



Stockage et transport des produits pétroliers

Présenté par : M. AISSAT
Année 2023/2024



INTRODUCTION

Le présent cours s'adresse aux étudiants en deuxième année Master Genie de Raffinage, filière Industries pétrochimiques.

Les produits pétroliers, qu'il s'agisse de l'essence, du diesel, du fioul, du kérosène ou d'autres dérivés, jouent un rôle essentiel dans notre vie quotidienne et dans l'économie mondiale. La demande croissante de ces produits impose des défis considérables en matière de gestion, de sécurité et de durabilité dans l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement, depuis leur production jusqu'à leur utilisation finale.

Ce cours, exploite les aspects fondamentaux du stockage et du transport des produits pétroliers. Nous examinerons les différentes méthodes et technologies utilisées pour stocker ces ressources précieuses en toute sécurité, tout en garantissant leur disponibilité constante sur le marché. De plus, nous aborderons les systèmes de transport qui permettent de déplacer ces produits sur de longues distances, du lieu de production aux points de distribution et aux consommateurs finaux.

Chapitre I : Stockage d'hydrocarbures liquides et liquéfiés

Chapitre II : L'isolation dans les réservoirs de stockage d'hydrocarbures

Chapitre III : Transport d'hydrocarbures liquides et liquéfiés.

Cours N° : 01

Le Stockage : Introduction

Le stockage

Les techniques de stockage subissent, tout au long de la chaîne qui va de la production à la consommation, à emmagasiner le plus économiquement possible toutes sortes de produits: gaz, à l'état gazeux ou liquéfié, aux températures normales ou cryogéniques; liquides, à température ambiante ou réchauffés (fuels lourds).



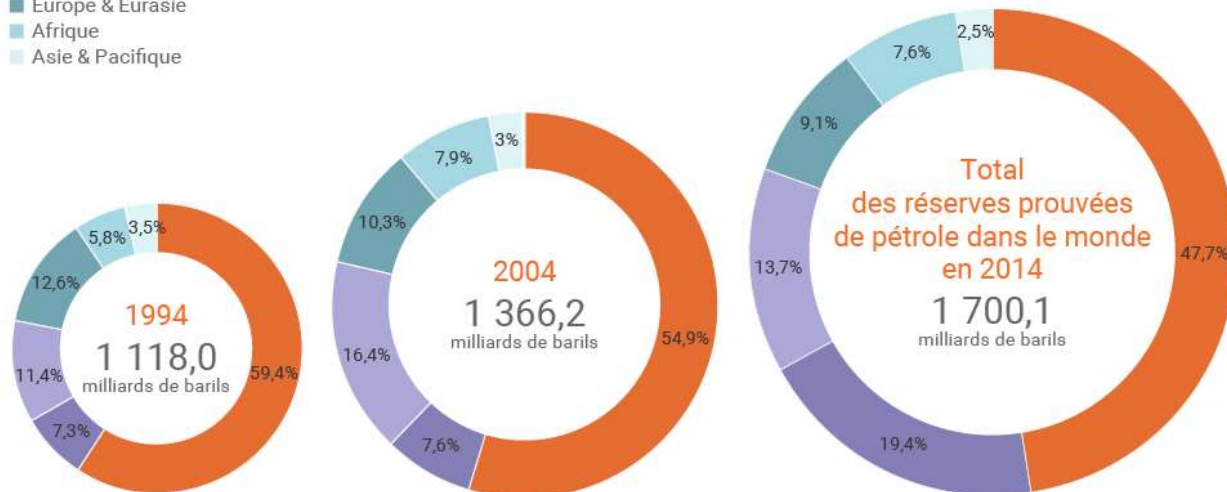
Le Stockage : Introduction

Poids économique de la fonction de stockage

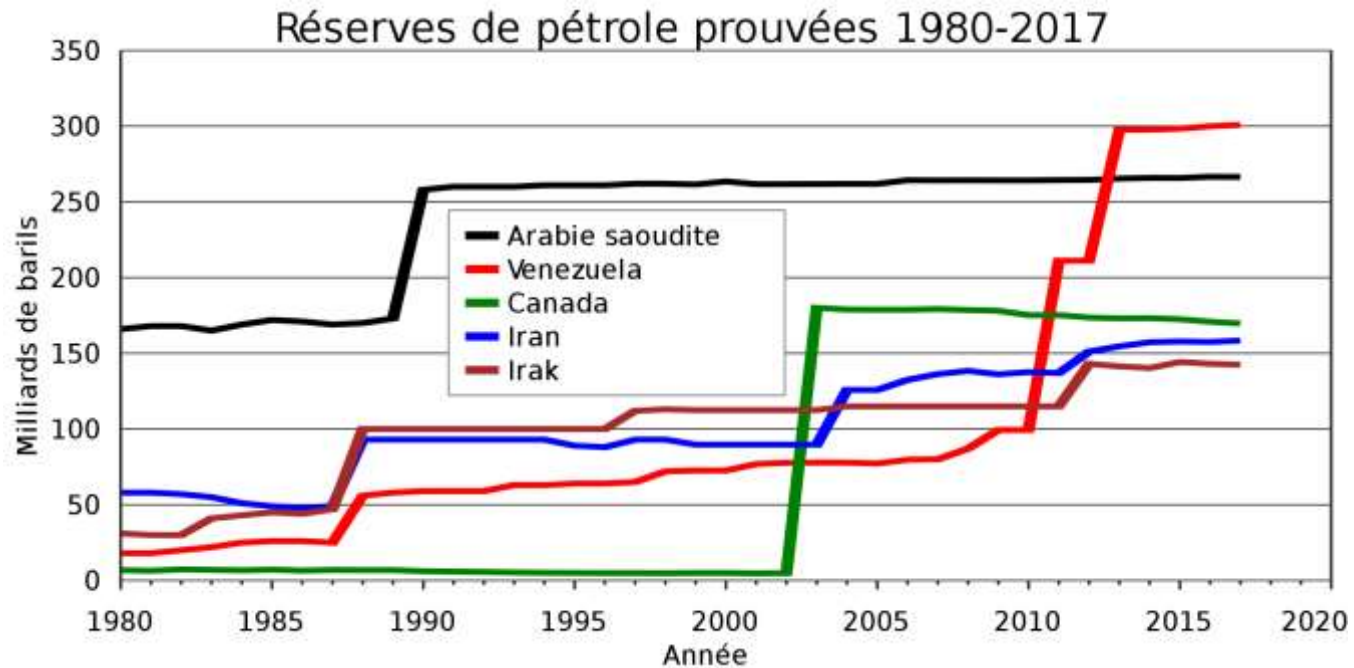
Pour celles dont la production nationale ne couvre qu'une faible partie des besoins (Europe occidentale), ou dont la dépendance des importations est quasi totale, il s'est fortement accru par la nécessité vitale de protéger leur économie contre les crises d'approvisionnement en créant d'énormes réserves.

Répartitions des réserves prouvées de pétrole en 1994, 2004 et 2014 (en %)

- Moyen-Orient
- Amérique du Sud & Centrale
- Amérique du Nord
- Europe & Eurasie
- Afrique
- Asie & Pacifique



Il en est de même aux États-Unis, où la création de leur Strategic Program of Reserves (SPR), L'évolution relative du prix du pétrole brut et du stockage entre 1973 et 1981 a donné un poids économique .



Les fonctions du stockage

Stocker le pétrole répond à un impératif économique. On ne peut imaginer une chaîne allant de la tête de puits sur les champs producteurs à la pompe à essence du consommateur sans stockages régulateurs.

les fluctuations de la demande sont nombreuses et entraînent des pointes de consommation: journalières, notamment pour les combustibles à usage domestique (gaz, fuels)



Les fonctions du stockage

le coût du mètre cube de pétrole est devenu environ deux fois celui du mètre cube de réservoir;

- les approvisionnements ont acquis un coût politique; la possession de stockages importants demeure un atout précieux face à des crises énergétiques soudaines, telle la guerre du Golfe.

La possession de stockages importants constitue un atout indispensable dans un monde en pleine turbulence énergétique.



Différents types de stockage Stockages aériens

Selon les produits à stocker, on distingue plusieurs types de réservoirs:
Pour les gaz, les gazomètres fonctionnant à une pression voisine de la pression atmosphérique.



Pour les gaz de pétrole liquéfiés (G.P.L.) tels le butane et le propane, on distingue les réservoirs sphériques Ou cylindriques horizontaux fonctionnant à la température ambiante où les produits, liquéfiés sous pression, sont en équilibre avec leur pression de vapeur . Ces réservoirs exigent des parois de forte épaisseur, ce qui, pour des raisons technologiques, limite leur volume à 6 000 m³ environ.



. Les réservoirs à toit flottant suppriment la pollution atmosphérique: le toit flottant, reposant directement sur le liquide, suit tous ses déplacements; constitué d'un voile d'acier raidi à sa périphérie et muni d'un joint d'étanchéité, il peut être externe ou interne ; dans ce dernier cas, il est protégé par un toit fixe, conique ou sphérique, selon le diamètre, dont le rôle est de garantir les produits contre les agents atmosphériques



réservoir à toit flottant

Les réservoirs non métalliques sont habituellement construits à partir de matériaux plastiques. Ceux-ci ont l'avantage d'être non-corrodant, durable, à faible coût et léger. Probablement le type le plus commun utilisé est le réservoir en plastique renforcé de fibre de verre (FRP).



Les réservoirs en PRF conviennent aux applications extérieures et intérieures. Les limites de température des réservoirs en plastique sont d'environ 40 à 150 ° F. certains exploitants interdisent l'utilisation de citernes en plastique dans les services d'hydrocarbures.



Tel:0086-010-87587386

Email: yana@bjzlrfrp.com

La couleur doit être ajoutée à la doublure extérieure pour la protection contre le rayonnement ultraviolet. La doublure intérieure doit être sélectionnée pour la compatibilité avec le produit stocké.



Réservoirs atmosphériques Généralités

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

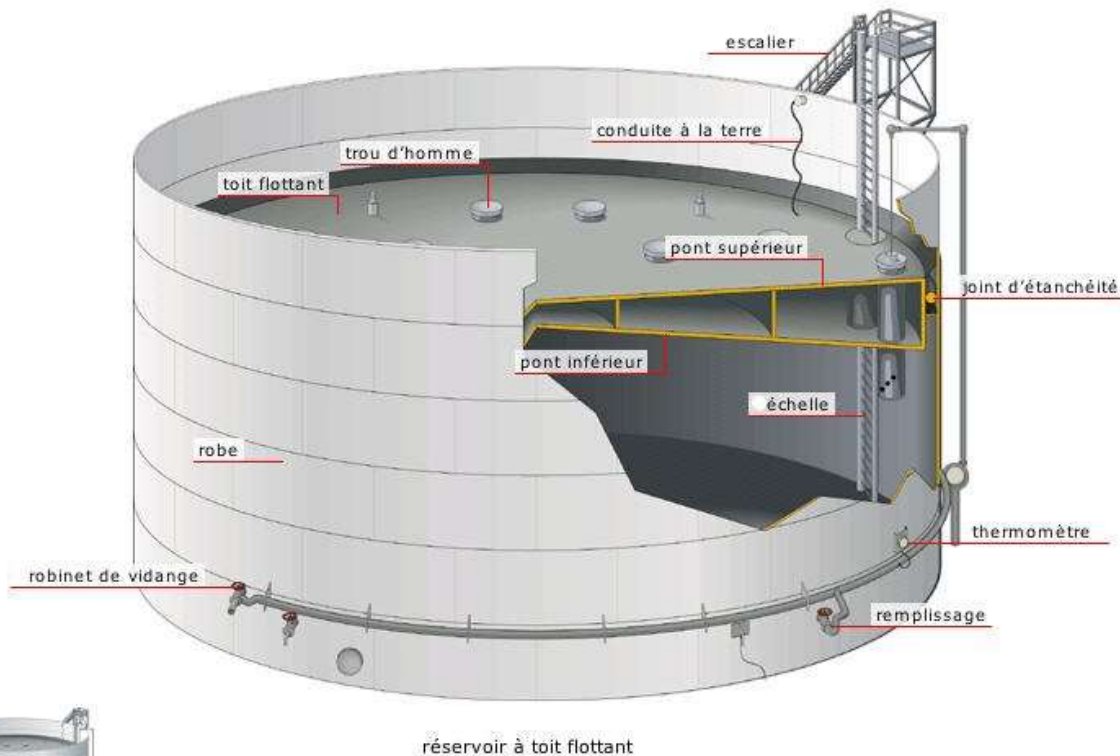
Les cuves ouvertes ne comportent pas de toit et leur emploi est limité aux quelques liquides que l'on peut, sans danger, pour leur qualité ou pour l'environnement, exposer à l'air libre.



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



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



Cours N° : 02

La capacité maximale de ces réservoirs atmosphériques peut être très importante. Elle est seulement limitée par la hauteur et le diamètre qu'il est possible de réaliser. **Le choix de la hauteur est lié à la nature du terrain car les réservoirs reposent sur le sol.**



A partir des règles de calcul définies par le Code français de construction des réservoirs de stockage (CODRES) et en considérant une robe de 45 mm d'épaisseur en partie basse, réalisée en acier, on obtient les capacités maximales citées dans le tableau 1.

La réalisation de capacités aussi importantes n'est pas rare, en particulier sur les champs de production de pétrole brut.



Tableau 1 - Capacités maximales déterminées à partir des règles du CODRES, avec une épaisseur de robe en acier de 45 mm

Hauteur de la robe	Volume et diamètre approximatifs	
	Re = 315 N/mm ² (1)	Re = 335 N/mm ² (1)
14 m	215 000 m ³ ($\varnothing = 140$ m)	245 000 m ³ ($\varnothing = 150$ m)
20 m	155 000 m ³ ($\varnothing = 100$ m)	175 000 m ³ ($\varnothing = 105$ m)
22 m	140 000 m ³ ($\varnothing = 90$ m)	155 000 m ³ ($\varnothing = 95$ m)

(1) Re limite d'élasticité minimale de l'acier.

Le stockage massif des liquides, pour les différents produits s'effectue principalement dans des réservoirs métalliques, reposant sur le sol (réservoirs aériens).

. Au Moyen-Orient, il existe des réservoirs de 240 000 m³.



1. Volatilité des produits stockés

La gamme des produits industriels stockés est très différentes. Ils peuvent être stables, volatils, neutres, toxiques, corrosifs, inflammables, etc.

Dans la plupart des cas, ils sont considérés comme des produits dangereux pour l'environnement.

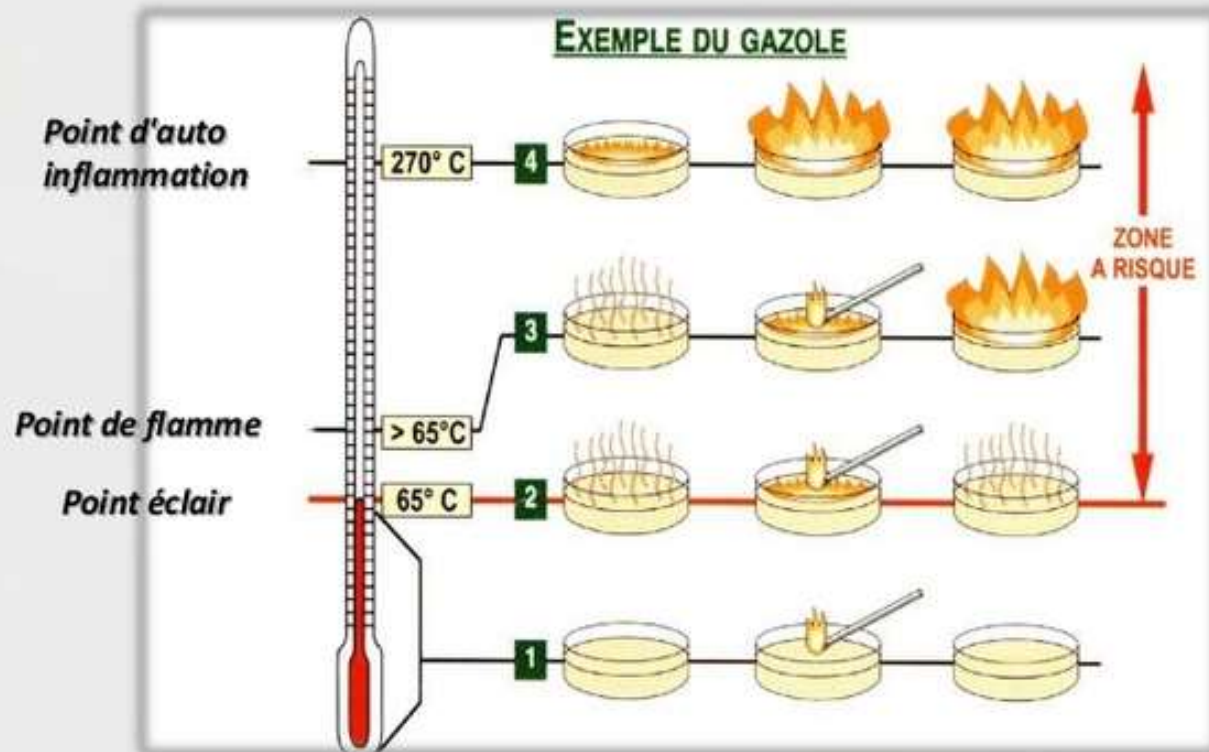
De toutes ces propriétés qui caractérisent ces produits, l'essentiel de tout est de bien cerner : le degré de volatilité du liquide à la température de stockage, dont va dépendre la quantité de vapeur émise à la surface du liquide stocké. C'est à partir de cette propriété que l'on définit le type de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



Pour les produits moins volatils, tels que les solvants, les pétroles (kérosène, carburacteur), les fuels, les gazoles, etc., on se réfère au point d'éclair. Celui-ci est défini par un essai qui consiste à chauffer dans un creus et un échantillon du produit pour obtenir un début de vaporisation, repéré par une légère explosion provoquée par une flamme. Le point d'éclair est la température à laquelle se produit cette explosion.



Cours N° : 03

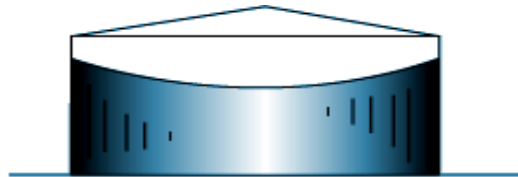
Configuration des réservoirs de stockage

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.

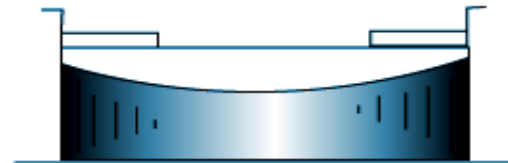
- **Toit flottant:**
Généralement utilisé pour les réservoirs contenant des produits volatils.



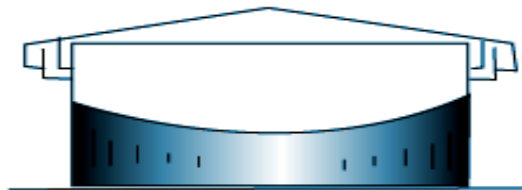
La configuration d'un réservoir dépend de deux impératifs essentiels :
-la conservation du produit en limitant ou en interdisant les évaporations
-la tenue de la structure à la pression interne pour faciliter l'exploitation.



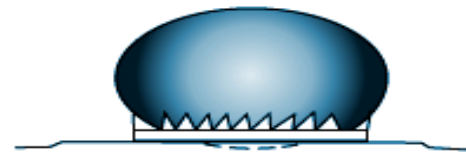
RÉSERVOIR ORDINAIRE À TOIT CONIQUE



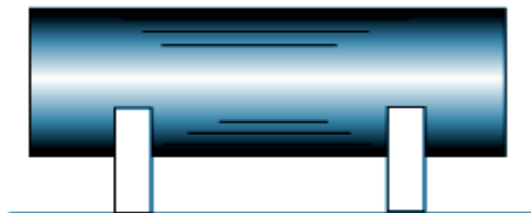
RÉSERVOIR À TOIT FLOTTANT
Le toit repose sur le liquide, montant et descendant avec les changements de niveau



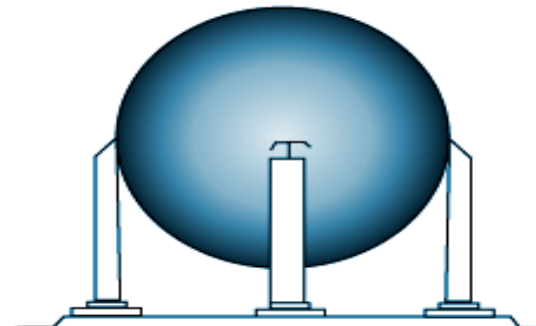
RÉSERVOIR À TOIT RESPIRANT
Le toit à joint thydraulique monte et descend avec les changements de volume des vapeurs



SPHÉRIQUE



RÉSERVOIR HORIZONTAL



SPHÈRE

La forme cylindrique est la plus courante en raison de sa simplicité de mise en œuvre 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.



Réservoirs cylindriques verticaux

ils reposent directement sur le sol ou sur une fondation plate. Ils sont habituellement équipés soit d'un toit fixe conique ou sphérique, soit d'un toit flottant qui repose sur le liquide et coulisse dans le piston formé par la robe du réservoir. Dans quelques cas assez rares, ces réservoirs sont de simples cuves à ciel ouvert.



Lorsque ces réservoirs doivent supporter une légère pression, leur toit est généralement de forme sphérique et leur fond en périphérie peut être ancré sur une fondation circulaire en béton.



Réservoirs cylindriques horizontaux

Souvent désignés par ballons, ils sont installés au-dessus du sol sur des berceaux supports. Leurs extrémités sont terminées par des fonds emboutis hémisphériques, torisphériques ou elliptiques. Ces récipients sont destinés aux stockages sous forte pression, mais leur emploi est limité en général à de faibles capacités.



Ces stockages reposent le plus souvent directement sur le sol, sans fondation spéciale et sans berceau. Après construction, ils sont entièrement enfouis sous une couche de terre de l'ordre du mètre qui constitue une protection autour de l'ouvrage en cas d'incendie ou d'explosion à proximité.



Réservoirs sphériques

Appelés aussi sphères, ils sont généralement supportés par des poteaux disposés au niveau de l'équateur ou, quelquefois, par une jupe métallique ou un massif de béton placé sous l'hémisphère inférieur. Ces ouvrages sont parfaitement adaptés aux stockages sous forte pression et permettent la réalisation économique de grandes capacités.



Réservoirs sphéroïdaux

Ils sont le plus souvent appelés sphéroïdes. Pour certains produits sous pression moyenne, on peut recourir à des formes sphéroïdales dont la partie inférieure repose directement sur le sol préalablement préparé pour épouser la forme du réservoir. Cette formule de stockage n'est cependant pratiquement plus employée en raison du faible intérêt économique qu'elle présente en regard des difficultés de construction.



Cours N° : 04

Modes de stockage

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.



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'ambiante 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 à
température ambiante (stockage libre).



Trois modes de stockage peuvent être envisagés :

- le stockage sous pleine pression à température ambiante, (stockage libre) ;
- le stockage semi-réfrigéré sous pression et température réduites (stockage à température contrôlée) ;
- le stockage réfrigéré ou cryogénique sous pression atmosphérique et à température d'ébullition (stockage à température contrôlée).

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

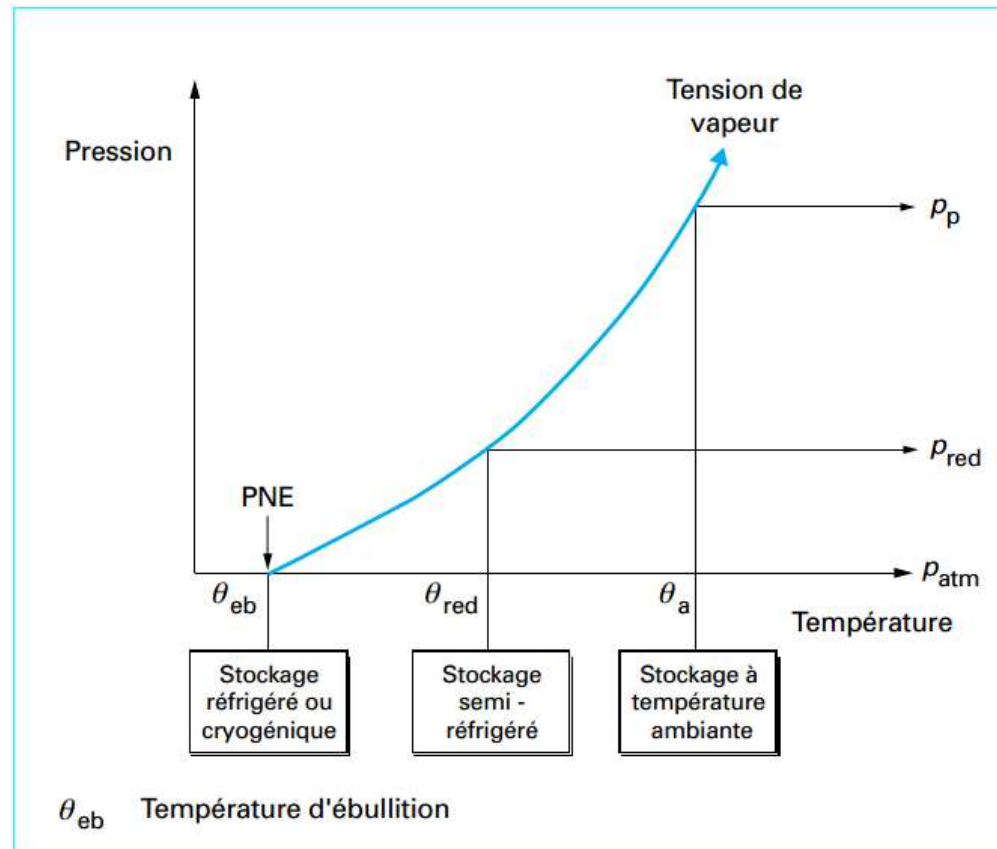


Figure 1 – Les trois modes de stockage pour des liquides avec point normal d'ébullition (PNE) inférieur à la température ambiante

Tableau 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 °C) $\theta = \theta_a$ ambiante	gazoles, fuels, huiles, bitumes, asphaltes, etc.	Réservoirs à toit fixe
		$0,1$ bar $< p < 0,75$ bar (point d'éclair ≤ 55 °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	$p = p_p < 1,5$ bar $\theta = \theta_a$ ambiante	essences légères, pentane, etc.	Réservoirs à toit fixe ancré ou avec fond sphérique
	sous forte pression	$1,5$ bar $< p = p_p < 3$ bar $\theta = \theta_a$ ambiante	essences légères, pentane, isopentane, etc.	Sphéroïdes
		$1,5$ bar $< p = p_p < 30$ 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)	$p_{atm} < p = p_{red} < 30$ bar 0 °C $> \theta = \theta_{red} > -30$ °C	propane, propylène, ammoniac, chlore, dioxyde de carbone, éthane, éthylène, etc.	Ballons et sphères à simple paroi avec isolation
	réfrigéré (au PNE)	$p = p_{atm}$ $\theta = \theta_{eb} > -60$ °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 °C $> \theta = \theta_{eb} > -200$ °C	éthane, éthylène, méthane, air, oxygène, azote, argon, etc.	Réservoirs à double paroi avec isolation renforcée
		$p = p_{atm}$ -200 °C $> \theta = \theta_{eb} > -273$ °C	hydrogène, hélium, etc.	Réservoirs à double paroi avec isolation sous vide

Qualités des aciers utilisés

Stockages à température ambiante

Réservoirs atmosphériques Réservoirs sous faible et forte pressions

Les aciers utilisés sont généralement choisis parmi ceux couverts par les normes suivantes :

Les aciers de construction (réservoirs atmosphériques et sous faible pression)



Stockages à température contrôlée.

Réservoirs réfrigérés et cryogéniques

On emploie pour les stockages semi-réfrigérés et réfrigérés des aciers au carbone non alliés ou faiblement alliés au nickel. Ce sont des aciers normalisés au carbone-manganèse calmés au silicium qui peuvent comporter une addition de nickel (0,5 %). Leur emploi est limité à des températures supérieures à $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Pour les stockages cryogéniques, on utilise des aciers alliés au nickel du type trempés. Ce sont principalement des aciers à 5 % de nickel jusqu'à -120 ou -140 °C selon les normes employées, et à 9 % de nickel jusqu'à -200 °C. Pour des températures plus basses et jusqu'au voisinage du zéro absolu, on a recours à des aciers inoxydables.



Réservoirs métalliques stockage des liquides à température ambiante

INTRODUCTION : Les réservoirs de stockage à température ambiante constituent la presque totalité des capacités qui forment les parcs de stockage, ils représentent la solution logique et naturelle pour stocker les liquides :

les produits sont conservés dans l'état physique où la température du site les maintient.

Dans cette situation et en fonction de leur degré de volatilité, une pression de vapeur plus ou moins importante s'établit au-dessus du liquide et on peut alors mettre en œuvre des réservoirs atmosphériques.



Si, au contraire, cette pression de vapeur est supérieure à la pression atmosphérique, la capacité de stockage est soumise à une pression interne. C'est toujours le cas pour les liquides dont la température au point normal d'ébullition est inférieure à la température ambiante. Pour ces produits, il est alors nécessaire de s'orienter vers des réservoirs sous pression, étudiés et conçus pour résister à cette contrainte.



Cours N° : 05

1. Réservoirs atmosphériques

1.1 Généralités

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

Les cuves ouvertes (figure 1a) ne comportent pas de toit et leur emploi est limité aux quelques liquides que l'on peut, sans danger, pour leur qualité ou pour l'environnement, exposer à l'air libre.

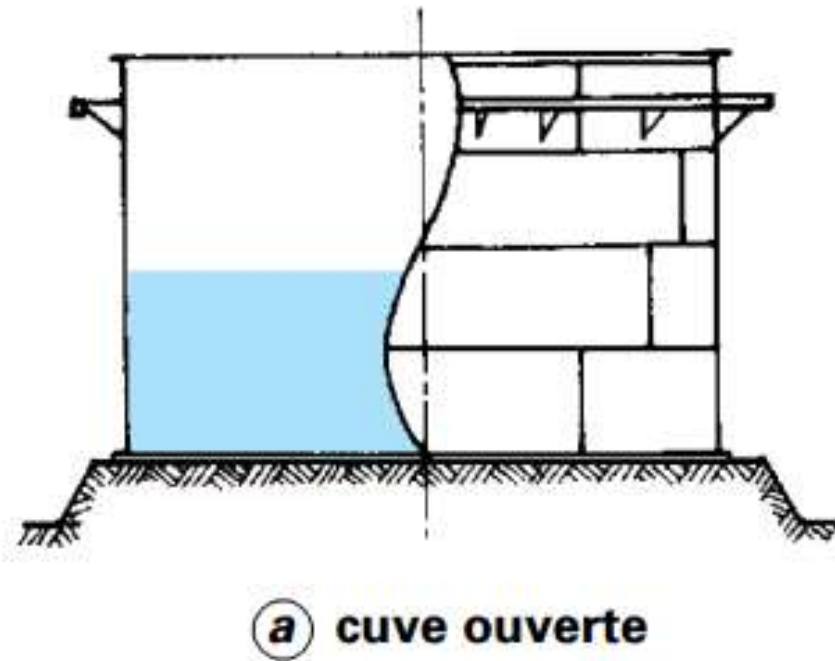
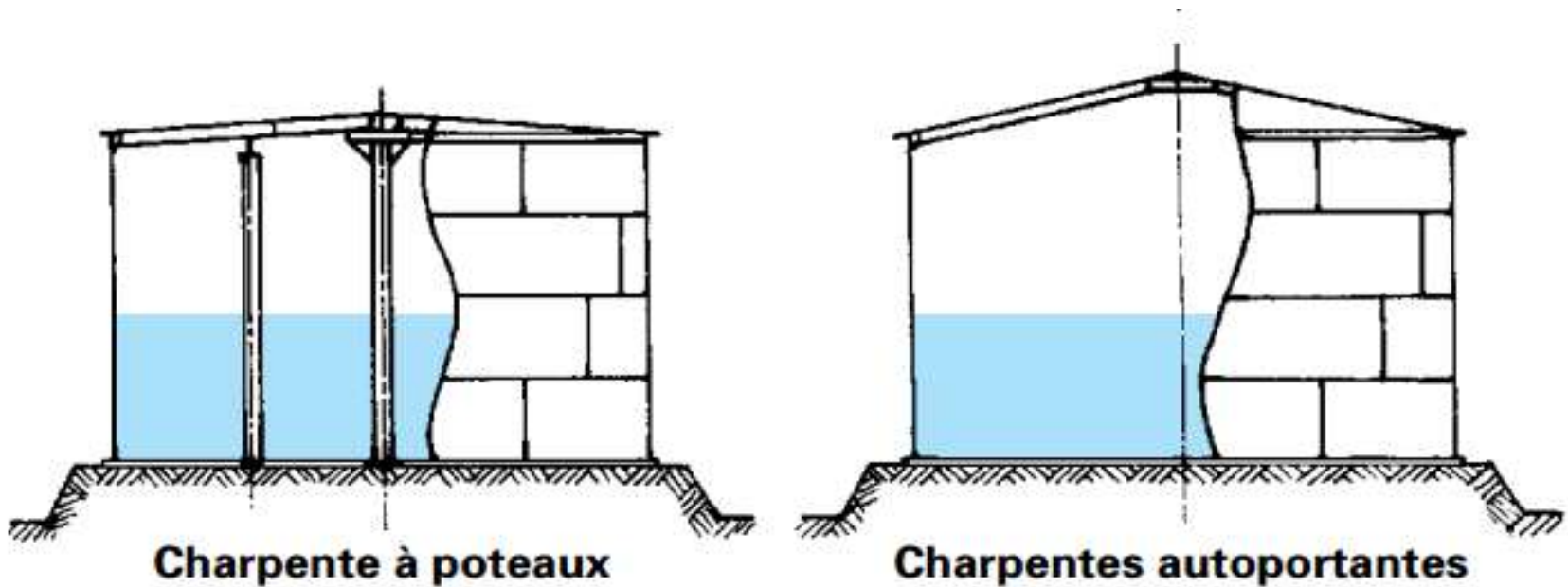


Figure 1 – Réservoirs atmosphériques

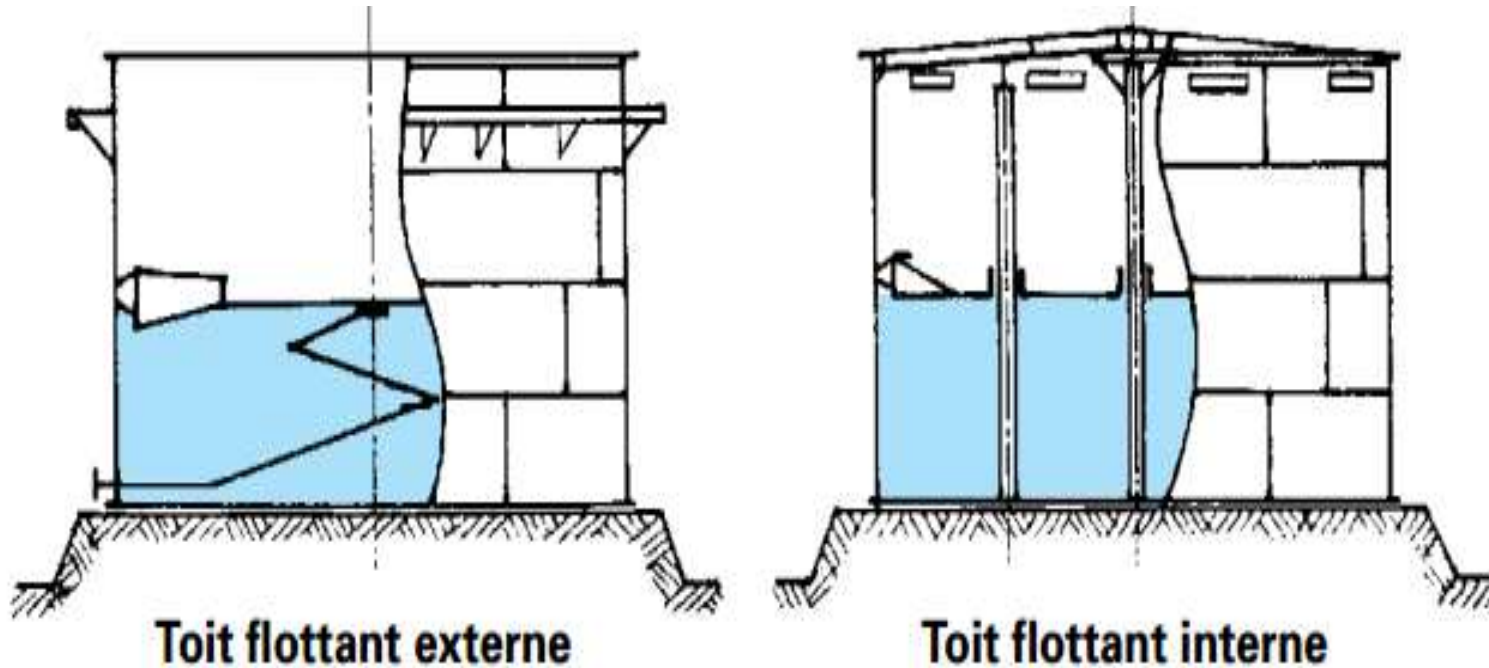
Les réservoirs à toit fixe (figure 1b) sont pourvus d'un toit et permettent donc une meilleure conservation des liquides volatils, dangereux ou polluants.



(b) réservoirs à toit fixe

Figure 1 - Réservoirs atmosphériques

Les réservoirs à toit flottant(figure 1c) comprennent une structure flottante, directement posée sur le liquide, que l'on installe soit dans une cuve ouverte, soit dans un réservoir à toit fixe. Ces réservoirs, en raison de leur remarquable capacité à réduire les évaporations, sont réservés au stockage des produits les plus volatils.



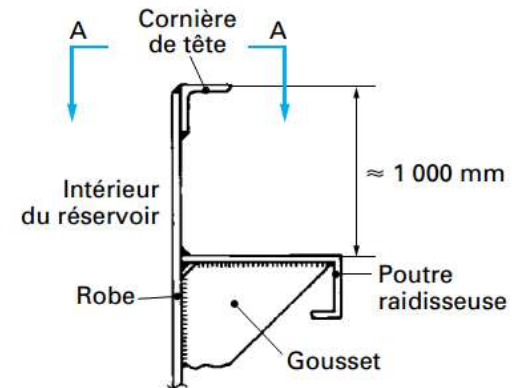
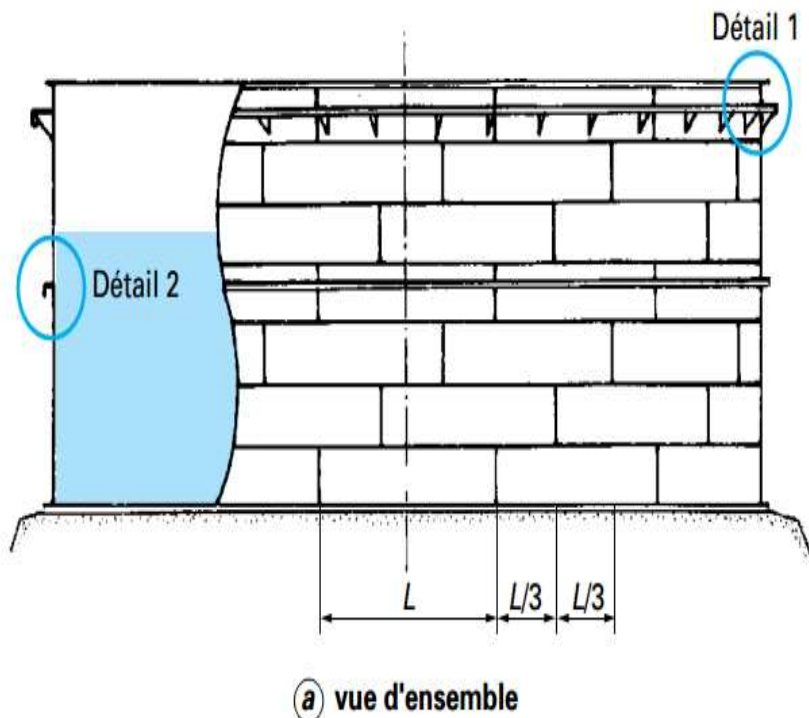
© réservoirs à toit flottant

Figure 1 - Réservoirs atmosphériques

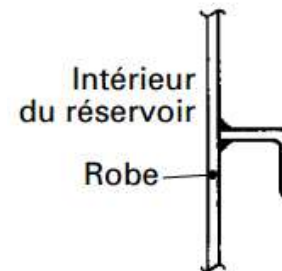
1.2 Cuve ouverte

Destiné au stockage d'eau incendie ou d'eau industrielle. Il ne convient pas pour le stockage d'eau potable, de produits pétroliers volatils ou de produits émettant des vapeurs polluantes.

Ces cuves ouvertes sont constituées essentiellement **d'un fond, d'une robe et d'une poutre raidisseuse** au sommet de la robe (figure 3).



(b) détail 1 : poutre raidisseuse



(c) détail 2 : raidisseur intermédiaire

Fond

Il a une fonction principale d'étanchéité et assure le transfert de la charge verticale, produite par le liquide stocké, sur la fondation. Le fond peut être plat ou légèrement conique avec une pente au moins égale à 0,2 % orientée vers le haut ou vers le bas. Cette pente facilite l'élimination des dépôts en fond de bac.

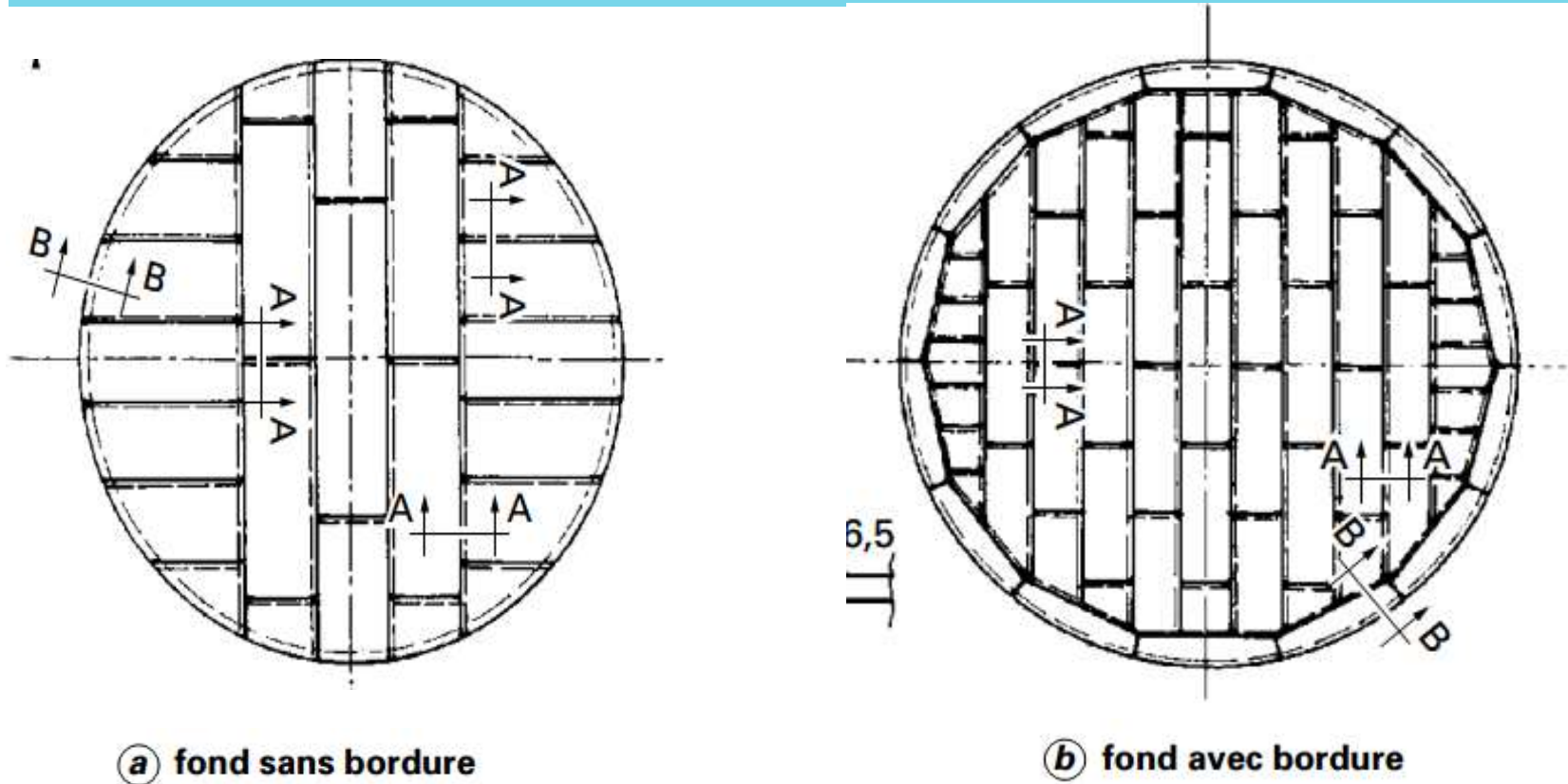
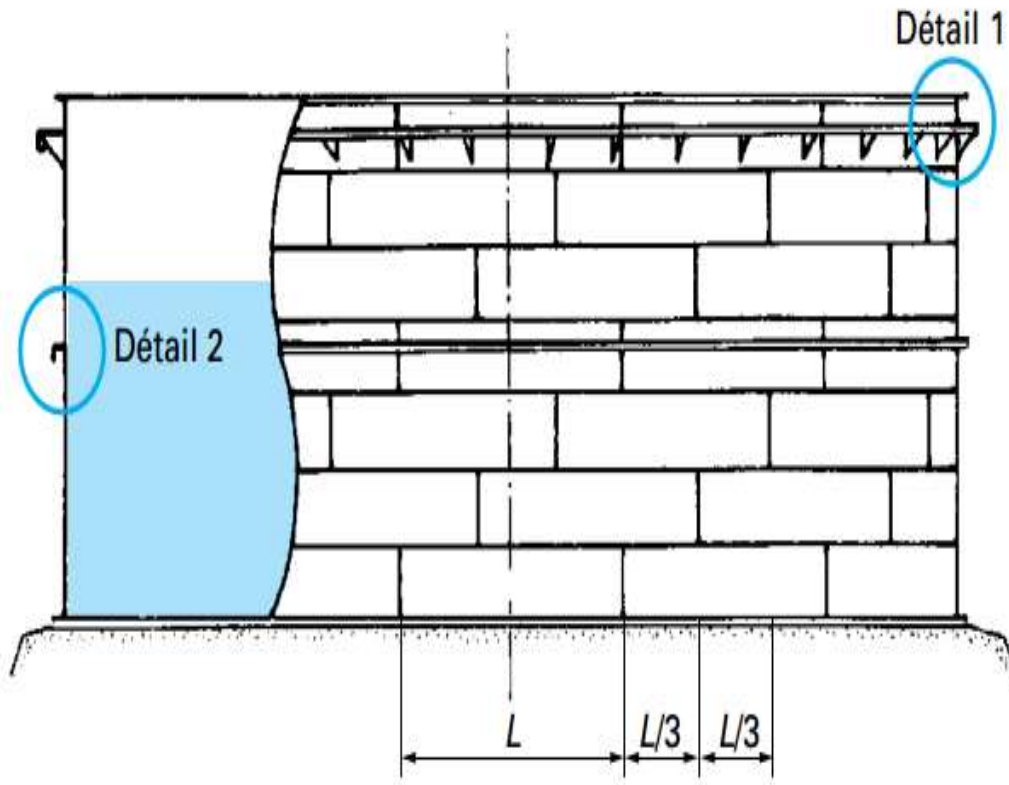


Figure 2 – Fond de réservoir : exemples

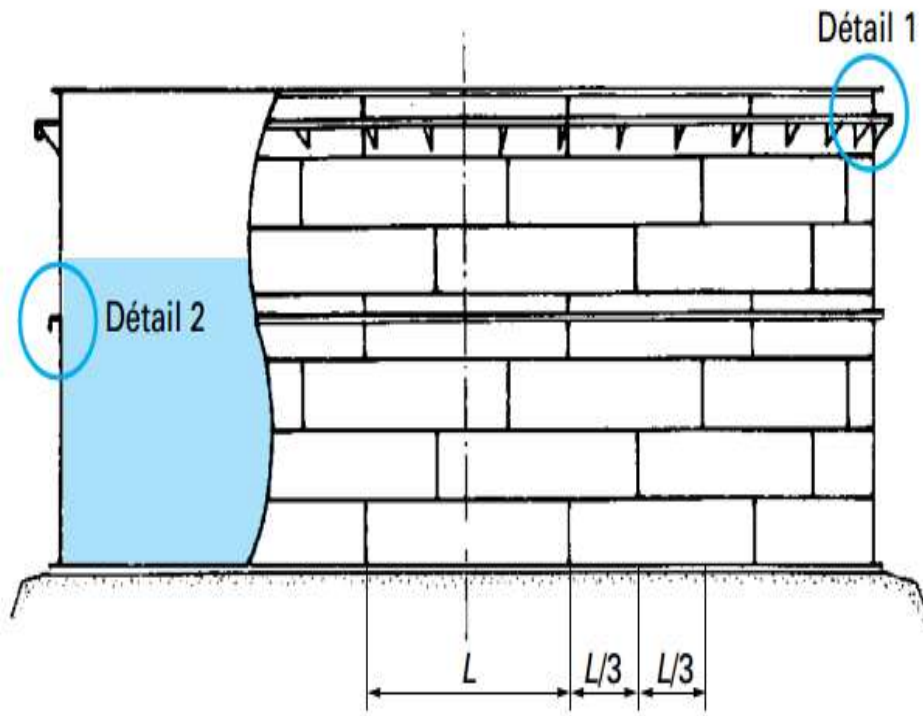
Robe

Elle doit résister aux contraintes développées par la pression hydraulique du liquide stocké. Elle est constituée de rangées de **tôles rectangulaires** (de longueur L) superposées, **appelées viroles**, qui sont soudées bout à bout.



(a) vue d'ensemble

Sa valeur dépend des dimensions de la cuve, de la masse volumique du produit stocké, des caractéristiques mécaniques des aciers employés, des coefficients de sécurité imposés par le code, de la température d'étude et de la surépaisseur de corrosion retenue. L'épaisseur maximale autorisée par la plupart des codes de construction est limitée à 45 mm.



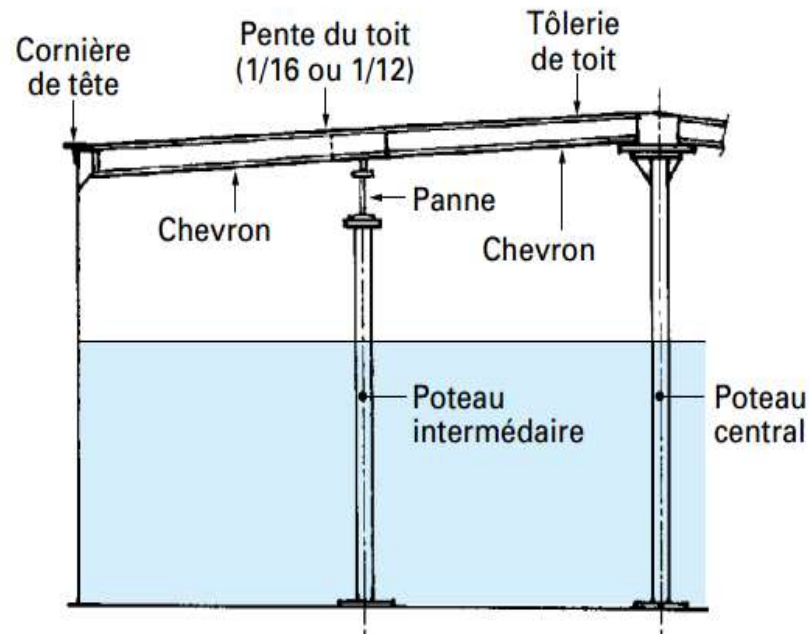
a) vue d'ensemble

Réservoirs à toit fixe

Généralités

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

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



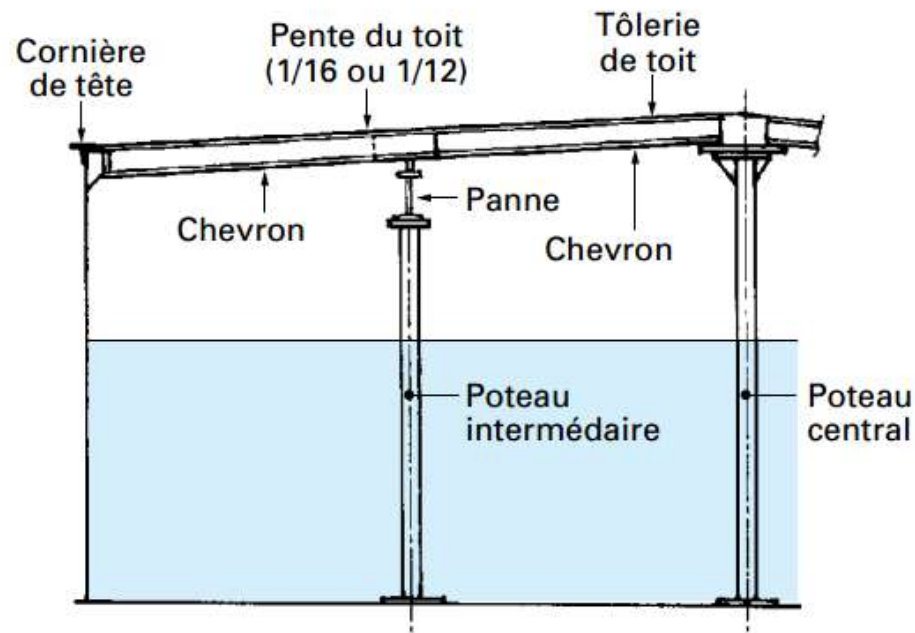
(a) coupe du demi-réservoir

Réservoir à toit fixe supporté

Les toits fixes supportés ont un profil conique assez plat avec une pente recommandée, notamment lorsque le toit est calorifugé.

Réservoir à toit fixe autoportant

Les toits fixes autoportants sont soit coniques avec une pente de $1/5$ ou $1/6$, soit sphériques avec rayon de courbure compris entre 0,8 et 1,5 fois le diamètre du réservoir.



(a) coupe du demi-réservoir

Cours N° : 06

1.3.4 Pertes par respiration et remplissage

les réservoirs à toit fixe ne sont pas les mieux adaptées pour la conservation des produits stockés. Ils sont à l'origine de pertes importantes de produits provenant de deux phénomènes distincts que sont la respiration de la capacité et les mouvements de produits.

Au cours de la journée, lorsque le soleil chauffe le réservoir, le liquide s'évapore et la pression dans le réservoir s'élève. Le mélange air-vapeur doit être évacué dans l'atmosphère au travers des événements de toit.

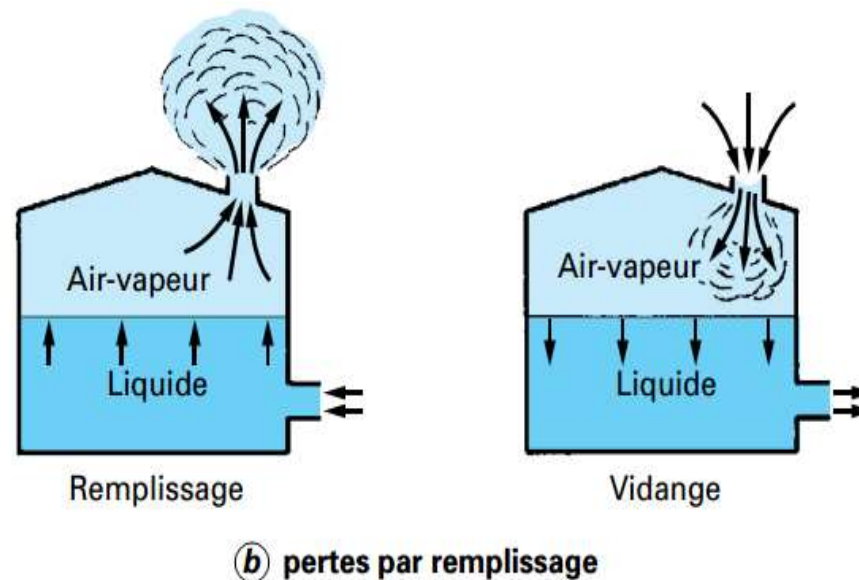


Figure 6 – Réservoirs à toit fixe : pertes de produit

Tout au contraire, le soir et durant la nuit quand la température baisse, les vapeurs se condensent et de l'air extérieur doit être admis dans le réservoir, par les événements de toit, pour éviter que la structure ne soit soumise aux effets d'une dépression interne. Cet air se mélange ensuite, jusqu'à saturation, avec la vapeur émise par le liquide et, au cours de l'expiration du jour suivant, une nouvelle quantité de produit sera expulsée dans l'atmosphère.

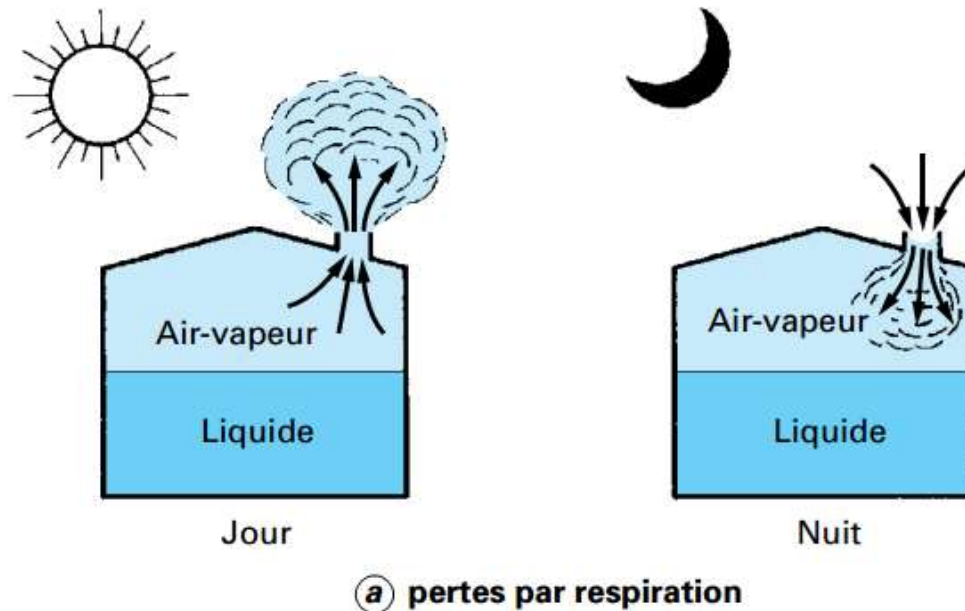


Figure 6 – Réservoirs à toit fixe : pertes de produit

Le même phénomène de respiration est produit par les variations de la pression atmosphérique. Chaque fois que cette respiration se manifeste, les pertes augmentent et le volume du liquide conservé se réduit. **Ces pertes sont appelées pertes par respiration** (figure 6a).

Lorsque l'on soutire du liquide, de l'air est également aspiré dans l'espace vapeur, et un nouvel équilibre du mélange air-vapeur se crée en provoquant une évaporation du liquide qui conduit à une réduction du volume stocké. Par ailleurs, quand on remplit le réservoir, le mélange riche air-vapeur est expulsé à l'extérieur par les événements et perdu dans l'atmosphère. Les pertes associées à ces mouvements de produit **sont appelées pertes par remplissage**

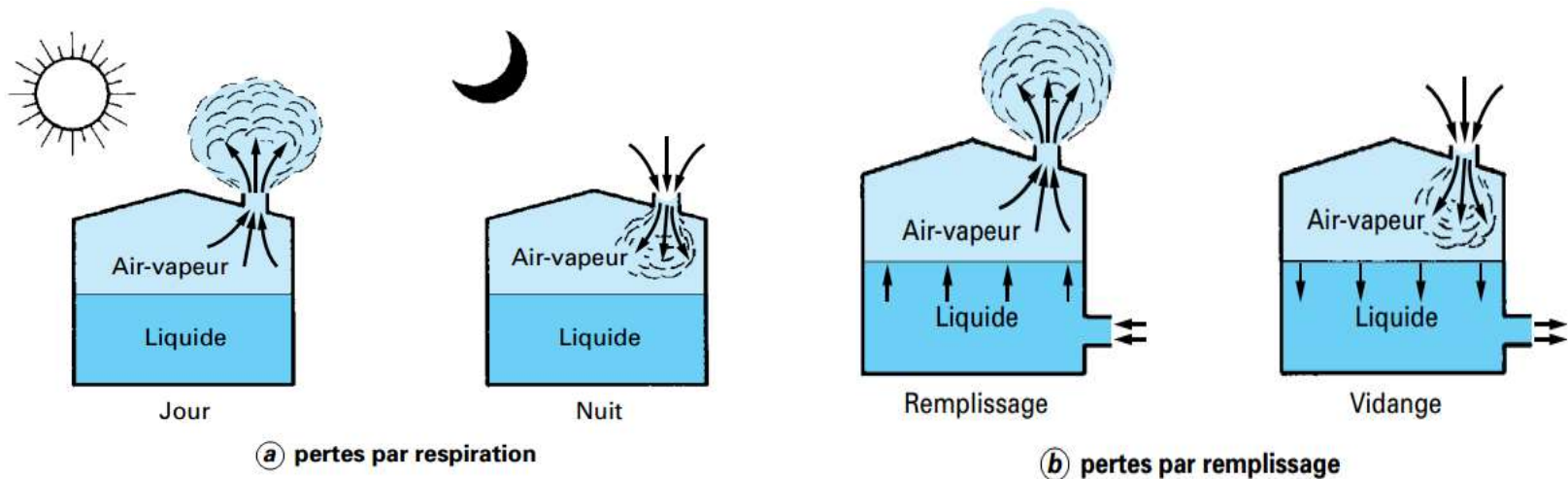
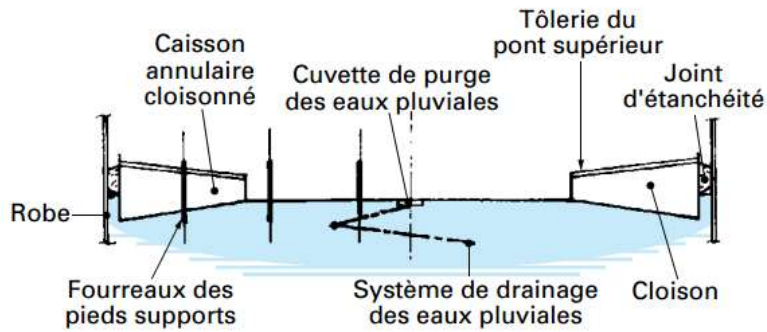


Figure 6 – Réservoirs à toit fixe : pertes de produit

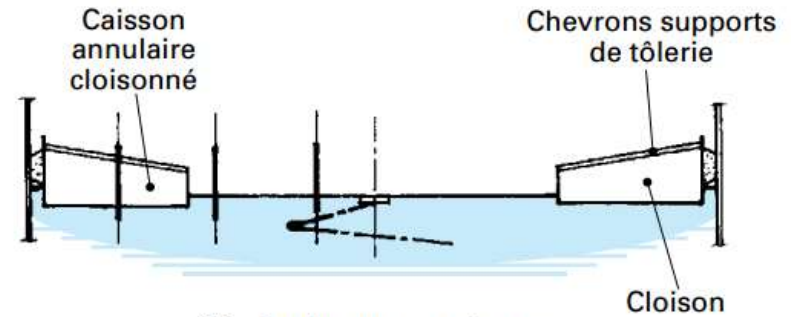
Réservoirs à toit flottant

Généralités

L'espace vapeur qui existe au-dessus du liquide des réservoirs à toit fixe est la source des pertes par respiration et remplissage. Ces pertes peuvent être pratiquement supprimées par l'utilisation d'un type de réservoir qui élimine cet espace vapeur. Il consiste à installer une structure qui flotte directement sur la surface du liquide stocké et que l'on appelle toit flottant.



(a) simple pont



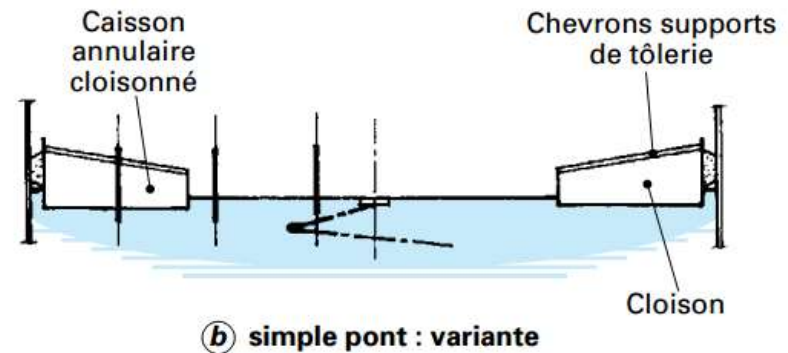
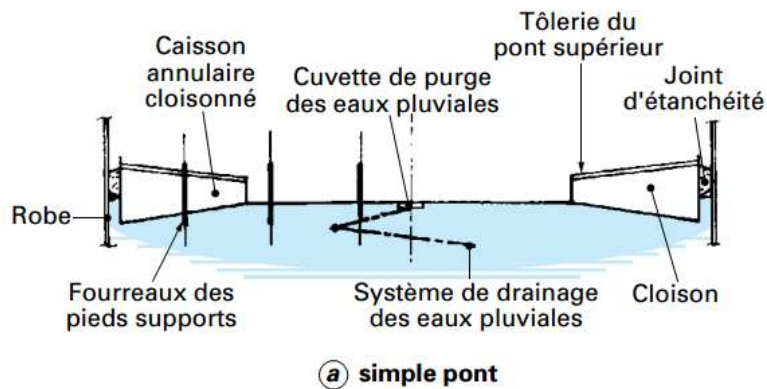
(b) simple pont : variante

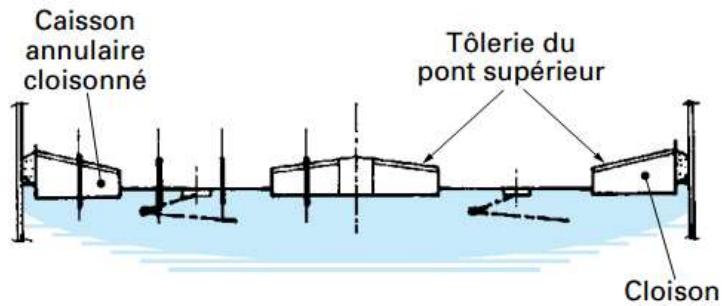
Les réservoirs à toit flottant sont principalement utilisés pour le stockage de liquides volatils dont la tension de vapeur absolue à température ambiante est comprise entre 0,1 et 0,75 bar ou dont le point éclair est inférieur ou égal à 55 °C.

C'est le cas, par exemple, des pétroles bruts, des naphtas et des diverses essences et carburants.

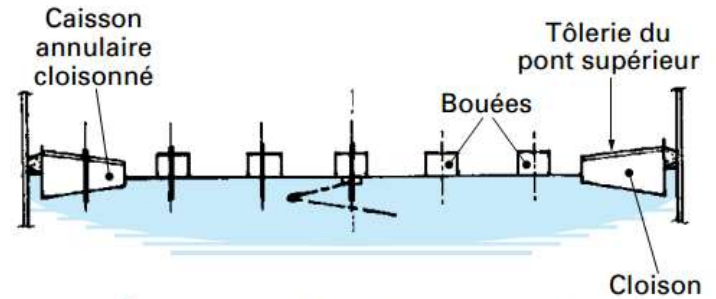
Il existe deux types de réservoirs à toit flottant :

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



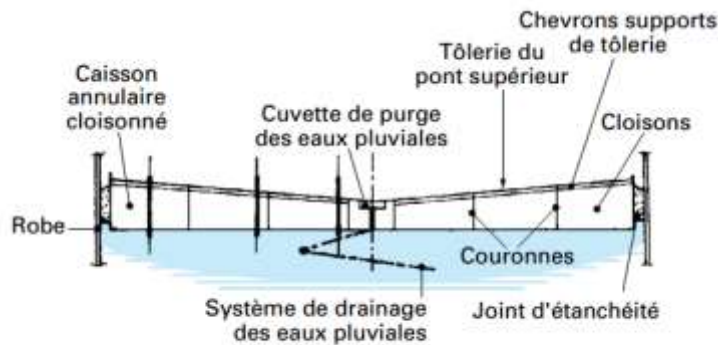


(c) simple pont avec caisson central

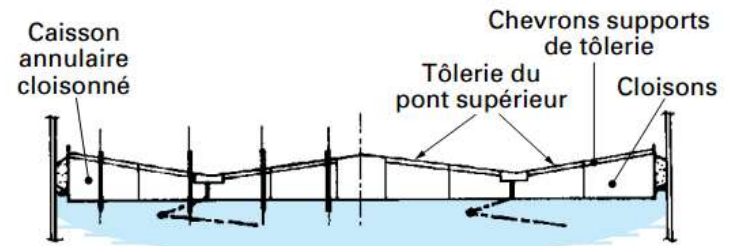


(d) simple pont avec bouées multiples

Figure 7 - Toits flottants externes simple pont



(a) double pont avec simple pente



(b) double pont avec double pente

Figure 8 - Toits flottants externes double pont

1.4.3 Réservoirs à toit flottant interne

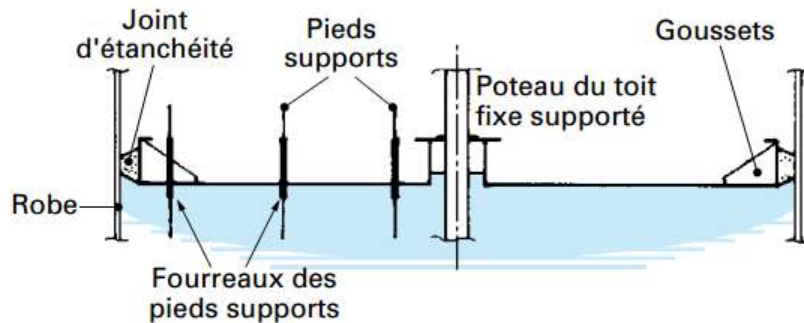
1.4.3.1 Généralités

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

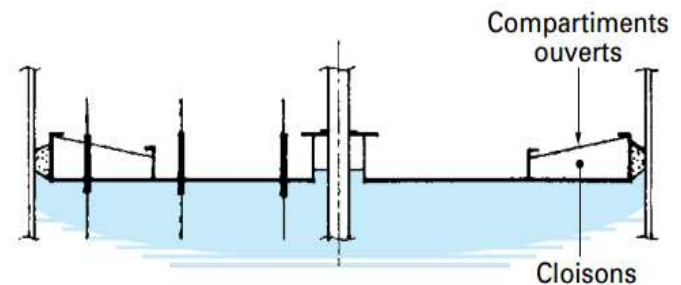
Ces réservoirs sont particulièrement bien adaptés pour le stockage des produits volatils dont il faut assurer la conservation, préserver la pureté ou limiter l'émission des vapeurs toxiques vers l'atmosphère.

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

- toit flottant de conception soudée (§ 1.4.3.2) ;
- écran flottant de conception boulonnée (§ 1.4.3.3).



(a) soudé à contact liquide



(b) soudé à contact liquide avec compartiments annulaires

Figure 9 – Toits flottants internes soudés

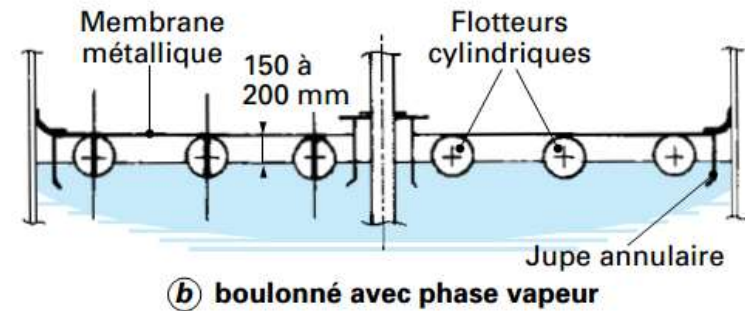
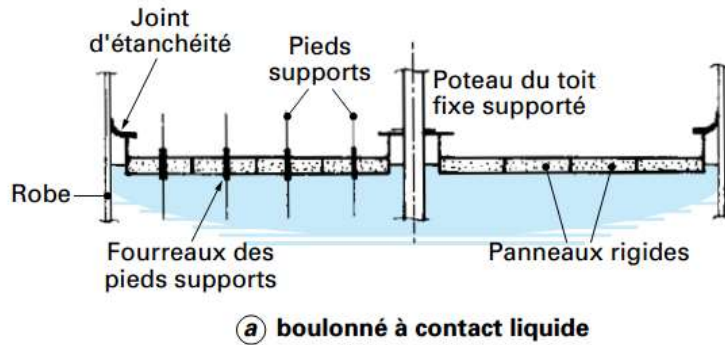
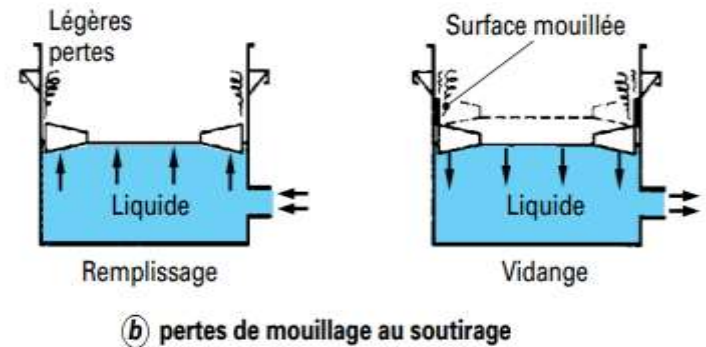
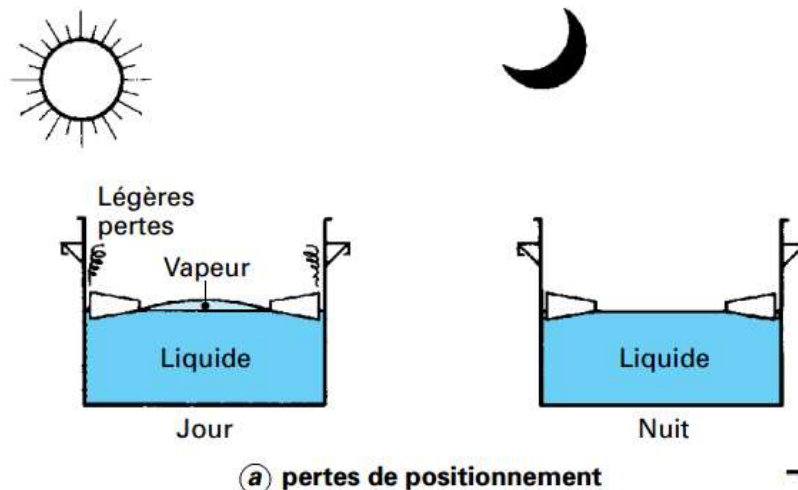


Figure 10 – Toits flottants internes boulonnés

Les pertes qui subsistent encore sur les toits flottants sont peu importantes et n'ont aucune commune mesure avec celles constatées sur les réservoirs à toit fixe. Les deux types de pertes que l'on observe sont les pertes de positionnement et les pertes de mouillage au soutirage (figure 15).



– Réservoirs à toit flottant : pertes de produit