

# Tache 5 - Dimensionnement d'une soupape de sécurité pour un tank de stockage d'ammoniac

## Groupe 124.3

FRENYO Péter (6266-12-00)  
GILLAIN Nathan (7879-12-00)  
LAMINE Guillaume (7109-13-00)  
PIRAUX Pauline (2520-13-00)  
PARIS Antoine (3158-13-00)  
QUIRINY Simon (4235-13-00)  
SCHRURS Sébastien (7978-13-00)

17 décembre 2014

## Table des matières

<b>1</b>	<b>Enoncé</b>	<b>1</b>
1.1	Données . . . . .	1
<b>2</b>	<b>Questions</b>	<b>2</b>
<b>I</b>	<b>Annexes</b>	<b>5</b>
<b>A</b>	<b>Code Matlab utilisé</b>	<b>5</b>

## 1 Enoncé

Un stockage d'ammoniac ( $\text{NH}_3$ ) liquide est situé à proximité du stockage de mazout du site. Suite à une fuite sur ce dernier et de l'ignition de celle-ci, un feu de flaque pourrait se développer autour du tank d'ammoniac. Vous avez pour mission de dimensionner une soupape de sécurité à installer sur le tank d'ammoniac de manière à protéger celui-ci contre les effets d'une surpression consécutive à l'effet du feu sur le tank.

### 1.1 Données

Nous disposons des données numériques suivantes :

- Le tank est de forme cylindrique vertical à extrémités hémisphériques et est situé au sol ;
- Hauteur total du tank : 12 m ;
- Niveau de  $\text{NH}_3$  dans le tank : 8 m ;
- Diamètre du tank : 6 m ;
- Température normale de stockage : 20 °C ;
- Rapport des capacités calorifiques à pression et à volume constante ( $\frac{C_p}{C_v}$ ) du  $\text{NH}_3$  : 1.33 ;
- Pression de design<sup>1</sup> : 15 barg<sup>2</sup> ;
- Facteur de compressibilité  $Z = 1.0$  ;

---

1. Pression maximale que le tank peut supporter.

2. L'unité barg est une unité de pression relative, mesurée par rapport à la pression atmosphérique (à savoir 1 bar). Pour retrouver la pression absolue, il suffit donc d'ajouter 1 bar à la pression relative.

- La soupape sera une soupape conventionnelle et la contrepression sera nulle;
- Lu'sine est munie de système de drainages des fuites et d'un équipement moderne de lutte contre l'incendie.

Nous disposons également des deux graphes suivants :

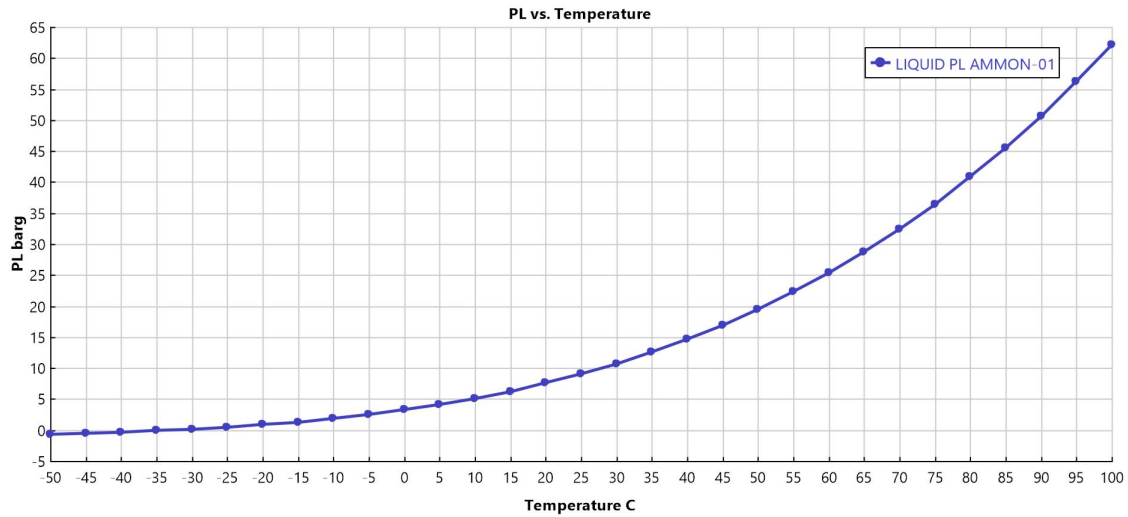


FIGURE 1 – Graphe de la tension de vapeur (en barg) par rapport à la température (en °C).

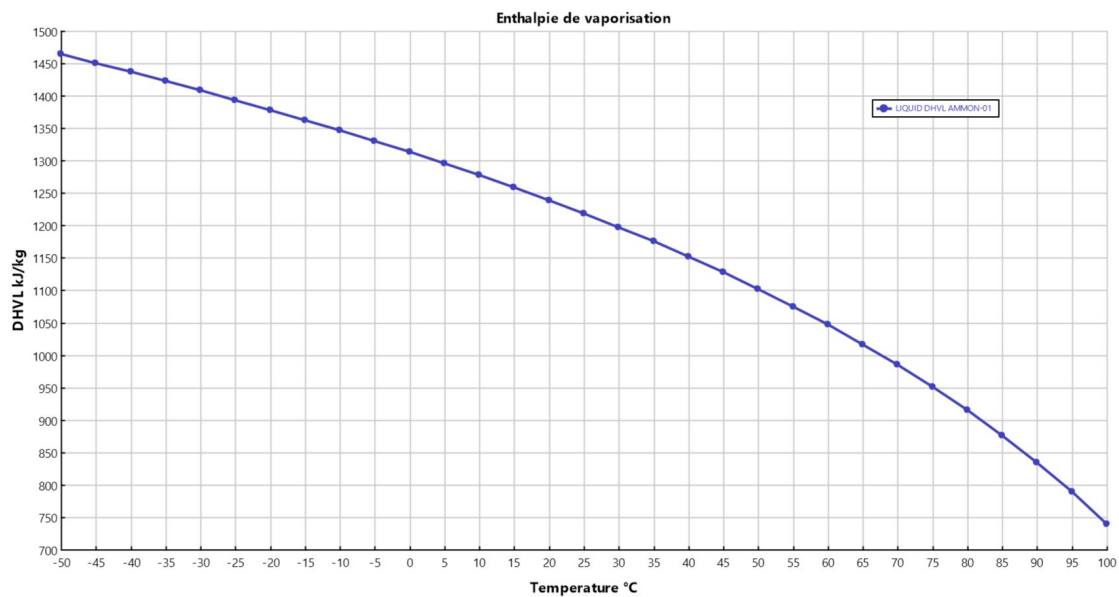


FIGURE 2 – Graphe de l'enthalpie de vaporisation (en kJ/kg) par rapport à la température (en °C).

## 2 Questions

**Quelle est la pression normale de stockage ?** La température normale de stockage étant de 20 °C et la pression à l'intérieur du tank étant égale à la tension de vapeur de l'ammoniac, on trouve, via la figure 1

$$p_{\text{normale}} \approx 8 \text{ barg} = 9 \text{ bar}.$$

**Quelle sera la pression de stockage en été (30 °C) ?** A nouveau, en s'aidant de la figure 1, on trouve

$$p_{\text{été}} \approx 11 \text{ barg} = 12 \text{ bar}.$$

**Quelle sera la pression maximale de tarage de la soupape de sécurité ?** La pression maximale de tarage est égale à la pression de design du tank, c'est à dire

$$p_{\text{tarage, max}} = 15 \text{ barg} = 16 \text{ bar}.$$

Pour les trois questions suivantes, on considère la pression de tarage de la soupape comme étant égale à 16 bar.

**Quelle sera la pression durant la décharge ?** Dans le cas d'un incendie, la surpression autorisée est de 121% de la pression de tarage [1], à savoir

$$p_{\text{décharge}} = 19.36 \text{ bar}$$

dans notre cas.

**Quelle sera la température du liquide durant la décharge via la soupape ?** A partir de la figure 1, on trouve

$$T \approx 49.5 \text{ °C} = 322.65 \text{ K}.$$

**Quelle sera la taille de la soupape nécessaire ?** La taille de l'orifice de la soupape se calcule en utilisant la formule suivante[1]

$$A = \frac{W}{CK_d P_1 K_b K_c} \sqrt{\frac{TZ}{M}}.$$

Afin d'y voir plus clair, listons dans un premier temps tous les paramètres connus et convertissons, si nécessaire, leurs unités selon les besoins de la formule.

- $K_d$  est le coefficient de décharge. Pour un gaz, on a  $K_d = 0.975$  ;
- $P_1$  est la pression durant la décharge, on a donc  $P_1 = p_{\text{décharge}} = 19.36 \text{ bar} = 19.36 \cdot 10^2 \text{ kPa}$  ;
- $K_b$  est un facteur de correction dû à contrepression. Sa valeur pour une soupape conventionnelle comme la nôtre est de 1 ;
- $K_c$  est un facteur de correction dû aux éventuelles combinaisons soupape/disque de rupture. Dans notre cas,  $K_c = 1$  ;
- $T$  est la température de décharge, c'est à dire 322.65 K ;
- $Z = 1$  ;
- $M$  est la masse moléculaire, on calcule assez simplement que  $M = 17 \text{ kg/kmol}$ .

Occupons-nous maintenant des paramètres inconnus :  $C$  et  $W$ , qui est débit massique relâché. Le premier peut être calculé à partir de la formule suivante[1]

$$C = 0.03948 \sqrt{k \frac{2}{k+1}^{\frac{k+1}{k-1}}}$$

où  $k = \frac{C_p}{C_v} = 1.33$ . On a donc  $C = 0.02655536953$ .

Le deuxième est un petit peu plus compliqué à obtenir. Pour obtenir  $W$ , nous allons utiliser la formule suivante[1]

$$W = \frac{Q}{\Delta H_{\text{vap}}(T_{\text{décharge}})}$$

où  $\Delta H_{\text{vap}}(T_{\text{décharge}}) \approx 1115 \cdot 10^3 \text{ J/kg}$  est trouvé en utilisant la figure 2. Pour calculer  $Q$ , qui correspond à l'absorption totale de chaleur par les surfaces en contact avec l'ammoniac liquide (exprimé en W) nous pouvons utiliser la formule suivante[1]

$$Q = C_1 F A_{\text{ws}}^{0.82}$$

où  $C_1 = 43200$  est une constante,  $F$  est un facteur d'environnement et  $A_{\text{ws}}$  correspond à l'aire de la *wetted surface*, autrement dit il s'agit de la surface totale en contact avec l'ammoniac liquide. On peut trouver la valeur de  $F$  dans des tables [1]. Dans notre cas, le tank n'étant pas isolé, on trouve  $F = 1.0$ .

Calculons maintenant  $A_{\text{ws}}$ . Avant tout, il faut savoir qu'on considère qu'il n'y a plus d'absorption de chaleur à 7.62 m au dessus du feu[1].  $A_{\text{ws}}$  est constitué de deux surfaces ; la partie basse du tank constitué de l'hémisphère et la partie centrale constitué du cylindre. L'hémisphère de rayon égale à 3 m a une surface de 56.54866776 m<sup>2</sup> et la partie cylindrique d'une hauteur de 4.62 m a une surface de 87.08494836 m<sup>2</sup>. On a donc finalement  $A_{\text{ws}} = 143.6336161 \text{ m}^2$ .

On trouve dès lors que  $Q = 2537661.812 \text{ W}$ . On fini enfin par obtenir

$$W = 2.275929876 \text{ kg/s} = 8193.347554 \text{ kg/h.}$$

Nous disposons maintenant de toutes les informations nécessaires pour calculer  $A$  :

$$A = 712.0990948 \text{ mm}^2.$$

La soupape standard correspondantes à cette aire est une soupape de modèle J[1].

**Si la pression de design de l'équipement était de 20 barg, quel serait l'effet d'augmenter la pression de tarage de 5 bar et de la porter à 20 barg ?** Afin d'éviter de refaire tous les calculs (et les divers changement d'unités) pouvant aboutir à un grand nombre d'erreurs de calculs et de conversion, nous avons créer une fonction Matlab permettant de calculer la taille de l'orifice automatiquement (présente en annexe A. Cette fonction prend 4 paramètres en argument : la pression de tarage en bars absolu, la température de décharge en Kelvin (mesurable sur la figure 1), l'enthalpie de vaporisation correspondant à la température de décharge en kilojoules (mesurable sur la figure 2) et un dernier paramètre dont la valeur vaut 1 pour cette question<sup>3</sup>. Dans ce cas ci, la pression de tarage vaut 21 bar. La pression de décharge valant, dans le cas d'un incendie, 121% de ma pression de tarage, on peut trouver la température de décharge et l'enthalpie de vaporisation correspondante. On trouve  $T_{\text{décharge}} = 58 \text{ °C}$  et  $\Delta H_{\text{vap}}(T_{\text{décharge}}) = 1050 \text{ kJ/kg}$ . En rentrant ces 3 paramètres dans notre fonction, on trouve

$$A = 578.06 \text{ mm}^2.$$

La soupape standard correspondante à cette aire est également un modèle J[1].

**Pour la première pression de tarage, quelle est l'influence d'isoler thermiquement le tank avec un isolant tel que le coefficient d'échange avec l'extérieur soit réduit à une valeur de 10 W/m<sup>2</sup>K ?** En cherchant dans une table qui fait la correspondance entre le coefficient d'échange avec l'extérieur et la valeur de  $F$  utilisée dans le calcul de  $Q$ , on trouve, pour un coefficient de 11.36 que  $F$  vaut 0.15. On peut donc réutiliser notre fonction Matlab en ajoutant ce paramètre. On obtient

$$A = 103.463 \text{ mm}^2$$

soit presque 7 fois moins que sans isolation thermique. La soupape standard correspondante à cette aire est le modèle 1E2.

---

3. Ce paramètre  $F$  dépend de l'isolement thermique du réservoir, ici on suppose qu'il n'est pas isolé.

## Références

[1] Denis Mignon. Introduction to pressure safety valve (psv) sizing.

## Première partie

# Annexes

## A Code Matlab utilisé

```
1 function [A] = SizePSV(SetPressure, T, Hvap, F)
2 % SizePSV - Fonction de dimensionnement d'une soupape
3 % de securite.
4 % INPUT :
5 % - SetPressure : pression de tarage, en Bar ;
6 % - T : temperature durant la decharge, en Kelvin ;
7 % - Hvap : enthalpie de vaporisation correspondant a T,
8 % en kilojoules/kg.
9 % - F : un coefficient dependant de l'isolation thermique.
10 % OUTPUT :
11 % - Taille de l'orifice en mm squared.
12
13 Q = 43200*F*(143.6)^(0.82); % W
14 P1 = (1.21*SetPressure*10^2); % kPa
15
16 W = (3600*Q)/(Hvap*1000); % kg/h
17
18 % Physical/chemical constants
19 C = 0.02655536953;
20 Kd = 0.975;
21 Kb = 1;
22 Kc = 1;
23 Z = 1;
24 M = 17;
25
26 A = W/(C*Kd*P1*Kb*Kc)*sqrt((T*Z)/M);
27 end
```