

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université M'HAMED BOUGARA - BOUMERDES

Faculté des Hydrocarbures et de la Chimie



DEPARTEMENT
GENIE DES PROCÉDES CHIMIQUE ET PHARMACEUTIQUE

Mémoire de fin d'études

*En vue de l'obtention du diplôme de MASTER
En Sécurité Industrielle*

THEME:

Modélisation du phénomène d'explosion de
bac atmosphérique par la méthode de
l'équivalent TNT

Réalisé par :

- MEHENNI AMIR MASSINISSA.
- NASRI ISLEM.

Devant le jury composé de :

- | | | |
|-----------------|-----|--------------|
| • Dr KHALASSI | MCA | Président |
| • Dr BENHABILES | MCA | Examineur |
| • Mme YOUNSSI | MAA | Examinatrice |
| • Mme BENRAHOU | MAA | Promotrice |

Promotion 2016



REMERCIEMENTS

Toute la gratitude et le merci à Dieu, le Tout Puissant qui nous a ouvert les portes du savoir et nous a donné la force et la patience de réaliser ce travail.

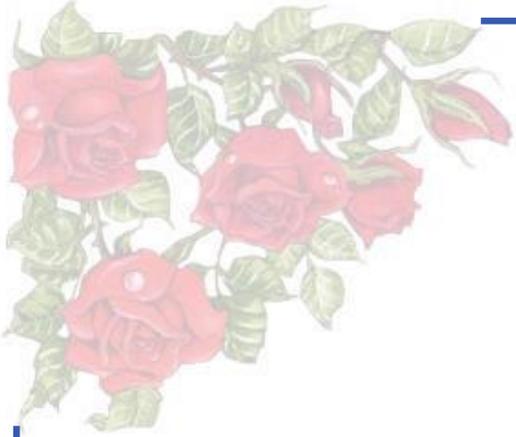
*Nous remercions notre promoteur Mme: **BENRAHOU FATIMA** pour son aide précieuse, ses remarques et ses conseils qui nous ont permis de terminer ce modeste travail.*

Nous tenons à exprimer nos reconnaissances et notre haute gratitude envers l'ensemble des personnes de la région HASSI R'MEL.

Nous adressons aussi nos sincères remerciements à l'ensemble des enseignants de la FHC qui ont contribué à notre formation.

Par conclure, nous remercions toute personne qui a participé de près ou de loin, de façon directe ou indirecte, à la réussite de ce travail pour lequel nous avons tant consacré en y mettant aussi tout notre cœur.





Dédicaces

J'ai le grand plaisir de dédier ce modeste travail :

*A mes parents qui m'ont toujours soutenu et encouragé durant
mes études et qui m'ont sacrifié tout leur temps et énergie pour
que je puisse réussir.*

A mes frères et ma sœur.

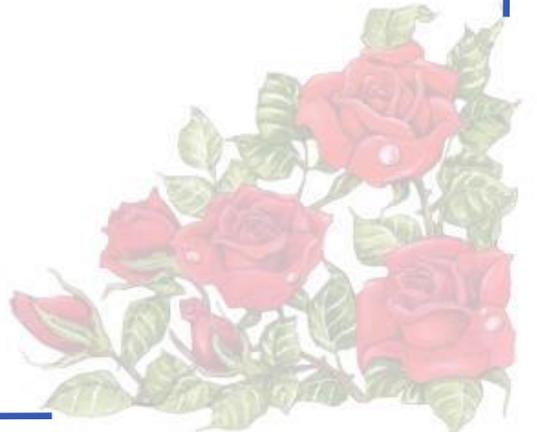
A toute ma famille.

A tout mes amis qui m'ont aidé durant mon cursus d'étude.

*A mon binôme ISLEM pour tous les moments inoubliables que
nous avons passé ensemble.*

A Tous ceux que j'aime et je respecte.

AMIR MASSINISSA.



Sommaire

Introduction générale	1
-----------------------------	---

Chapitre I : Présentation de l'entreprise

I.1. Présentation de SONATRACH HASSI R'MEL.....	2
I.2. Présentation du champ de HASSI R'MEL.....	3
I.3. Description du module MPP3.....	6
I.3.4. Organigramme du module MPP3.....	7
I.3.5. Description du processus.....	9

Chapitre II : Généralités sur le stockage des hydrocarbures

II.1. Généralités sur les bacs de stockage des hydrocarbures.....	16
II.1.1. Définition de stockage des hydrocarbures.....	16
II.1.2. Les bacs de stockages.....	16
II.1.3. Les types des bacs.....	19
II.2. Sécurité d'un bac de stockage.....	25
II.2.1. Equipements de sécurité d'un bac de stockage.....	25
II.3. Les différents risques liés au stockage des hydrocarbures.....	28
II.4. Les principales causes des risques liées aux stockage des hydrocarbures.....	30

Chapitre III : Analyse des risques

III.1. Introduction.....	32
III.2. L'analyse des risques.....	32
III.3. Présentation de la méthode HAZOP.....	34
III.4. Les avantages et les inconvénients de la méthode HAZOP.....	37

Chapitre IV : Application de la méthode HAZOP

IV.1. Application de la méthode HAZOP.....	39
IV.2. Les tableaux HAZOP.....	40
IV.3. Résultats de l'étude HAZOP.....	52

Chapitre V : Partie calcul

V.1. Introduction.....	54
V.2. Objectif.....	54
V.3. Domaine d'application.....	54
V.4. Phénoménologie.....	54
V.5. Les étapes de la méthode.....	55
V.6. Caractéristiques et spécification techniques du bac T001A.....	56
V.7. Modélisation du scénario EXPLOSION.....	56
V.7.1. Pression d'éclatement.....	57
V.7.2. Facteur de distribution d'énergie de fragmentation.....	57
V.7.3. Rapport des chaleurs spécifiques.....	58
V.7.4. Fraction de déformation du matériau.....	58
V.7.5. Effet de surpression.....	59
V.7.6. Effet missile.....	64
V.7.7. Calcule des besoins en eau et émulseur.....	68
V.8. Interprétation des résultats.....	70
Conclusion générale.....	71
ANNEXES.....	72
Bibliographie.....	79

Liste des figures :

Figure I.1 : situation géographique de HASSI-R'ME	2
Figure I.2 : le champ gazier de HASSI-R'MEL	5
Figure I.3 : Organigramme du module MPP3.....	7
Figure I.4 : MPP3 processus	15
Figure II-1 : exemple de fondation de bac	17
Figure II-2 : schéma d'une robe de bac	18
Figure II-3: schéma d'une ceinture de renforcement	19
Figure II-5: schéma des toits fixes autoportants	20
Figure II-4: schéma d'un toit fixe du type conique	20
Figure II-6 : schéma d'un réservoir à toit fixe	21
Figure II-7 : schéma d'un bac à toit flottant.....	22
Figure II-8: exemple de bac à toit flottant, type ponton annulaire	23
Figure II-9 : schéma d'un réservoirs cylindriques (cigares) et d'une sphère	24
Figure II-10 : schéma montre le rôle de l'évent lors de remplissage	25
Figure II-11 : schéma montre le rôle de l'évent lors de vidange	25
Figure II-12 : schémat de l'arrete-flammes	26
Figure II-13 : système de condensation de vapeur	26
Figure II-14 : exemple de soupape à double effet.....	27
Figure II-15 : triangle de feu	28
Figure V.1 : ouverture de la liaison robe/fond	55
Figure V.2 : Gonflement d'un réservoir	58
Figure V.3 : Courbe de décroissance de la surpression aérienne due à l'éclatement du réservoir	62
Figure V.4 : Abaque TM5-1300	63
Figure V.5 : trajectoire du fragment	65

La liste des tableaux :

Tableau III.1.critères de choix pour les principales méthodes d'analyse des risques.....	33
Tableau III.2: Exemple de tableau pour l'HAZOP.....	36
Tableau.III.3 : Exemples de mot-clé pour l'HAZOP.....	36
Les tableaux d'application de la méthode HAZOP	41
Tableau V.1 : description de l'équipement.....	56
Tableau V.2 : Tableaux des équations de distance des effets de surpression.....	58
Tableau V.3 : Tableaux des distances des effets de surpression taux de remplissage 80%....	60
Tableau V.4 : Tableaux des distances des effets de surpression taux de remplissage 70%....	60
Tableau V.5 : Tableaux des distances des effets de surpression taux de remplissage 50%....	61
Tableau V.6 : Tableaux des distances des effets de surpression taux de remplissage 30%....	61
Tableau V.7 : Tableaux de la distance parcourue par le missile en fonction de ΔP	68

Liste des abréviations :

GPL : gaz pétrole liquéfiés.

SRGA : station de récupération des gaz associés .

SCN : station de compression Nord.

CTH : centre de traitement d'huile.

CSTF : centre de stockage et de transfert de condensât et de GPL.

MPP : Modul Processing Plant.

TVR : tension de vapeur reid.

PPM : particule par million.

LIE : limite inferieur d'explosivité.

LIS : limite supérieure d'explosivité.

UVCE : Unconfined Vapor Cloud Explosion.

BLEVE : Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion.

A.D.F : antidéflagrants.

APR : analyse préliminaire des risques.

HAZOP : Hazard Operability.

ADE : analyse par arbre d'évènement.

ADD : arbre des défaillances.

AMDEC : analyse des modes de défaillances, de leurs effets et de leur criticité.

PIC : pression indicateur contrôleur.

PIAH : pressure indicator alarm high.

ATEX : atmosphère explosible.

FIAL : flow indicator alarm low.

POI : plan d'organisation interne.

FR : flow recorder.

BV : bride valve.

FIZ : flow indicator emergency.

LICA : level indicator contrller alarm.

HXC : manually operated depressure or cut off valve.

TG : temperature jauge.

TNT : trinitrotoluène.

RTO : recovery time objective.

Introduction :

L'industrie pétrolière est devenue aujourd'hui une branche fondamentale de l'économie mondiale et de l'économie de notre pays 'Algérie'.

L'Algérie est un pays a grand potentiel gazeux aux niveaux mondial, les réserves les plus importantes en gaz se trouvent à HASSI R'MEL.

Le gaz joue un rôle énergétique croissant vu l'importance des dernières réserves découvertes et les avantages qu'il présente sur le plan de l'environnement favorisant notamment son utilisation dans la production d'électricité, les coûts techniques de la production et de traitement sont moins chers.

Aujourd'hui, les accidents industriels majeurs et les catastrophes menacent plus en plus le monde industriel. Pour cela des efforts considérables sont fournis pour maîtriser la sécurité des installations industrielles.

Le risque industriel majeur est l'un des risques le plus courant, il a une très grande importance pour les sites industriels et correspond à un événement accidentel se produisant sur un site industriel, pouvant entraîner des conséquences immédiates graves pour le personnel, les populations avoisinantes, les biens et a l'environnement.

En effet l'incident du complexe de liquéfaction de gaz naturel de Skikda le 19.01.2004 qui a engendré la destruction de 50% des installations et la perte de 27 agents ainsi une réduction du pouvoir de production et d'exploitation de G.N.L

La prévention de ces accidents et la réduction de leurs conséquences repose sur l'identification des risques liés aux produits stockés et aux types des installations existants.

C'est dans ce courant d'idées que s'intègre notre travail. Il s'agit de procéder à une étude sur les risques liés aux stockages du condensat afin d'identifier les sources de dangers et les situations associées susceptibles de conduire à la dégradation de la santé et la sécurité.

I.1Présentation de SONATRACH HASSI R'MEL :

I.1.1Situation géographique :

Hassi R'mel est située à 525Km au sud d'Alger entre la ville de Ghardaïa et Laghouat et à une altitude de 760m environ (figure 01). Ce champ s'étend sur 70KM du nord au sud et 50KM de l'Est à l'Ouest, c'est un gisement de gaz brut riche en condensât et un anneau d'huile sur la périphérie Est.

La région est à 2° 55 ' et 3° 50' de longitudes et 3° 50' de latitudes Nord. Cette région est caractérisée par un climat sec, une humidité moyenne de 19% en été et 34% en hiver. La température à Hassi R'mel varie entre -5 °C et 45 °C.

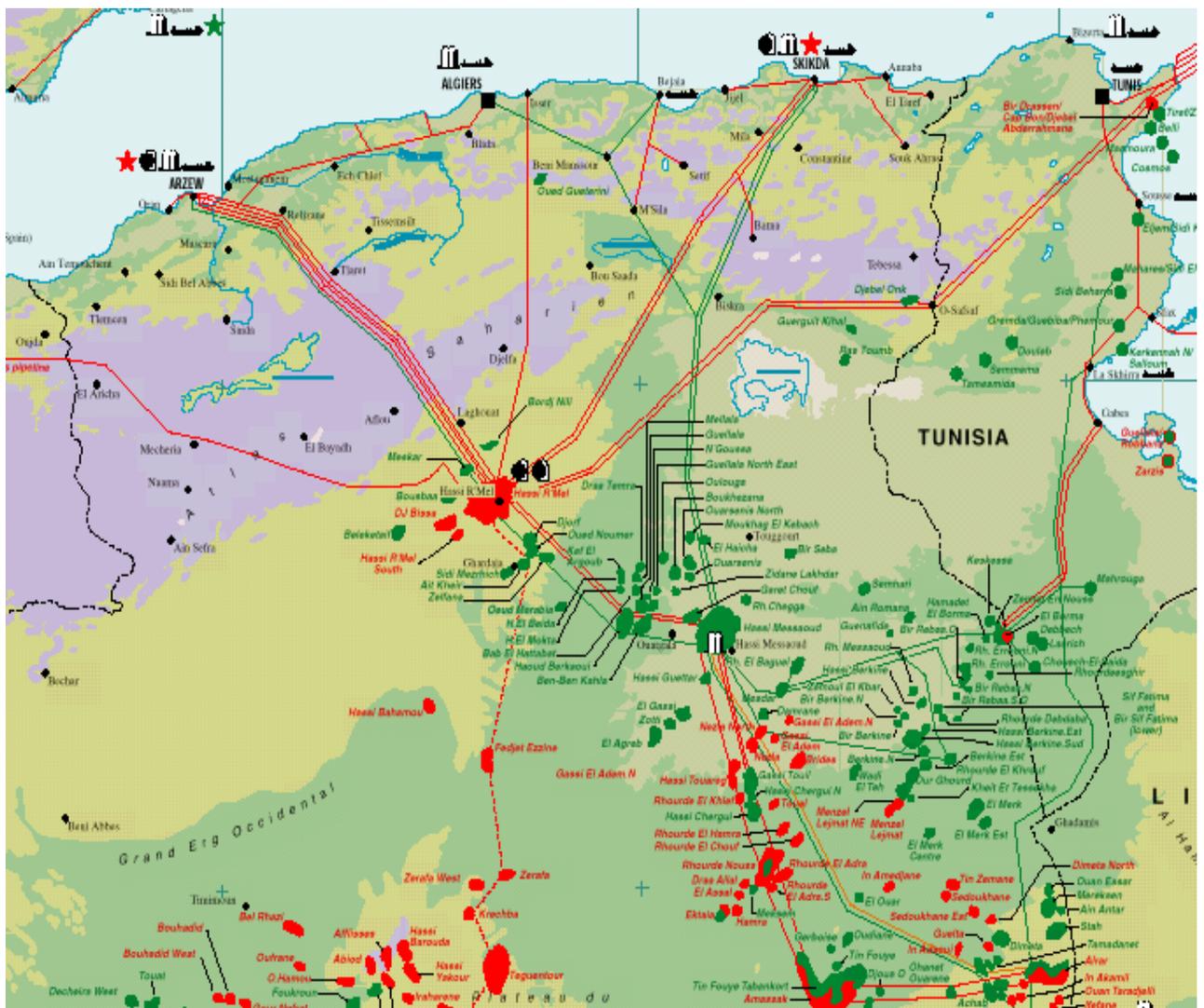


Figure I.1 : situation géographique de HASSI-R'MEL

I.2.Présentation du champ de HASSI R'MEL :

I.2.1.La description :

Le réservoir de gaz humide du champ de Hassi R'mel est situé dans le Trias Argilo-Gréseux, d'une hauteur de 120 m environ. Il est constitué par la superposition de 3 niveaux gréseux (A, B, C) à intercalations d'argile, d'épaisseurs et caractéristiques pétro physiques variables.

Les dimensions de la structure de Hassi R'mel sont de l'ordre de 70 X 150 Km de direction SSO-NNE. Elle se compose de trois (03) zones qui diffèrent par leurs caractères structuraux : Zone Nord, Zone Centrale et Zone Sud. Dans cette dernière zone on note l'individualisation de 2 structures : Djebel Bissa et Hassi R'mel Sud.

L'anneau d'huile aux extrémités du gisement est exploité dans ses parties NE et Sud.

Le nombre total des puits en exploitation à ce jour est de :

- **162** puits producteurs de gaz.
- **28** puits producteurs d'huile.
- **55** puits injecteurs de gaz.

I.2.2. Les étapes de développement :

Le développement du gisement de Hassi R'mel a été réalisé en plusieurs étapes :

- **1961-1969** Mise en exploitation de 06 unités de traitement de gaz d'une capacité de 04 Milliards de m³ par an.
- **1972-1974** Mise en exploitation de 06 unités supplémentaires pour atteindre une capacité de 14 Milliards m³ par an.
- **1975-1980** Mise en œuvre et réalisation du Plan Directeur de Développement qui visait les objectifs suivants :

Augmentation de la capacité de traitement de 14 à 100 Milliards m³ par an.

Maximisation de la récupération des hydrocarbures liquides condensât et le GPL par réinjection partiel du gaz.

- **1985** : Réalisation et mise en service d'une unité pour la récupération des gaz torchée et la production du GPL des modules 0 et 1.
- **1987 et 2000** : Réalisation et mise en service de 05 centres de traitement d'huile, de deux unités de traitement de gaz (HR-SUD et Djebel Bissa) et d'une station de récupération des gaz associés (SRGA) provenant des centres de traitement d'huile.

- **2001** : Mise en œuvre du projet BOOSTING.

I.2.3. Répartition des installations de Hassi R'mel :

Pour une exploitation rationnelle du gisement de gaz, les unités de traitement de la région de Hassi R'mel sont réparties en trois secteurs :

A- Secteur Nord, regroupant :

- **Module 3** : unité de traitement de gaz.
- **SCN** : station de compression Nord.
- **CTH2** : centre de traitement d'huile.
- **CTH4** : centre de traitement d'huile.

B- Secteur Centre, regroupant :

- **Module 0** : unité de traitement de gaz.
- **Module 1** : unité de traitement de gaz.
- **Module 4** : unité de traitement de gaz.
- **CSTF** : centre de stockage et de transfert de condensât et de GPL.
- **SRGA** : station de récupération des gaz associés.
- **CTH1** : centre de traitement d'huile.
- **CTH3** : centre de traitement d'huile.

C- Secteur Sud, regroupant :

- **Module 2** : unité de traitement de gaz.
- **CTG** : Djebel Bissa.
- **HR Sud**.
- **SCS** : Station de compression Sud.
- **CTH Sud** : centre de traitement d'huile.

I.2.4. La capacité de production totale par jour avoisine :

- **280** millions de m³ de gaz de vente
- **9 000** tonnes de GPL
- **24 000** tonnes de condensât

I.2.5. La capacité de production totale par an :

Le développement final du champ a permis d'atteindre les capacités de production suivantes:

- **100** milliards de m³ de gaz par an.
- **8,8** millions de tonne de condensât par an.
- **3,2** millions de tonne de GPL par an.
- **xxde** tonnes de pétrole brute par an.

La capacité de réinjection pour chaque station de compression est de 90 millions de m³ par jour avec une puissance de 600000 Chevaux.

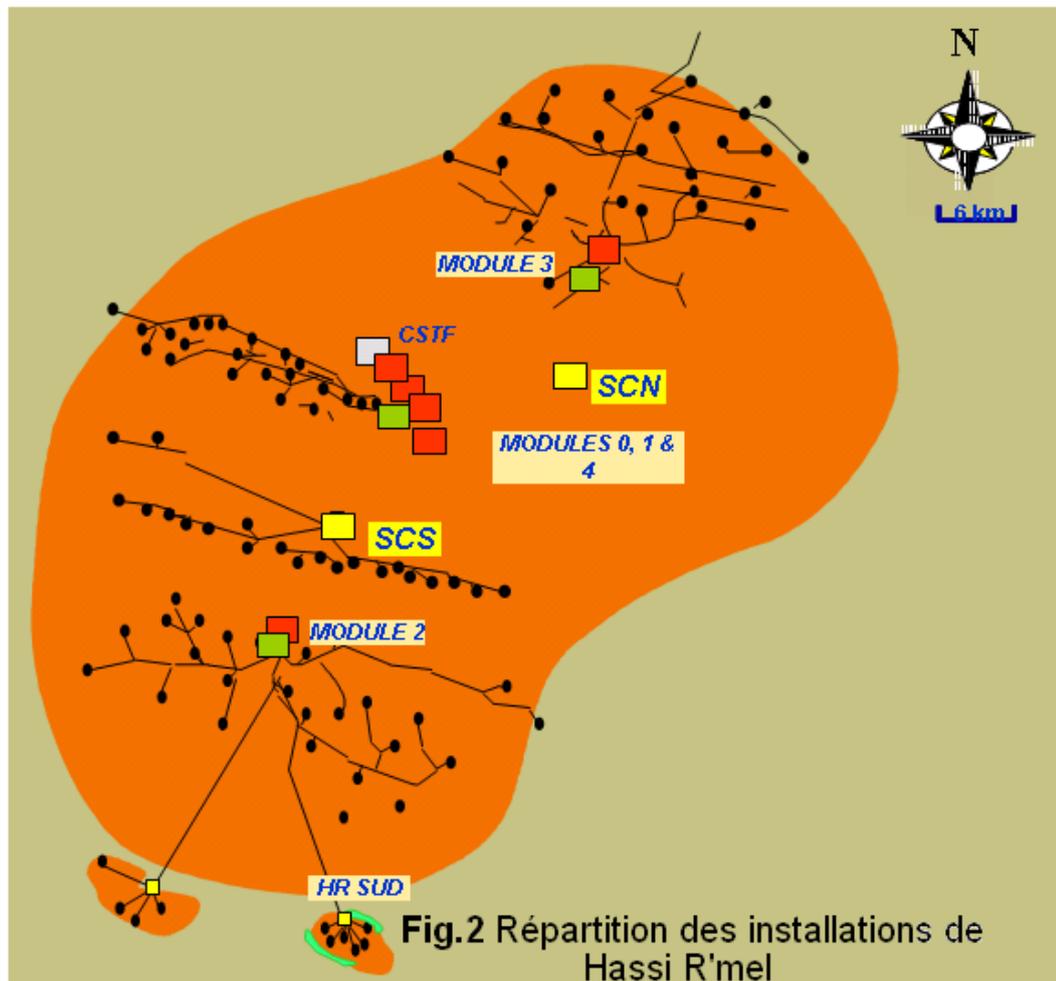


Figure I.2 :le champ gazier de HASSI-R'MEL

I.3.Description du module MPP (III):

L'usine **MPP III** (Modul Processing Plant) est situé à **30 Km** de centre de champ de Hassi R'Mel ,est un ensemble d'installations qui se compose de trois trains, chaque train comporte les mêmes appareillages de process et sont de même capacité. Ce module assure une production journalière de :

- 60.10⁶ m³/jour de gaz traite. (Toute fois, il est prévu 65 .10⁶ m³ /jour) .
- 6200 Tonnes /jour de condensât.
- 2100 Tonnes /jour de GPL.

Cette usine est conçue pour traiter le gaz brut dont les spécifications sont les suivantes :

- Teneur en eau : saturé à 310 kg /cm², 90°C : 70 ppm.
- Température : min 45°C (exploitation en hiver).

- Pression : min 100 Kg/cm² , max 140 Kg/cm² .

L'exploitation normale de cette usine permet d'obtenir les produits dont les spécifications sont les suivantes :

I.3.1.Spécifications du gaz de vente :

- ✓ Point de rosée : - 6°C (max) à 80,5 Kg/cm² .
- ✓ Teneur en eau : 50 vol ppm (max).
- ✓ Pouvoir calorifique supérieur : 9350 k cal / m³ (min) 9450 k cal / m³ (max).
- ✓ Teneur en C⁺₅ : 0,5 % molaire (max).
- ✓ Température : 60 °C (max).
- ✓ Pression de sortie: 74 Kg/cm² pour gaz de vente (72 Kg/cm² pour gaz de réinjections)

I.3.2.Spécifications du GPL :

- ✓ Teneur en C⁻₂ : 3 % molaire (max).
- ✓ Teneur en C⁺₅ : 0,4 % molaire (max).

I.3.3.Spécification du Condensât :

- ✓ Tension de vapeur Reid (TVR) :10 Psia (max) ; La densité : 0,710.

I.3.4. Organigramme de MPP3 :

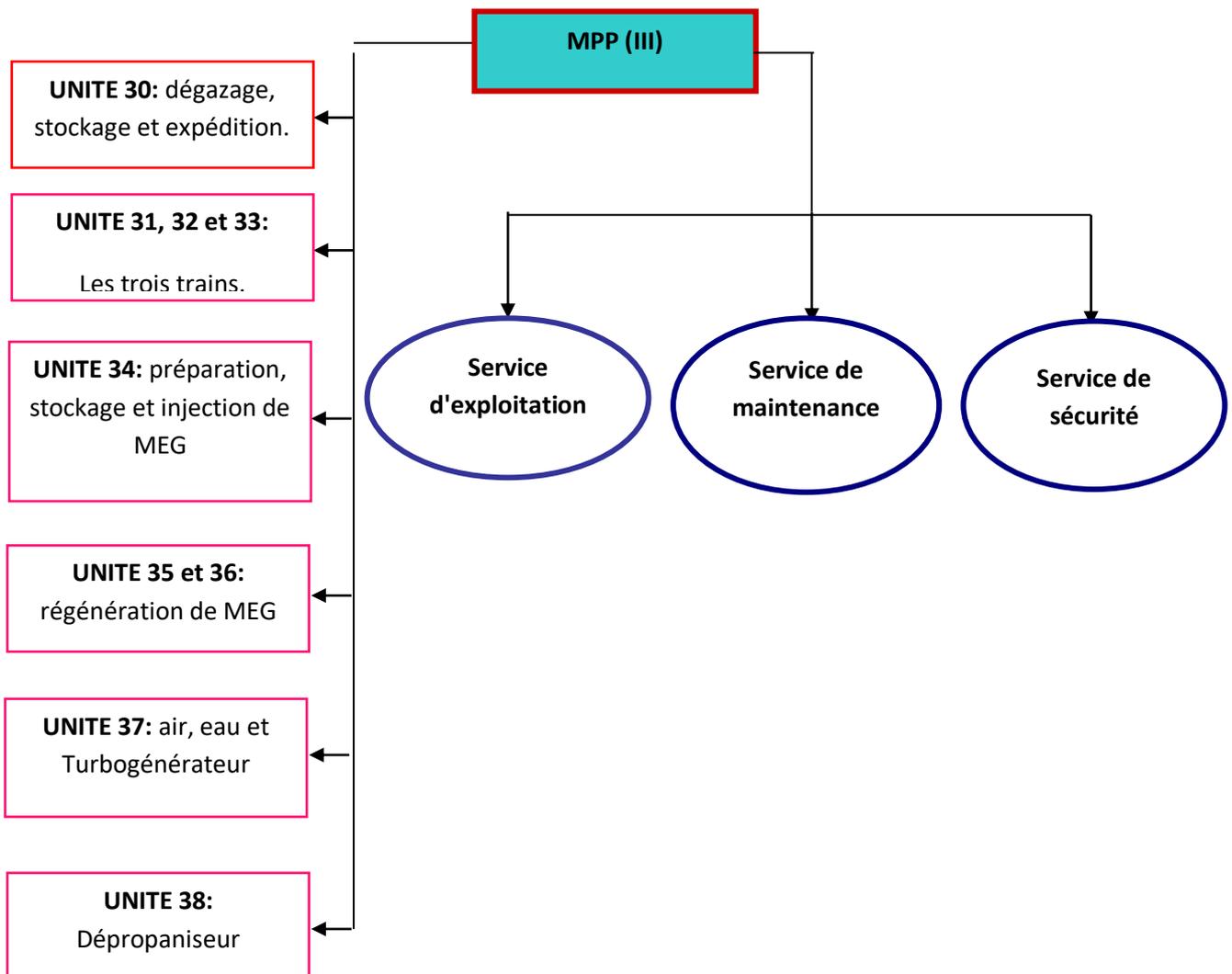


Figure I. 3 : Organigramme du module MPP3

Le module III est alimenté par le gaz brut provenant des puits de nord HASSI R MEL (56 puits) réunis en 08 collecteurs gaz : N1-N2-N3-N4-N5-N6-N7 et N8 et étant donné la chute de pression d'admission et le décroissement de débit par le gaz venant des puits de secteur CENTRE DE HASSI-R'MEL à travers un collecteur de gaz (W8).

Il comprend les unités suivantes :

- **Unité 30** : recombinaison du gaz moyen pression, dégazage, stockage et expédition du GPL et le CONDENSAT.
- **Unité 31-32 et 33** : (03) trois trains identiques qui assurent le traitement du gaz (la capacité de traitement de chaque train est de $20 \times 10^6 \text{ m}^3 / \text{j}$).
- **Unité 34** : préparation, stockage et injection de la solution de glycol MEG.
- **Unité 35- 36** : deux sections identiques pour la régénération de glycol- MEG.
- **Unité 37** : cette unité sert à produire l'air comprimé (air instrument + air service) de l'eau potable, eau de service, eau de refroidissement, eau incendie et électricité (K-403), turbo générateur + gaz inerte.
- **Unité 38** : dépropaniseur.
- **Unité 03** : Boosting (compression de gaz brut provenant des puits)

Le module 3 comprend les services suivants :

- **Service d'exploitation** :

C'est le service principal qui assure le bon fonctionnement (24h /24h) de travail.

- **Service maintenance** :

Il comprend les sections suivantes :

Section d'électricité, section d'instrumentation et section de mécanique

- **Services de sécurité** :

L'acheminement du gaz brut des puits de HASSI-R'MEL, ainsi que son traitement à travers les différents modules nécessite un ensemble de traitement ou de règles de sécurité.

Comme son nom l'indique, la sécurité est la protection des vies humaines et des biens matériels. Elle lutte contre tout danger et prévoit les conditions nécessaires à l'exploitation des équipements.

La sécurité a pour but aussi de formuler des consignes préventives en informant les sujets exposés aux dangers des risques auxquels ils seront confrontés, l'affichage est le moyen le plus utilisé.

Organisation de la sécurité :**a- service prévention :**

Le service prévention a pour tâche principale :

- Prévenir les accidents et les incidents.
- Suivre les travaux d'intervention sur site et veiller sur l'application des consignes de sécurité.
- Etudier les dangers industriels et les accidents de la vie professionnelle.
- Etudier les statistiques des accidents et des maladies professionnelles.
- Etablir les rapports des accidents et mener des enquêtes sur les raisons de celui-ci.

b- Service intervention :

Ce service a pour tâche principale l'intervention rapide en cas d'accidents ou d'incendies, il possède un ensemble de moyens humains et matériels mobiles et opère avec trois équipes sur 24 heures.

I.3.5. Description du processus:

Le module III est construit par contrat signé entre la société nationale : SONATRACH et la société JAPONAISE " JGC CORPORATION ", cette dernière assure l'étude et la réalisation de cette usine (MPP 3).

Le 26 – 10 – 1980 : s'était la date de début d'exploitation officielle par JGC.

Ce module situé dans le secteur Nord, et alimente en gaz naturel brut provenant des puits Nord : (N1- N2- N3- N4 –N5-N6 – N7 et N8), et étant donné la chute de pression du gisement Nord, on a eu recours à l'alimentation de celui – ci par deux collecteurs W8 et E6 venant du secteur centre.

Cette usine est un ensemble d'installation qui permette de récupérer les hydrocarbures lourds (condensats et GPL) des gaz bruts recueillis à partir de nombreux puits et de fabriquer des gaz traités (gaz de vente ou gaz de réinjection).

Ce MPP se compose de trois lignes chacune d'elles comporte les même appareillages de process et sont de même capacité. Ce module assure une fabrication journalière de 60 millions m³ de gaz traité dans les conditions standard (15°C/ bar absolu).

Les hydrocarbures liquides récupérés dans la section de séparation à haute pression sont séparés en GPL et condensats. Ces deux produits s'écoulent vers les installations centrales de stockage et de transfert (CSTF).

section de séparation à HP: cette section a pour fonction de refroidir le gaz brut à l'aide de l'aéro-réfrigérant (E101), des échangeurs gaz/gaz (E102/ E103) et du Turbo-expander (K101) afin de condenser et séparer les constituants lourds du gaz, ce qui permet d'en améliorer les propriétés. Donc, le gaz brut sortant de l'unité Boosting et envoyé vers chaque ligne de biais du ballon de distribution (D001) est refroidi jusqu'à 40°C dans le réfrigérant d'admission (D101) dans lequel le liquide condensé et l'eau se séparent du gaz. Cette eau se dirige vers le bassin d'évaporation à travers le séparateur SPI (S409).

Le gaz en provenance du séparateur (D101) est refroidi à -6°C dans les échangeurs gaz/gaz (E102/ E103) pris sous la pression réglée par le régulateur de pression PRC-108 (vanne de joul Thomson); ce gaz se dirige vers le séparateur final à haute pression (D102) qui sépare à nouveau le gaz, le condensat liquide et la solution de glycol; puisque, pour éviter la formation de l'hydrate dans les échangeurs (E102/ E103) on injecte une solution de glycol. Le gaz sortant du séparateur (D102) se dilate au moyen du Turbo-expander (K101) pour abaisser à nouveau sa température. L'hydrocarbure liquide produit suite de cette détente, se sépare du gaz dans le séparateur à moyenne pression (D103).

Après que le gaz brut ait été refroidi dans l'échangeur (E102), le gaz à basse température en provenance du séparateur (D103) est pressurisé dans le compresseur (K101) du Turbo-expander. Ce gaz se mélange avec le gaz à basse température sortant des deux autres lignes pour se diriger vers la section de transfert du gaz.

L'hydrocarbure liquide séparé dans le séparateur d'admission (D101) circule vers le séparateur de condensat riche (D105) où les constituants légers sont rectifiés.

L'hydrocarbure liquide séparé dans le séparateur (D105) va alimenter la section de fond du déethaniseur (C101).

Les liquides provenant du séparateur (D103) se réunissent pour circuler vers le séparateur à basse pression (D104), où les conditions légères sont rectifiées.

L'hydrocarbure liquide sortant du séparateur (D104) est envoyé vers la section supérieure du déethaniseur (C101).

Le gaz provenant du séparateur (D104) et le gaz provenant de l'accumulateur de reflux de déethaniseur (D107) sont réunis. Après l'échange thermique avec le gaz brut dans l'échangeur gaz/gaz (E103), ce mélange s'écoule vers la section de recombinaison avec le gaz provenant de séparateur de condensat riche (D105).

section de fractionnement: l'hydrocarbure liquide en provenance du séparateur (D104) est préchauffé dans l'échangeur de reflux (E106) du déethaniseur et va alimenter le 5^e plateau.

L'hydrocarbure liquide provenant du séparateur à condensat riche (D105) est préchauffé dans l'échangeur d'alimentation du déethaniseur (E104) et va alimenter le 21 plateau.

Le gaz sortant en tête du déethaniseur est partiellement condensé dans l'échangeur de reflux du déethaniseur (E106) pour se séparer du liquide dans l'accumulateur de reflux de déethaniseur (D107), on injecte une solution de glycol dans l'échangeur (E106) pour éviter la formation de l'hydrate.

Après avoir absorbé l'eau, la solution de glycol se sépare de l'hydrocarbure liquide dans le (D107) pour circuler sous pression vers la section de régénérateur du glycol. La pression d'hydrocarbure liquide augmente à l'aide de la pompe de reflux du déethaniseur (P103).

Ce liquide retourne en tant que reflux froid vers le 1 plateau du déethaniseur (C101), et pour éviter la formation d'hydrate dans le (C101) on injecte une solution de glycol dans la canalisation de reflux.

Le liquide descendant des plateaux supérieurs est accumulé dans le plateau d'accumulateur, et il s'écoule par gravité dans le séparateur d'hydrocarbure/glycol (D106) qui permet de séparer complètement le mélange hydrocarbure/glycol. La pompe de retour d'hydrocarbure (P102) sert à faire croître la pression d'hydrocarbure liquide qui retourne vers le 13 plateau de la partie inférieure du déethaniseur.

Après avoir absorbé de l'eau, la solution de glycol circule sous pression vers la section de régénération du glycol. Dans la partie inférieure du déethaniseur, la pression d'une partie d'hydrocarbure liquide augmente sous l'action de la pompe de rebouilleur (P101). Ce liquide s'écoule vers le rebouilleur du déethaniseur (H101), le rebouilleur permet de réchauffer à 180°C environ, l'hydrocarbure liquide, qui est ensuite refoulé vers la partie inférieure du déethaniseur. Les autres résidus du déethaniseur passant directement dans le 21 plateau de débutaniseur (C102).

Le gaz de tête est refroidi dans le réfrigérant de reflux du débutaniseur (E108) pour entrer dans l'accumulateur de reflux du débutaniseur (D108). La pression du liquide sortant de l'accumulateur augmente sous l'action de la pompe de reflux du débutaniseur (P105). Une partie de ce liquide retourne en tant que reflux froid vers le 1 plateau du débutaniseur (C102), le liquide restant est envoyé en tant que GPL fabriqué vers la section de stockage et transfert GPL. Si ce GPL n'est pas conforme aux spécifications (on l'analyse par le chromatographe en phase gazeuse) la soupape se fermera automatiquement de manière à ce qu'il circule directement vers son réservoir de stockage (T002). La pression d'une partie du résidu liquide du débutaniseur augmente sous l'action de la pompe (P104), ce liquide s'écoule vers le rebouilleur du débutaniseur (H102) après avoir été réchauffé à 206°C dans le rebouilleur,

l'hydrocarbure retourne vers la partie inférieure du débutaniseur. Les autres résidus du débutaniseur sont extraits en tant que condensats. Après avoir été refroidis à 29.2°C dans l'échangeur (E104) et le réfrigérant à condensats (E107), ces résidus s'écoulent vers la section de dégazage et de transfert des condensats.

Si la tension de vapeur Reid (TVR) des condensats n'est pas conforme aux spécifications, alors ces condensats seront écoulés vers leur réservoir de stockage (T001) à travers l'unité de dégazage des produits "off-spec".

section de stockage et de transfert des GPL: cette section a pour fonction de stocker et de transférer les GPL fabriqués dans chaque ligne. Il y a trois cas de fonctionnement à envisager

Fonctionnement normal: les GPL fabriqués dans chaque ligne sont recueillis dans une canalisation, qui permet d'envoyer ces produits vers leur réservoir-tampom (D005), les GPL sortant de ce réservoir se détournent de la direction du réservoir de stockage (T002) pour circuler vers leur pompe de pipeline (P004) qui permet d'amener ces GPL directement au (CSTF) en augmentant leur pression.

Remplissage et vidange :

Remplissage: comme l'indique le paragraphe précédant, les GPL provenant de leur réservoir-tampom (D005), se dirigeront vers leur réservoir de stockage (T002). S'il se produit une anomalie sur le pipeline ou la pompe connexe. Les GPL non conforme aux spécifications se détournent de la direction de leur réservoir-tampom (D005) pour circuler directement vers leur réservoir de stockage (T002).

Vidange: après la remise en état de la section de transfert vers le (CSTF) la pompe de surcompression (P003) fonctionne de manière à extraire 60% de la production nominale des gaz conformes aux spécifications à partir de du réservoir de stockage de GPL (T002). Ces gaz sont réunis avec les produits du module (100%) dans le réservoir-tampom de GPL (D005) et ces deux fluides se dirigent vers le (CSTF) au débit de 160% de la production nominale; la pression des GPL non conformes aux spécifications est augmentée à l'aide de leur pompe de surcompression (P003), et ces gaz retournent vers le débutaniseur (C102) pour subir un retraitement.

Section de réfrigération: les gaz classés par ébullition se dégagent à partir du réservoir de stockage de GPL (T002) sous un effet thermique tel que convection ou radiation du soleil, frottement des canalisations ou rendement insuffisant des pompes. Ces gaz se séparent de la buée dans le ballon d'aspiration (D006) du compresseur "Holding" à GPL. De plus les GPL sont condensés par leur condenseur (E001) pour retourner vers leur réservoir de stockage à

travers le réservoir-tampom (D007) du compresseur "Holding" à GPL (K002). Ce compresseur se compose de deux appareils du même genre, dont l'un est de réserve.

Section de dégazage et de stockage des condensats: cette section a pour fonction de transférer ou stocker les condensats fabriqués dans chaque ligne, après le dégazage. Elle se compose de deux unités de dégazage en parallèle (A et B): l'une pour les condensats "off-spec" et l'autre pour les condensats "on-spec". Dans cette section, les fonctionnements suivants sont à envisager:

Fonctionnement normal: les condensats fabriqués dans chaque ligne sont réunis pour se diriger vers le ballon de détente à condensats bruts (D003), les ballons de dégazage (D004 et D012). Les condensats "on-spec" ne se vaporiseront pas si on les ramène à la pression atmosphérique. Donc les pressions des ballons de dégazage (D004 et D012) sont égales à la pression atmosphérique. Après avoir passé l'unité de dégazage, les condensats se détournent normalement de la direction de leur réservoir de stockage (T001) pour se diriger vers leur réservoir-tampom (D013). La pompe de condensats (P002) sert à augmenter la pression de liquide sortant de leur réservoir-tampom, puis on amène ce liquide vers le (CSTF) après avoir mesuré à nouveau la TVR.

Remplissage et vidange:

A- Remplissage: lorsqu'il se produit une anomalie sur la conduite de transfert aboutissant au(CSTF), les condensats "on-spec" passent à travers leur unité de dégazage (B) pour se diriger vers leur réservoir de stockage.

D'autre part, les écoulements de condensats "off-spec" en provenance du séparateur d'admission (D101), du déethaniseur (C101), du débutaniseur (C102) et/ou des ballons de torche (D401 et D402) dans chaque ligne sont réunis pour entrer dans l'unité de dégazage de condensats "off-spec" (A). Dans cette unité les condensats se dirigent vers trois ballons (D003, D004 et D012) qui permettent de faire décroître la pression des condensats. Après un dégazage total, ce fluide est stocké dans le réservoir de stockage à condensats (T001). Le gaz formé dans le ballon de dégazage (D012) est acheminé vers le système de torche à très basse pression, la pression de cette ligne varie avec le débit de dégazage.

B- Vidange: lorsque le système de transfert vers le (CSTF) aura été remis en état, les condensats "on-spec" seront refoulés à partir du réservoir de stockage pour être réunis avec les produits du module en provenance du réservoir-tampom à condensats (D013). Ces deux écoulements se dirigeront vers le (CSTF).

Le réservoir-tampom à condensats (D003) sera alors plein, une conduite de liquide reliant ce dernier et le réservoir de stockage de condensats (T001).

Les condensats "off-spec" retournent vers le débutaniseur (C102) pour subir un retraitement, leur pression augmentant sous l'action de la pompe de retraitement à condensats (P001).

C- Dégazage par une unité: de même que dans le cas du fonction normal, les condensats fabriqués dans chaque ligne retournent vers leur réservoir de stockage (T001) après avoir passé dans l'unité de dégazage. La pompe de condensats (P002) pressurise ce liquide stocké pour le diriger vers le (CSTF) après les mesures de TVR de ces condensats

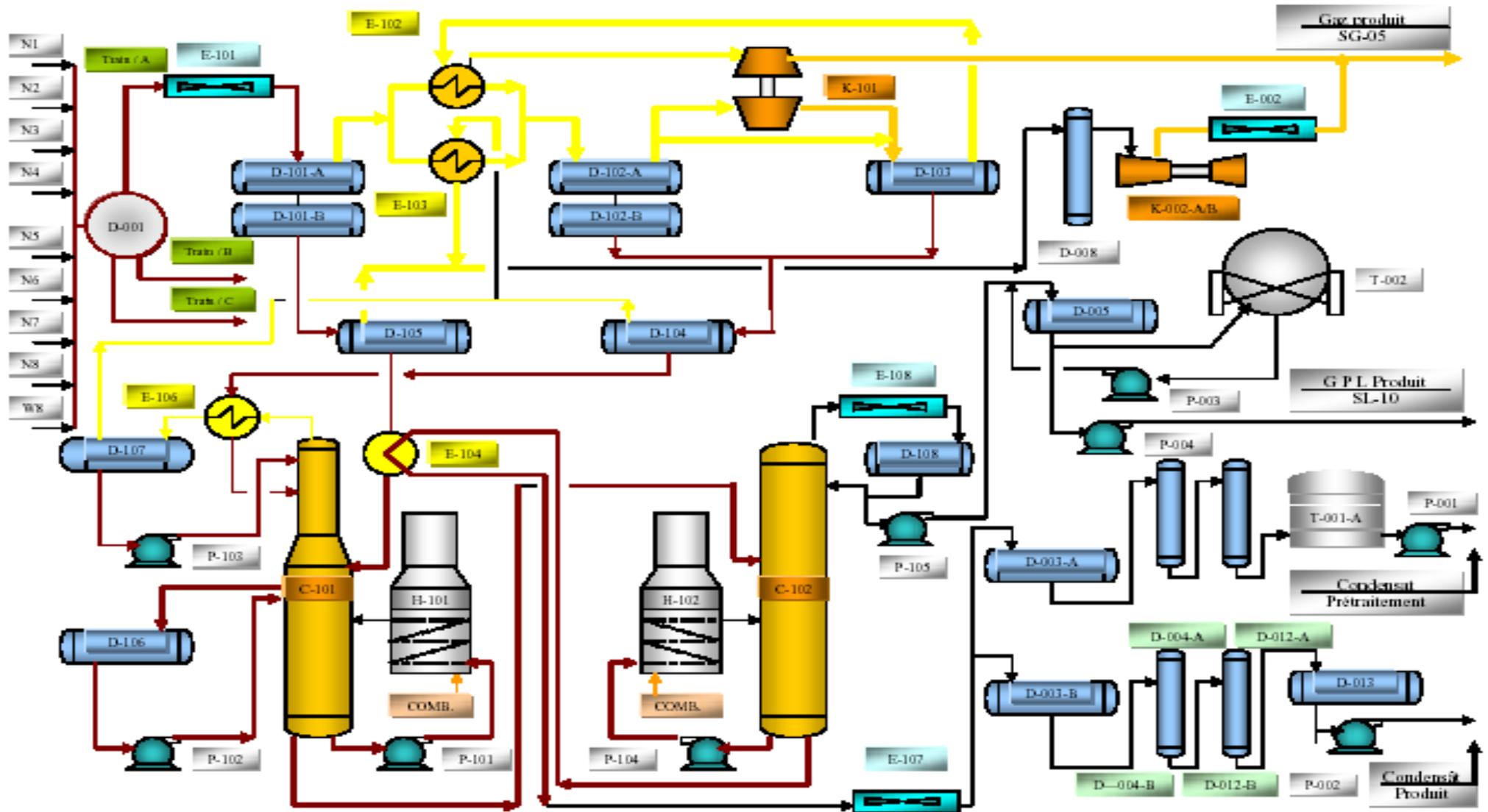


Figure I. 4 : MPP III processus

II.1. Généralités sur les bacs de stockage des hydrocarbures :

II.1.1. Définition de stockage des hydrocarbures :

C'est un emplacement clos à l'intérieur duquel sont stockés des Hydrocarbures à l'état liquide ou à l'état liquéfié.

II.1.2. Les bacs de stockage :

Les bacs de stockage sont nécessaires à l'exploitation des champs pétroliers.

Ce sont des appareils coûteux, leur capacité et leur nombre sont toujours étudiés dans une installation, selon les débits reçus et la capacité des moyens employés pour le transport .

Ces appareils sont fragiles, étant donné leur grand volume qui peut atteindre 50.000 m³.

Ils peuvent être détruits par le feu, les explosions ou la corrosion due au liquide qu'ils contiennent.

L'eau salée par exemple et les bactéries peuvent attaquer le métal et le percer à la longue des parois des bacs.

Il existe une grande variété de formes de bacs, selon la nature du produit à stocker.

Pour les hydrocarbures, on emploie les réservoirs cylindriques à axe vertical

II.1.2.1.Aspect de technologie commun aux différents types de bacs :

Principaux éléments constitutifs :

S'agit de réservoirs cylindriques constitués

- ❖ d'un fond généralement bombé
- ❖ d'une robe ou virole
- ❖ d'un toit fixe ou flottant
- ❖ de différents accessoires : échelle d'accès, soupapes de sûreté, protection contre l'incendie, réchauffeur

II.1.2.1.1.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.

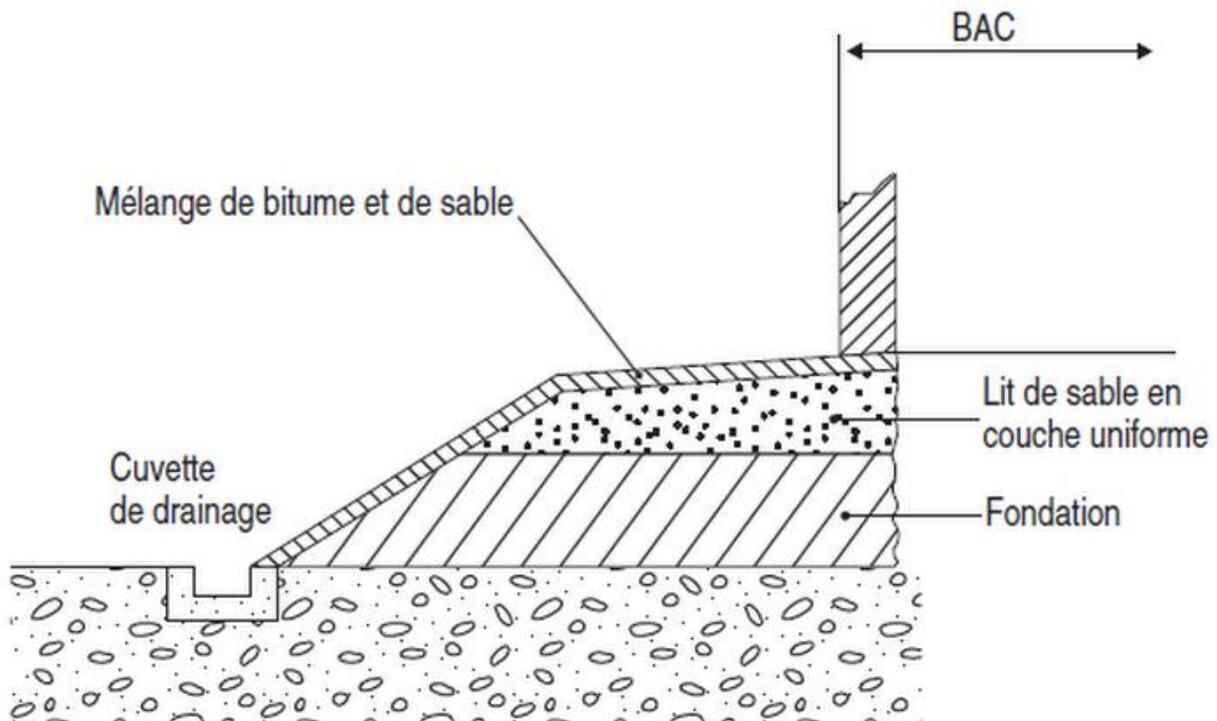


Figure II-1 : exemple de fondation de bac

II.1.2.1.2. 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.

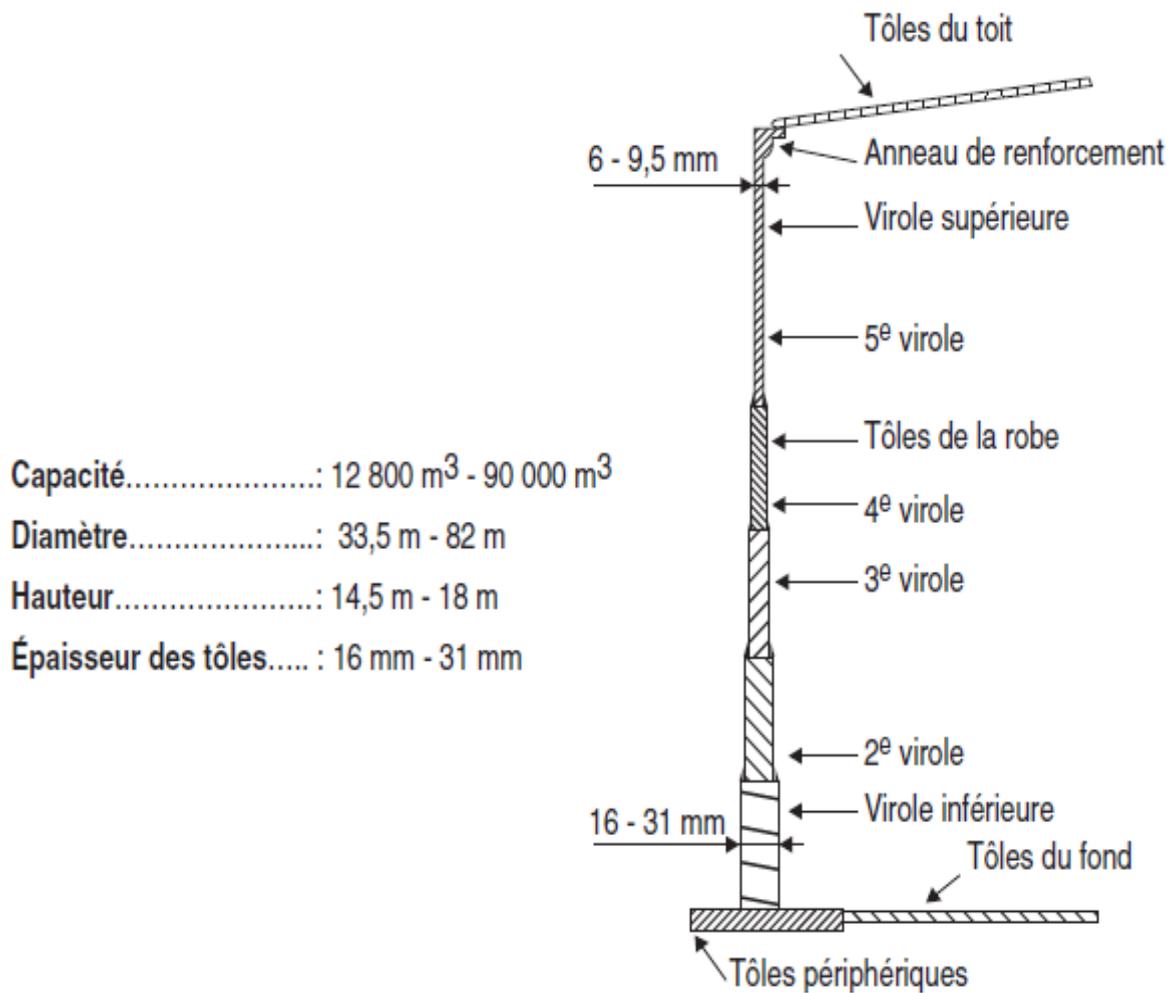


Figure II-2 : schéma d'une robe de bac

II.1.2.1.3.Ceinture :

Les ceintures de renforcement sont nécessaires sur tous les réservoirs pour qu'ils conservent leur forme cylindrique lorsqu'ils sont exposés aux vents les plus violents.

Pour les bacs à toit fixe, les plaques de toit sont fixés sur la ceinture de renforcement.

Pour les bacs à toit flottant, la ceinture de renforcement est destinée à empêcher la déformation des parois.

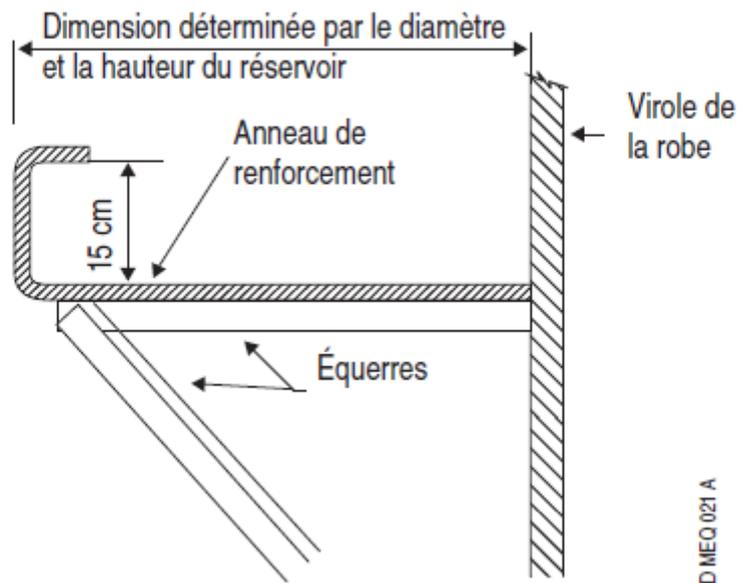


Figure II-3: schéma d'une ceinture de renforcement

II.1.2.1.4. Toit :

Le sommet des réservoirs est recouvert d'un toit qui peut être soit fixe, soit flottant. Quand le bac est destiné à stocker de l'eau, le toit est très souvent supprimé.

II.1.3. Les types des bacs :

II.1.3.1. Les bacs à toit fixe :

pour le stockage Sont prévus d'hydrocarbures peu volatiles du type brut dégazé, fuel ou bitumes.

Ce sont des réservoirs à pression atmosphérique réservés pour les classes d'hydrocarbures « c » et « d », utilisés aussi comme bac tampon de sécurité pour la classe « b ».

Le toit est généralement plus fragile que la robe du réservoir, ce qui permet, en cas d'explosion, son arrachement de la robe et elle reste intacte : elle est munie des accessoires de sécurité (soupape de sûreté, arrête flamme et générateur de mousse).

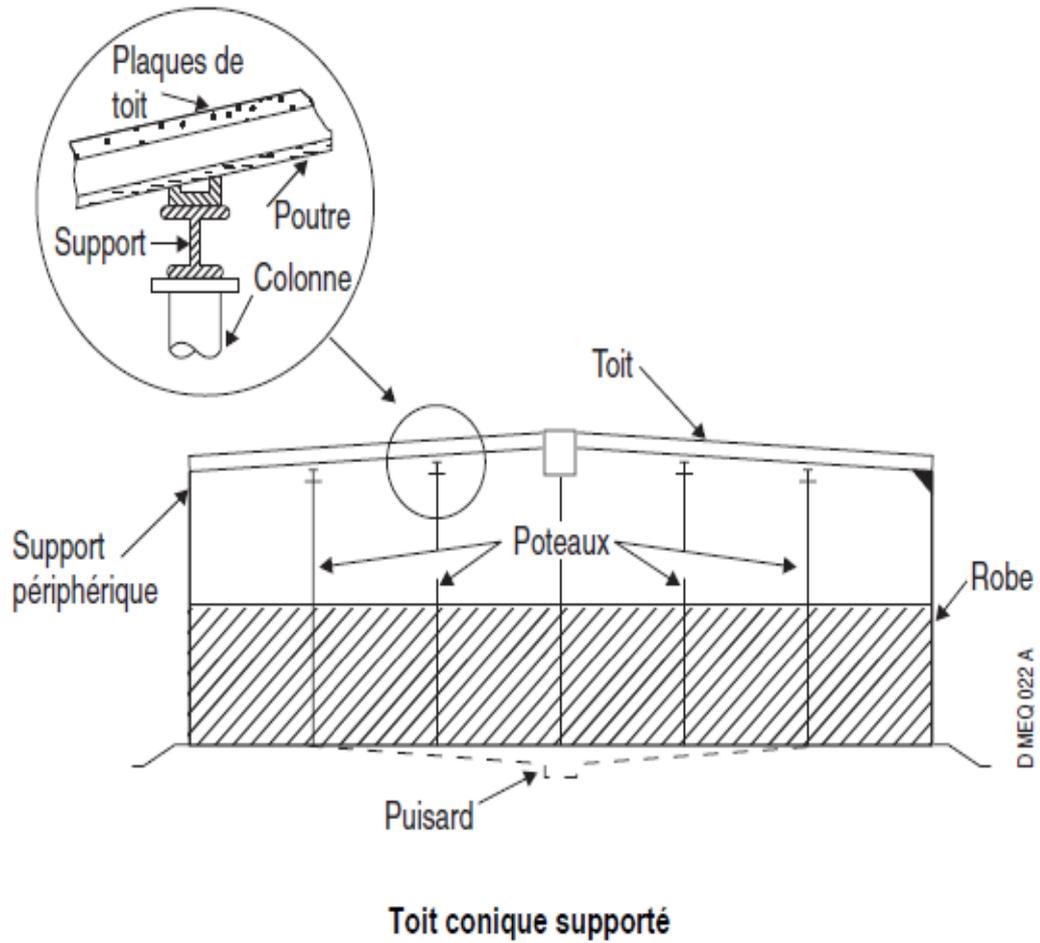


Figure II-4: schéma d'un toit fixe du type conique

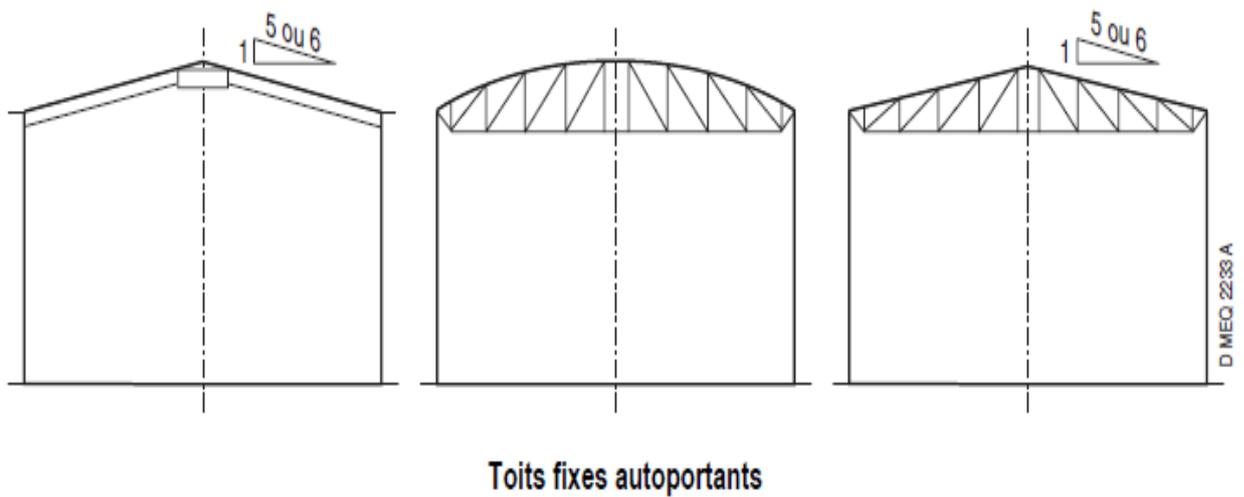


Figure II-5: schéma des toits fixes autoportants

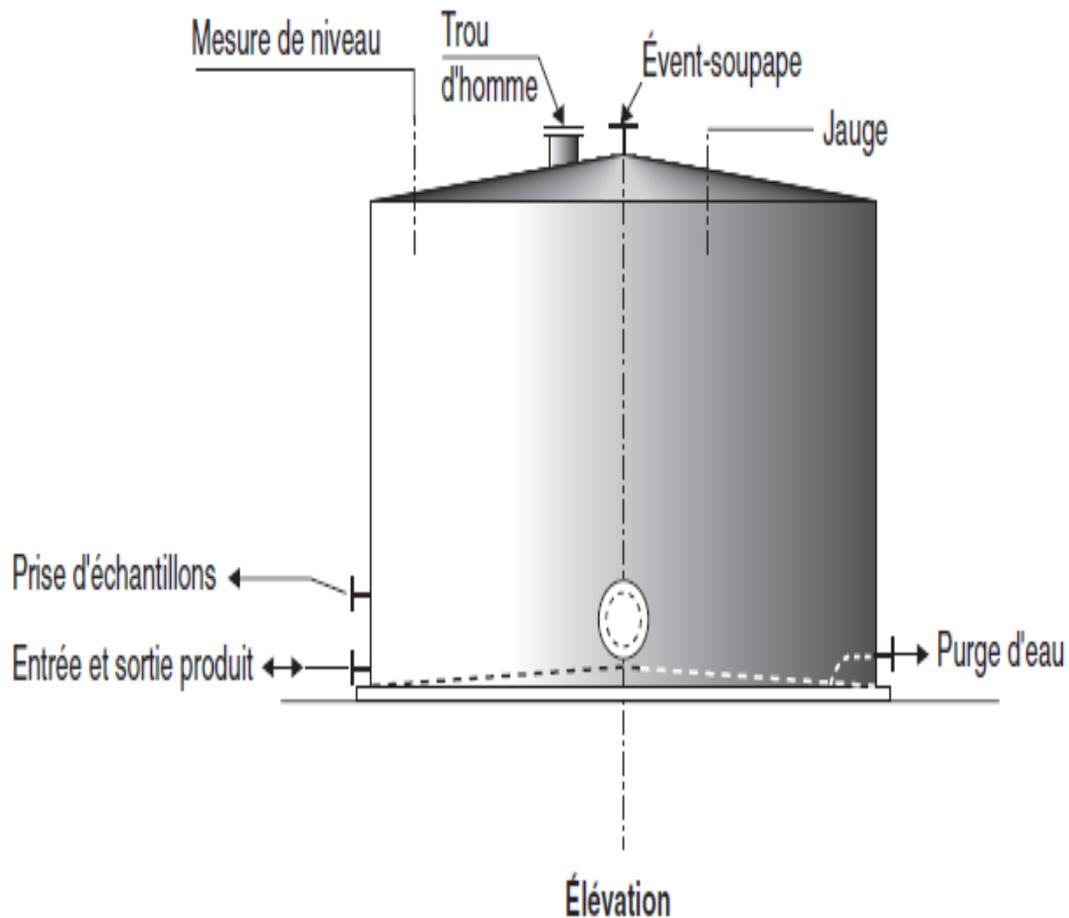


Figure II-6 : schéma d'un réservoir à toit fixe

II.1.3.2. Les bacs à toit flottant :

S'agissant de produits volatils (pétrole brut, essences), la construction de réservoirs à toit flottant, est préférée par tous les raffineurs et autres exploitants pour éviter les grosses pertes par évaporation.

Le toit suit le niveau du produit dans le réservoir. L'étanchéité entre le toit et la robe est assurée par un joint spécial en caoutchouc synthétique généralement une poche pleine de liquide (gasoil, pétrole).

Ce toit est équipé de quelques pieds comme support pour permettre la vidange complète et aussi l'entretien grâce au trou d'homme intégré dans la robe.

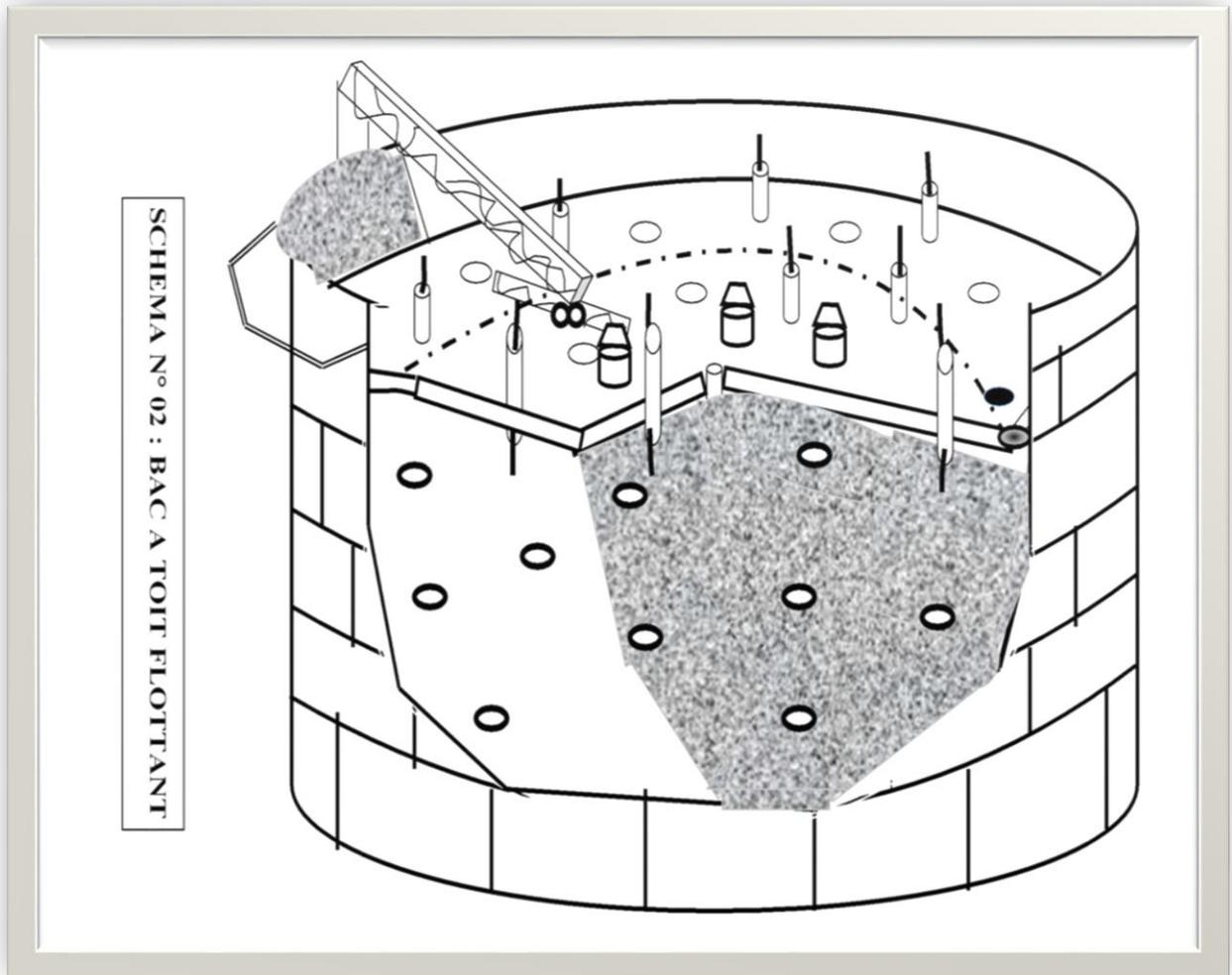


Figure II-7 : schéma d'un bac à toit flottant

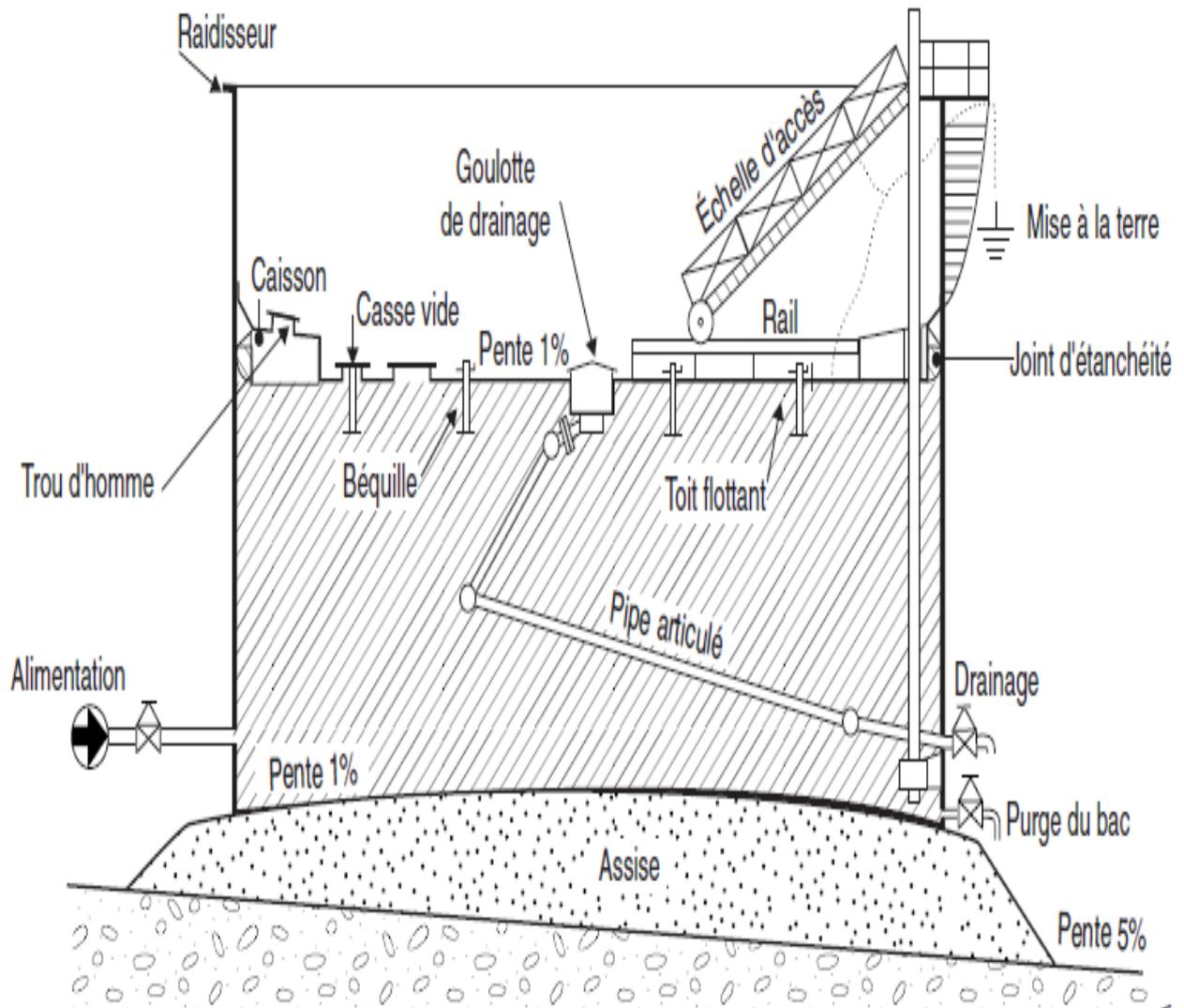
on trouve deux sortes de réservoirs à toit flottant :

- Toit à simple ponton (simple Deck) .
- Toit à double ponton (double Deck) .

A. Bacs à toit flottant à simple ponton :

Ils sont constitués de deux couches de tôle d'acier séparées par un espace vide de 40 cm environ, compartimentés en caissons dépendants renforçant la structure du toit ; ce type de toit est préféré aux bacs de grands diamètres pour les raisons suivantes :

- Meilleur drainage des eaux de pluie ;
- Meilleure flottabilité en cas de surcharge (pluie, Neige, Sable,...) ;
- Meilleure isolation thermique durant la saison chaude limitant la vaporisation du produit stocké.



Exemple de bac à toit flottant, type ponton annulaire

Figure II-8: exemple de bac à toit flottant, type ponton annulaire

B. Bac à toit à double pont :

Le toit à double pont est constitué par 2 couches de tôle d'acier, séparées par un espace vide d'environ 40 cm compartimenté en caissons indépendants renforçant la structure du toit.

Ce type de toit est préféré pour les bacs de grand diamètre pour les raisons suivantes :

- meilleure flottabilité en cas de surcharge (neige, pluie,...)
- meilleur drainage des eaux de pluie
- vulnérabilité moindre aux vents violents
- meilleure isolation thermique durant la saison chaude limitant la vaporisation de produit

II.1.3.3. Réservoirs cylindriques (cigares) :

Ils peuvent être installés verticalement ou horizontalement. Ils ont une capacité limitée (jusqu'à 500 m^3) et sont très sensibles à la mise sous vide. Les équipements rencontrés sur ces capacités sont identiques à ceux équipant les sphères.

II.1.3.4. Sphères :

La forme sphérique permet de mieux utiliser la résistance de la tôle et d'obtenir un moindre coût d'investissement.

La gamme de capacités réalisables va de 200 m^3 (= 7 m de diamètre) jusqu'à 7000 m^3 .

Le quotient de la surface extérieure par le volume est inférieur de 88 % à celui d'un cylindre de même volume ce qui réduit les échanges de chaleur avec l'air ambiant.

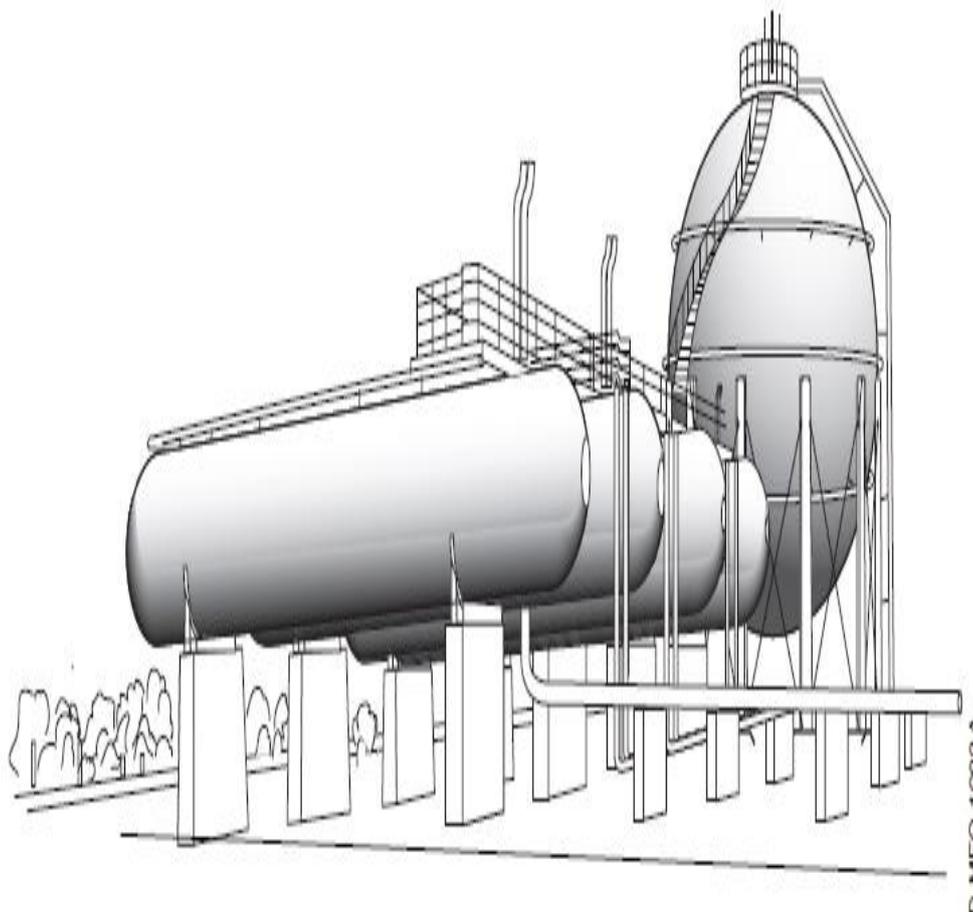


Figure II-9 : schéma d'un réservoirs cylindriques (cigares) et d'une sphère

II.2.Sécurité d'un bac de stockage :

II.2.1. Equipements de Sécurité d'un Bac de Stockage :

II.2.1.1.Les Events :

Ils sont installés sur le toit et permettent l'ouverture vers l'atmosphère.

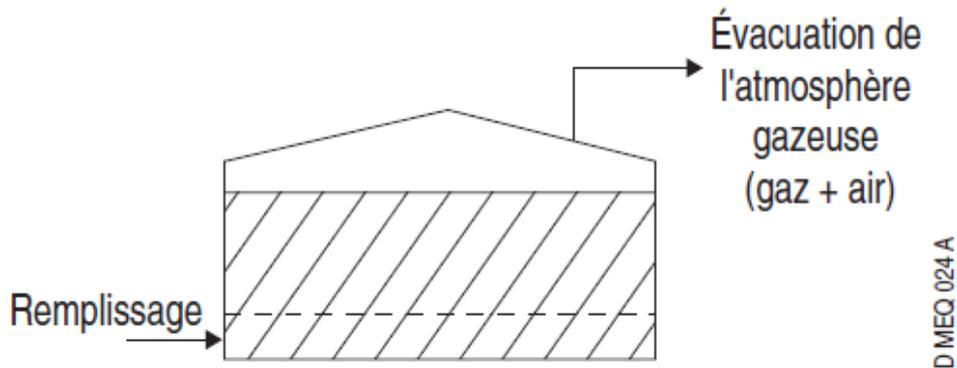


Figure II – 10 : schéma montre le rôle de l'évent lors de remplissage

Lors du remplissage ou de la vidange d'un réservoir, il faut éviter toute surpression ou dépression dangereuse.

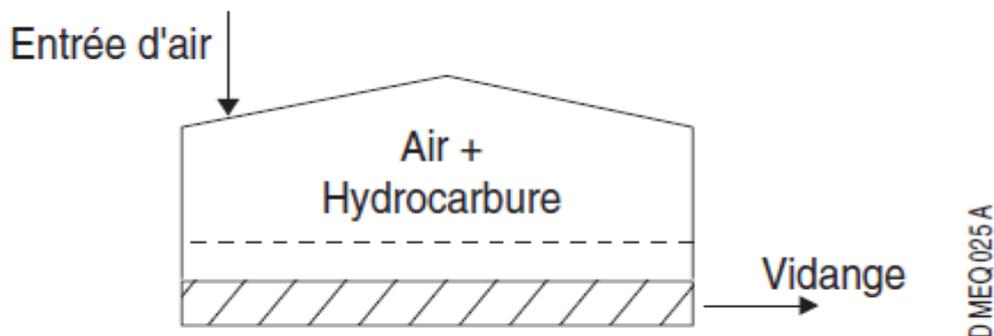


Figure II – 11 : schéma montre le rôle de l'évent lors de vidange

Il en est de même lors des variations de température qui provoquent des dilatations ou des contractions de volume de liquide stocké.

II.2.1.2 Les Arrêtes-flammes :

Ces appareils sont destinés à empêcher la pénétration d'une flamme dans le réservoir.

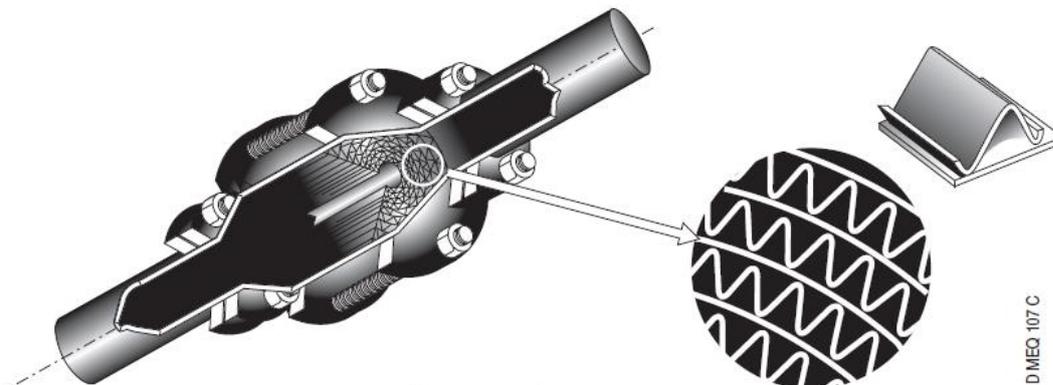


Figure II-12 : schémat de l'arrete-flammes

II.2.1.3. Protection contre les rejets atmosphériques :

(pour la sécurité et le respect de l'environnement)

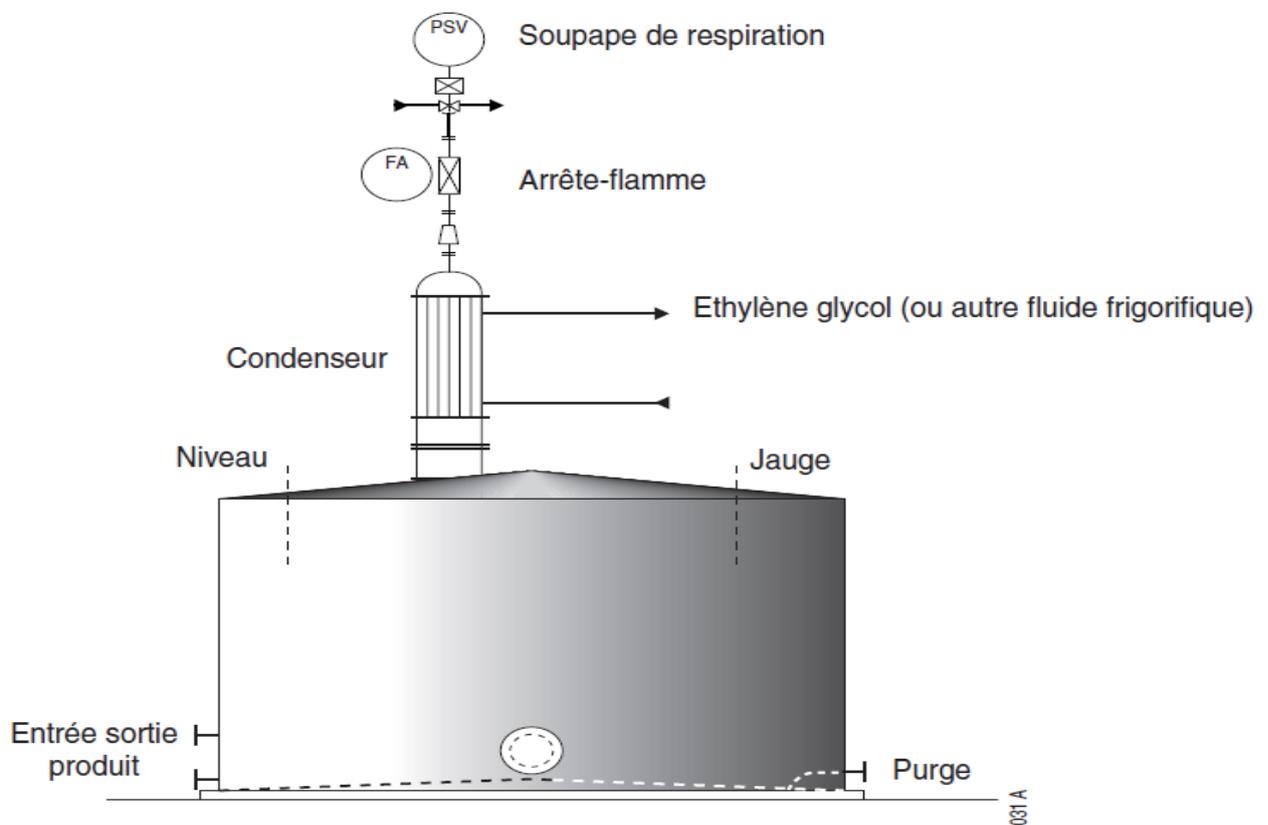
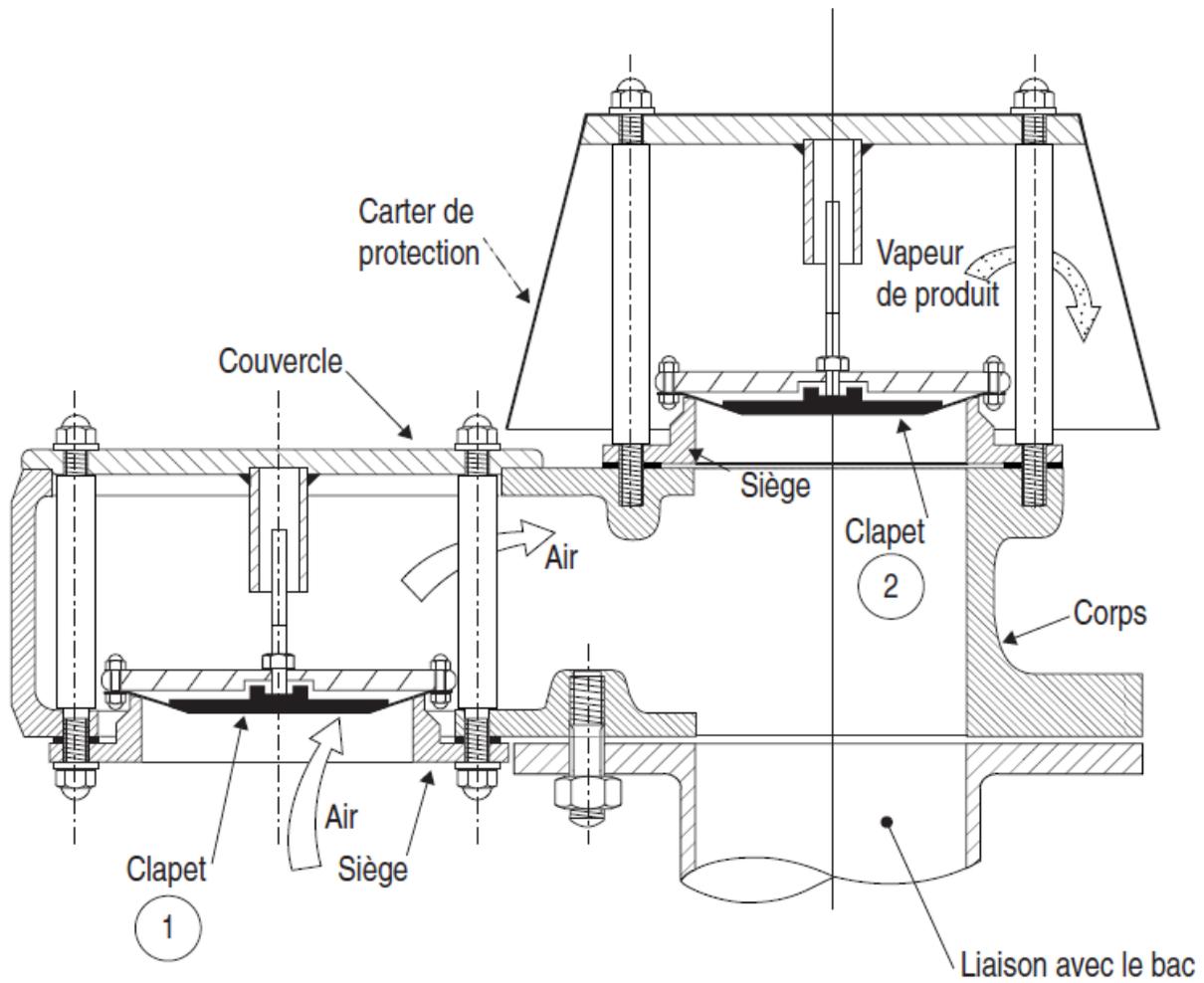


Figure II-13 : système de condensation de vapeur

II.2.1.4. Les soupapes de respiration :

Le choix d'une soupape s'effectue en fonction du débit de passage admissible et de la pression ou de la dépression que peut supporter le réservoir.



- Clapet (1) protection contre une dépression
- Clapet (2) protection contre une surpression

Figure II-14 : exemple de soupape à double effet

II.2.1.5. Les Installations à Mousse :

Les divers types d'installations à mousse

a. Centrale à Mousse Fixe

La centrale à mousse fixe est installée loin des réservoirs, dans un endroit de l'établissement, des tuyauteries conduisent la mousse jusqu'aux réservoirs et aux bouches de mousse réparties dans l'installation.

Pour un feu de surface ; la mousse est projetée à l'aide d'une lance à mousse.

b. Centrale à Mousse Mobile :

La centrale à mousse mobile est constituée par un ou plusieurs générateurs mobiles et par des réserves mobiles de produits producteurs de mousse (émulseur)

Pour un feu de réservoir, la mousse est envoyée soit par branchement sur la tuyauterie fixe, soit à lance.

II.2.1.6. La Mise à la Terre**II.3. Les différents risques liés au stockage des hydrocarbures :****II.3.1. Risque d'Incendie :**

L'incendie est une combustion qui se développe généralement d'une manière désordonnée et sans que l'on puisse la contrôler, Cette combustion n'est autre qu'une réaction chimique exothermique entre un comburant et un combustible en présence d'une source d'énergie.

- Les différentes sources d'incendie au niveau du parc du stockage sont d'origine ; chimique, électrique, physique et thermique.
- Un feu ne peut se produire si l'on supprime l'un des trois éléments.

Ce sera le combustible ou le comburant puisque les sources d'énergie sont trop nombreuses et difficilement contrôlables.



Figure II-15 : triangle de feu

II.3.2.L'explosion :

Une explosion c'est la transformation rapide d'un système matériel donnant lieu à une forte émission de gaz accompagnée éventuellement d'une émission de chaleur importante.

Les explosions peuvent être d'origine physique explosion pneumatique Ou d'origine chimique, ces dernières résultant d'une réaction chimique ou de nombreuses substances sont susceptibles dans certaines conditions de provoquer des explosions, ce sont pour la plupart des cas, des gaz et des vapeurs mais aussi des poussières et des composés particulièrement instables.

Les conditions pour une explosion :

Six conditions doivent être réunies simultanément pour qu'une explosion soit possible à savoir :

- La présence d'un comburant (presque toujours l'oxygène de l'air).
- La présence d'un combustible
- La présence d'une source d'inflammation
- Un combustible sous forme gazeuse, D'aérosol, ou poussières.

L'obtention d'un domaine d'explosivité c'est à dire le domaine de concentration du combustible dans l'air à l'intérieur duquel les explosions sont possibles.(LIELES).

II.3.3.UVCE (Unconfined Vapor Cloud Explosion) :

Un UVCE est une explosion de gaz à l'air libre. Dans le cas d'un gaz inflammable, tel que le GPL, cette explosion produit :

- des effets thermiques,
- des effets de pression.

Pour obtenir un UVCE il faut deux conditions réalisées simultanément :

- Un nuage de gaz inflammable.
- Une source d'inflammation.

II.3.4.Le Boil over :

C'est la projection du contenu d'un réservoir d'hydrocarbure en feu par brutale vaporisation d'un fond d'eau se trouvant dans le réservoir.

C'est à dire la vaporisation brutale d'un volume d'eau chauffé provenant d'un réservoir d'hydrocarbure en feu.

Le phénomène peut être suivi par un FLASH. OVER entraînant une formation d'une boule de feu.

II.3.5.LE BLEVE :

BLEVE : Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion, ou Vaporisation explosive d'un liquide porté à ébullition.

Le BLEVE peut-être défini comme la vaporisation violente à caractère explosif consécutive à la rupture d'un réservoir contenant un liquide à une température significativement supérieure à sa température d'ébullition à la pression atmosphérique.

II.3.6.Les feux de nappe :

Le feu de nappe résulte de la combustion d'un liquide inflammable. Dans le cas d'un Stockage, la surface en feu peut être :

- Le feu d'un réservoir.
- la surface d'une cuvette de rétention.

II.4.Les principales causes des risques liées au stockage des hydrocarbures :**II.4.1.La corrosion :**

Le phénomène de corrosion s'attaque aux bacs de stockage des hydrocarbures (brut) dont il dispose.

Ce phénomène attaque en particulier les fonds des bacs ce qui a pour conséquences :

L'insécurité des installations (fuites des produits hautement inflammables) et les dépenses nécessaires pour leur entretien.

On distingue trois types de corrosion : chimique, électrochimique et bactérienne

Pour la lutte contre la corrosion, on fait :

- Les revêtements ;
- L'apport des électrons ;
- Les inhibiteurs de corrosion ;
- Les bactéricides ;
- L'entretien des bacs de stockage.

II.4.2.Causes Electrique :

Dans les réservoirs, le risque électrique peut être engendré par : l'électricité dynamique, statique ou atmosphérique.

II.4.2.1.L'électricité Dynamique :

Elle est due à l'échauffement et la surcharge électrique, causée par la défektivité des systèmes de protection, des conducteurs et appareils électriques.

Il est recommandé d'installer des systèmes antidéflagrants (A.D.F).

II.4.2.2. L'électricité statique :

Elle est le résultat d'un phénomène connu sous le nom d'électrification par contact

Les mesures de prévention contre l'électricité statique sont :

- La mise à la terre et l'établissement des liaisons équipotentielle entre les éléments du réservoir.
- La réduction de frottement.

II.4.2.3.L'électricité Atmosphérique :

Elle est due à l'énergie libérée par la foudre dans un temps très court. Cette énergie développée aux points d'impression peut allumer les vapeurs d'hydrocarbures.

La prévention contre l'électricité atmosphérique est : l'établissement des liaisons équipotentielles entre les éléments du réservoir et la mise à la terre.

II.4.3.Causes Mécanique :

Dû aux mouvements du toit flottant. Durant le stade initial du remplissage d'un bac avec un hydrocarbure à bas point d'éclair ($< 20^{\circ}\text{C}$) même quand le point de remplissage est relié à la robe et cette dernière reliée électriquement à la terre. Pour parer à ce risque, la vitesse de remplissage n'excède par 1m/s jusqu'au moment où le toit flottant sera à flot.

II.4.4.La Pression :

Les produits stockés émettent des gaz dont la pression dépend de la température à laquelle le réservoir est exposé par suite au rayonnement solaire.

Les surpressions peuvent être dangereuses. Afin d'éviter ce danger, les bacs à toit flottant présentent l'avantage de limiter l'atmosphère gazeuse au-dessus du liquide, en outre ces toits sont munis de reniflards avec un arrête-flamme. Ces reniflards aident à maintenir une pression de gaz, compatible avec la résistance du réservoir.

Afin de limiter les pertes par évaporation, les bacs sont peints avec une peinture réfléchissante (Grise Claire) limitant l'échauffement du réservoir par la chaleur du soleil.

III.1. Introduction

Les activités industrielles et humaines font presque quotidiennement les grands titres des actualités avec leurs cortèges d'incidents, d'accidents ou d'événements catastrophiques. En effet, le zéro défaut ou le risque zéro n'existe malheureusement pas pour les activités industrielles à cause de l'occurrence de défaillances humaines ou matérielles. Toutefois, pour tenter de réduire les risques à un niveau le plus faible possible et acceptable par l'opinion publique, des méthodes, des techniques et des outils scientifiques ont été développés dès le début du 20^e siècle pour évaluer les risques potentiels, prévoir l'occurrence des défaillances et tenter de minimiser les conséquences des situations catastrophiques lorsqu'elles se produisent. L'ensemble de ces développements méthodologiques à caractère scientifique représente, la discipline de la sûreté de fonctionnement.

III.2.L'analyse des risques :

L'analyse du risque est définie comme « l'utilisation des informations disponibles pour identifier les phénomènes dangereux et estimer le risque ».

L'analyse des risques vise tout d'abord à identifier les sources de dangers et les situations associées qui peuvent conduire à des dommages sur les personnes, l'environnement ou les biens.

Dans un second temps, l'analyse des risques permet de mettre en lumière les barrières de sécurité existante en vue de prévenir l'apparition d'une situation dangereuse (barrières de prévention) ou d'en limiter les conséquences (barrières de protection).

Consécutivement à cette identification, il s'agit d'estimer les risques en vue de hiérarchiser les risques identifiés au cours de l'analyse et de pouvoir comparer ultérieurement ce niveau de risque à un niveau jugé acceptable.

Son estimation peut être effectuée de manière semi-quantitative à partir :

- D'un niveau de probabilité que le dommage survienne.
- D'un niveau de gravité de ce dommage.

l'acceptation de ce risque est subordonnée à la définition préalable de critères d'acceptabilité du risque

Il existe un grand nombre d'outils dédiés à l'identification des dangers et des risques associés à un procédé ou une installation.

Quelques-uns des outils les plus fréquemment utilisés sont :

- L'Analyse Préliminaire des Risques (APR).

- L'Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effets et de leur Criticité (AMDEC).
- L'Analyse des risques sur schémas type (HAZOP) .
- L'Analyse par arbre des défaillances (ADD).
- L'Analyse par arbre d'évènements (ADE).
- Le Nœud Papillon.

Il existe deux grands types de démarches en vue d'analyser les risques :

- **La démarche inductive.**
- **La démarche déductive.**

Dans une approche inductive, une défaillance ou une combinaison de défaillances est à l'origine de l'analyse. Il s'agit alors d'identifier les conséquences de cette ou ces défaillances sur le système ou son environnement. Les principales méthodes inductives utilisées dans le domaine des risques accidentels sont : (APR), (AMDEC), (HAZOP), (ADE)...

A l'inverse, dans une approche déductive, le système est supposé défaillant et l'analyse porte sur l'identification des causes susceptibles de conduire à cet état. L'arbre des défaillances (AdD) constitue une des principales méthodes déductives.

Méthode	Approche	Défaillance envisagées	Niveau de détail	Domaine d'application
APR	Inductive	Indépendantes	+	Installation les moins complexes
HAZOP	Inductive	Indépendantes	++	Système thermo-hydrauliques
AMDEC	Inductive	Indépendantes	++	Sous ensemble techniques bien délimités
Arbre d'événements	Inductive	combinées	+++	Défaillances préalablement identifiées
Arbre des défaillances	déductive	combinées	+++	Evénement redouté ou indésirables préalablement identifiées
Nœud papillon	Inductive déductive	combinées	+++	Scénario d'accidents jugés le plus critiques

Tableau III.1.critères de choix pour les principales méthodes d'analyse des risques

Ici on va détailler l'Analyse des risques par la méthode (HAZOP) qui nous intéresse dans notre étude sur les risques liés au stockage de condensat.

III.3.Présentation de la méthode HAZOP :

III.3.1.Historique :

La méthode HAZOP, (Hazard Operability), a été développée par la société Imperial Chemical Industries (ICI) au début des années 1970. Elle a depuis été adaptée dans différents secteurs d'activité. L'Union des Industries Chimiques (UIC) a publié en 1980 une version française de cette méthode dans son cahier de sécurité n°2 intitulé « Etude de sécurité sur schéma de circulation des fluides ».

Considérant de manière systématique les dérives des paramètres d'une installation en vue d'en identifier les causes et les conséquences.

III.3.2.Domaine d'application :

Cette méthode est particulièrement utile pour l'examen de systèmes thermo hydrauliques, pour lesquels des paramètres comme le débit, la température, la pression, le niveau, la concentration... sont particulièrement importants pour la sécurité de l'installation. Cette méthode requiert notamment l'examen de schémas et plans de circulation des fluides.

III.3.3.Principe :

La méthode de type HAZOP est dédiée à l'analyse des risques des systèmes thermo-hydrauliques pour lesquels il est primordial de maîtriser des paramètres comme la pression, la température, le débit...

L'HAZOP suit une procédure assez semblable à celle proposée par l'AMDE. L'HAZOP ne considère plus des modes de défaillances mais les dérives potentielles (ou déviations) des principaux paramètres liés à l'exploitation de l'installation. De ce fait, elle est centrée sur l'installation à la différence de l'AMDE qui est centrée sur les composants.

Pour chaque partie constitutive du système examiné (ligne ou maille), la génération (Conceptuelle) des dérives sont effectuées de manière systématique par la conjonction :

- De mot-clé comme par exemple « Pas de », « Plus de », « Moins de », « Trop de »
- Des paramètres associés au système étudié. Des paramètres couramment rencontrés concernent la température, la pression, le débit, la concentration, mais également le temps ou des opérations à effectuer.

Mot-clé + Paramètre = Dérive

Le groupe de travail doit ainsi s'attacher à déterminer les causes et les conséquences potentielles de chacune de ces dérives et à identifier les moyens existants permettant de détecter cette dérive, d'en prévenir l'occurrence ou d'en limiter les effets. Le cas échéant, le groupe de travail pourra proposer des mesures correctives à engager en vue de tendre vers plus de sécurité.

A l'origine, l'HAZOP n'a pas été prévue pour procéder à une estimation de la probabilité d'occurrence des dérives ou de la gravité de leurs conséquences. Cet outil est donc parfois qualifié de qualitatif.

Néanmoins, dans le domaine des risques accidentels majeurs, une estimation a priori de la probabilité et de la gravité des conséquences des dérives identifiées s'avère souvent nécessaire. Dans ce contexte, l'HAZOP doit donc être complétée par une analyse de la criticité des risques sur les bases d'une technique quantitative simplifiée. Dans une première approche.

III.3.4.Déroulement :

Le déroulement d'une étude HAZOP est Il de suivre les étapes suivantes :

- 1) Dans un premier temps, choisir une ligne ou de la maille. Elle englobe généralement un équipement et ses connexions, l'ensemble réalisant une fonction dans le procédé identifiée au cours de la description fonctionnelle.
- 2) Choisir un paramètre de fonctionnement.
- 3) Retenir un mot-clé et générer une dérive.
- 4) Vérifier que la dérive est crédible. Si oui, passer au point 5, sinon revenir au point 3.
- 5) Identifier les causes et les conséquences potentielles de cette dérive.
- 6) Examiner les moyens visant à détecter cette dérive ainsi que ceux prévus pour en prévenir l'occurrence ou en limiter les effets.
- 7) Proposer, le cas échéant, des recommandations et améliorations.
- 8) Retenir un nouveau mot-clé pour le même paramètre et reprendre l'analyse au point 3.
- 9) Lorsque tous les mots-clé ont été considérés, retenir un nouveau paramètre et reprendre l'analyse au point 2.
- 10) Lorsque toutes les phases de fonctionnement ont été envisagées, retenir une nouvelle ligne et reprendre l'analyse au point 1.

Date :								
Ligne ou équipement :								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
N°	Mot clé	Paramètre	Causes	Conséquences	Détection	Sécurités existantes	Propositions d'amélioration	Observations

Tableau III.2: Exemple de tableau pour l'HAZOP

III.3.5. Définition des mots-clés :

Les mots-clés, accolés aux paramètres importants pour le procédé, permettent de générer de manière systématique les dérives à considérer. Ces mots-clés sont repris dans le tableau ci-dessous :

<i>Type de déviation</i>	<i>Mot-Guide</i>	<i>Exemples d'interprétation</i>
Négative	NE PAS FAIRE	Aucune partie de l'intention n'est remplie
Modification quantitative	PLUS	Augmentation quantitative
	MOINS	Diminution quantitative
Modification qualitative	EN PLUS DE	Présence d'impuretés – Exécution simultanée d'une autre opération/étape
	PARTIE DE	Une partie seulement de l'intention est réalisée
Substitution	INVERSE	S'applique à l'inversion de l'écoulement dans les canalisations ou à l'inversion des réactions chimiques
	AUTRE QUE	Un résultat différent de l'intention originale est obtenu
Temps	PLUS TOT	Un événement se produit avant l'heure prévue
	PLUS TARD	Un événement se produit après l'heure prévue
Ordre séquence	AVANT	Un événement se produit trop tôt dans une séquence
	APRES	Un événement se produit trop tard dans une séquence

Tableau.III.3 : Exemples de mot-clé pour l'HAZOP

III.3.6. Définition des paramètres :

Les paramètres auxquels sont accolés les mots-clé dépendent bien sûr du système considéré. Généralement, l'ensemble des paramètres pouvant avoir une incidence sur la sécurité de l'installation doit être sélectionné. De manière fréquente, les paramètres sur lesquels porte l'analyse sont :

- La température.
- La pression.
- Le débit.
- Le niveau.
- La concentration.
- Le temps.
- Des opérations à réaliser.

La combinaison de ces paramètres avec les mots clé précédemment définis permet donc de générer des dérives de ces paramètres. Par exemple.

- « Plus de » et « Température » = « Température trop haute ».
- « Moins de » et « Pression » = « Pression trop basse ».
- « Inverse » et « Débit » = « Retour de produit ».
- « Pas de » et « Niveau » = « Capacité vide ».

III.3.7. Causes et conséquences de la dérive :

Le groupe de travail, une fois la dérive envisagée, doit identifier les causes de cette dérive, puis les conséquences potentielles de cette dérive.

III.3.8. Moyens de détection, sécurités existantes et propositions :

La méthode HAZOP prévoit d'identifier pour chaque dérive les moyens accordés à sa détection et les barrières de sécurité prévues pour en réduire l'occurrence ou les effets.

Si les mesures mises en place paraissent insuffisantes au regard du risque encouru, le groupe de travail peut proposer des améliorations en vue de pallier à ces problèmes ou du moins définir des actions à engager pour améliorer la sécurité quant à ces points précis.

III.4. Les avantages et les inconvénients de la méthode HAZOP :

A. Les Avantages :

- HAZOP est un outil particulièrement efficace pour les systèmes thermo hydrauliques.
- HAZOP est un méthode semi quantitative à utilisation simple.
- Elle présente un caractère systématique et méthodique.
- Groupe pluridisciplinaire.

- Adaptée à des procédés continus dans chacun de leur phase (fonctionnement normal, démarrage, arrêt).

B. Les Inconvénients :

- Limitée aux dérives de fonctionnement d'un système mettant en œuvre des fluides ;
- Lourd, divergence facile.
- Ne permet pas la représentation des combinaisons d'événements ou leur enchaînement.

IV.1. Application De La Méthode HAZOP

IV.1.1.Objectif :

Les objectifs principal de l'étude HAZOP sont :

- Identification des phénomènes majeurs qui peuvent se produire sur un équipement de stockage atmosphérique des hydrocarbures (BAC a toit fixe) durant les phases d'exploitation de l'équipement .
- Identification des causes principales de ces scénarios et établissement des mesures de prévention pour éviter l'occurrence de ces types de scénarios.
- Formulation des recommandation permettant de garantir un niveau de risque acceptable.

IV.1.2.Description du nœud de stockage de condensat (off spec) :

Remplissage :

les écoulements de condensats "off-spec" en provenance des trains (A B C) de traitement sont réunis pour entrer dans l'unité de dégazage de condensats "off-spec".

Dans cette unité, les condensats se dirigent vers trois ballons (D003, 004 et 012), qui permettent de faire décroître la pression.

Après un dégazage total, ce fluide est stocké dans le réservoir de stockage à condensats (T001).

Le gaz formé dans le ballon de détente à condensats bruts (D003) et dans le ballon de dégazage (D004) se dégage vers le système de torche à basse pression, tandis que le gaz formé dans le ballon de dégazage (D012A) est acheminé vers le système de torche à très basse pression.

La hauteur du ballon de dégazage n°2 (D012) est suffisamment importante pour que les condensats puissent s'écouler à partir de ce ballon vers leur réservoir de stockage (T001), même si ce dernier est rempli presque jusqu'au niveau supérieur.

Vidange :

Les condensats "off-spec" retournent vers les TRAINS (A;B;C) pour subir un retraitements, leur pression augmentant sous l'action de la pompe de retraitement à condensât (P001).

IV.1.3.Caractéristiques du Condensât :

Le condensât est constitué d'un mélange d'hydrocarbures paraffiniques, de (C_5H_{12}) jusqu'au ($C_{12}H_{26}$) et plus, généralement extrait des gisements du gaz à condensât. Il est sous forme liquide dans les conditions normales de température et de pression.

Les principales caractéristiques du condensât sont :

- **Aspect** : C'est un liquide incolore, avec une odeur d'essence.
- **Poids spécifique** : Poids spécifique du condensât est compris entre 0,7 à 0,8.
- **Point d'éclair** : Son point d'éclair est inférieure à -40°C .
- **Limites d'inflammabilités** : très inflammable, 1,4% et 7,6% (dans l'air).
- **Densité de vapeur** : densité de vapeurs est de 3 à 4 fois plus supérieur à celle de l'air.
- **Explosivité et inflammabilités** : Le condensât est un fluide hautement inflammable et évaporable à une température et pression normales, du fait qu'il n'est pas électro conducteur, il présente un danger d'inflammation ou explosion du fait de l'étincelage électrostatique amorcé par coulage , filtration, chute, pulvérisation,...etc.

Remarque :

Les vapeurs du condensât constituent un mélange gazeux explosif se répendant par terre du fait de sa densité plus élevée que celle de l'air.

- **Toxicité physiologique** : toxique (irritation des yeux et névropathies)

IV.1.4. Les mesures de prévention/protection présentes dans la zone de l'équipement :

- Détecteurs de gaz
- Détecteur de flammes qui déclenche le système de déluge au niveau des pompes P001
- Détecteur de gaz dans la zone des bacs
- Programme d'inspection
- Couronne de refroidissement
- Déversoirs à mousse dans la cuvette
- Zone rétention (sans pente) avec avaloirs vers la fosse de brûlage
- Moyens d'interventions mobiles (camion mixte, lances-canon, motopompes)
- Permis de travail et de circulation
- Zonage ATEX

Le Bac retenu T001A est installé dans un encuvement de dimensions approximativement 132 x 100 mètres et 1.8 mètre de hauteur. Celui-ci est en sable compact.

IV.2. Les tableaux HAZOP :

*Nœud: Section de stockage de condensats.**1- Débit :*

Paramètre	Déviations	Cause	Conséquence	Détection	Sécurité existante	Recommandation
Débit	Pas assez de débit	1.Défaillance au niveau de la vanne d'envoi vers torche (PIC 003)	1.En amont : Monter de pression	PIC003 indication en salle de contrôle	Moyen de lutte incendie	Sensibilisation des opérateurs concernant ces situations
			Ruine de l'équipement	PIAH003 alarme haute en salle de contrôle	Inspection et maintenance périodique des vannes	
		Fuite de condensat et de gaz	Ouverture de la vanne de secours par le tableautiste de salle de contrôle	Zone ATEX	Installation d'un détecteur de gaz en cas d'une fuite	
			2.En aval : Perte de production			
			Pas de conséquence HSE			
		2.Défaillance du système de pressurisation de BAC	1.Chute de pression du bac T001A	FIAL035 : détecteur de bas débit du fuel gaz vers BAC	Vanne de respiration BV qui permet d'injecter de l'air dans le bac pour éviter le collapsage.	Sensibilisation des opérateurs concernant ces situations
			2.Lors de vidange du bac ; Risque de collapsage et ruine du bac		Moyen de lutte Incendie	
			3.Fuite			

			4. Feu de nappe		POI Cuvette de rétention	
		3. la Vanne de sortie du BAC vers la torche est fermée par erreur humaine	1. Lors du remplissage du bac risque d'envoi du gaz inflammable à l'ATM via BV et EV 2. Risque de feu extérieur qui va se propager en feu de bac	Détecteur de gaz FR du fuel gaz indique une baisse de débit	Chambre à mousse dans le BAC Déversoir à mousse dans la cuvette Coronne de refroidissement déclencher depuis la salle de contrôle ou localement	
		4. Bouchage au niveau du fond du BAC et vanne de sortie du BAC défectueuse fermée (ou bien bouchage de ligne d'alimentation)	1. En aval : Cavitation de la pompe d'expédition Echauffement Pert d'étanchéité Fuite de condensat Inflammation Catastrophe	FIC 031 indique un bas débit FZAL001 déclenche (Arrêt de pompe P002)	Détecteur de flamme Système de détection et extinction automatique POI	Assurer l'inspection des bacs et veiller sur le bon état des vannes

*Nœud: Section de stockage de condensats.**1- Débit :*

Paramètre	Déviations	Causes	Conséquences	Détection	Sécurité existante	Recommandations
Débit	Trop de débit	1.Fuite dans la ligne d'expédition	1. Libération du condensat 2. Inflammation 3. Explosion	Ronde des opérateurs	Moyen de lutte Incendie (matérielles d'extinction fixe et mobile)	Installation des détecteurs de fuites autour des installations Système de télésurveillance autour des installations
		2.Vanne d'expédition vers bourbier bloquée ouverte	1.Envoi de condensat vers bourbier 2.Feu de nappe dans le bourbier 3.Pollution environnementale	LICA002 indicateur de bas niveau de D003	Possibilité d'isoler manuellement la vanne vers bourbier POI	Moyen de lutte Incendie Traitement du gaz de combustion pour éviter la pollution ATM

Nœud: Section de stockage de condensats.

2-Température :

Paramètre	Déviaton	Causes	Conséquence	Détection	Sécurité existante	Recommandations
Température	Trop de température	1.Feu dans la zone de D003 2.Feu dans la zone de bac T001	1.Risque de BLEVE de D003 2.Feu de bac	possibilité de vider vers torche via la PIC 003, la HXC009 TG sur les D003 et sur le BAC de stockage pour indication de T° (thermomètre)	Possibilité d'ouvrir les réservoirs vers le système vide en urgence Détection de GAZ à + de 10m Moyen de lutte incendie POI Zone de rétention déversoirs à mousse dans les zones de rétention chambre à mousse au sommet de bac	Installation des détecteurs de Gaz dans la zone des D003 avec alarmes en salle de contrôle locale et sécurité. Vannes automatique pour l'isolation du BAC en cas d'accident
		3.T° excessive au niveau du BAC	1.Montée en pression	Transmetteur de la température	Events du BAC Zone ATEX	Système de refroidissement automatique

			<p>2.Dégazage de condensat</p> <p>3.Eclatement du toit</p> <p>4.Explosion</p>	<p>TZH qui ferme la LICV002A vers bac et dirige les liquides vers le borbier</p> <p>Détecteur de gaz</p>	<p>Moyen de lutte incendie</p>	<p>Installer un instrument de mesure de t° dans les bacs T001 pour permettre une visualisation de la t° depuis la salle de contrôle</p>
--	--	--	-------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Nœud: Section de stockage de condensats.

2-Température :

Paramètre	Déviations	Causes	Conséquences	Détection	Sécurité existante	Recommandations
Température	Pas assez de température	1. températures hivernales	1. instrumentation Défaillante à cause du givrage (Dérive du procès)	position de repli des vannes : PIC003 HXC009 LICV002A LIC002B LC034 Transmetteur de la température	Port des EPI Arrêt d'urgence	Fiabiliser le sécheur d'air instrument pour éviter la contamination de cet air instrument et le repli des Vannes

Nœud: Section de stockage de condensats.

3-Pression :

Paramètre	Déviations	Causes	Conséquence	Détection	Sécurité existante	Recommandations
Pression	Trop de pression	1. Bouchage des événements	1. Montée de pression 2. Eclatement du toit du BAC 3. Ignition d'un nuage inflammable 4. Explosion 5. Pollution environnementale	PIC : indicateur de pression Détection de gaz répartis dans la zone du module 3 avec alarmes en salles de sécurité et de contrôle	Moyen d'extinction fixe et mobile Cuvette de rétention Soupape de sécurité à double effets (BV)	Inspection périodique du BAC Vérification périodique des Events
		2. Feu dans la zone D003	Voir trop de température			
		3. Feu dans la zone T001				

Nœud: Section de stockage de condensats.

3-Pression :

Paramètre	Déviations	Causes	Conséquences	Détection	Sécurité existante	Recommandations
Pression	Pas assez pression	1.Haut débit d'expédition	1.Chute de pression 2.Implosion de bac 3.ruine du bac 4.Fuite 5.Feu de nappe	Indicateur de pression (PIC) avec alarme Détecteur de gaz	Moyen de lutte incendie Cuvette de rétention Bride valve Arrêt de la pompe	Inspection périodique du bac Installation des détecteurs de flamme dans la zone de bac Formation et sensibilisation des opérateurs

Nœud: Section de stockage de condensats.

4-Niveau :

Paramètre	Déviaton	Causes	Conséquence	Détection	Sécurité existante	recommandations
Niveau	Trop de niveau	1.Vanne LICV002A fermée par défaillance de la régulation	1.montée en niveau du D003A avec risque d'envoi de condensat vers la torche. 2.Feu de nappe 3.Pollution environnementale	LICAH002A qui indique le niveau haut	LZH023 qui coupe l'alimentation LIC002A s'ouvre vers la fosse de brûlage moyen de lutte incendie	Traitement du gaz de combustion pour éviter la pollution ATM
		2.LIA004A/B instrument de mesure du niveau des BacT001A défaillant	1.Montée en niveau dans le bac T001A 2.débordement vers l'atmosphère via l'évent 3.Feu de cuvette	LIAH004A qui indique le niveau haut de condensat	LZAH005A sur le bac qui coupe LICA002A Détecteur de gaz dans la zone des bacs cuvette de rétention	Installation d'un instrument de mesure de niveau Haut Haut redondante dans les bacs T001A avec une logique de sécurisation du bac en cas de niveau très haut

					<p>Couronne de Refroidissement Déversoirs à mousse dans la cuvette</p> <p>Moyen de lutte incendie</p> <p>POI</p>	
--	--	--	--	--	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--

Nœud: Section de stockage de condensats.

4-Niveau :

Paramètre	Déviations	Causes	Conséquences	Détection	Sécurité existante	recommandations
Niveau	pas assez de niveau	1.Défaillance LIA004 (mesure de niveau dans le bac T001A)	1.Cavitation de la pompe P001 avec risque de perte d'étanchéité 2.Risque de fuite. Feu dans la zone avec risque de blessure des opérateurs impliqués dans l'opération	Ronde opérateurs qui relève le niveau local Suivi des niveaux Indicateur de niveau FIC001 indique un bas débit	LZAL005 niveau bas du bac qui arrête la pompe P001 FZL001 déclenche la pompe P001 DéTECTEURS gaz et flamme sur les P001 moyen de lutte incendie	Inspection de l'instrumentation Sensibilisation des opérateurs concernant ces situations

IV. 3.Résultats de l'étude HAZOP :**IV. 3.1.Les risques liés au stockage atmosphérique des hydrocarbures peuvent survenir à cause des déviations suivantes :**

- Le débit de remplissage et de vidange du bac.
- La température de service.
- La pression de service.
- Le niveau de remplissage du bac.

IV.3.2.Les cause de ces déviation sont d'origine :

- technique (défaillance d'une vanne).
- humain (erreur de l'opération).
- autres (naturelle ; condition climatique).

IV.3.3.les scénarios majeurs redoutés sont :

- BLEVE.
- EXPLOSION.
- UVCE.
- Feu de cuvette.
- Feu de nappe.
- Feu de BAC.

IV.4.Les recommandations :

- Installation des alarmes de niveau très bas et de niveau très haut pour les bacs de stockage.
- Installation des parafoudres sur le toit du bac (protections contre la foudre).
- Inspection de tous les équipements du bac de stockage.
- Nettoyage régulier et périodique des fonds de bac.
- Inspection et vérification périodique des événements et soupapes de décompression au niveau du bac.
- Formation et sensibilisation des opérateurs sur les risques pouvant survenir dans la zone de stockage.
- Exercices de simulation concernant les feux de Bac, de cuvette et feu de nappe.
- Vérification d'étanchéité et de l'état de la cuvette de rétention.
- Planification d'un programme d'inspection périodique de la mise à la terre et de la liaison equipotentiel des bacs.

- Injection des anti-paraffines dans les lignes de canalisation des hydrocarbures afin d'éviter le bouchage du fond de bac.
- Protection des canalisations des Hydrocarbure contre la corrosion.
- Harmonisation du système de télésurveillance pour toutes les installations.
- Disponibilité des moyens d'intervention au niveau du centre de production.
- Zonage (Délimiter les zones de stockage des Hydrocarbures et procéder à l'affichage des plaques de signalisation).
- Arrosage des réservoirs.
- Mesure de la TVR.
- Permis obligatoire avant tout type de travaux.
- Respect de la périodicité de purge.
- Suivi les travaux dans les conditions de sécurité optimales.
- Elaboration des statistiques d'accidents du travail.
- Participation à la gestion des risques et amélioration des conditions de travail.
- Entretien préventif des systèmes de protection et des équipements et matériels anti-incendie.
- Contrôles des accès des unités et bases

La méthode HAZOP que nous avons appliqué est purement qualitative, elle nous à aidé dans ce travaille pour orienter le choix du phénomène étudié.

Nous avons le choix entre le scénario BLEVE sur le ballon de séparation et le phénomène d'Explosion de bac atmosphérique.

On a choisis de modéliser le phénomène d'Explosion dans le chapitre suivant.

V.1. Introduction :

On trouve dans la littérature, essentiellement d'origine militaire, des descriptions de nombreuses observations concernant principalement les effets de la détonation du TNT (trinitrotoluène) sur les individus ou installations.

Cette méthode, d'usage relativement simple, a été très utilisée. Elle consiste à assimiler l'explosion d'un nuage gazeux à l'explosion d'une masse de TNT.

V.2. Objectif :

la détermination de l'intensité des effets en cas d'explosion d'une capacité atmosphérique.

V.3. Domaine d'application :

Cette note s'applique à toutes les capacités atmosphériques :

- stockant des liquides inflammables de catégorie B et C,
- cylindriques et verticales,
- à toit fixe.

V.4. Phénoménologie :

Le phénomène modélisé en cas d'explosion de bac est le suivant :

- à pression atmosphérique, la totalité du volume du bac est rempli d'un mélange inflammable d'air et de vapeurs d'hydrocarbures à la stœchiométrie,
- ce nuage s'enflamme en présence d'une source d'ignition
- La combustion rapide du mélange gazeux comburant/carburant et l'expansion des produits de combustion qui en résulte sont à l'origine d'une montée en pression dans le réservoir.
- Au-delà d'une certaine limite de pression, (appelée pression de rupture P_{RUP}), l'élément de résistance le plus faible du bac va céder et le bac va commencer à s'ouvrir, entraînant une ouverture, principalement à la liaison robe/toit et/ou à la liaison robe/fond.
- L'énergie interne accumulée va ensuite se libérer sous 2 formes :
 - énergie perdue dans la détente adiabatique du gaz, qui génère les ondes de pression à l'extérieur
 - énergie dispersée pour les projections de missiles

- 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



Figure V.1 : ouverture de la liaison robe/fond

V.5. Les étapes de la méthode :

- 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 recherché

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

La masse d'équivalent TNT :

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

V.6. Caractéristiques et Spécifications techniques du bac T001A :

Le Bac de condensât opère à température ambiante et à pression atmosphérique. Les caractéristiques de Bac sont reprises au tableau suivant :

Caractéristiques	T001A
Type d'installation	Bac de stockage
Substance	Condensât
Type de toit	Fixe
T service (°C)	40
T calcul (°C)	-5 / 93.6
P service (barg)	0
P calcul (barg)	0.015
Volume (m ³)	22462
Hauteur (m)	15.325
Diamètre (m)	43.2
Densité (kg m ³)	720

Tableau V.1 : description de l'équipement

V.7. Modélisation du scénario : EXPLOSION

Calcul de la masse d'équivalent TNT :

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

$$V = V_{\text{GAZ}} = 0,25 \cdot \pi \cdot \text{DEQU}^2 \cdot \text{HEQU}$$

$$dP = (\text{PECL} - \text{PATM})$$

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_{fr} :	Fraction de déformation du matériau

V.7.1 Pression d'éclatement : P_{ECL}

- 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). dans notre cas en a :

$$r = \text{Hauteur} / \text{Diamètre} < 1$$

$$r = 15.325 / 43.2 = 0.35 < 1$$

donc :

$$(PECL - PATM) = 50\ 663\ \text{Pa}\ (0,5\ \text{bar})$$

V.7.2 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 ε_{fr} , et énergie de fragmentation pour les effets missiles). **F= 0.6**

en effet lors de la montée en pression dans l'enceinte du réservoir ; le bac se soulève et se déforme pour tendre vers la forme d'une sphère. Jusqu'à ce que les contraintes au niveau liaisons robe/toit et robe/fond soient suffisantes pour provoquer l'ouverture de la capacité.

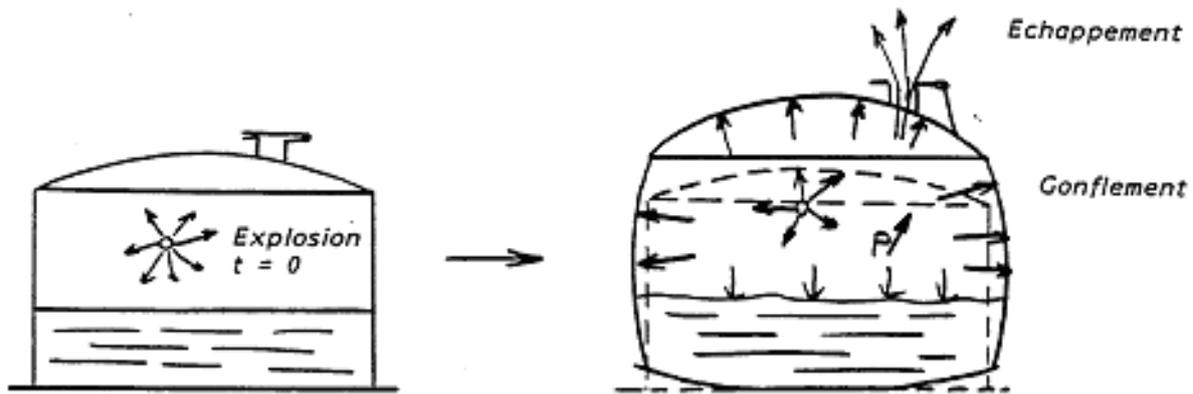


Figure V.2 : Gonflement d'un réservoir

V.7.3 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 :

$$\gamma = 1.314$$

Quelque soit le produit stocké.

V.7.4 Fraction de déformation du matériau :

$\varepsilon_{fr} = 0$ 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 :

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

Bac dont le rapport r est inférieur ou égal à 1 Soit $(PECL - PATM) = 50\,663 \text{ Pa}$ (0,5 bar), donc $PECL = 1.5 \text{ PATM}$

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

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

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

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

λ_1 distance réduite, fonction du seuil de surpression recherché, et obtenue par lecture des abaques TM5-1300

V.7.5 Effets de surpression :

Les valeurs de référence relatives aux seuils d'effets de surpression d'une explosion sont les suivantes.

- Pour les effets sur les structures :
 - 50 mbar, seuil des dégâts légers sur les structures ;
 - 140 mbar, seuil des dégâts graves sur les structures ;
 - 200 mbar, seuil des effets dominos ;
- Pour les effets sur l'homme :
 - 50 mbar, seuils des effets irréversibles correspondant à la zone des dangers significatifs pour la vie humaine.
 - 140 mbar, seuil des premiers effets létaux correspondant à la zone des dangers graves pour la vie humaine.
 - 200 mbar, seuil des effets létaux significatifs correspondant à la zone des dangers très graves pour la vie humaine.

Surpression (mbar)	Distance réduite λ (Abaque TM5-1300) (m)	Distance des effets de surpression (m)	
50	22	d = 0,104	[PATM . DEQU ² . HEQU] ^(1/3)
140	10,1	d = 0,048	
170	8,9	d = 0,042	
200	7,6	d = 0,036	

Tableau V.2 : Tableaux des équations de distance des effets de surpression

Calcul de la distance correspondant à la zone des dangers significatifs pour la vie humaine. (50mbar) :

Le bac est supposé plein à 80 %

Application :

$$\begin{aligned}
 d &= 0.104 \left[PATM \cdot DEQU^2 \cdot HEQU \cdot 80\% \right]^{1/3} \\
 &= 0.104 \left[1,013 \cdot 10^5 \cdot 43,2^2 \cdot 15,325 \cdot 80\% \right]^{1/3} \\
 &= \mathbf{137,63 \text{ m}}
 \end{aligned}$$

Surpression (mbar)	Distance réduite λ (Abaque TM5-1300) (m)	Distance des effets de surpression (m)
50	22	d = 137.63
140	10,1	d = 63.52
170	8,9	d = 55.58
200	7,6	d = 47.64

Tableau V.3 : Tableaux des distances des effets de surpression taux de remplissage 80%

Le BAC est supposé plein à 70 %

Surpression (mbar)	Distance réduite λ (Abaque TM5-1300) (m)	Distance des effets de surpression (m)
50	22	d = 131.64
140	10,1	d = 60.75
170	8,9	d = 53.16
200	7,6	d = 45.56

Tableau V.4 : Tableaux des distances des effets de surpression taux de remplissage 70%

Le BAC est supposé plein à 50 %

Surpression (mbar)	Distance réduite λ (Abaque TM5-1300) (m)	Distance des effets de surpression (m)
50	22	d = 117.67
140	10,1	d = 54.31
170	8,9	d = 47.52
200	7,6	d = 40.73

Tableau V.5 : Tableaux des distances des effets de surpression taux de remplissage 50%

Le BAC est supposé plein à 30 %

Surpression (mbar)	Distance réduite λ (Abaque TM5-1300) (m)	Distance des effets de surpression (m)
50	22	d = 99.25
140	10,1	d = 45.81
170	8,9	d = 40.08
200	7,6	d = 34.45

Tableau V.6 : Tableaux des distances des effets de surpression taux de remplissage 30%

NB : les distances sont déterminées à partir du centre du réservoir.

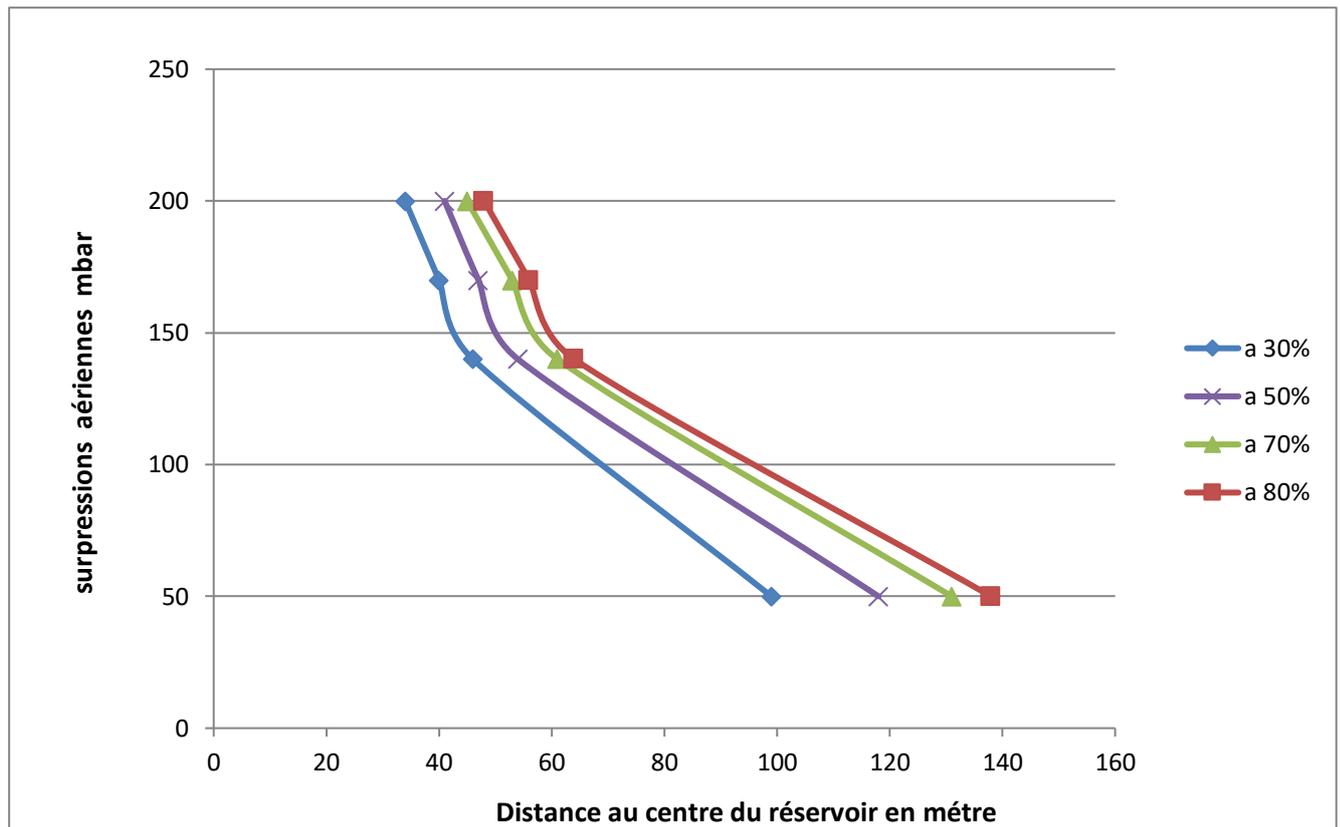


Figure V.3 : Courbe de décroissance de la surpression aérienne due à l'éclatement du réservoir

À l'aide d'abaque ou de courbes TM5-1300, Les effets de surpression en fonction de la distance sont les suivants :

Pour 50 mbar :

- destruction total des vitres
- démolition partielle des infrastructures

Pour 140 mbar :

- Effondrement partiel des murs est infrastructure

Pour 170 mbar :

- Limite inferieur aux dommages sérieux des structures
- Destruction de 50 % des infrastructures

Pour 200 mbar :

- Dommages légers aux machines
- Démolition des cadres en acier léger
- Rupture du réservoir de stockage

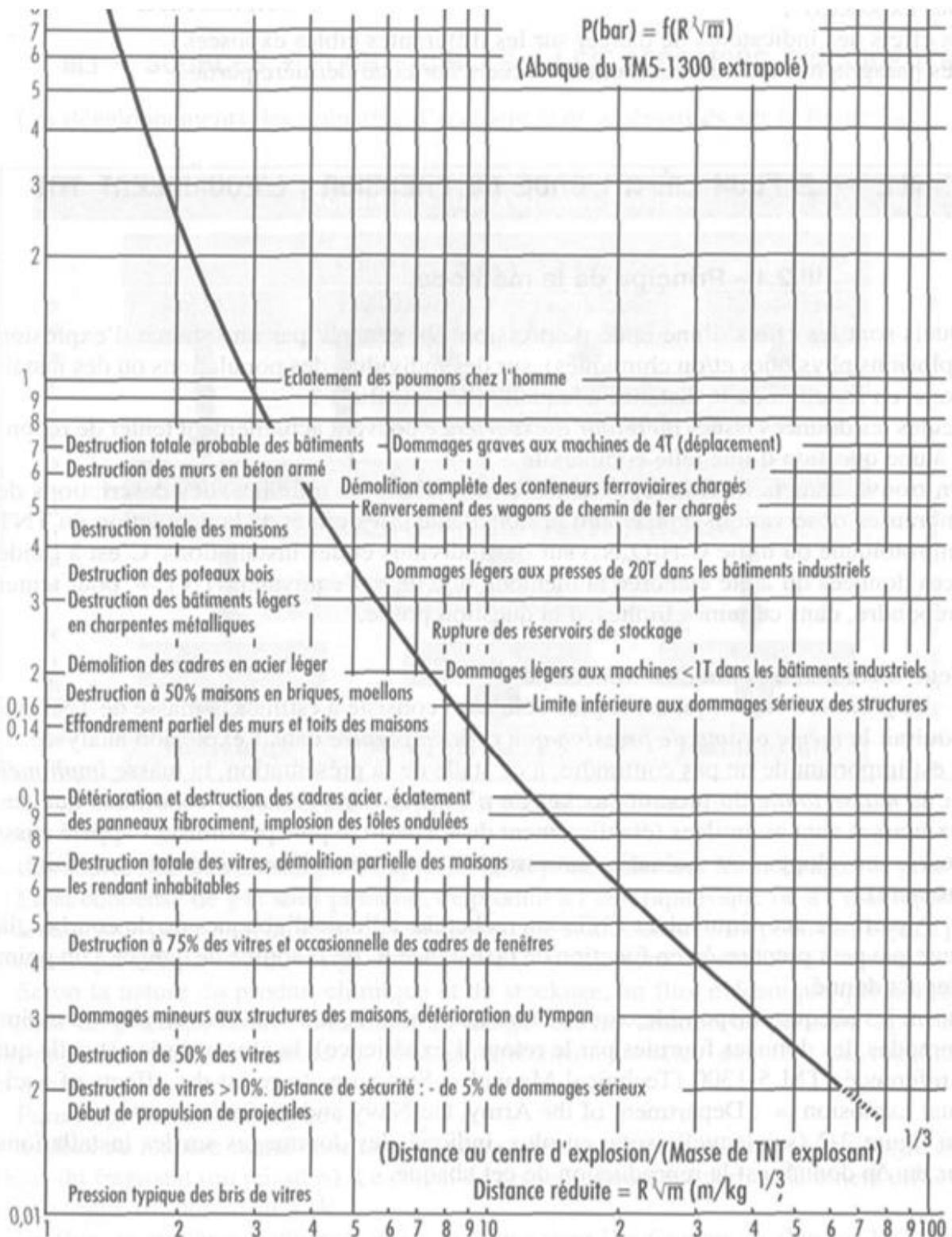


Figure V.4 : Abaque TM5-1300

V.7.6 Effets missile :

Vitesse d'éjection de fragment ou missile en cas d'éclatement d'un BAC :

Il faut souligner que l'approche proposée est purement énergétique et ne parle pas en termes d'impulsion. Or, c'est l'impulsion en fonction du temps qui caractérise le mouvement du projectile, en l'occurrence du toit d'un réservoir par exemple. La pression monte dans le réservoir, le toit décolle, la pression monte encore puis retombe. Le toit qui reçoit une impulsion d'abord forte en reçoit ensuite de moins en moins. Il est freiné par l'air et soumis à la gravité.

Il est clair que la démarche qui consisterait à calculer le mouvement à partir de l'impulsion, est très difficile à mettre en œuvre dans une étude de danger surtout parce qu'il n'est pas possible de calculer finement l'explosion interne.

- L'énergie disponible pour l'effet missile s'exprime de façon générale par :

$$E_{MIS} = F \frac{\Delta P \times V}{K}$$

Avec : ΔP : pression de rupture

V : volume du réservoir

F : facteur de distribution d'énergie de fragmentation

$$K = (\gamma - 1) (1 + \epsilon_{fr})^{(3\gamma - 3)}$$

$$K = (1,314 - 1) (1+0)^{(1,314 \cdot 3 - 3)}$$

$$K = 0,314$$

Pour les bacs moyenne pression selon "CODRES" La rupture s'effectue pour $\Delta P = 8\,400$ Pa.

$$E_{MIS} = 0,6 \times \frac{8400 \times 22462}{0,314}$$

$$E_{MIS} = 3,605 \times 10^8 \quad (j)$$

- Cette énergie est entièrement convertie en énergie cinétique ; on peut écrire :

$$E_{MIS} = \frac{MMIS}{2} \times V_{MIS}^2$$

Caractéristique du missile :

Cas d'un toit de bac atmosphérique ; La surface du toit se calcule par les formules ci-après :
toit en forme de calotte hémisphérique

$$St = \pi (f + 0,25 \times D_{EQU}^2)$$

avec f , la flèche du toit (m)

$$St = 3,14 (3^2 + 0,25 \times 43,2^2)$$

$$St = 1.493 \times 10^3 \quad (\text{m}^2)$$

La masse du missile se calcule comme suit :

- Masse du toit :

$$M_{\text{MIS}} = St \times E_{\text{P1}} \times \rho_{\text{AC}}$$

Avec : E_{P1} : l'épaisseur du toit 0.008 (m)

ρ_{AC} : la masse spécifique de l'acier du toit 7800 (kg/m³)

$$M_{\text{MIS}} = 1.493 \times 10^3 \times 8 \times 10^{-3} \times 7800$$

$$M_{\text{MIS}} = 9.32 \times 10^4 \quad (\text{kg})$$

- La vitesse initiale ou vitesse d'éjection s'exprime :

$$V_{\text{MIS}} = (2E_{\text{MIS}} / M_{\text{MIS}})^{0.5}$$

$$V_{\text{MIS}} = (2 \times 3.605 \times 10^8 / 9.32 \times 10^4)^{0.5}$$

$$V_{\text{MIS}} = 87.95 \quad (\text{m/s})$$

Calcul de la trajectoire :

L'étude de la trajectoire comprend deux phases : le parcours jusqu'au point d'inflexion (partie ascensionnelle), et la chute depuis l'apogée de la trajectoire.

Il s'agit du mouvement d'un corps solide lancé sous un certain angle dans un champ de pesanteur uniforme et dans un milieu offrant une résistance.

Une fois que le fragment de toit a acquis sa vitesse d'éjection initiale V_{MIS} , les calculs balistiques prennent en compte les forces de gravité et les forces de dynamique des fluides que sont la traînée et la portance.

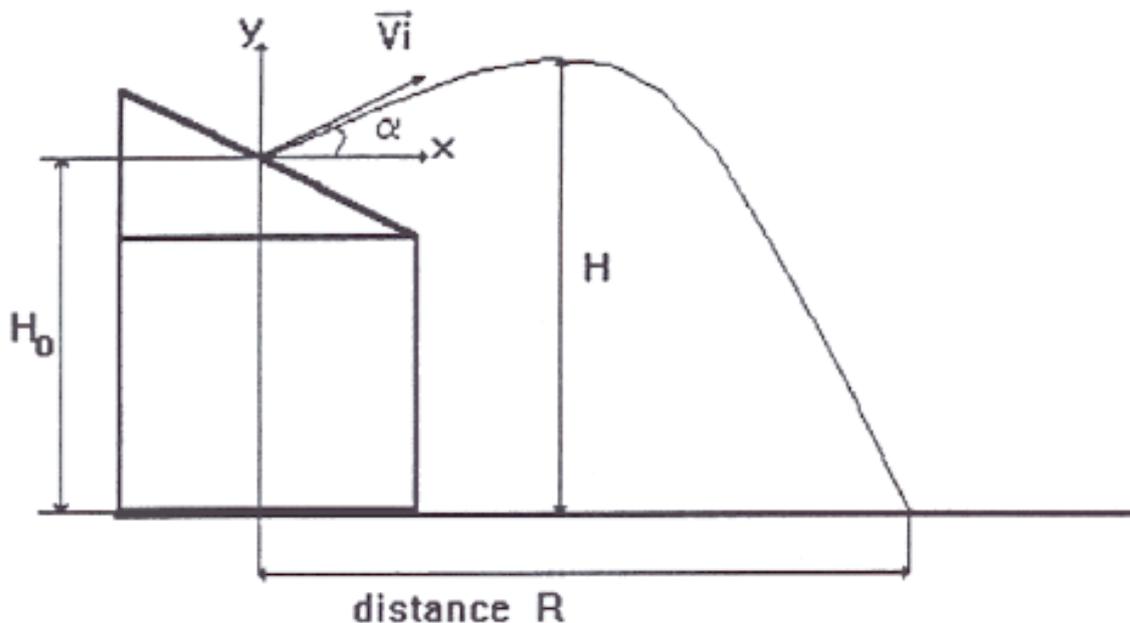


Figure V.5 : trajectoire du fragment

Le coefficient de traînée C_D est quantifié en utilisant la relation de CLANCEY.

Le coefficient de portance C_L est développé en fonction de l'angle d'attaque du mobile.

Les équations du mouvement sont développées pour les composantes de l'accélération dans les directions verticales et horizontales.

$$\ddot{Y} = -g - \frac{SMIS C_D \rho_{air} \left(\dot{X}^2 + \dot{Y}^2 \right) \sin \alpha}{2 MMIS} + \frac{SMIS C_L \rho_{air} \left(\dot{X}^2 + \dot{Y}^2 \right) \cos \alpha}{2 MMIS}$$

$$\ddot{X} = - \frac{SMIS C_D \rho_{air} \left(\dot{X}^2 + \dot{Y}^2 \right) \cos \alpha}{2 MMIS} + \frac{SMIS C_L \rho_{air} \left(\dot{X}^2 + \dot{Y}^2 \right) \sin \alpha}{2 MMIS}$$

Angle de tir :

$70^\circ \leq \alpha \leq 80^\circ$ pour un réservoir atmosphérique pour $t = 0$

$$\dot{X}' = VMIS \cos 75^\circ$$

$$\dot{Y}' = VMIS \sin 75^\circ$$

x qui caractérise la direction horizontale pour laquelle la composante de la vitesse est U (m/s)

y qui caractérise la direction verticale pour laquelle la composante de la vitesse est V (m/s)

Nous utilisons la relation de CLANCEY :

$$C_{DG} = \frac{K \cdot a}{MMIS^{1/3}}$$

Avec K, une constante empirique qui vaut : 0,0014 ($m^{-1/3}$) pour un missile subsonique

a : le coefficient de traînée 1.9

Equations simplifiées :

Calcul de la distance correspondant à l'impact au sol du missile réservoir suite à

l'éclatement :

➤ Le paramètre de traînée divisé par l'accélération de la pesanteur vaut :

$$C_{DG} = C_D / g = 1,4271 \times a \times 10^{-4} / MMIS^{1/3}$$

si VMIS est subsonique

$$C_{DG} = 1,4271 \times 1.9 \times 10^{-4} / (9.32 \times 10^4)^{1/3}$$

$$C_{DG} = 5.98 \times 10^{-6}$$

➤ Le temps t_1 pour monter à l'apogée se calcule par :

$$t_1 = 0,102 \tan^{-1} (C_{DG}^{0.5} \times V_0) / C_{DG}^{0.5}$$

Avec : $V_0 = VMIS \sin(\alpha)$

$$t_1 = 0,102 \tan^{-1} [(5.98 \times 10^{-6})^{0.5} \times 87.95 \times \sin 75] / (5.98 \times 10^{-6})^{0.5}$$

$$t_1 = 8.54 \quad (\text{s})$$

Notons que \tan^{-1} est exprimé en radians

➤ La hauteur maximale de la trajectoire Z1 :

$$Z_1 = 0,051 \ln (1 + C_{DG} V_o^2) / C_{DG} + H_{EQU}$$

$$Z_1 = 0,051 \ln [1 + 5.98 \times 10^{-6} \cdot (87.95 \times \sin 75)^2] / (5.98 \times 10^{-6}) + 15.325$$

$$Z_1 = 375.56 \quad (\text{m})$$

➤ La composante verticale de la vitesse d'impact au sol se calcule par :

$$V_2 = (1 - \exp(-19,62 C_{DG} Z_1) / C_{DG})^{0.5}$$

$$V_2 = [1 - \exp(-19,62 \times 5.98 \times 10^{-6} \times 375.56) / (5.98 \times 10^{-6})]^{0.5}$$

$$V_2 = 84.9 \quad (\text{m/s})$$

➤ Le temps pour arriver au point d'impact au sol s'écrit :

$$t_2 = t_1 + (0.051 / C_{DG}^{0.5}) \ln [(1 + V_2 C_{DG}^{0.5}) / (1 - V_2 C_{DG}^{0.5})]$$

$$t_2 = 8.54 + [0.051 / (5.98 \times 10^{-6})^{0.5}] \ln [(1 + 84.9 \times (5.98 \times 10^{-6})^{0.5}) / (1 - 84.9 \times (1.09 \times 10^{-3})^{0.5})]$$

$$t_2 = 17.33 \quad (\text{s})$$

➤ La vitesse d'impact au sol s'exprime par :

$$V_{IMP2} = [U_0^2 / (1 + 9.81 U_0 t_2 C_{DG})^2 + V_2^2]^{0.5}$$

$$\text{Avec : } U_0 = V_{MIS} \cos(\alpha)$$

$$V_{IMP2} = [(87.95 \times \cos(75))^2 / (1 + 9.81 \times 87.95 \cos(75) \times 17.33 \times 5.98 \times 10^{-6})^2 + 84.9^2]^{0.5}$$

$$V_{IMP2} = 87.76 \quad (\text{m/s})$$

➤ La distance maximale d'éjection devient finalement :

$$R_{MIS} = 0,102 \ln (1 + 9.81 U_0 t_2 C_{DG}) / C_{DG}$$

$$R_{MIS} = 0,102 \ln (1 + 9.81 \times 87.95 \cos(75) \times 17.33 \times (5.98 \times 10^{-6})) / (5.98 \times 10^{-6})$$

$$R_{MIS} = \mathbf{390.18} \quad (\text{m})$$

Pour les différentes pression de rupture ΔP on a:

	Pression de rupture ΔP (Pa)		
	bac sans pression	bac basse pression	bac moyenne pression
	$\Delta P=750$	$\Delta P=3750$	$\Delta P=8400$
E_{MIS} (j)	3.22×10^7	1.61×10^8	3.605×10^8
M_{MIS} (kg)	9.32×10^4	9.32×10^4	9.32×10^4
V_{MIS} (m/s)	26.29	58.78	87.95
C_{DG}	5.98×10^{-6}	5.98×10^{-6}	5.98×10^{-6}
t₁ (s)	2.59	5.75	8.54
Z₁ (m)	48.14	178.18	375.56
V₂ (m/s)	30.68	58.81	84.9
t₂ (s)	5.73	11.79	17.33
V_{IMP2} (m/s)	31.42	60.73	87.76
R_{MIS} (m)	38.94	178.49	390.18

Tableau V.7 : Tableaux de la distance parcourue par le missile en fonction de ΔP

V.7.7 Calcule des besoins en eau et émulseur en cas d'un feu de bac :

Eau de refroidissement :

Pour le refroidissement des réservoirs, il est prévu d'appliquer:

15 litres par minute et par mètre de circonférence sur le réservoir supposé en feu

Eau nécessaire à la préparation de la mousse :

Pour l'épandage de la mousse, il est prévu d'appliquer:

- Une couche de mousse de 0.20 m d'épaisseur en dix (10) minutes du réservoir supposé en feu
- A titre indicatif, le débit d'eau en m³/h à prévoir pour la production de mousse sur la surface du toit sera égale à: $Q = 0,20 (m) \times S (m^2)$.

Avec un taux de foisonnement (F) = 6

Reserve d'eau:

Les réserves d'eau doivent assurer le débit réglementaire (autonomie) pendant au moins six (06) heures d'après la réglementation concernant les dépôts d'hydrocarbures, article 602.1 de l'arrête de 1975.

Calcul du débit d'eau en m³/h nécessaire pour le refroidissement du bac en feu :

Q : Débit d'eau de refroidissement du bac en feu.

$$Q_1 = q_1 \cdot (\pi \cdot D)$$

avec : $q_1 = 15 \text{ litres /minute/mètres}$

$$Q_1 = 15 \times 3,14 \times 43,2 \times 60 = 122083,2 \text{ (l/h)}$$

$$Q_1 = 122,08 \text{ (m}^3\text{/h)}$$

Calcul du débit d'eau en m³/h nécessaire pour la production de la mousse:**Calcul du volume de la mousse :**

$$V_M = 0,20 \times S$$

D'où : 0,20 m : épaisseur de mousse.

S : Surface de toi

$$V_M = 0,2 \times \pi d^2 / 4 = 0,2 \times 3,14 \times 43,2^2 / 4$$

$$V_M = 293,15 \text{ m}^3$$

Volume de la solution moussante :

$$F = V_m / VSM$$

F : foisonnement = 6

$$VSM = V_m / F = 293,15 / 6$$

$$VSM = 48,85 \text{ m}^3$$

on utilise une concentration de 3% d'émulseur pour la production de la mousse avec un taux de foisonnement égal à 6 (Selon la réglementation).

VSM = Volume d'eau + Volume d'émulseur

$$\text{Volume d'eau} = 48,85 \times 97/100 = 47,38 \text{ m}^3$$

$$\text{Volume d'émulseur} = 48,85 \times 3 / 100 = 1,46 \text{ m}^3$$

Donc le débit d'eau en m³/h nécessaire pour la production de mousse

$$Q_2 = V / t = 47,38 \times 60 / 10$$

$$Q_2 = 248,28 \text{ (m}^3\text{/h)}$$

Calcul du débit total d'eau

$$Q_T = Q_1 + Q_2$$

$$Q_T = 122,08 + 248,28$$

$$Q_T = 370,36 \text{ (m}^3\text{/h)}$$

Réserve d'eau réglementaire Pour le bac T001 supposé en Feu.

Selon la réglementation concernant les dépôts des Hydrocarbures liquides de catégorie

B, C, D, article 602.1, la réserve d'eau doit assurer une autonomie d'au moins six heures donc:

La réserve d'eau sera égale à :

$$R = Q_T \times 6h = 370,36 \times 6$$

$$R = 2222,16 \text{ m}^3$$

V.8. Interprétation des résultats :

D'après l'analyse des tableaux et des résultats de calculs précédents, de nombreux effets résultent de l'EXPLOSION du bac a toit fixe :

- Effet de surpression : le volume de liquide contenue dans le bac influe sur la distance des effet de surpression ainsi que le taux de remplissage car plus ce dernier est élevé plus les distances des effets de surpression sont importante ; toute personne à une distance de 47.64 m ; 45.65 m ; 40.73 m ; 34.35 m pour un taux de remplissage de 80% ;70% ;50% ;30% respectivement est exposé à un effet létal significatif, correspondant à la zone des dangers très graves pour la vie humaine
- Effet missile : plus la pression de rupture est importante plus l'énergie du missile est élevé et plus la distance parcourus par le missile est assez importante ce que nécessite une distance de sécurité supérieure a 390.18 m en cas de décollage du toit du bac après l'explosion.

V.1. Introduction :

On trouve dans la littérature, essentiellement d'origine militaire, des descriptions de nombreuses observations concernant principalement les effets de la détonation du TNT (trinitrotoluène) sur les individus ou installations.

Cette méthode, d'usage relativement simple, a été très utilisée. Elle consiste à assimiler l'explosion d'un nuage gazeux à l'explosion d'une masse de TNT.

V.2. Objectif :

la détermination de l'intensité des effets en cas d'explosion d'une capacité atmosphérique.

V.3. Domaine d'application :

Cette note s'applique à toutes les capacités atmosphériques :

- stockant des liquides inflammables de catégorie B et C,
- cylindriques et verticales,
- à toit fixe.

V.4. Phénoménologie :

Le phénomène modélisé en cas d'explosion de bac est le suivant :

- à pression atmosphérique, la totalité du volume du bac est rempli d'un mélange inflammable d'air et de vapeurs d'hydrocarbures à la stœchiométrie,
- ce nuage s'enflamme en présence d'une source d'ignition
- La combustion rapide du mélange gazeux comburant/carburant et l'expansion des produits de combustion qui en résulte sont à l'origine d'une montée en pression dans le réservoir.
- Au-delà d'une certaine limite de pression, (appelée pression de rupture P_{RUP}), l'élément de résistance le plus faible du bac va céder et le bac va commencer à s'ouvrir, entraînant une ouverture, principalement à la liaison robe/toit et/ou à la liaison robe/fond.
- L'énergie interne accumulée va ensuite se libérer sous 2 formes :
 - énergie perdue dans la détente adiabatique du gaz, qui génère les ondes de pression à l'extérieur
 - énergie dispersée pour les projections de missiles

- 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



Figure V.1 : ouverture de la liaison robe/fond

V.5. Les étapes de la méthode :

- 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 recherché

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

La masse d'équivalent TNT :

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

V.6. Caractéristiques et Spécifications techniques du bac T001A :

Le Bac de condensât opère à température ambiante et à pression atmosphérique. Les caractéristiques de Bac sont reprises au tableau suivant :

Caractéristiques	T001A
Type d'installation	Bac de stockage
Substance	Condensât
Type de toit	Fixe
T service (°C)	40
T calcul (°C)	-5 / 93.6
P service (barg)	0
P calcul (barg)	0.015
Volume (m ³)	22462
Hauteur (m)	15.325
Diamètre (m)	43.2
Densité (kg m ³)	720

Tableau V.1 : description de l'équipement

V.7. Modélisation du scénario : EXPLOSION

Calcul de la masse d'équivalent TNT :

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

$$V = V_{\text{GAZ}} = 0,25 \cdot \pi \cdot \text{DEQU}^2 \cdot \text{HEQU}$$

$$dP = (\text{PECL} - \text{PATM})$$

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_{fr} :	Fraction de déformation du matériau

V.7.1 Pression d'éclatement : P_{ECL}

- 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). dans notre cas en a :

$$r = \text{Hauteur} / \text{Diamètre} < 1$$

$$r = 15.325 / 43.2 = 0.35 < 1$$

donc :

$$(PECL - PATM) = 50\ 663 \text{ Pa (0,5 bar)}$$

V.7.2 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 ε_{fr} , et énergie de fragmentation pour les effets missiles). **$F = 0.6$**

en effet lors de la montée en pression dans l'enceinte du réservoir ; le bac se soulève et se déforme pour tendre vers la forme d'une sphère. Jusqu'à ce que les contraintes au niveau liaisons robe/toit et robe/fond soient suffisantes pour provoquer l'ouverture de la capacité.

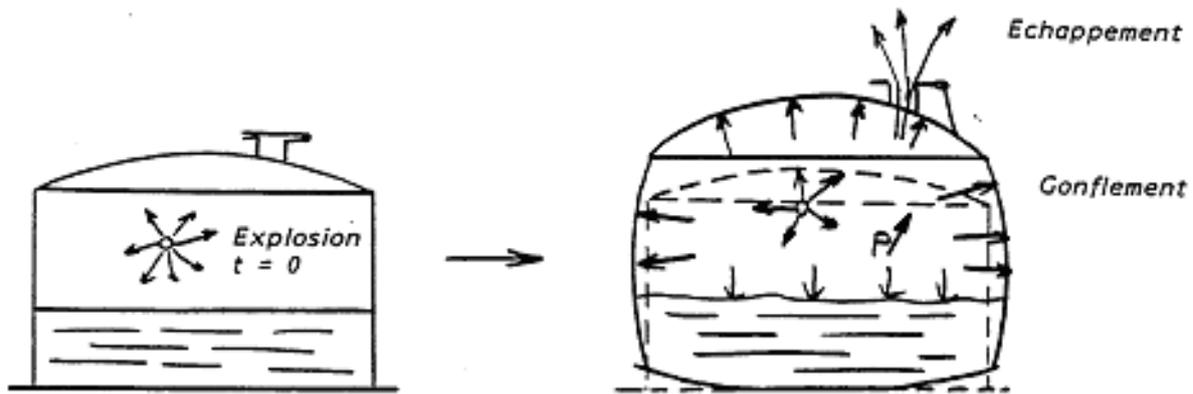


Figure V.2 : Gonflement d'un réservoir

V.7.3 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 :

$$\gamma = 1.314$$

Quelque soit le produit stocké.

V.7.4 Fraction de déformation du matériau :

$\varepsilon_{fr} = 0$ 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 :

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

Bac dont le rapport r est inférieur ou égal à 1 Soit $(PECL - PATM) = 50\,663 \text{ Pa}$ (0,5 bar), donc $PECL = 1.5 \text{ PATM}$

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

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

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

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

λ_1 distance réduite, fonction du seuil de surpression recherché, et obtenue par lecture des abaques TM5-1300

V.7.5 Effets de surpression :

Les valeurs de référence relatives aux seuils d'effets de surpression d'une explosion sont les suivantes.

- Pour les effets sur les structures :
 - 50 mbar, seuil des dégâts légers sur les structures ;
 - 140 mbar, seuil des dégâts graves sur les structures ;
 - 200 mbar, seuil des effets dominos ;
- Pour les effets sur l'homme :
 - 50 mbar, seuils des effets irréversibles correspondant à la zone des dangers significatifs pour la vie humaine ;
 - 140 mbar, seuil des premiers effets létaux correspondant à la zone des dangers graves pour la vie humaine ;
 - 200 mbar, seuil des effets létaux significatifs correspondant à la zone des dangers très graves pour la vie humaine.

Surpression (mbar)	Distance réduite λ (Abaque TM5-1300) (m)				
50	22	d_{50}	=	0,104	[[PATM . DEQU ² . HEQU] ^(1/3)
140	10,1	d_{140}	=	0,048	
170	8,9	d_{170}	=	0,042	
200	7,6	d_{200}	=	0,036	

Tableau V.2 : Tableaux des équations de distance des effets de surpression

Calcul de la distance correspondante au seuil de létalité (50mbar) :

Le bac est supposé plein à 80 %

Application :

$$\begin{aligned}
 D_{170} &= 0.104 \left[PATM \cdot DEQU^2 \cdot HEQU \cdot 80\% \right]^{1/3} \\
 &= 0.104 \left[1,013 \cdot 10^5 \cdot 43,2^2 \cdot 15,325 \cdot 80\% \right]^{1/3} \\
 &= \mathbf{137,63 \text{ m}}
 \end{aligned}$$

Surpression (mbar)	Distance réduite λ (Abaque TM5-1300) (m)	Distance des effets de surpression (m)				
		d_{50}	=	0,104	$\left[1.013 \cdot 10^5 \cdot 43.2^2 \cdot 15.325 \cdot 80\% \right]^{1/3}$	
50	22	d_{50}	=	0,104		137.63
140	10,1	d_{140}	=	0,048		63.52
170	8,9	d_{170}	=	0,042		55.58
200	7,6	d_{200}	=	0,036	47.64	

Tableau V.3 : Tableaux des distances des effets de surpression taux de remplissage 80%

Le BAC est supposé plein à 70 %

Surpression (mbar)	Distance réduite λ (Abaque TM5-1300) (m)	Distance des effets de surpression (m)				
		d_{50}	=	0,104	$\left[1.013 \cdot 10^5 \cdot 43.2^2 \cdot 15.325 \cdot 70\% \right]^{1/3}$	
50	22	d_{50}	=	0,104		131.64
140	10,1	d_{140}	=	0,048		60.75
170	8,9	d_{170}	=	0,042		53.16
200	7,6	d_{200}	=	0,036	45.56	

Tableau V.4 : Tableaux des distances des effets de surpression taux de remplissage 70%

Le BAC est supposé plein à 50 %

Surpression (mbar)	Distance réduite λ (Abaque TM5-1300) (m)	Distance des effets de surpression (m)				
		d_{50}	=	0,104	$[1.013.10^5.43.2^215.325.50\%]^{1/3}$	
50	22	d_{50}	=	0,104		117.67
140	10,1	d_{140}	=	0,048		54.31
170	8,9	d_{170}	=	0,042		47.52
200	7,6	d_{200}	=	0,036	40.73	

Tableau V.5 : Tableaux des distances des effets de surpression taux de remplissage 50%

Le BAC est supposé plein à 30 %

Surpression (mbar)	Distance réduite λ (Abaque TM5-1300) (m)	Distance des effets de surpression (m)				
		d_{50}	=	0,104	$[1.013.10^5.43.2^215.325.30\%]^{1/3}$	
50	22	d_{50}	=	0,104		99.25
140	10,1	d_{140}	=	0,048		45.81
170	8,9	d_{170}	=	0,042		40.08
200	7,6	d_{200}	=	0,036	34.35	

Tableau V.6 : Tableaux des distances des effets de surpression taux de remplissage 30%

NB : les distances sont déterminées à partir du centre du réservoir.

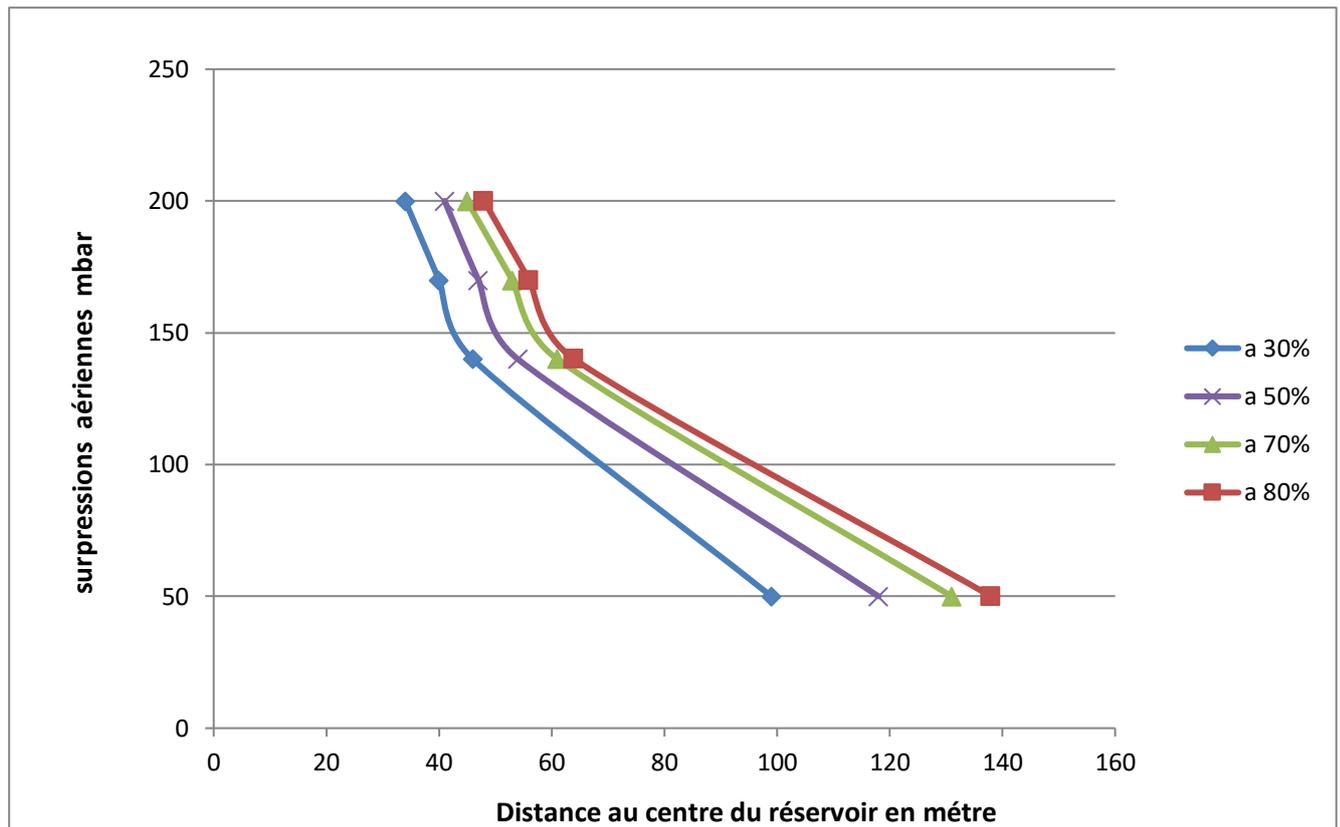


Figure V.3 : Courbe de décroissance de la surpression aérienne due à l'éclatement du réservoir

À l'aide d'abaque ou de courbes TM5-1300, Les effets de surpression en fonction de la distance sont les suivants :

Pour 50 mbar :

- destruction total des vitres
- démolition partielle des infrastructures

Pour 140 mbar :

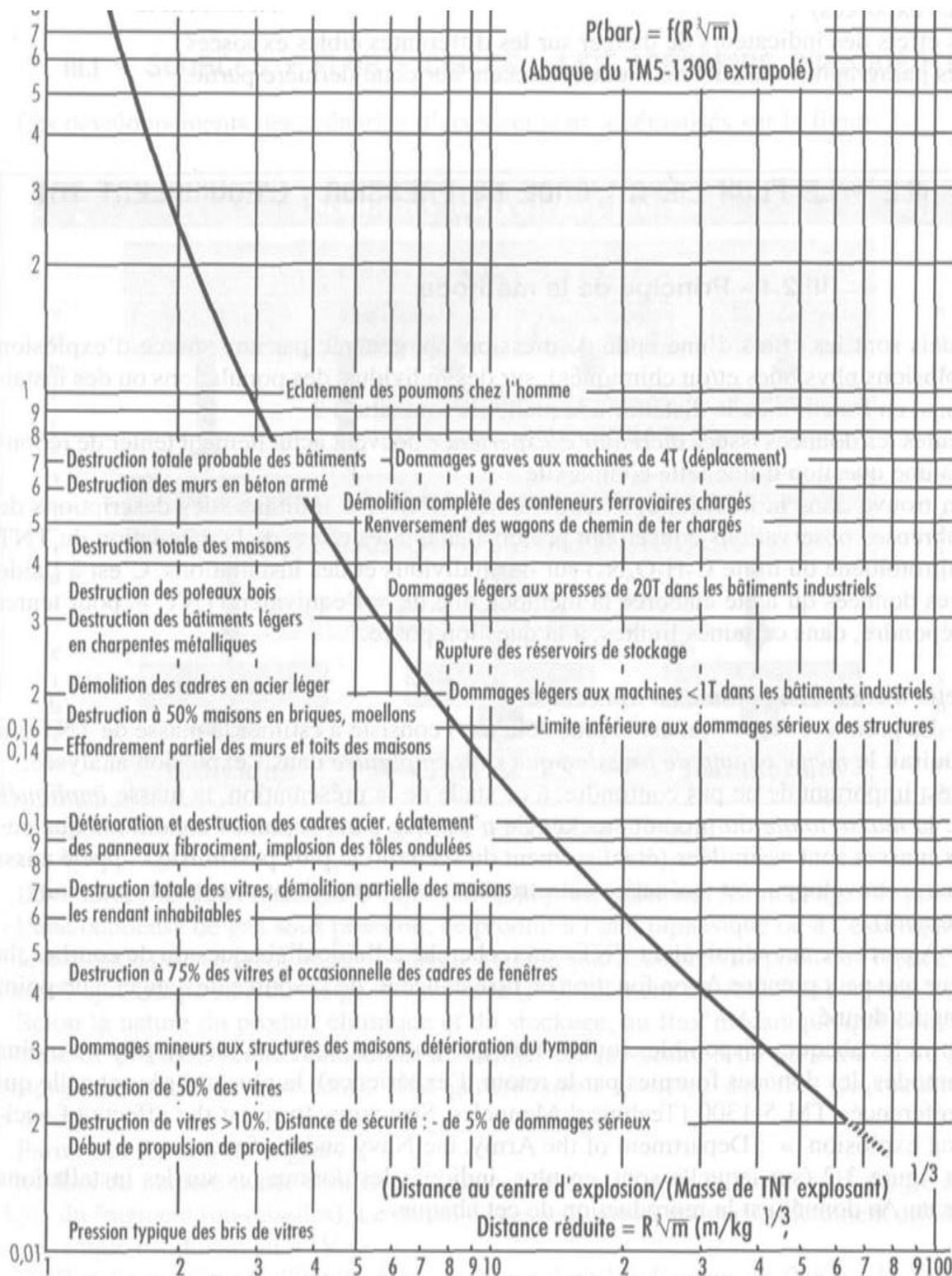
- Effondrement partiel des murs est infrastructure

Pour 170 mbar :

- Limite inferieur aux dommages sérieux des structures
- Destruction de 50 % des infrastructures

Pour 200 mbar :

- Dommages légers aux machines
- Démolition des cadres en acier léger
- Rupture du réservoir de stockage



Abaque TMS- 1300

Figure V.4 : Abaque TM5-1300

V.7.6 Effets missile :

Vitesse d'éjection de fragment ou missile en cas d'éclatement d'un BAC :

Il faut souligner que l'approche proposée est purement énergétique et ne parle pas en termes d'impulsion. Or, c'est l'impulsion en fonction du temps qui caractérise le mouvement du projectile, en l'occurrence du toit d'un réservoir par exemple. La pression monte dans le réservoir, le toit décolle, la pression monte encore puis retombe. Le toit qui reçoit une impulsion d'abord forte en reçoit ensuite de moins en moins. Il est freiné par l'air et soumis à la gravité.

Il est clair que la démarche qui consisterait à calculer le mouvement à partir de l'impulsion, est très difficile à mettre en œuvre dans une étude de danger surtout parce qu'il n'est pas possible de calculer finement l'explosion interne.

- L'énergie disponible pour l'effet missile s'exprime de façon générale par :

$$E_{MIS} = F \frac{\Delta P \times V}{K}$$

Avec : ΔP : pression de rupture

V : volume du réservoir

F : facteur de distribution d'énergie de fragmentation

$$K = (\gamma - 1) (1 + \epsilon_{fr})^{(3\gamma - 3)}$$

$$K = (1,314 - 1) (1+0)^{(1,314 \cdot 3 - 3)}$$

$$K = 0,314$$

Pour les bacs moyenne pression selon "CODRES" La rupture s'effectue pour $\Delta P = 8\,400$ Pa.

$$E_{MIS} = 0,6 \times \frac{8400 \times 22462}{0,314}$$

$$E_{MIS} = 3,605 \times 10^8 \quad (j)$$

- Cette énergie est entièrement convertie en énergie cinétique ; on peut écrire :

$$E_{MIS} = \frac{MMIS}{2} \times V_{MIS}^2$$

Caractéristique du missile :

Cas d'un toit de bac atmosphérique ; La surface du toit se calcule par les formules ci-après :
toit en forme de calotte hémisphérique

$$St = \pi (f + 0,25 \times D_{EQU}^2)$$

avec f , la flèche du toit (m)

$$St = 3,14 (3^2 + 0,25 \times 43,2^2)$$

$$St = 1.493 \times 10^3 \quad (\text{m}^2)$$

La masse du missile se calcule comme suit :

- Masse du toit :

$$M_{\text{MIS}} = St \times E_{\text{P1}} \times \rho_{\text{AC}}$$

Avec : E_{P1} : l'épaisseur du toit 0.008 (m)

ρ_{AC} : la masse spécifique de l'acier du toit 7800 (kg/m³)

$$M_{\text{MIS}} = 1.493 \times 10^3 \times 8 \times 10^{-3} \times 7800$$

$$M_{\text{MIS}} = 9.32 \times 10^4 \quad (\text{kg})$$

- La vitesse initiale ou vitesse d'éjection s'exprime :

$$V_{\text{MIS}} = (2E_{\text{MIS}} / M_{\text{MIS}})^{0.5}$$

$$V_{\text{MIS}} = (2 \times 3.605 \times 10^8 / 9.32 \times 10^4)^{0.5}$$

$$V_{\text{MIS}} = 87.95 \quad (\text{m/s})$$

Calcul de la trajectoire :

L'étude de la trajectoire comprend deux phases : le parcours jusqu'au point d'inflexion (partie ascensionnelle), et la chute depuis l'apogée de la trajectoire.

Il s'agit du mouvement d'un corps solide lancé sous un certain angle dans un champ de pesanteur uniforme et dans un milieu offrant une résistance.

Une fois que le fragment de toit a acquis sa vitesse d'éjection initiale V_{MIS} , les calculs balistiques prennent en compte les forces de gravité et les forces de dynamique des fluides que sont la traînée et la portance.

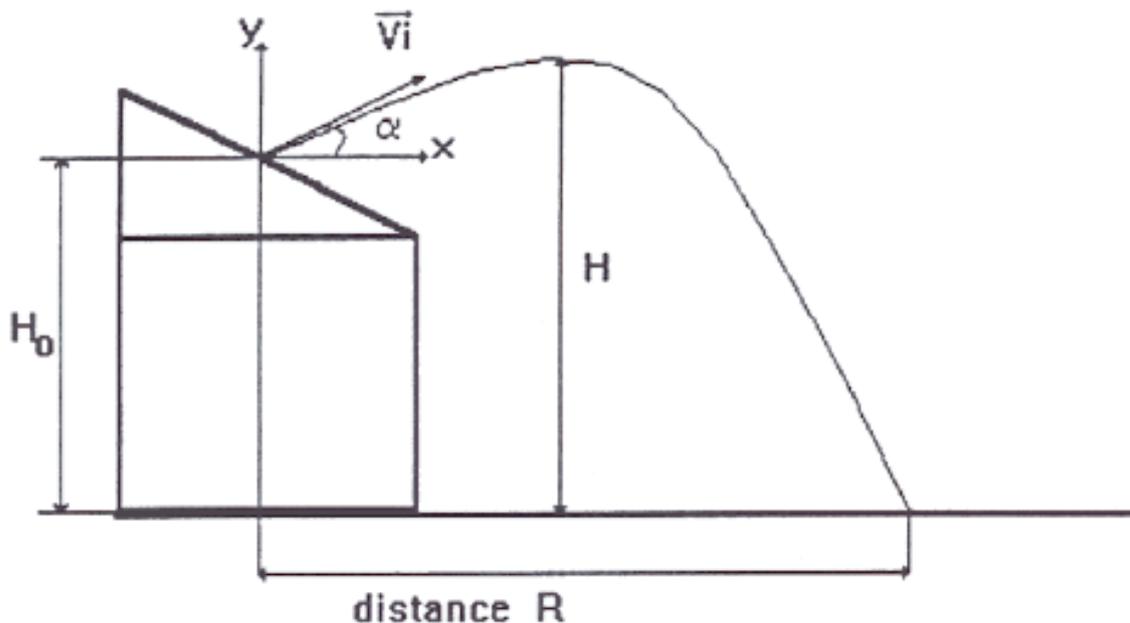


Figure V.5 : trajectoire du fragment

Le coefficient de traînée C_D est quantifié en utilisant la relation de CLANCEY.

Le coefficient de portance C_L est développé en fonction de l'angle d'attaque du mobile.

Les équations du mouvement sont développées pour les composantes de l'accélération dans les directions verticales et horizontales.

$$\ddot{Y} = -g - \frac{SMIS C_D \rho_{air} \left(\dot{X}^2 + \dot{Y}^2 \right) \sin \alpha}{2 MMIS} + \frac{SMIS C_L \rho_{air} \left(\dot{X}^2 + \dot{Y}^2 \right) \cos \alpha}{2 MMIS}$$

$$\ddot{X} = - \frac{SMIS C_D \rho_{air} \left(\dot{X}^2 + \dot{Y}^2 \right) \cos \alpha}{2 MMIS} + \frac{SMIS C_L \rho_{air} \left(\dot{X}^2 + \dot{Y}^2 \right) \sin \alpha}{2 MMIS}$$

Angle de tir :

$70^\circ \leq \alpha \leq 80^\circ$ pour un réservoir atmosphérique pour $t = 0$

$$\dot{X}' = VMIS \cos 75^\circ$$

$$\dot{Y}' = VMIS \sin 75^\circ$$

x qui caractérise la direction horizontale pour laquelle la composante de la vitesse est U (m/s)

y qui caractérise la direction verticale pour laquelle la composante de la vitesse est V (m/s)

Nous utilisons la relation de CLANCEY :

$$C_{DG} = \frac{K \cdot a}{MMIS^{1/3}}$$

Avec K , une constante empirique qui vaut : $0,0014 \text{ (m}^{-1/3})$ pour un missile subsonique

a : le coefficient de traînée 1.9

Equations simplifiées :

Calcul de la distance correspondant à l'impact au sol du missile réservoir suite à

l'éclatement :

➤ Le paramètre de traînée divisé par l'accélération de la pesanteur vaut :

$$C_{DG} = C_D / g = 1,4271 \times a \times 10^{-4} / MMIS^{1/3}$$

si $VMIS$ est subsonique

$$C_{DG} = 1,4271 \times 1.9 \times 10^{-4} / (9.32 \times 10^4)^{1/3}$$

$$C_{DG} = 5.98 \times 10^{-6}$$

➤ Le temps t_1 pour monter à l'apogée se calcule par :

$$t_1 = 0,102 \tan^{-1} (C_{DG}^{0.5} \times V_0) / C_{DG}^{0.5}$$

Avec : $V_0 = VMIS \sin(\alpha)$

$$t_1 = 0,102 \tan^{-1} [(5.98 \times 10^{-6})^{0.5} \times 87.95 \times \sin 75] / (5.98 \times 10^{-6})^{0.5}$$

$$t_1 = 8.54 \quad (\text{s})$$

Notons que \tan^{-1} est exprimé en radians

➤ La hauteur maximale de la trajectoire Z1 :

$$Z_1 = 0,051 \ln (1 + C_{DG} V_o^2) / C_{DG} + H_{EQU}$$

$$Z_1 = 0,051 \ln [1 + 5.98 \times 10^{-6} \cdot (87.95 \sin 75)^2] / (5.98 \times 10^{-6}) + 15.325$$

$$Z_1 = 375.56 \quad (\text{m})$$

➤ La composante verticale de la vitesse d'impact au sol se calcule par :

$$V_2 = (1 - \exp(-19,62 C_{DG} Z_1) / C_{DG})^{0.5}$$

$$V_2 = [1 - \exp(-19,62 \times 5.98 \times 10^{-6} \times 375.56) / (5.98 \times 10^{-6})]^{0.5}$$

$$V_2 = 84.9 \quad (\text{m/s})$$

➤ Le temps pour arriver au point d'impact au sol s'écrit :

$$t_2 = t_1 + (0.051 / C_{DG}^{0.5}) \ln [(1 + V_2 C_{DG}^{0.5}) / (1 - V_2 C_{DG}^{0.5})]$$

$$t_2 = 8.54 + [0.051 / (5.98 \times 10^{-6})^{0.5}] \ln [(1 + 84.9 \times (5.98 \times 10^{-6})^{0.5}) / (1 - 84.9 \times (1.09 \times 10^{-3})^{0.5})]$$

$$t_2 = 17.33 \quad (\text{s})$$

➤ La vitesse d'impact au sol s'exprime par :

$$V_{IMP2} = [U_0^2 / (1 + 9.81 U_0 t_2 C_{DG})^2 + V_2^2]^{0.5}$$

$$\text{Avec : } U_0 = V_{MIS} \cos(\alpha)$$

$$V_{IMP2} = [(87.95 \times \cos(75))^2 / (1 + 9.81 \times 87.95 \cos(75) \times 17.33 \times 5.98 \times 10^{-6})^2 + 84.9^2]^{0.5}$$

$$V_{IMP2} = 87.76 \quad (\text{m/s})$$

➤ La distance maximale d'éjection devient finalement :

$$R_{MIS} = 0,102 \ln (1 + 9.81 U_0 t_2 C_{DG}) / C_{DG}$$

$$R_{MIS} = 0,102 \ln (1 + 9.81 \times 87.95 \cos(75) \times 17.33 \times (5.98 \times 10^{-6})) / (5.98 \times 10^{-6})$$

$$R_{MIS} = \mathbf{390.18} \quad (\text{m})$$

Pour les différentes pression de rupture ΔP on a:

	Pression de rupture ΔP (Pa)		
	bac sans pression	bac basse pression	bac moyenne pression
	$\Delta P=750$	$\Delta P=3750$	$\Delta P=8400$
E_{MIS} (j)	3.22×10^7	1.61×10^8	3.605×10^8
M_{MIS} (kg)	9.32×10^4	9.32×10^4	9.32×10^4
V_{MIS} (m/s)	26.29	58.78	87.95
C_{DG}	5.98×10^{-6}	5.98×10^{-6}	5.98×10^{-6}
t₁ (s)	2.59	5.75	8.54
Z₁ (m)	48.14	178.18	375.56
V₂ (m/s)	30.68	58.81	84.9
t₂ (s)	5.73	11.79	17.33
V_{IMP2} (m/s)	31.42	60.73	87.76
R_{MIS} (m)	38.94	178.49	390.18

Tableau V.7 : Tableaux de la distance parcourue par le missile en fonction de ΔP

V.7.7 Calcule des besoins en eau et émulseur en cas d'un feu de bac :

Eau de refroidissement :

Pour le refroidissement des réservoirs, il est prévu d'appliquer:

15 litres par minute et par mètre de circonférence sur le réservoir supposé en feu

Eau nécessaire à la préparation de la mousse :

Pour l'épandage de la mousse, il est prévu d'appliquer:

- Une couche de mousse de 0.20 m d'épaisseur en dix (10) minutes du réservoir supposé en feu
- A titre indicatif, le débit d'eau en m³/h à prévoir pour la production de mousse sur la surface du toit sera égale à: $Q = 0,20 (m) \times S (m^2)$.

Avec un taux de foisonnement (F) = 6

Reserve d'eau:

Les réserves d'eau doivent assurer le débit réglementaire (autonomie) pendant au moins six (06) heures d'après la réglementation concernant les dépôts d'hydrocarbures, article 602.1 de l'arrête de 1975.

Calcul du débit d'eau en m³/h nécessaire pour le refroidissement du bac en feu :

Q : Débit d'eau de refroidissement du bac en feu.

$$Q_1 = q_1 \cdot (\pi \cdot D)$$

avec : $q_1 = 15 \text{ litres /minute/mètres}$

$$Q_1 = 15 \times 3,14 \times 43,2 \times 60 = 122083,2 \text{ (l/h)}$$

$$Q_1 = 122,08 \text{ (m}^3\text{/h)}$$

Calcul du débit d'eau en m³/h nécessaire pour la production de la mousse:**Calcul du volume de la mousse :**

$$V_M = 0,20 \times S$$

D'où : 0,20 m : épaisseur de mousse.

S : Surface de toi

$$V_M = 0,2 \times \pi d^2 / 4 = 0,2 \times 3,14 \times 43,2^2 / 4$$

$$V_M = 293,15 \text{ m}^3$$

Volume de la solution moussante :

$$F = V_m / VSM$$

F : foisonnement = 6

$$VSM = V_m / F = 293,15 / 6$$

$$VSM = 48,85 \text{ m}^3$$

on utilise une concentration de 3% d'émulseur pour la production de la mousse avec un taux de foisonnement égal à 6 (Selon la réglementation).

VSM = Volume d'eau + Volume d'émulseur

$$\text{Volume d'eau} = 48,85 \times 97/100 = 47,38 \text{ m}^3$$

$$\text{Volume d'émulseur} = 48,85 \times 3 / 100 = 1,46 \text{ m}^3$$

Donc le débit d'eau en m³/h nécessaire pour la production de mousse

$$Q_2 = V / t = 47,38 \times 60 / 10$$

$$Q_2 = 248,28 \text{ (m}^3\text{/h)}$$

Calcul du débit total d'eau

$$Q_T = Q_1 + Q_2$$

$$Q_T = 122,08 + 248,28$$

$$Q_T = 370,36 \text{ (m}^3\text{/h)}$$

Réserve d'eau réglementaire Pour le bac T001 supposé en Feu.

Selon la réglementation concernant les dépôts des Hydrocarbures liquides de catégorie

B, C, D, article 602.1, la réserve d'eau doit assurer une autonomie d'au moins six heures donc:

La réserve d'eau sera égale à :

$$R = Q_T \times 6h = 370,36 \times 6$$

$$R = 2222,16 \text{ m}^3$$

V.8. Interprétation des résultats :

D'après l'analyse des tableaux et des résultats de calculs précédents, de nombreux effets résultent de l'EXPLOSION du bac a toit fixe :

- Effet de surpression : le volume de liquide contenue dans le bac influe sur la distance des effet de surpression ainsi que le taux de remplissage car plus ce dernier est élevé plus les distances des effets de surpression sont importante ; toute personne à une distance de 47.64 m ; 45.65 m ; 40.73 m ; 34.35 m pour un taux de remplissage de 80% ;70% ;50% ;30% respectivement est exposé à un effet létal significatif, correspondant à la zone des dangers très graves pour la vie humaine
- Effet missile : plus la pression de rupture est importante plus l'énergie du missile est élevé et plus la distance parcourus par le missile est assez importante ce que nécessite une distance de sécurité supérieure a 390.18 m en cas de décollage du toit du bac après l'explosion.

Conclusion générale

Durant cette étude ; l'objectif principale s'articule autour de l'analyse des risques liés au stockage atmosphérique de condensat au niveau de l'usine MPP3.

L'application de la méthode HAZOP nous a permis d'identifier les scénarios d'accident majeurs et les principales causes ainsi que leurs conséquences.

Les résultats de la méthode de l'équivalent TNT sur le bac atmosphérique nous a été utile pour la détermination des distances des effets de surpression ; mais sans prendre en compte les différents obstacles. Pour cela nous pouvons proposer comme perspective d'appliquer une autre méthode comme la méthode multi-énergie pour compléter ce manque.

Afin de quantifier l'effet missile, nous avons appliqué une méthode de calcul inspirée du guide bleu (Guide méthodologique étude de dangers) , les résultats sont présentés sur le tableau V.7 ces effets sont fonction des différentes pression de rupture (ΔP) .

Pour minimiser les dégâts de l'explosion, le bac est équipé d'un système de refroidissement fixe est d'une installation a mousse fixe.

Le contrôle de la conformité de ces deux systèmes par rapport a la réglementation s'est fait par un calcul concernant les réserves d'eau nécessaire au refroidissement et pour la préparation de la mousse.

D'après les résultats de calcul nous pouvons conclure que la réserve en eau est conforme a la réglementation.

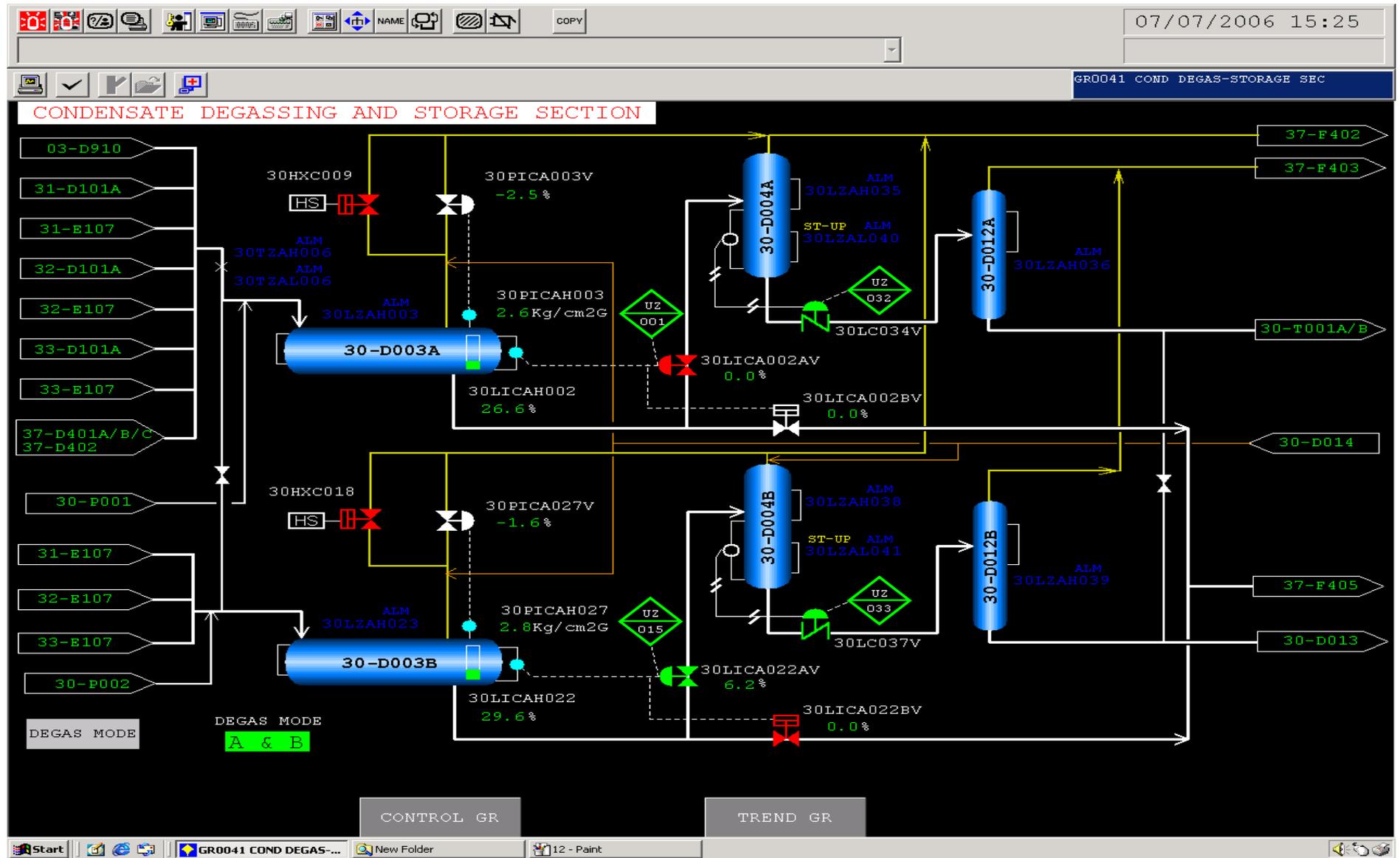
Et finalement, nous pouvons dire que la prévention des risques ne se limite pas au port des équipements de protection, mais elle nécessite d'abord la prise de conscience d'un risque et la recherche des meilleures solutions afin de les réduire et de limiter les conséquences des accidents par la prévention, la protection et l'intervention qui sont les trois principes de sécurité aux grand pole hydrocarbures.

Bibliographie :

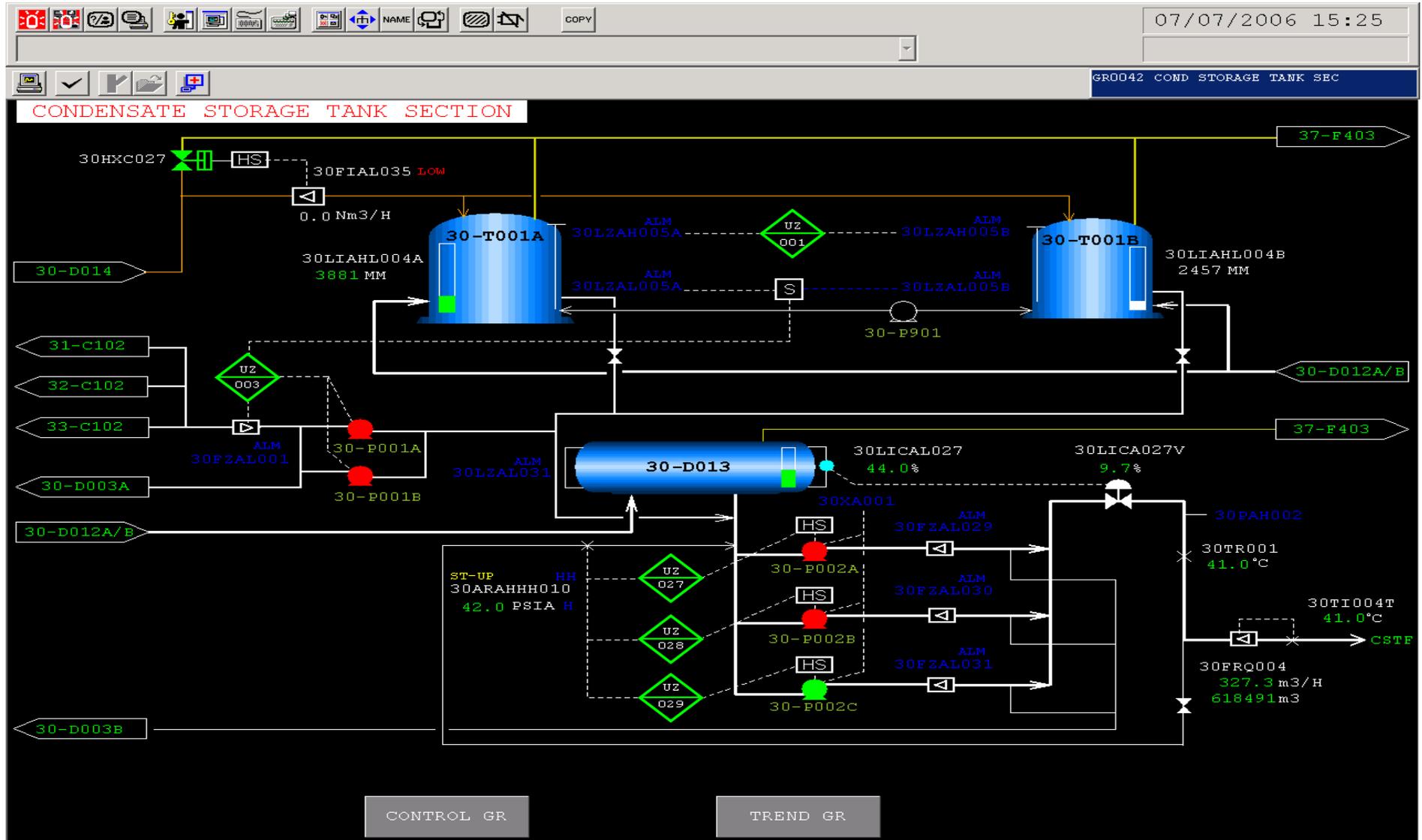
- [1] 2005 ENSPM formation industrie- IFP training D1-3 A.
- [2] 2005 ENSPM formation industrie- IFP training J5-1.
- [3] GTDLI - Modélisation des effets de surpression dus à une explosion de bac atmosphérique Mai 2006 version 01.
- [4] UFIP Guide bleu Guide méthodologique étude de dangers juillet 02.
- [5] Rapport DNV Energy études des unités industrielle SONATRACH DP_HASSI-R'MEL_NORD_MODULE 3.
- [6] Etude de danger MPP3 / SBN N° Rapport EP002718 Décembre 2010.
- [7] Omega 15 Les éclatements de capacités, phénoménologie et modélisation des effets - Ω 15 INERIS-DRA-12-125630-04945B.
- [8] Guide de lecture des textes relatifs aux installations de stockage et de chargement /déchargement de liquides inflammables Version octobre 2013.
- [9] Mémoire de fin d'étude DEUA Risques incendie-explosion zone industrielle Skikda 2007.
- [10] Manuel opératoire du module III.
- [11] 2005 ENSPM formation industrie- IFP training D1-2 A.

ANNEXES

ANNEXE I

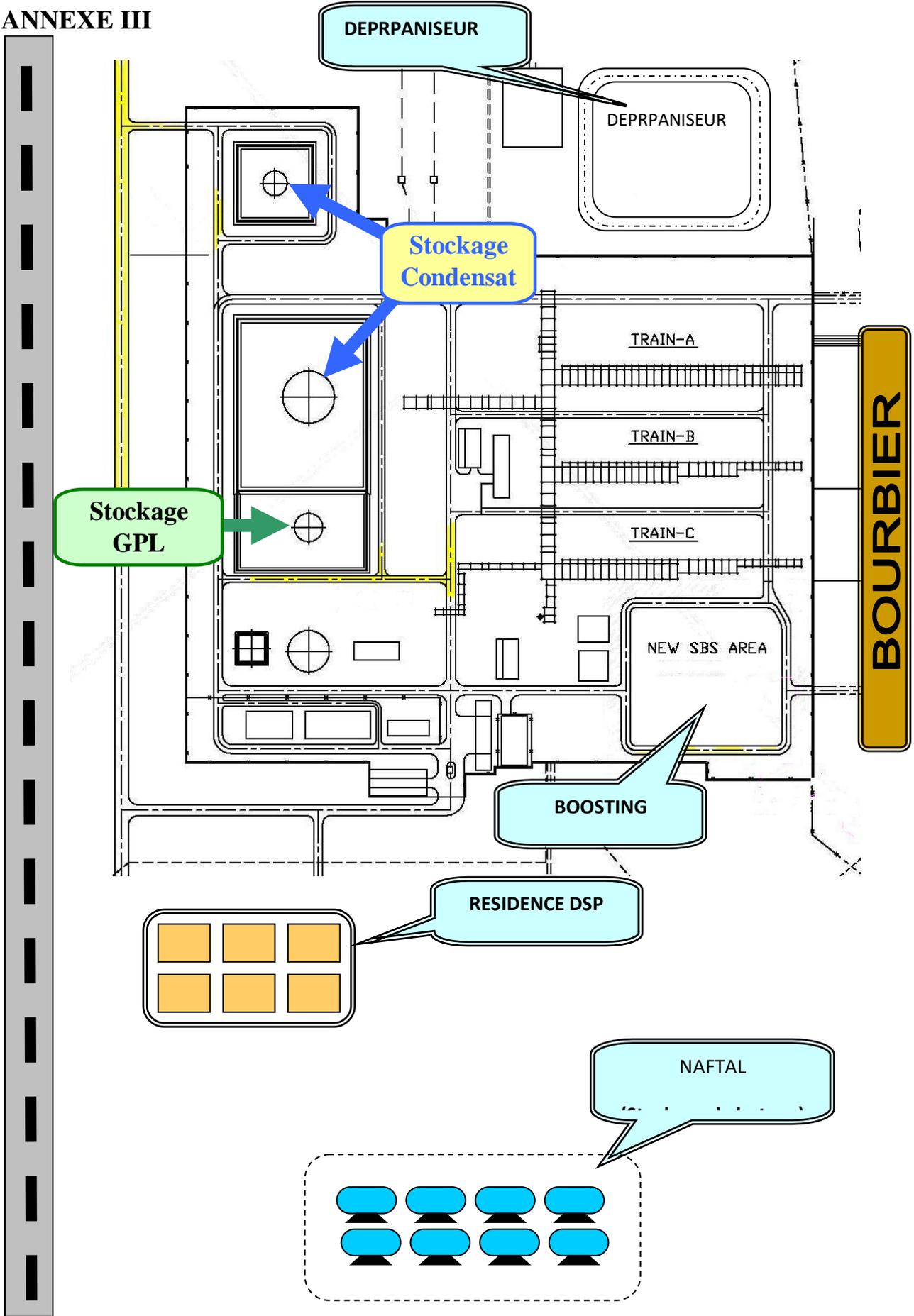


ANNEXE II



Ready

ANNEXE III



ANNEXE IV

Prévention et Intervention :

Moyens de protection fixe du bac :

- Hydrants à doubles sorties
- Dévidoirs fixes
- Canons fixes à mousse
- Canons fixes à eau
- Bacs d'eau incendie
- Pomperie réseau incendie
- Couronne de refroidissement / Sprinklage
- Boîtes à mousse
- Chambre a mousse
- Cuvette de rétention



Moyens mobiles nécessaire pour la prévention :

- Rideaux d'eau, déluge, lances monitors mixte (eau /mousse) fixes et tractables
- Réserve d'émulseurs tractables.
- Intervention des moyens mobiles camions VMR 115 et VMR 150 et camion ravitailleur

Intervention en cas d'explosion :

- Eviter tout source d'ignition
- Evacuer le personnel non opérationnel vers le point de rassemblement.
- Appliquer un tapis de mousse à bas foisonnement
- Eliminer toute source d'ignition.
- Mettre en service les rideaux d'eau(contre le sens de la direction du panache de gaz).
- Refroidir les bacs alentours pour éviter des effets domino

En cas d'ignition, s'occuper des personnes blessées/bloquées et limiter au maximum les nuages de gaz, les fuites et les feux provoqués par les surpressions.

Intervention en cas d'un feu de cuvette :

- Attaquer la robe du bac avec lance à mousse tractable afin de distancer la flamme du bac
- Appliquer tapis de mousse par les déversoirs.
- Refroidir la robe du Bac par la projection de la mousse
- Ne pas mettre la couronne de refroidissement du bac sinistré pour préserver le tapis de mousse
- Refroidir les équipements environnants.
- Mettre en service les couronnes de refroidissement de la sphère et l'autre bac.
- Refroidir les bacs alentours pour éviter des effets domino

En cas de rupture des rétentions, protéger les équipes creusant les tranchées et refroidir les équipements à proximité de la cuvette

Intervention opérationnelle

1. Arrêter le train par ESD
2. Isoler la capacité sinistrée en amont et avale
3. Arrêter les puits
4. Isoler le fuel Gaz
5. Eliminer toute source d'ignition (compresseurs, four, rebouilleurs, ...)
6. Injecter de l'azote dans les fours

7. Vidanger et décompresser les capacités et colonnes dans la zone d'effet vers bourbier et vers torche
8. Vidanger les serpentins des fours vers bourbier
9. Couper l'électricité dans les zones arrosées (électrocution !)
10. Arrêter le trafic des routes (RP 2).

Code d'alerte par SIRENE :

En cas d'événement grave affectant la sécurité des installations de la région, nous appelons le code d'alerte qui sera donné par sirène comme suit :

- 03 coups longs : sinistres sur unité
- 02 coups longs : sinistres sur puits
- 01 coup long : autre
- 01 coup court : fin d'alerte

ANNEXES

ANNEXE V

