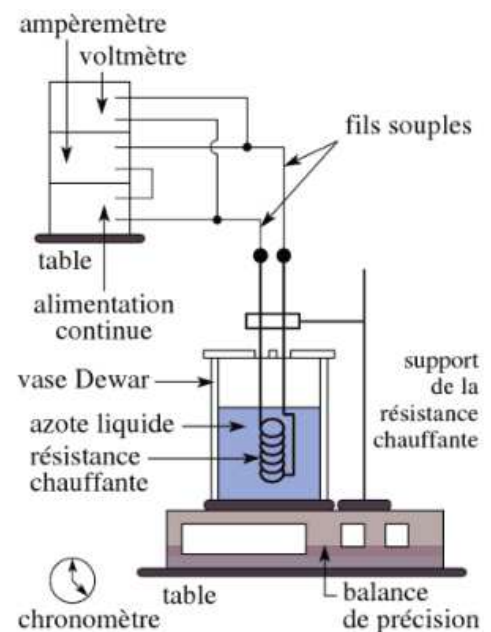


MESURE DE L'ENTHALPIE DE VAPORISATION DE L'AZOTE

L'azote liquide est fréquemment employé pour maintenir des systèmes à basse température. Le changement d'état étant extrêmement coûteux, on peut avec un peu d'azote liquide maintenir une température faible pendant un temps assez long. On se propose dans ce problème de mesurer l'enthalpie de vaporisation de l'azote liquide et d'en déduire le temps pendant lequel la température peut être imposée ainsi (pour un volume d'azote donné). Par abus de langage, on dira « l'azote » pour parler du « diazote ».

Pour cela, on réalise l'expérience suivante : un récipient calorifugé (de type bouteille isolante) contenant une masse d'azote est placée sur une balance monoplateau électronique.

Un thermoplongeur (résistance chauffante), supporté par une potence, plonge dans le liquide. Il est alimenté par une alimentation stabilisée. Un voltmètre et un ampèremètre permettent la mesure de la tension U aux bornes du thermoplongeur, et de l'intensité I qui le traverse.



On dispose par ailleurs d'un chronomètre.

On alimente le thermoplongeur et on attend l'ébullition. On règle alors U pour avoir une ébullition régulière et lente. À la fin de chaque expérience, il reste de l'azote liquide dans le récipient.

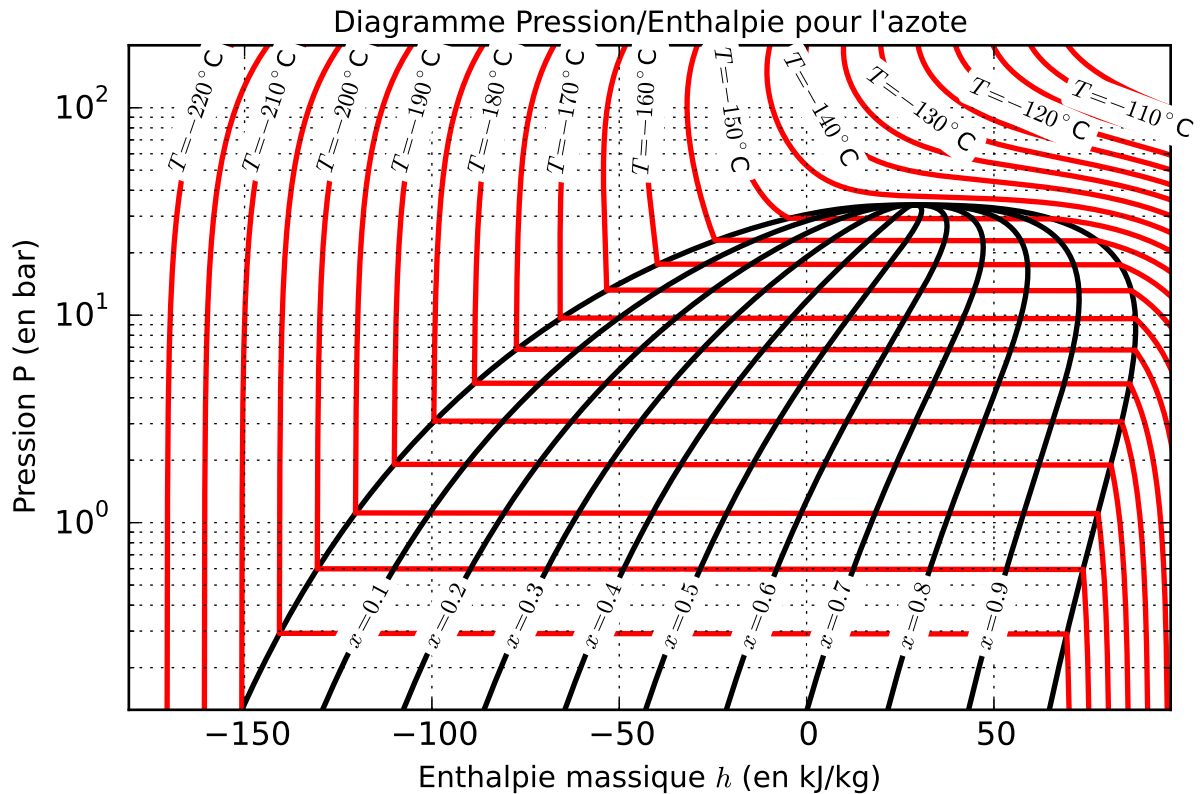
Lorsqu'on déclenche le chronomètre, la balance indique $m' = 220,12$ g. On arrête le chronomètre lorsque la balance indique $m'' = m' - 30,00$ g, et on lit le temps t écoulé.

- Q1 1. Définir l'enthalpie massique de changement d'état L_v et donner une unité possible.
 2. Avec $U_1 = 6,00$ V et $I_1 = 2,083$ A, le temps t vaut $t_1 = 6$ min 23,4 s.
- Q2 (a) Définir un système et établir un bilan énergétique approprié faisant intervenir l'enthalpie massique de vaporisation de l'azote notée L_v et les données de l'énoncé.
- Q3 (b) Calculer l'enthalpie massique de vaporisation de l'azote.
- Q4 3. Le petit Philippe trouve un diagramme $\log P - h$ sous une table et décide de comparer la valeur obtenue par l'expérience avec celle tabulée. Toutefois, il ne comprend pas tout ce qui est écrit : pouvez vous l'aider à lire le plus précisément possible et en expliquant votre démarche (refaites un schéma si nécessaire) :
- Q5 (a) la température d'ébullition de l'azote liquide à pression atmosphérique ($P_0 = 1$ bar);
- Q6 (b) l'enthalpie massique de changement d'état à pression atmosphérique ;
- Q7 (c) les coordonnées P-T du point critique.
 (d) est-il possible, à température ambiante, d'augmenter suffisamment la pression pour liquéfier l'azote dans l'air? Justifier à l'aide de l'allure du diagramme P-T de l'azote (non fourni).
- Q8 4. La différence entre la valeur obtenue à l'aide du diagramme et celle obtenue à l'aide de la première expérience est tellement grande qu'il est nécessaire de prendre en compte les fuites thermiques liées au caractère non parfaitement isolant des parois.
 Pour cela, on réalise une seconde expérience, avec $U_2 = 9,00$ V et $I_2 = 2,000$ A, le temps t vaut $t_2 = 4$ min 43,7 s, pour la même différence de masse $m'' = m' - 30,00$ g. La puissance de fuite \mathcal{P}_{fuite} dépendant généralement de la différence de température entre l'intérieur et l'extérieur du récipient, elle sera considérée identique dans les deux expériences.
- Q9 (a) Écrire à nouveau le bilan énergétique en tenant compte de \mathcal{P}_{fuite} .
 (b) Calculer l'enthalpie massique de vaporisation de l'azote et comparer avec la valeur lue sur le diagramme.

Q10

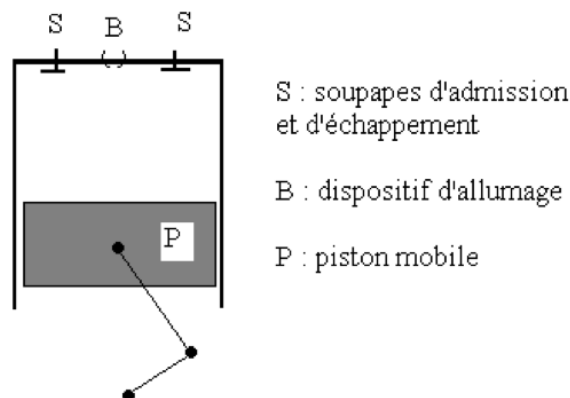
(c) Calculer la puissance de fuite \mathcal{P}_{fuite} .

Q11

(d) En déduire le temps au bout duquel 2 L d'azote liquide se seront entièrement évaporés si on n'alimente pas la résistance chauffante. On donne la masse volumique de l'azote liquide : $\mu_a = 807,0 \text{ kg/m}^3$.

ÉTUDE D'UN MOTEUR À ESSENCE

Afin de simplifier le problème, on suppose que le moteur est constitué d'un seul cylindre dont le schéma en coupe est représenté ci-dessous :



Les contraintes de fabrication et d'utilisation imposent de ne pas dépasser une pression de 50 bars dans le cylindre. Dans tout le problème, les gaz, quels qu'ils soient, sont assimilés à des gaz parfaits de rapport $\gamma = 1,4$ et $R = 8,314 \text{ J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$.

Les transformations seront considérées comme mécaniquement réversibles.

A. Quelques questions préliminaires sur les moteurs thermiques

En 1824, Carnot postulait le principe suivant "Pour qu'un système décrive un cycle moteur, il doit nécessairement échanger de l'énergie avec au moins deux sources à des températures différentes ..."

- Q12 1. Justifier le fait qu'un cycle monotherme ne puisse être moteur.
 2. On considère un système décrivant un cycle moteur ditherme. La machine reçoit de la source chaude S_1 , à la température T_1 , le transfert thermique Q_1 et de la source froide S_2 , de température T_2 , le transfert thermique Q_2 .
- Q13 (a) Quels sont les signes de Q_1 et Q_2 ? Démontrer votre réponse.
 (b) À quelle condition le rendement d'un tel moteur est-il maximal?
- Q14 Le définir et l'exprimer en fonction de T_1 et T_2 . Justifier votre réponse.

B. Le moteur à explosion

Le principe de fonctionnement est le suivant :

$O \rightarrow A$: Phase d'admission.

Le mélange gazeux est constitué d'air et de $n' = 2 \cdot 10^{-4}$ mol d'essence. Il est admis de façon isobare à la pression P_A dans le cylindre. La soupape d'admission est refermée.

Le mélange air-carburant se trouve dans les conditions $V_A = 1$ L, $P_A = 1$ bar, $T_A = 293$ K = 20 °C.

Le gaz subit alors la suite de transformations suivantes :

- $A \rightarrow B$: compression adiabatique réversible. $V_B = \frac{V_A}{8}$.
- $B \rightarrow C$: une étincelle provoque la combustion isochore, instantanée, de toute l'essence.
- $C \rightarrow D$: détente adiabatique réversible ; on donne $V_D = V_A$;
- $D \rightarrow A$: refroidissement isochore. (la pression chute à cause de l'ouverture du cylindre vers l'extérieur)

$A \rightarrow O$: refoulement isobare des gaz vers l'extérieur à la pression P_A . C'est l'échappement.

Dans toute l'étude de ce modèle de moteur à explosion, on suppose constant le nombre total de moles gazeuses.

- Q15 1. Représenter l'ensemble des transformations sur un diagramme (P, V) .
 Indiquer le sens de parcours. Commenter.
- Q16 2. Pourquoi parle-t-on de moteur à combustion interne ?
- Q17 3. Pourquoi parle-t-on de moteur à 4 temps ? Préciser les 4 temps.
 Les étapes d'admission et de refoulement se compensent et on raisonnera donc sur le système fermé effectuant le "cycle" $ABCD$
- Q18 4. Calculer n_A , le nombre de moles de gaz initialement admis dans le cylindre.
5. Le mélange gazeux est assimilé à un gaz parfait de rapport $\gamma = 1,4$.
- Q19 (a) Déterminer la pression du mélange dans l'état B .
- Q20 (b) Déterminer la température du mélange dans l'état B .
- Q21 (c) On devrait en réalité prendre $\gamma = 1,34$. Suggérer une justification.
- Q22 (d) Le mélange air-essence s'enflamme spontanément à 330°C, ce que l'on souhaite éviter ... Calculer le taux de compression $\tau = \frac{V_A}{V_B}$ maximal permettant d'éviter cet "autoallumage" entre A et B .
 Pour l'application numérique de cette question - uniquement - on prendra $\gamma = 1,34$.
- Q23 6. On suppose ici $T_C = 2100$ K. Calculer P_C . Respecte-t-on la contrainte de pression mentionnée en introduction ?
 En réalité la pression maximale est légèrement inférieure. Proposer une justification.
- Q24 7. Calculer la température en D .
- Q25 8. (a) Exprimer, en fonction de $C_{V,m}$, n et des températures puis en fonction de n , R , γ et des températures, le travail fourni W_f par le gaz au système mécanique au cours d'un cycle. Le calculer.
 $C_{V,m}$ représente la capacité thermique molaire à volume constant du mélange gazeux.
- Q26 (b) Définir le rendement du cycle, l'exprimer en fonction des différentes températures .
 (c) Exprimer le rendement en fonction du taux de compression et de γ .
- Q27 9. Le moteur effectue 2500 cycles par minute. Quelle est sa puissance ? La calculer. Combien le piston effectue-t-il d'allers-retours par minute ?

C. Bilan entropique

1. Le refroidissement isochore DA s'effectue au contact de l'atmosphère, à la température T_A , la variation d'entropie lors de cette transformation est donnée par $\Delta S = \frac{nR\gamma}{\gamma-1} \ln\left(\frac{T_A}{T_D}\right)$.

Q28

(a) Exprimer l'entropie échangée.

Q29

(b) En déduire l'entropie créée au sein du mélange gazeux, la calculer.

Q30

(c) Commenter le résultat : quelle est la cause d'irréversibilité ?

Q31

2. Y-a-t-il eu création d'entropie au sein du gaz lors des évolutions : AB , BC et CD ? Dans l'affirmative, quel type d'irréversibilité en est la cause ?

D. Changements d'états d'un corps pur

À $T = T_A = 293$ K, l'essence dans le mélange est sous forme vapeur et se comporte comme un corps pur gazeux de pression $P_A = 5.10^{-3}$ bar.

Q32

1. Tracer le diagramme d'équilibre $P = f(T)$ d'un corps pur en y indiquant le point critique ainsi que les différents états du corps dans les différentes parties du diagramme.

Q33

Placer (qualitativement) le point A sur ce diagramme.

Q34

2. Tracer dans le diagramme de Clapeyron $P = f\left(v = \frac{V}{m}\right)$ la courbe de vaporisation d'un corps pur.

Indiquer les zones de vapeur sèche, de vapeur saturante, de liquide pur, etc ...

Placer aussi sur ce diagramme le point critique.

Q35

Placer (qualitativement) le point A sur ce diagramme.