

# CHAPITRE : Le Stockage des Hydrocarbures

**1-Le Stockage du pétrole brut :** les réservoirs de stockage sont nécessaires à l'exploitation des champs pétroliers pour que la production ne soit pas interrompue suite à des arrêts de la cheminement de pétrole brut vers les bacs de stockages des terminaux qui se trouvent sur les côtes ou près des unités de transformation de ces hydrocarbures. Le transport et le stockage sont des secteurs stratégiques dans l'industrie pétrolière. Le stockage joue le rôle de régulation des systèmes de transport des hydrocarbures par canalisation ou autre moyen de transport et en plus du traitement pour décantation qui consiste à éliminer l'eau et comptabiliser la quantité du pétrole brut à expédier. Le choix de la capacité d'un parc de stockage est fait en fonction du débit véhiculé et des capacités des moyens de transport.

**2- Définition du Parc de stockage :** Le parc de stockage c'est une zone généralement de grande surface où se situe un ensemble des bacs de stockage. Ils peuvent être de différentes ou de même capacité. Ils sont bien sûr connectés à une canalisation d'entrée et une autre de sortie et éventuellement connectés entre eux. Nous pouvons diviser le groupe des bacs en trois, en fonction de leurs états :

- Premier groupe en phase de remplissage.
- Deuxième groupe en phase de décantation.
- Troisième groupe en phase de vidange.

### 3- Les différents types de réservoirs :

**3-1- Réservoirs à toit flottant :** Ils sont utilisés pour le stockage des produits volatils (pétrole brut, condensat, carburants auto...etc.) ils ressemblent au réservoir à toit fixe sauf dans la conception du toit. Le toit dans ce cas repose directement sur le liquide et flotte au-dessus de celui-ci grâce à des double fonds constituant des poches d'air indépendantes réduisant ainsi le poids spécifique de l'ensemble du toit par rapport à celui du liquide. La circonférence du toit est rendue étanche par des bandes en caoutchouc glissant sur la paroi interne de la robe du réservoir, ce qui réduit les pertes par évaporation du produit. Ce dispositif étanchéité permet aussi le déplacement du toit. Lorsque le toit repose sur le fond du réservoir, il repose sur des supports spéciaux (béquilles)



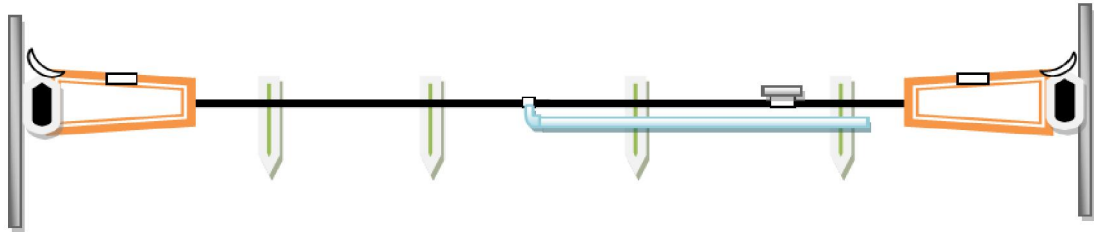
Figure1 : Réservoirs à toit flottant

Le toit flottant peut être de deux types :

- à flotteur unique
- à double flotteur

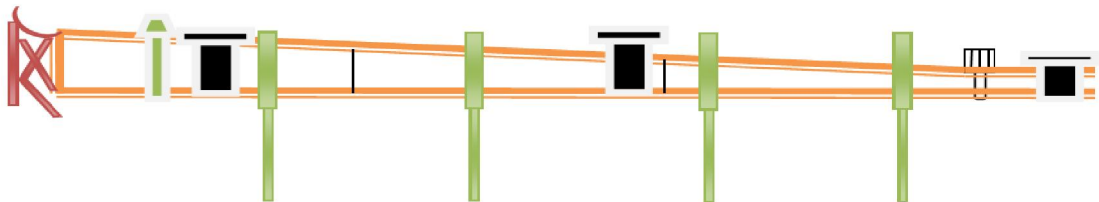
**a) - toit à flotteur unique (simple ponton)**

Il est constitué par une surface centrale de plaques avec une couronne circulaire soudée sur sa périphérie composée de caissons étanches flottants voir figure)



**b) - toit à double flotteur (double ponton)**

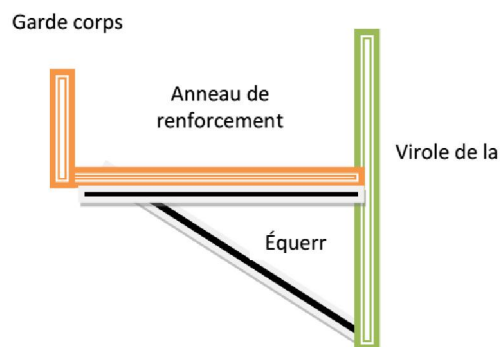
Il est constitué par deux surfaces de tôles circulaires. L'une recouvre l'autre et séparées l'une de l'autre par des cloisons ou des charpentes de façon à créer un matelas d'air entre le produit stocké et l'atmosphère.



**c)- Accessoires**

En plus de quelques accessoires identiques à ceux dans un réservoir à toit flottant on trouve :

- **Bague de renforcement** au dessus de la robe avec une main courante qui à deux rôles : augmenter la rigidité de la partie supérieure de la robe et permettre l'accès autour du toit.



- **Plate-forme supérieure :**

Elle se trouve au dessus de la bague de renforcement et à laquelle est fixée une échelle coulissante sur des glissières fixées sur le toit flottant.

- Event pour la zone périphérique pour permettre aux gaz excédentaires qui ont été formés de s'échapper

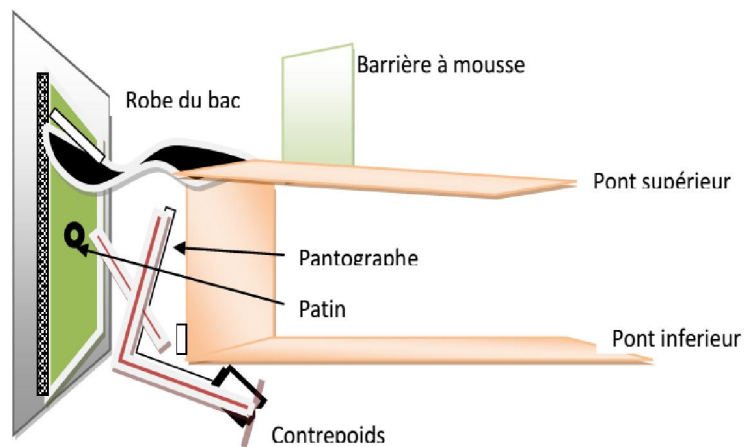
- **Clapet d'aération automatique :**

il s'ouvre lorsque le toit repose sur le fond. Il a les mêmes fonctions que celles des événements décrites pour les événements dans les réservoirs à toit fixe.

- **Systèmes de joint:**

L'étanchéité entre le toit flottant et la robe du bac est assurée par des joints qui peuvent être réalisés de différentes manières:

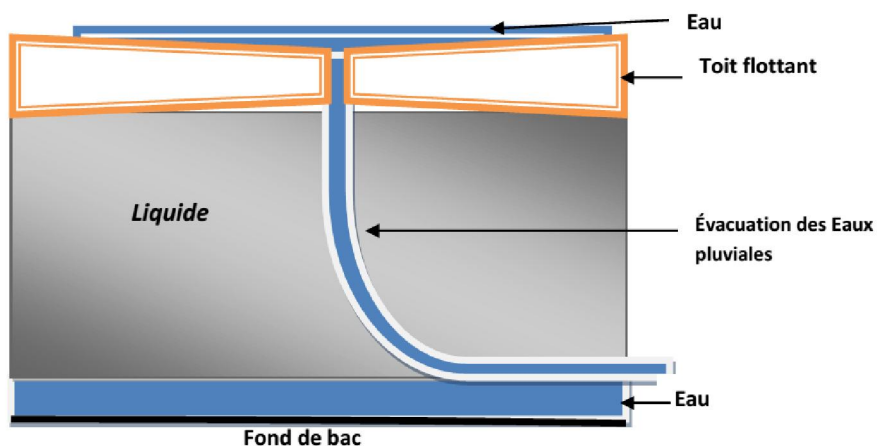
- **Joint mécanique :** Des patins d'acier viennent racler la paroi. L'étanchéité est réalisée par un joint élastomère flexible situé au-dessus du liquide et ne subissant pas de contrainte. Le joint est maintenu appliqué contre la paroi par un contre poids



**Joint liquide :** L'étanchéité entre la robe et le toit est maintenue par un "boudin" rempli de kérosène ou de gazole

- **Système d'évacuation des eaux de pluie :**

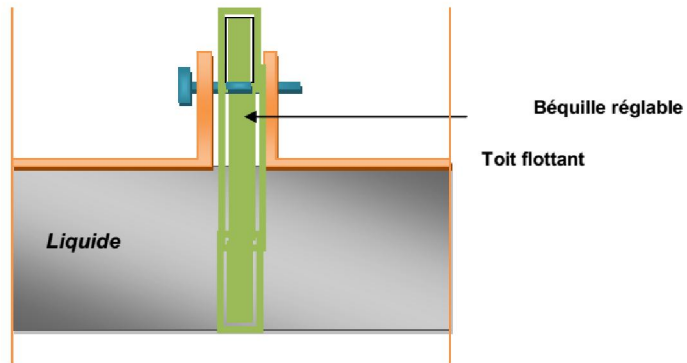
La pluie s'accumule au centre du toit et est évacuée à l'aide d'un tube articulé placé dans le réservoir pour être évacué par une prise de soutirage se trouvant dans le fond de la robe. De plus, en cas de bouchage de ce système, un drain de sécurité permet à l'eau de s'écouler dans le produit afin d'éviter que le toit coule.



- Béquille :

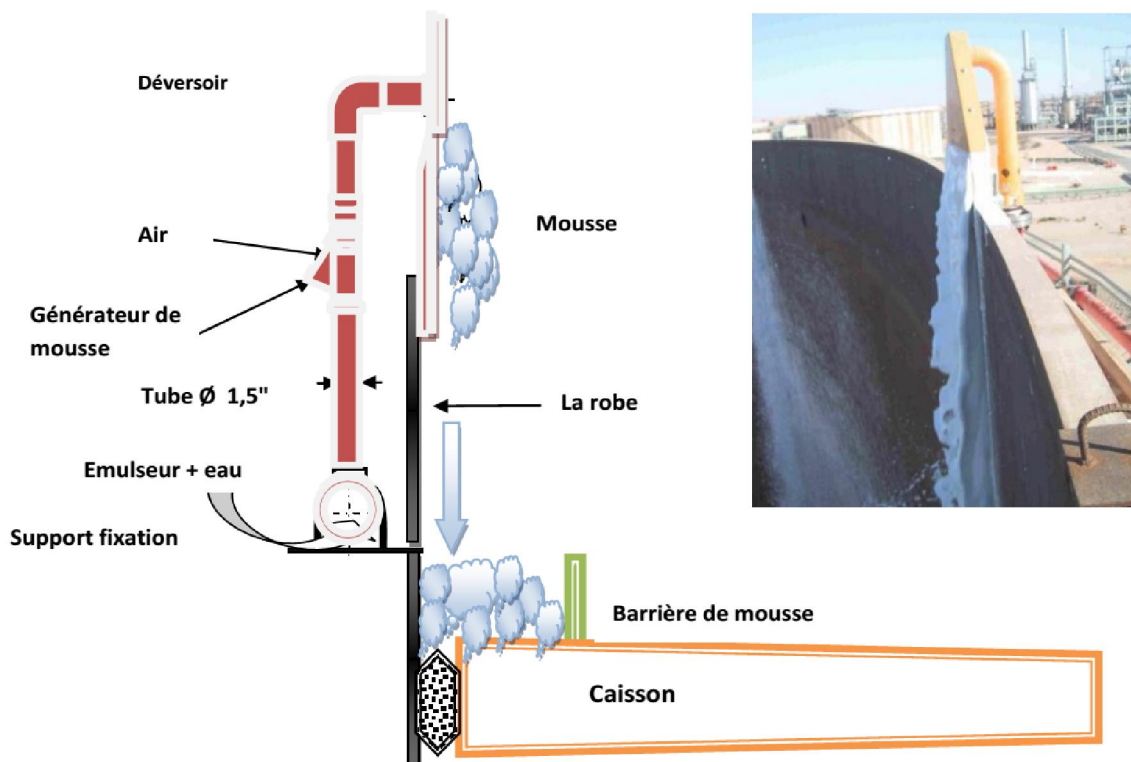
- Lorsque la hauteur du liquide ne permet plus de maintenir le toit en flottaison, son supportage est assuré par des béquilles. Les bacs peuvent comporter deux types de béquilles (on à citer un type):

- Les béquilles réglables (la hauteur de réglage est fonction des consignes d'exploitation)



-Déversoir d'injection de la mousse :

Injection à l'extérieur d'un bac à toit flottant, sur le joint d'étanchéité. Une couronne métallique soudée sur le toit permet de retenir la mousse sur la périphérie afin de recouvrir le joint



### 3-2-Autres types de réservoirs :

#### -Réservoirs sous pression :

##### - Les sphères :

Dans ce type de réservoir, et pour ce qui concerne les raffineries, sont stockés sous pression des produits sous phase liquide tels que le propane, le butane, ...Leur rayon est compris entre 5 et 10 m, pour un volume de 500 à 4500 m<sup>3</sup>. La masse stockée varie selon la densité de la phase de liquide de produit stocké. Pour une sphère de 1000 m<sup>3</sup> la masse varie de 400 t (propane) à 700 t (oxyde d'éthylène). L'épaisseur de la paroi est toujours supérieure à 10 mm. Ce réservoir doit résister à des pressions internes de 8-9 bars pour le butane jusqu'à 25 bars pour le propane.



##### -Les réservoirs horizontaux :

Ce type de réservoirs cylindriques est susceptible de stocker les mêmes produits que les sphères dont il vient d'être question. La majorité de ces réservoirs présente un diamètre de 1,5 m à 3 m, pour une longueur d'une dizaine de mètres, ce qui correspond à un volume compris entre 100 à 2 000 m<sup>3</sup>. Les plus longs réservoirs peuvent mesurer quelques dizaines de mètres. Les réservoirs horizontaux sont, dans le cas général, posés sur des berceaux. Il est possible de rencontrer des cas où ils sont ceinturés sur les berceaux.



## -Réservoirs atmosphériques

Les réservoirs atmosphériques représentent la très grande majorité du parc de réservoirs de grande capacité contenant des liquides inflammables. Ils présentent classiquement un grand diamètre et donc par voie de conséquence un élancement faible. Ils sont constitués d'une unique enveloppe ou d'une double enveloppe métallique. Ces réservoirs sont le plus souvent :

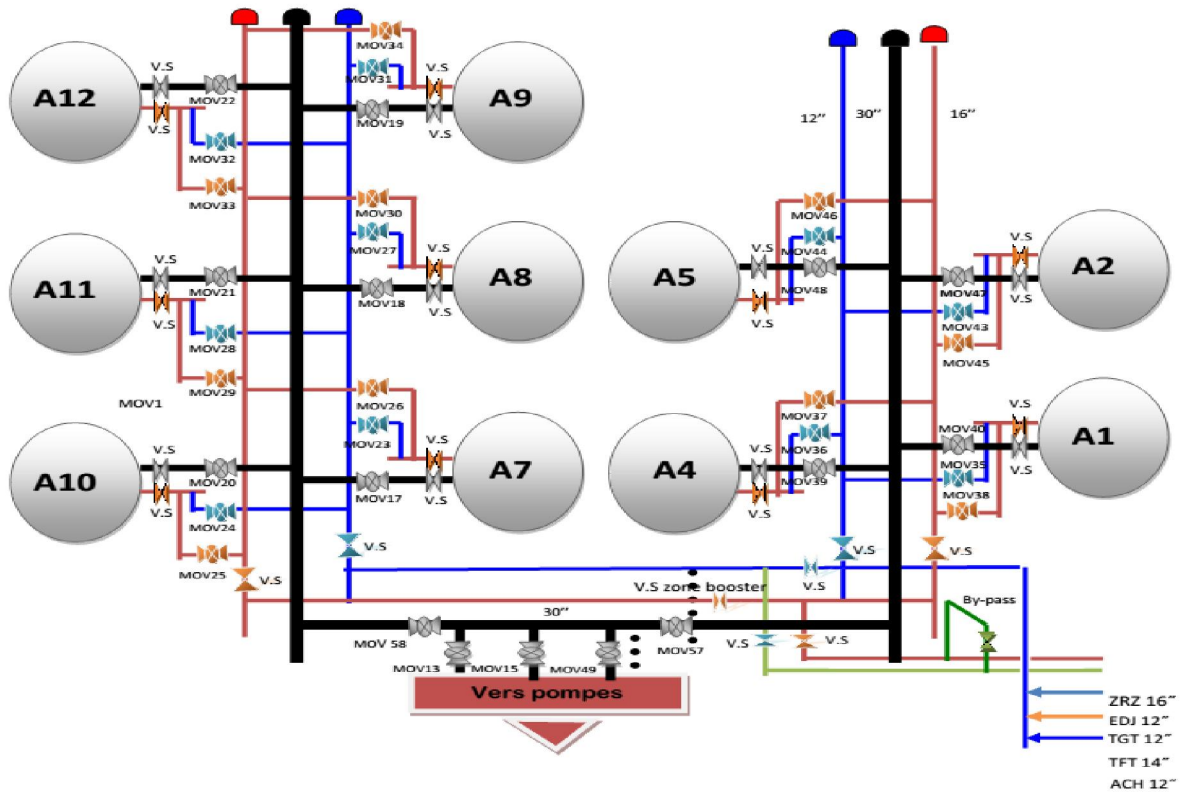
-**Métalliques**: leurs fonds, leurs robes et leurs toits sont en acier;

-**Verticaux** : leur axe de symétrie est vertical



Exemple pratique :

-Le Parc de stockage du terminal d'in-amenas :



## 4- Stockage du GNL :

### 4.1. But De l'unité de Stockage:

Le but de l'unité de stockage et expédition est d'assurer le bon stockage de GNL produit par le train de liquéfaction dans les bacs de stockages. En moyenne, un GNL a une masse volumique de l'ordre de 480 kg/m<sup>3</sup> et un pouvoir calorifique de 25 GJ. La grande volatilité représente un danger potentiel très important. La conception des réservoirs et de leur environnement est donc dominée par le problème de la sécurité. Celui-ci s'analyse en plusieurs aspects :

- **la sécurité passive** : consiste à concevoir le réservoir de stockage de manière à minimiser la probabilité des incidents et leurs conséquences. Ces incidents peuvent être de nature interne ou externe.
  - ✓ **interne** : risque de fuite, de choc thermique, de surpression, d'évaporation anormale et brutale, etc.
  - ✓ **externe** : incendie à l'extérieur du réservoir, séisme, chute d'objets volants, sabotage par arme à distance, sabotage par charge portative.
- **la sécurité active** : consiste à disposer de moyens de lutte contre les conséquences incidents: cuvettes de rétention en cas de fuite, dispositifs de lutte contre l'incendie, etc.

### 4.2. Caractéristiques Générales Des Réservoirs :

Un réservoir de stockage est déterminé par sa forme, ses dimensions géométriques qui déterminent notamment le volume contenu, sa pression et la température du produit stocké d'ailleurs liée à sa pression par la loi de vapeur saturante. La forme sphérique est la mieux adaptée à l'isolation, mais pour des capacités dépassant 15 à 20 000 m<sup>3</sup>, on a toujours recours à la forme cylindrique. Si l'on suppose (hypothèse grossière) que les échanges thermiques ont même intensité au m<sup>2</sup> sur la surface latérale, le fond et le toit, on démontre que la forme la plus favorable d'un réservoir cylindrique vérifie l'égalité : **Hauteur=Diamètre**

En fait, il est quelquefois difficile de réaliser cette condition, pour des raisons d'environnement ; il est fréquent que le rapport diamètre/hauteur soit supérieur à 1. La pression est toujours légèrement supérieure à la pression atmosphérique, de manière à éviter les rentrées d'air qui, avec la vapeur du GNL, provoqueraient des mélanges explosifs ; la surpression est de l'ordre de quelques dizaines de millibars. La température interne est celle correspondant à l'ébullition du produit ; elle est de l'ordre de -160°C. Un réservoir est donc toujours constitué de deux enveloppes séparées par une épaisseur importante de calorifuge. Malgré cette isolation, les apports calorifiques inévitables, en provenance de l'extérieur, se traduisent par une évaporation du produit, à température constante. La qualité de l'isolation se traduit donc par le taux d'évaporation, exprimé généralement en pourcentage par jour. Les réservoirs doivent satisfaire à des conditions de nature mécanique et de nature thermique ; ces deux types de conditions sont énumérés séparément ci-dessous, dans un but de clarification, mais en fait les problèmes mécanique et thermique sont intimement liés.

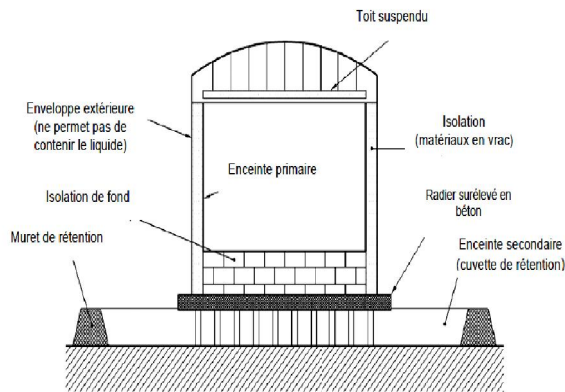


4.3. **Les différents types des réservoirs** : On distingue actuellement les principales variantes suivantes :

4.3.1. **Les réservoirs aériens à pression atmosphérique** : avec cuve interne "autoportante" (c'est-à-dire capable de contenir la charge hydrostatique du GNL) et avec cuve externe métallique ou d'autre nature se type est répartie en trois :

**a- réservoirs à simple intégrité ou à confinement simple :**

Les premiers réservoirs conçus pour le stockage de GNL étaient issus des pratiques des industries pétrolières, adaptées aux conditions cryogéniques particulières.



**Les réservoirs à simple intégrité – Cove Point aux USA.**

Un réservoir simple intégrité est composé de :

-une **cuve interne autoportante** qui contient directement le GNL, réalisée en matériau ductile à basse température (aluminium, acier inoxydable ou acier à 9% de nickel),

-une **isolation permettant de contrôler l'évaporation** du contenu liquide de la cuve interne réalisée en :

- matériau pulvérulent pour les parois latérales (nom commercial "perlite", fabriquée sur place par expansion de sable de silice),
- perlite ou laine de verre pour l'isolation haute,
- bloc de verre cellulaire (foam glass),

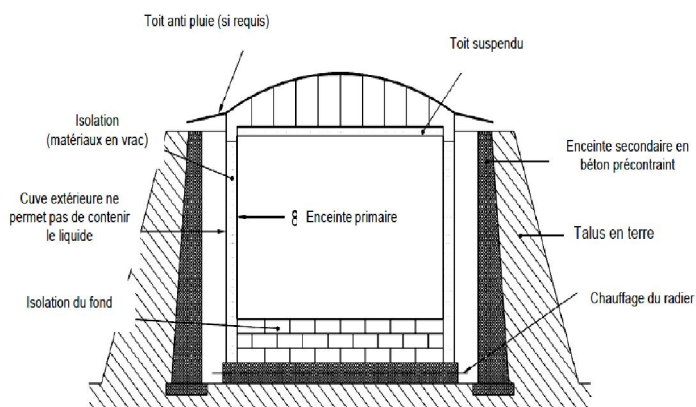
-une **cuve externe** remplissant trois fonctions :

- empêcher la pénétration d'eau provenant de l'extérieur vers la cuve interne,
- contenir l'isolation,
- être étanche au gaz d'évaporation produit par le liquide stocké.

**b- réservoir aérien a double intégrité ou confinement double :**

L'objectif de cette seconde technologie de réservoir était de diminuer les surfaces au sol de ces zones de stockage (directement par les cuvettes de rétention et indirectement par les distances d'effets consécutives à un accident majeur) tout en améliorant les conditions de sécurité (limiter les risques d'épandage de GNL suite à des agressions externes, diminuer les zones d'effets thermiques autour des réservoirs)...





### Les réservoirs à double intégrité

Pour assurer cette fonction de rétention du liquide, la principale modification apportée a été de rapprocher les cuvettes de rétention au plus près des réservoirs (réduisant la superficie) tout en garantissant la collecte de l'ensemble du contenu de l'enceinte primaire.

Les réservoirs à double intégrité sont composés de :

- une **enceinte primaire Auto-porteuse en acier spécial** (cryogénique- 9% Nickel) capable de contenir le liquide réfrigéré en conditions normales de fonctionnement (cf. réservoir à simple intégrité décrit dans le paragraphe ci-dessus) et comprenant une cuve interne, une isolation et une enveloppe externe,
- une **enceinte secondaire** (structure supplémentaire) autour de ce réservoir constituée d'un talus ou d'une cuve en **matériaux résistants aux conditions cryogéniques** (béton, acier cryogénique), conçue pour retenir tout le liquide contenu dans la cuve primaire, en cas de fuites, et placée à proche distance de la cuve primaire.

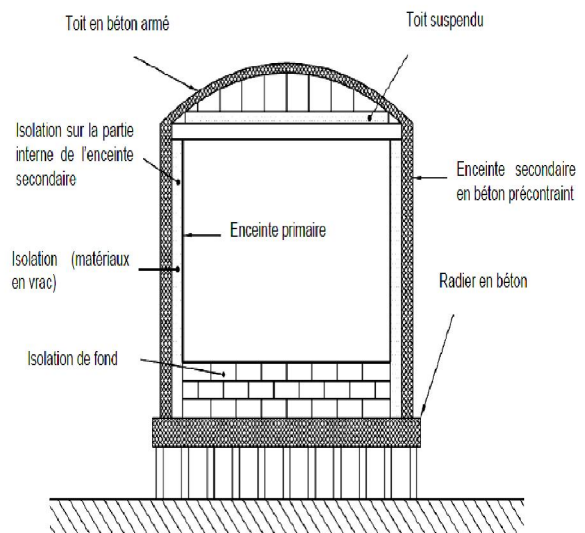
La cuve secondaire est du type à toit ouvert et ne peut donc nullement retenir les vapeurs émises par le produit. L'espace compris entre les cuves primaire et secondaire peut être couvert par « un écran anti-pluie » assurant la protection contre les intempéries (pluie, neige), l'infiltration d'impuretés, etc. Il est à noter que les réservoirs à double intégrité ne possèdent pas de cuvette de rétention supplémentaire autour de la cuve extérieure car cette fonction est assurée par l'enceinte secondaire. Ainsi, la zone d'effets thermiques se trouve considérablement réduite.

#### c- réservoir aérien à intégrité totale :

La troisième évolution a consisté à intégrer au réservoir lui-même une cuve externe, résistant aux conditions cryogéniques, permettant de protéger le contenu de la cuve interne contre une agression extérieure, de contenir le volume de GNL stocké, de fournir une étanchéité pour les liquides et de confiner les vapeurs de GNL. Ce sont les réservoirs à intégrité totale.

La principale évolution du **réservoir à intégrité totale** réside dans l'intégration d'une enceinte en béton armé précontraint, directement liée et construite sur la base du réservoir couronnée d'un dôme d'acier et de béton armé. Ces réservoirs sont composés de:

- une **enceinte primaire auto-porteuse en acier spécial** (cryogénique – 9% Nickel) capable de contenir le liquide réfrigéré en conditions normales de fonctionnement,
- une **isolation** identique aux technologies précédentes,
- une **enceinte secondaire auto-porteuse en béton armé précontraint** pourvue d'un dôme hémisphérique capable d'assurer les fonctions suivantes :
  - En service normal :
    - contenir les vapeurs émises du réservoir et maintenir l'isolation de la cuve primaire,
    - éviter la perte de capacité de confinement à la suite d'un scénario accidentel résultant d'une agression extérieure (impact, feu...).
  - En fonctionnement dégradé (cas de fuite de l'enceinte primaire) :
    - Contenir la totalité du liquide réfrigéré,
    - Contrôler l'évacuation de la vapeur provenant de cette fuite et ce sans que la capacité structurelle contenant la vapeur ne soit affectée. La mise à l'air libre des vapeurs est autorisée mais elle doit être contrôlée (système de décharge).



### Les réservoirs à intégrité totale

4.3.2. **Réservoirs aériens dits à "membrane"**: où sont appliquées les techniques de cuves des navires méthaniers. La cuve interne est soit métallique en tôle mince, soit en matière plastique mince et elle ne joue qu'un rôle d'étanchéité, la charge hydrostatique du liquide étant reportée, par l'intermédiaire de l'isolation, sur la cuve externe construite en béton précontraint



Réservoir à membrane – Pyeong Taek en Corée

#### 4.3.3. Réservoirs enterrés et semi-enterrés:

Cette conception a été développée, pour les réservoirs enterrés, au Japon par Tokyo Gas Engineering (TGE) au début des années 1970 puis reprise par la suite par d'autres industries gazières japonaises. Elle combine deux techniques : la membrane (basée sur un développement de la technologie TECHNIGAZ) et la technique d'une cuve en béton semi-enterrée. Les trois principales raisons associées à cette dominance de technologie de réservoir sont liées à l'environnement industriel présent sur le pays :

- L'exiguïté des surfaces disponibles,
- La proximité des villes par rapport aux sites industriels,
- Le risque de tremblement de terre.



Réservoir semi-enterré



Réservoir enterré

Le système de confinement est très similaire à celui décrit précédemment :

- Une membrane en acier inoxydable en tôles ondulées soudées entre elles. La principale différence est l'épaisseur de la membrane légèrement supérieure par rapport à celle de la technologie TECHNIGAZ,

- Des panneaux d'isolation du type mousse de polyuréthane,
- Un toit suspendu à la coupole en acier carbone,
- Une structure en béton,

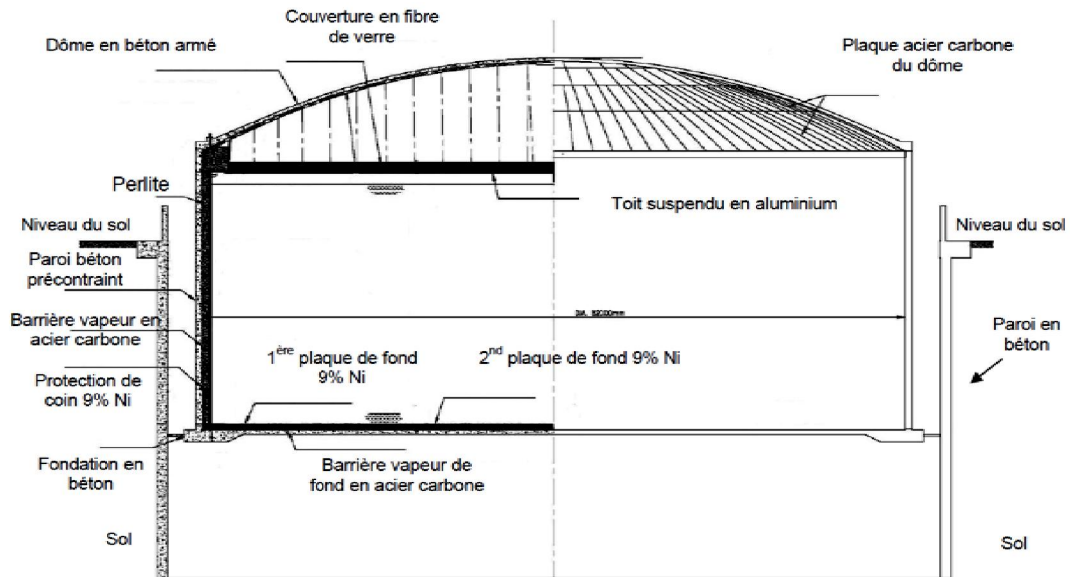


Schéma du réservoir enterré

- **Références du chapitre :**  
M. KARDACHE & A. LOUNIS, Stockage des hydrocarbures, 1<sup>ère</sup> Partie, Département Mécanique Pétrolière et Transport des HC, Ecole d'Arzew, IAP, février 2015  
I. KARA, PFE Master TDH-DpT G. Transports, Université constantine1, 2016-2017