Travaux pratiques | [θ] TP n°1

Étude des propriétés des fluides

On s'intéresse dans ce TP au comportement des fluides : gaz et liquides. L'objectif est de comparer le comportement des fluides réels avec ceux de leur modèle simplifié vu en cours : le modèle du gaz parfait et le modèle du fluide incompressible et indilatable.

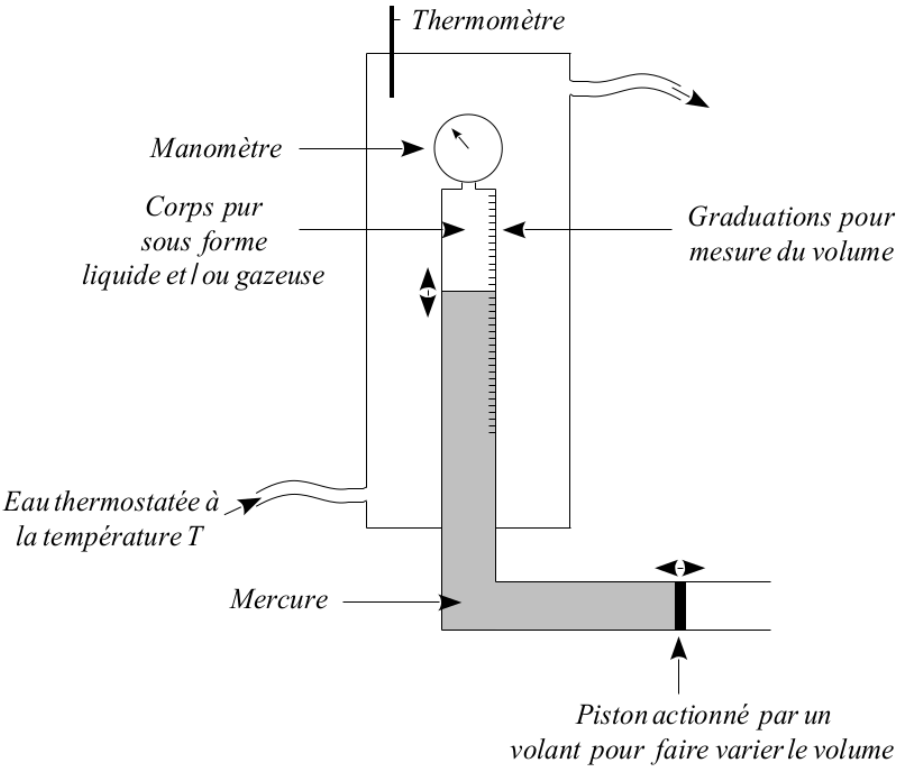
En parallèle, nous étudierons également la transition de phase liquide / gaz de l'hexafluorure de soufre (SF_6).

I - Étude d'un changement d'état liquide-gaz

On étudie l'équilibre liquide/vapeur pour l'hexafluorure de soufre (SF_6). On souhaite tracer quelques isothermes et observer le domaine supercritique.

Le dispositif ci-contre permet de faire varier la température du SF_6 en modifiant la température de l'eau (qui sert de thermostat), et le volume du système en actionnant un piston. Celui-ci est actionné par un volant et permet de pousser du mercure dans le tube pour comprimer le SF_6 et ainsi diminuer le volume occupé gaz le fluide. La pression dans le système est indiquée sur un **manomètre** à aiguille.

On prendra soin de ne pas dépasser 45 bars de pression afin de ne pas détériorer les joints des tuyaux reliant l'éprouvette, le manomètre et le piston de compression.



Par groupe de 2 binômes, relever 4 isothermes aux températures : 20°C, 30°C, 40°C et 50°C (un isotherme par groupe) en suivant le protocole ci-dessous (**ne pas y passer plus de 20 minutes, chauffage compris**) :

- Commencer l'expérience avec un volume de **3,0 mL**. Le fluide SF_6 est alors entièrement gazeux.
- Faire varier le volume par pas de 0,1 mL (0,05 mL sur la fin) et prendre une mesure de pression à chaque pas (« tapoter » sur l'aiguille pour qu'elle affiche la valeur réelle de la pression).

ATTENTION : NE JAMAIS DEPASSER 45 BARS

- Compléter le tableau commun.
- En fin d'expérience, changer la température de consigne pour le groupe suivant.

Le tableau est enregistré sur l'espace commun et peut être récupéré par tous (pour récupérer les nouvelles isothermes en cours du TP). Sur Regressi, cliquer sur *Fichier > Ouvrir* et sélectionner *Tableur CSV*.

II - Analyse des résultats

II.1 - Diagramme P(V) : réseau d'isothermes

Tracer le réseau d'isotherme dans un diagramme $P(V)$ sur Regressi.

- Reproduire l'allure du diagramme sur votre feuille et le légender entièrement à l'aide des termes suivants :
  - domaine du liquide (L), du gaz (G), du mélange L/G, point critique, domaine supercritique ;
  - courbe d'ébullition, courbe de rosée, courbe de saturation ;
  - courbe du liquide saturant, courbe de vapeur sèche saturante, domaine de vapeur saturante.
- Appliquer en un point du graphique le théorème des moments et déterminer la fraction massique de fluide dans l'état gazeux au point choisi.

II.2 - Diagramme d'Amagat : modèle du gaz parfait

On ne s'intéresse ici qu'à l'état gazeux.

- Rappeler l'équation d'état des gaz parfaits et indiquer l'unité de chaque terme dans les unités du système international (USI).
- Tracer les isothermes dans un diagramme d'Amagat : $\mathrm{PV} = f(\mathrm{P})$. Conclure.
- Montrer que la courbe peut être assimilée à une droite de faible pente pour les petites valeurs de pression (SF_6 sous forme gaz). Déterminer, grâce à une régression linéaire, le nombre de moles de SF_6 présente dans le dispositif. En déduire la masse de SF_6 présente dans le dispositif.

II.3 - Pression de vapeur saturante et diagramme P(T)

- Grâce au réseau d'isothermes, relever la pression de vapeur saturante $\mathrm{P_{sat}}$ aux différentes températures inférieures à la température critique. Tracer la courbe $\mathrm{P_{sat}(T)}$ (avec T la température en Kelvin).
- Vérifier la loi expérimentale de Rankine :

$$\ln\left(\frac{\mathrm{P_{sat}}}{\mathrm{P^\circ}}\right) = \mathrm{A} - \frac{\mathrm{B}}{\mathrm{T}}$$

avec $\mathrm{P^\circ} = 1\ \mathrm{bar}$. En déduire les coefficients A et B.

- Que représente cette courbe dans le diagramme $\mathrm{P(T)}$?

II.4 - Diagramme de Clapeyron : modèle du liquide incompressible et indilatable

- Rappeler l'équation d'état d'une phase condensée incompressible et indilatable.
- Les courbes mesurées sont-elles compatibles avec ce modèle ?

Pour prendre en compte ces observations, on introduit deux **coefficients thermoélastiques**, α et χ_T :

$$\alpha = \frac{1}{\mathrm{V}}\left(\frac{\partial \mathrm{V}}{\partial \mathrm{T}}\right)_\mathrm{P} > 0 \quad \text{coefficient de dilatation isobare}$$

$$\chi_\mathrm{T} = -\frac{1}{\mathrm{V}}\left(\frac{\partial \mathrm{V}}{\partial \mathrm{P}}\right)_\mathrm{T} > 0 \quad \text{coefficient de compressibilité isotherme}$$

- A l'aide de vos mesures, estimer les valeurs des paramètres α et χ_T.

Données du SF_6

Masse molaire :	$\mathrm{M} = 146\ \mathrm{g \cdot mol^{-1}}$
Température critique :	$\mathrm{T_C} = 47{,}15\ °\mathrm{C}$
Pression critique :	$\mathrm{P_C} = 37{,}6\ \mathrm{bar}$
Volume critique massique :	$\mathrm{v_c} = 1{,}35\ \mathrm{mL \cdot g^{-1}}$
Température au point triple :	$\mathrm{T_T} = -50{,}8\ °\mathrm{C}$
Pression au point triple :	$\mathrm{P_T} = 2{,}26\ \mathrm{bar}$

III - Étude de l'air

À partir du XVIIème siècle, l'étude du comportement macroscopique des gaz a suscité beaucoup d'intérêt. De nombreuses lois expérimentales ont été établies :

Loi de Boyle-Mariotte (1662)

A température constante, le produit de la pression P par le volume V d'une masse fixée de ce gaz est constant.

Loi de Charles (1787)

A pression constante, la variation ΔV de volume d'une masse fixée de gaz est proportionnelle à la variation ΔT sa température.

Loi de Gay-Lussac (1808)

A volume constant, la variation ΔP de pression d'une quantité fixée de gaz est proportionnelle à la variation ΔT sa température.

Loi d'Avogadro (1811)

Dans les mêmes conditions de température et de pression, des volumes égaux de gaz différents contiennent le même nombre de molécules.

Le fluide précédemment étudié n'était soumis qu'à des pressions supérieures à 10 bars. Pour tendre vers un comportement de gaz parfait, il est nécessaire d'étudier un gaz à plus faible pression. Le fluide étudié ici sera l'air.

À l'aide du matériel à votre disposition, vérifier une ou plusieurs de ces lois. Conclure : l'air se comporte-t-il comme un gaz parfait ?