

# Table des matières

<b>1. PRÉSENTATION TECHNIQUE DU DISPOSITIF .....</b>	<b>2</b>
1.1. PRINCIPE .....	2
1.2. TOIT FLOTTANT À SIMPLE PONT .....	2
1.3. TOIT FLOTTANT À DOUBLE PONT .....	3
1.4. JOINT D'ETANCHEITE POUR TOIT FLOTTANT .....	4
1.4.1. Définition .....	4
1.4.2. Type de joints .....	5
<b>2. EXIGENCES TECHNIQUES .....</b>	<b>6</b>
<b>3. RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....</b>	<b>7</b>

# **1. PRESENTATION TECHNIQUE DU DISPOSITIF**

---

## **1.1. PRINCIPE**

Le toit flottant permet d'éviter la présence d'un ciel gazeux qui est une source de pertes de produits pour les réservoirs à toit fixe. Le toit flottant est posé directement sur la surface du liquide. Le surcoût entraîné par la construction du toit flottant est compensé par les gains réalisés de par la préservation du stock. De plus, il limite la pollution atmosphérique, comme l'exige la réglementation.

Les réservoirs à toit flottant sont principalement utilisés pour le stockage de liquides volatiles, dont la tension de vapeur absolue à température ambiante est comprise entre 0.1 et 0.75 bar où dont le point éclair est inférieur à 55°C. Tel est le cas des pétroles bruts, des naphthas, des diverses essences et carburants.

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 du réservoir. Cet espace est obturé par un système d'étanchéité déformante qui permet au toit de coulisser sans contrainte à l'intérieur de la robe.

Ces toits sont exposés aux intempéries et doivent donc être conçus pour résister aux effets du vent, de la pluie et de la neige. Ils sont calculés sur un liquide de 70 kg/m<sup>3</sup> de masse volumique, en supportant une charge d'eaux pluviales correspondant à une chute de 250 mm pendant 24 h, en supposant que le système de drainage est inopérant. Lorsque le toit est au repos sur le fond du réservoir, il doit pouvoir soutenir une surcharge de 120 daN/m<sup>2</sup> sans accumulation d'eau.

Il y a deux types de toi flottant : à simple pont ou à double pont.

## **1.2. TOIT FLOTTANT A SIMPLE PONT**

Ils sont constitués par une membrane circulaire centrale, appelée pont, qui repose directement sur le liquide stocké et qui est bordée sur sa périphérie par un caisson annulaire. Ce caisson est lui-même annulaire et divisé, par des cloisons radiales, en compartiments étanches au liquide. Le but de ces compartiment est d'assurer la flottabilité de la structure, en service normal, en cas d'accumulation d'eau ou de pluie sur le pont ou lors d'une éventuelle crevaison du pont.

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

robe.

Le pont central est réalisé à l'aide de tôles rectangulaires, avec une épaisseur minimale de 5 mm, assemblées par recouvrement et soudées sur leur face supérieure.

Le toit flottant comporte une série de supports tubulaires (béquilles) disposés régulièrement sur le caisson annulaire et sur le pont central. Ils servent à poser le toit flottant sur le fond du réservoir.

Les toits flottants à simple pont sont utilisés pour les réservoirs de 15 à 100 m de diamètre.

Ils sont plus légers et plus économiques que les toits flottants double pont.

Cependant, ils sont plus sensibles aux effets du vent.

Deux variantes ont été développées :

- toit flottant simple pont avec caisson central : un caisson de flottabilité cylindrique est installé au centre du pont central,
- toit flottant simple pont avec bouées multiples : c'est un ensemble de petits caissons fermés, cylindriques ou cubiques disposés au-dessus du pont et sur toute sa surface selon une maille régulière.

L'objectif de ces variantes est de réaliser une structure plus économique, obtenue par une réduction de la largeur du caisson.

L'inconvénient principal provient du drainage des eaux qui est plus difficile. Il peut apparaître des problèmes de corrosion sur le pont.

### **1.3. TOIT FLOTTANT A DOUBLE PONT**

Ils sont constitués de deux voiles circulaires en tôle, le pont inférieur étant en contact avec le liquide et le pont supérieur. Ces ponts sont séparés par une série de couronnes concentriques verticales formant des caissons de flottaison étanche au liquide. Le caisson annulaire extérieur est de plus divisé en compartiments par des cloisons radiales, qui sont également étanches au liquide.

Le pont inférieur est le plus souvent plat, mais il peut être construit avec une légère forme conique dirigée vers le haut. Quelle que soit sa configuration, le toit à double pont possède une capacité de déformation suffisante pour piéger les évaporations au centre du toit. Les effets de la température extérieure sont aussi bien moindres sur ce toit, car le matelas d'air entre les deux ponts constitue une bonne isolation thermique.

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

Les toits flottants à double pont sont habituellement équipés de drains de secours qui

permettent, en agissant comme des trop-pleins (évacuation d'eau dans le produit), de limiter la charge sur le toit. L'utilisation de ces trop-pleins, réalisés par de simples tubes ouverts traversant les deux ponts, n'est pas envisageable sur les toits flottants à simple pont à cause de la trop grande déformation du pont central sous la charge, qui ne permet pas l'installation de ces accessoires.

L'équipement des toits à double pont comprend aussi un ensemble de pieds supports tubulaires.

Les toits flottants à double pont sont employés pour les réservoirs dont le diamètre est compris entre 15 et 125 m.

La surface lisse du pont supérieur permet un entretien plus facile, une meilleure résistance à la corrosion et une prise au vent plus faible. La couche d'air emprisonnée entre les deux ponts est un bon isolant. L'augmentation de la température de surface du liquide stocké, au contact du toit flottant exposé au soleil, est inférieure d'environ 10°C. sur le double pont par rapport au simple pont. De plus, sous des climats très froids, cet espace permet l'installation d'une isolation thermique. Enfin, la possibilité d'évacuer le trop-plein d'eau peut constituer une solution avantageuse pour les régions connaissant des pluies torrentielles.

Son coût est plus élevé que le simple.

#### a) Sécurité

Ces réservoirs sont réservés au stockage des produits liquides volatiles. Ils offrent l'avantage d'interdire la formation d'un ciel gazeux explosible. Cependant, ils peuvent connaître des défaillances parmi lesquelles on citera le coincement du toit flottant, sa perte de flottabilité qui amène sa submersion. De plus, la nécessité de drainer l'eau de pluie, susceptible de s'accumuler, impose la mise en place d'une ligne traversant le produit stocké. Cette ligne est obligatoirement articulée (grenouillère) pour suivre les mouvements du toit. Des fuites aux grenouillères se sont déjà produites sur de telles installations.

#### b) Commentaires

Ces réservoirs sont présents dans toutes les raffineries et sont principalement utilisés pour le stockage du pétrole brut et des produits légers. Ils sont généralement de grande dimensions et les plus conséquents pouvaient contenir environ 1000 000 m<sup>3</sup> de produit. A noter qu'en matière de sécurité, nous avons observé la présence de systèmes de fermeture automatique sur les lignes de drainage des eaux des toits flottants des réservoirs à la raffinerie MOBIL de Coryton (UK). Ces dispositifs qui fonctionnent par différence de densité permettent d'éviter les fuites par ces lignes en cas de perçage d'une grenouillère par exemple ou en cas de submersion du toit. En Allemagne, les drains de toit des réservoirs à toit flottant se déversent dans l'espace annulaire formé d'une part par la robe du réservoir et d'autre part, la cuvette de rétention métallique qui forme double enveloppe.

## 1.4. JOINT D'ETANCHEITE POUR TOIT FLOTTANT

### 1.4.1. Définition

Le composant le plus important d'un toit flottant est le joint d'étanchéité. Il est installé sur son périmètre, contre la robe du réservoir. Le joint doit à la fois fermer le plus efficacement

possible l'espace annulaire compris entre la robe et le toit flottant, afin d'empêcher les évaporations, mais aussi permettre au toit de coulisser librement dans le réservoir pour suivre les fluctuations du liquide. Le joint doit aussi posséder une capacité de déformation radiale suffisante, afin de s'accommoder des défauts de rotondités et de verticalité de la robe, ainsi que des mouvements du toit, sous l'action d'une force latérale (vent, turbulences du produit).

L'espace annulaire est en principe de 200 mm pour les toits flottants externes, et jusqu'à 300 mm pour les diamètres supérieurs à 80 m. Pour les toits flottants internes, on a en général un espace de 150 mm, jusqu'à 200 mm pour les diamètres supérieurs à 50 m. Les joints sont de plus conçus pour permettre, en cas de nécessité, leur compression jusqu'à une largeur minimale de 75 mm en un point de la périphérie, tout en restant bien sûr en contact avec la robe sur toute sa longueur.

Le système d'étanchéité d'un toit flottant est habituellement constitué d'un joint unique appelé joint primaire. Cette étanchéité principale peut être complétée, pour réduire encore les pertes de produits, par un autre joint de conception plus simple, placé au-dessus, et appelé joint secondaire. Son installation s'est généralisée en raison des réglementations actuelles sur la limitation de la pollution atmosphérique.

Trois principaux types de joints sont employés : joint mécanique avec patins métalliques, joint élastique en mousse ou avec liquide, joint flexible à lèvres ou métallique.

#### **1.4.2. Type de joints**

##### **c) Joint mécanique avec patins métalliques**

Ces joints sont constitués de patins flexibles en tôle d'acier galvanisé ou inoxydable, de 105 mm d'épaisseur, formant une ceinture dont la partie basse trempe dans le liquide. Elle est maintenue au contact de la robe par un système de pantographes et de contrepoids.

Cette membrane doit avoir une bonne tenue au contact des vapeurs et à l'exposition atmosphérique, ainsi qu'un bon comportement en cas d'incendie. L'écoulement des charges électrostatiques et la mise à la terre du toit flottant se font par des lames d'acier inoxydable souples, disposées à intervalles réguliers entre le toit flottant et les patins métalliques.

Ce joint est très employé pour les réservoirs à toit flottant externe. Il est très robuste et assure une bonne étanchéité. Toutefois, son emploi est limité aux réservoirs dont la paroi n'est pas protégée par un revêtement de peinture.

##### **d) Joint élastique en mousse ou avec liquide**

Ils sont sous deux formes : joint à mousse et joint liquide. Ils comportent une enveloppe en tissu caoutchouté, fixée au toit flottant et remplie d'un matériau qui, par élasticité ou expansion, assure le contact entre la robe et le toit. Ce matériau est soit de la mousse de polyuréthane élastique comprimée, soit un liquide, qui selon les conditions de température peut être un hydrocarbure ou de l'eau. Ce liquide est directement contenu dans l'enveloppe ou placé dans des tubes de caoutchouc, de longueur limitée pour former des sections indépendantes. Ce dernier système a l'avantage d'éviter de vider le joint lorsque l'enveloppe principale est percée. A cause de leur poids, les joints avec liquide ne sont montés que sur les toits flottants externes. Les joints en mousse peuvent équiper tous les types de toits flottants.

Ces joints peuvent être installés dans l'espace annulaire de telle manière que leur partie inférieure trempe ou non dans le liquide stocké. Les joints à contact liquide sont beaucoup plus efficaces pour limiter les pertes de produit que les joints à contact vapeur, mais leur coût est plus élevé à cause de leur hauteur importante. Le volume de vapeur qui existe sous les joints à contact vapeur est en effet difficile à conserver, en raison de l'étanchéité imparfaite de l'enveloppe sur la robe, et des turbulences créées par le vent au-dessus du joint. Sur les joints à contact liquide, l'absence de vapeur élimine cet inconvénient et permet donc une meilleure performance.

#### e) Joint flexible à lèvres ou métallique

Le joint flexible à lèvres est réalisé par une simple bavette en caoutchouc synthétique comportant ou non une armature métallique interne. Il est placé au-dessus de l'espace annulaire et maintenu en place contre la robe par flexion. Le matériau qui le constitue doit avoir un bon comportement à l'exposition atmosphérique et aux vapeurs du produit stocké. L'armature interne, lorsqu'elle existe, a pour objet de conserver le joint à lèvres tourné vers le haut. Lorsque la barrette n'est pas armée, le joint qui a une bonne position quand le toit descend, se retourne vers le bas dès que le toit monte et forme ainsi une gouttière qui favorise le passage dans le produit des eaux de pluie, sable et débris.

Le joint flexible métallique est constitué par un ensemble d'écaillés, en tôle mince pliée, en acier galvanisé ou inoxydable, fixées sur le toit flottant. Par juxtaposition, elles forment une surface approximativement conique qui, par effet ressort, maintient contre la robe du réservoir un racleur en élastomère. L'étanchéité de ces écaillés entre elles est assurée par un ruban adhésif et des boulons.

Les joints flexibles n'ont pas une raideur suffisante pour maintenir le toit centré dans le réservoir et ils ne sont choisis en général sur les toits flottants externes, que pour constituer une barrière secondaire. Par ailleurs, les joints flexibles doivent être équipés de barrettes métalliques souples flottant contre la robe pour assurer le transfert des charges électriques à la terre. Lorsque le réservoir est peint intérieurement, cette liaison électrique doit être assurée par un autre moyen, par exemple par un câble conducteur relié au sommet de la robe.

#### f) Commentaires

Les joints sont un des points faibles des réservoirs à toit flottant. De ce fait, quelques réservoirs sont équipés de systèmes de détection des feux de joint. Ces systèmes sont constitués généralement autour de détecteur de flammes.

## **2. EXIGENCES TECHNIQUES**

---

Les exigences techniques à définir pour un dispositif sont la déclinaison des exigences techniques de la fonction de sécurité qui lui est associée.

Ces exigences techniques sont indiquées dans le document intitulé « *détermination des fonctions de sécurité et de leurs exigences techniques – identification des barrières techniques de sécurité* ».

Dans le document intitulé « *Présentation de la méthodologie pour l'identification des barrières techniques de sécurité et de leurs exigences techniques* », l'INERIS propose une grille permettant de définir les exigences techniques d'éléments de sécurité. Cette grille est

à adapter au dispositif étudié.

### **3. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

---

---

[1] Isabelle Vuidart – Etude sur les équipements de réservoirs de stockages de liquides et de gaz liquéfiés – INERIS – 1996

[2] Marc Caumont – Etude sur les équipements de réservoirs de stockages de liquides et de gaz liquéfiés – INERIS – 1998