

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



CENTRE UNIVERSITAIRE D'EL-OUED

INSTITUT DES SCIENCES ET TECHNOLOGIE



Mémoire de fin d'étude
Présenté pour l'obtention du diplôme de

LICENCE ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et Technologie
Filière : Hydrocarbure et chimie
Spécialité : Génie des procédés chimiques
Option : Raffinage

Thème

**Etude descriptive et comparative de
différents modes de stockage des
hydrocarbures.**

Encadré par :

Beni nassima

Réalisé par :

- Chikha mabrouke Badr Eddine
- Djaafri abelhalim
- Khazane chamss eddine

2011-2012

SOMMAIRE

Introduction	1
--------------------	---

CHAPITRE I : Les différentes Sources d' énergie

I –Le gaz naturel	3
I-1-1.Le gaz naturel en Algérie	3
I-1-2.Richesse Algérienne en gaz naturel	3
I-1-3-Caractéristiques du gaz naturel	4
I-2–Gaz de pétrole liquéfié	
I-2-1. Définition	5
I-2-2. Sources des GPL	6
I-2-3. Propriétés des GPL	6
I-2- 4. Caractéristiques générales des GPL	7
I-2-5. Utilisation du GPL.....	8
I-3– Le pétrole	
I-3-1- Introduction	10
I-3-2-Compositions du pétrole brut	10
I-3-3- Le raffinage du pétrole	
I-3-3-1. Introduction	12
I-3-3-2. Les étapes du raffinage	12
I-4.Caractéristiques principales des produits Pétroliers	14
I-4-1- Les Gaz	14
I-4-2 - Les essences	14
I-4-3 - Kérosène ou les carburateurs	15
I-4-4 - Gas-oil (carburant Diesel)	16
I-4-5- Fuel-oil	17
I-5. Les propriétés physico-chimiques des produits pétroliers	17

CHAPITRE-II : Les Modes de stockage

II-1.Introduction.....	19
II-2.Role du stockage.....	19
II-3.Volatilite' des produits stocke's	19
II-4.Modes de stockage.....	20
II-4-1.Liquides volatils qui ne bouillent pas à température ambiante	20
II-4-2.Liquides volatils qui bouillent à des températures inférieures ou égales à la température ambiante	21
II-4-2-1.Stockages sous pleine pression.....	22
II-4-2-2.Stockages semi-réfrigérés	22
II-4-2.3-Stockages réfrigérés et cryogéniques	22
II-5.Stockage souterrain	
II-5-1. Les stockages en gisements épuisés.....	24
II-5-2.Les stockages en nappes aquifères	24
II-5-3.Les stockages en cavités creusées dans le sel	24
II-5-4.Les stockages en mines abandonnées.....	25
II-5-5.Les stockages en cavités minées	25
II-6.Comparatif des diffe'rents types de stockage.....	26

CHAPITRE-III Les différents types de réservoir pour le stockage des hydrocarbures

III-1.Configuration des réservoirs de stockage	27
III-2.Principaux éléments d'un bac de stockage.....	27
III-3.Classification des réservoirs	28
III-3-1.Réservoir atmosphériques.....	28
III-3-1-1.Réservoir à toit fixe	28
III-3-1-2.Réservoir à toit flottant	30
III-3-1-3.Qualités des aciers utilisés	32
III-3-2.Réservoir sous faible et forte pression.....	32
III-3-2-1.Réservoirs cylindriques verticaux	32
III-3-2-2- Sphéroïdes	34

III-3-2-3.Ballons cylindriques horizontaux	35
III-3-2-4.Sphères	36
III-4.Les accessoire des reservoirs de stockage.....	36
III-4-1.Accessoires d'accès	37
III-4-2.Accessoires de visite et de nettoyage	37
III-4-3.Accessoires de mesurage des produits.....	37
III-4-4.Accessoires de réchauffage.....	38
III-4-5.Accessoires de mélange.....	38
III-5.Pertes des produits durant le stockage.....	38

CHAPITRE-IV : sécurité de stockage des hydrocarbures

VI-1.Différentsaccidents liés au stockage des hydrocarbures.....	41
IV-2.Les équipements anti-incendies	42
IV-3.Accessoires de securite.....	44
IV-3-1. Pression ou dépressions excessives en exploitation normale.....	44
IV-3-2.Protection contre les surpressions accidentelles	44
IV-3-3. Protection contre les incendies.....	45
Conclusion	46
Bibliographie.....	48



Dédicace

Je dédie ce modeste mémoire :

A ma très chère mère « Khadidja » et mon très

Cher père « Tahere » qui m'ont toujours soutenu.

A ma grand mère « Djabaria »

*A mes très chères frères « Hassane, Issa, Boukhari, Hamza
Farhate, Kadi, ».*

*A mes sœurs « Zahia, Sana, Hanane, Asma, Karima, Bkika, Nacira
Warda, Khawla, Nadjou ».*

A Mes oncles et leurs maries et leurs enfants

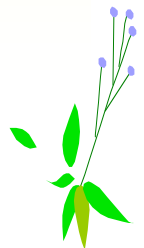
A toute la famille grand et petit qu'il soit

*A tous mes amis « Monire, Elhachmi, Chmissa, Nabile, Halime,
AbdeElhadi, Azou, Omrane, Abdelhamide, Abedelatif, Abedkamele,
Amare, Hamza, midou, Nassro..... ».*

Et toute la promo Rafinage.

Badreddina chikha mabrouke

Email : Badrichikha39@gmail.com



Liste de Figure

Figure	Titre de Figure	Page
figure (I-1)	Production de gaz naturel en algérie.	3
Figure (II-1)	Les trois modes de stockage pour des liquides avec point normal d'ébullition	21
Figure(III-1)	Bac à toit fixe	29
Figure (III-2)	Exemple de bac à toit flottant, type ponton annulaire	31
Figure (III-3)	Réservoir cylindrique vertical avec fond plat ancré	33
Figure (III-4)	Réservoir cylindrique vertical avec fond spérique non ancré	34
Figure (III-5)	Sphéroïde	34
Figure (III-6)	Ballons cylindriques horizontaux	35
Figure (III-7)	Sphère sur poteaux	36
figure (III-8)	Sas de priser d'échantillons	37
Figure (III-9)	perte de produit dans les réservoirs à toi fixe	39
Figure (III-10)	sas de prise d'échantillons.	40

Figure (IV-1)	Feu de nappe	41
Figure (IV-2)	Phénomène boil-over	41
Figure (IV-3)	Rupture d'un bac stockage lors d'un boil-over	42
Figure (IV-4)	Déluge	43
Figure (IV-5)	Injection de mousse	43

Liste de Tableaux

Tableau	Titre de Tableau	Page
Tableau (II-1)	Point normal d'ébullition et tension de vapeur de Quelques hydrocarbures purs	20
Tableau (II-2)	Température q, pression absolue p et masse volumique r de quelques produits pour les trois modes de stockagepour les trois modes de stockage	23
Tableau (II-3)	Modes de stockage et types de réservoirs e fonction du produit stocké	23

INTRODUCTION GENERALE

L'énergie occupe une place prépondérante dans la vie de l'être humain. Les sciences et les progrès technique ont permis à l'homme de découvrir de nouvelles ressources énergétiques à savoir tous les produits à vocation énergétique dont nous citons le pétrole et le gaz naturel ; seuls capables de répondre à l'accroissement des besoins en énergies. [1]

Les différentes unités de traitement du pétrole brut et du gaz naturel ne produisent en général pas directement des produits commerciaux mais des composants (produit semi-fini) qui doivent être ensuite mélangés de manière à respecter les spécifications de ces produits. Bien que les unités marchent en continu, il est nécessaire de disposer de très importantes capacités de stockage tant pour les pétroles brut et les produits finis que pour les produits intermédiaires. Ces stockages sont nécessaires aussi bien pour faire face aux arrêts éventuels d'unités que pour disposer d'une souplesse suffisante pour les fabrications. Il existe également un compromis entre l'intérêt de disposer de larges volumes de stockages et leur coût. [2]

Lorsque le pétrole brut et le gaz naturel arrivent au centre de collecte, ils subissent plusieurs traitements avant d'être envoyés dans les bacs de stockage. Après qu'on fait subir ces traitements initiaux aux bruts on obtient plusieurs produits finis différents du plus légers au plus lourds qu'on doit stocker dans différents types de réservoirs selon leurs propriétés physicochimique dans le but qu'ils soient toujours prêts pour répondre aux besoins des consommateurs. Alors comment peut-on obtenir des produits finis du pétrole brut et du gaz naturel? Et quelle est le rôle et les types de stockage qui existe? Et aussi quelle sont les différents type de réservoirs qui correspond à chaque produits pétroliers ?

Dans ce contexte notre objectif de travail est appuyé sur l'étude théorique des différents modes de stockage des produits pétroliers et gaziers ce mémoire est structuré façon à atteindre l'objectif fixé.

Après une introduction générale dans le premier chapitre nous présenterons une mise au point bibliographique sur les différentes sources d'énergie.

Le deuxième chapitre parle des différents modes de stockages des produits étudiés dans le chapitre précédent.

Après avoir ne idée sur les modes de stockage dans le troisième chapitre nous parlerons des différents types de réservoirs utilisés pour les stockages de ces produits.

Ensuite le quatrième chapitre expose les risques majeurs liés aux réservoirs ainsi les consigne de sécurité qu'il faut suivre au niveau des sites de stockages.

Enfin nous terminerons notre travail par une conclusion qui synthétisera les points essentiels que nous aurons traités.

I-1. LE GAZ NATUREL:

Pendant longtemps, le gaz naturel a été considéré comme un sous-produit du pétrole, il était brûlé à la torche sur de nombreux gisements. Il a commencé à être utilisé aux Etats-Unis, dans l'industrie d'abord, puis pour des usages domestiques en se substituant peu à peu au gaz manufacturé.

Son développement a ensuite été très rapide, grâce à l'abondance de ses réserves, à leur répartition sensiblement plus équilibrée que celle des réserves pétrolières et à son excellente qualité pour le consommateur finale.

I-1-1. Le gaz naturel en Algérie :

I-1-2. Richesse Algérienne en gaz naturel : [3]

L'Algérie possède des réserves immenses en gaz naturel à savoir le champ de Hassi R'mel, qui est le plus grand à l'échelle mondiale et celui de Ain- Salah qui est exploité en l'an 2002. L'Algérie est placée au quatrième rang, en possédant 10% environ des réserves mondiales.

Et produisant 80 milliards m³ et devient le premier exportateur dans ce secteur. Figure (I-1).

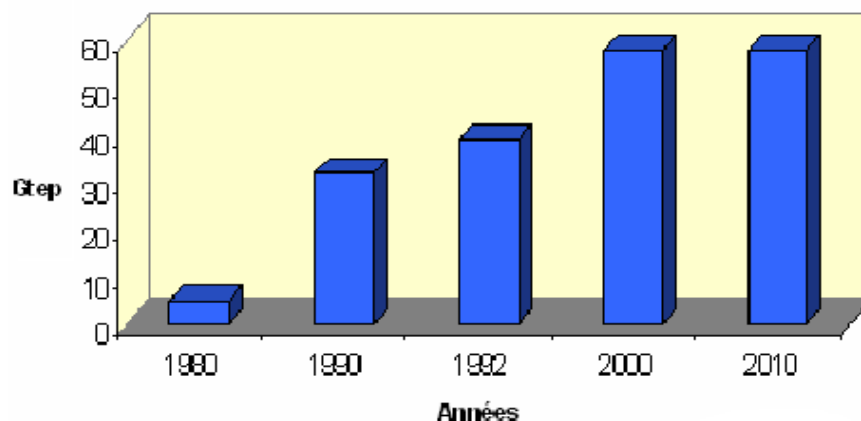


Figure (I-1) : Production de gaz naturel en algérie.

I-1-3. Caractéristiques du gaz naturel : [4]

Au stade final de son exploitation le gaz naturel a les caractéristiques suivantes :

a) la masse volumique :

C'est la masse de l'unité de volume du gaz exprimé en Kg / m³, elle est fonction de la température et de la pression, en dehors des conditions spécifiées on se réfère à des conditions dites normales ou standards :

- Condition normale : T = 0°C, P = 1atm.
- Condition standard : T = 15°C, P = 1atm.

b) Volume massique :

Représente le volume occupé par unité de masse de gaz, il est donc l'inverse de la masse volumique et s'exprime en m³ / Kg.

c) La densité :

Elle est définie pour un gaz comme étant le rapport de sa masse volumique à celle de l'air dans des conditions bien déterminées de température et de pression, comme elle peut être obtenue à partir de sa masse moléculaire que l'on peut définir à partir de sa composition chimique en utilisant la relation :

$$\text{Densité du gaz} = \text{masse moléculaire} / 28.966$$

d) Pouvoir calorifique :

C'est la quantité de chaleur dégagée par la combustion d'une unité de volume du gaz, mesurée dans les conditions de référence, le pouvoir calorifique pour le gaz naturel s'exprime en Joules / m³.

On distingue deux pouvoirs calorifiques :

❖ **Pouvoir calorifique supérieur (PCS) :**

Il correspond à la chaleur dégagée lorsque tous les produits de combustion sont ramenés à la température ambiante, l'eau formée étant à l'état liquide.

❖ **Pouvoir calorifique inférieur (PCI) :**

Il correspond à la combustion dans laquelle l'eau reste à l'état vapeur ; le PCI diffère du PCS d'une quantité de chaleur latente de vaporisation de l'eau.

$$PCI = PCS - L_v$$

e) Composition chimique :

Indique la nature des composés d'hydrocarbures et d'autres constituants du gaz, et leur importance relative dans le mélange par l'intermédiaire de leurs fraction volumique ou moléculaire.

La composition chimique d'un gaz est utilisée pour l'étude de vaporisation, et elle sert aussi à calculer certaines de ses propriétés en fonction de la pression et de la température (compressibilité, densité) et à définir les conditions de son traitement lors de son exploitation. Elle est déterminée par méthode chromatographique en phase gazeuse (CPG).

I-2. GAZ DE PÉTROLE LIQUEFIER:**I-2-1. Définition :**

Le propane(C_3) et le butane(C_4) sont appelés gaz de pétrole liquéfiés car leurs températures de vaporisation respectivement $-42\text{ }^{\circ}\text{C}$ et $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ à pression normale, permettent de les maintenir liquides à température ordinaire sous une pression modérée 14 et 5 kPa respectivement(on se souviendra qu'à l'inverse, le méthane- C_1 - et l'éthane- C_2 - ne peuvent être liquéfiés qu'à des températures très basses, c'est pourquoi le méthane et l'éthane produits en raffinerie seront utilisés sur place comme combustible inerte car ils seraient trop coûteux à transporter).

Le gaz de pétrole liquéfié est un mélange gazeux, composé essentiellement de Butane et de Propane à température ambiante et pression atmosphérique, mais il peut demeurer à l'état liquide sous des pressions relativement basses (4 -18 bars).

Ceci, présente l'intérêt de stocker une importante quantité d'énergie dans un volume réduit (1 litre de GPL liquide égal 250 litres de GPL gazeux), ce qui permet de le transporter plus facilement que pour les gaz non condensables (méthane, éthane) qui exigent des pressions très élevées, et de le commercialiser aisément, dans des bouteilles en acier. Il se gazéifie au moment de son utilisation.

La composition chimique de GPL est variable selon les normes et les utilisations dans différents pays. Il peut contenir le propylène, la butène, une faible quantité de méthane, l'éthylène, la pentane et exceptionnellement des hydrocarbures tels que le butadiène, l'acétylène et le méthyl-acétylène.

Le GPL est également utilisé comme carburant efficace pour les véhicules, et dans différents domaines.

Les particularités physico-chimiques des GPL (courbe de distillation, tension de vapeur, poids spécifique, pouvoir calorifique, rendement dans le moteur, etc....) dépendent de leurs teneurs en divers hydrocarbures.

I-2-2. Sources des GPL : [5]

Les gaz de pétrole liquéfié (GPL) sont produits principalement :

- ❖ Dans les raffineries de pétrole brut, soit au cours de la distillation du pétrole ; soit pendant le craquage thermique ou reformage catalytique des produits en vue de la production des essences ;
- ❖ Dans les unités de traitement et de séparation du gaz naturel (GN) qui a pour but de séparer et de recueillir les condensats (propane, butane, essence légère etc.....) ;
- ❖ Par récupération directe des gaz séparés du brut.

I-2-3. Propriétés des GPL : [6]

Odeur et couleur : Le GPL est incolore, soit en phase vapeur ou en phase liquide, pur il pratiquement inodore, pour des raisons de sécurité, un odorant doit être ajouté dans des limites à des fins de commercialisation, à l'état vapeur il est légèrement toxique.

Tension de vapeur : Le GPL a une tension de vapeur à 20°C égale à :

- Pour le butane 2 bars.
- Pour le propane 8 bars.

Densité : A l'état gazeux, il est plus lourd que l'air la densité de propane est 0.51 et celle du butane est de 0.58.

Température d'ébullition : températures d'ébullition à la pression atmosphérique sont de -6 °C pour le butane et - 42 pour le propane.

Pouvoir calorifique supérieur :

- PCS (ic₄) = 29460 Kcal/m³
- PCS (c₃) = 22506 Kcal/m³
- PCS (nc₄) = 29622 Kcal/m³

Dilatation : A l'état liquide, il a un haut coefficient de dilatation dont il faut tenir compte lors de son emmagasinage dans des récipients qui ne doivent jamais être remplis complètement.

Impuretés : La teneur en soufre inférieure ou égale à 0.005 % en masse.

Les GPL sont constitués principalement de propane et de butane en proportions variables selon leurs origines (gaz naturel, gaz associés), le GPL produit au niveau des différent champ doit répondre aux spécifications suivantes :

- Teneur en C_2 inférieure ou égale à 3% mol.
- Teneur en C_5 inférieure ou égale à 0.4% mol.

Explosibilité et inflammabilité : Le GPL est un gaz explosif lorsqu'il est mélange avec l'air ou l'oxygène, la limite d'inflammabilité inférieure du GPL est si basse qu'il est très dangereux, par exemple les limites d'inflammabilités du propane de 2.4 à 93.5 % vol et celle du n-butane de 1.9 à 8.4 % vol, comme le point d'éclair du GPL est très bas, il s'enflamme facilement s'il fuit, la gravité spécifique du propane est de 1.5222 et celle de n-butane est de 2.006, Comme il est plus lourd que l'air, les gaz descendent vers le bas, rampent sur le sol et pourraient former un mélange de gaz explosif.

Le GPL comporte un isolement électrique élevé, et donc la particularité d'être électrisé électrostatiquement lorsqu'il s'écoule à travers un filtre, se pulvérise ou fuit, il faut bien être conscient du danger d'inflammation suite à une décharge d'étincelle lorsque le GPL s'accumule en grande quantité.

Toxicité physiologique : L'inhalation de GPL en grande quantité provoquerait un effet légèrement narcotique, la concentration acceptable dans l'air est 1.000 ppm pour le propane, le butadiène et le pentane.

Lorsque le GPL s'enflamme dans l'air dont l'alimentation est insuffisante, le monoxyde de carbone est formé suite à une combustion incomplète, une attention attentive devra être portée à la ventilation.

La chaleur latente de GPL est comme suit :

- Propane 84.78 Kcal/kg à 15.6 °C.
- N-butane 90.01 Kcal/kg à 15.6 °C.

En cas de contact du liquide avec la peau, l'attention doit attirée sur les dangers de frigorigène.

I-2-4. Caractéristiques générales des GPL : [7]

- ❖ **Odeur :** le GPL est inodore à l'état naturel, pour des raisons de sécurité on ajoute dans des limites précises à des fins de commercialisation des odorants, ces additifs sont des composés sulfurés tels que le diéthy-mercaptan ou le diméthyl-sulfi.
- ❖ **Couleur :** le GPL est incolore que ce soit phase liquide ou vapeur.

- ❖ **Tension de vapeur** : la TVR du GPL est de 8 et 2 bars pour le propane et le butane respectivement à 20°C.
- ❖ **Densité** : aux conditions normales de T et P, les GPL sont plus lourds que l'air, la densité diminue avec l'augmentation de la température à titre d'exemple à 38°C la densité est égale à 0,534, elle est très importante pour les GPL commerciaux.
- ❖ **Dilatation** : à l'état liquide, le GPL a un haut coefficient de dilatation dont il faut tenir compte lors de leur stockage (les sphères ne doivent jamais être complètement remplies).
- ❖ **Température d'ébullition** : à la pression atmosphérique la température d'ébullition de propane est de -42°C et celle du butane -6°C.
- ❖ **Pouvoir calorifique** : c'est la propriété la plus intéressante étant donné que le GPL est traditionnellement utilisé pour des besoins domestiques.
- ❖ **Impuretés** : le plus important est le soufre, la teneur en soufre est inférieure ou égale à 0,005% en masse, ainsi que l'eau qui est extraite durant le traitement.
- ❖ **Corrosion** : le GPL est non corrosif à l'acier mais corrosif généralement à l'aluminium, au cuivre et ses alliages.
- ❖ **Propriétés lubrifiantes** : le GPL n'a aucune propriété de lubrification, ce qui doit être pris en considération lors de la conception des équipements pour GPL (pompe et compresseur).

I-2-5. Utilisation du GPL : [8]

Nos ressources en hydrocarbures sont essentiellement composées d'hydrocarbures gazeux, le gaz naturel et les GPL.

Compte tenu des profils de production prévisionnels, les GPL constituent la ressource la moins entamée. S'agissant du marché national, de grandes possibilités d'utilisation des GPL existent pour tous les usages thermiques. Cependant, hormis le butane qui a connu une très forte pénétration dans le secteur résidentiel, le propane a été très faiblement utilisé dans les autres secteurs potentiels : le transport, l'industrie, l'agriculture.

I-2-5-1. Source de chauffage:

Les appareils domestiques utilisés actuellement sont conçus pour s'adapter à l'utilisation des GPL. Une plus grande flexibilité, les aspirations de la clientèle et la recherche du rapport prix/qualité sont les facteurs principaux de l'évolution de ces appareils.

I-2-5-2. GPL dans la climatisation :

- ❖ Deux principaux facteurs sont utilisés :
- ❖ Pour s'évaporer, les GPL absorbent la chaleur de l'environnement et créent un froid.
- ❖ Un moteur fonctionnant aux GPL peut entraîner un compresseur qui comprime le gaz GPL et la détente absorbe la chaleur.

A la base de ces deux principes ont été construits :

- Les réfrigérateurs.
- Les climatiseurs.

18% des GPL sont consommés comme charge pétrochimique et 10% de la production mondiale de l'éthylène produit en pétrochimie l'est à partir du propane. La demande globale pétrochimique des GPL enregistre un taux de croissance de 10%. L'utilisation du butane est liée essentiellement à la fabrication du MTBE utilisé comme booster d'octane des essences en substitution au plomb.

I-2-5-3. GPL pour la production d'électricité:

Les rythmes attendus de la croissance de la demande mondiale d'électricité dépasseraient largement ceux des autres formes d'énergies finales. Les GPL pour la production d'électricité s'avère être une solution privilégiée par rapport aux autres combustibles (charbon, fuel,...etc.), et ce tant du point de vue économique qu'écologique.

I-2-5-4. GPL carburant:

Le GPL/C dont la composante diffère d'une région à une autre, est un carburant qui est utilisé dans de nombreux pays dans le monde, essentiellement en Amérique, en Europe et dans le sud asiatique.

La consommation de GPL comme carburant s'élevait à près de 10 MT. Un pourcentage de 7 à 8% du GPL consommé mondialement l'est sous forme de carburant. L'expérience internationale dans l'utilisation de GPL comme carburant permet d'affirmer que le GPL aujourd'hui un carburant éprouvé est largement utilisé.

L'indice d'octane élevé de GPL permet leur substitution à l'essence sans modification du moteur, de plus il confère à celui-ci un pouvoir antidétonant. Ce carburant a beaucoup d'avantages pour l'environnement, il a une capacité de se mélanger à l'air meilleure que celle de l'essence, il y a absence de plomb, ainsi qu'une diminution des résidus de CO₂ et de CO.

I-3. LE PÉTROLE:

I-3-1. Introduction :

Le pétrole brut est un liquide noir, quelques fois à reflets verdâtres et généralement plus léger que l'eau de densité varie entre $0,7 \div 0,9$. Il est plus ou moins fluide suivant son origine, et son odeur habituellement forte et caractéristique.

Le pétrole est constitué par un mélange complexe de très nombreux composés d'hydrocarbures pour la plus part, et souvent un peu des traces des composés oxygénés et azotés et un peu de soufre à l'état de combinaison organiques. On le rencontre dans les bassins sédimentaires, où il occupe les vides de roches poreuses appelées réservoirs. Les gisements de pétrole correspondent à une accumulation dans une zone où le réservoir présente des caractéristiques favorables et constitue un piège : la fuite du pétrole - moins dense que l'eau - est rendue impossible vers le haut par la présence d'une couverture imperméable (argiles, sel) et latéralement par une géométrie favorable (dôme anticlinal, biseau de sables dans des argiles).

I-3-2. Compositions du pétrole brut : [9]

Les éléments essentiels qui composent le pétrole sont, le carbone (83 à 87%) et l'hydrogène (11 à 14%) qui forment les divers groupements d'hydrocarbures.

Parmi les composants du pétrole on compte également des composés d'oxygène, de soufre et d'azote dont la teneur varie entre 1 % et 7 % en fonction de type du pétrole.

On a pu constater la présence dans les cendres du pétrole de Cl, P, Si, As et les métaux K, Na, Fe, Ni et enfin presque tous les éléments du tableau périodique de MENDELIEVE.

Les hydrocarbures contenus dans le pétrole appartiennent aux trois groupements principaux suivants :

a) Hydrocarbures paraffiniques (alcane) :

Ce sont des hydrocarbures saturés de formules brute C_nH_{2n+2} et se sont :

- ❖ Des gaz : (C_1 à C_4) : Qui peuvent être utilisés comme combustibles ménagers et industriels ou comme matière première pour la pétrochimie (pour l'obtention des alcools gras, noir de carboneetc.).
- ❖ Des liquides (C_5 à C_{16}) : Dans les conditions normales de pression et de température) : ils font partie intégrante de l'essence, kérosène et de gasoil, mais ils peuvent être utilisés comme matière première pour la pétrochimie pour l'obtention des alcools gras et des acides gras et des détergents.

- ❖ Des solides : (C_{17} et plus ; dans la température ambiante) : Ils font partie intégrante des paraffines et des cérésines.

b) Hydrocarbures naphténiques :

Ce sont des hydrocarbures cycliques saturés de formule brute C_nH_{2n} . Le pétrole à base naphténiq ue est utilisé pour l'obtention des huiles car ils possèdent un grand indice de viscosité, mais aussi ce sont des bons composants des carburéacteurs à cause de leur grand pouvoir calorifique.

Les propriétés des hydrocarbures naphténiq ues elles se trouvent comprises entre celles des paraffiniques et celles des aromatiques.

c) Hydrocarbures aromatiques :

Ce sont des hydrocarbures cycliques non saturés de formule brute C_nH_n , le premier nombre de cette famille est le benzène.

Le benzène est désiré dans les essences car il améliore son indice d'octane. Les hydrocarbures aromatiques à plus grande masse moléculaire se trouvent dans le kérosène et le gasoil et la majeure partie dans les huiles.

Plus de ces trois principaux groupements il existe dans le pétrole :

d) Les composés sulfurés :

Pratiquement tous les pétroles contiennent des composés sulfurés et leurs teneurs varient largement d'un pétrole à un autre.

Ex : Le brut de HASSI MASSAOUD contient approximativement 0,14 %, ces composés sont très corrosifs pour les appareils et les machines et ce sont des poisons pour les catalyseurs.

Ils diminuent l'indice d'octane des essences et ils forment des gomm es dans les essences, on les divise généralement en trois parties :

- Les composés sulfurés à base d'acide (H_2S : acide sulfuré, RSH mercaptans), ils peuvent se dissoudre dans l'eau et donner l'acide sulfurique H_2SO_4 (corrosif).
- Les sulfures et les polysulfures ($R-S-R'$ sulfures, $R-SS-R'$ polysulfures),
- Avec l'augmentation de température qui forment la H_2S et $R-SH$.
- Les composés sulfurés à grande masse moléculaire, se trouvent principalement dans les mazoutes et les goudrons.

e) Les composés azotés :

Ils sont indésirables dans le pétrole et les produits pétroliers, ils sont toxiques pour les catalyseurs.

f) Les composés oxygénés :

Pratiquement tous les pétroles renferment des composés oxygénés, ce sont des homologues de phénol et des acides naphthéniques $R-COOH$ qui se concentrent principalement dans les gasoils et les huiles.

Les acides naphthéniques forment un bon additif pour les huiles (qui augmente la détergence), et peuvent être aussi utilisés comme engrais ou comme aliments des poulets.

I-3-3. LE RAFFINAGE DU PÉTROLE: [10]**I-3-3-1. Introduction :**

A l'état brut, le pétrole n'est pas utilisable de manière courante même lorsqu'il a été dégazé, fié et stabilisé, doit subir, au préalable, une série d'opérations physique et chimique avant de fournir des produits divers, ayant des usages précis. Ces opérations sont réalisées par le raffinage. Celui-ci se déroule en trois grandes familles d'opérations :

- ❖ la séparation, pour obtenir les différents types de produits des plus lourds aux plus légers,
- ❖ la transformation (ou conversion), pour modifier les proportions naturelles des types de produits pour répondre à la demande des consommateurs,
- ❖ l'amélioration, pour éliminer les composants indésirables et modifier les caractéristiques de certains produits pour les rendre compatibles aux normes.

I-3-3-2. Les étapes du Raffinage :**A) La séparation :**

Se fait par distillation fractionnée. Le pétrole est injecté à la base d'une tour de 60 m de hauteur, appelée topping ou colonne de distillation atmosphérique (parce que la pression utilisée est proche de la pression atmosphérique). Là, on le chauffe à 350/400 °C. La plus grande partie s'évapore et commence à monter dans la tour. Il ne reste à la base de la tour que les produits très lourds, les résidus. À mesure que les vapeurs montent, la température diminue. Les fractions les plus lourdes de ces vapeurs vont se condenser en liquides, qu'on pourra récupérer sur des plateaux situés à différents niveaux dans la tour. Et ainsi de suite,

jusqu'en haut de la tour où la température est de 150 °C. Là, on récupère les dernières vapeurs qui ne se sont pas condensées : les gaz de pétrole. Ce principe permet de récupérer une dizaine de types de produits, des bitumes jusqu'au gaz, qu'on appelle des coupes pétrolières. Le résidu épais, soutiré au bas de la tour, subira un traitement comparable à celui des produits légers. A nouveau chauffé, il est envoyé dans « une tour sous vide » où, grâce à l'abaissement de la pression, les produits se vaporisent à une température plus faible qu'à la pression atmosphérique. Ainsi sont séparés, sans risque de décomposition (par une très haute température) ni la formation de coke, les produits à point d'ébullition plus élevée : distillat à craquer, base d'huile de graissage et fuels. Au fond de la tour de distillation fractionnée il restera à retirer les bitumes.

B) La conversion :

La distillation fractionnée permet de séparer les produits finis contenus dans un pétrole brut, mais ceux-ci ne répond pas toujours aux besoins des consommateurs. On peut, en effet, avoir besoin d'une importante quantité d'essence auto et ne disposer que d'un brut qui en contient peu : le pétrole de Bornéo renferme 50% d'essence et celui du moyen orient 15% seulement il faut par conséquent, adapter la production aux exigences de la consommation. L'équilibre entre la production des raffineries et la demande des consommateurs est maintenu grâce aux craquages catalytique, il s'agit d'un traitement à haute température 500°C, en présence d'un catalyseur (c'est-à-dire d'une substance favorisant les réaction chimique sans y participer directement), et sous pression ,qui brise (fait craquer) les molécules des hydrocarbures en molécules plus légères, ce traitement est très énergétique : plus de $\frac{3}{4}$ des produits lourds sont transformés en gaz ,essence et gazole .

C) L'amélioration :

Les produits issus de la distillation et de la conversion doivent être débarrassés de molécules corrosives ou néfastes à l'environnement, en particulier le soufre.

D'autre part, certains produits, comme les essences, ne peuvent pas être utilisés directement dans les moteurs à cause de leurs propriétés détonantes (quand votre moteur fait « boum »). Ils ont un indice d'octane trop faible. L'indice d'octane mesure la capacité antidétonante d'une essence ou d'un super. Plus il est proche de 100, mieux c'est ! Le 95 et le 98 représentent l'indice d'octane. Les moteurs modernes, avec des taux de compression très élevés, ont besoin d'essences à haut indice d'octane. La principale opération permettant d'augmenter l'indice d'octane s'appelle le reformage catalytique.

I-4. Caractéristiques principales des produits Pétroliers : [11]

I-4-1. Les Gaz :

a) Gaz de raffinerie :

Ces gaz sont obtenus à partir de divers procédés tels que la pyrolyse, le crackage thermique et catalytique, la cokéfaction, etc.. Ils sont riches en oléfines.

b) Fuel-gas:

Cette expression anglaise signifie un gaz combustible. Dans une raffinerie elle désigne le Méthane, Ethane, Hydrogène, faible quantité en H_2S et CO_2 . Ce gaz sert au chauffage des fours et des chaudières des raffineries.

I-4-2. Les essences :

1- Densité : La densité ne caractérise pas la qualité de l'essence mais, elle règle dans une certaine mesure la puissance et la consommation du moteur.

- ✓ Si la densité diminue, l'essence est légère, le flotteur descend dans le liquide et le niveau de l'essence augmente au niveau de gicleur, ce qui entraîne une augmentation de la consommation. Le mélange carburé trop riche donc, il y a des hydrocarbures qui n'ont pas brûlé, c'est-à-dire mauvaise combustion et la puissance du moteur diminue avec un encrassement des bougies.

Généralement les flotteurs sont tarés pour des densités entre 0.730 et 0.770.

2- Propriétés Antidétonantes (contre l'explosion) :

a) L'Indice d'Octane (NO) : C'est la caractéristique essentielle de l'essence utilisée dans le moteur à allumage commandé, il est la mesure des propriétés antidétonantes de l'essence. Plus il est élevé plus la qualité est meilleure. La classification des carburants consiste à comparer dans un moteur CFR mono cylindrique le comportement d'une essence à celui d'un mélange étalon de deux hydrocarbures de référence à savoir :

- ✓ n C_7H_{16} caractérisé par $NO=0$, donc il est très détonant (il est instable).
- ✓ Iso C_8H_{18} triméthyl-2-2-4-pentane avec $NO=100$, donc il est peu détonant (oxydation difficile).

On dira qu'un carburant à un $NO = X$ si dans un moteur CFR mono cylindrique, il se comporte du point de vue détonation comme un mélange étalon composé de X partie (%) volumique d'iso octane et de (100-X %) volumique de n heptane.

b) Tension de Vapeur TVR : Elle caractérise la volatilité de l'essence, donc sa teneur en hydrocarbures légers qui favorisent le démarrage en hiver du moteur (à froid), c'est pourquoi, on limite la TVR :

- ✓ Si la TVR est grande, on a formation des bouchons de vapeur dans la conduite qui va transporter l'essence vers le carburateur. Sous l'effet de la chaleur, elles vont provoquer le désamorçage de la pompe qui aspire l'essence du réservoir ce qui implique que le moteur ne sera pas alimenté en essence donc on aura l'arrêt de ce dernier.
- ✓ Si la TVR est basse on n'a pas le démarrage à froid du moteur (absence des hydrocarbures légers).
- ✓ La tension de vapeur de l'essence est de 500mmHg en été et de 800mmHg en hiver.

I-4-3. Kérosène ou les carburéacteurs :

C'est la fraction pétrolière qui vient après l'essence, sa température d'ébullition varie entre 130 et 280°C (C₁₀- C₁₄).

Carburéacteurs : Se sont les carburants pour les avions à réaction, dont les caractéristiques sont les suivantes :

1- la masse volumique: La masse volumique du carburéacteur varie de 0.700 à 0.800, mais elle doit être élevée 0.800 pour avoir le maximum d'énergie pour un volume donné du réservoir. Les aromatiques ont la plus haute densité mais ils forment un dépôt charbonneux au cours de sa combustion. Pour cela, on limite sa teneur à 25% massique (20 à 25%) dans le carburéacteur.

2- Pouvoir calorifique : Le pouvoir calorifique est la quantité de chaleur qui se dégage pendant la combustion d'une unité de masse de combustible.

Il est la caractéristique principale de carburéacteur qui doit être supérieur à 10250 Kcal/kg. Les hydrocarbures les plus désirables sont les naphthéniques qui ont leurs pouvoirs calorifiques élevés, une haute stabilité thermique et une densité élevée.

3- Point de trouble : Le point de trouble d'un carburant est la température à la quelle apparaissent les premiers cristaux quand le produit est refroidi. Il est la caractéristique importante pour le carburéacteur car les cristaux peuvent boucher les filtres à basse température (-40 à -50°C).

4- Point de congélation : Il est fixé à -40°C pour le jet fuel TRO et à -60°C pour le TR4 ce qui garanti la pompabilité du combustible aux basses températures rencontrées en haute altitude.

5- Tension de vapeur : Cette spécification n'intervient que pour le jet fuel (TR4) qui est constituer par une coupe plus large contenant plus de léger, sa composition est comprise entre $55-240^{\circ}\text{C}$, réservoir strictement à l'aviation militaire, sa tension de vapeur doit être comprise entre 140 et 210 g/cm^2 et cela pour éviter sous faible pression rencontré en haute altitude une forte vaporisation qui provoquerait des bouchons de vapeurs et le désamorçage des pompes, sans parler des éventuelles fuite par évaporation.

6- Teneur en eau : Les carburateurs doivent être débarrassés de toutes traces d'eau et d'autres matières en suspension. A basse température, l'eau se cristallise et peut boucher les filtres.

7- Teneur en soufre : Elle doit être entre 0.1 à 0.3%. Les composés sulfurés ont des propriétés qui peuvent provoquer la corrosion en présence de l'eau de combustion.

8- Point d'Eclair : Le point d'éclair caractérise d'un côté la teneur en légers et de l'autre coté le taux de danger de feux du produit. Il doit être compris entre 28 à 40°C .

9- Viscosité : Pour le kérosène ou carburateurs, la viscosité doit être de $1.25 \div 1.5$ cst à 20°C .

I-4-4. Gas-oil (carburant Diesel) :

Le carburant diesel ou le gas-oil est utilisé dans le moteur diesel rapide (plus 500tr/mm) et dans les moteurs lents (moins 500tr/mm). Leurs caractéristiques sont :

1- Densité : Elle varie entre 0.810 et 0.890. Elle conditionne seulement le pouvoir calorifique, le gas-oil commercial a une densité de 0.825 à 0.850.

2- Viscosité : Le gas-oil est injecté dans le cylindre sous forme pulvérisé avec des gouttelettes dont les dimensions dépendent de la viscosité du carburant.

Si la viscosité diminue, on a des fines gouttelettes, vaporisation facile et une bonne combustion, donc la puissance du moteur augmente.

3-Indice de cétane : C'est l'une des plus importantes spécifications du gas-oil, caractérisant le délai d'allumage, qui est défini comme suit :

C'est le laps de temps qui a lieu entre le moment de l'injection du carburant dans les cylindres et le moment d'auto inflammation. Ce laps est mesuré par 1/1000 de seconde, au cours de ce temps les hydrocarbures du carburant se décomposent et s'oxydent avec la formation des peroxydes.

Si ce délai est petit, le carburant s'auto-inflamme aussitôt après son injection dans les cylindres et brûlera avec une vitesse constante au fur et à mesure de son entrée dans la chambre de combustion, la pression augmente harmonieusement et le moteur fonctionne normalement sans cliquetis.

I-4-5. Fuel-oil :

Ils sont utilisés dans les moteurs diesel lents tels que les navires, installations de chauffage, fours, etc.

Sa caractéristique principale est la viscosité, car la combustion du fuel s'effectue par sa pulvérisation, qui est améliorée par l'injection de la vapeur d'eau ou par l'air avant sa sortie du brûleur.

Le fuel peut même être chauffé dans le réservoir à l'aide d'un serpentin avant son utilisation pour diminuer sa viscosité et augmenter sa pulvérisation. Le point d'éclair doit être inférieur à la température de chauffage, il varie entre 60÷140°C et la viscosité varie entre 5÷12 cSt à 50°C.

I-5. Les propriétés physico-chimiques des produits pétroliers :

I-5-1. Butane normal et propane :

Les premières vapeurs contiennent du propane et du butane. Dans les unités industrielles, en opérant à des pressions de plusieurs atmosphères, les gaz C₃ et C₄ sont liquéfiés et stockés sous forme liquide sous une pression de 13bars à température ambiante. Les mélanges nous permettent d'avoir du GPL (gaz de pétrole liquéfié).

I-5-2. Essences :

Le distillat du pétrole dont l'intervalle de distillation se situe entre [40-190°C] appelée essence est à sensiblement les caractéristiques de distillation du carburant pour automobile. Ce dernier est de deux types : carburant ordinaire et super carburant.

I-5-3. Gasoil :

Le gasoil, fraction 33-55 % est un liquide jaune pale, légèrement visqueux et distillant entre 190°C et 360°C en font un produit peu volatil qui était autre fois employé à la production du gaz d'éclairage par pyrogénéation, c'est de la qui vient son nom d'ailleurs. Aujourd'hui, c'est le combustible par excellence des moteurs diesel rapides.

I-5-4. Fuel-oil domestique :

C'est un gasoil un peu prolongé, c'est-à-dire dans le point final de distillation est plus élevé que celui du gasoil normal. Il est naturellement interdit de l'employer dans les camions et, afin de pouvoir déceler la fraude éventuelle, il contient un colorant rouge et des produits tracteurs faciles à analyser rapidement. Son utilisation normale est dans les tracteurs agricoles, dans les moteurs fixes et dans les engins de travaux publics.

Ces produits ont différentes propriétés physico-chimiques ce qui rend leurs stockage difficile à réaliser dans les conditions climatiques sévères, dans le chapitre suivant nous parlerons des différents modes de stockages suivants les propriétés de ces hydrocarbures.

II-1. INTRODUCTION

Le **stockage du pétrole et du gaz** consiste à immobiliser temporairement certains volumes de pétrole ou de gaz dans des différents types de réservoirs de stockage.

II-2. RÔLE DU STOCKAGE [12]

Le stockage des ressources énergétiques est non seulement nécessaire pour compenser les fluctuations d'approvisionnement dues à toutes sortes d'aléas lors de la production, du transport et du raffinage, ou les variations de la consommation, qui dépendent notamment des conditions météorologiques. Il est aussi stratégique pour assurer un minimum d'autonomie énergétique du pays consommateur.

Le stockage doit être assuré aux différentes étapes du cheminement des pétrole, depuis le puits de production jusqu'aux lieux de consommation.

Les dépôts pétroliers importants se trouvent essentiellement sur les lieux de production du pétrole brut, aux extrémités des oléoducs, dans les terminaux de chargement et de déchargement du pétrole, à proximité des raffineries. Ces stockages concernent le pétrole brut, les charges, les coupes intermédiaires et les produits finis avant expédition.

II-3.VOLATILITÉ DES PRODUITS STOCKÈ [13]

La gamme des produits industriels stockés est très étendue et les caractéristiques de ces produits sont très différentes. Ils peuvent être stables, volatils, neutres, toxiques, corrosifs, inflammables, etc.

Ils se présentent le plus souvent en combinant plusieurs de ces propriétés. Dans la plupart des cas, ils sont considérés comme des produits dangereux pour l'environnement. Leur stockage est généralement réglementé et contrôlé par l'Administration.

De toutes les propriétés qui caractérisent ces produits, il en est une qu'il est essentiel de bien cerner : il s'agit du degré de volatilité du liquide à la température de stockage, dont va dépendre la quantité de vapeur émise à la surface du liquide stocké. C'est à partir de cette propriété que l'on définit le type de réservoir à employer.

Pour conserver le liquide dans le réservoir, il faut empêcher les évaporations de se dissiper dans l'atmosphère et, pour les contenir, il est nécessaire de les emprisonner dans une enceinte adaptée. Lorsque le degré de volatilité du produit est très élevé, les émissions le sont également et il faut alors avoir recours à des enceintes non seulement étanches, mais aussi capables de résister à la pression développée par ces vapeurs captives.

La mesure de la volatilité d'un liquide est définie par sa tension de vapeur, qui est différente pour chaque liquide et dépend de la température de stockage.

L'ébullition d'un liquide intervient à une certaine température lorsque sa tension de vapeur devient égale à la pression atmosphérique (1,013 bar). Ce point caractéristique est appelé point normal d'ébullition (PNE). Tout accroissement de température au-dessus de ce point entraîne une augmentation de la tension de vapeur. Par ailleurs, la volatilité d'un liquide est d'autant plus grande que son point normal d'ébullition est bas.

Le tableau (II-1) donne, pour quelques hydrocarbures purs, les différentes valeurs du PNE et de la tension de vapeur à 20 °C.

Tableau (II-1) : Point normal d'ébullition et tension de vapeur de quelques hydrocarbures purs.

Hydrocarbure		PNE (sous une pression absolue de 1,013 bar) °C	Tension de vapeur absolue à 20 °C bar
Hexane	(C ₆ H ₁₄)	+ 68,7	0,162
Pentane	(C ₅ H ₁₂)	+ 36,1	0,559
Butane	(C ₄ H ₁₀)	– 0,5	2,113
Propane	(C ₃ H ₈)	– 42,1	8,263

II-4. MODES DE STOCKAGEE [14]

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

II-4-1. Liquides volatils qui ne bouillent pas à température ambiante :

Leur point normal d'ébullition est supérieur à la température ambiante et leur tension de vapeur absolue à l'ambiant est inférieure à 1,013 bar. A température ambiante p_a , la pression effective au-dessus du liquide est donc nulle.

Le stockage s'effectue sous pression atmosphérique ou sensiblement atmosphérique à température ambiante (stockage libre).

II-4-2. Liquides volatils qui bouillent à des températures inférieures ou égales à la température ambiante : [14]

Leur point normal d'ébullition est inférieur ou égal à la température ambiante et leur tension de vapeur absolue à l'ambiante est supérieure ou égale à 1,013 bar. A température ambiante q_a , une pression effective existe donc au-dessus du liquide.

Trois modes de stockage peuvent être envisagés :

- le **stockage sous pleine pression (pp)** à température ambiante, q_a (stockage libre) ;
- le **stockage semi-réfrigéré** sous pression p_{red} et température q_{red} réduites (stockage à température contrôlée) ;
- le **stockage réfrigéré ou cryogénique** (au PNE) sous pression atmosphérique p_{atm} et à température d'ébullition q_{eb} (stockage à température contrôlée).

Une illustration de ces trois modes de stockage est donnée par la figure (II-1) ainsi que par le tableau (II-2) pour quelques produits dont le PNE est inférieur à la température ambiante.

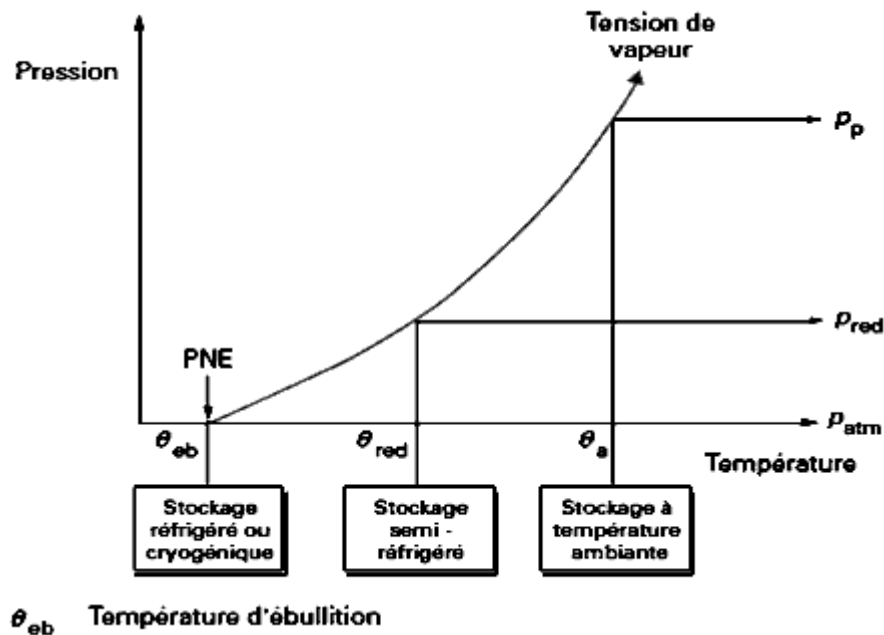


Figure (II-1) : Les trois modes de stockage pour des liquides avec point normal d'ébullition (PNE) inférieur à la température ambiante.

II-4-2-1. Stockages sous pleine pression : [15]

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

II-4-2-2. Stockages semi-réfrigérés :

Ils fonctionnent sous pression d'exploitation réduite, obtenue par abaissement de la température du produit, et comprennent une isolation thermique pour limiter l'entrée de la chaleur [16]. Leur pression est limitée à une valeur intermédiaire comprise entre la pleine pression à température ambiante et la pression atmosphérique au PNE. Il en résulte que les épaisseurs de paroi des réservoirs sont moins importantes qu'aux stockages sous pleine pression; il est ainsi possible d'accroître l'importance des capacités unitaires.

II-4-2-3. Stockages réfrigérés et cryogéniques :

Ils fonctionnent sous pression d'exploitation pratiquement nulle obtenue par abaissement de la température du produit jusqu'à son PNE [16]. Les épaisseurs de paroi sont ainsi plus faibles qu'aux stockages semi-réfrigérés, ce qui permet d'augmenter encore les capacités unitaires.

Ils sont pourvus d'un système isolant dimensionné pour maintenir le produit à basse température.

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

Par convention, on désigne par stockages réfrigérés, les réservoirs dont la température minimale est supérieure à $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ car, jusqu'à cette température, les réservoirs peuvent être réalisés avec des aciers au carbone classiques. Les réservoirs cryogéniques couvrent la gamme de températures comprise entre -60 et $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ils sont construits avec des matériaux beaucoup plus résilients tels que les aciers alliés au nickel (5 à 9 % de Ni), les aciers inoxydables et les alliages d'aluminium.

Tableau (II-2) : Température θ , pression absolue p et masse volumique ρ de quelques produits pour les trois modes de stockage pour les trois modes de stockage.

Désignation		Chlorure de vinyle	Ammoniac	Propane	Éthylène	Azote
Stockage à température ambiante sous pleine pression	$\theta = \theta_a$ (°C)	50	50	50		
	$p = p_p$ (bar)	7,81	20,31	17,01	gazeux pour $\theta > 10^\circ\text{C}$	gazeux pour $\theta > -147^\circ\text{C}$
	ρ (kg/m ³)	861	563	452		
Stockage semi-réfrigéré sous pression réduite	$\theta = \theta_{red}$ (°C)	5	5	5	-25	
	$p = p_{red}$ (bar)	2,16	5,21	5,51	22,11	gazeux pour $\theta > -147^\circ\text{C}$
	ρ (kg/m ³)	938	632	523	430	
Stockage réfrigéré ou cryogénique sous pression atmosphérique	$\theta = \theta_{ab}$ (°C)	-13 (PNE)	-33 (PNE)	-42 (PNE)	-104 (PNE)	-196 (PNE)
	$p = p_{atm}$ (bar)	1,013	1,013	1,013	1,013	1,013
	ρ (kg/m ³)	963	682	582	568	807

Tableau (II-3) : Modes de stockage et types de réservoirs en fonction du produit stocké.

Modes de stockage		Pression de vapeur absolue p et température de stockage θ du produit stocké	Exemples de produits stockés	Types de réservoirs recommandés
Stockage libre à température ambiante [2]	à pression atmosphérique	$p = p_{atm}$ $\theta = \theta_a$ ambiante	eau, incendie et industrielle, eau potable	Cuves ouvertes Réservoirs à toit fixe
		$p < 0,1$ bar (point d'éclair $> 55^\circ\text{C}$) $\theta = \theta_a$ ambiante	gazoles, fuels, huiles, bitumes, asphaltes, etc.	Réservoirs à toit fixe
		$0,1 \text{ bar} < p < 0,75 \text{ bar}$ (point d'éclair $< 55^\circ\text{C}$) $\theta = \theta_a$ ambiante	pétroles bruts, essences, carburants aviation, white-spirit, kérosène, benzène, toluène, etc.	Réservoirs à toit flottant (externe ou interne)
	sous faible pression	$p = p_p < 1,5 \text{ bar}$ $\theta = \theta_a$ ambiante	essences légères, pentane, etc.	Réservoirs à toit fixe ancré ou avec fond sphérique
	sous forte pression	$1,5 \text{ bar} < p < p_p < 3 \text{ bar}$ $\theta = \theta_a$ ambiante	essences légères, pentane, isopentane, etc.	Sphéroïdes
		$1,5 \text{ bar} < p = p_p < 30 \text{ bar}$ $\theta = \theta_a$ ambiante	butane, butadiène, chlorure de vinyle, propane, propylène, ammoniac, chlore, etc.	Ballons et sphères
Stockage à température contrôlée par réfrigération [3]	semi-réfrigéré (sous pression réduite)	$p_{atm} < p = p_{red} < 30 \text{ bar}$ $0^\circ\text{C} > \theta = \theta_{red} > -30^\circ\text{C}$	propane, propylène, ammoniac, chlore, dioxyde de carbone, éthane, éthylène, etc.	Ballons et sphères à simple paroi avec isolation
	réfrigéré (au PNE)	$p = p_{atm}$ $\theta = \theta_{ab} > -60^\circ\text{C}$	butane, butadiène, chlorure de vinyle, propane, propylène, ammoniac, chlore, etc.	Réservoirs à simple ou à double paroi avec isolation renforcée
	cryogénique (au PNE)	$p = p_{atm}$ $-60^\circ\text{C} > \theta = \theta_{ab} > -200^\circ\text{C}$	éthane, éthylène, méthane, air, oxygène, azote, argon, etc.	Réservoirs à double paroi avec isolation renforcée
		$p = p_{atm}$ $-200^\circ\text{C} > \theta = \theta_{ab} > -273^\circ\text{C}$	hydrogène, hélium, etc.	Réservoirs à double paroi avec isolation sous vide

II-5. STOCKAGE SOUTERRAINS

II-5-1. Les stockages en gisements épuisés : [17]

Des gisements de gaz et parfois même de pétrole épuisés peuvent dans certains cas favorables être équipés pour être convertis en stockages souterrains; c'est notamment le cas lorsque le gaz de gisement n'est pas acide et lorsque les caractéristiques de réservoir, perméabilité surtout, permettent une utilisation en modulation saisonnière.

La plupart des stockages exploités dans le monde sont de ce type : plus de 425 stockages, principalement aux USA, au Canada, en Russie, en Ukraine, en Italie et en Allemagne, représentent une capacité utile de plus de 200 milliards de mètres cubes de gaz.

Avantages et inconvénients du stockage en gisement épuisé : [18]

Avantages : Perturbation minime de l'environnement, si l'on excepte les opérations de forage. Bonne connaissance de la performance du réservoir dès sa mise en service, de part la connaissance de l'historique du réservoir.

Inconvénients : les caractéristiques du réservoir (par exemple faible porosité et faible perméabilité) peuvent limiter les performances.

II-5-2. Les stockages en nappes aquifères : [17]

Un stockage en nappe aquifère est l'équivalent d'un gisement de gaz naturel dont la réserve de gaz est constituée artificiellement par injection dans le sous-sol; il est réalisé dans une structure géologique composée de couches de terrains identiques, par leur configuration et leur nature, à celle qui forment un gisement naturel.

Avantages et inconvénients du stockage en nappe aquifère : [18]

Avantages : Permet le développement de stockage de gaz dans des endroits où les réservoirs d'hydrocarbures ne sont pas facilement accessibles ou adaptés au stockage de gaz naturel.

Inconvénients : Maintenir l'intégrité de l'interface gaz / eau impose des limites à la souplesse de fonctionnement. Nécessite un volume de gaz coussin relativement important.

II-5-3. Les stockages en cavités creusées dans le sel : [17]

Le stockage est constitué d'un ensemble de cavités creusées par dissolution à l'eau dans une formation salifère. Chaque cavité est exploitée par cycles de compression et de détente à l'instar d'une bouteille de gaz comprimé.

Environ 40 stockages de ce type sont en service dans le monde, la plupart aux USA et en Allemagne.

II-5-4. Les stockages en mines abandonnées : [17]

Les espaces souterrains constitués pour le creusement minier sont utilisés pour y stocker le gaz naturel sous pression. Dans le cas de mines de charbon, l'adsorption du gaz par le charbon résiduel joue un rôle important.

Un stockage de ce type est exploité en Belgique (charbon), un en Allemagne (sel) et un dans le Colorado, USA (charbon).

II-5-5. Les stockages en cavités minées : [17]

Dans certaines régions où il n'y a pas d'autre possibilité de stockage ou encore pour la constitution de petites réserves pour l'écrêtement des pointes de consommation, pour la modulation intra journalière et hebdomadaire, les cavités minées peuvent être la solution.

Deux techniques sont employées :

- ***miné non revêtu*** : la roche est peu perméable et le confinement est assuré en maintenant une pression inférieure à la pression hydraulique de la nappe (environ 1 bar pour 10 m de profondeur); dans le cas où la nappe est peu alimentée, des puits ou galeries situés au dessus des galeries de stockage sont prévus afin d'injecter de l'eau : c'est la technique du rideau d'eau; des pompes doivent être installées en fond de galerie pour évacuer l'eau qui s'est infiltrée afin de préserver l'espace de stockage; cette technique est très utilisée pour le stockage des hydrocarbures liquides et des GPL .
- ***miné revêtu*** : la roche assure la résistance mécanique tandis qu'une membrane appliquée contre la roche assure l'étanchéité; les pressions peuvent ainsi être élevées à faible profondeur; une unité de test a été expérimentée en Suède à des pressions supérieures à 10 bars pour une profondeur de 50 m.

Les techniques du stockage en gisement épuisé sont très comparables à celles du stockage en nappe aquifère et le stockage en mine abandonnée et en cavité minée et restera tout à fait marginal à l'échelle mondiale.

Avantages et inconvénients du stockage en cavité saline : [18]

- Débits d'injection et de soutirage élevés.
- Coût d'exploitation important lié à l'environnement corrosif.

II-6. COMPARATIF DES DIFFÉRENTS TYPES DE STOCKAGE [18]

Le stockage de gaz naturel répond à différents enjeux :

II-6-1. Ajustement de l'offre et de la demande :

La saisonnalité importante de la demande de gaz se heurte à un approvisionnement généralement relativement stable au cours de l'année.

Ainsi, remplir les stockages en été (période de sous-consommation de gaz) pour les vider en hiver (lorsque la demande est importante) permet aux fournisseurs de gaz de réconcilier l'offre et la demande.

II-6-2. Flexibilité court terme :

Le stockage de gaz naturel permet également d'assurer la flexibilité nécessaire sur des périodes courtes de l'ordre de quelques jours, ou cours d'une même journée.

Semaine : les besoins en gaz peuvent être sensiblement différents selon la période (congés scolaires ou jours de semaine / we par exemple) ou selon les variations de température intra-saisonnières.

Journée : la demande de gaz n'est pas non plus stable sur toute la journée, une pointe de consommation est observée le matin (vers 7h) et en début de soirée (vers 19h)

II-6-3. Arbitrage :

Stocker du gaz naturel permet à tous les acteurs du marché du gaz de réaliser des arbitrages, par exemple entre marchés spot et à terme. Ainsi, un fournisseur ou un trader peut saisir d'éventuelles opportunités de prix, en stockant un gaz acheté à un faible prix pour le revendre lorsque ce dernier est plus élevé.

Dans ce chapitre nous avons parlé des différents modes de stockage des hydrocarbures, ceci nous permet d'entamer l'étude de différents types de réservoirs de ces derniers dans l'étape suivante.

III-1. CONFIGURATION DES RÉSERVOIRES DE STOCKAGE

Pour répondre à la grande variété des produits liquides industriels à stocker, les constructeurs ont recours à des réservoirs de formes diverses et de conceptions différentes, étudiés pour s'adapter le plus rationnellement et le plus économiquement possible aux caractéristiques du produit à traiter.

La configuration d'un réservoir dépend de deux impératifs essentiels qui sont, d'une part, la conservation du produit en limitant ou en interdisant les évaporations et, d'autre part, la tenue de la structure à la pression interne développée par le produit ou maintenue à un certain niveau pour faciliter l'exploitation.

La forme cylindrique est la plus courante en raison de sa simplicité de mise en oeuvre et de sa bonne résistance à la pression interne. Lorsque la pression interne est importante, on a recours à des formes sphériques mieux adaptées que les cylindres et qui permettent de réduire les épaisseurs de paroi.

III-2. PRINCIPAUX ÉLÉMENTS D'UN BAC DE STOCKAGE

Un bac de stockage est composé par les éléments essentiels suivant : [19]

III-2-1. 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.

III-2-2. Robe de bac :

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

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

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

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

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

III-3. CLASSIFICATION DES RÉSERVOIRES [20]

Dans l'industrie pétrolière, on désigne sous ce terme les réservoirs de stockage utilisés pour les divers produits pétroliers. Leur forme n'est autre que celle d'une grande cuve fermée d'un toit. Il existe des bacs à toit fixe et des bacs à toit flottant. Ces derniers sont utilisés pour les produits volatils tels que le pétrole brut et les essences.

Les réservoirs de stockage peuvent être classés selon différents critères :

- matériau utilisé
- situation par rapport au sol
- Forme
- position
- la nature du produit stocké

III-3-1. Réservoirs atmosphériques :

Les réservoirs utilisés pour le stockage du pétrole brut et des produits pétroliers (autres que les GPL) sont des réservoirs cylindriques verticaux aériens en acier. Une des classifications de ces réservoirs consiste à les différencier selon le type de couverture (Toit). On distingue :

III-3-1-1. Réservoir à toit fixe :

Le stockage des produits peu volatils et à faible tension de vapeur (inférieure à 0,1 bar) est réalisé dans des réservoirs où la partie supérieure est recouverte d'un toit fixe. Ce dispositif permet d'empêcher leur contamination par des agents extérieurs (pluie, poussières,...). Le fond et la robe du réservoir sont du même type que sur les cuves ouvertes. Cependant, la présence du toit fixe assure une rigidité suffisante au sommet de la robe qui permet d'éviter l'installation d'un raidisseur. Figure (III-1)

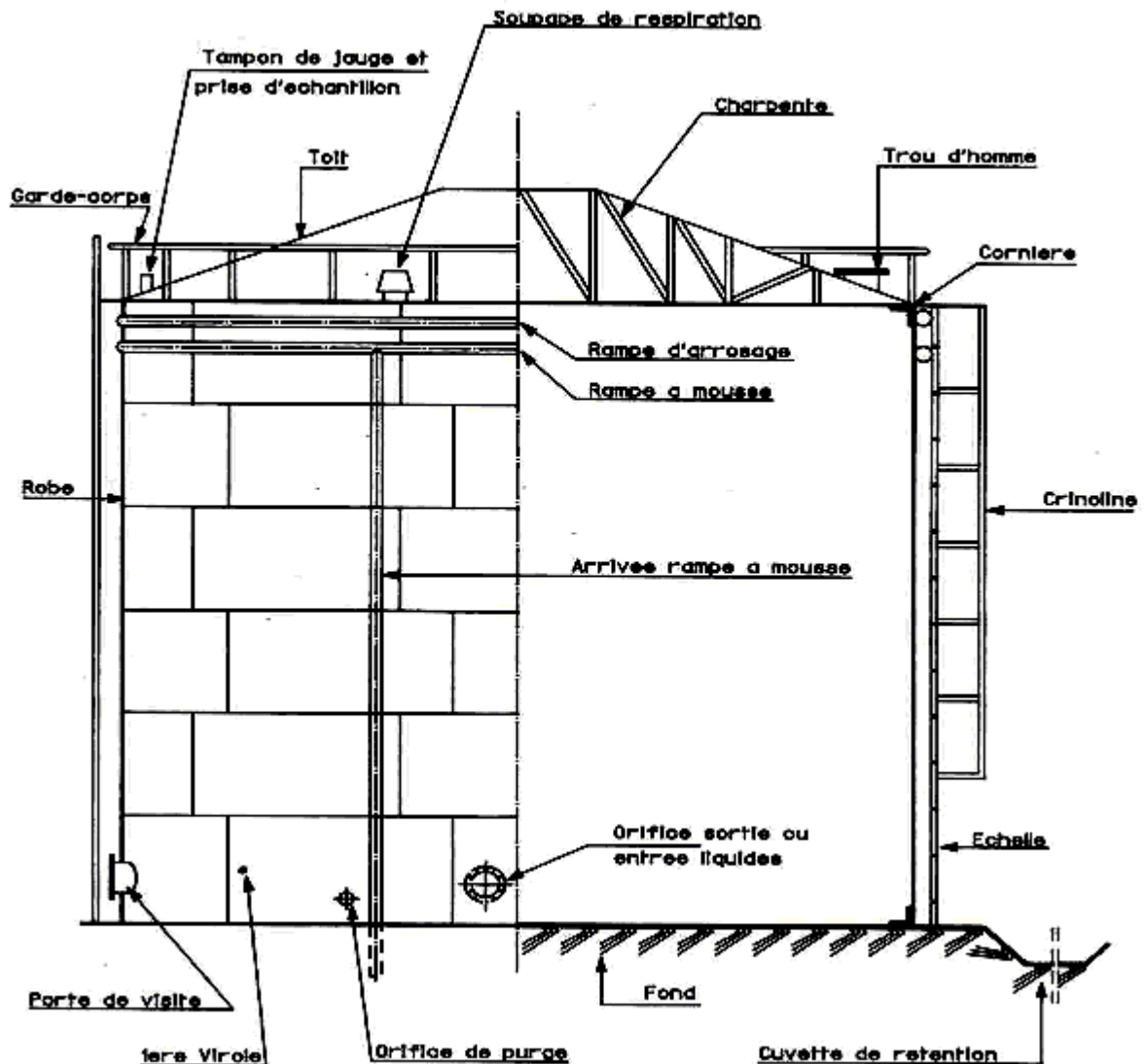


Figure (III-1): Bac à toit fixe.

On classe les réservoirs à toit fixe en deux catégories :

A) Réservoir à toit fixe supporté : [1]

Les toits fixes supportés ont un profil conique assez plat avec une pente recommandée de 1/16 ou 1/12, notamment lorsque le toit est calorifugé. Ces toits sont constitués d'une charpente supportée par un ou plusieurs poteaux, en tubes ou en profilés, qui s'appuient sur le fond de l'ouvrage. Les tôles du toit reposent sur des chevrons rayonnants qui prennent appui au centre du réservoir sur le poteau central, en périphérie sur la robe, et pour les réservoirs de diamètre supérieur à 25m, sur des poteaux intermédiaires. Ces derniers sont disposés sur des

cercles concentriques et sont reliés en tête par des pannes droites sur lesquelles viennent se poser les chevrons.

B) Réservoir à toit fixe autoportant : [1]

Les toits fixes autoportants sont soit coniques avec une pente de 1/5 ou 1/6, soit sphériques avec rayon de courbure compris entre 0.8 et 1.5 fois le diamètre du réservoir. La charpente de ces toits est constituée d'éléments porteurs rayonnants, réalisés par des simples chevrons ou par des fermes métalliques. Ces éléments sont fixés en leur centre sur un anneau formant clef de voûte et prennent appui en périphérie sur le sommet de la robe, sans l'intermédiaire de poteau. L'écartement des chevrons ou des fermes le long de la robe est compris entre 2 et 2.5 m.

III-3-1-2. Réservoir à toit flottant : [20]

Le toit flottant est un disque mobile qui flotte sur le liquide en suivant les mouvements de descente et de montée du produit. Pour permettre ces déplacements, un espace annulaire libre existe entre le toit et la robe de la cuve. Il est obturé par un système d'étanchéité déformable qui permet au toit de coulisser sans entraves à l'intérieur de la robe. L'installation impliquée est un réservoir aérien de stockage de pétrole brut d'une capacité géométrique de 60 000 m³. Ce réservoir cylindrique a les dimensions suivantes : [21]

- ✓ Diamètre = 70 mètres soit une section de 3 850 m²
- ✓ Hauteur de robe = 17 mètres
- ✓ Réservoir agité au moyen de 3 pales hélicoïdales inclinables.
- ✓ Mesure du niveau de liquide par des sondes radars implantées dans des tubes verticaux (tubes guides).
- ✓ Réservoir équipé de 12 boîtes à mousse d'une capacité de 800 litres par minute.

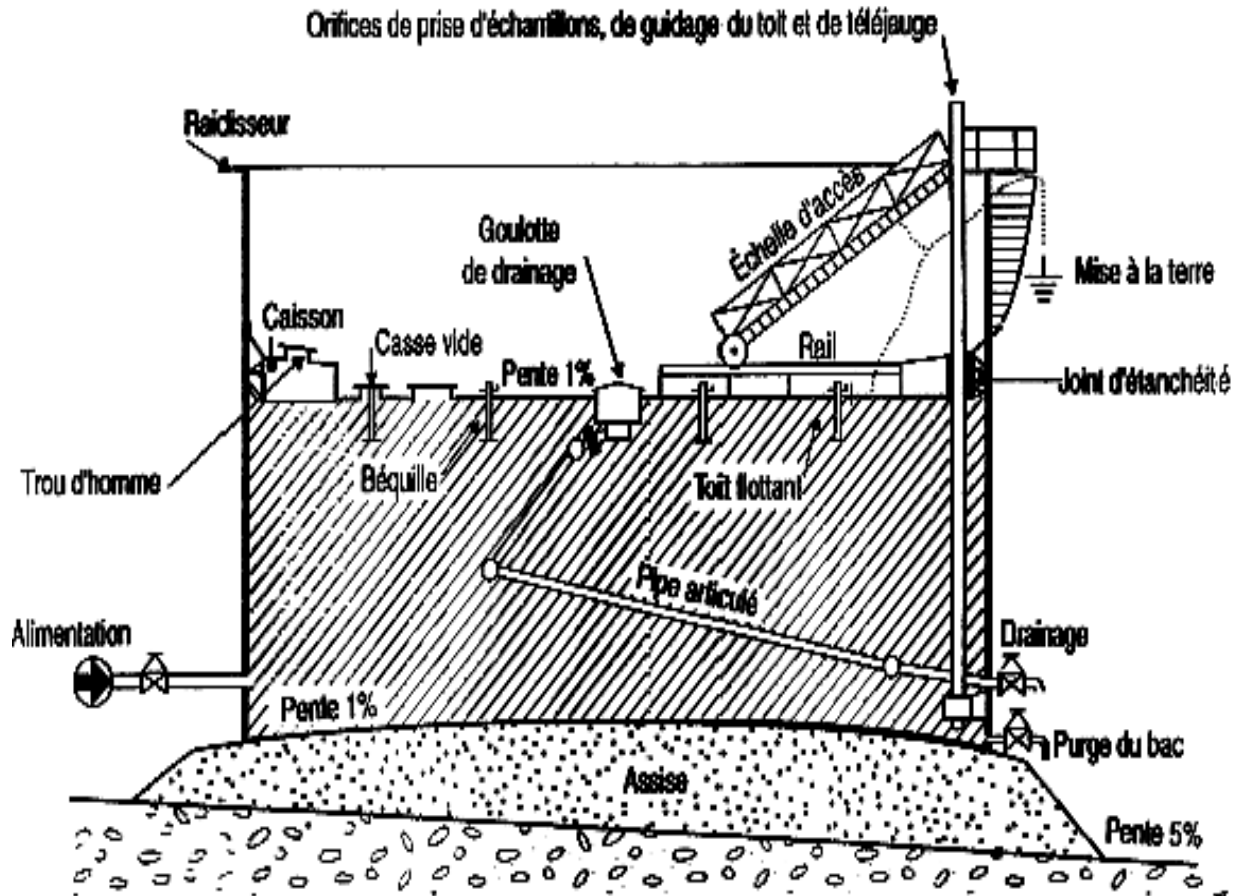


Figure (III-2): Exemple de bac à toit flottant, type ponton annulaire

Il existe deux types de réservoirs à toit flottant :

A- Réservoirs à toit flottant interne : [1.15]

Ce sont des réservoirs à toit fixe dans lesquels est installé un toit flottant simplifié également appelé écran flottant. Le toit fixe peut être soit de type supporté, avec poteaux, verticaux à l'intérieur du réservoir, soit du type autoportant sans poteaux. Lorsque la structure comporte des poteaux, ils traversent le toit flottant par des puits équipés de joints d'étanchéité des puits. Ces réservoirs sont particulièrement bien adaptés pour le stockage des produits volatils dont il faut assurer la conservation, préserver la pureté ou limiter l'émission des vapeurs vers l'atmosphère.

B- Réservoirs à toit flottant externe :

Le réservoir proprement dit n'est autre qu'une cuve ouverte. La face inférieure du toit est complètement mouillée par le liquide sur lequel le toit flotte. Pratiquement aucun espace vapeur n'existe, ce qui permet de réduire considérablement les pertes par évaporation et les risques d'incendie.

III-3-1-3. Qualités des aciers utilisés : [15]

Les réservoirs de stockage atmosphériques sont réalisés en acier au carbone. Cependant, pour quelques applications particulières assez rares, l'utilisation d'aciers inoxydables peut être nécessaire (nature corrosive des produits stockés, stockage alimentaire, impératifs de pureté, etc.). Les aciers au carbone employés sont de deux types : les aciers de construction et les aciers pour chaudières et appareils à pression.

Les aciers de construction sont utilisés en priorité pour la réalisation des réservoirs atmosphériques. L'emploi des aciers pour chaudières ou pour appareils à pression est, en général, limité aux viroles basses épaisses des robes des ouvrages de grande capacité. Les caractéristiques mécaniques minimales de ces aciers restent dans les fourchettes suivantes :

- résistance à la rupture 360 à 530 N/mm² ;
- limite d'élasticité 235 à 355 N/mm²

III-3-2. Réservoirs sous faible et forte pression : [1.15]

Cette catégorie de réservoirs est destinée à contenir des liquides volatils dont la tension de vapeur, à la température ambiante, est supérieure à la pression atmosphérique. Ces réservoirs peuvent être aussi utilisés pour le stockage de liquides non volatils mais maintenus sous une pression de gaz pour les besoins de l'exploitation. Ces produits ne peuvent pas être stockés dans les réservoirs atmosphériques, qui ne sont conçus que pour de très faibles surpressions.

Pour assurer leur stockage, il faut avoir recours à des enceintes hermétiquement closes et résistantes, capables de supporter la pression interne. Ces réservoirs sont systématiquement équipés de soupapes de sécurité installées au point haut de la phase vapeur du stockage.

III-3-2-1. Réservoirs cylindriques verticaux :

Ces réservoirs, étudiés pour fonctionner sous faible pression, permettent de réduire ou d'éliminer les pertes par évaporation et remplissage que l'on ne peut éviter sur les réservoirs à toit fixe atmosphériques. Ils assurent en ce sens un service comparable à celui des réservoirs à toit flottant, mais sous des conditions d'exploitations différentes et avec des capacités beaucoup plus limitées. Le contrôle de ces pertes est obtenu en dimensionnant le réservoir pour une pression interne suffisamment élevée capable de supporter, aux heures les plus chaudes de la journée, l'accroissement de la pression du mélange air vapeur produit par l'évaporation du liquide.

➤ **Réservoirs avec fond plat ancré :**

La robe et le fond plat des ces stockages (figure III-3) sont de la même conception que ceux des réservoirs atmosphériques. Le fond est en général équipé d'une bordure. Les épaisseurs de la robe, dont la hauteur peut être comprise entre 14 et 20m, sont calculées en considérant la pression développée par le liquide et la pression de la phase gazeuse. Elles sont limitées par les codes de construction à 40 mm environ. Un raidissage circonférentielle de la robe est quelquefois nécessaire pour éviter un flambage local de la paroi sous les effets combinés du vent et de la dépression interne.

Des ancrages, solidaires d'un anneau de fondation en béton, doivent être prévus sur la périphérie du fond (figure III-3). Ils ont pour rôle d'empêcher le soulèvement de la robe sous l'action de la pression interne qui agit sur le toit et de reprendre les effets de renversement développés sur la structure par le vent ou un éventuel séisme. Le système d'ancrage est réalisé par un ensemble de boulon installé à intervalles réguliers (entre 1.5 et 3 m) sur des chaises solidaires de la robe et de la bordure du fond.

La jonction robe toit doit être renforcée par un anneau de compression qui a pour but d'éviter la déformation de cette zone sous les effets de la pression qui agit sur le toit. La section de compression peut être réalisée par une cornière de tête ou par un anneau en tôle découpée dont l'épaisseur est, comme pour la robe, limitée à 40mm. Cet anneau est, en général, placé dans le prolongement du toit. Lorsque l'anneau est trop important, la section résistante est répartie sur la robe et le toit.

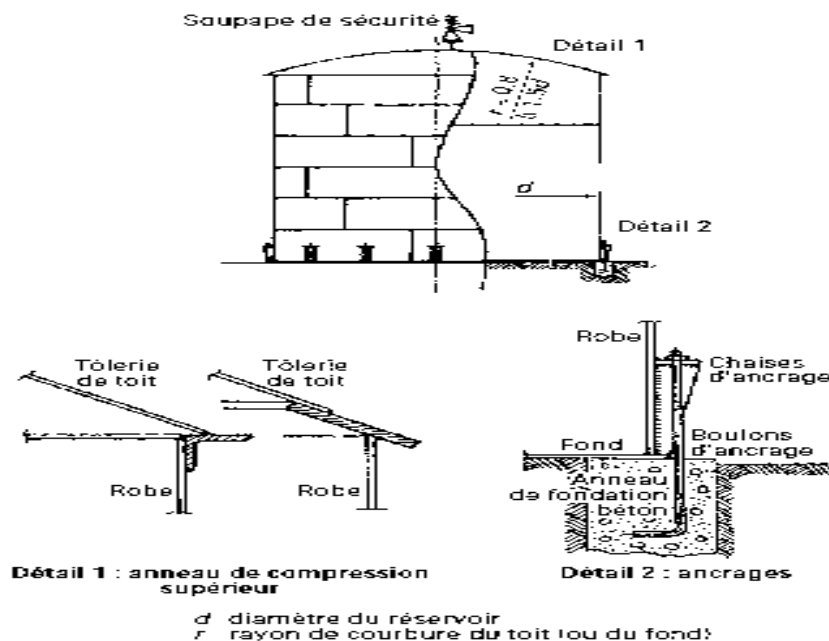


Figure (III-3) : Réservoir cylindrique vertical avec fond plat ancré.

➤ **Réservoirs avec fond sphérique non ancré :**

Ces réservoirs, souvent appelés hémisphéroïdes, se différencient seulement des précédents par la présence d'un fond à profil sphérique et par l'absence d'ancrage et de fondation en béton (figure III-4). Ils peuvent accepter des pressions plus importantes que les réservoirs à fond plat, mais avec des capacités plus réduites.

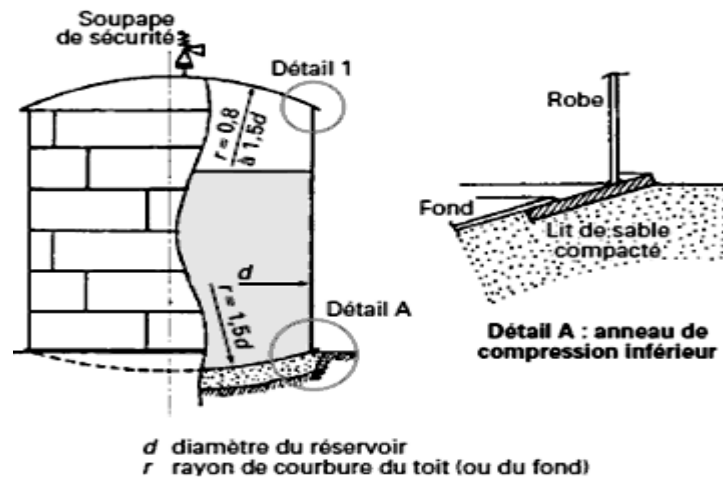


Figure (III-4): Réservoir cylindrique vertical avec fond sphérique non ancré.

III-3-2-2. Sphéroïdes : [1.15]

La géométrie de ces ouvrages est plus favorable pour le stockage sous pression interne que celle des réservoirs cylindriques verticaux. Elle autorise des pressions plus importantes. Ces réservoirs sont également mieux adaptés que les sphères pour le stockage des liquides sous pression moyenne, en raison du système de supportage direct de la capacité sur le sol.

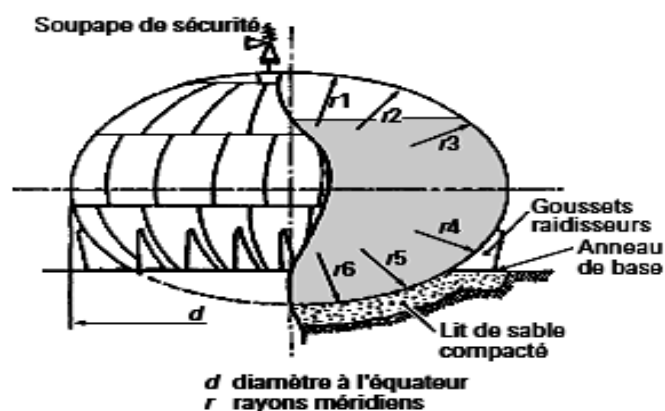


Figure (III-5): Sphéroïde

III-3-2-3. Ballons cylindriques horizontaux :

Ces réservoirs couvrent essentiellement le domaine du stockage sous forte pression des gaz liquéfiés. Ces produits très volatils présentent à température ambiante des tensions de vapeur élevées.

Dans ces enceintes, le produit est à la fois présent sous forme liquide et gazeuse. La phase gazeuse est totalement saturée. Les deux phases sont en équilibre de pression et de température et évoluent en fonction des fluctuations de la température du milieu ambiant extérieur.

Le stockage de ces gaz liquéfiés est effectué sous des pressions effectives qui restent en général inférieures à 30 bars, pour la plupart des gaz et pour une température maximale d'étude de l'ordre 50°C.

Pendant très longtemps, les ballons ont été utilisés pour des stockages de faibles importances, n'excédant pas 200 à 300m³ (figure III-6). Pour des capacités plus grandes, les sphères étaient en général retenues.

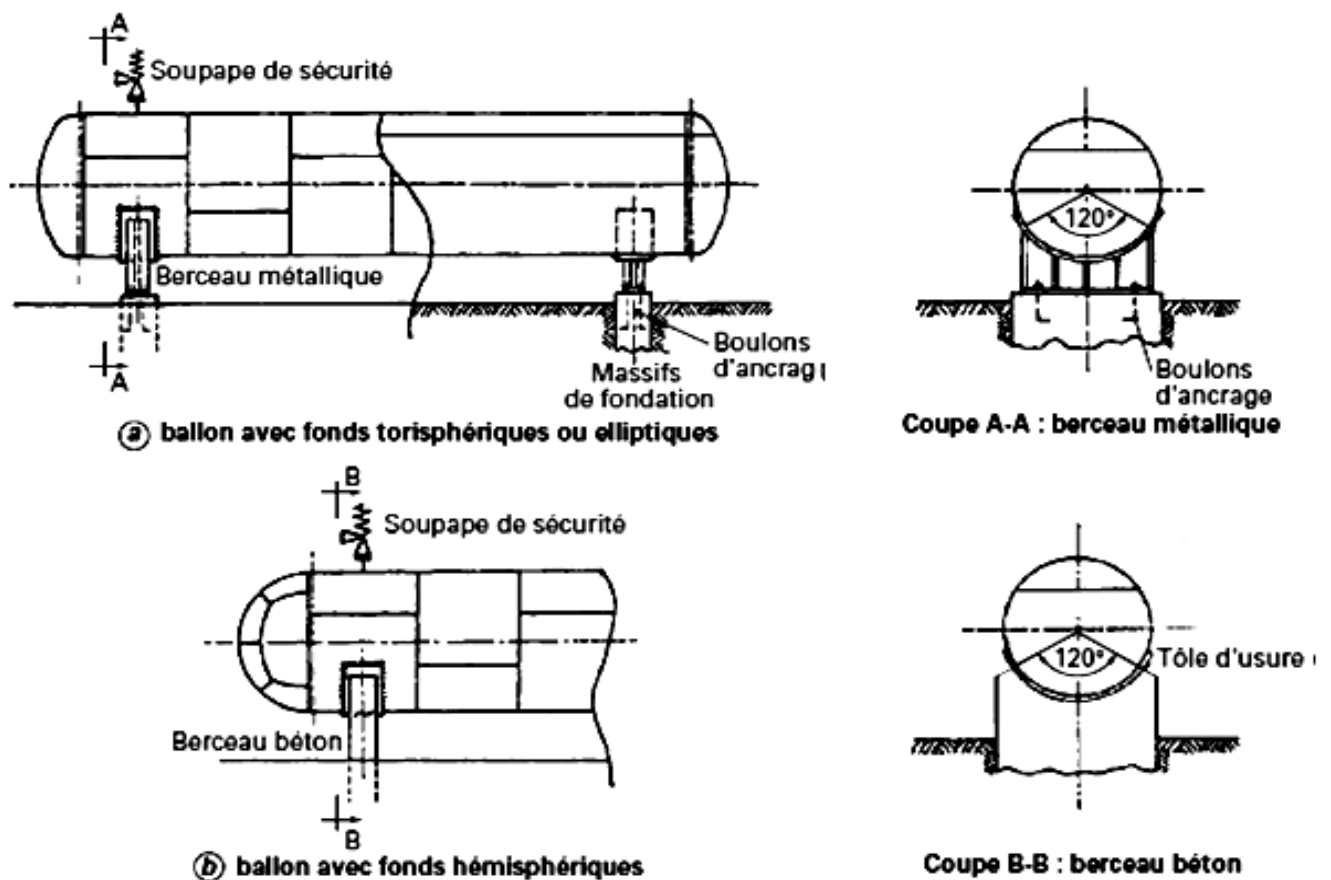


Figure (III-6): Ballons cylindriques horizontaux.

III-3-2-4. Sphères :

Les sphères (figure III-7) sont largement employées pour les stockages importants de gaz liquéfiés sous forte pression. C'est la forme idéale pour résister à la pression car c'est sur ce type de coque que le niveau des contraintes de membrane reste le plus faible ; c'est ainsi que l'épaisseur d'une enveloppe sphérique est, par exemple, moitié moindre que celle d'une enveloppe cylindrique de même diamètre soumise à la même pression et réalisée avec les mêmes matériaux.

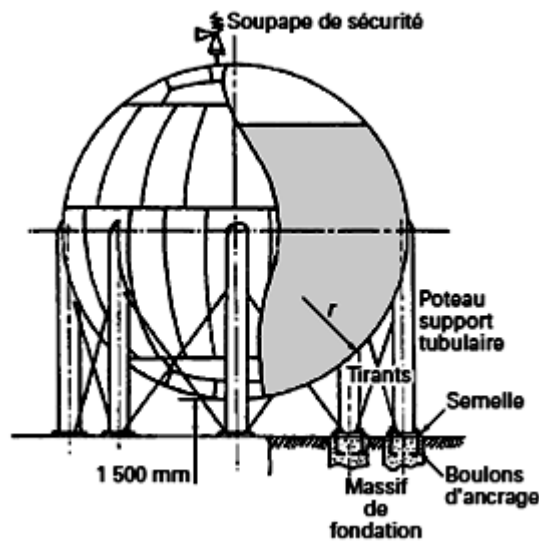


Figure (III-7): Sphère sur poteaux

III-4. LES ACCESSOIRES DES RESERVOIRES DE STOCKAGE : [1]

Les réservoirs comportent une ou plusieurs tubulures d'entrée et de sortie des produits selon leur capacité ; la tubulure d'entrée est généralement située à la base du réservoir à environ 0.50 m du fond pour laisser un volume mort où les dépôts peuvent s'accumuler, ou pour permettre le stockage sur un plan d'eau. On évitera l'emploi de piquages d'entrée en haut de la robe, car la chute du produit refoulé dans le réservoir crée toujours une certaine densité d'électricité statique.

En plus de ces tubulures, le réservoir doit comporter un grand nombre d'accessoires qui représentent une part importante du coût total de l'installation, étant donné leur diversité et souvent la haute qualité requise pour certains d'entre eux. On distingue, selon leur fonction, les grandes classes suivantes :

III-4-1. Accessoires d'accès :

Ils comportent : escaliers, garde-corps, passerelles. Ils ont été standardisés par le bureau de normalisation du pétrole (BNP).

III-4-2. Accessoires de visite et de nettoyage :

La visite se fait par des trous d'homme dont la construction est également normalisée. Ces accessoires permettent le nettoyage et l'élimination des boues, sédiments, de la rouille et de l'eau qui peuvent s'accumuler au fond.

III-4-3. Accessoires de mesurage des produits:

Pour répondre aux nécessités d'exploitation et aux exigences de la douane. Des accessoires sont prévus pour :

III-4-3-a. Prélèvement d'échantillons :

Pour des réservoirs sans pression ou à toit flottant, une trappe disposée sur le toit permet l'introduction de la bouteille spéciale de prise d'échantillons. Si le réservoir est sous pression. Il faut prévoir un sas, tel que celui représenté à la figure (III-8).

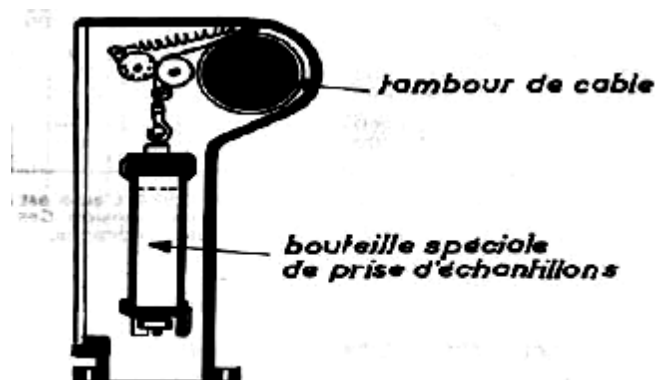


Figure (III-8): cas de prise d'échantillons

III-4-3-b. Mesure du niveau :

Pour les mesures courantes et très approximatives, le règlement impose un niveau à flotteur dont le câble traverse le toit et par des poulies de renvoi et raccordé à un index se déplaçant devant une règle graduée fixée à la robe. Pour les mesures de précision, on procède au jaugeage par descente d'une sonde fixée à l'extrémité d'un ruban étalonné.

III-4-4. Accessoires de réchauffage:

Dans le cas des produits lourds et visqueux, il faut prévoir soit le maintien en température, soit la possibilité de réchauffer, ainsi que bien entendu le calorifugeage complet du réservoir on utilisera à cet effet soit une nappe de tube disposés sur le fond et alimentés en vapeur d'eau, soit des réchauffeurs locaux sur la sortie du produit.

III-4-5. Accessoires de mélange:

Il est courant d'avoir à effectuer des mélanges de produits de base : mélanges d'essences, de fuels, éthylation, etc. les deux techniques suivantes sont utilisées :

- a. *Mélange par recirculation* : les produits souvent préalablement mélangés en ligne, sont refoulés à la base du réservoir où la tubulure d'admission comporte à l'intérieur de la virole un convergent dirigé vers le centre et le haut et jouant le rôle de lance. Le jet liquide violent qu'il provoque met en mouvement toute la masse du produit en créant des courants qui brassent l'ensemble ;
- b. *Mélange mécanique* : il est préféré dans le cas des réservoirs de faible capacité ou encore des bacs à brut pour éviter la sédimentation. On utilise soit des turbines, soit des hélices.

III-5. PERTES DES PRODUITS DURANT LE STOCKAGE : [1]**III-5-1. Appréciation des pertes d'exploitation :**

Les pertes d'exploitation comprennent :

- Les pertes générées par les émissions de vapeur des réservoirs
- Les pertes accidentelles dues aux débordements, aux fuites, ...
- Les pertes directement liées à l'exploitation : purges, échantillonnage, jaugeage,

III-5-2. Types de perte :**III-5-2-1. Pertes par évaporation :****A) Bacs à toit fixe :**

Pour ce type de bac, les émissions de vapeur sont de deux types : Pertes générées au remplissage (pertes par mouvement) et pertes par respiration.

Les pertes par mouvement : sont dues à l'évacuation de l'atmosphère gazeuse qui contient de l'air et des hydrocarbures lors du remplissage du bac. Ainsi dans un bac d'essence à 15°C, l'atmosphère gazeuse contient environ 30 % de vapeurs d'hydrocarbures.

Les pertes par respiration : Les variations de température d'un bac provoquent des dilatations ou contractions du volume gazeux qui conduisent à des pertes de mélanges air-hydrocarbures par température élevée (jour) et à des rentrées d'air frais (nuit). L'importance de ces pertes dépend de la plus ou moins grande volatilité du produit et de la quantité transférée.

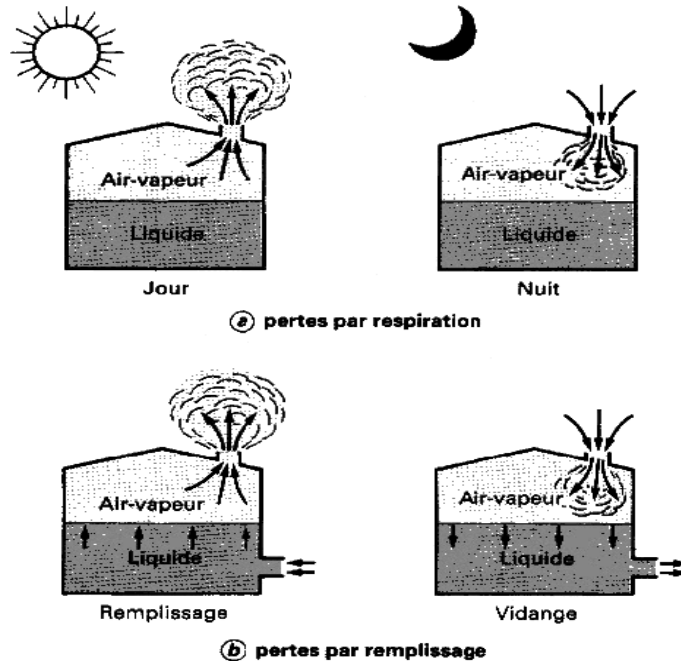


Figure (III-9) : perte de produit dans les réservoirs à toit fixe

B) Bacs à toit flottant et bacs à écran flottant :

Pour ces deux catégories de bacs, les émissions sont de deux types : émissions par mouvement et émissions par évaporation

L'évaluation des **émissions par mouvement**, pour ces deux catégories des bacs est similaire : on fait intervenir un coefficient de mouillage qui permet de quantifier l'épaisseur du film liquide déposé sur la robe du bac au passage du toit ou de l'écran.

En ce qui concerne les **pertes par évaporation** la démarche est différente. En dehors des caractéristiques du produit, du type de joint (toit-robe ou écran-robe), et des dimensions du bac il faut prendre en considération les éléments suivants :

- Pour le bac à toit flottant : la vitesse moyenne du vent
- Pour le bac à écran flottant : les caractéristiques de l'écran (collé, soudé, autre, présence éventuelle de poteaux)

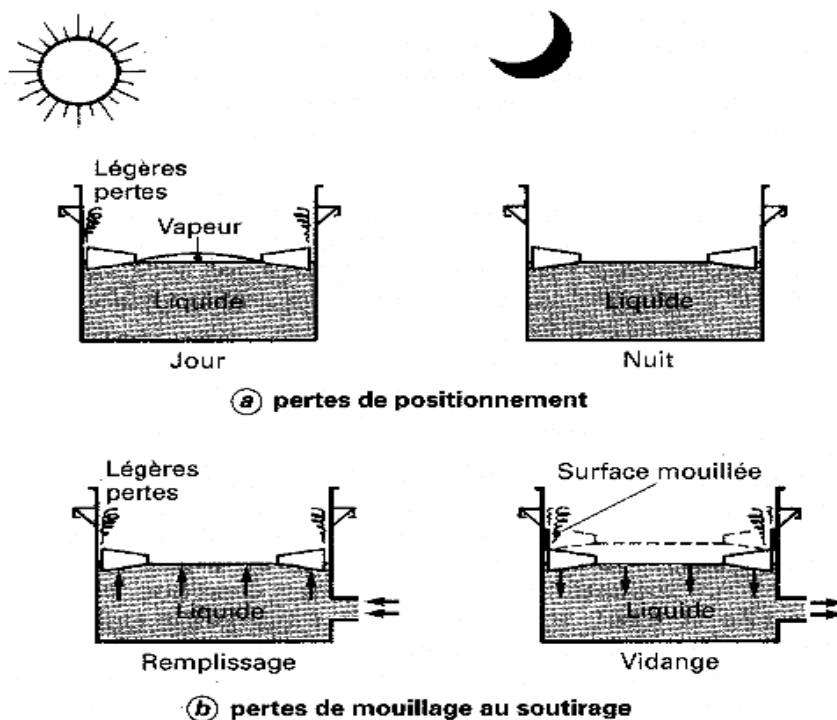


Figure (III-10): cas de prise d'échantillons.

Dans cette partie nous avons parlé de différents types de réservoirs utilisés pour le stockage des hydrocarbures et les différents risques qui résultent du stockage de ces produits dans les conditions sévères. Pour cela dans la partie suivante nous présenterons les consignes de sécurité qu'il faut respecter au niveau de chaque site de stockage.

VI-1.DIFFÉRENTS ACCIDENTS LIÉS AU STOCKAGE DES HYDROCARBURES [22.23]

L'ensemble des complexes à hydrocarbures implanté dans les zones industrielles traitent et utilisent des produits combustibles, solide, liquide ou gaz. L'inflammation de ces matières première engendre des phénomènes et des risques majeurs tel que :

- ✧ Incendie (feu de nappe)
- ✧ Jet enflammé (Jet fire)
- ✧ Explosion
- ✧ BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion)
- ✧ UVCE (Unconfined Vapour Cloud Explosion)
- ✧ Boil-over
- ✧ Froth-over
- ✧ Slop- over
- ✧ Flash (jet fire)
- ✧ Détonation en phase condensée
- ✧ Explosion confinée vapeur ou poussière
- ✧ Back draft (explosion de fumées)
- ✧ Roll-over

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

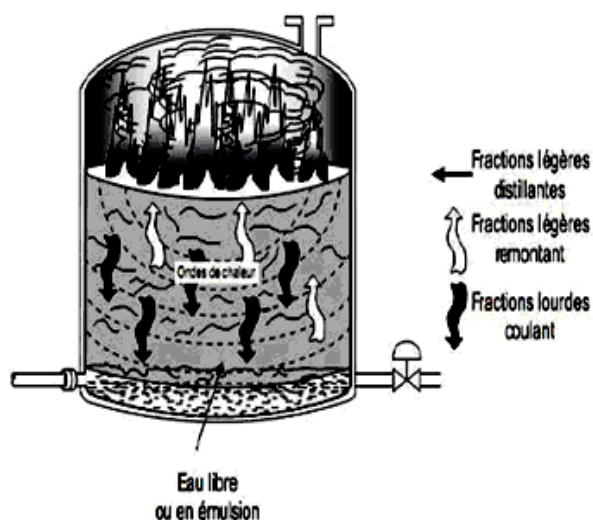


Figure (IV-1) : Feu de nappe



Figure (IV-2): Phénomène boil-over

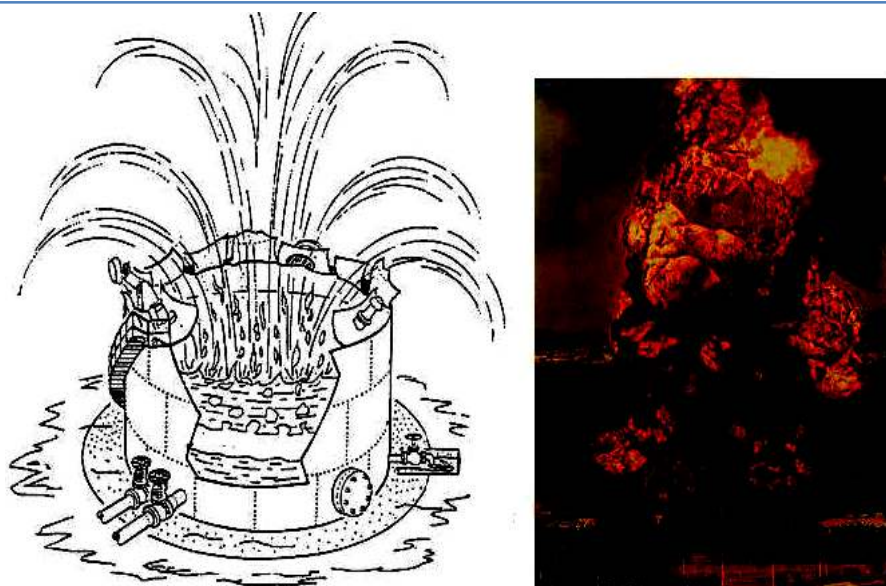


Figure (IV-3):Rupture d'un bac stockage lors d'un boil-over

IV-2. LES EQUIPEMENTS ANTI- INCENDIES :

IV-2-1. Détection gaz : l'une des protections contre les risques de fuite est la détection de gaz.

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

IV-2-2. Détection incendie : des détecteurs de flammes doivent être installés près des sources d'étincelle (garniture et moteur) et d'endroit sensible (stockage).

IV-2-3. Ignifugeage : c'est une couche de peinture ou de béton qui résiste aux flammes pendant une période bien définie. Cet ignifugeage pourra assurer une protection :

1. Le long du temps de mise en œuvre du système d'extinction;
2. Des endroits de la structure non imbibée d'eau ;
3. En cas de défaillance du système d'extinction ;
4. Exemple : Une couche de 10 mm de Pyrocrete 241 appliquée sur la surface d'une sphère de G présente une stabilité au feu de 02 heures.

IV-2-4. Système déluge :

Le but du système déluge est de préserver l'intégrité ; de l'équipement qu'elle protège contre les radiations ; Thermiques issues d'un sinistre voisin ; La mise en service peut être automatique ou manuel.



Figure (IV-4): déluge

IV-2-5. Injection de mousse:

L'injection de mousse dans les cuvettes de rétention, forme un tapis de mousse épais qui a pour effet sur :

- Diminution considérable d'évaporations des GPL en cas de versement ;
- Extinction des flammes et élimination des vapeurs de GPL ;

L'injection de mousse est assurée par des moyens fixes ou mobiles ; L'émulseur utilisé pour le GPL est un émulseur synthétique, ex : KERADOL.



Figure (IV-5): Injection de mousse

IV-2-6. Autres moyens :

Il existe d'autres moyens :

- Moyens fixes du réseau incendie ;
- Moyens mobiles :
- Camions d'intervention ;
- Moyens tractables.

IV-3. ACCESSOIRES DE SERCURITE [1]

Ils sont variés et coûteux. Leur rôle est d'assurer la protection des réservoirs contre divers risques que nous examinerons successivement :

IV-3-1. Pression ou dépressions excessives en exploitation normale :

Lors du remplissage ou de la vidange d'un réservoir, il est impossible d'éviter la mise en communication de la phase gazeuse avec l'atmosphère car le réservoir n'est pas calculé pour résister à une telle variation de pression. De même, les variations de température peuvent entraîner des pressions ou dépressions excessives.

Dans le cas des réservoirs à toit fixe conique, on se contente de prévoir de simples événements pour la mise à l'atmosphère.

Pour les réservoirs à toit flottant sphérique et ceux sous pression, on utilise des soupapes de sécurité à doubles valeurs de tarage.

Les réservoirs à gaz liquéfiés seront munis d'une soupape tarée uniquement à la pression car la phase gazeuse, ne contenant pas d'air, à une pression égale à la tension de vapeur du liquide qui n'est fonction que de la température.

IV-3-2. protection contre les surpressions accidentelles :

Dans des circonstances exceptionnelles, telles qu'une explosion ou une défaillance de la soupape de sûreté ou une fausse manoeuvre mettant en communication le réservoir avec une Ligne sous haute pression, il faut prévoir des dispositifs de sécurité pour éviter l'éclatement et la destruction du réservoir. Les règlements imposent l'un des systèmes suivants :

- membrane de sécurité, constituée par un disque mince qui se déchire ;

- clapet d'explosion, analogue à un opercule mobile de trou d'homme qui se soulève pour assurer l'échappement et se referme automatiquement dès que la pression est redevenue normale ;
- tôle de déchirure qui est une tôle du toit dont l'assemblage aux tôles voisines est réalisé par un cordon de soudure très faible de sorte qu'en cas de surpression, c'est cette tôle qui se déchire préférentiellement.

IV-3-3. Protection contre les incendies :

Le règlement prévoit la mise en place d'arrêt flamme entre la phase gazeuse du réservoir et tout milieu où une flamme risque de se produire. On disposera donc ces appareils sous les événements et les clapets à faible pression de tarage, surtout si l'échappement de ceux-ci est connecté à une ligne de torche. L'arrêt-flammes est constitué par un empilement de feuilles d'aluminium ondulées et nervurées qui représente une très grande capacité calorifique susceptible de refroidir suffisamment le gaz pour en arrêter la combustion.

En cas d'incendie différents dispositifs peuvent être mis en action ; si le réservoir brûle, des rampes permettent de déverser de la mousse sur la surface en flamme et l'on doit procéder à l'arrosage du réservoir et des réservoirs voisins pour éviter une trop forte élévation de température, en même temps que l'on procède à la vidange le plus rapidement possible. Une autre technique consiste à souffler l'air dans le liquide pour refroidir la zone située immédiatement au-dessous de la surface libre en feu ; la diminution de la température réduit la violence de l'incendie et permet une action plus rapide de la mousse.

Les réservoirs sont implantés dans des cuvettes de rétention pour éviter que le contenu ne se répande n'importe où, en risquant l'incendie si le produit venait à s'approcher d'une flamme ; ces cuvettes doivent être conformes aux règles d'aménagement des dépôts d'hydrocarbures.

Enfin, les réservoirs comme toutes les installations de la raffinerie seront pourvus de paratonnerre et de mises à la terre. Si les soupapes de sûreté crachent à l'air libre, on conseille également de prévoir une purge continue à la vapeur du bout de tuyauterie constituant l'échappement vertical afin d'y balayer les traces d'hydrocarbures qui pourraient constituer un danger d'incendie si la foudre tombait sur le réservoir.

CONCLUSION

Le pétrole et le gaz naturel sont des ressources hautement stratégiques pour les pays industrialisés: cette source d'énergie leur a permis de se développer et elle est devenue indispensable au fonctionnement de leurs économies. C'est pourquoi ils veillent à constituer des stocks de pétrole brut et du gaz naturel ainsi que les produits pétroliers finis. Ces réserves doivent leur assurer une certaine autonomie, dans le cas, où leurs importations de pétrole cesseraient.

La consommation de gaz naturel varie avec les saisons, en fonction notamment des besoins en chauffage. Cependant, cette source d'énergie, par définition à l'état gazeux, occupe un volume considérable. Il existe ainsi deux moyens de stockage qui prennent en compte cette particularité : Le gaz dans des cuves géantes, sous forme liquéfiée (GNL) occupe 600 fois moins de place que le gaz naturel brut ; Il peut être aussi stocké dans un réservoir naturel souterrain, (gisement artificiel).

il existe un réseau de distribution qui permet d'acheminer les produits pétroliers de leurs point de production jusqu'à leur destination finale. Mettre à la disposition de chacun le bon produit au bon moment, au bon endroit, au meilleur coût et dans les meilleures conditions de sécurité, les dépôts pétroliers se rencontrent à plusieurs niveaux:

- les gros stockages des raffineries et de la pétrochimie,
- les stockages de produits pétroliers finis,
- les stockages pétroliers des installations industrielles de toute taille pour leurs besoins énergétiques,
- les réseaux de distribution finale (stations services réparties sur l'ensemble du territoire).

Les gestionnaires des centres de stockage veillent au respect de certaines conditions de sécurité. Il s'agit de prévenir essentiellement deux types de risques: les incendies et la pollution des sols et des nappes phréatiques due à d'éventuelles fuites.

Conclusion

Pour éviter ces pollutions, la vérification régulière de l'état des réservoirs de stockage et leur degré de corrosion, par l'attaque gaz acides contenus dans les produits stockés, est indispensable suivant les différentes consignes de sécurité .

Références bibliographiques

- [1]: R.Cedrati, sonatrach / iap spa skikda stockage du brut et des produits finis .2008
- [2]: J.P.Favennec, raffinage du pétrole tome 5, éditions technip.1998.
- [3]: gaz naturel, production, traitement et transport. publication de ifp.edition technique.
- [4]:gaz naturel, production, traitement et transport. « publication ifp, édition technip 1995 »
- [5] : revue trimestriel de sonatrach. revue n°15.decembre 2002
- [6]: the world gaz industry m. valais, p.boisserpe et j. l gadon «éditions technip »
- [7] : manuel opératoire du module iii.
- [8]: revue trimestriel de sonatrach. «séminaire sur le développement et la production du gpl ».mars 1997
- [9]: J.P.Wauquier le raffinage du pétrole « procédés de séparation » édition 1998.
- [10]: P.Wuithier , raffinage et génie chimie .« edition technip1972, paris».
- [11]: P.Wuithier , raffinage et génie chimique, tome . 1 &2 édition 1972 –paris.
- [12]: le site web:
http://fr.wikipedia.org/wiki/stockage_du_p%C3%A9trole_et_du_gaz#r.c3.b4le_du_stockage. dernière modification de cette page le 7 mai 2012 à 16:16.
- [13]: R, Chamayou, réservoirs métalliques pour stockage des liquides. généralités.techniques de l'ingénieur, génie mécanique bm 6 590, 1997.
- [14]: R, Chamayou , réservoirs métalliques pour stockage des liquides. généralités.techniques de l'ingénieur, génie mécanique bm 6593.
- [15]: R, Chamayou , réservoirs métalliques : stockages des liquides à température ambiante.techniques de l'ingénieur. traité génie mécanique bm 6 591, 1997.
- [16] : R, Chamayou, réservoir métalliques : stockages des liquides à température contrôlée. techniques de l'ingénieur.traité génie mécanique bm 6 592, 1997.
- [17]: Hugout, le stockage du gaz naturel. 1995.
- [18]: le site web : www.gasinfocus.com/infrastructures/le-stockage-du-gaz-naturel.
- [19]: m. kessal, stockage et distribution des hydrocarbures (documents cours).

[20]:A. Gasmi , S. Achouri,"optimisation de la capacité de stockage du pétrole brut et du condensat par la méthode de la simulation" mémoire d'ingénieur en recherche opérationnelle

[21]: coulage irréversible du toit flottant d'un réservoir de pétrole brut le 18 juillet 2007.

[22] : ineris (france), feu de nappe.

[23] : ineris (france), le bleve.

Résumé

ملخص

الكلمات المفتاحية: البترول، الغاز، الخزان، التخزين .

Le développement du monde industriel a jamais connue à développé avec ses besoins en matière d'énergie, y compris augmenté ses besoins de matériel d'huile et d'accroître la demande nécessaire pour nous de fournir des mécanismes et des moyens pour stocker cette infection article Liens en suivant les étapes de la sécurité qui nous permet de stockage dans des conditions sécurisées loin de tout danger et nous permettent donc à l'entreposage dans des conditions sûres loin de tout danger et nous permettent ainsi de se retirer tel ou stocké facilement et il existe de nombreuses façons et les mécanismes pour le stockage de ces matériaux par type de matériau qui seront stockés et le degré de gravité et les caractéristiques physico-chimiques.