

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)

11 décembre 2014

Table des matières

1	Enoncé	1
1.1	Données	1
2	Questions	2
A	Code Matlab utilisé	5

1 Enoncé

Un stockage d'ammoniac (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 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 NH_3 : 1.33 ;
- Pression de design¹ : 15 barg² ;
- Facteur de compressibilité $Z = 1.0$;
- 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.

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.

Nous disposons également des deux graphes suivants :

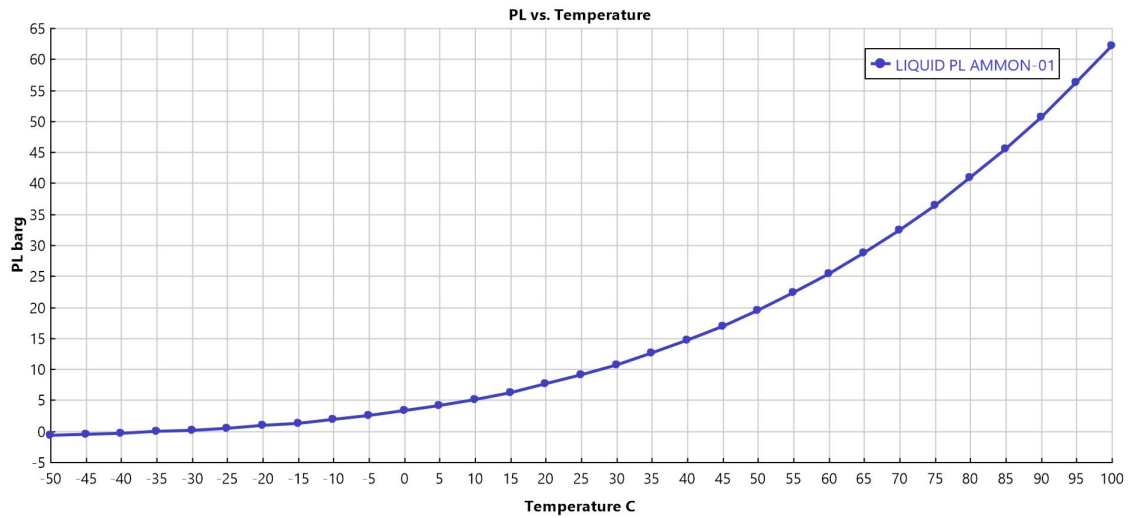


FIGURE 1 – Graphe de la tension de vapeur (en barg) par rapport à la température (en °C).

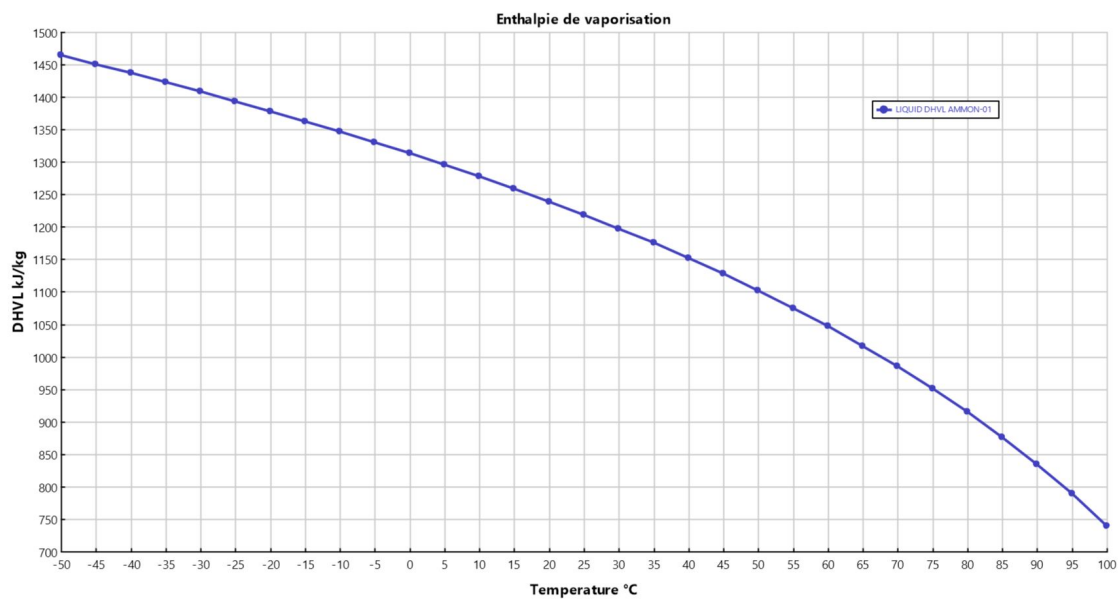


FIGURE 2 – Graphe de l'enthalpie de vaporisation (en kJ/kg) par rapport à la température (en °C).

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]

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

où $C_1 = 43200$ est une constante, F est un facteur d'environnement et A_{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_{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_{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 m² et la partie cylindrique d'une hauteur de 4.62 m a une surface de 87.08494836 m². On a donc finalement $A_{ws} = 143.6336161$ m².

On trouve dès lors que $Q = 2537661.812$ 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 question³. 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 $T_{\text{décharge}} = 58$ °C et $\Delta H_{\text{vap}}(T_{\text{décharge}}) = 1050$ 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/m²K ? 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.

Références

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

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

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
```