

## Étude du $SF_6$

L'objectif de ce TP est d'étudier quelques aspects thermodynamique de l'hexafluorure de soufre  $SF_6$  et notamment de ses états liquide et vapeur :

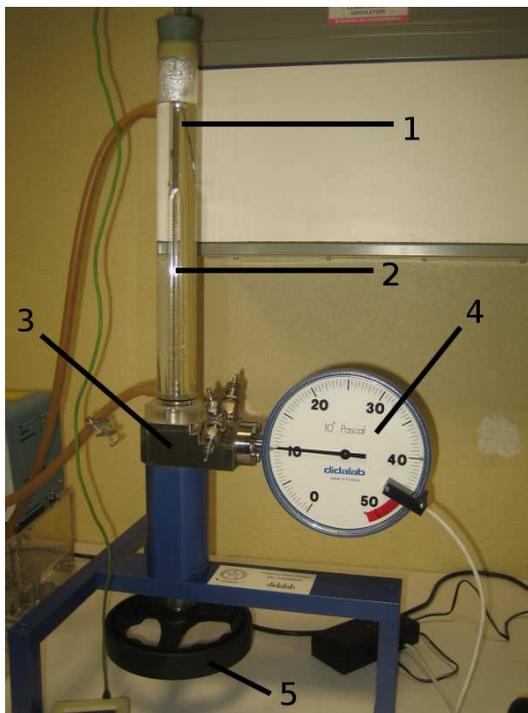
- relevé de la courbe de pression de vapeur saturante
- tracé d'une isotherme dans le diagramme de CLAPEYRON

Le TP se terminera par l'expérience dite du « contournement du point critique ».

### I) Description du matériel

#### 1°) le $SF_6$

L'appareil contient du  $SF_6$  dans une éprouvette de verre épais (2). Il est possible de faire varier le volume disponible au  $SF_6$  en tournant en volant (5) qui introduira plus ou moins de mercure dans l'éprouvette. La pression est indiquée par le manomètre (4) et le volume se lit directement sur l'éprouvette. L'hexafluorure de soufre est thermostaté grâce à la circulation d'eau dans la cuve transparente (1).



Légende :

- (1) cuve transparente

- (2) éprouvette en verre épais, graduée de 0 à 4 mL
- (3) chambre de pression, contenant du mercure dont le fond est fermé par une membrane étanche
- (4) manomètre donnant la pression en bar
- (5) volant permettant de faire varier le volume disponible au  $SF_6$

L'hexafluorure de soufre a été choisi en raison des valeurs facilement accessibles des paramètres critiques :

$$T_C = 45,5 \text{ } ^\circ\text{C} \quad \text{et} \quad P_C = 38 \text{ bar}$$

Les courbes expérimentales donnant la pression de vapeur saturante du  $SF_6$  et le diagramme de CLAPEYRON sont données à la fin du sujet.

#### 2°) Fonctionnement du bain thermostaté

Avant de mettre en marche le bain thermostaté avec le bouton (3), assurez-vous que le bouton de choix de thermostat (2) est positionné sur le trait qui renvoie au bouton (1) de choix manuel de température et que celui-ci est mis sur une température inférieure à celle de la salle de sorte qu'il ne chauffe pas.



- Mettez le bain thermostaté en route, le niveau d'eau doit monter à un ou deux centimètres par seconde<sup>1</sup>.

**Si l'eau monte trop vite, étranglez le tuyau d'arrivée avec en tournant la vis prévue à cet effet (photo ci-dessus).**

Lorsque le bain thermostaté est en mode de chauffe, un petit voyant jaune s'allume dans le coin supérieur droit de la façade. Le chauffage se fait alors par une résistance délivrant de manière constante une puissance d'environ 1 kW. Une fois la température de commande atteinte, le chauffage s'éteint et se rallume périodiquement de manière à compenser les pertes thermiques.

#### 3°) Lecture des paramètres d'état du fluide

Le volume se lit directement à l'aide des graduations sur l'éprouvette. Faites bien attention de ne pas commettre d'erreur de paralaxe.

- ¿? Étant donné que la surface libre du mercure n'est pas plane, où faut-il lire le volume ?

<sup>1</sup>. Admirez au passage les conséquences optiques de la présence d'eau dans la cuve transparente, notamment au niveau de la façon dont est vue l'éprouvette graduée.

La pression se lit sur le manomètre.



**Ne pas dépasser 50 bar !**

En cas de dépassement, un signal sonore est émis, il faut alors **impérativement** diminuer la pression en tournant le volant de manière à éviter tout risque d'explosion (et donc de projection de mercure).

La température se lit sur le thermomètre plongé dans le bain thermostatique.

¿? Dans quelles conditions est-il possible d'admettre que la température de l'eau dans le bain thermostaté est la même que celle de l'hexafluorure de soufre ?



**Ne jamais faire varier pression, volume ou température si l'éprouvette n'est pas entièrement entourée d'eau.**

#### 4°) Première manipulation (env 5 min)

Normalement la température du bain est modérée (près ou moins de 20 °C) et le volume disponible est de 4 mL. Dans ces conditions, le SF<sub>6</sub> est gazeux. Comme il est transparent et incolore, normalement vous ne devriez rien voir.

- Diminuez le volume accessible de manière à augmenter la pression jusqu'à 40 bar.
- ¿? Qu'observez-vous ? Expliquez succinctement
- Repositionnez le volume à 4 mL.

## II) Mesures

#### 1°) Relevé de la pression de vapeur saturante (env 30 min)

Le but est de retrouver expérimentalement la courbe  $P_s(T)$  donnée en fin de sujet. L'état initial du SF<sub>6</sub> doit être une température d'environ maximum 20 à 23 °C et le volume de 4 mL

- Diminuez le volume de manière à obtenir un équilibre liquide – vapeur.
- Notez la pression correspondante.
- Augmentez progressivement la température du bain thermostaté en manipulant le bouton de contrôle (1).
- Lorsque la température est stabilisée, notez la pression associée.
- Recopiez et remplissez le tableau ci-dessous avec autant de colonne que nécessaire.

T							
P							

- Continuez à augmenter la température de 2 à 3 °C à chaque fois jusqu'à environ 43 °C.
- ¿? Pourquoi ne pas aller plus haut en température sachant que le bain thermostaté peut monter jusqu'à près de 100 °C ?
- Comparez vos résultats à la courbe donnée en fin de sujet en traçant vos points expérimentaux dessus.
- ¿? Quelles sont les principales causes d'erreur ou d'incertitude sur cette manipulation ?

#### 2°) Autour d'une isotherme

Le but de cette manipulation est de tracer et d'exploiter l'isotherme  $T = 28$  °C

**Refroidissement de la cuve** La cuve est à près de 45 °C et cela prendrait trop de temps d'attendre que l'eau se refroidisse naturellement. Pour cela vous allez faire quelques manipulations hydrauliques. L'expérience montre alors qu'inévitablement de l'eau se répand sur la paillasse, en plus ou moins grande quantité suivant l'habileté des manipulateurs. C'est pourquoi, avant de commencer à manipuler :

- éloignez tout objet craintif de l'eau (feuille écrite à l'encre, calculatrice, morceau de sodium et autres Pod ...)
  - trouvez un torchon pour essuyer (si, si, il servira)
  - réfléchissez avant de manipuler
- Après, dites-vous bien qu'au pire c'est de l'eau.

- Arrêtez la pompe.
  - Siphonnez partiellement la cuve du bain thermostaté en débranchant le tuyau envoyant l'eau dans le dispositif. Recueillez l'eau siphonné dans le gros bidon rouge.
  - Refaites le niveau d'eau à l'aide d'un seau rempli au robinet.
  - Rebranchez le tout et mettez en marche la pompe avec une température de commande de 25 °C.
- Vous aurez deux fois à refroidir la cuve. La première fois, vous pourrez demander l'aide soit des techniciens soit du professeur. Observez-les bien car la deuxième fois, ça sera tout seul!

**Diagramme de CLAPEYRON** Maintenant que la cuve est prête, vous allez pouvoir tracer une isotherme.

- Attendez que la température se stabilise et faites en sorte qu'elle soit égale à 25 °C à environ 0,5 °C près.
- Fixez le volume de SF<sub>6</sub> à 4 mL et relevez la pression associée.
- Modifiez le volume disponible et attendez la stabilisation en pression avant de noter la valeur associée.
- Diminuez le volume de 0,2 en 0,2 mL au début et plus lentement sur la fin (n'oubliez pas de ne pas dépasser 50 bar).
- Recopiez et remplissez le tableau ci-dessous avec autant de colonne que nécessaire.

V							
P							

- Tracez le tout sur une courbe en indiquant bien à chaque fois l'état du SF<sub>6</sub>.
- Mesurez les volumes du liquide juste saturant et de la vapeur juste saturante.

**Diagramme d'AMAGAT** Afin de tester le caractère *parfait* de la vapeur sèche, il est possible de tracer de multiples diagrammes. L'un d'eux est le diagramme d'AMAGAT :  $PV = f(P)$  à  $T = C^{te}$ .

- ¿? Quelle est l'allure de ce diagramme pour un gaz parfait ?
- Tracez dans le diagramme d'AMAGAT l'isotherme  $T = 25$  °C à l'aide des mesures que vous venez d'effectuer.
- ¿? La vapeur sèche peut-elle être considérée comme parfaite ?
- ¿? À quelle condition sur la pression le comportement de tout gaz tend-il vers celui d'un gaz parfait ?
- Déduisez de la réponse précédente, une méthode pour obtenir un ordre de grandeur de la quantité de gaz présente dans l'éprouvette.

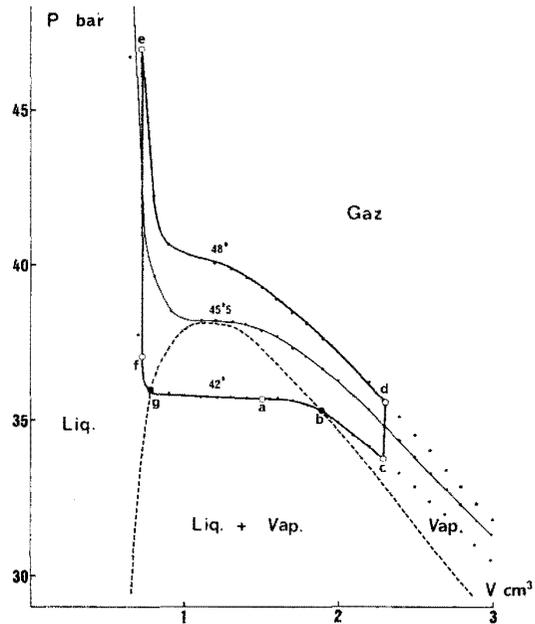
**Chaleur latente** La formule de CLAPEYRON  $L_{vap} = T(v_{vap} - v_{liq}) \frac{dP_s}{dT}$  permet de relier les différentes mesures effectuées dans ce TP avec la chaleur latente de vaporisation de SF<sub>6</sub> à  $T = 25$  °C.

- Mesurez la pente  $\frac{dP_s}{dT}$  sur la courbe tracée précédemment en 1°).

- Avec les mesures effectuées juste avant, déduisez les volumes massiques  $v_{\text{vap}}$  et  $v_{\text{liq}}$  de la vapeur juste saturante et du liquide juste saturant sachant que la masse molaire vaut  $M_{\text{SF}_6} = 146 \text{ g.mol}^{-1}$ .
- Calculez alors la chaleur latente de vaporisation du  $\text{SF}_6$ .
- Comparez avec la valeur tabulée  $L_{\text{vap}} \simeq 61,6 \text{ kJ.kg}^{-1}$ .

### III) Contournement du point critique

Cette expérience est surtout manipulative et vise à observer qualitativement un phénomène. Pour cela vous allez réaliser le cycle suivant.



- Placez-vous au point **a** : réglez le thermostat sur  $43 \text{ }^\circ\text{C}$ , le volume sur  $1,8 \text{ mL}$  et attendez l'équilibre.
- Trajet **a – b – c** : augmentez le volume lentement de manière à réaliser une détente le long d'une isotherme.

Le  $\text{SF}_6$  est désormais dans l'état vapeur.

¿? Quand savez-vous que vous avez atteint le point **b** ?

- Trajet **c – d** : augmentez la température du bain à environ  $48 \text{ }^\circ\text{C}$  (ne **pas** dépasser  $48 \text{ }^\circ\text{C}$ ).
- Trajet **d – e** : diminuez le volume lentement de manière à réaliser une compression isotherme (attention de ne pas dépasser  $50 \text{ bar}$ ) jusqu'à  $V \simeq 0,2$  à  $0,25 \text{ mL}$
- Trajet **e – f** : rajoutez de l'eau froide dans la cuve de manière à réaliser un refroidissement isochore jusqu'à  $43 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Le  $\text{SF}_6$  est désormais dans l'état liquide.

Le changement d'état de **c** à **f** s'est réalisé dans voir de liquéfaction !

- Trajet **f – g – a** : augmentez le volume de manière à faire réapparaître les deux phases liquide et vapeur.

¿? Que se passe-t-il en **g** ?

