

Attention :

- Justifiez tous vos résultats, commentez les applications numériques si cela vous semble pertinent.
- Tout résultat non justifié sera systématiquement considéré comme faux.
- Soignez la présentation : faites de belles figures, encadrez les résultats, aérez votre copie.
- Les résultats non homogènes seront sanctionnés.

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 ».

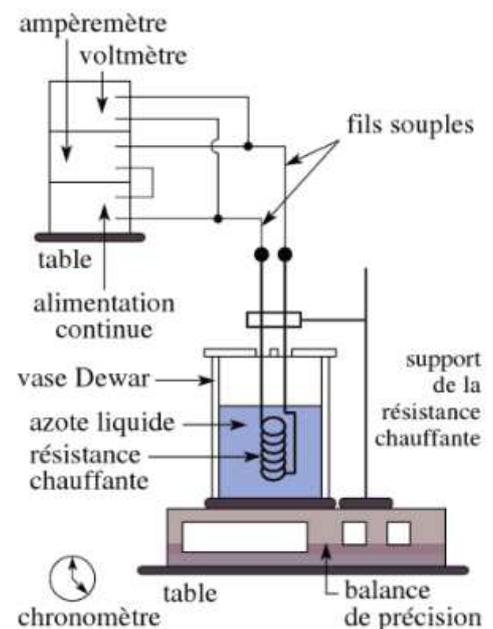
Pour cela, on réalise l'expérience suivante : un récipient calorifugé (de type bouteille isolante) contenant une masse d'azote est placée sur une balance monoplateau électronique.

Un thermoplongeur (résistance chauffante), supporté par une poutre, 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.

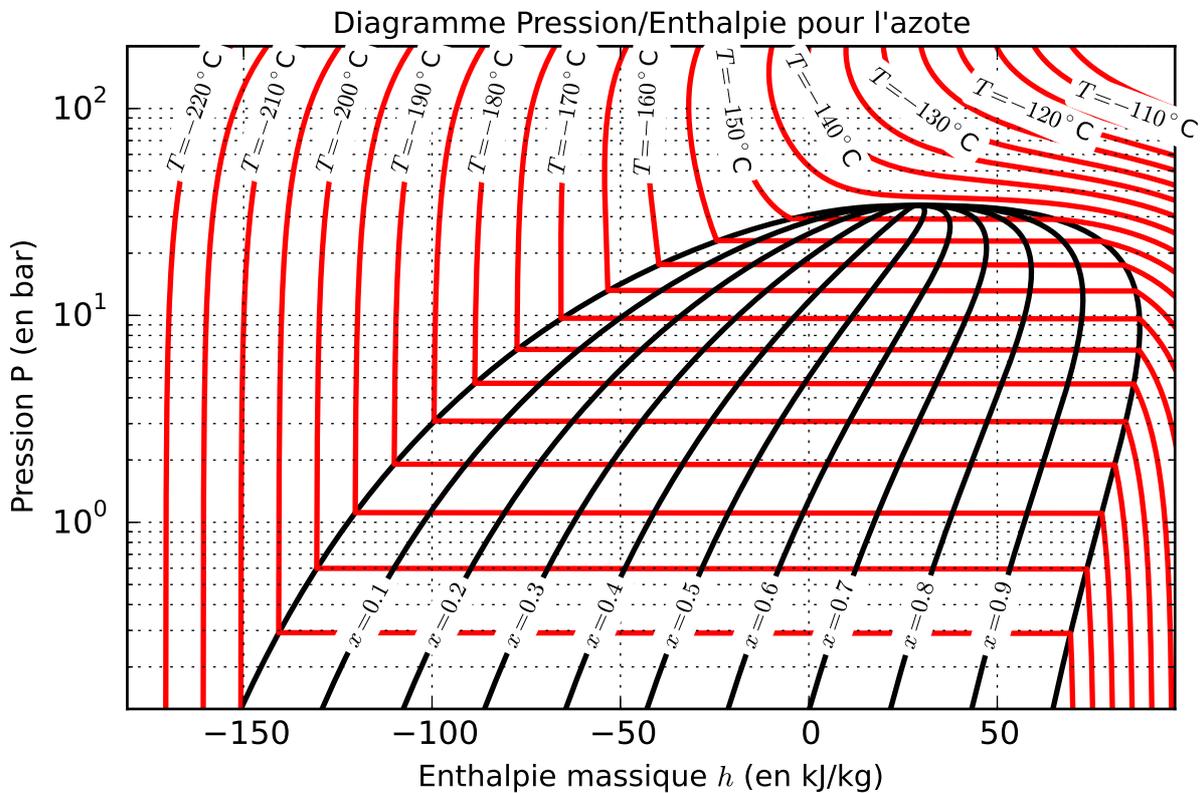


- Q1 1. Définir l'enthalpie massique de changement d'état L_v et donner une unité possible.
2. Avec $U_1 = 6,00$ V et $I_1 = 2,083$ A, le temps t vaut $t_1 = 6$ min 23,4 s.
- Q2 (a) Définir un système et établir un bilan énergétique approprié faisant intervenir l'enthalpie massique de vaporisation de l'azote notée L_v et les données de l'énoncé.
- Q3 (b) Calculer l'enthalpie massique de vaporisation de l'azote.
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) :
- Q4 (a) la température d'ébullition de l'azote liquide à pression atmosphérique ($P_0 = 1$ bar) ;
- Q5 (b) l'enthalpie massique de changement d'état à pression atmosphérique ;
- Q6 (c) les coordonnées P-T du point critique.
- Q7 (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).

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.

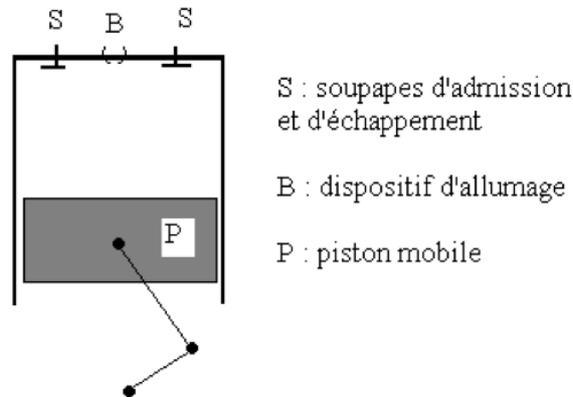
Pour cela, on réalise une seconde expérience, avec $U_2 = 9,00$ V et $I_2 = 2,000$ A, le temps t vaut $t_2 = 4$ min 43,7 s, pour la même différence de masse $m'' = m' - 30,00$ g. La puissance de fuite \mathcal{P}_{fuite} dépendant généralement de la différence de température entre l'intérieur et l'extérieur du récipient, elle sera considérée identique dans les deux expériences.

- Q8 (a) Écrire à nouveau le bilan énergétique en tenant compte de \mathcal{P}_{fuite} .
- Q9 (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 2L d'azote liquide se seront entièrement évaporés si on n'alimente pas la résistance chauffante. On donne la masse volumique de l'azote liquide : $\mu_a = 807,0$ kg/m³.



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 $V_A = 1 \text{ L}$, $P_A = 1 \text{ bar}$, $T_A = 293 \text{ K} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$.

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.
(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 .
- Q22 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

- Q28 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 $\Delta S = \frac{nR\gamma}{\gamma-1} \ln \left(\frac{T_A}{T_D} \right)$.
- Q29 (a) Exprimer l'entropie échangée.
- Q30 (b) En déduire l'entropie créée au sein du mélange gazeux, la calculer.
(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 $P = f(v = \frac{V}{m})$ la courbe de vaporisation d'un corps pur. Indiquer les zones de vapeur sèche, de vapeur saturante, de liquide pur, etc ...
- Q35 Placer aussi sur ce diagramme le point critique. Placer (qualitativement) le point A sur ce diagramme.

ÉTUDE DE LA SALLE DE BAIN DE BERTRAND

On rappelle la définition de l'hygrométrie :

$$H = \frac{p_{H_2O}}{p_{sat,H_2O}(T)}$$

où p_{H_2O} est la pression partielle de la vapeur d'eau dans l'atmosphère et $p_{sat,H_2O}(T)$ est la pression de vapeur saturante à la température T . On rappelle l'expression de la pression partielle :

$$p_{H_2O} = \frac{n_{H_2O}RT}{V}$$

Où n_{H_2O} est le nombre de moles d'eau sous forme gazeuse dans la pièce et V le volume total de la pièce. La masse molaire de l'eau est de 18 g/mol et la masse volumique de l'eau liquide sera prise égale à 1000 kg/m³.

La constante de gaz parfait vaut $R = 8,314$ SI. Lorsque cela est possible, donnez un résultat numérique en plus de l'expression littérale.

Bertrand a voulu bricoler dans sa salle de bain pour installer une VMC double flux (économie d'énergie en réchauffant l'air qui rentre dans la maison avec l'air qui sort de la maison). Malheureusement, il a cassé son aération et pour le moment sa salle de bain n'est plus ventilée. Les dimensions de la salle de bain sont 2 m × 2 m × 2,5 m.

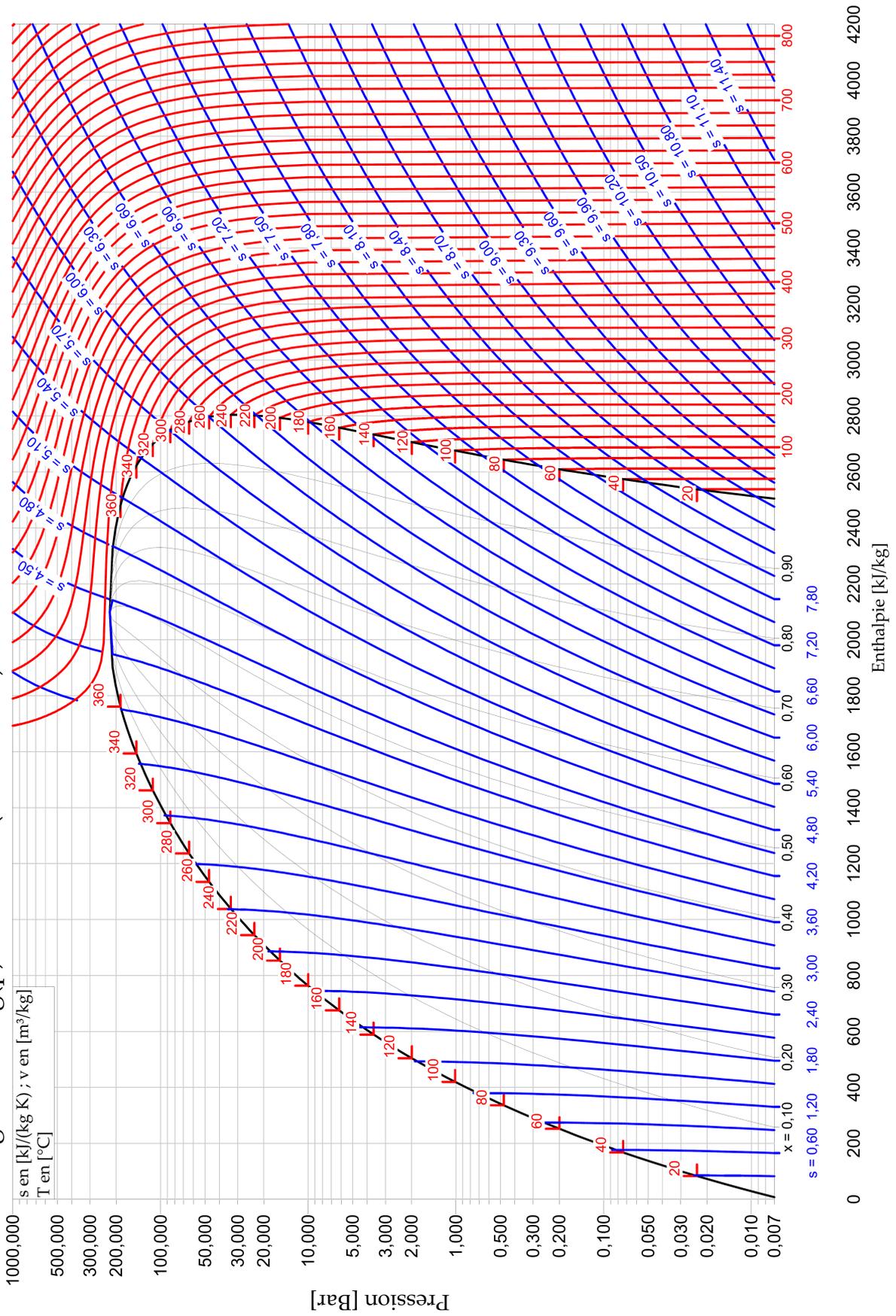
Il prend quand même sa douche avant d'aller au travail. Pour ne pas avoir froid en sortant, il allume le chauffage dans sa douche et prend une douche très chaude pendant longtemps. Ainsi, après s'être lavé, la température dans la pièce est d'environ 40 °C et l'hygrométrie est de 90%. Bertrand sort ensuite de la salle de bain après avoir éteint le chauffage en claquant la porte, ce qui ferme la pièce de façon hermétique.

La porte n'étant pas calorifugée, la température de la pièce va redescendre à 20 °C. On se propose dans cet exercice de calculer dans l'état dans lequel Bertrand va retrouver sa salle de bain en rentrant.

- Q36 1. Quelle est la dimension de R puis son unité courante ?
- Q37 2. Que représente la pression partielle d'un corps dans une atmosphère inerte ? Qu'est-ce que la pression de vapeur saturante ?
- Q38 3. Sur le diagramme en annexe, relever du mieux que vous pouvez la pression de vapeur saturante de l'eau à 20 °C et à 40 °C.
4. Dans le cas d'un équilibre liquide vapeur en présence d'une atmosphère inerte, que se passe-t-il si à un instant initial l'état du système est tel que :

- Q39 (a) $p_{H_2O} > p_{sat,H_2O}(T)$
(b) $p_{H_2O} < p_{sat,H_2O}(T)$
(c) $p_{H_2O} = p_{sat,H_2O}(T)$
- Q40 5. À l'équilibre, quelle est la valeur maximale de la pression partielle de la vapeur d'eau et donc la quantité de matière n_{max} d'eau sous forme vapeur dans la pièce. On exprimera le résultat en fonction du volume V de la pièce, de la température T , de la pression en vapeur saturante à cette température $p_{sat,H_2O}(T)$ et de R . Calculer n_{max} .
- Q41 6. Compte tenu de la définition de l'hygrométrie et de la question précédente, exprimer H en fonction de la quantité de matière sous forme gazeuse dans l'atmosphère $n_{H_2O,g}$ et n_{max} défini à la question précédente.
- Q42 7. Lorsque Bertrand sort de la douche quelle est la quantité de matière d'eau sous forme vapeur dans la pièce (on pourra utiliser la définition de l'hygrométrie). Faites l'application numérique.
- Q43 8. Lorsque la salle de bain est revenue à la température de l'appartement, à quelle hygrométrie correspondrait la quantité de matière précédemment calculée, que va-t-il se passer ?
- Q44 9. Dans quel état (hygrométrie, volume d'eau liquide) Bertrand va-t-il retrouver sa salle de bain en rentrant ?
- Q45 10. Bertrand fait finalement appel à un plombier pour réparer sa VMC double flux. Sa salle de bain est donc maintenant correctement ventilée. Bertrand habitant en Lorraine, l'air extérieur est froid et humide (0°C et 65% d'humidité). La pression de vapeur saturante de l'eau à 0°C est 611 Pa. Lorsque l'air est amené dans la maison de Bertrand, il est porté à la température de 20°C mais la pression reste constante, donc la pression partielle de H_2O ne varie pas. Quelle est l'humidité de l'air amené depuis l'extérieur une fois qu'il a été réchauffé ?

Diagramme $\log(p)$ - h de l'eau (fluide R718)



MESURE DE L'ENTHALPIE DE VAPORISATION DE L'EAU

Remarque : si un jour vous êtes amené à manipuler de l'azote liquide ou à faire une telle expérience, prenez garde au risque d'asphyxie. L'azote n'est pas toxique, mais si l'atmosphère s'enrichit en azote, elle s'appauvrit (en proportion) en dioxygène.

1. $L_v = h_{vap}(T_{eb}, p_{sat}(T_{eb})) - h_{liq}(T_{eb}, p_{sat}(T_{eb})) = h_{vap} - h_{liq}$ où T_{eb} est la température d'ébullition de l'azote liquide à pression atmosphérique et $p_{sat}(T_{eb})$ la pression de vapeur saturante correspondante.

Q1

Évitez de dire simplement Δh qui n'est pas clair. Dites au moins $h_{vap} - h_{liq}$. De plus, la température et la pression considérée doivent être celles du changement d'état : c'est-à-dire que l'on part du liquide saturé et que l'on arrive à la vapeur saturante.

De façon qualitative, cela correspond à l'énergie à apporter pour vaporiser entièrement un kilogramme du corps pur à pression constante à partir du liquide déjà à la température d'ébullition. Une unité possible est le $\boxed{\text{kJ/kg}}$ ou $\boxed{\text{J/g}}$ ou tout autre dérivé.

2. (a) Système : calorimètre + ses instruments (dont la résistance chauffante) + l'azote dedans.
 Bilan : Transfert thermique supposé nul car le récipient est calorifugé. Travail apporté autre que celui des forces de pression : $\mathcal{P}t_1 = Ult_1$.
 Pour calculer la variation d'enthalpie, on décompose le système "azote" en deux sous-système : l'azote qui se vaporise + l'azote qui reste liquide.
 La fonction d'état enthalpie étant extensive, on peut écrire pour le système en entier : $H = H_{calo+instr} + H_{azote,liq} + H_{azotequisevaporise}$.
 On utilise l'enthalpie car la pression est constante. Le premier principe en version monobare donne donc $H_{final} - H_{initial} = W_{np} + Q$ où W_{np} est le travail autre que celui des forces de pression.

Il ne faut surtout pas utiliser U puisque l'on ne sait pas (et on ne veut pas) calculer le travail des forces de pression (non négligeable ici à cause du changement d'état phase condensée \rightarrow gaz) puisque l'on ne connaît pas le volume massique de la vapeur.

$$H_{calo+instr,f} + H_{N_2,liq,f} + H_{N_2quisevaporise,f} - (H_{calo+instr,i} + H_{N_2,liq,i} + H_{N_2quisevaporise,i}) = Ult_1 + 0$$

Q2

- (b) La température ne variant pas (puisque l'on fait un changement d'état à pression constante), l'enthalpie du calorimètre ne varie pas ($C\Delta T = 0$) et l'enthalpie de l'azote restant liquide tout au long de la transformation ne varie pas. La seule variation d'enthalpie est donc celle de l'azote qui se vaporise, qui est $m_{vap}L_v$ où $m_{vap} = m' - m''$ est la masse d'azote qui s'est vaporisée.

Attention, il ne faut pas prendre la masse totale du système, mais seulement la masse de l'azote qui s'est vaporisée. D'où l'utilité de détailler précisément le bilan enthalpique.

Q3

D'où

$$L_v = \frac{Ult_1}{m' - m''} = \frac{6 \times 2,083 \times (6 \times 60 + 23,4)}{30} = \boxed{160 \text{ J/g}}$$

- Q4 3. (a) $T_{eb} = -196^\circ\text{C}$ se lit sous la courbe de saturation à $P = 1$ bar.
 (b) Par définition, il s'agit de la différence entre l'enthalpie du gaz et celle du liquide. On lit sur la courbe de saturation la différence entre les 2 (avec une règle par exemple) et on étalonne avec l'échelle en dessous (toujours avec une règle). On trouve $L_v = 200$ J/g soit un résultat nettement plus grand que l'expérience.

Q5

- (c) Le point critique se trouve au sommet de la courbe de saturation $T \simeq -146^\circ\text{C}$ et $P \simeq 35$ bar.

Q6

- (d) Puisque la température ambiante est supérieure à la température critique, on est dans l'état superfluide. Sur un diagramme P-T, on est au delà du point critique et il n'est donc pas possible d'observer une transition de phase car les isothermes ne couperont pas la courbe de vaporisation.

Q7

- Q8 4. (a) On a de façon général le bilan $(m' - m'')L_v = (U_1 + \mathcal{P}_{fuite})t$ d'où le système d'équations :

$$\begin{cases} (m' - m'')L_v = (U_1 h_1 + \mathcal{P}_{fuite})t_1 & (\times t_2) \\ (m' - m'')L_v = (U_2 h_2 + \mathcal{P}_{fuite})t_2 & (\times -t_1) \end{cases}$$

- (b) Le moyen le plus simple de résoudre et de faire la combinaison linéaire ci-dessus ;
 $(m' - m'')L_v \times (t_2 - t_1) = (U_1 h_1 t_1 t_2 - U_2 h_2 t_1 t_2)$

$$L_v = \frac{t_1 t_2}{t_2 - t_1} \frac{U_1 h_1 - U_2 h_2}{(m' - m'')} = 200 \text{ J/g}$$

- Q9 C'est-à-dire un résultat compatible avec la lecture graphique.

- (c) Et en faisant la différence des deux équations :

$$0 = (U_1 h_1 + \mathcal{P}_{fuite})t_1 - (U_2 h_2 + \mathcal{P}_{fuite})t_2$$

$$\mathcal{P}_{fuite} = \frac{U_2 h_2 t_2 - U_1 h_1 t_1}{t_1 - t_2} = 3,15 \text{ W}$$

Q10

La puissance est positive car la température dans le calorimètre étant inférieure à celle ambiante, le transfert est reçu par l'azote liquide.

- (d) 2 L d'azote représente une masse de $m = 1,614$ kg compte tenu de la masse volumique. Le temps au bout duquel tout est évaporé est le temps au bout duquel les fuites auront fournie toute l'énergie. Si on reprend le bilan avec $U = 0$ $mL_v = \mathcal{P}_{fuite}t$ d'où $t = \frac{\mu_a V L_v}{\mathcal{P}_{fuite}} = 1,614 \times \frac{200 \times 10^3}{3,15} = 102$

Q11

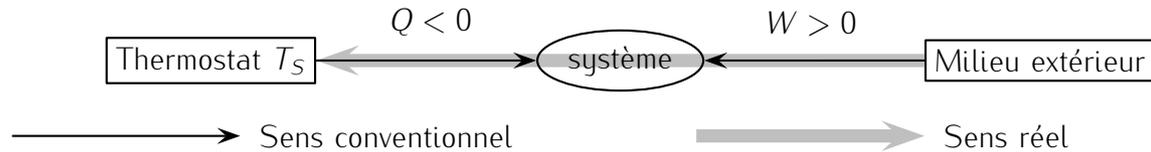
(attention aux unités, soit on met des kg, soit des g, mais il faut être cohérent entre la masse et L_v).

ÉTUDE D'UN MOTEUR À ESSENCE.

Concours commun – Petites Mines 2006

A. Quelques questions préliminaires sur les moteurs thermiques.

1. Représentons un système monotherme et essayons de voir si il peut fournir un travail ($W < 0$) au milieu extérieur.



On effectue ensuite un bilan énergétique et entropique sur un cycle :

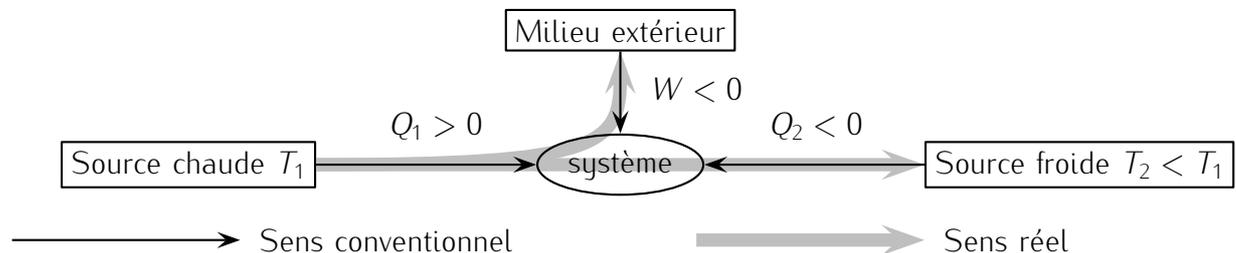
- Premier principe : $\Delta U_{\text{cycle}} = 0 \Rightarrow W + Q = 0 \Leftrightarrow W = -Q$
- Deuxième principe : $\Delta S_{\text{cycle}} = 0 = S_e + S_c = \frac{Q}{T_s} + S_c$ avec $S_c \geq 0 \Rightarrow S_e = \frac{Q}{T_s} < 0$ donc $Q \leq 0$ et $W \geq 0$.

Q12

Conclusion : tout système monotherme est récepteur.

Justifiez votre réponse en établissant un bilan énergétique et entropique sur un cycle ou au moins en citant le principe de Carnot

2. Représentation d'un moteur ditherme :



Q13

- (a) Sens des transferts thermiques, voir figure : $Q_1 > 0$ et $Q_2 < 0$ pour $W < 0$.
- (b) D'après le théorème de Carnot, le rendement ρ du moteur est maximum quand le système suit un cycle réversible (cycle de Carnot composé des deux isothermes T_1 et T_2 et de deux adiabatiques, toutes réversibles).

Q14

On définit le rendement du moteur $\rho = \frac{\text{énergie à optimiser}}{\text{énergie coûteuse}} = -\frac{W}{Q_1}$.

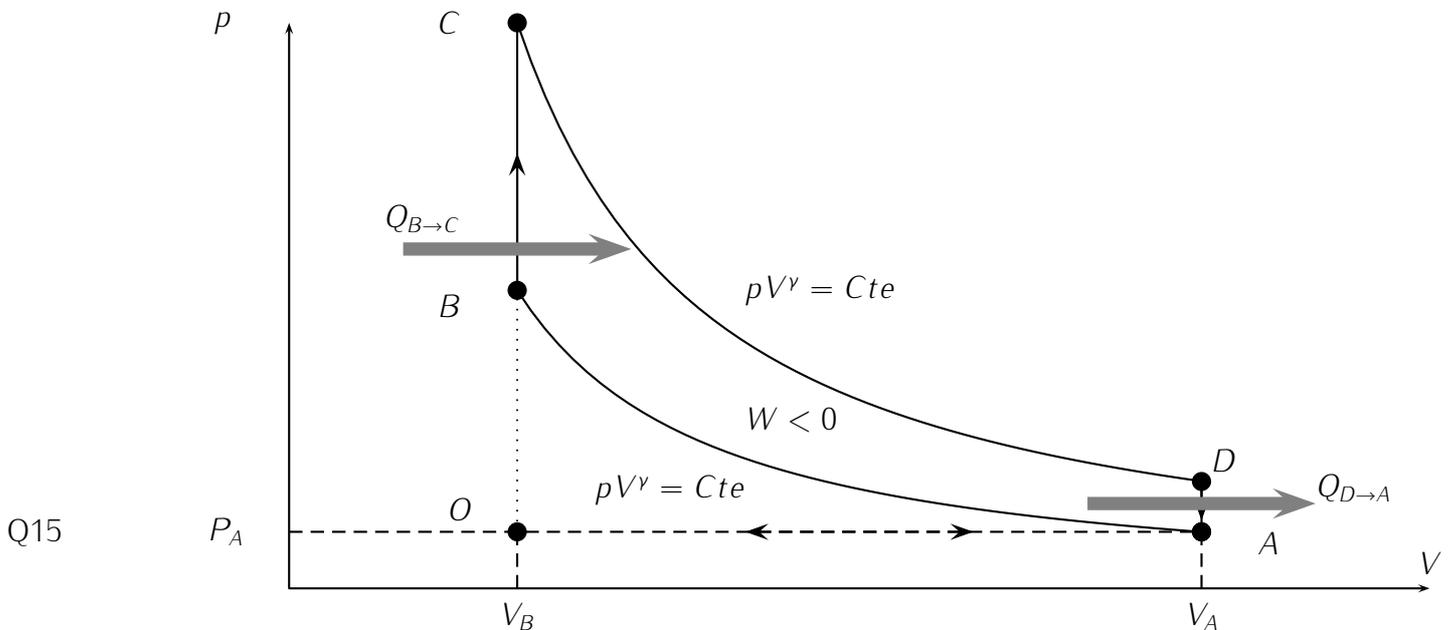
Le premier principe implique $\Delta U_{\text{cycle}} = 0 \Leftrightarrow W + Q_1 + Q_2 = 0 \Leftrightarrow -W = Q_1 + Q_2$ et d'après le second principe, sur le cycle de Carnot, $\Delta S_{\text{cycle}} = 0 = S_e + S_c = \frac{Q_1}{T_1} + \frac{Q_2}{T_2} + S_c$ avec $S_c = 0 \Leftrightarrow \frac{Q_1}{T_1} + \frac{Q_2}{T_2} = 0$ (égalité de Clausius). On en déduit $\rho = \rho_C = 1 + \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$

Démontrez ces résultats, les parachuter est risqué et ne rapporte pas les points. Vérifiez ensuite systématiquement la cohérence.

B. Le moteur à explosion.

1. On représente le cycle parcouru par le gaz parfait : il subit deux isobares ($O \rightarrow A$ et $A \rightarrow O$), deux adiabatiques réversibles (quasistatiques $pV^\gamma = Cte$ plus pentues que des branches d'hyperboles) et deux isochores.

Inutile de décrire plus en détail le tracé du cycle



Le fluide parcourt le cycle dans le sens horaire $\iff W < 0$: cycle moteur.

En réalité, le cycle n'a pas tout à fait cette forme, il est plus "arrondi".

- Q16
2. On parle de moteur à combustion interne car l'apport d'énergie est réalisée lors de la combustion du carburant au sein même du fluide. On modélise cet apport ($Q_{B \rightarrow C} > 0$) en considérant le contact avec une source chaude fictive lors de la transformation BC.
- Q17
3. On parle de moteur à quatre temps car le cycle peut se décomposer ainsi :
- * Premier temps : admission OA.
 - * Deuxième temps : compression AB.
 - * Troisième temps : explosion et détente BCA (temps moteur).
 - * Quatrième temps : échappement AO.

Contentez-vous de nommez les 4 temps du moteur

- Q18
4. Quantité de matière $n_A = n_{\text{air}} + n_{\text{carburant}}$. Supposons que l'on puisse négliger la quantité de matière n' de carburant. $n_A = n_{\text{air}} = \frac{p_A V_A}{RT_A} = 4,1 \cdot 10^{-2}$ mole. L'hypothèse est donc raisonnable ($n' \ll n_{\text{air}}$), on prendra donc $n_A \simeq 4,1 \cdot 10^{-2}$ moles.

Utilisez les unités légales lors des AN : V en m^{-3} et p en Pa en particulier

5. Compression $A \rightarrow B$.

(a) Entre l'état A et l'état B , le gaz parfait de coefficient isentropique γ constant subit une transformation adiabatique réversible (donc quasistatique), on peut donc utiliser les relations de Laplace. Par exemple, $p_A V_A^\gamma = p_B V_B^\gamma$ d'où $p_B = p_A \left[\frac{V_A}{V_B} \right]^\gamma = p_A \cdot \tau^\gamma$ en posant $\tau = \frac{V_A}{V_B} = 8$ le

Q19 taux de compression du moteur. L'AN donne : $p_B = 1 \times 8^{1,4} \simeq 18,4 \text{ bar}$.

(b) On en déduit la température en B en utilisant l'équation d'état ou à nouveau la relation de Laplace $T_A V_A^{\gamma-1} = T_B V_B^{\gamma-1}$ soit $T_B = T_A \left[\frac{V_A}{V_B} \right]^{\gamma-1} = T_A \cdot \tau^{\gamma-1} \simeq 673 \text{ K}$ (400 °C).

Q20

Repartez d'une relation de Laplace plutôt que de l'équation d'état pour limiter les approximations successives dans les AN

(c) $\gamma = 1,34$ est une valeur plus probable que 1,4 car $\gamma = 1,4 = \frac{7}{5}$ correspond plutôt au cas de l'air (composé surtout de diazote et dioxygène : gaz diatomiques) alors que le mélange air plus carburant est plus complexe.

Q21

(d) On cherche à garder $T_B < T_a = 330^\circ\text{C} = 603 \text{ K}$ soit $T_B = T_A \cdot \tau^{\gamma-1} < T_a \Rightarrow \tau < \left[\frac{T_a}{T_A} \right]^{\frac{1}{\gamma-1}} \simeq 8,3$

Q22

Là encore, limitez les calculs en utilisant une relation de Laplace adaptée

6. Si $T_C = 2100 \text{ K}$ et qu'on considère qu'on a toujours le même nombre n_A de mole de gaz après la combustion, d'après l'équation d'état,

$$p_C = \frac{n_A R T_C}{V_C} \text{ avec } V_C = V_B = \frac{V_A}{\tau} \Rightarrow p_C = \frac{\tau n_A R T_C}{V_A} \simeq 57,2 \text{ bar}$$

On ne respecterait donc pas le cahier des charges ! En réalité, la pression est certainement plus faible car à de telles pressions et pour ce genre de gaz, l'hypothèse du gaz parfait n'est plus vérifiée, il y'a peut-être eu des fluides dans le cylindre ou le piston est peut être déjà redescendu.

Q23

Question ouverte, plusieurs réponses sont acceptées, tentez votre chance

7. Lors de la transformation CD , si on suppose que les relations de Laplace sont encore vérifiées, on a $T_C V_C^{\gamma-1} = T_D V_D^{\gamma-1}$ soit ici, $T_D = T_C \cdot \frac{1}{\tau^{\gamma-1}} = T_C \cdot \tau^{1-\gamma} \simeq 914 \text{ K}$ avec $\gamma = 1,4$.

Q24

Là encore, limitez les calculs en utilisant une relation de Laplace adaptée

8. (a) Le travail fourni par le système est $W_f = -W$ si on note W le travail reçu au cours d'un cycle : $W = W_{A \rightarrow B} + W_{B \rightarrow C} + W_{C \rightarrow D} + W_{D \rightarrow A}$ avec $W_{B \rightarrow C}$ et $W_{D \rightarrow A}$ nuls car ces deux transformations sont isochores.

La transformation $A \rightarrow B$ étant adiabatique et par utilisation du premier principe, $\Delta U_{A \rightarrow B} = Q_{A \rightarrow B} + W_{A \rightarrow B} = W_{A \rightarrow B}$. Or, le système est un gaz parfait, on a donc $\Delta U_{A \rightarrow B} = C_V (T_B - T_A) = n \cdot C_{V,m} \cdot (T_B - T_A) = W_{A \rightarrow B}$ avec $C_{V,m} = \frac{R}{\gamma-1}$. De même, lors de la transformation $C \rightarrow D$ adiabatique,

$W_{C \rightarrow D} = n \cdot C_{V,m} \cdot (T_D - T_C)$. Ainsi, $W_f = -W = n \cdot C_{V,m} (T_A - T_B + T_C - T_D) = \frac{nR}{\gamma-1} (T_A - T_B + T_C - T_D)$

Q25 687 J.

On demandait ici le travail fourni par le système $W_f = -W_{\text{cycle}} > 0$

(b) Le rendement du cycle moteur est défini par $\rho = \left| \frac{\text{énergie à optimiser}}{\text{énergie coûteuse}} \right| = -\frac{W}{Q_{B \rightarrow C}} = \frac{W_f}{Q_{B \rightarrow C}}$ avec $Q_{B \rightarrow C} = \Delta U_{B \rightarrow C} - W_{B \rightarrow C} = \Delta U_{B \rightarrow C} = nC_{V,m}(T_C - T_B)$ d'où $\rho = \frac{T_A - T_B + T_C - T_D}{T_C - T_B}$ soit finalement,

Q26 $\rho = 1 - \frac{T_D - T_A}{T_C - T_B} \simeq 0,57$ plus élevé que l'ordre de grandeur attendu.

9. Si le moteur effectue $N = 2500$ tours par minute, il fournit le travail $W_T = N \cdot W_f$ pendant la durée $\Delta T = 60$ s, ce qui correspond à une puissance $P = \frac{W_T}{\Delta T} = \frac{N W_f}{\Delta t} \simeq 28,6$ kW soit environ 39 CV.

Un "cheval vapeur", CV, est équivalent à 736 W

Le piston fait deux allers-retours par cycle, on a donc 5000 allers-retours par minute : le moteur tourne à **5000 tours/min**.

C. Bilan entropique.

1. Refroidissement DA au contact de l'atmosphère à la température T_A .

(a) Lors de la transformation DA , $S_e = \int \delta S_e$ avec $\delta S_e = \frac{\delta Q_{\text{éch}}}{T_{\text{surf}}}$ où $\delta Q_{\text{éch}} = \delta Q_V = dU = nC_{V,m}dT$ et $T_{\text{surf}} = T_A$ d'où $S_e = \int_{T_D}^{T_A} nC_{V,m} \frac{dT}{T_A} = \frac{nR}{\gamma - 1} \frac{T_A - T_D}{T_A} \simeq -1,80 \text{ J.K}^{-1}$

Ici $T = T_{\text{système}}$ varie mais $T_{\text{surf}} = T_A$ constante

(b) D'après le second principe, $\Delta S = S_e + S_c$, soit $S_c = \Delta S - S_e$ et en reportant les résultats précédents, $S_c = \frac{nR}{\gamma - 1} \left[\ln \frac{T_A}{T_D} - \frac{T_A - T_D}{T_A} \right] \simeq 0,83 \text{ J.K}^{-1} > 0$

(c) On obtient $S_c \neq 0$ (et bien entendu strictement positive) ce qui signifie que la transformation **DA est irréversible**. Cette irréversibilité tient au fait qu'on a un **transfert thermique** entre deux corps de températures différentes.

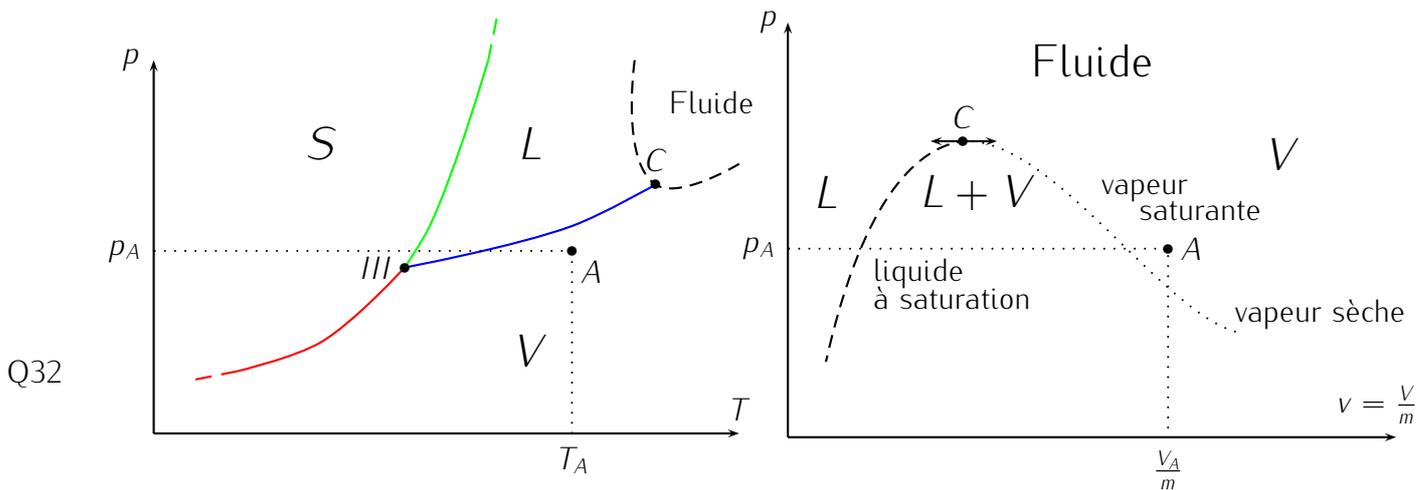
2. Les transformations $A \rightarrow B$ et $C \rightarrow D$ sont adiabatiques et réversibles, ce sont donc des isentropiques et il n'y a pas de création d'entropie.

Par contre, lors de la transformation $B \rightarrow C$, il y a un transfert thermique $Q_{B \rightarrow C} > 0$ vers le système d'où $S_e > 0$ et comme cette transformation est irréversible, on pourrait calculer, comme précédemment $S_c = \Delta S - S_e > 0$.

La combustion du carburant est une **réaction chimique irréversible**.

Sur l'ensemble du cycle, S_c sera strictement positif (cycle irréversible).

D. Changements d'état d'un corps pur.



Q32

Q33

Q34

Q35

1. Sur le diagramme d'état, le point A se trouve dans le domaine V (vapeur sèche). On a également $T_{III} < p_A < p_C$ où III est le point triple et C le point critique.
2. Sur le diagramme de Clapeyron, le point A se situe sur le palier de liquéfaction (isotherme et isobare), entre la courbe de rosée et la courbe d'ébullition.

ÉTUDE DE LA SALLE DE BAIN DE BERTRAND

Q36

1. L'unité de R est $J.K^{-1}.mol^{-1}$. En effet dans la relation $pV = nRT$, pV est une énergie (J), n est une quantité de matière (mol) et T une température (K).

Q37

2. La pression partielle d'un corps gazeux dans une atmosphère inerte est la pression qu'aurait ce corps s'il était seul. Pour la calculer on utilise en général l'équation des gaz parfait : $p_A = n_A RT / V$. La pression de vapeur saturante est la pression à laquelle l'équilibre liquide vapeur a lieu pour un corps pur à une température fixée.

Q38

3. Sur le diagramme, la pression de vapeur saturante se lit en cherchant l'ordonnée de l'isotherme sous la courbe de saturation (dans la région où l'on a l'équilibre liquide vapeur). À $20^\circ C$ l'isotherme est entre 0,02 et 0,03 bar on peut donc estimer 0,025 bar (la valeur tabulée est 2337 Pa). À $40^\circ C$ l'isotherme est entre 0,07 et 0,08 bar on peut donc estimer 0,075 bar (la valeur tabulée est 7375 Pa).

Q39

4. Dans le cas d'un équilibre liquide vapeur
 - (a) $p_{H_2O} > p_{sat,H_2O}(T)$ le système est hors équilibre et l'eau gazeuse va se liquéfier jusqu'à atteindre $p_{H_2O} = p_{sat,H_2O}(T)$.
 - (b) $p_{H_2O} < p_{sat,H_2O}(T)$ le système est hors équilibre et l'eau liquide va s'évaporer jusqu'à atteindre $p_{H_2O} = p_{sat,H_2O}(T)$ ou jusqu'à épuisement de l'eau liquide.
 - (c) $p_{H_2O} = p_{sat,H_2O}(T)$ le système est à l'équilibre, rien ne se passe.
5. À l'équilibre, la valeur maximale de la pression partielle de la vapeur d'eau est $p_{sat,H_2O}(T)$. On a donc

$$p_{H_2O} < p_{sat,H_2O}(T) \Leftrightarrow \frac{n_{H_2O}RT}{V} < \frac{n_{max}RT}{V} = p_{sat,H_2O}(T) \Leftrightarrow n_{H_2O} < n_{max} = \frac{p_{sat,H_2O}(T)V}{RT}$$

Q40

A.N. : $n_{max}(T = 20) = 8,98 \text{ mol}$ et $n_{max}(T = 40) = 28,3 \text{ mol}$

Q41

6.

$$H = \frac{p_{H_2O}}{p_{sat,H_2O}(T)} = \frac{\frac{n_{H_2O}RT}{V}}{\frac{n_{max}RT}{V}} = \frac{n_{H_2O}}{n_{max}}$$

- Q42 7. D'après la question précédente $n = Hn_{max}$. À 40 °C, $n_{max} = \frac{p_{sat,H_2O}(T)V}{RT} = \frac{7375 \times 10}{8,314 \times (273+40)} = 28,3$ mol et $n = 25,5$ mol
- Q43 8. À cette température, on a $n_{max} = 8,98$ mol. L'hygrométrie serait donc de 284%! La vapeur d'eau va se liquéfier.
- Q44 9. À l'état final, la pression sera égale à la pression de vapeur saturante et on aura un équilibre liquide vapeur. L'hygrométrie sera donc de 100%. Puisque $n_{max} = 8,98$ mol et qu'au départ il y avait $n = 25,5$ mol dans l'atmosphère, une quantité de matière $n_L = 25,5 - 8,98 = 16,5$ mol d'eau va se liquéfier. Soit une masse $m_L = n_L M_{H_2O} = 16,5 \times 0,018 = 0,297$ kg soit un volume de 0,3 L d'eau liquide environ.
- Q45 10. $H(T_1) = \frac{p_{H_2O}}{p_{sat,H_2O}(T_1)}$ et $H(T_2) = \frac{p_{H_2O}}{p_{sat,H_2O}(T_2)}$ d'où puisque la pression partielle ne varie pas d'après l'énoncé : $\frac{H(T_1)}{H(T_2)} = \frac{p_{sat,H_2O}(T_2)}{p_{sat,H_2O}(T_1)} \Rightarrow H(T_2) = H(T_1) \frac{p_{sat,H_2O}(T_1)}{p_{sat,H_2O}(T_2)}$ soit avec les valeurs de l'énoncé $H(20\text{ °C}) = 0,65 \frac{611}{2337} = 17\%$ d'humidité. Cet air est trop sec pour un bon confort dans une habitation.