

Transitions de phase

(Couplé avec TP microcontrôleur - 2h chacun)

Compétences exigibles :

- Mettre en œuvre un protocole expérimental de mesure d'une grandeur thermodynamique : chaleur latente de transition de phase.
- Utiliser des capteurs de température et de pression.
- Commenter qualitativement le résultat d'une mesure en le comparant, par exemple, à une valeur de référence.
- Analyser les sources d'erreurs et proposer des améliorations du processus de mesure.
- Juger qualitativement si des données expérimentales avec incertitudes sont en accord avec un modèle linéaire.
- Extraire à l'aide d'un logiciel les incertitudes sur la pente et sur l'ordonnée à l'origine dans le cas de données en accord avec un modèle linéaire.

Note finale :

I. Etude d'une partie de la courbe de vaporisation de l'eau

1. Principe de la mesure

Nous nous proposons de tracer expérimentalement la courbe de vaporisation de l'eau, c'est à dire la courbe représentant l'évolution de la pression de vapeur saturante P_s en fonction de la température T .

Pour cela, on mesure, à l'équilibre, à une température T du mélange, la pression P_s de la vapeur d'eau surmontant le liquide. On répète l'opération à différentes températures. Le principe de l'opération consiste à chauffer dans une enceinte fermée une masse d'eau jusqu'à atteindre un état d'équilibre liquide-vapeur à une température supérieure à la température ambiante puis à mesurer les valeurs du couple (Pression, Température) lors du refroidissement du système.

Les mesures ne s'effectuent donc pas rigoureusement dans les conditions de l'équilibre, toutefois le refroidissement étant relativement lent, le système est à chaque instant très proche des conditions d'équilibre.

En pratique, l'enceinte fermée est constituée d'une cocotte-minute modifiée pour permettre le passage des capteurs de pression et de température. Le capteur de température est situé dans un petit manchon métallique pénétrant à l'intérieur de la cocotte-minute et assurant par conductivité un bon contact thermique avec la vapeur. Le capteur de pression est placé à l'extérieur de la cocotte-minute, à une extrémité d'un tuyau dont l'autre extrémité, ouverte, pénètre dans la cocotte-minute où il est en contact avec la vapeur d'eau. Un peu de vapeur d'eau pénètre ainsi dans le tuyau mais n'entre pas directement en contact avec le capteur, les variations de pression étant transmises par l'intermédiaire d'une colonne d'air sec. Le système de mesure assure la récupération de l'eau qui se condense dans la partie du tuyau extérieure à la cocotte-minute.

Les capteurs délivrent en sortie des tensions proportionnelles à la grandeur à mesurer (pression P ou température T). Ces tensions sont directement envoyées sur la carte d'acquisition de Latis Pro. L'échantillonnage des signaux reçus permettra alors de tracer la courbe de vaporisation. Le chauffage de l'eau est assuré par une plaque chauffante électrique placée sous la cocotte-minute.

2. Acquisition

Effectuer dans l'ordre la série de manipulations suivantes, en prenant soin avant de commencer de repérer les différents éléments du système d'acquisition :

- Vérifier que l'on dispose au fond de la cocotte d'environ 1,5 L d'eau (soit pour les cocottes-minutes utilisées, une hauteur d'eau voisine de 3 cm) et fermer soigneusement la cocotte-minute.
- Étalonnage des capteurs : si ce n'est déjà fait, relier la sortie du capteur de pression à la voie d'acquisition EA0 et celle du capteur de température à la voie d'acquisition EA1.

Ouvrir Latis Pro et relever les valeurs numériques des tensions des capteurs à la température de la pièce et pour la pression atmosphérique du jour. Vous disposez d'un thermomètre sur la paillasse et pour la pression, vous trouverez sa valeur sur Internet en temps réel. Attention, la pression à St-Etienne est égale à 94% de la pression au niveau de la mer !

Sachant que les capteurs donnent des variations de tension proportionnelles aux variations de pressions ou de températures, en déduire :

→ La correspondance entre la tension U_T mesurée en volts (V) et la température θ mesurée en degré Celsius ($^{\circ}C$). Pour le capteur de température on a par construction une tension de sortie nulle ($U_T = 0 V$) pour la température $\theta = 0^{\circ}C$.

→ La correspondance entre la tension U_P mesurée en volts (V) et la pression P mesurée en Pascal (Pa). Pour le capteur de pression, on a par construction une tension de sortie nulle ($U_P = 0 V$) pour une pression nulle (0 Pa).

Q1

$T_{salle} =$

$P_{salle} =$

fonction $U_T(T) =$

fonction $U_P(P) =$

Remarque : L'étalonnage en température est provisoire (car grossier) ; on l'affinera en relevant la tension lorsque la pression de la vapeur à l'équilibre sera de 1 bar.

Programmer Latis Pro pour l'acquisition. La durée d'acquisition est de 30 min et la période d'échantillonnage est de 10 s.

- Lancer une première acquisition de contrôle pour contrôler la pression :

- Faire chauffer l'eau dans la cocotte-minute en réglant la plaque de chauffage à la puissance maximale et laisser la soupape tourner librement 3 à 4 minutes de manière à chasser l'air contenu dans la cocotte-minute, puis bloquer la soupape à l'aide de la masse posée sur les paillasses.
- Couper alors le chauffage. La pression dans le système augmente. Contrôlez que celle-ci ne dépasse pas les 2 atm (déterminer alors la tension du capteur à ne pas dépasser, environ 2,2V).

Q2

U_P à ne pas dépasser :

- Lorsque la pression se met à décroître, relancer l'acquisition. Celle-ci est longue, pendant ce temps, passez à la partie suivante sur SF6.

3. Exploitation des mesures

Q3 - Dans LatisPro, construire les fonctions $T(U_T)$ et $P(U_P)$.

- Rechercher $P=1$ bar, modifier éventuellement $T(U_T)$ de manière que $T(P_s = 1\text{bar}) = 100^\circ\text{C}$ (affinement de l'étalonnage)

- Tracer la courbe donnant $P_s(T)$.

- La formule de Duperray donne pour la loi $P_s(T)$ l'expression suivante : $P_s = (T/100)^k$ avec k une constante. Quel graphe tracer pour vérifier (par une droite) cette formule empirique? Le tracer, en déduire la valeur de k . Comparer avec la valeur fournie dans les tables.

II. Etude de la transition liquide vapeur du SF_6

On considère la transition liquide-vapeur d'une masse constante (système fermé) d'hexafluorure de soufre (SF_6).

L'évolution du système sera suivie en coordonnées de Clapeyron (P, v).

Le système est enfermé dans un tube en verre. Ce tube en verre est contenu dans une enceinte dans laquelle circule de l'eau dont la température est réglable et régulée par un thermostat. Celle-ci impose, à l'équilibre thermique, la température de l'hexafluorure de soufre. La température de l'eau se lit à l'aide d'un thermomètre placé en haut de l'enceinte. Le volume total occupé par l'hexafluorure de soufre est réglable par l'intermédiaire d'une colonne de mercure que l'on fait monter ou descendre dans le tube en verre à l'aide d'un volant. Un manomètre à aiguille indique la pression dans le tube en verre.

Repérer tous ces éléments sur le matériel disposé sur la paillasse.

Faites très ATTENTION!!

Ne JAMAIS pénétrer dans la zone rouge du manomètre : risque de destruction de l'appareil!

Faites TRES ATTENTION à tourner **très lentement** le volant quand vous voyez que le gaz s'est totalement liquéfié dans le tube!

Q4 Lire la température indiquée par le thermostat.

$\theta =$

Q5 Régler le volume occupé par le SF_6 à 4 cm^3 environ. Préciser l'état initial E_i dans le diagramme de Clapeyron une fois l'équilibre thermique atteint.

Q6 En tournant lentement le volant, tracer dans le diagramme de Clapeyron l'isotherme.

Donner le volume où apparaît la première goutte de liquide et celui où disparaît la dernière bulle de vapeur. Comparer vos résultats à ceux du réseau d'isothermes plus complet du diagramme ci-joint.

Justifier le caractère incompressible des liquides. Vérifier que lorsqu'on s'éloigne un peu de la transition, à l'état gazeux, le système se comporte pratiquement comme un gaz parfait.

