 Km

Les quatre produits sont transportés par neuf (09) canalisations et passent par 08 groupes de stations :

11 canalisation ou pipes lignes :

- ❖ 05 pipes gazoducs (GZ0-GZ1-GZ2-GZ3-GZ4)
- ❖ 02 pipes de pétrole brut (OZ1-OZ2) (qui est le lieu de nom stage)
- ❖ 03 pipes GPL (LNZ1- LZ1-LZ2)
- ❖ 01 pipe de condensat (NZ1)

08 groupes de station :

- ❖ 03 groupes station de pompage (SP4-SP5-SP6)
- ❖ 05 groupes stations de compression (SC1-SC2-SC3-SC4-SC5)

Les dix pipes viennent en parallèle de Hassi R'Mel (PK 0), une fois arrivées à El-Matmar (w.Relizane) (PK 435) elles se divisent en deux groupes.

Le premier : ancien trace (GZO - OZ1 - LNZ1 - GZ1) par la Mactaa et le deuxième nouveau trace (NZ 1 - GZ2 - GZ3 - LZ 1 -OZ2-GZ4) par Mohammedia, pour se regrouper de nouveau a Arzew.

Ainsi le faisceau long une distance de 505 km.

- ❖ La Région Transport Ouest constitue un maillon important dans la chaîne des hydrocarbures aussi bien au niveau national qu'international.
 - Au niveau national elle alimente :
 - en gaz naturel : l'ouest algérien, une partie du centre du pays en plus de la grande zone industrielle d'Arzew.
 - en pétrole brut : la raffinerie d'Arzew
 - en GPL : les complexes GP1Z, GP2Z
 - Au niveau international elle alimente :
 - En gaz naturel : l'Europe via le Medgaz pour une capacité de 8 milliards de m³/an.
 - En pétrole brut : 28 millions de tonnes (Etat Unis, Europe, Asie)
 - En condensat : 07 millions de tonnes (Etat Unis, Europe)
- ❖ Les grandes missions sont :
 - La réalisation, l'exploitation, la maintenance et l'évolution de son réseau de canalisation et ce grâce à ces machines de pompage, de compression et de ces équipements de stockage.
 - Le transport des hydrocarbures liquides et gazeux de Hassi R'mel vers le pôle industriel d'Arzew
 - Juste après sa création le 31/12/1963, Sonatrach se voit confiée par l'Etat Algérien en 1964, sa première mission : la construction et la mise en service de l'oléoduc OZ.1 28 " reliant Haoud El Hamra à Arzew, inauguré officiellement le 19 mars 1966 par feu le Président Houari BOUMEDIENE.
 - L'Oléoduc 28 " OZ.1 est le premier ouvrage industriel réalisé par la Sonatrach et le troisième oléoduc construit en Algérie dans le but de transporter en phase finale 21 millions de tonnes par an de pétrole brut produit par les champs du sud algérien.
 - Le 07/11/1965 : Début du remplissage de la ligne
 - Le 08/02/1966 : Arrivée du pétrole au Terminal d'Arzew à 05h10
 - 0/02/1966 : Début de chargement du premier pétrolier JABETTA à 01h42.
- ❖ La Région Transport Ouest est représentée par son Directeur Régional, Monsieur Abdelhamid KHETTABI depuis le 14/05/2012.

III.2) Organigramme de la DRGA/RTO :

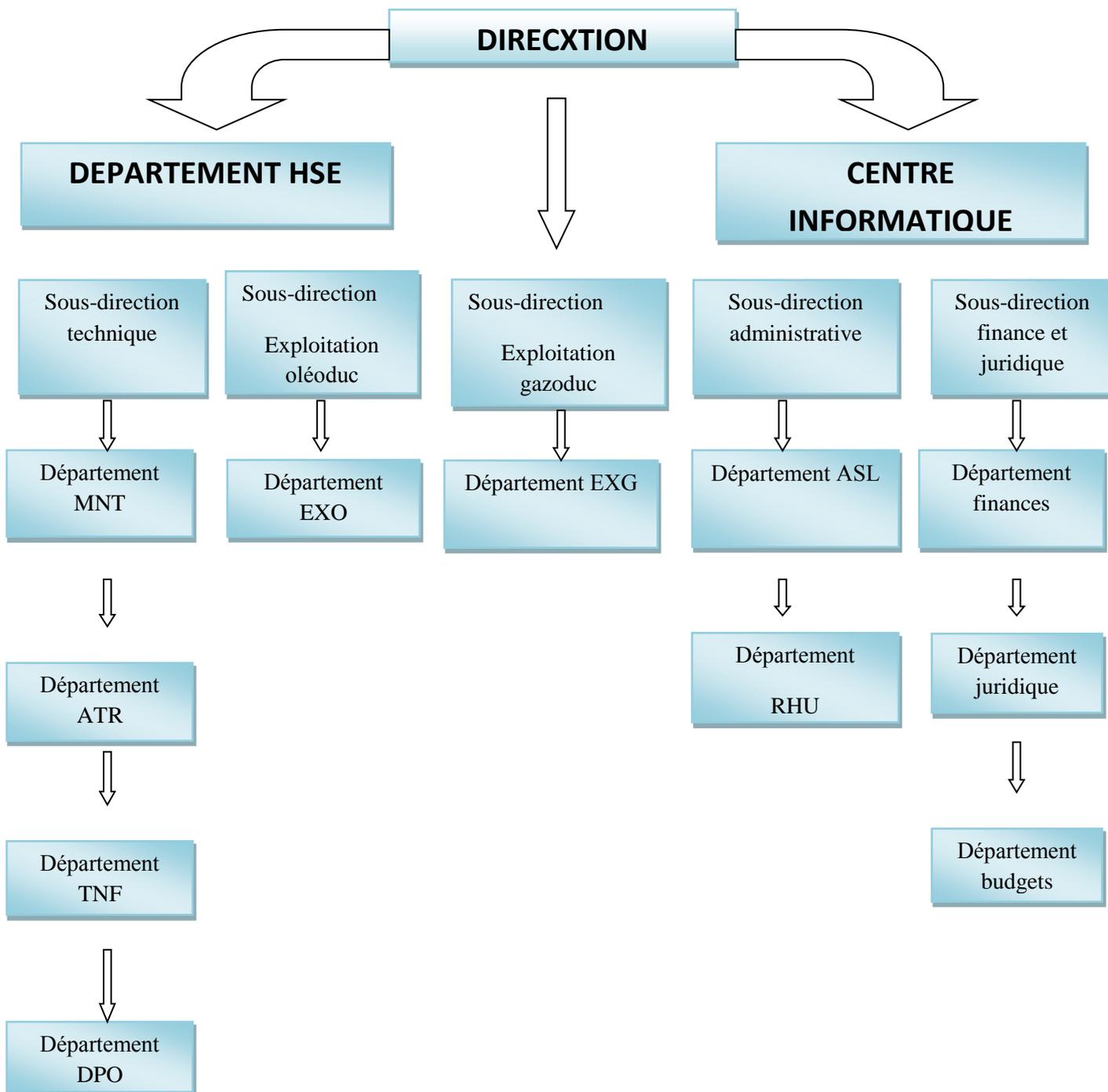


Fig I.5 : Organigramme général de RTO.

III.2.1) Description de l'organigramme :

Dépt : Département.

ASL : Administration et social.

RHU : Ressources humaines.

MOG: Moyens généraux.

EXG: Exploitation gazoducs.

EXO: Exploitation oléoducs.

MNT: Maintenance.

PTO: Protection des ouvrages.

TNF: Travaux neufs.

ATR : Appros et transport.

SDG : sous direction gazoducs.

SDO : sous- direction oléoducs.

SDT : sous-direction technique.

SDFJ : sous- direction finances et budget.

SDA : Sous-direction administrative.

NB : le département HSE, sûreté interne et le centre informatique sont directement sous la coupe de la direction régionale.

III.3) les activités /missions de la RTO :

La RTO a pour mission principale le transport des hydrocarbures liquides et gazeux de Hassi R'mel, Hassi Massoud vers le port industriel d'Arzew, elle est chargée de :

- ❖ L'exploitation, la maintenance et la production du patrimoine de la direction.
- ❖ L'élaboration et la réalisation des programmes et budget annuel.

- ❖ Le transport, le stockage et livraison des hydrocarbures liquides et gazeux.
- ❖ La suivie et la réalisation des projets d'extension et valorisation des potentiel existant.

III.4) Rôle des structures de la R.T.O :

III.4.1) Organisation de la sécurité (HSE) :

Le Département HSE se compose de 3 services et d'un secrétariat présenté dans la (figure 1.5) : Département HSE se compose de 3 services et d'un secrétariat présenté dans la figure 1.5

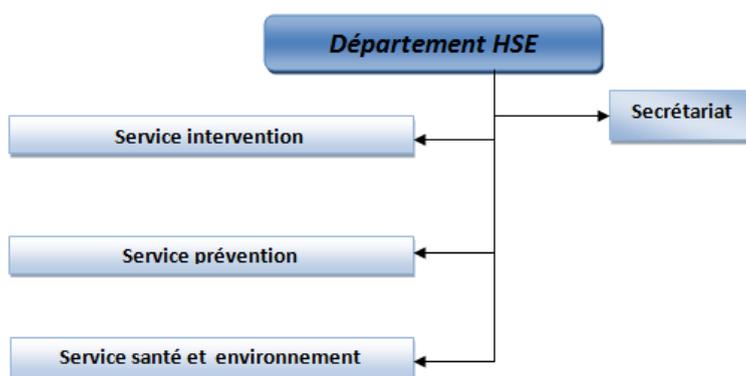


Fig I.6 : organigramme du département HSE.

III.4.1.1) Le service prévention :

Il a pour tâche :

- ✓ Inspection et établissement des rapports au niveau des différents sites de la région transport Ouest « Ouvrages concentrés, Bases de vie, Blocs administratifs et installations des centres de compression et pompage ».
- ✓ Évaluation des risques professionnels des différents sites et lieu de la région.
- ✓ Investigation, calcul des statistiques et établissement des rapports de tous les différents Accidents de travail survenus dans les sites de la région.
- ✓ Suivi, analyse des risques et signature des permis de travail de tous les travaux effectués dans : Terminaux arrivés, centres de pompage, centres de compression, Blocs administratifs et les Bases de vie.
- ✓ Assistance et surveillance aux opérations spéciales : Opération de raclage, mise en gaz

- ✓ des nouveaux ouvrages concentrés et piquage en charge.
- ✓ Établissement des plans de prévention et sensibilisation du personnel sous-traitant « entreprises extérieures ».
- ✓ Programmation, réunion, visite de différents sites de la région et levés des réserves durant :
 1. Commission d'hygiène et sécurité.
 2. Commission élargie d'hygiène et sécurité.
 3. Commission extraordinaire d'hygiène et sécurité.
- ✓ Vérification des différents types d'extincteurs : (Gaz carbonique, eau et poudre) tous les six mois.
- ✓ Récoltes des informations mensuelles et établissement des rapports :
 1. Rapports d'environnement.
 2. Rapports d'activité HSE.
 3. Rapports d'incidents
 4. Rapports HSE.

III.4.1.2) Le service intervention :

Il a pour rôle d'intervention cas d'accident l'entretien des équipements utilisés pour l'intervention fixe et mobile, parmi ses tâches :

- Étudier les besoins des sites RTO en matière d'équipements de lutte contre l'incendie.
- Participer, le cas échéant, aux enquêtes sur les sinistres et à l'exploitation des résultats des enquêtes en vue d'éviter des sinistres similaires.
- Former et entraîner le personnel du service pour les actions d'interventions pour L'utilisation des équipements spéciaux.
- Diriger les interventions en cas de sinistre.
- Établir et réaliser un programme de tests et d'exercices périodiques pour les agents d'intervention.
- Améliorer la performance des équipes d'intervention.
- S'assurer de la vérification systématique de tout l'équipement de lutte
- contre l'incendie.

III.4.1.3) service santé-environnement :

- Contact permanent des différentes Direction environnement des willayas de la Région « dossiers environnementaux ».
- Établissement des rapports mensuels de l'activité environnement.
- Recensement des déchets « batteries, pneus et huiles usagées ».
- Inspection mensuelle des points d'observation des eaux souterraines.
- Suivi des plans d'actions concernant des audites environnementaux et des études de danger.
- Établissement des rapports d'incidents « en cas des fuites des hydrocarbures liquides (condensat et brut) est qui touche l'environnement.
- Recensement des produits chimiques.
- Acquisition du matériel anti-pollution (citernes pour récupération des produits déversés, des bâches néoprène).
- Établissement des Budgets pour les besoins du Département HSE de la Région RTO.
- Analyse des eaux de rejets pour les séparateurs API.
- S'assurer le bon fonctionnement des stations d'épuration des eaux domestiques des centres de compression et de pompage.
- Inspection, rondes et Audites régulières des différents sites de la région.
- Évaluation permanente des aspects environnementaux significatifs.

III.4.2) Centre Informatique (INF) :

Il se répartie en deux groupes :

- Groupe Réseaux : qui gère le système d'exploitation Unix et réseaux.
- Groupe Développement : qui s'occupe de la conception et la réalisation des logiciels spécifiques pour chaque structure (CIMIX,...)

III.4.3) Sûreté Interne de l'Entreprise (SIE) :

Cette structure est chargée de la protection des installations du patrimoine.

III.4.4) Sous-Direction Gazoducs (S.D.G) :

Elle est chargée du transport des quantités de gaz, de l'exploitation des stations de compression, des terminaux, de la comptabilité du gaz et de l'inspection des ouvrages. Ses Service sont :

- Les Centres de Compression.
- Les Terminaux Arrivés.
- Le Département Exploitation Gazoducs qui gère les services Lignes, Trafic et le Service Mesure et Comptage.

III.4.5) Sous-Direction Oléoducs (S.D.O) :

Cette structure est chargée de transporter les quantités liquides (Pétrole, Condensât, GPL), ainsi que l'exécution des programmes de transport confiés à la région dans le domaine des Hydrocarbures Liquides et des livraisons vers les différents complexes de la Zone Industrielle d'Arzew ainsi que le chargement à partir des deux ports d'Arzew et Béthioua. Parmi ses services :

- Les Centres de Pompage.
- Les Terminaux Arrivée Oléoducs.
- Le Département Oléoduc, qui gère les services Trafic, Ligne, Installation Portuaire et le Service Laboratoire.

III.4.6) Sous-Direction Finance et Juridique (S.D.F.J) :

Structure qui collecte les différentes informations en matière de finances, juridiques et les présentes sous forme de tableaux de bord à la Direction. Elle dirige :

- Département Finance.
- Département Juridique.
- Département Budget et Contrôle.

III.4.7) Sous-Direction Administration (S.D.A) :

Son but est d'assister le Directeur et les structures dans le domaine de la gestion du personnel. Elle dirige :

- Le Département Ressources Humaines.
- Le Département Moyens Généraux.
- Le Département Administration et Social.

III.4.8) Sous-Direction Technique (S.D.T) :

L'activité de la sous-direction est l'étude technico-économique, la maintenance des

machines et des installations techniques. Elle gère :

- Le Département Approvisionnement et Transport.
- Le Département Protection des Ouvrages.
- Le Département Maintenance.
- Le Département Travaux Neufs

IV. Situation géographique de la zone d'Arzew :

La zone d'Arzew est située à environ deux kilomètres au sud/est de la ville d'Arzew et intérieur de la zone industrielle. Tout juste au nord de la raffinerie sur le plateau du Mahgoun dominant la baie d'Arzew sur une hauteur 60m au-dessus du niveau de la mer. Le terrain s'affaisse brusquement à l'est de l'installation vers la Camel et l'unité de RA2 Z(GPL) L'emplacement de forure rectangulaire, son axé étant nord-sud, sa dimension étant de 750*360m donnant une superficie de 27 hectares. Il est limité au nord par un terrain vague en peut au sud se trouve la raffinerie et à l'ouest face à l'entrée principale se situe la FIR (force d'intervention rapide)

Le lange du côté sud-ouest, il y a un passage d'une voie ferrée pour l'éventuel transport ferroviaire ;

IV.1) Topo morphologie :

Les relie qui constituent le territoire de Arzew sont fermés d'une topographie particulièrement assez homogène, avec présence de deux systèmes distincts :

- **Des plaines littorales :** occupant la partie nord de la commune, et s'étendant jusqu'à la mer vers le nord au demain Mohamed Bouras vers le sud- ouest.

Ce système est caractérisé par des pentes très faibles orientées vers le sud de 0,3% et par des attitudes inférieures à 50 mètres.

- **Des plaines centrales et collines :** Constitués de nombreux replats topographiques avec des altitudes variant avec 50 mètres et 150 mètres en descendant avec des pentes douces. Ce système est marqué par la présence de nombreux domaines, localisé principalement dans la plaine de Gourirat et la plaine des marais de la mactaa. Néanmoins, la présence du système montagneux au niveau d'Arzew est assez

importante, c'est-à-dire : le djebel Gurtin cite à la limite ouest de l'Arzew et djebel Abayet et Kadi à la limite Est de l'Arzew,

IV.2) Géologie :

Selon la carte géologique de la région, les formations géologiques prédominantes au niveau la zone industrielle d'Arzew sont les suivantes :

- La partie nord correspond à la zone de plaines avec des formations de niveau pléistocène marin (première période de l'ère quaternaire) et néanmoins de miocènes supérieurs. Constituée généralement par des lumachelles marines (strombes). De dunes consolidées et de marnes grises.
- La partie centrale relative à la zone de plaines et de collines est développée sur des formations de niveau quaternaire continental, constituée par des carapaces calcaires recouvertes de dépôts divers.

IV.3) Climatologie :

Le climat de la zone industrielle d'Arzew apparie au domaine méditerranéen, caractérisé généralement par un climat semi-aride doux.

➤ Les précipitations :

Mois	Sep	Oc	Nov	Déc	Ja	Fév	Mar	Av	Mai	Jui	Juil	Aou	Année
Hauteur de pluies (mm)	11	30	55	57	46	33	28	20	22	5	1	2	310

Tableau 1.1 : Précipitations mensuelles moyennes (station d'Arzew).

La région de la zone industrielle d'Arzew est caractérisée par un pluviomètre avec une moyenne annuelle assez faible de l'ordre de 310 (mm). Cependant, la répartition de cette pluviométrie sur les différentes de l'année est très variable, à savoir : le décembre est le plus pluvieux, avec 57 mm, par contre le mois de juillet avec 01mm enregistre la valeur la plus faible des précipitations.

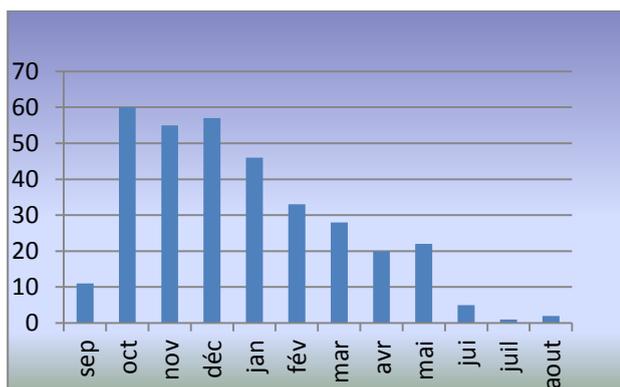


Fig I.7 : Précipitations mensuelles moyennes (station d’Arzew).

On relève deux périodes distinctes, c’est-à-dire :

- ❖ Une période pluvieuse et humide allant d’octobre à février, avec une précipitation mensuelle qui varie entre 33 mm et 57 mm.
- ❖ Une période sèche s’étalant du mois de mars à septembre caractérisé par une précipitation très faible et sous forme d’avers.

➤ **La température :**

L’analyse des données de la station d’Oran fait montre de la situation suivante:

Mois	Sep	Oct	nov	déc	Jan	fév	mar	avr	Mai	Juin	juil	aou	année
Min	20	16.4	12.6	9.6	9.1	9.8	10.9	12.9	15.5	18.5	21	22	14.9
Moy	23.3	19.2	16.1	13.2	12.4	13.3	14.6	16.6	19.1	21.8	24	25.4	18.35
Max	26.7	23.5	19.6	16.9	15.8	16.9	18.3	20.3	22.6	25.1	28	28.7	21.8

Tableau 1.2 : répartition mensuelle et annuelle des températures(en °C).

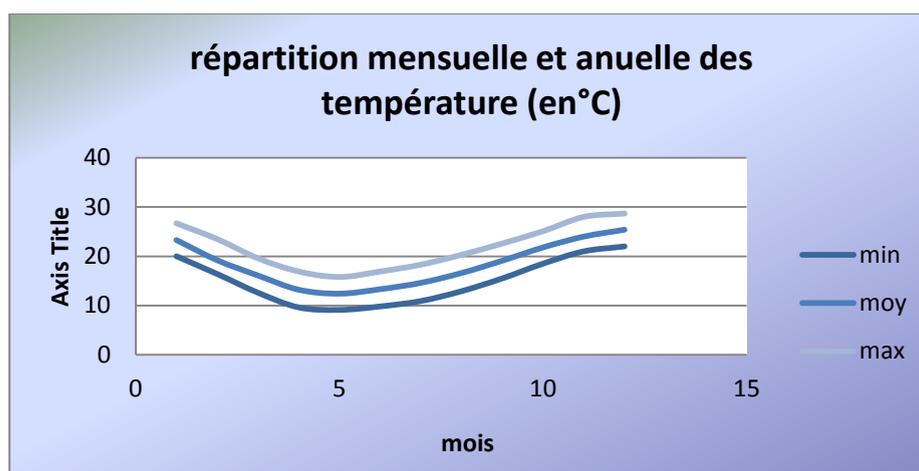


Fig I.8 : répartition mensuelle et annuelle des températures(en °C).

Deux périodes peuvent être distinguées :

- ❖ La première période allant de novembre à avril (hiver, printemps), fraîche et humide avec des valeurs thermiques oscillant entre 12,45°C et 16.10°C.
- ❖ La secondaire période s'étalant entre le mois de mai à octobre (été, automne) plutôt chaude et sèche avec bien entendu un pic en juillet/Août (24.35°C et 25.35°).

Par ailleurs, la température moyenne interannuelle est de 18.35C.

- **Les vents** : Les vents dans cette région sont très fréquente, surtout durant on hivernal, leurs directions dominantes sont celle du sud-ouest (SW) à27% et puis du nord(N) à20.6°avec cependant des fréquences secondaires, de l'Ouest (17.9%) et du Nord- Est (16.3%)

Le sirocco (vent chaud), souffle souvent en été en prouver du sud avec une moyenne de10 jours par un, réparti entre juin, juillet et août tendirent qui les mois de juillet et août sont en général les mois les plus calmes de l'année.

Par ailleurs, les vents de cette région soufflent avec des vitesses qui vannent entre 2.1 et 3.5 m/s.

Direction	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
Fréquence	20.6	16.3	05.5	01.20	05.2	27.5	17.9	06.2

Tableau I.3 : variation des fréquences des vents moyens (station d'Arzew).



CHAPITRE-II-

Les risques liés au stockage

I. Introduction :

La géométrie des réservoirs dépend étroitement de la nature du produit stocké et de sa volatilité à la température de stockage. Cette volatilité étant connue, différents modes de stockage peuvent être envisagés. On peut les classer en fonction de la pression et de la température de fonctionnement du liquide stocké, compte tenu de la relation qui existe entre ces deux paramètres.

II. Modes de stockage :

II.1) Liquides volatils qui ne bouillent pas à température ambiante :

Leur point normal d'ébullition est supérieur à la température ambiante et leur tension de vapeur absolue à température ambiante est inférieure à 1.013 bar. Le stockage s'effectue sous pression atmosphérique ou sensiblement atmosphérique à température ambiante (stockage libre).

II.2) Liquides volatils qui bouillent à des températures inférieures ou égales à la température ambiante :

- ❖ Leur point normal d'ébullition est inférieure ou égal à la température ambiante et leur tension de vapeur absolue à température ambiante est supérieure ou égale à 1.013 bar. Trois modes de stockage peuvent être envisagés :

- Le stockage sous pleine pression **Pp** à température ambiante, **θa** (stockage libre).
- le stockage semi réfrigéré sous pression **Pred** et température **θred** réduites (stockage à température contrôlée).
- Le stockage réfrigéré ou cryogénique (au **PNE**) sous pression atmosphérique P_{atm} et à température d'ébullition **θ_{eb}** (stockage à température contrôlée).

Une illustration de ces trois modes de stockage est donnée par la figure **II.1** pour quelques produits dont le **PNE** est inférieur à la température ambiante.

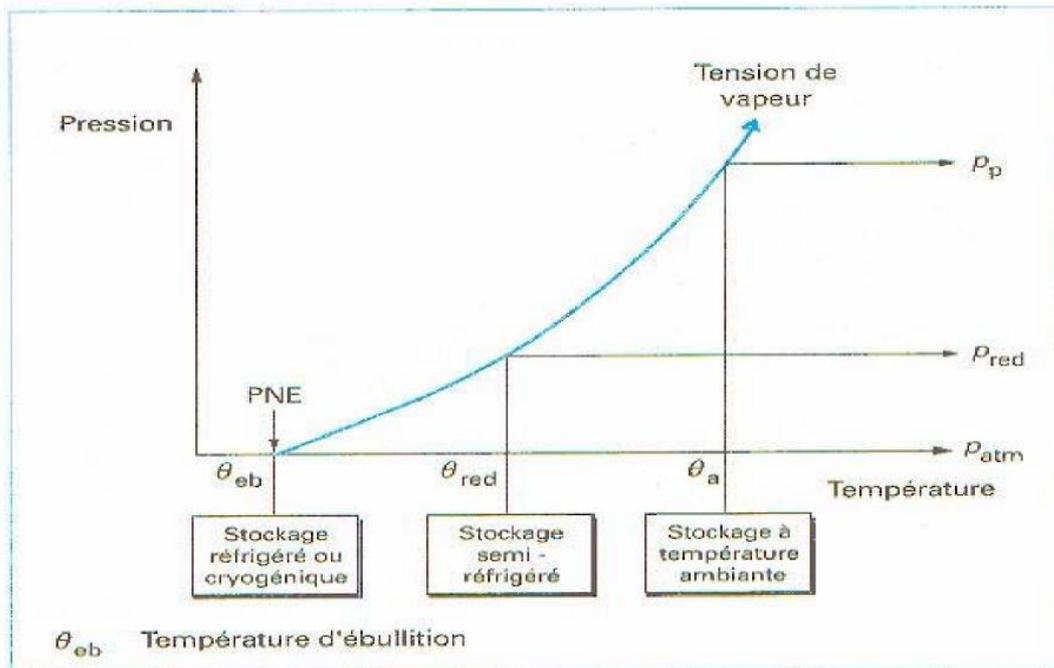


Fig.II.1. les trois modes de stockage pour des liquides avec (PNE) inf à T_{ambiante}

II.2.1) Stockages sous pleine pression :

Ils sont réalisés avec des réservoirs directement exposés à l'air ambiant sans isolation thermique ; la température du produit stocké est voisine de la température du site et la pression d'exploitation est maximale.

II.2.2) Stockage semi- réfrigérés :

Ils fonctionnent sous pression d'exploitation réduite, obtenue par abaissement de la température du produit, et comprennent une isolation thermique pour limiter l'entrée de la chaleur. Leur pression est limitée à une valeur intermédiaire comprise entre la pleine pression à température ambiante et la pression atmosphérique au (PNE). Il en résulte que les épaisseurs de paroi des réservoirs sont moins importantes ; il est ainsi possible d'accroître l'importance des capacités unitaires.

II.2.3) Stockages réfrigérés et cryogéniques :

Ils fonctionnent sous pression d'exploitation pratiquement nulle obtenue par abaissement de la température du produit jusqu'à son (PNE). Les épaisseurs de paroi sont ainsi plus faibles, ce qui permet d'augmenter encore les capacités unitaires. Ils sont pourvus d'un système

isolant dimensionné pour maintenir le produit à basse température. Par ailleurs, avec ce mode de stockage, la quantité de produit stocké est plus grande, car la densité des liquides est maximale au (PNE). Cette caractéristique constitue un avantage essentiel pour le transport sur grande distance. Elle est à l'origine des chaînes de liquéfaction et de distribution de gaz naturel qui existent entre les pays producteurs d'outre-mer et les pays industriels.

Par convention, on désigne par stockage réfrigérés, les réservoirs dont la température minimale et supérieur à -60°C car jusqu'à cette température, les réservoirs peuvent être réalisés avec des aciers au carbone classique.

Les réservoirs cryogéniques couvrent la gamme de températures comprises entre -60 et -273°C . Ils sont construit avec des matériaux beaucoup plus résilients tels que les aciers alliés au nickel (5 à 9 % de NI), les aciers inoxydables et les alliages d'aluminium.

III. Réservoirs atmosphériques :

III.1) Définition :

Ce sont des réservoirs cylindriques verticaux à fond plat que l'on peut différencier par le type de couverture.

Les cuves ouvertes ne comportent pas de toit et leur emploi est limité aux quelques liquides que l'on peut, sans danger, pour leur qualité ou pour l'environnement, exposer à l'air libre.

Les réservoirs à toit fixe : sont pourvus d'un toit et permettent donc une meilleure conservation des liquides volatils, dangereux ou polluants.

Les réservoirs à toit flottant : comprennent une structure flottante, directement posée sur le liquide, que l'on installe soit dans une cuve ouverte, soit dans un réservoir à toit fixe. Ces réservoirs, en raison de leur remarquable capacité à réduire les évaporations, sont réservés au stockage des produits les plus volatils.

La capacité maximale de ces réservoirs atmosphériques peut être très importante. Elle est seulement limitée par la hauteur et le diamètre qu'il est possible de réaliser. Le choix de la hauteur est lié à la nature du terrain car les réservoirs reposent à même le sol. En tenant compte de la résistance moyenne des sols habituellement rencontrés, elle est le plus souvent comprise entre 14 et 22 m. Bien entendu, le diamètre maximal sera limité par la surface du terrain disponible, mais également par l'épaisseur maximale autorisée par les codes de construction pour la partie basse de la robe.

Cette épaisseur est généralement fixée à 45 mm par la plupart des codes existants. Pour les réservoirs à toit fixe, le choix du type de toit peut également constituer une limitation du diamètre.

III.2) Réservoirs à toit fixe

III.2.1) Généralités :

Le stockage des produits peu volatils et à faible tension de vapeur est réalisé dans des réservoirs dont la partie supérieure est obturée par un toit fixe .il est ainsi possible d'assurer plus facilement leur conservation et d'empêcher leur contamination par les agents extérieure.

D'une manière générale, il s'agit de produits dont la tension de vapeur absolue à température ambiante est inférieure à 0,1bar ou dont le point d'éclair est supérieur à 55c°.

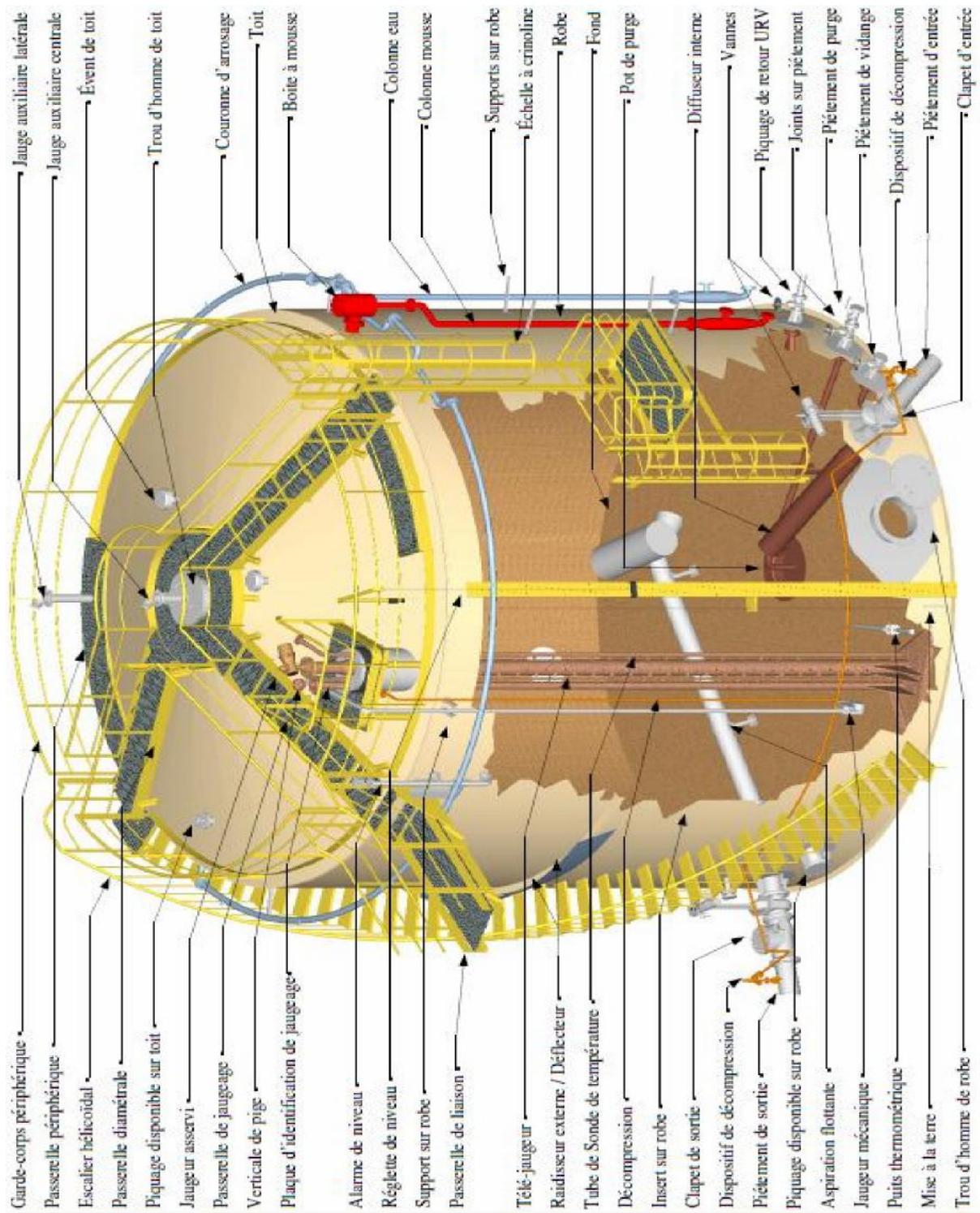


Fig II.2 Bac de stockage a toit fixe.

Les produits les plus lourds sont à l'état pâteux à température ambiante. Ils nécessitent l'installation d'un système de réchauffage permanent, placé sur le fond des réservoirs, pour les maintenir suffisamment liquides et permettre ainsi leur transfert. Dans ce cas, un calorifuge est prévu sur la robe et, suivant la température de réchauffage, sur le toit

du réservoir.

✓ Le fond et la robe de ces réservoirs sont du même type que sur les cuves ouvertes. Cependant, la présence du toit fixe assure une rigidité suffisante au sommet de la robe qui permet d'éviter l'installation d'une poutre raidisseuse.

✓ Les toits sont de forme conique ou sphérique. Ils sont étudiés pour supporter une surcharge externe d'au moins 120 daN/m^2 correspondant aux effets combinés d'une charge temporaire (neige et dépression interne). La tôlerie de ces toits est réalisée à partir de tôles rectangulaires de 5 mm d'épaisseur, soudées entre elles par recouvrement sur leur face supérieure. La tôlerie est indépendante de la charpente et il n'y a pas de liaison par soudure entre ces deux éléments du toit.

On range les toits fixes en deux catégories : les toits supportés et les toits autoportants avec ou sans charpente.

III.2.2) Réservoir à toit fixe supporté :

Les toits fixes supportés ont un profil conique assez plat avec une pente recommandée de 1/16 ou 1/12, notamment lorsque le toit est calorifugé.

Ces toits sont constitués d'une charpente supportée par un ou plusieurs poteaux, en tubes ou en profilés, qui s'appuient sur le fond de l'ouvrage. Les tôles du toit reposent sur des chevrons rayonnants qui prennent appui au centre du réservoir sur le poteau central, en périphérie sur la robe, et pour les réservoirs de diamètre supérieur à 25 m, sur des poteaux intermédiaires. Ces derniers sont disposés sur des cercles concentriques et sont reliés en tête par des pannes droites sur lesquelles viennent se poser les chevrons. L'espacement entre ces chevrons n'excède pas, selon les codes, 1,7 m, sauf sur la robe où il peut être porté à 2 m.

Les charpentes à poteaux sont reconnues comme des structures économiques car leur conception permet un montage simple sur le site. Ce type de charpente peut être employé sur les plus grands réservoirs. Il n'est, en effet, pas limité en diamètre car il est toujours possible, pour l'agrandir, d'ajouter une rangée supplémentaire de poteaux, de pannes et de chevrons.

III.2.3) Réservoir à toit fixe autoportant

Les toits fixes autoportants sont soit coniques avec une pente de 1/5 ou 1/6, soit sphériques avec rayon de courbure compris entre 0,8 et 1,5 fois le diamètre du réservoir. La charpente de ces toits est constituée d'éléments porteurs rayonnants, réalisés par de simples chevrons ou par des fermes métalliques. Ces éléments sont fixés en leur centre sur un anneau formant clef de voûte et prennent appui en périphérie sur le sommet de la robe, sans l'intermédiaire de poteau. L'écartement des chevrons ou des fermes le long de la robe est compris entre 2 et 2,5 m.

On limite, en général, l'utilisation des charpentes à chevrons à des réservoirs de 25 m de diamètre pour les toits coniques et de 60 m pour les toits sphériques, tandis que les charpentes à fermes sont employées jusqu'à 60 m de diamètre quel que soit le profil du toit. Les charpentes à chevrons sont de conception plus simple et plus économique.

Les réservoirs de diamètre inférieur à 20 m sont souvent construits avec des toits autoportants sans charpente. Dans ce cas, l'épaisseur des tôles de toit doit être calculée à partir des formules précisées par les codes de construction. On limite, en général, cette épaisseur à 9,5 mm de manière à conserver un assemblage par recouvrement des tôles. La pente des toits coniques peut être supérieure à 1/5, mais l'angle formé par les génératrices du toit et un plan horizontal ne doit pas dépasser 37°.

III.3) Réservoirs à toit flottant**III.3.1) Généralités :**

L'espace vapeur qui existe au-dessus du liquide des réservoirs à toit fixe est la source des pertes par respiration et remplissage. Ces pertes peuvent être pratiquement supprimées par l'utilisation d'un type de réservoir qui élimine cet espace vapeur. Il consiste à installer une structure qui flotte directement sur la surface du liquide stocké et que l'on appelle toit flottant. Le coût supplémentaire entraîné par la construction de ce toit flottant est largement compensé par l'économie réalisée sur le stock. A cette raison économique, il faut aujourd'hui associer la nécessité d'une limitation de la pollution atmosphérique imposée par les réglementations locales.

Les réservoirs à toit flottant sont principalement utilisés pour le stockage de

liquides volatils dont la tension de vapeur absolue a température ambiante est comprise entre 0,1 et 0,75 bar ou dont le point éclair est inférieur ou égal a 55 c° C'est le cas, par exemple, des pétroles brut, naphtas et des diverses essences et carburant .l'absence d'espace vapeur permet à ces réservoirs de fonctionner et d'être étudiés sous pression atmosphérique.

Le toit flottant est un disque mobile qui flotte sur le liquide en suivant les mouvements de descente et de montée du produit. Pour permettre ces déplacements, un espace annulaire libre existe entre le toit et la robe de la cuve. Il est obturé par un système d'étanchéité déformable qui permet au toit de coulisser sans contrainte à l'intérieur de la robe.

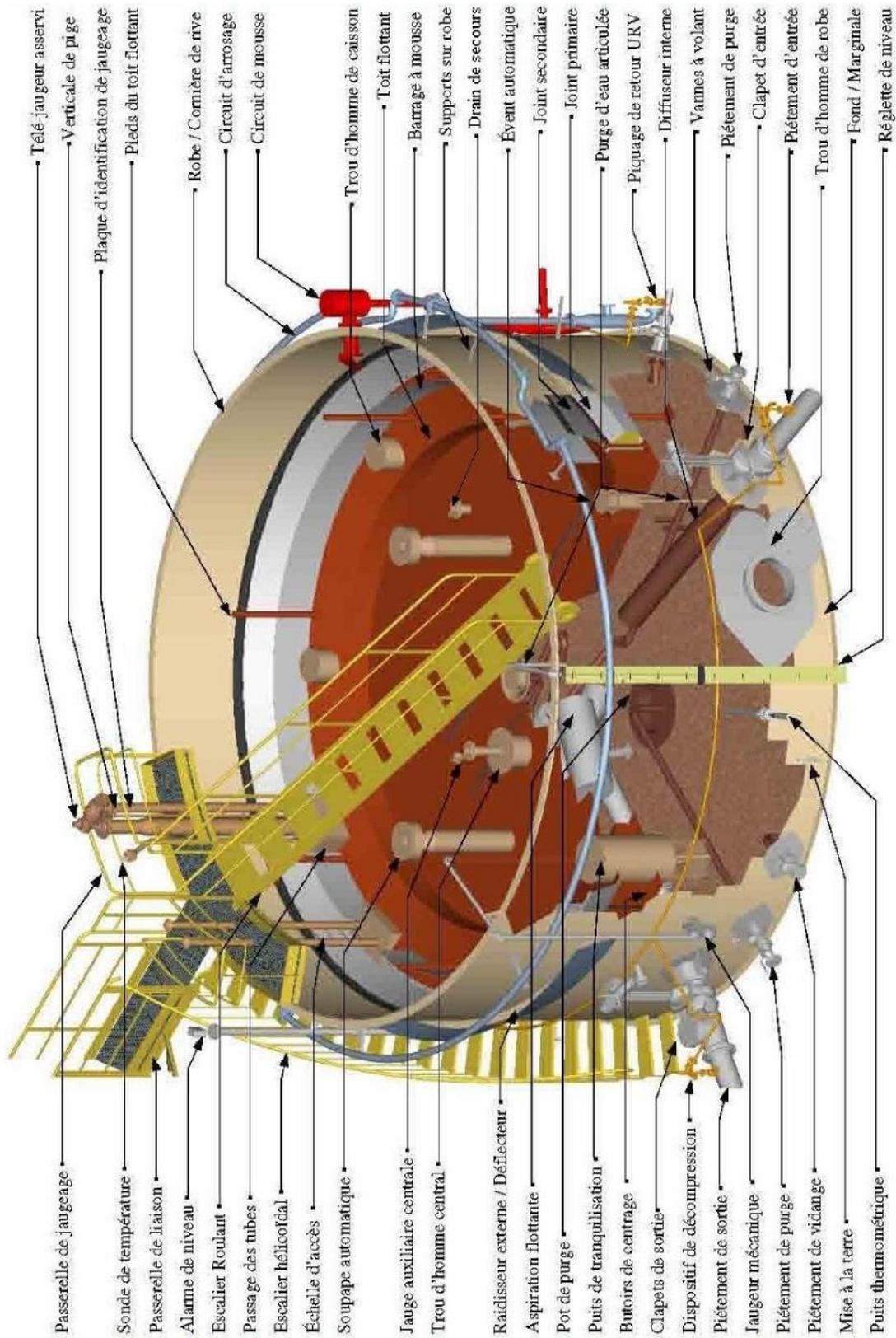


Fig II.3 : Bac de stockage a toit flottant.

Il existe deux types de réservoirs à toit flottant :

- les réservoirs à toit flottant externe, dont le toit est installé à l'air libre dans des cuves ouvertes ;
- les réservoirs à toit flottant interne, dont le toit est placé à l'intérieur de réservoirs à toit fixe.

III.3.2) Réservoirs à toit flottant externe :

III.3.2.1) Généralités :

Le réservoir proprement dit n'est autre qu'une simple cuve ouverte et les détails de conception de la robe et du fond sont identiques à ceux exposés précédemment.

Le toit flottant a été inventé au début des années 1920 et, depuis, de nombreux modèles ont été développés avec plus ou moins de succès.

Seuls subsistent aujourd'hui ceux qui ont fait la preuve de leur efficacité. Ils sont tous du type à contact, c'est-à-dire que leur face inférieure est entièrement mouillée par le liquide sur lequel ils flottent. Aucun espace vapeur n'existe, ce qui permet d'éliminer les problèmes de corrosion interne, de limiter les risques d'incendie et de pratiquement supprimer les pertes par évaporation. Les deux types principaux de toit flottant à contact actuellement utilisés dans l'industrie, sont simple pont et le double pont.

Ces toits sont exposés aux intempéries et doivent donc être conçus pour résister aux effets du vent, de la pluie et de la neige. Ils sont dimensionnés pour rester en flottaison sur un liquide de masse volumique au moins égale à 700 kg/m^3 en supportant une charge d'eaux pluviales correspondant à une chute de 250 mm sur une période de 24 h et en supposant que le système de drainage principal est inopérant. Lorsque le toit est au repos sur le fond du réservoir en appui sur ses pieds supports, il doit pouvoir soutenir une surcharge de 120 daN/m^2 sans accumulation d'eau.

III.3.2.2) Toits flottants simple pont :

Ils sont constitués par une membrane circulaire centrale, appelée pont, qui repose directement sur le liquide stocké et qui est bordée sur sa périphérie par un caisson annulaire continu divisé, par des cloisons radiales, en compartiments étanches au liquide. Le but de ces compartiments est d'assurer la flottabilité de la structure, en service

normal, en cas d'accumulation d'eau de pluie sur le pont, ou lors d'une éventuelle crevaisson de ce pont. Pour cette dernière condition, on considère que le pont central et deux compartiments quelconques du caisson annulaire sont percés simultanément.

La surface du caisson annulaire représente environ 20 à 25 % de la surface du toit sauf pour les petits réservoirs où elle peut atteindre 35 %. La partie inférieure de ce caisson peut être horizontale, mais elle est le plus souvent réalisée avec une pente, orientée vers le haut et le centre du réservoir. Cela permet de diriger et de piéger sous le pont central les vapeurs émises par le produit, sous l'effet de la chaleur ambiante. La flexibilité du pont central permet ainsi à ces vapeurs de former un dôme gazeux qui agit ensuite comme un isolant au-dessus du liquide jusqu'à ce que la température extérieure baisse et que, par condensation, ces vapeurs retournent à l'état liquide. La partie supérieure du caisson a une pente inverse qui draine les eaux de pluie, ou celles provenant de la fonte des neiges, vers le pont central à partir duquel elles sont ensuite évacuées à l'extérieur du réservoir. Le drainage se fait par le centre du pont au moyen d'une canalisation flexible ou articulée, placée sous le toit flottant, qui chemine dans le produit jusqu'à une tubulure située au bas de la robe.

Le pont central est réalisé à l'aide de tôles rectangulaires, ayant une épaisseur minimale de 5 mm, assemblées par recouvrement et soudées sur leur face supérieure. Les ponts supérieur et inférieur du caisson annulaire sont également constitués de tôles de 5 mm d'épaisseur, mais, en revanche, les couronnes sont souvent plus épaisses.

Le toit flottant comporte une série de pieds supports tubulaires disposés régulièrement sur le caisson annulaire et sur le pont central.

Ils servent à poser le toit flottant sur le fond du réservoir. Ces pieds sont réglables en altitude par l'intermédiaire de fourreaux soudés au toit. Ils permettent de placer le toit soit en position basse de service, soit en position haute de nettoyage. Les fourreaux des pieds supports doivent avoir une longueur suffisante sous le toit pour éviter la fuite vers l'atmosphère des vapeurs piégées sous le pont central.

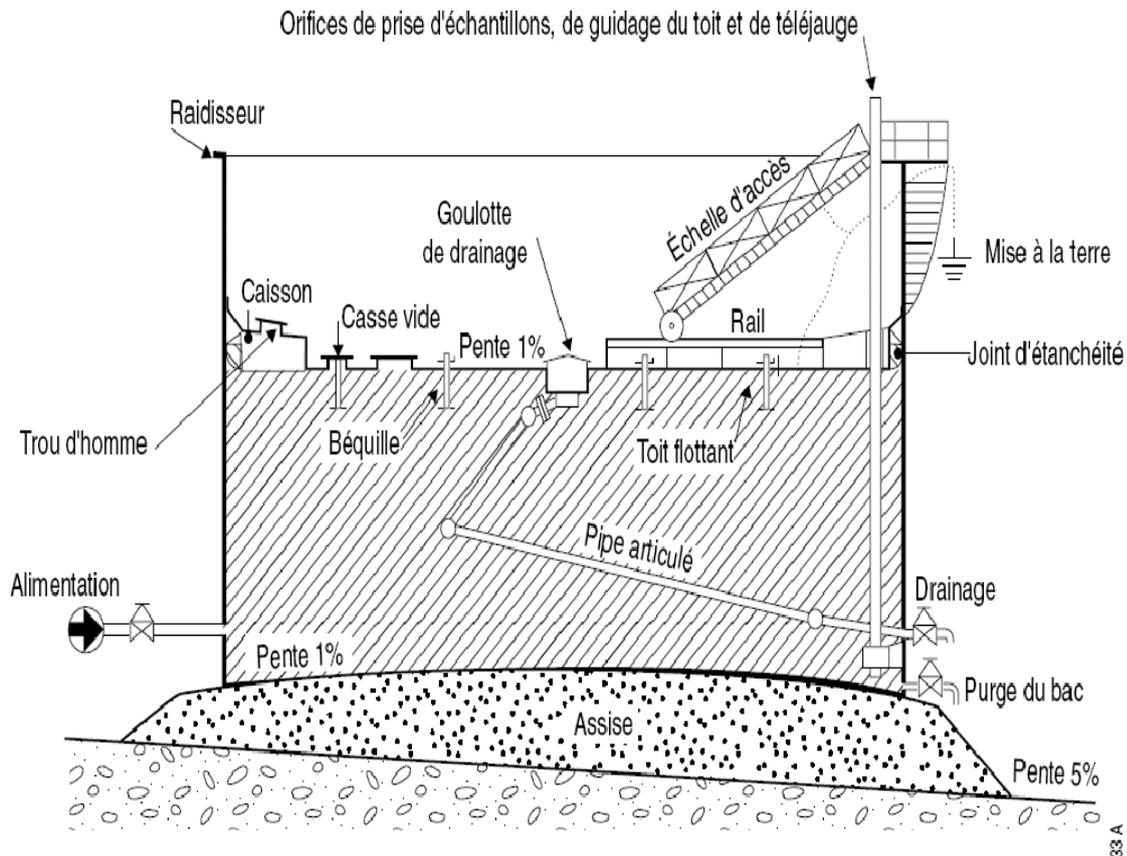


Fig II.4 bac a toit flottant, ponton annulaire.

III.3.2.3) Toits flottants double pont :

Ils sont constitués de deux voiles circulaires en tôle (le pont inférieur en contact avec le liquide et le pont supérieur avec l'air ambiant) qui couvrent tous deux la surface complète du réservoir.

Ces ponts sont séparés par une série de couronnes concentriques verticales formant des caissons de flottaison étanches au liquide. Le caisson annulaire extérieur est, de plus, divisé en compartiments par des cloisons radiales, également étanches au liquide. La flottabilité du toit doit être assurée avec deux compartiments ou caissons quelconques percés ou en cas d'accumulation d'eau sur le toit. La charge d'eau à considérer correspond à une chute d'eau de 250 mm sur 24 h ou à une valeur plus faible si le toit est équipé de trop-pleins de secours, ce qui est, en général, le cas :

➤ Le pont inférieur est le plus souvent plat, mais peut être construit avec une légère conicité vers le haut. Quelle que soit sa configuration, le toit double pont possède une capacité de déformation suffisante pour piéger les évaporations au centre du toit. Les

effets de la température extérieure sont d'ailleurs bien moindres sur ce type de toit, car le matelas d'air qui existe entre les deux ponts constitue une excellente isolation thermique au-dessus du liquide.

➤ Le pont supérieur repose sur des chevrons en profilés, installés radialement entre les couronnes concentriques qui séparent les deux ponts. Il comporte une pente qui favorise le drainage des eaux vers le centre du toit. Pour les toits de diamètre supérieur à 60 m, le pont supérieur est souvent réalisé avec un profil conique à deux pentes opposées pour limiter la hauteur de la couronne extérieure sur laquelle est fixé le joint d'étanchéité. Dans ce cas, le point bas de collecte des eaux se situe sur un cercle intermédiaire où l'on installe trois systèmes de drainage, du même type que ceux qui équipent les toits simple pont.

Les toits flottants doubles pont sont habituellement équipés de drains de secours qui permettent, en agissant comme des trop-pleins (évacuation de l'eau dans le produit), de limiter la charge.

III.3.3) Réservoirs à toit flottant interne :

III.3.3.1) Généralités :

Les réservoirs à toit flottant interne sont des réservoirs à toit fixe, dans lesquels est installé un toit flottant simplifié, également désigné sous l'appellation d'écran flottant.

Le toit fixe peut être soit du type supporté, avec des poteaux verticaux à l'intérieur du réservoir, soit du type autoportant sans poteau. Lorsque la structure comporte des poteaux, ils traversent le toit flottant interne par des puits équipés de joints d'étanchéité. Il est recommandé que ces poteaux soient de section tubulaire pour faciliter les déplacements du toit et la réalisation de l'étanchéité des puits.

Ces réservoirs sont particulièrement bien adaptés pour le stockage des produits volatils dont il faut assurer la conservation, préserver la pureté ou limiter l'émission des vapeurs toxiques vers l'atmosphère.

La présence de toit fixe élimine aussi les problèmes d'exploitation rencontrés sur les toits flottants externes dans les régions soumises à d'importantes chutes de neige, à forte pluviométrie ou exposées au vent, le blocage du joint d'étanchéité sur la robe par

le gel n'est pas à craindre, le drainage des eaux n'est pas nécessaire et l'entretien général est inexistant. Le fonctionnement du toit flottant, à l'abri des turbulences du vent, contribue énormément à réduire les pertes par évaporation et rend ce type de réservoir plus performant que les toits flottants externes.

Des événements (dont le nombre et les dimensions sont fixés par le code de construction) sont installés à intervalles réguliers au sommet de la robe ou en périphérie du toit, pour permettre une circulation d'air dans l'espace compris entre l'écran flottant et le toit. Ils empêchent la formation éventuelle d'un mélange air-vapeur inflammable ou dangereux au-dessus du toit flottant. Cependant, sur les stockages de produits toxiques où l'on désire éviter, pour la sécurité de l'environnement, les émissions vers l'atmosphère, ces événements sont supprimés et la respiration de cet espace s'effectue en circuit fermé, le plus souvent sous gaz neutre.

Les toits flottants internes les plus employés appartiennent à l'un des deux types généraux suivants :

- toit flottant de conception soudée ;
- écran flottant de conception boulonnée.

Ces toits sont dimensionnés pour flotter sur un liquide ayant une masse volumique au moins égale à 700 kg/m^3 . Ils doivent avoir une flottabilité suffisante pour supporter au moins deux fois leur propre poids lorsque deux compartiments ou deux flotteurs quelconques sont crevés. De plus, ils doivent permettre, en flottaison ou au repos, la circulation en toute sécurité de deux hommes sur n'importe quelle partie du toit.

Ils sont équipés (comme les toits flottants externes) d'un ensemble de pieds supports qui peuvent être fixes ou réglables sur deux positions. Ces supports doivent résister à une surcharge uniformément répartie sur le toit de 60 daN/m^2 lorsqu'ils reposent sur le fond du réservoir.

III.3.3.2) Toits flottants internes soudés :

Ils sont réalisés à partir de tôles d'acier de 4 à 5 mm d'épaisseur soudées entre elles par recouvrement sur leur face supérieure, pour former un pont continu et étanche en contact direct avec le liquide stocké. Une couronne verticale soudée au-dessus du pont borde le périmètre du toit et permet l'installation du joint annulaire d'étanchéité.

La flottaison de ce simple couvercle n'est assurée que par le volume correspondant à l'enfoncement de la structure dans le liquide.

Ces compartiments ne comportent pas de fermeture supérieure en raison de la protection atmosphérique assurée par le toit fixe. Lorsque l'on recherche une plus grande sécurité, ils peuvent être couverts pour former des caissons annulaires étanches, comme sur les toits flottants externes simples pont.

Ces toits à contact ont tous les avantages d'une construction soudée. Ils sont résistants et durables, ont une bonne stabilité en présence de produits émulsionnés ou gazeux et sont particulièrement étanches aux vapeurs. Leur conception simple ne permet pas au produit d'être piégé et, lors de mise hors service du réservoir pour entretien, leur dégazage avant intervention s'effectue sans problème et d'une façon sûre.

III.3.3) Toits flottants internes boulonnés :

Ils peuvent être à contact liquide ou comporter une phase vapeur.

Les écrans boulonnés à contact liquide sont constitués de panneaux rigides préfabriqués de 25 à 40 mm d'épaisseur comportant un revêtement de surface. Ils sont mécaniquement reliés entre eux par boulonnage pour former un pont continu étanche, posé directement sur le liquide. Ces panneaux peuvent être réalisés soit en mousse de polyuréthane à cellules fermées, prise en sandwich entre deux feuilles minces d'aluminium, soit en mousse de plastique rigide moulée recouverte de résine renforcée de fibres de verre. Une couronne périphérique délimite la surface de ces panneaux en permettant la fixation du joint d'étanchéité.

Ce type d'écran est insubmersible, mais il peut s'imprégner du liquide stocké sur lequel il baigne. Il n'est pas aussi étanche aux vapeurs que les toits soudés. Il peut atteindre 80 m de diamètre.

IV. Les différents phénomènes dangereux liés au stockage :

Le stockage des produits combustibles (solide, liquide ou gaz) s'effectue dans des bacs aériens, à température et pression ambiantes.

L'inflammation de ces matières première engendre des phénomènes et des risques majeurs, ces derniers menacent la vie des populations, des installations avoisinantes et l'environnement.

Ces phénomènes provoquent dans la plupart du temps des catastrophes incontrôlable ni dans l'espace ni dans le temps.

La prévention et le respect des précautions apprendre pour éviter de tel phénomènes et incidents majeurs ne peuvent se réaliser sauf si l'ont connait les mécanismes élémentaires qui régissent ces phénomènes et qui posent un très grand danger pour les équipes d'intervention et des sauveteurs ces dans ce contexte qu'ont va essayer dans ce chapitre de faire une description des différents phénomènes afin dont tire les mesures préventives vers telle situation.

Les principaux potentiels dangers présents par le stockage de brut sont :

IV.1) le feu et l'incendie :

Le feu est une réaction d'oxydation rapide et exothermique .il est nécessaire que trois éléments soient réunis pour qu'un incendie soit initié .ces trois éléments réunis forment le triangle de feu.

- Le combustible est le produit qui va subir l'oxydation.
- Le comburant est le produit qui contient de l'oxygène ou certains produits stockés à caractère comburant.
- La source d'inflammation d'énergie suffisante doit être apportée au système combustible/comburant pour débiter l'incendie .Ce dernier peut se développer sans source d'inflammation des lors que la température d'auto d'inflammation est atteinte.

Chacun des sommets du triangle est indispensable pour que se déclare un feu, si on supprime un des sommets, le risque de départ d'incendie disparaît.

Les risques relatifs à l'explosion d'un dépôt des liquides inflammables, sont principalement liés au caractère facilement inflammable des produits stockés .Les mesures permettant de réduire la probabilité d'occurrence d'évènements indésirables passe essentiellement par la mise en place de dispositifs de sécurité ainsi que par les procédures de contrôle de maintenance de l'installation , visant à limiter la production des mélanges inflammables et la création de sources 'inflammation de ses mélanges.de plus, il n y a pas une bonne politique de sécurité sans une définition claire des procédures d'intervention d'urgence.

Dans les parcs de stockage de pétrole brut il y a la possibilité de création un feu de bac ou de cuvette :

- Feu de bac : on considère le feu de la surface totale du bac :
 - Le toit est détruit (toit fixe)

- Le toit est coulé (bac toit flottant)
- Feu de cuvette : On considère la perte de confinement d'un réservoir suite à une brèche sur le plus gros piquage en pied de bac, à un débordement ou à une déchirure robe/fond... le débit de brèche engendré, va générer une nappe de liquide en extension, et le cas échéant un nuage de vapeurs inflammables.

IV.2) Froth-over :

Le Froth-over est un moussage causé par le passage d'eau dans le produit ou contenue dans le produit et vaporisée.

Par exemple, lors de la rupture d'un serpentin dans un bac de stockage, de produits réchauffés, on trouve un débordement avec moussage, à cause de la mise en ébullition d'eau dans un produit chaud, non en feu.

Ce phénomène n'est pas causé par l'incendie .il peut tout simplement survenir sur des produits lourds réchauffés.

L'expansion de l'eau en vapeur, environ 1680 m³ pour 1m³ est suffisante pour arracher la toiture de certains capacités .dans ce cas, l'émulsion peut être transformé en aérosol et s'enflammer au contact d'un point chaud.

Le Froth-over peut également se produire lorsqu'il introduction accidentelle d'un produit léger dans un produit lourd réchauffé.

IV.3) UVCE « unconfind vapor could explosion »:

Un UVCE est une explosion de gaz à l'air libre.

Dans le cas gaz inflammable, talque le pétrole brut, cette explosion produit : des effets thermiques et des effets de pression.

IV.3.1) Description du phénomène :

Un UVCE comprend généralement les étapes suivantes :

- Fuite d'un gaz combustible liquéfiés ou évaporation d'une flaque liquide inflammable, mélange avec de l'air pour former un volume inflammable, de manière concomitante, dilution et transport du nuage de gaz dont une partie du volume reste inflammable de ce nuage.
- Propagation d'un front de flamme des parties inflammables du nuage, ce front de flamme associé à l'expansion des gaz brûlés, agit à la manière d'un piston sur le gaz frais

environnant et peut être à l'origine de la formation d'une onde de pression aérienne, appelée déflagration, si sa vitesse de propagation est suffisante.

En fin, le cas échéant, mélange avec l'air est combustion des parties du nuage qui étaient initialement trop riches en combustible pour être inflammables.

IV.3.2) Les causes d'un UVCE :

Pour obtenir un UVCE il faut deux conditions reliées simultanément :

Un nuage de gaz inflammable, une source d'inflammation.

Tous les scénarios de rupture de canalisation ou fuite d'un gaz inflammable ou évaporation d'une flaque liquide inflammable peuvent engendrer un UVCE.

La fuite peut être liquide ou gazeuse, mais à conditions de fuite équivalentes (pression, température et section de fuite), une fuite en phase liquide produit des nuages inflammables toujours beaucoup plus grands qu'une fuite en phase gazeuse, car le débit de rejeté est beaucoup plus élevé (pour les GPL dans des conditions ambiantes, 1 litre de phase liquide engendre de l'ordre de 250 litre de phase gazeuse).

IV.4) Explosion de la phase gazeuse d'un bac :

Ce scénario considère que le réservoir est partiellement vide. L'inflammation de la phase gazeuse, dans ses limites d'inflammabilité, conduit à une surpression positive entraînant :

Si l'on fait à un réservoir à toit fixe frangible, il est considéré qu'en cas d'explosion :

- Le toit s'ouvre avec possibilité d'effet missile de faible énergie.
- La jonction robe/fond intègre.
- La robe se déforme en partie haute mais reste intègre.

Si l'on fait à un réservoir vertical à toit fixe non frangible, il est considéré qu'en cas d'explosion :

- L'effet prépondérant reste l'expulsion du toit avec effet missile.
- En cas de corrosion de la jonction robe /fond, il est possible que la jonction robe/toit conserve son intégrité et que le point de rupture se situe, alors à la jonction robe/fond qui peut se déchirer et générer une brèche.

IV.5) Effet de vague :

Le scénario de vague met en jeu un flux liquide qui cherche à s'étendre au fur et à mesure de son déferlement.

Dans le cas d'une cuvette de rétention, le flux de produit provient de l'ouverture de 50% de la

section du plus grand piquage. Cette vague caractérisé par trois propriétés :

- Une sur-hauteur de produit en mouvement, par rapport à un plan d'origine.
- Une énergie potentielle qui engendrera des forces lors d'un impact sur des obstacles.
- Une quantité de mouvement qui initiera un effet de surf au-delà des merlons.

➤ Ouverture de plus gros piquage :

Le plus gros piquage est en général situé dans la partie inférieure du réservoir. Une ouverture de 50% plus gros piquage constitue le scénario raisonnable envisageable pouvant engendrer un effet de vague. En effet, le diamètre du plus gros piquage est en général l'ordre 450 à 500 mm, ce qui constitue la plus petite dimension de brèche envisagée.

Cet accident peut entraîner la vidange complète du bac avec un effet de jet directif d'influence maximale pour le bac plein.

➤ Découpe limitée d'une suite à la corrosion :

Les fonds de réservoirs comportent en quasi permanence de l'eau qui peut en engendrer une corrosion de la soudure droite de l'assemblage robe/fond. Cette corrosion peut engendrer soit une déchirure partielle en cas de surpression accidentelle, dans ce dernier cas, il peut apparaître une « vaguelette » directive et le réservoir se vidangera intégralement.

IV.6) Les effets domino :

Chaque scénario de référence engendre un effet domino sur un autre système critique si les deux conditions ci-après sont vérifiées :

1- il n'y a effet domino que si des effets conséquences engendrant une destruction sont induits.

2- il n'y a effet domino que si un équipement critique se trouve inscrit dans le cercle de destruction totale afférant au scénario considéré.

Les seuils de destruction appliqués sont les suivants :

- **Onde de choc** : 30000 Pa, en surpression positive incidente.
- **Flux thermique** : dans la flamme (très majorant)
- **Effet missile** : on recherche le système critique qui sera perforé par l'énergie du missile.

IV.7) Le BLEVE :

Le terme BLEVE est acronyme de l'anglais boiling liquid expanding vapour explosion, la définition d'un BLEVE est la vaporisation instantanée et totale d'un liquide surchauffé sous pression lorsque la capacité le contenant est brutalement dépressurisée à la pression atmosphérique.

Trois conditions sont nécessaires pour qu'il y ait un BLEVE :

- surchauffe du liquide en cause.
- Baisse rapide de pression dans le réservoir.
- Nucléation spontanée.

Les effets peuvent être quantifiés :

- L'effet missile.
- L'onde de choc de détente adiabatique due à la vaporisation du fluide.
- La boule de feu consécutive au relâchement de masses vapeurs trop riches pour déflager.

IV.8) Le boil-over :

C'est un phénomène, impliquant exclusivement le feu d'un réservoir atmosphérique de longue durée, liée au type de produit et à la présence d'eau, les effets quantifiés sont :

- Calcul de l'onde de chaleur.
- Boule de feu.
- Débordement à l'intérieur de la cuvette.

Remarque : parmi ces phénomènes dangereux, on étudie le boil-over qu'il est bien détaillé dans les prochains chapitres.

Cartographie : boil-over d'un bac à toit flottant 813.

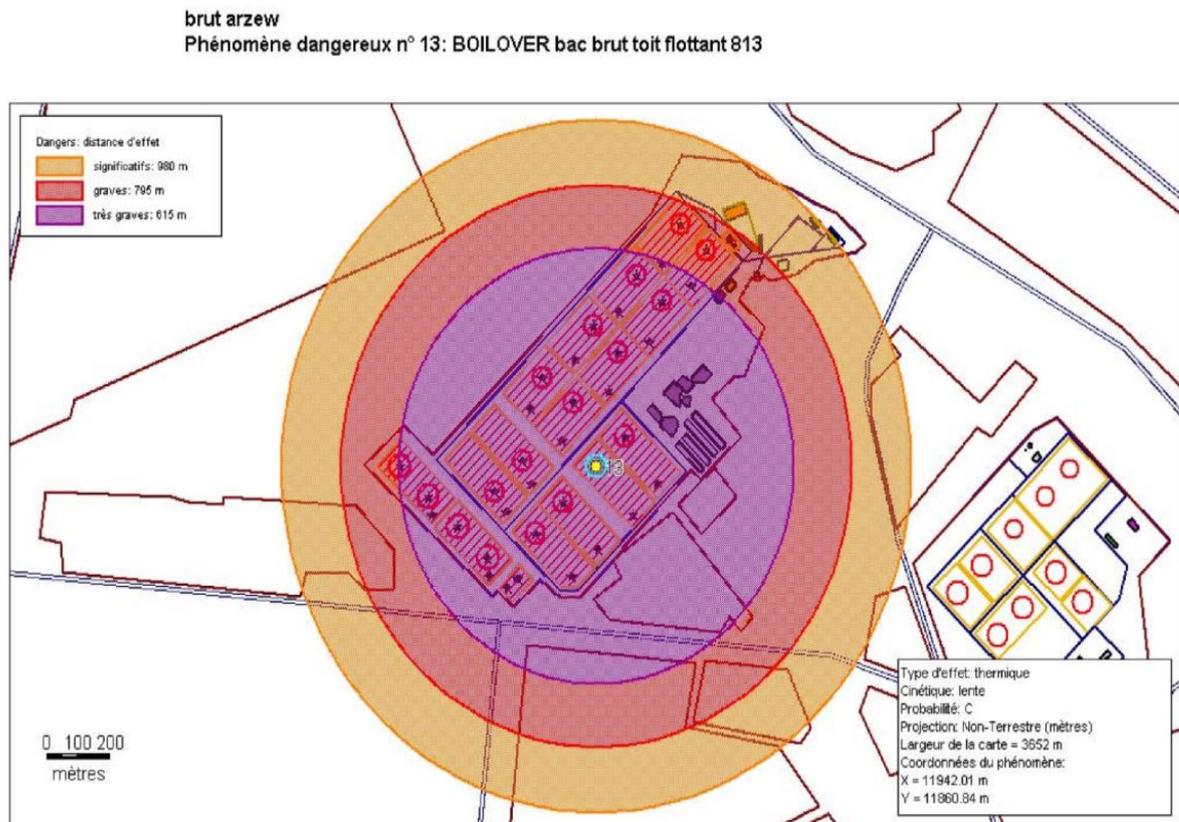


Fig: II.5: boil-over d'un bac a toit flottant 813.

V. La prévention et la protection contre ces phénomènes dangereux :

V.1) Sources d'inflammation :

Les différentes sources d'inflammation qui se trouvent au niveau d'un parc de stockage sont : les points chauds, les gaz des engins de manutention, étincelles d'origines mécaniques, les appareils et installations électriques, la foudre et l'électricité statique.

- Pour les points chauds et les gaz d'échappement des engins de manutention : respecter un espace de quelques mètres entre les engins de manutention et le stockage s'ils sont entreposés dans le même endroit. Eviter les installations éventuelles de chauffage ou de cheminées à proximité ;
- Les étincelles d'origines mécaniques (travaux de maintenance...), il y a deux types de prévention possibles :
 - Soit réaliser les travaux dans une zone éloignée géographiquement des stockages à risque, en s'assurant de l'absence de combustible, de la présence de moyens d'extinction à proximité (extincteurs classe A, appoint d'eau) et d'un affichage des consignes de sécurité ;

- soit prendre des dispositions pour rendre le lieu des travaux le plus sûr possible : rappel des consignes de sécurité avant tous travaux, nettoyage des combustibles présents (foin, paille traînant à côté, sciure, cageots...), avoir un moyen d'extinction à proximité (extincteur classe A, appoint d'eau par exemple un seau, un tuyau d'arrosage), vérification à la fin des travaux de l'absence de point chaud (particules incandescentes traînant par terre) aux alentours de la zone de travaux ;
 - les installations et appareils électriques : l'installation doit être réalisée et maintenue en état par une personne qualifiée (éviter les rallonges successives, multiprises surchargées...).
- Des visites régulières d'organismes agréés ou de personnes compétentes au sens de la réglementation doivent avoir lieu. Un rapport de vérification de l'installation doit être établi et les mises en conformité réalisées. Des extincteurs de classe B/C type dioxyde de carbone doivent être mis à disposition dans les endroits pouvant être à l'origine d'un début d'incendie d'origine électrique ;
- Pour l'électricité statique : s'assurer de la mise à la terre notamment des silos de stockage et des moyens de remplissage.

V.2) Information et formation :

Il est nécessaire de sensibiliser les personnes présentes dans le site via :

- Une information par un affichage clair et visible (consigne en cas d'incendie, interdiction de fumer, numéro de secours, premières actions lors d'un début d'incendie, localisation des extincteurs de classe A et de classe B/C type dioxyde de carbone pour un feu électrique) au niveau des différents stockages ;
- Une information et formation du personnel : sources potentielles d'incendie et prévention des conséquences, maniement de l'équipement de première intervention (extincteur, localisation des bouches d'eau, conduite à tenir en cas de début d'incendie).

V. 3) Actions de prévention au niveau des réservoirs :

Les actions de préventions sont résumées dans les points suivants :

Choix de conception :

Réservoir aérien à toit flottant

Les bacs de stockage des hydrocarbures (hormis les bacs de purge) sont des réservoirs à toit flottant.

La face inférieure du toit est complètement mouillée par le liquide sur lequel le toit flotte.

Pratiquement aucun espace de vapeur n'existe, ce qui permet de réduire considérablement les pertes par évaporation et les risques d'incendie.

Réservoir aérien à toit fixe

Le point particulier de la frangibilité des bacs à toit fixe peut être abordé ici. Pour mémoire, un réservoir est dit frangible lorsque sous l'effet d'une surpression interne accidentelle, il se rompt au niveau de l'assemblage de la liaison robe/toit et non au niveau de la jonction robe/fond.

Il est préconisé d'étudier le caractère frangible de ce bac. Si ce bac peut être considéré comme frangible, le potentiel de danger « effet de vague » générée par l'effacement du bac de purge peut être écarté.

Quantités de substances dangereuses :

Les quantités d'hydrocarbures liquides stockées sur le site sont adaptées aux besoins en termes de flux pour l'approvisionnement des clients tiers.

Assurer un espace entre les stockages pour permettre le passage des engins de manutention. En plus de cette délimitation nette entre les différents stockages (espace libre très bien nettoyé et dégagé de tout encombrement), la séparation physique par des cloisons incombustibles (parpaing, brique...) peut être une solution afin de respecter la délimitation entre stockages au sein d'un même bâtiment. Si la structure du bâtiment n'est pas dans un matériau pouvant contribuer à l'extension d'un incendie, ces cloisons pourront être sur toute la hauteur afin de former des cellules bien distinctes. Dans le cas contraire, ces cloisons pourront être sur au moins trois mètres de hauteur afin de délimiter les zones de stockages.

- Bien séparer les différents stockages présentant un potentiel calorifique important de ceux présentant un potentiel toxique ou d'explosion.
- Faire attention aux stockages de produits présentant des caractéristiques comburantes.
- S'assurer au niveau des autres cuves (fuel, engrais liquide...):
 - De la mise en place d'un bac de rétention au niveau des cuves de produit liquide afin soit de limiter la propagation de l'incendie par un épandage de produit inflammable.
 - De l'absence de point de corrosion pouvant provoquer une fuite d'hydrocarbure liquide ou de gaz qui, au contact d'une source d'inflammation, pourrait déclencher un incendie ;
 - D'un éloignement des lieux d'habitations.

V.4) Action de protection :

Diverses mesures de protection peuvent être apportées au niveau de la structure de stockage

afin de réduire les conséquences d'un incendie. Cependant du fait de la grande hétérogénéité des moyens des exploitations des hydrocarbures, il est à noter que :

Les stockages ne doivent pas être mitoyens d'un local de sommeil (lieu dans lequel une personne peut être amenée à dormir même quelques heures ou une seule nuit).

Le stockage de produits phytosanitaires doit impérativement être isolé des autres stockages afin de ne pas limiter l'intervention des services de secours, par l'apparition de fumée toxique, par l'amplification de l'incendie.

De manière générale, au niveau de la structure du stockage, les murs devront être en béton ou parpaing. Les matériaux constructifs des parois ne devront pas contribuer à l'extension du sinistre (éviter le bois, certains panneaux double parois comportant à l'intérieur des isolants inflammables, etc.).

V.5) Action réflexe lors d'incendie :

Si vous êtes témoin d'un départ d'incendie, ne paniquez pas et essayer de combattre le feu, tout en conservant un chemin de retraite, avec l'extincteur le plus proche (de classe A ou de classe B/C type dioxyde de carbone (CO₂) dans le cas d'un feu d'origine électrique) ou avec du sable pour l'étouffer.

Si vous ne pouvez l'éteindre avec les moyens à votre disposition :

- Prévenir ou faire prévenir les secours en précisant de manière claire :
 - Motif de l'appel (début d'incendie, incendie développé...).
 - Le lieu.
 - La nature (incendie de litière, incendie d'origine électrique, Incendie d'engrais...).
 - Le nombre de victimes et leur état.
 - Les risques potentiels pour les services de secours.
- En même temps, faire évacuer les personnes présentes ou proches des bâtiments,
 - Eloigner les curieux.
 - Baliser le parcours pour les services de secours.

VI) les équipements anti-incendie :

VI.1) Détection gaz :

L'une des protections contre les risques de fuite est et la détection de gaz.

- Détecteurs de gaz ponctuels : installés près des sources de fuites (joint de bride, garniture mécanique) ou d'une source chaleurs (moteurs, fours).
- Détecteurs de gaz linéaire : installés généralement dans les zones de stockage.

VI.2) Détection incendie :

Des détecteurs de flammes doivent être installés près des sources d'étincelle (garniture et moteur) et d'endroit sensible (stockage).

VI.3) Ignéfoegeage :

L'ignéfoegeage est une couche de peinture ou de béton qui résiste aux flammes pendant une période bien définie, cet ignéfoegeage pourra assurer une protection :

Le long du temps de mise en œuvre du système déluge;

Des endroits de la structure non imbibé d'eau :

En cas de défaillance du système déluge.

Exemple : Une couche de 10 mm de *Pyrocr&e 24 J* appliquée sur la surface d'une sphère de GPL, présente une stabilité au feu de 02 heures.

VI.4) Système déluge :

Le but du système déluge est de préserver l'intégrité de l'équipement qu'elle protège contre les radiations thermiques issues d'un sinistre voisin.

La mise en services peut être automatique ou manuel.



CHAPITRE-III-

Généralité sur le boil-over

I. Introduction :

Jusqu'à présent, les liquides inflammables caractérisés par une viscosité importante et une certaine plage d'ébullition étaient considérés comme susceptibles de donner lieu à un « boil over ». En matière de maîtrise de l'urbanisation, des dispositions étaient prises sur la base de l'instruction technique de 1989 qui vise explicitement ce phénomène donnant lieu à une boule de feu.

Des travaux récents ont montré que le « boil over » tel qu'il était considéré jusqu'à présent n'était pas toujours représentatif des phénomènes observés sur certains produits. En particulier, un phénomène sensiblement différent a été observé et a été dénommé « boil over en couche mince » en raison de la plus faible quantité de produit liquide projeté. L'objet de ce chapitre est de rappeler les caractéristiques de chacun de ces phénomènes afin de préciser ensuite si ces phénomènes peuvent être observés pour les produits les plus couramment stockés dans les dépôts de liquides inflammables hors raffineries.

Par ailleurs, ce document introduit un phénomène par lequel un bac d'hydrocarbures à toit fixe peut se rompre voire exploser à la suite d'une pressurisation générée par un incendie autour de celui-ci. Ce phénomène a été intégré à la présente note dans la mesure où il est susceptible de générer une boule de feu.

II. Le boil over « classique » :**II.1) Définition du phénomène de boil over « classique » :**

Le NFPA (National Fire Protection Association - USA) propose une définition précise du phénomène :

« Le terme de boil over est attribué à un événement survenant lors d'un incendie de certains hydrocarbures contenus dans un réservoir à ciel ouvert, lorsqu'une soudaine augmentation de l'intensité du feu (de réservoir) est observée, accompagnée de l'expulsion de l'hydrocarbure hors du réservoir, après une longue période de combustion régulière [de l'hydrocarbure]. Le boil over a lieu lorsque les résidus de combustion, issus de la surface en feu, deviennent plus denses que les hydrocarbures non brûlés et s'accumulent formant

une couche chaude qui progresse vers le fond plus rapidement que la régression de la surface de liquide. Lorsque cette couche chaude, également appelée onde de chaleur, atteint l'eau ou une émulsion d'eau dans l'hydrocarbure située en fond de bac, l'eau est d'abord surchauffée, puis portée à ébullition de façon quasi explosive entraînant le débordement du bac. »

L'INERIS donne une autre définition :

«Un boil over est un phénomène de moussage brutal impliquant des réservoirs atmosphériques et résultant de la transformation en vapeur, d'eau liquide (fond d'eau, eau libre, émulsion) contenue dans un réservoir en feu. Une représentation schématique des différentes phases est présentée sur la Figure 1. Ce phénomène est à l'origine de violentes projections de combustible, du bouillonnement du contenu du bac, de l'extension des flammes et de la formation d'une boule de feu.

II.2) Condition de formation d'un boil-over :

- Température d'ébullition moyenne (interface hydrocarbure/fond d'eau) suffisamment élevée $T^{\circ}\text{ébul} > 120^{\circ}\text{C}$.
- Viscosité supérieure à celle du kérosène à 120°C soit $\nu_{\text{HC}} > 0,73 \text{ CSt}$.
- Présence d'eau dans le réservoir.

II.3) Onde de chaleur :

Le phénomène boil-over se caractérise notamment par la présence d'une onde de chaleur dont le processus de formation est décrit sur la figure suivante.

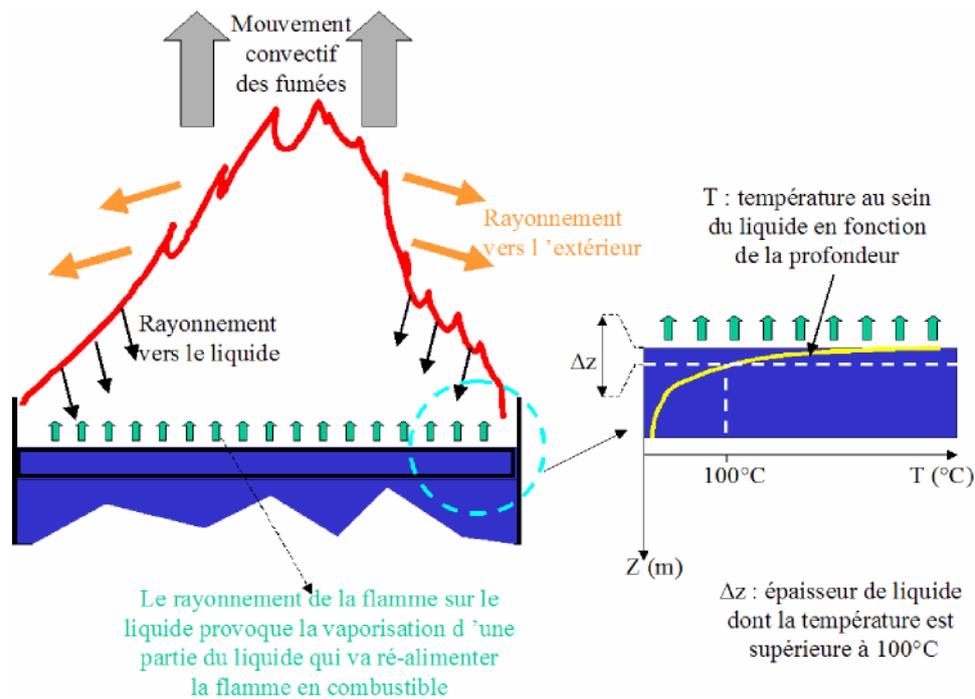


Fig III.1 Principe de combustion d'un liquide inflammable

De façon schématique, la flamme se positionne au-dessus du liquide inflammable à une distance qui permet d'obtenir les conditions propices à sa stabilisation.

Dans cette position d'équilibre, la fraction d'énergie rayonnée par la flamme vers la surface du liquide suffit pour assurer l'évaporation de ce liquide avec un débit suffisant pour, après mélange avec l'air entraîné, réalimenter la flamme.

Cette position moyenne est relativement stable dans la mesure où :

- Si le débit d'évaporation est trop important, le mélange sera plus riche et la combustion aura lieu plus haut, éloignant ainsi la flamme de la surface du liquide. Ceci conduit à une diminution du flux rayonné sur la surface du liquide et donc à une réduction de l'évaporation du liquide. Au final, la flamme se repositionne approximativement à sa position initiale.
- Si le débit d'évaporation est trop faible, le mélange se trouvera plus tôt dans le domaine inflammable et la flamme va donc se positionner plus bas et donc plus près de la surface du liquide. Ceci va entraîner une augmentation du débit d'évaporation et donc un déplacement de la flamme vers le haut vers sa position initiale.

La compréhension de ce mécanisme est essentiel car il montre que la surface du liquide est soumise de façon à peu près constante à un flux radiatif qui permet d'alimenter en continu la flamme.

Ce flux radiatif est à l'origine du processus qui va aboutir aux phénomènes dangereux étudiés dans ce document. En effet, le flux radiatif va conduire à une élévation de la température de la surface du liquide et cette augmentation de température va se propager au sein du liquide selon les propriétés thermodynamiques de ce dernier et plus particulièrement de la composition du liquide (homogène ou mélange).

Selon la composition du produit, il va y avoir simple propagation de la chaleur au sein du liquide par conduction et convection ou il va y avoir également une action de distillation du liquide qui peut conduire à une séparation du liquide en plusieurs produits de différentes densités. Ce sont ces 2 mécanismes différents qui ont été mis en évidence pour chacun des deux phénomènes dangereux étudiés (le boil-over en couche mince et le boil-over classique).

Ce protocole, destiné à évaluer la propension d'un produit à être le siège ou non d'un boil-over classique ou en couche mince, a été mis au point lors d'une campagne expérimentale réalisée par l'INERIS en 2006 et 2007. Cette campagne a permis d'identifier la « signature » d'une onde de chaleur au sein du liquide pour différents produits. Il comporte les étapes présentées sur le schéma suivant :

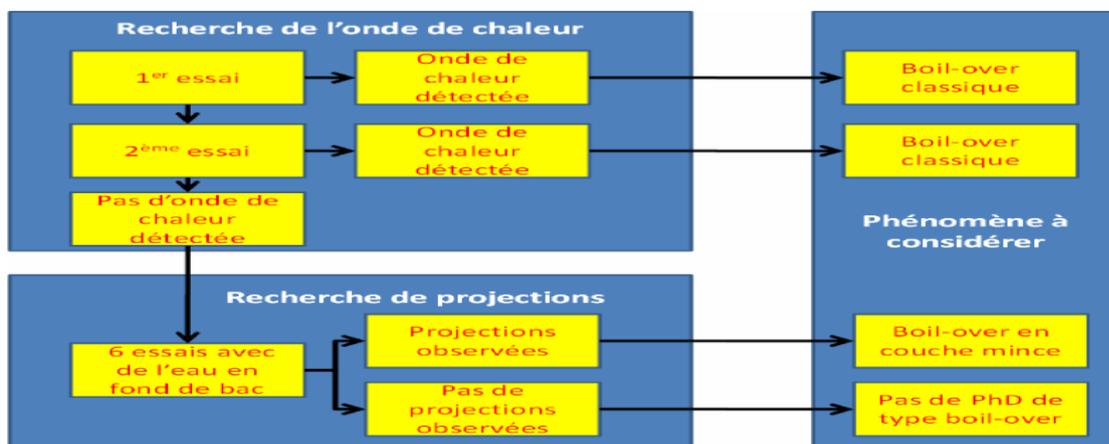


Fig III.2 : principe pour connaître le phénomène dangereux à considérer pour un liquide inflammable

II.4) Les différentes phases d'un boil-over :

- **Naissance d'un feu de bac :** En début d'incendie du bac, le produit occupe tout le volume du bac avec une composition quasi-homogène.



Fig III.3 : première phase d'un boil-over début d'incendie

- **Distillation et formation d'une onde de chaleur :** En raison du rayonnement des flammes sur la surface du liquide, le liquide subit une distillation qui conduit à la séparation des coupes légères des coupes plus lourdes. Ces dernières descendant progressivement vers le fond du bac sous l'effet de la pesanteur, c'est la formation de l'onde de chaleur (200 °C).

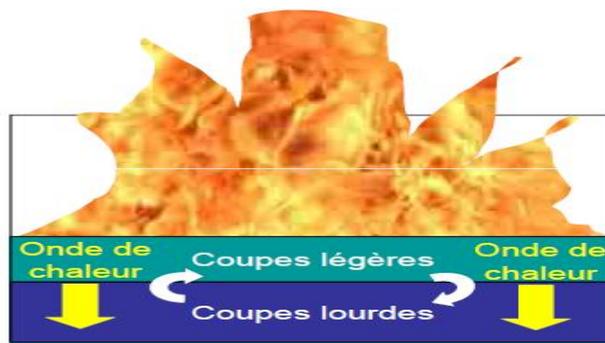


Fig.III.4 :deuxième phase d'un boil-over (séparation des coupes légères)

- **Effet piston :** Le contact entre l'onde de chaleur et l'eau provoque l'évaporation brutale de cette dernière. Cette vaporisation brutale conduit à une augmentation

importante de volume et joue le rôle de piston en mettant en suspension le liquide inflammable restant dans le bac.

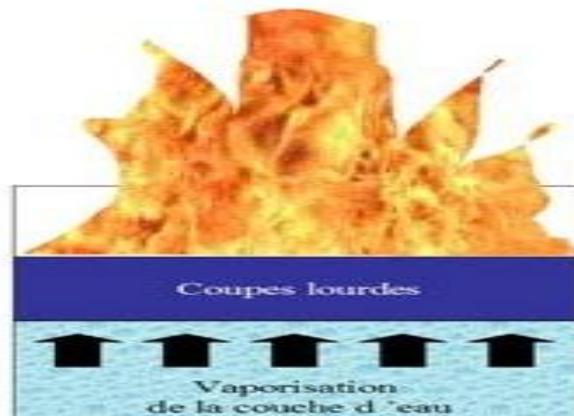


Fig III.5 :troisième phase d'un boil-over (évaporation brutale de couche d'eau)

- **Débordement et formation d'une boule de feu** : Une partie du liquide déborde du bac et une autre est mise en suspension en se fragmentant en gouttes et en se vaporisant en traversant les flammes pour former une boule de feu lors de sa combustion.



Fig III.6 : quatrième phase d'un boil-over (déclenchement du phénomène)

II.5) Les conditions d'occurrence du phénomène de boil over « classique » :

Plusieurs conditions sont nécessaires à l'occurrence d'un boil over :

- 1) un feu de bac après l'effacement du toit.
- 2) la présence d'eau à transformer en vapeur.

3) un hydrocarbure pouvant générer une onde de chaleur qui entre en contact avec le fond d'eau et suffisamment visqueux pour s'opposer au passage de la vapeur d'eau vers la surface.

❖ **Condition 1 :**

La première condition est un feu de bac d'un produit respectant la condition 3.

Les séquences accidentelles pouvant conduire à un feu de bac qui doivent ressortir de l'analyse de risque de l'exploitant, initient la séquence accidentelle du phénomène de boil over. Le phénomène de boil over est un phénomène retardé qui se produit plusieurs heures après le déclenchement de l'incendie du bac (la cinétique dépend notamment de la hauteur de remplissage du bac).

❖ **Condition 2 :**

La création de vapeur d'eau engendre un accroissement de volume agissant à l'instar d'un piston : 1 litre d'eau génère de 1700 à 2000 litres de vapeur, en fonction de la température de l'onde de chaleur.

Un fond d'eau centimétrique peut suffire à expulser le contenu résiduel d'un bac.

Cette eau peut notamment provenir des eaux pluviales, des eaux de condensation, des eaux projetées lors de l'intervention ou des eaux de décantation susceptibles d'être présentes en fond de bac.

❖ **Condition 3 :**

Dans le cas de combustion d'un hydrocarbure caractérisé par une large plage de températures d'ébullition, les coupes légères à bas point d'ébullition montent à la surface et alimentent le feu, tandis que les coupes plus lourdes à haut point d'ébullition coulent vers le fond et forment un front chaud qui réchauffe les couches d'hydrocarbure froid de plus en plus profondes, tandis que le feu continue de brûler en surface. On obtient ainsi, sous la surface du feu, une zone de température homogène dont l'épaisseur va croissant au cours du temps. C'est ce que l'on appelle ici " l'onde de chaleur".

L'onde de chaleur n'est pas un phénomène de conduction en provenance de la surface en feu, il s'agit d'un transfert de chaleur d'une particule chaude de masse spécifique plus élevée vers

une couche plus froide située plus profond. L'onde de chaleur est alimentée en continu par les résidus de la combustion de surface et son épaisseur augmente plus rapidement que ne diminue la hauteur d'hydrocarbure dans le bac. La température de l'onde de chaleur est fonction de la nature de l'hydrocarbure en feu.

III. Le boil-over dit « en couche mince » :

III.1) Définition et description du phénomène de boil-over « en couche mince » :

Comme indiqué dans les paragraphes précédents, il ne s'agit pas de boil over au sens classique du terme puisque il n'y a pas d'onde de chaleur, mais d'un phénomène lié à une vaporisation de l'eau contenue dans le bac à la suite du contact d'une couche de produit à une température supérieure à 100 °C. Ce phénomène sera qualifié de phénomène éruptif en couche mince ou de boil over « en couche mince » pour reprendre la terminologie utilisée dans les publications scientifiques récentes : « thin-layer boil-over ».

Ce phénomène « en couche mince » fait l'objet de recherches scientifiques. Il est dû à une « nucléation hétérogène de l'eau à l'interface eau gazole » (Garo-1996). Lorsque le front de flamme et la fine couche de produit, dont la température est supérieure à 100°C, impacte le fond d'eau, des bulles de vapeurs commencent à se former à l'interface gazole-eau. Ces bulles grossissent et traversent la fine couche de produit jusqu'à la surface.

Une projection peut alors se former lorsque le nombre de bulles est si important qu'elles ne peuvent être évacuées jusqu'à la surface.

Un volume plus important de vapeur est alors libéré et éjecté subitement, entraînant des gouttelettes de produits en combustion et une augmentation des flammes avec pour conséquences un accroissement du flux thermique et des « projections de gouttelettes ».

Pour des conditions initiales identiques (hauteur de produit, diamètre de bac...), ce phénomène lié à la vaporisation de l'eau en fond de bac est moins intense et plus bref qu'un boil over « classique » puisqu'une couche beaucoup plus fine de produit est concernée.

III.2) Les différentes étapes conduisant à un boil over « en couche mince » :

- En début d'incendie du bac, le produit qui occupe le volume du bac a une composition homogène qui le restera tout au long de l'incendie. En revanche, un gradient de température apparaît et une zone où la température est supérieure à 100°C peut être identifiée.

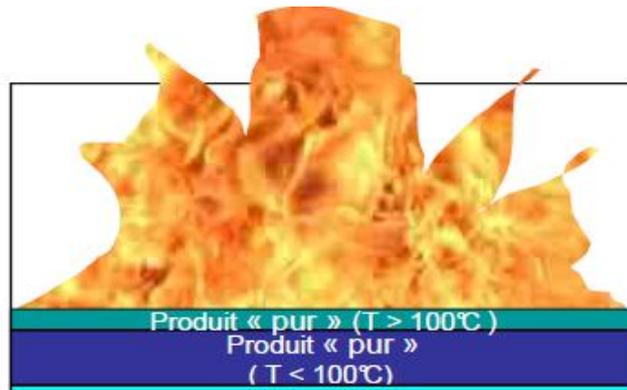


Fig III.7 : première phase d'un boil-over en couche mince

- En raison du rayonnement des flammes sur la surface du liquide, ce dernier subit une augmentation de température sans modification de composition locale. Il n'y a pas de formation d'onde de chaleur. Une fois que tout le combustible situé en dessous de cette zone de température supérieure à 100°C a été consommé, il y a contact entre l'eau et la couche qui provoque l'évaporation de cette dernière.

Cette vaporisation brutale conduit à une augmentation importante de volume et joue le rôle de piston en mettant en suspension le liquide inflammable restant dans le bac.

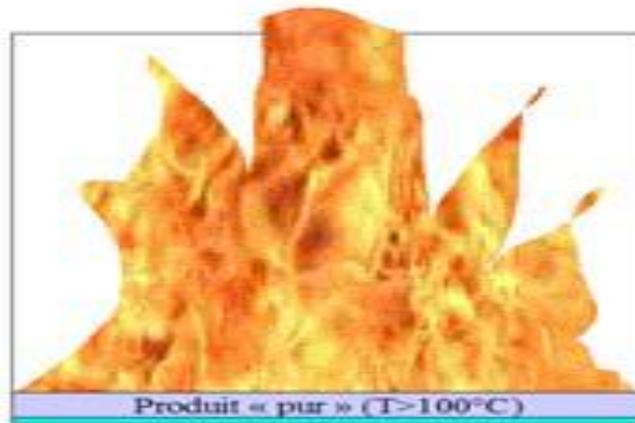


Fig III.8 : la deuxième phase d'un boil-over en couche-mince

- Une partie du liquide est projetée en se fragmentant en gouttes et en se vaporisant en traversant les flammes pour former une zone de combustion vive.



Fig III.9 :troisième phase d'un boil-over en couche-mince

III.3) Conditions d'occurrence du boil over « en couche mince » :

Comme illustré précédemment, les conditions d'occurrence sont sensiblement les mêmes que pour un boil over « classique » à l'exception toutefois de la propension du produit à générer une onde de chaleur : feu de bac, présence d'eau, produit suffisamment visqueux pour s'opposer au passage de la vapeur d'eau à la surface.

Il convient donc d'identifier les séquences accidentelles associées à un feu de bac dans l'analyse des risques et l'étude de dangers. Ces séquences peuvent dépendre des caractéristiques du produit ou des installations.

IV. Conclusions sur les boil over «classique» et «en couche- mince » et produits concernés :

La similitude entre les phénomènes de boil over « classique » et de boil over « en couche mince » réside dans l'évaporation brutale d'une couche d'eau en fond de réservoir qui entraîne la projection enflammée du produit.

Dans le cas du phénomène de boil over « classique », l'onde de chaleur descend plus rapidement que le front de flamme situé sur la partie supérieure du liquide. Aussi, lorsque l'onde de chaleur rencontre le fond d'eau, le produit est projeté entraînant un moussage (le bac déborde) et une boule de feu.

Dans le phénomène de boil over « en couche mince », le produit se consomme en gardant une composition homogène et aucune onde de chaleur ne se forme. La source de chaleur qui peut vaporiser le fond d'eau est le front de flamme lui-même lorsqu'il arrive à proximité immédiate du fond d'eau. Dans ce cas, on retrouve la projection du produit (boule de feu) mais les quantités en jeu sont beaucoup plus faibles et le phénomène de moussage n'est pas observé. La boule de feu est donc plus « petite » et sa durée de vie plus courte, engendrant des effets de moindre intensité.

Il convient aussi de remarquer que dans le cas du phénomène de boil over « classique », plus le bac est plein, plus les effets peuvent être importants mais plus le temps de déclenchement est grand et vice-versa.

Dans le cas, du phénomène de boil over « en couche mince », les effets ne dépendent pas ou presque pas du niveau de remplissage au début de l'incendie du bac. Aussi, les effets maximaux peuvent être atteints dans des conditions défavorables du point de vue cinétique (bac peu rempli). Néanmoins, les effets, sont bien moindres par rapport au boil over classique.



CHAPITRE-IV-

Calcul du boil-over classique

I. Introduction:

L'objet de ce chapitre est de présenter les méthodes de calcul simples de mise en œuvre permettant de déterminer les caractéristiques du boil-over et plus particulièrement, de la boule de feu engendrée par ce phénomène. Ainsi que des effets thermiques associés. Les projections de produits enflamme, qui peuvent former un feu de nappe à l'extérieur du bac, ne seront pas abordées.

Les principales étapes de la modélisation d'un phénomène boil-over sont les suivantes :

- détermination de la quantité d'hydrocarbure participant à la formation de la boule de feu.
- estimation des caractéristiques de la boule de feu.
- caractérisation des effets du rayonnement thermique de la boule de feu.
- Caractéristiques des effets de la surpression.

II. Calcul le facteur de propension au phénomène boil-over :

II.1) Il convient de rappeler premièrement que certains produits seulement ont la possibilité de générer un boil-over (produits suffisamment visqueux) et pour ce la MICHAELIS ; ont développé de façon semi empirique un facteur de propension au phénomène de boil-over exprimé comme suit :

$$PBO = \left[\left(1 - \frac{393}{TBUL} \right) \cdot \left(\frac{\Delta TBUL}{60} \right)^2 \cdot \left(\frac{\nu_{HC}}{0,73} \right) \right]^{1/3}$$

Ou : TBUL : température moyenne d'ébullition de l'hydrocarbure.

$\Delta TBUL$: Plage d'ébullition de l'hydrocarbure.

ν_{HC} : viscosité cinématique de l'hydrocarbure à 393 K.

Un hydrocarbure peut générer un boil-over si : **PBO > 0,6**

II.2) Application numérique :

$$\Delta TBUL = T_{\text{ebul(moy)}} - 393 = 535 - 393 = 142 \quad (\text{k})$$

Calcul de viscosité cinématique à 393 (K) :

$$\nu = \nu_1 \cdot \exp(-\nu_{HC} \cdot (T - T_1))$$

$$\text{Alors : } \nu_{HC} = \frac{1}{T_1 - T_2} \cdot \ln\left(\frac{\nu_2}{\nu_1}\right)$$

Tel que : $\nu_1 = 2,65 \text{ cst}$ et $\nu_2 = 2,5 \text{ cst}$ sont la viscosité cinématiques a températures $T_1 = 293 \text{ (k)}$ et $T_2 = 298 \text{ (k)}$ respectivement.

$$\nu_{HC} = \frac{1}{293-298} \cdot \ln\left(\frac{2,5}{2,65}\right) = 0,0116$$

$$\text{Donc : } \nu = 2,65 \cdot \exp(-0,0116 \cdot (393 - 293)) = 0,83$$

$$PBO = \left[\left(1 - \frac{393}{535}\right) \cdot \left(\frac{142}{60}\right)^2 \cdot \left(\frac{0,83}{0,73}\right) \right]^{1/3} = \mathbf{1,191} > \mathbf{0,6} \quad \text{donc on conclue que le boil-over pourrait avoir lieu.}$$

III. Modélisation de boil-over :

III.1) Les effets de la surpression :

La méthode repose sur l'hypothèse selon laquelle, il doit être possible de reproduire le champ de surpression qui est engendré par une explosion donnée (de gaz,...) en faisant exploser du TNT.

Ainsi, l'équivalent TNT d'un mélange gazeux explosible correspond à la masse de TNT qui en explosant engendrerait le même champ de surpressions que celui engendré par l'explosion d'un kg du mélange explosible considéré.

- 1ère étape : estimer la masse de TNT (équivalent TNT),
- 2nd étape : à l'aide d'abaque ou de courbes, rechercher la valeur de la surpression en fonction de la distance de la source de danger à un point d'impact donnée.

$$d_i = \lambda_i \cdot (M_{TNT})^{1/3}$$

D_i : distance recherchée

λ_i : Distance réduite, fonction du seuil de surpression recherché, et obtenue par lecture des abaques TM5-1300

III.1.1) Calcul de la masse d'équivalent TNT :

$$M_{TNT} = a \frac{E_{gaz}}{E_{TNT}}$$

Avec : a = rendement de l'explosion de gaz

E_{gaz} : représente l'énergie que le combustible considéré peut libérer après combustion,

ETNT : représente l'énergie libérée par l'explosion d'un kg de TNT soit environ 4690 KJ/Kg
 $= 4,69 \cdot 10^6 \text{ J/Kg}$

Remarque :

Le rendement « a » a différentes significations selon ce que représente exactement l'énergie E gaz

considération le fait qu'elle se trouve intégralement ou partiellement mélangée avec l'air dans les limites d'explosibilité, les différentes analyses des explosions accidentelles ont conduit à recommander des rendements de l'ordre de 10 % dans le cadre des études de sécurité.

DONC ;

Pour : 50 mbar $d_i = 22 \cdot (M_{\text{TNT}})^{1/3}$

140 mbar $d_i = 10 \cdot (M_{\text{TNT}})^{1/3}$

170 mbar $d_i = 9 \cdot (M_{\text{TNT}})^{1/3}$

$$M_{\text{TNT}} = \frac{1}{Q_{\text{TNT}}} \cdot \frac{dp \cdot v}{(\gamma - 1)} \cdot (1 - F) \cdot \frac{1}{1 + \varepsilon^3 \gamma - 3}$$

Avec :

QTNT : équivalent TNT

$$d_i = \lambda_i \left[\frac{(PECL - PATM) \cdot 0,25 \cdot \pi \cdot DEQU^2 \cdot HEQU \cdot (1 - F)}{Q_{\text{TNT}} \cdot (\gamma - 1) \cdot (1 + \varepsilon_{fr})^{(3\gamma - 3)}} \right]^{1/3}$$

Où :

DEQU : Diamètre du bac (m)

HEQU : Hauteur du bac (m)

PECL : Pression absolue d'éclatement (Pa)

PATM : Pression atmosphérique (Pa)

F : Facteur d'énergie de distribution de fragmentation

QTNT : Chaleur de combustion du TNT (J/Kg)

γ : Rapport des chaleurs spécifiques

ε_f : Fraction de déformation du matériau

λ_i : Distance réduite (m)

Pression d'éclatement : PECL

- Pour les bacs dont le rapport $r = \text{Hauteur} / \text{Diamètre}$ est supérieur à 1, la Pression d'éclatement sera prise égale à 101 325 Pa relatif (1 bar relatif) ;

- Pour les bacs dont le rapport r est inférieur à 1, la Pression d'éclatement sera prise égale à 50 663 Pa relatif (0,5 bar relatif).

Facteur de distribution d'énergie de fragmentation : F

Le facteur de distribution d'énergie de fragmentation F permet de prendre en compte la répartition entre les différentes énergies participant à l'explosion (énergie de déformation, incluant le paramètre e_{fr} , et énergie de fragmentation pour les effets missiles).

$$F = 0.6$$

Rapport des chaleurs spécifiques :

C'est le rapport des chaleurs spécifiques (chaleur à pression constante / chaleur à volume constant) du mélange 'air/vapeur/gaz brûlé' contenu dans le réservoir lorsqu'il atteint la pression d'éclatement (PECL).

La profession et les experts s'accordent pour :

$$\gamma = 1.314$$

Quel que soit le produit stocké.

Fraction de déformation du matériau : ε_{fr}

Le coefficient d'expansion en volume du réservoir (ou taux d'allongement de l'acier) en fracture, est pris égal à 0, en considérant que ce facteur est déjà pris en compte dans le facteur F .

Sur la base des éléments présentés au paragraphe précédent, les équations deviennent :

$$di = \lambda_i \left[\frac{0.25 \cdot \pi \cdot (1 - F)}{QTNT \cdot (\gamma - 1)} \right]^{1/3} \left[(PECL - PATM) \cdot DEQU^2 HEQU \right]^{1/3}$$

- On remarque pour tous les bacs de stockages que : ($r = \text{hauteur} / \text{diamètre}$) < 1

DONC :

Soit $(PECL - PATM) = 50\,663$ Pa (0,5 bar), donc $PECL = 1.5 PATM$

$F = 0,6$, $\varepsilon_{fr} = 0$:

$$di = \lambda_i \left[\frac{0.25 \cdot \pi \cdot (1 - 0.6)}{4.69 \cdot 10^6 (1.314 - 1)} \right]^{1/3} \left[0.5 PATM \cdot DEQU^2 HEQU \right]^{1/3}$$

$$di = \lambda_i \left[\frac{0.5 \cdot 0.25 \cdot \pi \cdot (1 - 0.6)}{4.69 \cdot 10^6 (1.314 - 1)} \right]^{1/3} \left[PATM \cdot DEQU^2 HEQU \right]^{1/3}$$

$$di = \lambda_i \cdot 4.74 \cdot 10^{-3} \left[PATM \cdot DEQU^2 HEQU \right]^{1/3}$$

Application numérique : on faire une modélisation pour un bac de stockage :

Bac : 813	Hauteur	H _{BRUT}	Volume	Diamètre	Pression	Température
Bac 813	18.20 m	16.504m	48100m	60.9 m	1.70 bar	18 c°

Tableau IV.1 : caractéristique de bac 813.

D'après le graphe abaque TMS-1300 on obtient la distance réduite. (Annexe). $\lambda = 2,6$

$$Di = (\lambda_i) \cdot 4,74 \cdot 10^{-3} [(PATM \cdot DEQU^2 \cdot HEQU)]^{(1/3)}$$

$$\text{Donc: Bac 13 : } di = 2,6 \cdot 4,74 \cdot 10^{-3} \cdot [1,013 \cdot 10^5 \cdot (60,9)^2 \cdot 18,20]^{(1/3)}$$

$$Di (813) = 23.39 \text{ (m)}$$

Et pour certain autres pressions, on calcule les distances de surpressions :

Surpression (mbar)	Distance réduite (Abaque TM5-1300)	Application numérique			Distance (m)
50	22	d50	=	0,104	196,54
140	10,1	d140	=	0,048	[PATM.DEQU ² .HEQU] ^{1/3} 90,71
170	8,9	d170	=	0,042	79,37
200	7,6	d200	=	0,036	68,04

Tableau IV.2 : distances de surpression.

III.2) Détermination de la quantité d'hydrocarbure participant à la formation de la boule de feu :

III.2.1) La vitesse de combustion de l'hydrocarbure (v_1) est évaluée par une relation semi-empirique (Burgess & al., 1961) .

$$V_1 = 10^{-3} \frac{\left(\frac{\Delta Hc}{\rho_1(TM)} \right)}{LV + \int_{TSER}^{TBUL} C_P(T).dT} \quad (\text{m/s}) \quad (1)$$

Avec :

$$TM = (TSER \times TBUL)^{0.5} \quad (\text{K})$$

où :

ΔHc : chaleur de combustion de brut (J/kg),

$\rho_1(TM)$: masse volumique de brut à température TM (kg/m³),

LV : chaleur latente de vaporisation de l'hydrocarbure (J/kg)

C_p: capacité calorifique (J/kg.K),

TSER : température de service de brut dans le réservoir (K),

TBUL : température d'ébullition de brut (K).

III.2.2) La vitesse de propagation de l'onde de chaleur (v₂) est quant à elle estimée en calculant le rapport entre la hauteur d'hydrocarbure liquide HLIQ contenue dans le bac au moment où l'incendie se déclare et le temps t_{BO} de déclenchement du boil-over à partir du même moment telque :

$$V_2 = \frac{HLIQ}{t_{BO}} \quad (\text{m/s}) \quad (2)$$

Où : HLIQ en (m) : hauteur de pétrole brut contenu dans le bac au moment où l'incendie.

t_{BO} (s) : temps de déclenchement du boil-over à partir du moment où l'incendie

III.2.3) Le temps de déclenchement du boil-over t_{BO} est estimé à partir du transfert d'énergie nécessaire à la quantité de brut pour ensuite vaporiser l'eau. En effet, le boil-over se produit lorsque lorsque la totalité de la quantité de brut contenue au-dessus du fond d'eau aura été portée de la température TSER de service du bac à la température de l'onde de chaleur TWAV.

Défini une expression simple du temps de déclenchement du boilover exprimé en s :

$$t_{BO} = \frac{\rho_1(TSER).C_P(TSER).(TWAV - TSER).HLIQ}{\Phi} \quad (\text{s}) \quad (3)$$

ρ_1 : Masse volumique de l'hydrocarbure à température TSER (kg/m³),

C_p(TSER) : capacité calorifique à température TSER (J/kg K),

Φ : fraction du flux radiatif de la flamme dans le feu de bac, qui réchauffe le contenu de bac depuis la couche supérieure jusqu'au fond, prise égale à 60 kW/m^2 .

III.2.4) Pour calculer la température de l'onde de chaleur **TWAV** au moment où le boilo-ver se produit, la démarche adoptée consiste à considérer la courbe de distillation de l'hydrocarbure considéré. Ensuite, il convient de caractériser la courbe de distillation de l'hydrocarbure impliqué. Cette courbe représente le pourcentage volumique cumulé d'hydrocarbures distillés en fonction de la température, lorsque celle-ci se trouve dans une plage comprise entre une température d'ébullition dite initiale $X_{IN} = 15 \%$ et une température d'ébullition dite finale $X_{FIN} = 85 \%$.

Ce phénomène perdure jusqu'à ce que les coupes les plus lourdes, appelées ondes de chaleur, atteignent l'eau située au fond du bac. Cette onde de chaleur a une température de l'ordre de $200 \text{ }^\circ\text{C}$. Donc **TWAV = 473 k**

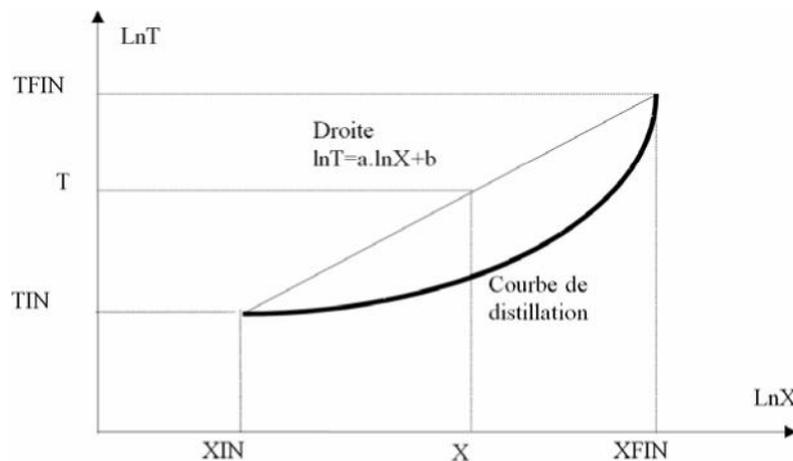


Fig IV.1 : courbe de distillation d'hydrocarbure (pétrole brut)

Ainsi, en coordonnées logarithmiques, l'équation de la courbe de distillation est du type :

$$\ln T = a \ln X + b \quad \text{où :}$$

T : température du produit (K),

X : fraction de produit vaporisé à cette température (%).

Au moment d'un boil-over T_{WAV} sera calculée par la relation suivante :

$$\ln T_{WAV} = a \ln X_{BO} + b \quad (4)$$

On détermine les valeurs des constantes a et b :

$$a = \frac{\ln(T_{FIN}) - \ln(T_{IN})}{\ln(X_{FIN}) - \ln(X_{IN})} = \frac{\ln 823 - \ln 348}{\ln 85 - \ln 15} = 0,50$$

Et pour b :

$$b = \ln(T_{FIN}) - a \cdot \ln(X_{FIN}) = \ln(823) - 0,5 \cdot \ln(85) = 4,50$$

$$b = 4,50$$

Donc l'équation : $\ln T = 0,5 \ln X + 4,50$

Au moment de boil-over on obtient :

$$\ln T_{WAV} = 0,5 \cdot \ln X_{BO} + 4,50$$

III.2.5) la fraction d'hydrocarbure vaporisée X_{BO} (Au moment où le boil-over se produit à t_{BO}) n'est autre que celle qui a été déjà consommée à la vitesse de combustion v_1 , ramenée à la quantité totale de produit présente dans le bac au moment où l'incendie se déclare. Ceci se traduit par la formule suivante :

$$X_{BO} = \frac{v_1 \cdot t_{BO}}{H_{LIQ}} + X_{IN} \quad (5)$$

III.2.6) la masse de vapeur MVAP susceptible de participer à la boule de feu correspondra à une fraction volumique XVAP égale à $(1 - X_{BO})$ Exprimée en (kg) et son expression sera donc la suivante :

$$MVAP = X_{VAP} MLIQ = (1 - X_{BO}) MLIQ \quad (6)$$

Où : MLIQ = masse de brut contenue dans le bac au début de l'incendie (kg).

III.2.7) Application numérique :

❖ On calcule la vitesse de combustion de l'hydrocarbure (v_1) :

On a une relation mathématique de c_p en fonction de T :

$$C_p = \left(\frac{31,56}{\sqrt{\rho_1 (293)}} \right) \cdot (762 + 3,39T) \Rightarrow C_p = \left(\frac{31,56}{\sqrt{798,118}} \right) \cdot (762 + 3,39T)$$

Donc : $C_p = 851,25 + 3,786 T$

$$\begin{aligned} \int_{T_{SER}}^{T_{BUL}} C_p(T) dT &= \int_{T_{SER}}^{T_{BUL}} (851,25 + 3,786 T) dT \\ &= \left[(851,25T + \frac{1}{2} \cdot 3,786 \cdot T^2) + c \right]_{T_{SER}}^{T_{BUL}} \end{aligned}$$

$$= \left[\left(851,25T + \frac{1}{2} \cdot 3,786 \cdot T^2 \right) - 371589,82 \right]_{\text{TSER}}^{\text{TBUL}}$$

On calcule constante C : $C_p(T=273 \text{ K}) = (851,25 + 3,786 \cdot 273) = 1884,828 \text{ j/kg.k}$

$$\text{Donc : } 1884,828 = \left(851,25 \cdot 273 + \frac{1}{2} \cdot 3,786 \cdot (273)^2 \right) + C \Rightarrow$$

$$C = 1884,828 - 373474,65 = -371589,82$$

$$T_M = (292 \times 535)^{0,5} = 395,24 \text{ (K)}$$

$$\rho_1(T) = \rho_1(288) + \xi(288 - T) \Rightarrow \rho_1(395,24) = \rho_1(288) + \xi \cdot (288 - 395,24)$$

$$\text{Et } \xi = 1,825 - \left(0,001315 \cdot \rho_1(288) \right) \Rightarrow \xi = 0,77$$

$$\rho_1(T_M = 395,24) = 719,42 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

$$\rho_1(T = 293^\circ\text{C}) = 798,118 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

Donc:

$$v_1 = 10^{-3} \frac{4,33 \cdot 10^7 / 719,42}{2,9210^5 + \left[\left(851,25T + \frac{1}{2} \cdot 3,786 \cdot T^2 \right) - 371589,82 \right]_{\text{TSER}}^{\text{TBUL}}} = 6,845 \cdot 10^{-5} \text{ (m/s)}$$

❖ Calcul de la fraction de pétrole brut vaporisée X_{BO} :

A partir de la valeur $TWAV = 473 \text{ K}$ et $\Phi = 60 \text{ kW/m}^2$.

$$\text{Et on a : } \ln TWAV = 0,50 \ln X_{BO} + 4,50 \text{ et } X_{BO} = \frac{v_1 \cdot t_{BO}}{HLiq} + XIN$$

Donc:

$$X_{BO} = e^{\left(\frac{(\ln 473) - 4,5}{0,50} \right)} \quad X_{BO} = 27,60 \%$$

❖ Calcul du temps de déclenchement d'un boil-over :

$$t_{BO} = \frac{(X_{BO} - XIN) \cdot HLiq}{v_1} = \frac{(0,27605 - 0,15) \cdot 16,504}{6,845 \cdot 10^{-5}} = 30391,95 \text{ (s)}$$

$$t_{BO} = 8,44 \text{ (h)}$$

❖ **Calcul de la vitesse de propagation de l'onde de chaleur (v_2) :**

$$v_2 = \frac{16,504}{30391,95} = 5,43 \cdot 10^{-4} \text{ (m/s)}$$

❖ **Calcul la masse de vapeur susceptible de participer à la boule de feu :**

On a la masse volumique de brut : $\rho = \frac{m}{v} \Rightarrow m = \rho v$

$$\text{Donc : } m = 802.48100 = 3.86 \cdot 10^7 \text{ (Kg)}$$

$$\text{MAVAP} = (1 - 0,276) \cdot 3,86 \cdot 10^7 = 2,795 \cdot 10^7 \text{ (kg)} .$$

III.3) Estimation des caractéristiques de la boule de feu :

Le pouvoir émissif surfacique Φ_0 de la boule de feu est pris égal à 150 kW/m². Cette valeur a été corroborée par des travaux expérimentaux qui, dans le pire des cas, ont conduit à mesurer une valeur de Φ_0 égale à 123 kW/m² (Broeckmann, 1992)

III.3.1) La température de flamme TFLA peut s'écrire sous la forme suivante :

$$\text{TFLA} = \left(\frac{\Phi_0 + \varepsilon \cdot \sigma \cdot T_{AMB}^4}{\varepsilon \cdot \sigma} \right)^{1/4} \text{ (K)} \quad (7)$$

III.3.2) La combustion de la boule de feu s'effectue à **LSI**. La boule de feu peut dès lors être considérée comme représentative d'une concentration homogène en vapeur d'hydrocarbure égalée à la limite supérieure d'inflammabilité **LSI**.

Ceci signifie que, dans 1 m³ de mélange hydrocarbure-air, se retrouve une masse de vapeur d'hydrocarbure égale à : $\rho_g(\text{TFLA}) \text{ LSI}$ en (kg).

MVAP(TFLA) : masse volumique des vapeurs d'Hc présent TFLA en K

III.3.3) La concentration C en hydrocarbure présent dans la boule de feu s'exprime :

$$C = \rho_g(\text{TFL}) \text{ LSI} \quad \text{(kg/m)} \quad (8)$$

III.3.4) En considérant de façon majorant la masse totale de vapeur d'hydrocarbure générée sans tenir compte de la fraction brûlée, le volume V_{FB} de la boule de feu se définit alors comme suit :

$$V_{FB} = \frac{MVAP}{C} \quad (\text{m}^3) \quad (9)$$

III.3.5) Le rayon de la boule de feu, r_{FB} , s'exprime par :

$$r_{FB} = \left(\frac{3}{4\pi} V_{FB} \right)^{1/3} \quad (\text{m}) \quad (10)$$

III.3.6) La durée de vie de la boule de feu t_{FB} (en s) est estimée par la formule empirique de HIGH (Bagster, 1989), à savoir :

$$t_{FB} = 0,295 (MVAP)^{0,32} \quad (\text{s}) \quad (11)$$

IV.7) La hauteur h_{FB} du centre de la boule de feu peut être calculée par les relations empiriques suivantes :

$$C = \frac{t_{FB} \cdot TFLA^{10/3}}{MVAP^{1/3} \cdot 10^{10}}$$

$$h_{FB} = \left(\frac{68,571 C}{2,857 + C} \right) \left(\frac{MVAP}{TFLA} \right)^{1/3} + HEQU \quad (\text{m}) \quad (12)$$

III.3.8) Application numérique :

❖ **La température de flamme TFLA :**

$$TFLA = \left(\frac{(123000 + 0,6 \cdot 5,677 \cdot 10^{-8} \cdot (20 + 273))^4 \cdot \frac{1}{0,6 \cdot 5,677 \cdot 10^{-8}}}{0,6 \cdot 5,677 \cdot 10^{-8}} \right)^{\frac{1}{4}}$$

$$\text{Donc : } TFLA = 1379,21 \quad (\text{K}^\circ)$$

❖ **La concentration de hc présenté dans la boule de feu :**

On cherche la valeur de $\rho_g(\text{TFL})$: $\rho_g(\text{TFL}) = \rho_g(300) / (1 + B \cdot (T_{FLAM} - 300))$

Avec : $B = 9,52 \cdot 10^{-4}$

Donc : $\rho_g(\text{TFL}) = 6,686 / (1 + 9,52 \cdot 10^{-4} \cdot (1379,21 - 300)) = 3,30 \quad (\text{kg/m}^3)$

$$C = 3,30 \cdot 0,055 = 0,18 \quad (\text{Kg/m}^3)$$

❖ **Le volume e la boule de feu VFB :**

$$V_{FB} = \frac{2,795 \cdot 10^7}{0,18} = 155277777,8 \quad (\text{m}^3)$$

Hauteur de pétrole brut(m)	Masse de pétrole brut (kg)	Volume de boule de feu (m ³)
16.504	$2.95 \cdot 10^7$	155277777,8
14	32689359,6	131483868,6
12	28019554,2	112700873,6
10	23349588,4	93917233,34

Tableau IV.3 : Calcul de volume da boule de feu pour déférents hauteur de brut.

Présentation graphique :



Fig IV.2 : Influence de l'auteur de brut sur le volume de la boule de feu.

❖ **Le rayon de la boule de feu r_{FB} :**

$$r_{FB} = \left(\frac{3 \cdot 155277777,8}{4,3,14} \right)^{1/3} = 333,488 \text{ (m)}$$

❖ **la durée de vie de la boule de feu t_{FB} :**

$$t_{FB} = 0,295 \cdot (2,795 \cdot 10^7)^{0,32} = 71,23 \text{ (s)}$$

❖ **La hauteur du centre de la boule de feu h_{FB} :**

On le hauteur de bac 813 : HEQU=18,20(m).

$$a = \frac{t_{FB} \cdot TFLA^{10/3}}{MVAP^{1/3} \cdot 10^{10}} = \frac{71,23 \cdot 1379,21^{10/3}}{(2,795 \cdot 10^7)^{1/3} 10^{10}} = \mathbf{0,68538}$$

Donc :

$$h_{FB} = \left(\frac{68,571 \cdot 0,68538}{2,857 + 0,68538} \right) \left(\frac{2,795 \cdot 10^7}{1379,21} \right)^{\frac{1}{3}} + 18,20 = \mathbf{379,906 \text{ (m)}}$$

Et pour autres hauteurs da brut on obtient :

Hauteur de pétrole brut(m)	Masse de pétrole brut (kg)	Hauteur de boule de feu (m)
16.504	$2,95 \cdot 10^7$	379,90
14	32689359,6	329,28
12	28019554,2	309.06
10	23349588,4	286.17

Tableau IV.4: Calcul de hauteur de boule de feu pour déférent hauteur de brut.

Présentation graphique :

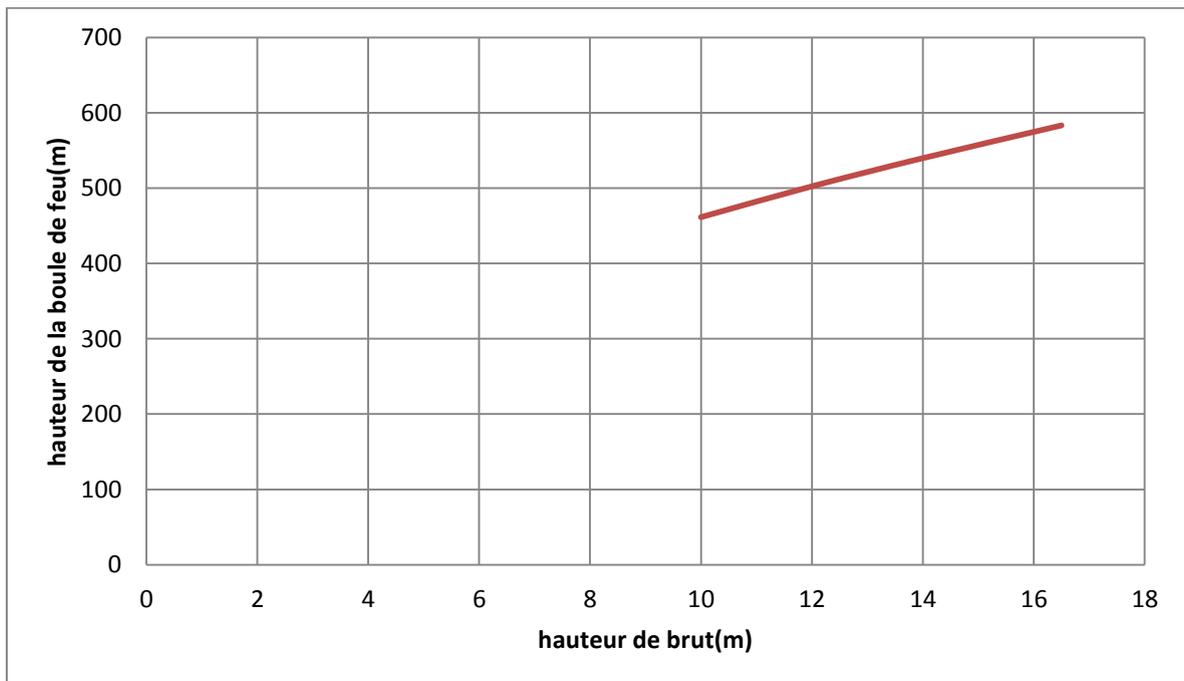


Fig .IV.3 : Influence de la hauteur de brut sur la hauteur de la boule de feu.

III.4) Caractérisation des effets du rayonnement thermique de la boule de feu sur une personne exposée et/ou l'environnement

Charges thermiques critiques retenues pour l'homme.

Les effets thermiques radiatifs d'une boule de feu sur une population donnée dépendent de l'intensité des radiations ainsi que de la durée d'exposition de ces radiations. L'IN ERIS retient les seuils de la circulaire du 29 septembre 2005 soit :

1 800 (kW/m²)^{4/3} .s pour les effets létaux significatifs (SELS).

1 000 (kW/m²)^{4/3} .s pour les effets létaux (SEL).

600 (kW/m²)^{4/3} .s pour les effets irréversibles (SEI).

III.4.1) Les densités de flux Φ_{seuil} s'expriment en fonction du temps d'exposition à la source. Dans une approche majorante, celui-ci est pris égal à la durée de vie de la boule de feu, t_{FB} : en (kW/m²)^{4/3} .s

$$\Phi_{seuil}^{4/3} \cdot t_{FB} = \text{seuil} \Rightarrow \Phi_{seuil} = \left(\frac{\text{seuil}}{t_{FB}} \right)^{3/4} \quad (\text{KW/m}^2) \quad (13)$$

III.4.2) Calcul des distances d'effets thermiques :

III.4.2.1) Le flux rayonné $\Phi(x)$ reçu à une distance X du centre de la boule de feu s'écrit :

En kW/m², où :

$$\Phi(x) = F_{VIEW} \cdot \tau(x) \Phi_0 \quad (\text{kw/m}^2) \quad (14)$$

F_{view} : facteur de forme entre la cible et la boule de feu,

$\tau(x)$: facteur d'atténuation dans l'air entre la surface de la boule de feu et la cible.

III.4.2.2) Le facteur de forme F_{view} se calcule de façon simple en fonction de la distance X du centre de la boule de feu à la cible et du rayon (r_{FB}) de la boule de feu :

$$F_{VIEW} = \left(\frac{r_{FB}}{X} \right)^2 \quad (15)$$

III.4.2.3) Pour tenir compte de l'atténuation atmosphérique du rayonnement dans le calcul du flux de chaleur, le facteur de transmissivité $\hat{o}(x)$ dépendant de la distance x entre l'enveloppe de la boule de feu et la cible $x = X - r_{FB}$ peut être estimé à l'aide par exemple de la loi empirique de Bagster (1989) :

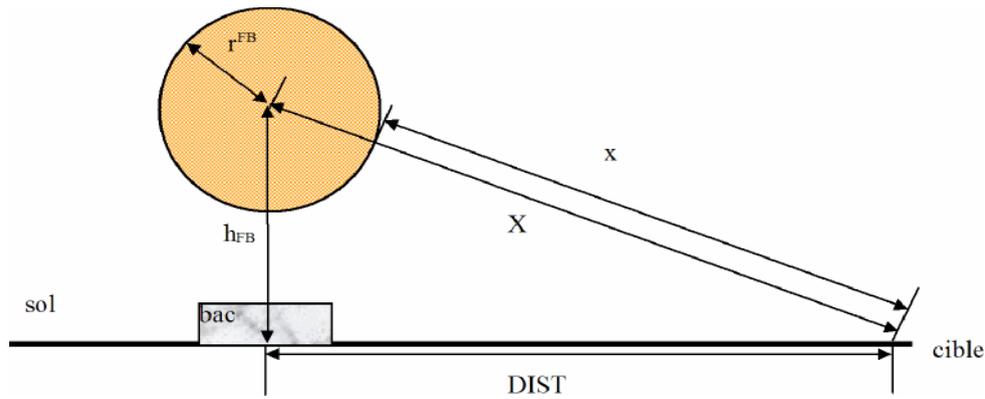
$$\tau(x) = 2,02(P_w \cdot X)^{-0.09} \quad (16)$$

Avec: x : Distance entre l'enveloppe de la flamme et la cible (m). (Figure IV.4)

p_w : pression partielle de vapeur d'eau dans l'air à humidité relative donnée (N/m²),

$$P_w = 101325 \cdot RH \cdot \exp\left(14,4114 - \frac{5328}{T_{amb}}\right)$$

T_{amb} : Température ambiante.



FigIV.4) placement schématique des notations relatives à la boule de feu.

III.4.3) détermination des distances d'effets en fonction de la masse de produit stocké peuvent s'écrire d'une façon générale comme suit :

$$\text{DIST}_{\text{seuil}} = A_{\text{seuil}} \cdot \text{MLIQ}^{B_{\text{seuil}}} \quad (\text{m}) \quad (17)$$

Où: $\text{DIST}_{\text{seuil}}$ est la distance en m associée au seuil d'effet Seuil, définies entre le centre de bac et la cible.
MLIQ est la masse d'hydrocarbure contenu dans le bac au début de l'incendie (kg),

Brut léger	Constantes associées à $\text{DIST}_{\text{SELS}}$		Constantes associées à DIST_{SEL}		Constantes associées à DIST_{SEI}	
	A_{SELS}	B_{SELS}	A_{SEL}	B_{SEL}	A_{SEI}	B_{SEI}
Brut léger	0,17	0,446	0,267	0,454	0,363	0,448
DIST	583,17 (m)		742,71 (m)		909,28 (m)	

Tableau IV.5 : couples de constantes de pétrole brut stocké

III.4.4) Application numérique :

❖ **Calcul Les densités de flux Φ_{seuil} :**

$$\Phi_{\text{SELS}} = \left(\frac{1800}{71,23} \right)^{3/4} = 11,27 \quad (\text{kw/m}^2)$$

$$\Phi_{\text{SELS}} = \left(\frac{1000}{71,23} \right)^{3/4} = 7,25 \quad (\text{kw/m}^2)$$

$$\Phi_{SELS} = \left(\frac{600}{71,23} \right)^{3/4} = 4,94 \quad (\text{kw/m}^2)$$

❖ **On calcul la distance de la boule de feu :**

$$X = ((h_{BF})^2 + ((D/2)+d)^2)^{1/2}; \quad X = ((379,906)^2 + (150+(60,9/2))^2)^{1/2}$$

On diamètre de bac 813 :60,90 (m)

Et on suppose qu'une personne a une distance de 150 (m).

$$X=420,60 \quad (\text{m})$$

Donc on déduire la distance entre l'enveloppe de la boule de feu et la cible :

$$x = X - r_{BF} = 420,60 - 333,488 \Rightarrow x = 87,10 \quad (\text{m})$$

❖ **On calcule Le facteur de forme Fview :**

Telque X c'est la distance entre le centre de boule de feu et la cible.

$$F_{VIEW} = \left(\frac{333,488}{420,60} \right)^2 = 0,628$$

❖ **Calcul pression partielle de vapeur d'eau dans l'air à humidité relative donnée (N/m²) :**

$$P_W = 101325 \cdot 0,70 \cdot \exp\left(14,4114 - \frac{5328}{293}\right) \Rightarrow P_W = 1630,29 \quad \text{Pa}$$

❖ **Le facteur de transmissivité $\tau(x)$:**

$$\tau(x) = 2,02(1630,29 \cdot 87,10)^{-0,09} \Rightarrow \tau(x) = 0,694$$

❖ **Le flux rayonné $\Phi(X)$ reçu à une distance X du centre de la boule de feu :**

$$\Phi(x) = 0,694 \cdot 0,628 \cdot 123000 = 53642,70 \quad (\text{w/m}^2)$$

On a la masse volumique de brut $\rho = m/V$ ou : $m = v \cdot \rho$

$$\text{Donc : } m = 802 \cdot 48100 = 3,86 \cdot 10^7 \quad \text{Kg}$$

$$\text{DIST(sels)} = (3,86 \cdot 10^7)^{0,466} \cdot 0,17 = 583,17 \quad \text{m}$$

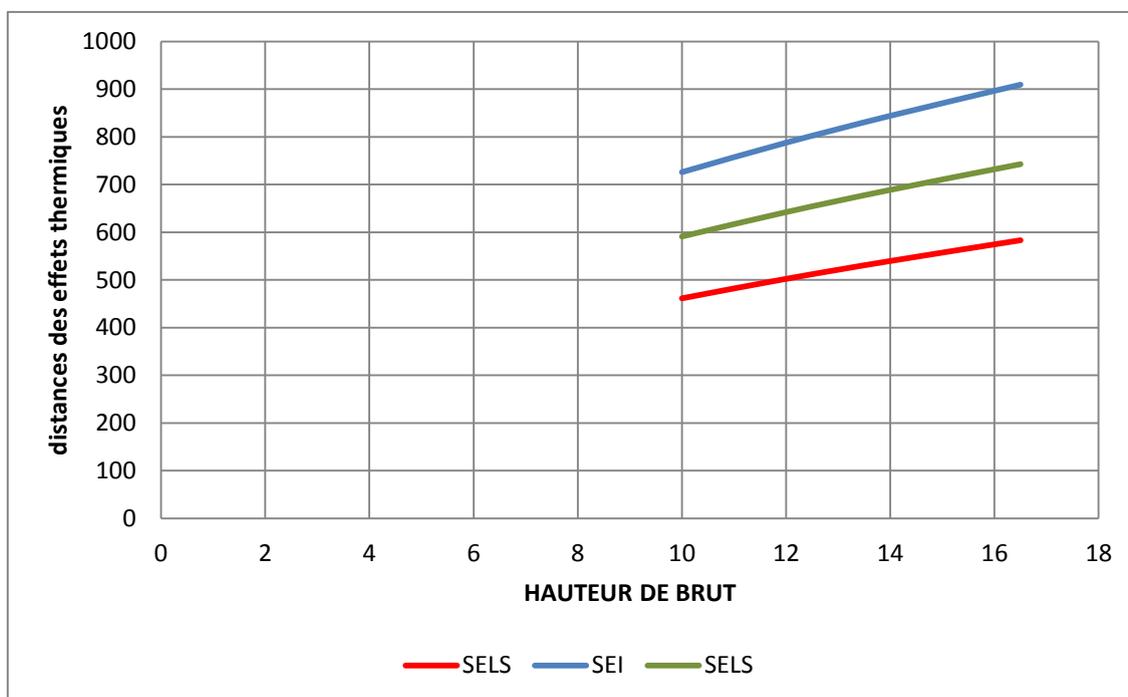
$$\text{DIST(sel)} = 742,71 \quad \text{m}$$

$$\text{DIST (seuil)} = 909,28 \quad \text{m}$$

Et pour autres différentes hauteurs de brut on obtient :

Hauteur de pétrole brut(m)	DIST _{SELS}	DIST _{SEL}	DIST _{SEI}
16,50	583,17	742,71	909,28
14	539,71	688,73	844,03
12	502,30	642,18	787,71
10	461,38	591	725,93

Tableau IV.6 : Calcul des distances d'effets thermiques pour différents hauteurs de pétrole brut.

Présentation graphique :**Fig IV.5 :** Influence de la hauteur de brut sur les distances des effets thermique.

Données du calcul :

Données sur pétrole brut ;

Paramètre à connaître du brut léger	Valeurs
Masse volumique de la phase liquide à 288°K	802 (kg/m ³)
Masse volumique de la phase gaz à 300°K	6,686 (kg/m ³)
Chaleur latente de vaporisation à température d'ébullition	2,92.10 ⁵ (J/kg)
Chaleur de combustion	4,33.10 ⁷ (J/kg)
Limite supérieure d'inflammabilité (% volumique)	0,055 % Volume
Viscosité à 393 K (cSt)	2,5 cst
Température d'ébullition	535 (K)
Température d'ébullition initiale correspondant à une fraction vaporisée de 15 %	348 (K)
Température d'ébullition finale correspondant à une fraction vaporisée de 85 %	823 (K)
Température critique	686 (K)
Pression critique	1,86.10 ⁶ (Pa)
Densité 15°C	0,8 kg/l
Tension de vapeur TVR	738 g/cm ²
Teneur en soufre	0,1% pds
Température auto inflammation	280 °C
point éclair	< -20°C
PCS	11020 kcal/kg
Capacité calorifique massique	2100 j/kg.k

Tableau IV.4 : Les caractéristiques de pétrole brut.

IV. Interprétation des résultats du calcul

D'après la modélisation et l'analyse de résultats et les graphes obtenus on peut déduire qu'il y a des nombreux paramètres qui influent sur la boule de feu générée par le phénomène boil-over, donc on peut citer :

- Les distances des effets de surpression sont plus petites si les pressions de stockage sont grandes.
- La boule de feu est caractérisée par sa hauteur et son rayon, la quantité de brut stocké est l'un des facteurs qui contrôle le dimensionnement de la boule de feu.
- La vitesse de propagation de l'onde de chaleur (v_2) est proportionnelle à la masse de pétrole brut et son hauteur dans le bac de stockage
- La hauteur du liquide ou bien le volume contenu dans le bac influe directement sur la hauteur de la boule de feu, plus la hauteur et le diamètre sont grands (capacité importante stockée) plus la hauteur de feu est importante.
- la nature de liquide participant à la naissance de la boule de feu est aussi influée sur les effets thermiques et sur les distances (létales et irréversibles).
- la masse initiale de pétrole brut est un facteur considérable lors de l'évaluation des distances (létaux, irréversibles et létaux significatifs).
- Et d'après le graphe IV.5, les distances des effets irréversibles sont les plus grandes par rapport aux autres distances.



Conclusion générale

Conclusion Générale

Au terme du travail présenté, nous avons élaboré une étude sur le risque lié aux stockages et distribution du pétrole brut dans les bacs, d'une manière générale et le boil-over spécifiquement, au niveau du terminal brut OZ1/OZ2 de SONATRACH TRC basée à ARZEW.

Tout d'abord, nous avons commencé par décrire l'environnement du site afin d'identifier les éléments vulnérables, et évaluer les risques, par nous avons définis les caractéristiques de ces risques. Finalement nous devons maîtriser ces phénomènes en instaurant des politiques de prévention et de protection pour lutter contre eux.

Pour une évaluation plus fine, des modélisations ont été réalisées afin d'obtenir les caractéristiques de boule de feu et les distances d'effets pour les différents seuils réglementaires et permettre une représentation cartographique des effets pour le phénomène boil-over.

On peut conclure que malgré une urbanisation relativement faible à proximité du site, certains phénomènes dangereux impactent de manière significative l'extérieur du site : boil-over, incendie de cuvettes situées à proximité de la base ITA et pressurisation du bac a toit fixe.

Malgré tous ces travaux, l'occurrence de certains risques comme le boil-over est évidence ce qui incite de prendre des mesures utile et nécessaires afin de minimiser la fréquence des risques, pour ces raisons nous préconisons les recommandations suivantes

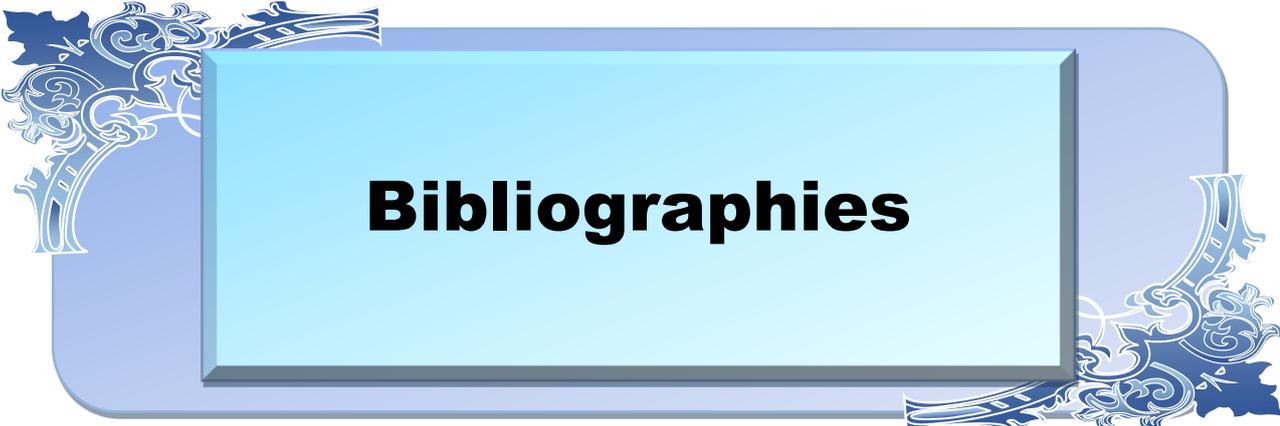
➤ **Amélioration des barrières existantes.**

Il est privilégié dans un premier temps l'amélioration des barrières techniques plutôt qu'organisationnelle :

- Système d'arrosage du réservoir par colonne arrosage (barrière 2) : Ce système n'est présent que sur les nouveaux bacs. Il est conseillé de généraliser son installation sur les bacs existants.
- Arrosage par moyens mobiles (barrière 3) : le centre de secours étant situé dans les zones d'effets des Phénomènes dangereux.
- Il est vivement déconseillé de déplacer ce centre dans un emplacement en dehors des zones d'effets critiques (a minima effets domino).
- Joints gonflables en haut des bacs à toit flottant (barrière 10) : cette barrière permet de limiter l'émission à l'atmosphère de gaz inflammable (générateur potentiel de feu de bac et donc de boil-over). Il semble donc important de réhabiliter les systèmes existants.

- Epreuve décennale des bacs (barrière 17) : l'épreuve décennale d'un bac est fondamentale pour la détection de faiblesse sur la structure du bac pouvant conduire, dans le pire des cas, à une rupture instantanée de la capacité. Il est donc impératif de respecter sa périodicité.
- Protection incendie : le principal risque présent sur le site est un risque incendie. Les moyens de lutte incendie sont donc déterminants dans la maîtrise du risque. Les axes d'améliorations proposées sont les suivants :
 - ✓ Déplacer le bâtiment d'intervention en l'éloignant raisonnablement des bacs de stockage. Ce conseil put aussi être appliqué pour le laboratoire et le local de maintenance.
- Remettre à jour le réseau incendie :
 - ✓ Estimer les besoins réels du réseau incendie (réserve en eau, débit en eau, taux d'application des émulseurs,...) en tenant compte de l'incendie initiateur

(Ex : incendie d'une cuvette) et du nombre maximal de bacs cibles à protéger.
 - ✓ Equiper l'ensemble des bacs de rampes d'arrosage fixe et automatique.
 - ✓ Vérifier le bon débit d'arrosage surfacique des bacs déjà équipés.
 - ✓ Vérifier le maillage du réseau incendie.
- **Mise en place de nouvelles barrières :**
 - Mise en place de protection anticollision au droit des sorties de canalisations : Ces protections devront être dimensionnées sur la base du plus gros véhicule pouvant entrée sur site et sur une vitesse d'impact forfaitaire mais majorant.
 - Réalisation d'études complémentaires d'évaluation de certains risques spécifiques :
 - ✓ Il est apparu au cours de l'étude de dangers que certains types de risques mériteraient une caractérisation spécifique et donc plus fine.
 - ✓ Il semble pertinent d'étudier de manière spécifique le caractère frangible du toit , lorsque on a ruine de l'enveloppe du bac à toit fixe en cas d'explosion interne.
 - ✓ on préconise l'amélioration de la protection contre la foudre du site (ex : mise à la terre des installations contenant des liquides inflammables par un réseau maillé, parafoudre , équi-potentialité des masses, détecteur d'orages,..)



Bibliographies

Bibliographie

- Document PDF Technique de l'ingénieur, génie mécanique par Régis CHAMAYOU (responsable des études de la société entrepose-DB(EDB)).
- Document PDF sur boil-over .INERIS-DRA-2003-460055.
- Document PDF, les mécanismes et modélisation d'un boil-over. (Stéphanie PATEJ –INVE /DRA).
- document PDF, ministère charge d l'environnement –DPPR/SEI/BARP-IMPEL.
- Cours madame BENRAHOU, les phénomènes de combustion.
- Anciens mémoire (2014 et 2015) sur les risques liés aux stockages.
- Des rapports de stage donnant par DRH TRC.
- Document Word donne par le département de sécurité RTO sur l'étude de danger dans le terminal brut 2009.
- Images internet.
- Des informations Wikipédia.
- Sites internet. (INRS - www.inrs.fr/)

ANNEXE 1:

FOND DE BAC

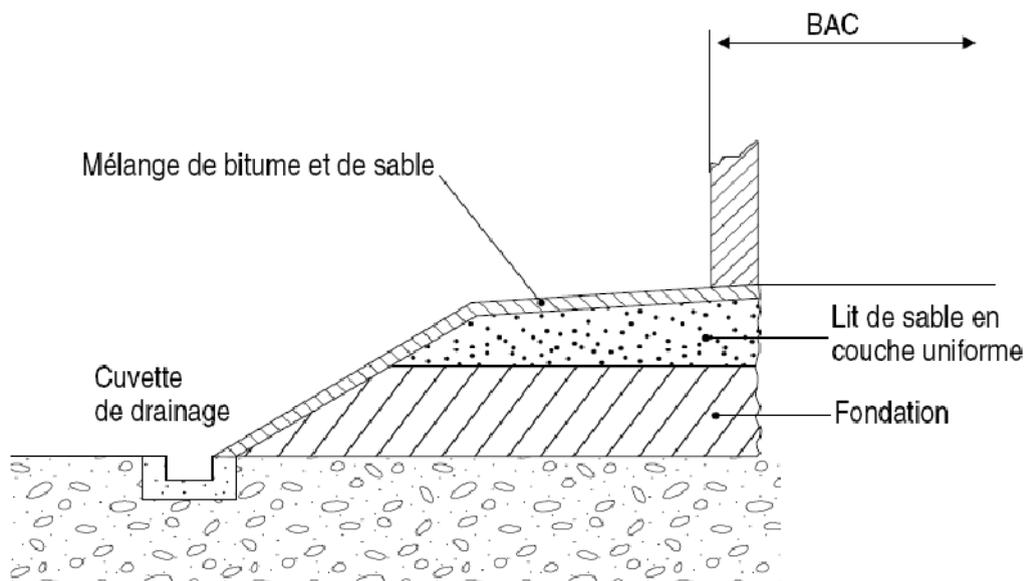
Le fond de bac est construit en plaques de tôle se recouvrant aux extrémités où elles sont soudées entre elles. Certains fonds de bacs sont protégés par une peinture bitumineuse interne.

Le fond de bac doit être conçu pour permettre une vidange aussi complète que possible, ainsi que les purges d'eau et de dépôts. Pour cela on lui donne une pente d'environ 1 à 2 % qui est dirigée soit vers le centre (fond concave) soit vers la périphérie (fond convexe).

Les bacs de petits diamètres (inférieur à 10 m) possèdent un fond concave.

Les bacs de grands diamètres sont munis de fond convexe afin de faciliter les opérations de nettoyage ou d'extraction de dépôts au voisinage des trous d'homme).

Le fond repose souvent sur une galette de gravier ou de sable revêtue d'un enrobé bitumineux permettant une étanchéité et une adaptation au contact de l'assemblage des tôles de fond.



Exemple de fondation de bac

ANNEXE 2:

ROBE DE BAC

La robe de bac est constituée par un empilage vertical de bandes de tôle soudées bout à bout, de largeur 1,8 à 2,4 m et de longueur pouvant atteindre 10 m.

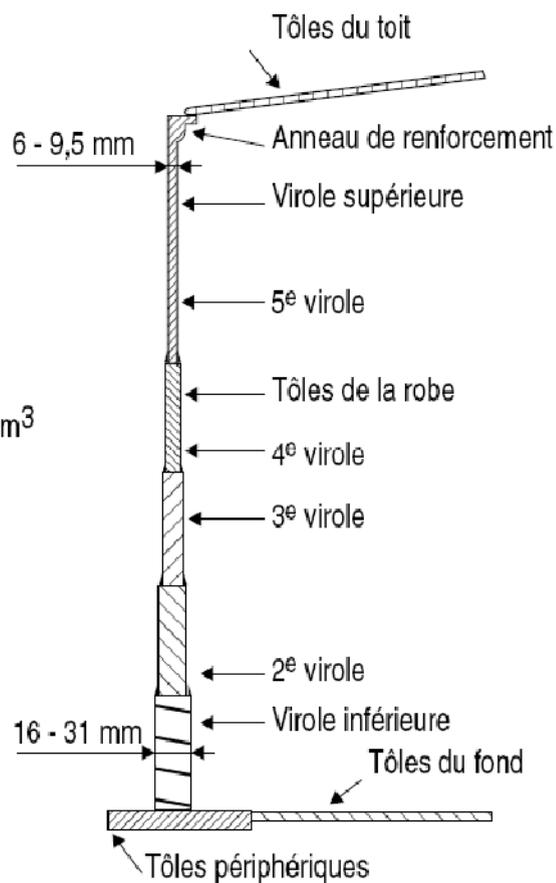
La robe est calculée pour résister à la pression latérale qui s'exerce sur elle quand le bac est rempli d'eau (épreuve) ou du produit, si ce dernier est plus lourd que l'eau.

L'épaisseur minimum de la robe doit assurer en plus la résistance au vent latéral et aux tremblements de terre.

Un réservoir de stockage est relativement vulnérable et peut s'affaisser en cas de grand vent, s'il n'est pas conçu pour y résister. Le schéma ci-dessous montre que l'épaisseur de la robe varie de la base au sommet.

Sauf cas particuliers, les réservoirs ne sont pas calculés pour résister à une dépression supérieure à quelques millibars.

Capacité.....: 12 800 m³ - 90 000 m³
Diamètre.....: 33,5 m - 82 m
Hauteur.....: 14,5 m - 18 m
Épaisseur des tôles..... : 16 mm - 31 mm

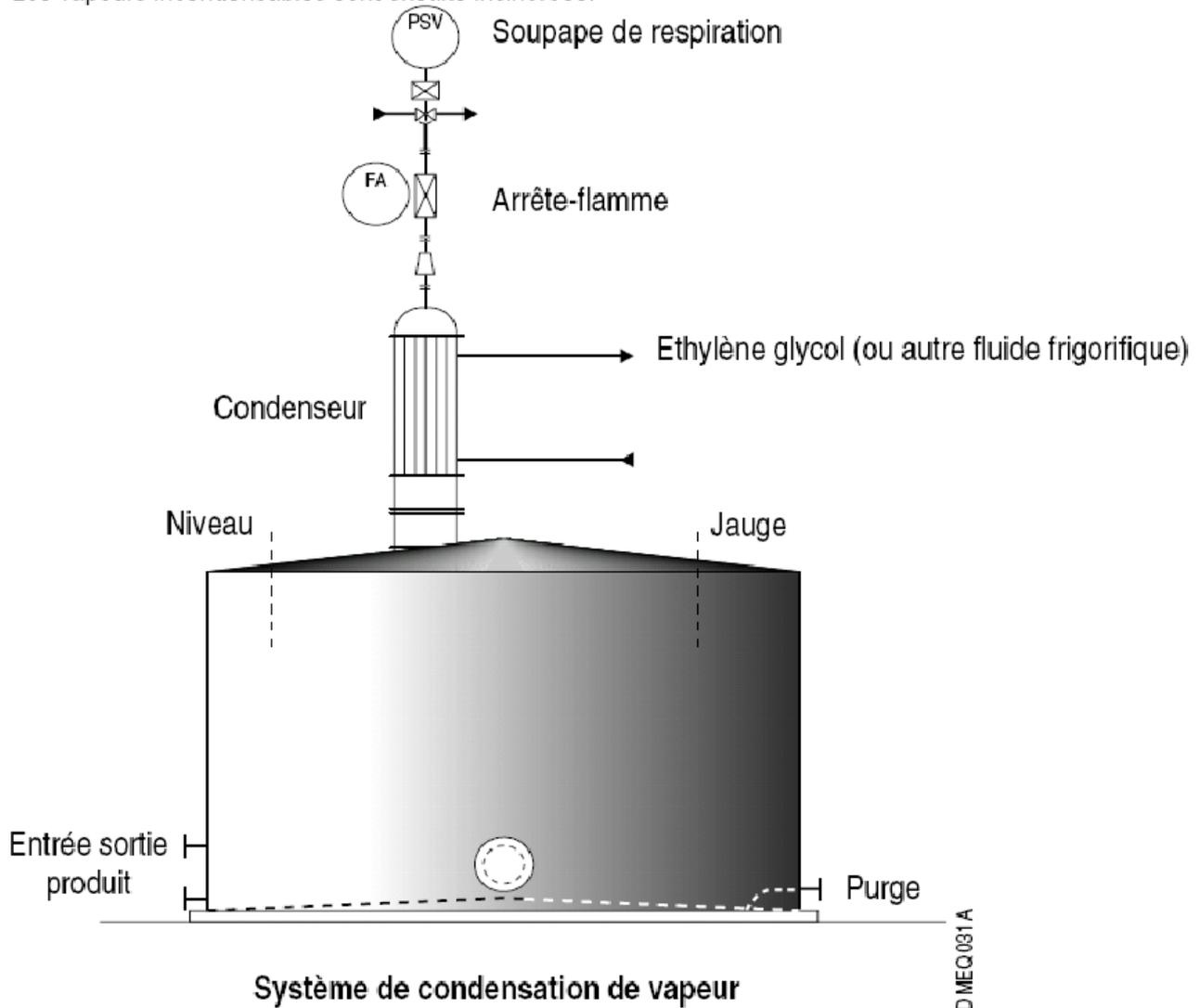


ANNEXE 3:

Protection contre les rejets atmosphériques

Pour les produits les plus volatils, avec les deux priorités que sont la sécurité et le respect de l'environnement, les vapeurs sont condensées au maximum à l'aide d'un échangeur dont le fluide caloporteur est de l'éthylène glycol aux environs de -15 °C à l'entrée de l'appareil.

Les vapeurs incondensables sont ensuite incinérées.



ANNEXE 4:

IV - PROTECTION CONTRE LES RISQUES D'INCENDIE DES BACS

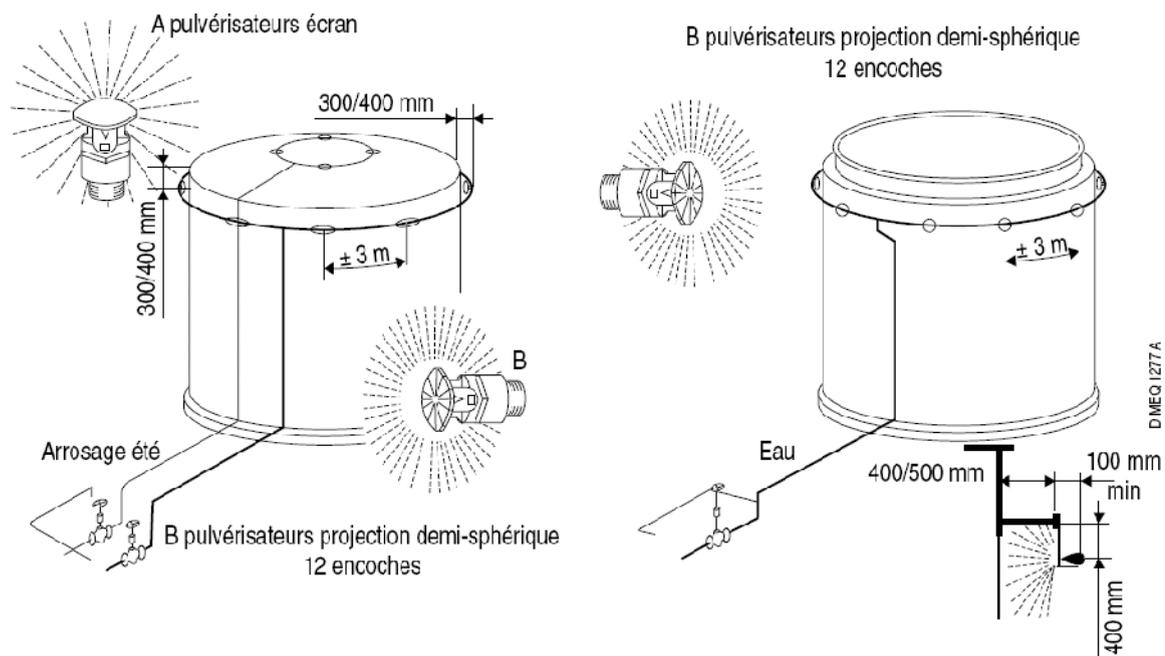
En cas d'incendie, les dispositifs mis en œuvre sont :

- l'arrosage à l'eau
- l'étouffement à la mousse

1 - DISPOSITIF D'ARROSAGE DES BACS

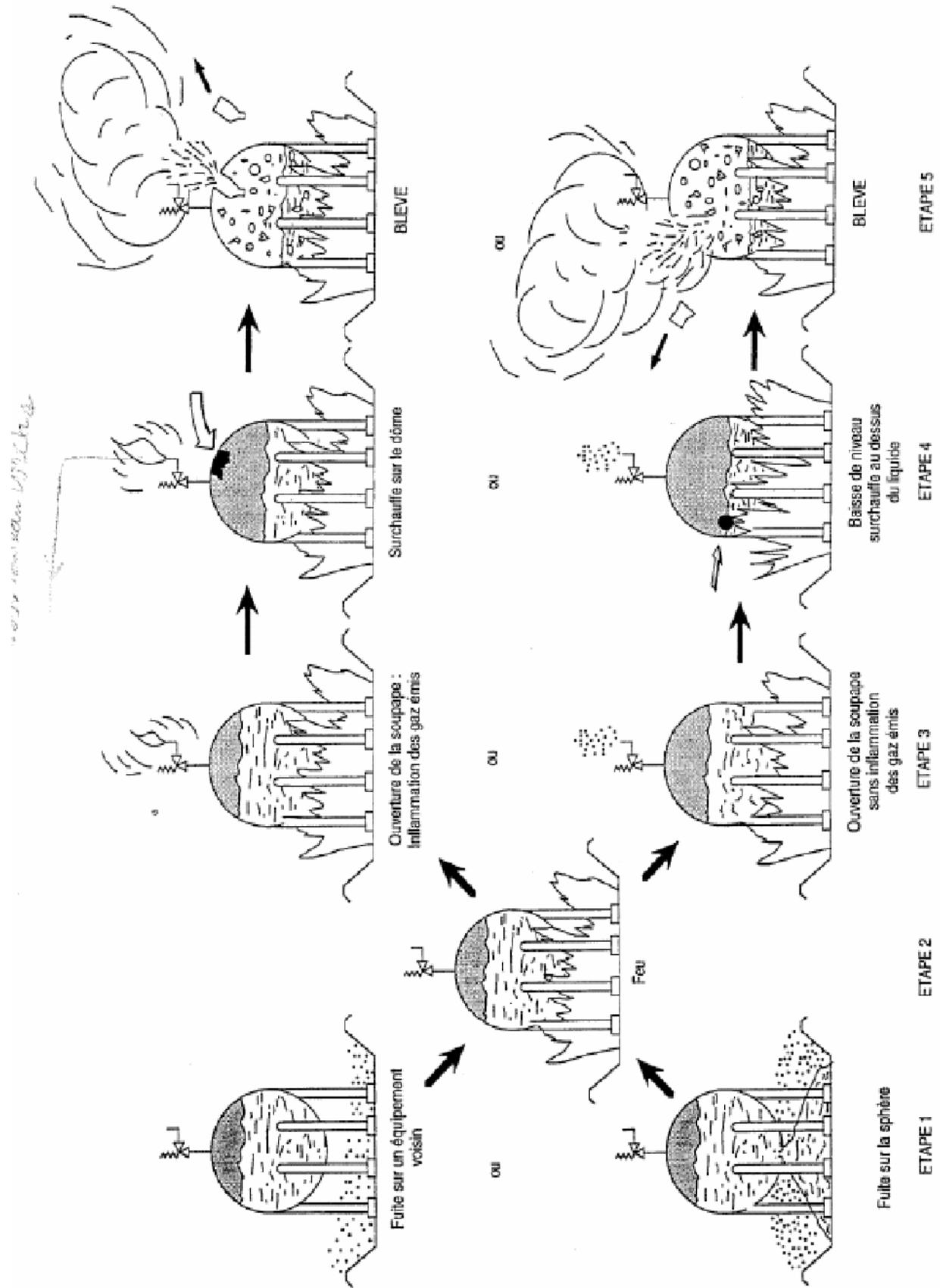
Pour protéger les bacs voisins d'un bac en feu, on peut :

- arroser systématiquement la robe
- parfois, arroser le toit dans le cas de bac à toit fixe



ANNEXE 5 :

Les différentes étapes de BLEVE.

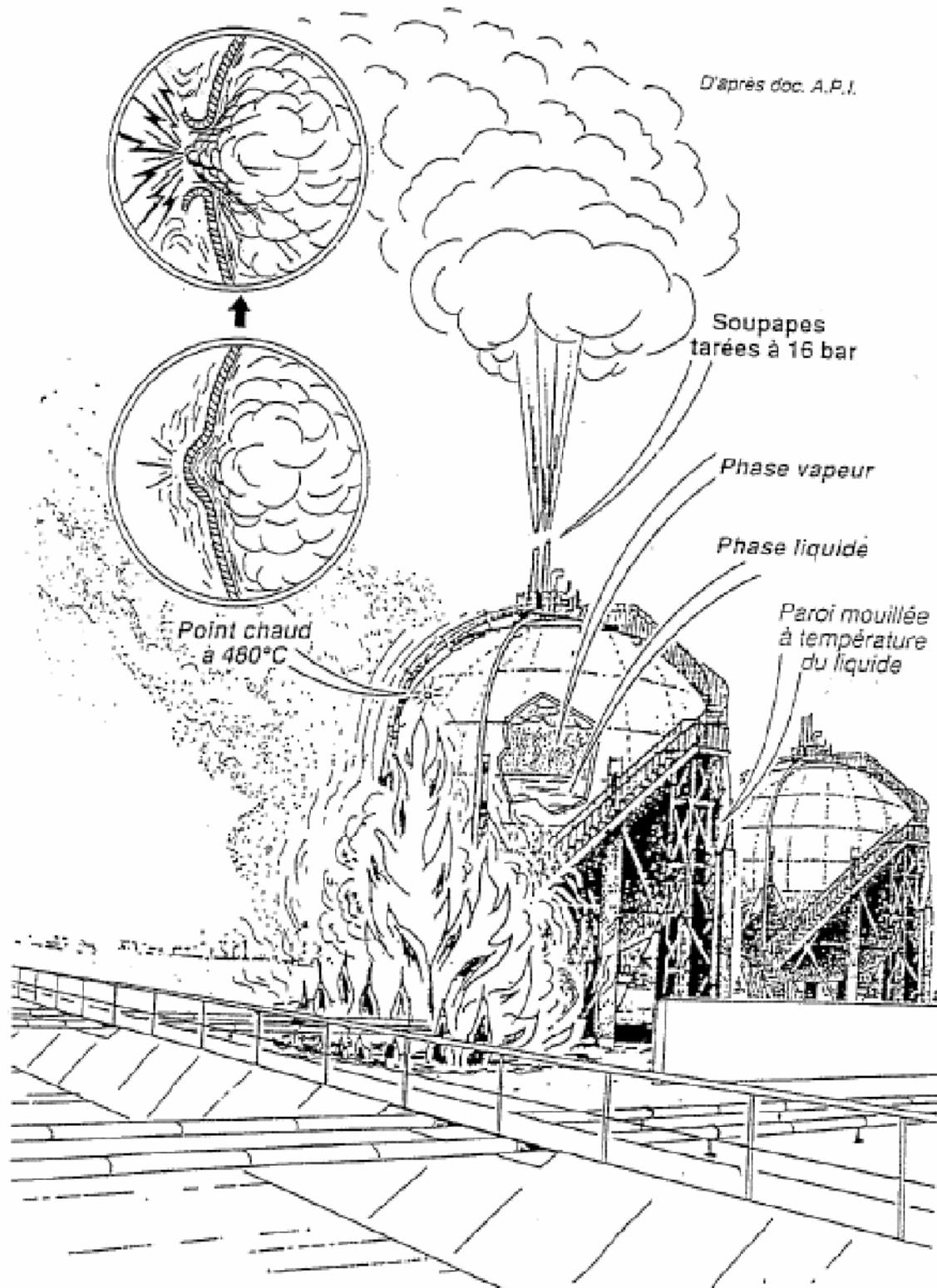


ANNEXE 6 :

Le déroulement de BLEVE.

Le schéma ci-dessous illustre l'initiation du BLEVE sur une sphère de propane.

Conditions normales de service : $T \cong 25^{\circ}\text{C}$ $P \cong 8,2 \text{ bar rel.}$



Déformation de la paroi non mouillée du réservoir et initiation du BLEVE (cas du propane)

ANNEXE 7:

Graphe abaque TMS-1300

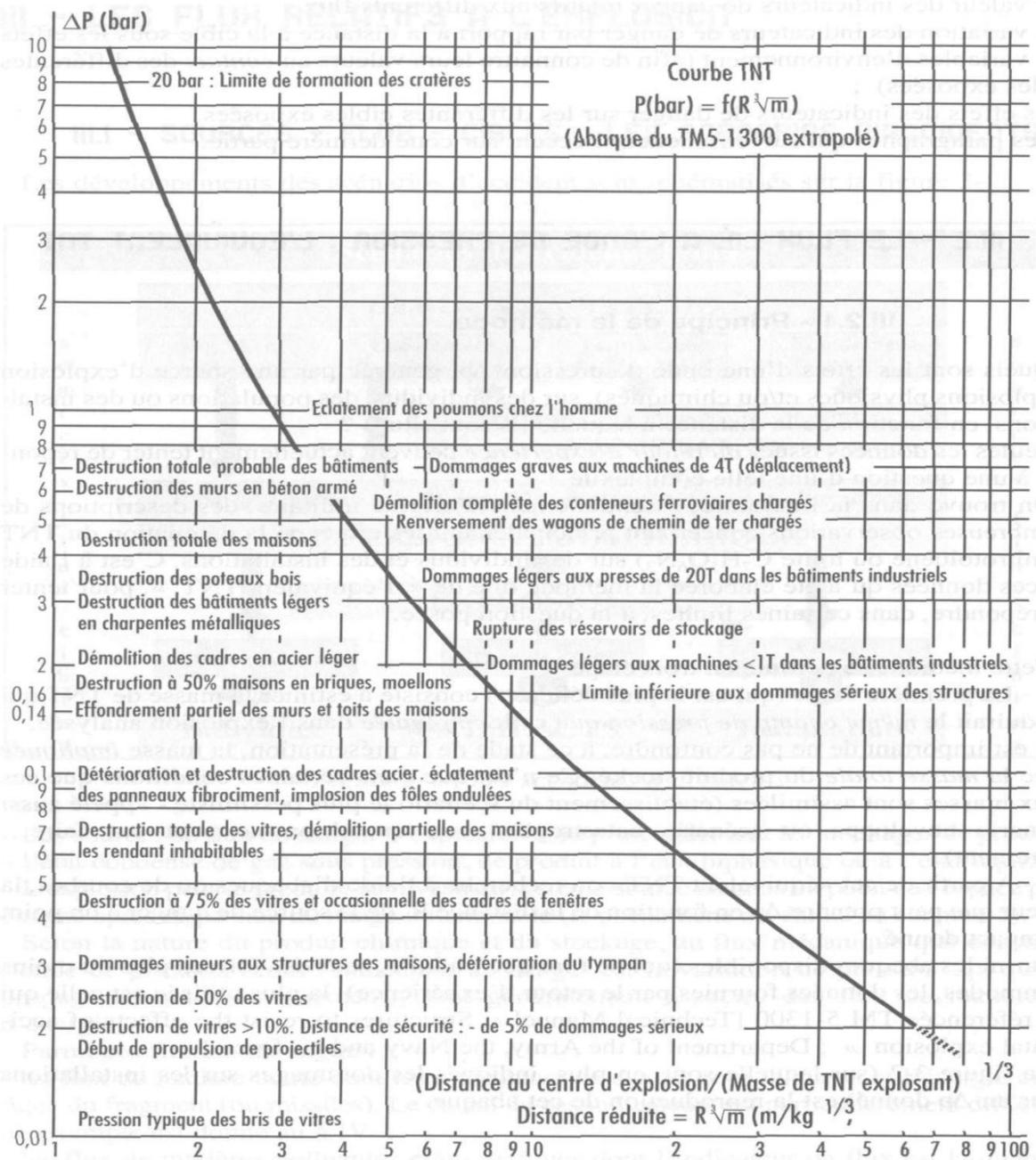


Figure 3-2 - Abaque TMS- 1300

ANNEXE8 :

Caractéristiques des bacs de stockage du RTO.

N° Bac de stockage	Volume Nominal	Volume Utile (m ³)	Produit	Hauteur (m)	Diamètre Nominal (m)	Toit	Date de Construction	Hauteur d'exploit Min (m)	Hauteur d'exploitation Max (m)
801	46200	39000	BRUT	15,900	61,800	Flottant	1965	1,500	14,500
802	46200	39000	“	15,900	61,800	“	“	“	“
803	46200	39000	“	15,900	61,800	“	“	“	“
804	46200	39000	“	15,900	61,800	“	“	“	“
805	46200	39000	“	15,900	61,800	“	“	“	“
806	46200	39000	“	15,900	61,800	“	“	“	“
807	46200	39000	“	15,900	61,800	“	“	“	“
808	50000	40400	“	17,000	61,700	“	1966	2,000	15,500
809	50000	40400	“	17,000	61,700	“	“	“	“
810	50000	40400	“	17,000	61,700	“	“	“	“
811	50000	41000	“	18,000	60,000	“	“	“	16,500
812	50000	41000	“	18,000	60,000	“	“	“	“
813	50000	42300	“	18,200	60,900	“	1969	“	“
814	50000	42300	“	18,200	60,900	“	“	“	“
815	56056	48807	“	17,180	67,020	“	2006	2,000	16,000
816	56056	48807	“	17,180	67,020	“	“	2,000	16,000
817	56056	48807	“	17,180	67,020	“	“	2,000	16,000
818	56056	48807	“	17,180	67,020	“	“	2,000	16,000