

## Exercice 10. La bouteille de butane



bouteille de butane



bouteille de propane  
« cette bouteille doit être stocké à l'extérieur »

La constante des gaz parfaits vaut :  $R = 8,31 \text{ J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ . Tous les gaz seront assimilés à des gaz parfaits.

Une bouteille de gaz pour usage domestique contient 13,0 kg de butane  $\text{C}_4\text{H}_{10}$  partiellement liquéfié. La bouteille a un volume interne  $V = 30,6 \text{ L}$ .

- 1) Vérifier qu'à  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  le butane dans la bouteille est partiellement liquéfié, c'est-à-dire qu'il n'est ni complètement gazeux ni complètement liquide. Dans ces conditions, donner la valeur de la pression à l'intérieur de la bouteille.

13,0 kg de butane, cela représente une quantité de matière  $n_0$  qui vaut :

$$n_0 = \frac{13\,000}{58} = 224 \text{ mol.}$$

Si le butane est entièrement sous forme gazeuse :

\*Première façon de répondre à la question :

L'équation d'état des gaz parfait nous permet de calculer la pression du butane dans l'enceinte :

$p \cdot V = n_0 \cdot R \cdot T$  donne :

$$p = \frac{n_0 R T}{V} = \frac{224 \times 8,31 \times (273,15 + 25)}{30,6 \cdot 10^{-3}} \text{ en Pa}$$

AN :  $p = 1,81 \cdot 10^7 \text{ Pa}$  soit une pression voisine de **181 bars**

Or  $181 \gg P_v$  (qui vaut 2,5) donc tout le butane ne peut pas gazeux car dès que  $P > P_v$ , une partie du butane se liquéfie.

\*\* Seconde façon de répondre à la question :

Calculons la masse de butane gazeux contenu dans un volume de 30,6 L, sous la pression qui est la pression de vapeur saturante :

$$n_1 = \frac{P_V V}{RT} = \frac{2,5 \cdot 10^5 \times 30,6 \cdot 10^{-3}}{8,31 \times (273,15 + 25)} \text{ mol}$$

$$n_1 = 3,1 \text{ mol}$$

soit une masse  **$m_1 = 3,1 \times 58 = 180 \text{ g}$**

180 g : nous sommes très très loin des 13,0 kg que contient la bouteille donc le butane ne peut pas être entièrement sous la forme gazeuse dans la bouteille.

S'il était totalement liquide, comme le volume de la bouteille est  $V = 30,6 \text{ L}$ , alors la masse butane enfermée serait :

$$m = \rho \cdot V$$

soit :  **$m = 590 \times 30,6 \cdot 10^{-3} = 18,0 \text{ kg}$** .

Or la bouteille pèse 13,0 kg.

**Conclusion : la bouteille renferme du butane liquide et du butane gazeux.**

- 2) Déterminer quel serait le volume de l'enceinte nécessaire pour contenir le butane à l'état gazeux dans les mêmes conditions de température et de pression. En déduire un premier avantage au fait de conserver le butane sous forme partiellement liquéfiée.

Le volume minimal serait celui permettant la disparition de la dernière goutte de liquide. A ce moment là, la pression du butane sera égale encore à sa pression de vapeur saturante. Alors l'équation d'état des gaz parfaits donne :

$$V_{min} = \frac{n_0 RT}{p_V} = \frac{224 \times 8,31 \times (273,15 + 25)}{2,5 \cdot 10^5} \text{ en } m^3$$

AN :  **$V_{min} = 2,22 \text{ m}^3$  soit 2 220 L**

Il apparaît clairement qu'en conservant le butane sous la forme liquide, le volume de stockage est beaucoup beaucoup plus petit.

- 3) On ouvre légèrement le robinet de la bouteille afin de laisser sortir le butane gazeux pour l'utiliser. Déterminer qualitativement l'évolution de la pression dans la bouteille au cours de l'utilisation du gaz. En déduire un deuxième avantage au

fait de conserver le butane sous forme partiellement liquéfiée.

En fait, lorsque l'on chasse le butane en ouvrant légèrement le détenteur, on a toujours l'équilibre L=V dans l'enceinte et donc la pression dans la bouteille reste égale à la pression de vapeur saturante du butane.

Donc en cours d'utilisation, **la pression reste constante dans la bouteille :  $P = P_v$ , et donc à la sortie en particulier.**

Avec le butane liquéfié, la pression qui règne dans l'enceinte est toujours égale à  $P_v$ , supérieure à  $P_{atm}$  : le butane sort facilement.

Les distributeurs de gaz vendent également des bouteilles qui contiennent 13 kg de propane  $C_3H_8$  partiellement liquéfié. Expliquer quelle est la différence majeure entre les bouteilles de propane et de butane en termes de température d'utilisation.

Le principe de la bouteille de propane est exactement le même.

On peut être certain que le propane sera toujours gazeux car il bout dès  $-42^\circ C$ . Par contre, le butane, lui, bout à  $-0,5^\circ C$ . On peut penser que s'il fait trop froid, la pression de vapeur saturante du butane diminue beaucoup par rapport à la valeur 2,5 bars, et passe sous la valeur  $p_{atm}$  : dans ce cas, le gaz ne sortira pas de la bouteille...

Données :

- $M(H) = 1 \text{ g.mol}^{-1}$
- $M(C) = 12 \text{ g.mol}^{-1}$
- Masse volumique du butane liquide à  $25^\circ C$  :  $\rho = 590 \text{ kg.m}^{-3}$
- Pression de vapeur saturante du butane à  $25^\circ C$  :  $P_v = 2,5 \text{ bar}$
- Température d'ébullition à  $P = 1 \text{ atm}$  :  $T_{éb, butane} = -0,5^\circ C$  et  $T_{éb, propane} = -42^\circ C$