

**Question de cours** Quelle relation peut-on utiliser pour calculer le transfert thermique lors d'une réaction isotherme et isobare ? Nom et unité des grandeurs utilisées

**Exercice 1** Etude de l'ammoniac (NH<sub>3</sub>)

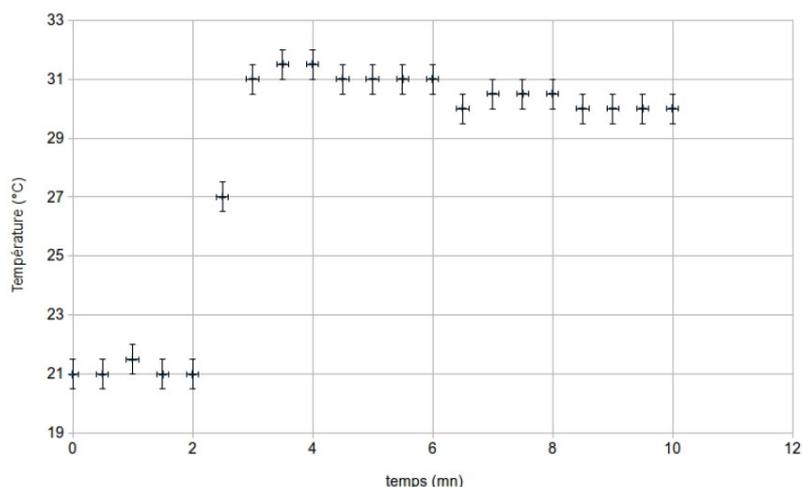
Le diagramme entropique de l'ammoniac NH<sub>3</sub> est fourni en annexe.

- 1) Quelle est la température de vaporisation de l'ammoniac sous 25000 hPa ?
- 2) Quelle est la pression de vapeur saturante de l'ammoniac à 363 K ?
- 3) Déterminer graphiquement  $s_{vap}(0^\circ\text{C})$ . En déduire  $l_{vap}(0^\circ\text{C})$
- 4) Quel est le titre massique en vapeur d'un mélange à 60°C pour lequel  $s = 3,300 \text{ kJ}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$  ?
- 5) Estimer graphiquement l'enthalpie massique de ce mélange.
- 6) Reprendre les questions 4 et 5 en utilisant exclusivement la table suivante :

T	p	v <sub>l</sub>	v <sub>g</sub>	h <sub>l</sub>	h <sub>g</sub>	R	s <sub>l</sub>	s <sub>g</sub>
°C	Bar	dm <sup>3</sup> /kg	m <sup>3</sup> /kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/(kg K)	kJ/(kg K)
56,00	23,686	1,8103	0,05458	464,42	1491,98	1027,56	1,8687	4,9906
57,00	24,284	1,8162	0,05320	469,40	1491,91	1022,51	1,8835	4,9806
58,00	24,892	1,8221	0,05186	474,39	1491,81	1017,42	1,8983	4,9707
59,00	25,512	1,8282	0,05056	479,40	1491,68	1012,28	1,9131	4,9607
60,00	26,143	1,8343	0,04929	484,43	1491,52	1007,09	1,9278	4,9508
61,00	26,786	1,8404	0,04806	489,48	1491,33	1001,86	1,9426	4,9408
62,00	27,440	1,8467	0,04687	494,54	1491,12	996,58	1,9573	4,9309

**Exercice 2** Calorimètre

Dans un calorimètre contenant une masse  $m_1 = 330 \text{ g}$  d'eau, on réalise des mesures de température toutes les 30 secondes. Au bout de quelques minutes, on introduit une masse  $m_2 = 130 \text{ g}$  d'eau chaude à  $T_2 = 72,5^\circ\text{C}$ . Le relevé de température est fourni ci-dessous (avec les incertitudes de mesure)



- 1) Commenter les variations observées au cours du temps. Que peut-on prévoir pour  $t \Rightarrow \infty$  ?
- 2) Commenter les anomalies observées à  $t = 1 \text{ min}$  et  $t = 7 \text{ min}$ .
- 3) Si le calorimètre était parfaitement calorifugé, comment l'allure de la courbe  $T(t)$  serait-elle modifiée ?
- 4) Déterminer la capacité thermique du calorimètre (on donne  $c_{\text{eau}} = 4,2 \cdot 10^3 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$ )
- 5) Dans le calorimètre contenant initialement 200 g d'eau à 20°C, on introduit 10 g de glace à -18°C. Déterminer la nature de l'état final (eau liquide ou mélange eau/glace) et la température finale. On donne  $c_{\text{glace}} = 2,1 \cdot 10^3 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$  et  $\Delta_{\text{fus}}h = 333 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$  (enthalpie massique de fusion de la glace)

## 3TSI - Physique-Chimie - Colle 7a

### Corrigé

**Question de cours** Pour une transformation **isotherme et isobare** à la température  $T$  :  $Q = x_F \Delta_r H^0(T)$   
 $Q$  : transfert thermique **reçu par le milieu réactionnel** (de la part de l'extérieur)

$x_F$  : avancement final de la réaction en mol

$\Delta_r H^0(T)$  : enthalpie standard de réaction à la température  $T$  (précision assez inutile dans le cadre de l'approximation d'Ellingham: enthalpie standard de réaction indépendante de la température en dehors des changements d'état) en  $\text{J}\cdot\text{mol}^{-1}$

#### Exercice 1 Etude de l'ammoniac

1) Sous 25 bar,  $T_{\text{vap}} = 58^\circ\text{C}$

2) Pour  $T = 90^\circ\text{C}$ ,  $P_{\text{sat}} = 50 \text{ bar}$

3) Pour  $T = 0^\circ\text{C}$ ,  $s_L = 1,00 \cdot 10^3 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$      $s_V = 5,60 \cdot 10^3 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$     donc  $\Delta_{\text{vap}} = 4,60 \cdot 10^3 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$

On en déduit  $l_{\text{vap}}(0^\circ\text{C}) = T_{\text{vap}} \Delta_{\text{vap}} = 273 \cdot 4,6 \cdot 10^3 = 1,26 \cdot 10^3 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$

4) En plaçant le point ( $s = 3300 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,  $T = 60^\circ\text{C}$ ) on trouve grâce à la règle des moments  $x_V = 0,46$

5) Le point est situé entre les isenthalpes " $h = 900$ " et " $h = 1000$ ", on peut estimer  $h = 9,5 \cdot 10^2 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$

$$6) \quad x_V = \frac{s - s_L(60^\circ\text{C})}{s_V(60^\circ\text{C}) - s_L(60^\circ\text{C})} = \frac{3300 - 1928}{4951 - 1928} = 0,4539 \quad \text{or} \quad x_V = \frac{h - h_L(60^\circ\text{C})}{h_V(60^\circ\text{C}) - h_L(60^\circ\text{C})}$$

donc  $h = h_L(60^\circ\text{C}) + x_V(h_V(60^\circ\text{C}) - h_L(60^\circ\text{C})) = 484,43 + 0,4539(1491,52 - 484,43)$

finalement  $h = 941,5 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$

#### Exercice 2 Calorimètre

1) pour  $t \Rightarrow \infty$  on aura  $T \Rightarrow T_{\text{extérieure}}$  (a priori  $21^\circ\text{C}$ )

2)  $t = 1 \text{ min}$  : on observe une augmentation alors que la température du calorimètre devrait être stable.

$t = 7 \text{ min}$  : on observe une augmentation alors que le calorimètre est cours de refroidissement

Ces anomalies ne sont pas significatives, car l'écart avec la valeur attendue ne dépasse pas l'incertitude de mesure.

4) Pour le système {calorimètre + eau froide + eau chaude}, on applique le premier principe :

$$\Delta H = Q = 0 \quad \text{et}$$

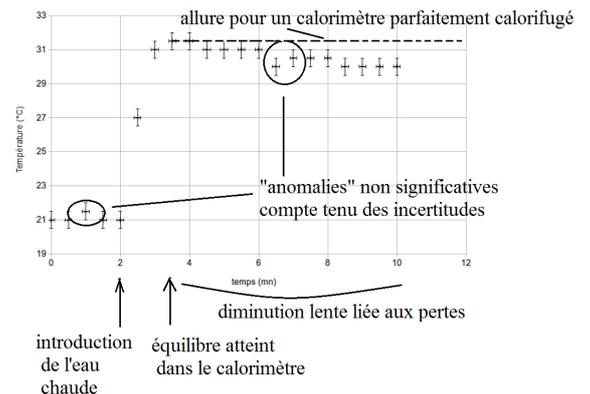
$$\Delta H = C_{\text{cal}}(T_f - T_i) + m_1 c_{\text{eau}}(T_f - T_1) + m_2 c_{\text{eau}}(T_f - T_2)$$

avec  $T_1 = 21^\circ\text{C}$  et  $T_f = 31,5^\circ\text{C}$  on obtient  $C_{\text{cal}} = 7,5 \cdot 10^2 \text{ J}$

5) On fait l'hypothèse d'une fusion complète de la glace.

$$\text{alors} \quad \Delta H = 0 = C_{\text{cal}}(T_f - T_i) + m_e c_{\text{eau}}(T_f - T_i) + m_g c_{\text{glace}}(T_{\text{fus}} - T_g) + m_g \Delta_{\text{fus}} h + m_g c_{\text{eau}}(T_f - T_{\text{fus}})$$

On en déduit  $T_f = 17,2^\circ\text{C} > T_{\text{fus}}(0^\circ\text{C})$ , le résultat est compatible avec l'hypothèse effectuée.



**Question de cours** Expliquer en détails comment on détermine graphiquement si un cycle est moteur ou récepteur dans les diagrammes (T,s) et (P,v). (On rappellera en particulier l'expression de  $w$  et  $q$  pour une transformation réversible).

**Exercice 1** Etude du méthane (CH<sub>4</sub>)

Le diagramme entropique du méthane CH<sub>4</sub> est fourni en annexe.

- 1) Quelle est la température de vaporisation du méthane sous 500 hPa ?
- 2) Quelle est la pression de vapeur saturante du méthane à 123 K ?
- 3) Déterminer graphiquement  $s_{\text{vap}}(-120\text{ °C})$ . En déduire  $h_{\text{vap}}(-120\text{ °C})$
- 4) Quel est le titre massique en vapeur d'un mélange à -160°C pour lequel  $s = 2,000\text{ kJ.K}^{-1}.\text{kg}^{-1}$  ?
- 5) Estimer graphiquement l'enthalpie massique de ce mélange.
- 6) Reprendre les questions 4 et 5 en utilisant exclusivement la table suivante.

T	p	$v_l$	$v_g$	$h_l$	$h_g$	R	$s_l$	$s_g$
°C	Bar	dm <sup>3</sup> /kg	m <sup>3</sup> /kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/(kg K)	kJ/(kg K)
-169,00	0,522	2,3079	1,01115	133,51	657,00	523,49	0,4180	5,4442
-168,00	0,574	2,3153	0,92736	136,93	658,79	521,87	0,4505	5,4135
-167,00	0,629	2,3229	0,85199	140,35	660,57	520,23	0,4827	5,3836
-166,00	0,689	2,3306	0,78405	143,78	662,34	518,56	0,5148	5,3543
-165,00	0,753	2,3384	0,72271	147,22	664,09	516,87	0,5466	5,3258
-164,00	0,822	2,3462	0,66721	150,67	665,82	515,15	0,5782	5,2978
-163,00	0,895	2,3541	0,61690	154,12	667,53	513,41	0,6095	5,2705
-162,00	0,974	2,3622	0,57123	157,59	669,23	511,64	0,6407	5,2438
-161,00	1,057	2,3703	0,52969	161,07	670,91	509,84	0,6717	5,2177
-160,00	1,146	2,3786	0,49184	164,56	672,57	508,01	0,7024	5,1922
-159,00	1,241	2,3869	0,45730	168,05	674,21	506,16	0,7330	5,1671

**Exercice 2**

**Exercice 2** Machine thermique

Une mole de gaz parfait diatomique ( $\gamma = 1,4$ ) décrit le cycle mécaniquement réversible suivant :

A => B : compression isotherme

B => C : chauffage isobare

C => A : refroidissement isochore

On donne  $T_A = 300\text{ K}$

$P_A = 1,0\text{ bar}$

$P_B = 5,0\text{ bar}$

$R = 8,31\text{ J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$

- 1) Représenter le cycle dans un diagramme (P,V). S'agit-il d'un cycle moteur ou récepteur ?
- 2) Calculer les volumes  $V_A, V_B, V_C$  ainsi que la température  $T_C$ .
- 3) Calculer le travail et le transfert thermique pour chacune des étapes.
- 4) Calculer le rendement du cycle.

## 3TSI - Physique-Chimie - Colle 7b

### Corrigé

**Question de cours**  $w = \int_{V_i}^{V_f} -P_{ext} dv$ , si réversible  $P_{ext} = P$  donc  $w = \int_{V_i}^{V_f} -P dv$ , dans le diagramme (P,v) on a donc  $w = -A$  où A est l'aire (algébrique) sous la courbe représentative de la transformation.

Pour une transformation réversible on a  $ds = \frac{\delta q}{T_{ext}}$  avec  $T_{ext} = T$  donc  $q = \int_{s_1}^{s_2} T ds$ , dans le diagramme (T,s) on a donc  $q = +A$  où A est l'aire sous la courbe.

#### Exercice 1 Etude du méthane

1)  $T_{vap}(0,5 \text{ bar}) = -169^\circ\text{C}$

2)  $P_{sat}(-150^\circ\text{C}) = 2,5 \text{ bar}$

3)  $s_L(-120^\circ\text{C}) = 1,80 \cdot 10^3 \text{ J.K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$   $s_V(-120^\circ\text{C}) = 4,40 \cdot 10^3 \text{ J.K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$

d'où  $\Delta_{vap}(-120^\circ\text{C}) = 2,60 \cdot 10^3 \text{ J.K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$

On en déduit  $l_{vap}(-120^\circ\text{C}) = (273-120) \cdot 2,60 \cdot 10^3 = 4,0 \cdot 10^2 \text{ kJ.kg}^{-1}$

4) En appliquant la règle des moments on trouve  $x_V = 0,29$

5)  $300 < h < 325$ , on peut estimer  $h = 3,1 \cdot 10^2 \text{ kJ.kg}^{-1}$

6)  $x_V = \frac{s - s_L(-160^\circ\text{C})}{s_V(-160^\circ\text{C}) - s_L(-160^\circ\text{C})} = \frac{2000 - 702,4}{5192 - 702,4} = 0,2890$  or  $x_V = \frac{h - h_L(-160^\circ\text{C})}{h_V(-160^\circ\text{C}) - h_L(-160^\circ\text{C})}$

donc  $h = h_L(-160^\circ\text{C}) + x_V \cdot (h_V(-160^\circ\text{C}) - h_L(-160^\circ\text{C})) = 164,6 + 0,2890 \cdot (672,57 - 164,6)$

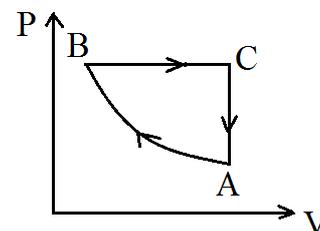
finalement  $h = 311,4 \text{ kJ.kg}^{-1}$

#### Exercice 2 Machine thermique

1) voir schéma : il s'agit d'un cycle moteur ( $W = -A_{cycle} < 0$  car sens horaire)

2)  $P_A V_A = nRT_A$  avec  $n = 1 \text{ mol}$  (énoncé), on en déduit  $V_A = 25 \text{ L}$

$P_B V_B = P_A V_A$  (A=>B isotherme) donc  $V_B = V_A \frac{P_A}{P_B} = 5,0 \text{ L}$



$V_C = V_A = 25 \text{ L}$  (C=>A isochore)

$P_B = P_C$  (B=>C isobare) donc  $\frac{nRT_C}{V_C} = \frac{nRT_B}{V_B}$  d'où  $T_C = T_C = T_B \frac{V_C}{V_B} = T_A \frac{V_A}{V_B} = 1500 \text{ K}$

3)  $W_{AB} = -nRT_A \int_A^B \frac{dV}{V} = -P_A V_A \ln\left(\frac{V_B}{V_A}\right) = -1,0 \cdot 10^5 \cdot 25 \cdot 10^{-3} \cdot \ln\left(\frac{5}{25}\right) = 4,0 \cdot 10^3 \text{ J}$

Donc  $Q_{AB} = \Delta U_{AB} - W_{AB} = 0 - 4,0 \cdot 10^3 = -4,0 \cdot 10^3 \text{ J}$

$W_{BC} = -P_B (V_C - V_B) = -5,0 \cdot 10^5 \cdot (25-5) \cdot 10^{-3} = -1,0 \cdot 10^4 \text{ J}$

$Q_{BC} = \Delta U_{BC} - W_{BC} = C_V (T_C - T_B) - W_{BC} = nR/(\gamma-1) \cdot (T_C - T_B) - W_{BC} = 8,31/(1,4-1) \cdot (1500-300) - (-1,0 \cdot 10^4)$

on trouve  $Q_{BC} = 3,5 \cdot 10^4 \text{ J}$

$W_{CA} = 0$  (isochore)

$Q_{CA} = \Delta U_{CA} - W_{CA} = C_V (T_A - T_C) - 0 = nR/(\gamma-1) \cdot (T_A - T_C) = 8,31/(1,4-1) \cdot (300-1500) = -2,5 \cdot 10^4 \text{ J}$

4)  $\eta = \frac{-W}{Q_C}$  ici le transfert thermique avec la source chaude s'effectue au cours de l'étape BC

(chauffage) donc  $Q_C = Q_{BC} = 3,5 \cdot 10^4 \text{ J}$ , et d'autre part  $W = W_{cycle} = W_{AB} + W_{BC} + W_{CA} = -6,0 \cdot 10^3 \text{ J}$

D'où le rendement  $\eta = 0,17$  (soit 17%)

**Question de cours** Diagramme (P,v) : allure de la courbe de saturation, des isobares, des isochores, des isothermes. Justifier qualitativement l'allure des isothermes dans le domaine du liquide, puis dans celui de la vapeur.

**Exercice 1** Etude du propane

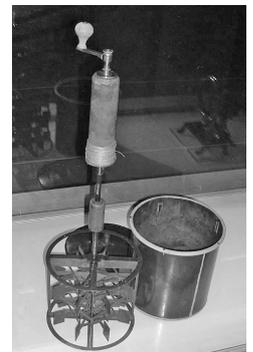
Le diagramme entropique du propane C<sub>3</sub>H<sub>8</sub> est fourni en annexe.

- 1) Quelle est la température de vaporisation du propane sous 10<sup>6</sup> Pa ?
- 2) Quelle est la pression de vapeur saturante du propane à 253 K ?
- 3) Déterminer graphiquement  $s_{vap}(50\text{ °C})$ . En déduire  $l_{vap}(50\text{ °C})$
- 4) Quel est le titre massique en vapeur d'un mélange à 0°C pour lequel  $s = 2,100\text{ kJ.K}^{-1}.\text{kg}^{-1}$  ?
- 5) Estimer graphiquement l'enthalpie massique de ce mélange.
- 6) Reprendre les questions 4 et 5 en utilisant exclusivement la table suivante :

T	p	v <sub>l</sub>	v <sub>g</sub>	h <sub>l</sub>	h <sub>g</sub>	R	s <sub>l</sub>	s <sub>g</sub>
°C	Bar	dm <sup>3</sup> /kg	m <sup>3</sup> /kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/(kg K)	kJ/(kg K)
-5,00	4,029	1,8894	0,11236	187,85	567,97	380,13	0,9556	2,3732
-4,00	4,159	1,8935	0,10899	190,26	569,06	378,80	0,9645	2,3719
-3,00	4,292	1,8977	0,10573	192,69	570,15	377,46	0,9734	2,3706
-2,00	4,428	1,9020	0,10260	195,12	571,23	376,11	0,9823	2,3694
-1,00	4,568	1,9062	0,09957	197,56	572,31	374,75	0,9911	2,3681
0,00	4,710	1,9106	0,09666	200,00	573,38	373,38	1,0000	2,3669
1,00	4,856	1,9149	0,09385	202,45	574,45	372,00	1,0089	2,3658
2,00	5,005	1,9193	0,09113	204,91	575,52	370,61	1,0177	2,3646
3,00	5,158	1,9237	0,08851	207,38	576,58	369,21	1,0265	2,3635
4,00	5,314	1,9282	0,08598	209,85	577,64	367,79	1,0354	2,3624
5,00	5,474	1,9327	0,08353	212,33	578,70	366,37	1,0442	2,3614

**Exercice 2** Expérience de Joule

James P. Joule réalisa vers 1845 l'expérience suivante : une roue à aubes, plongée dans un récipient calorifugé contenant une masse  $m = 100\text{ g}$  d'eau initialement à  $T_0 = 20\text{ °C}$ , est entraînée par une masse  $m_0 = 100\text{ kg}$  qui chute d'une hauteur  $h = 1\text{ m}$ . On mesure la température finale de l'eau lorsque tous les éléments sont revenus au repos.



- 1) Evaluer le travail  $W$  reçu par l'eau au cours de la chute de la masse  $m_0$ .

On mesure une température finale  $T_1 = 22,5\text{ °C}$ .

- 2) A partir de cette mesure, déterminer la valeur de la capacité thermique massique  $c_{eau}$  de l'eau. Comparer à la valeur tabulée  $c_{eau} = 4,18\text{ kJ.K}^{-1}.\text{kg}^{-1}$

- 3) Calculer la variation d'entropie de l'eau au cours de la transformation. Déterminer ensuite à l'aide du second principe l'entropie créée au cours de la transformation.

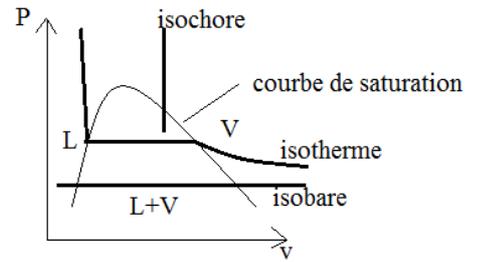
## 3TSI - Physique-Chimie - Colle 8c Corrigé

### Question de cours Diagramme (P,v)

Isothermes du liquide : P a peu d'influence sur v (à la limite, liquide idéal incompressible), les isothermes sont des droites quasi verticales

Isothermes d'un gaz parfait :  $Pv = \frac{RT}{M}$  donc  $P = \frac{RT}{Mv}$

or  $T = \text{cste}$  (isotherme) donc P est proportionnelle à  $\frac{1}{v}$  (hyperbole).



Dans le domaine de la vapeur, les isothermes ont une allure proche d'une hyperbole (la vapeur quasi saturante est loin d'être un gaz parfait).

### Exercice 1 Etude du propane

1)  $T_{\text{vap}}(10 \text{ bar}) = 27^\circ\text{C}$

2)  $P_{\text{sat}}(-20^\circ\text{C}) = 2,5 \text{ bar}$

3)  $s_L(50^\circ\text{C}) = 1,43 \cdot 10^3 \text{ J.K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$      $s_V(50^\circ\text{C}) = 2,32 \cdot 10^3 \text{ J.K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$     d'où  $\Delta_{\text{vap}}(50^\circ\text{C}) = 8,9 \cdot 10^2 \text{ J.K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$

On en déduit  $l_{\text{vap}}(50^\circ\text{C}) = (273+50) \cdot 8,9 \cdot 10^2 = 2,9 \cdot 10^2 \text{ kJ.kg}^{-1}$

4) En appliquant la règle des moments on trouve  $x_V = 0,80$

5) On peut estimer  $h = 500 \text{ kJ.kg}^{-1}$

6)  $x_V = \frac{s - s_L(0^\circ\text{C})}{s_V(0^\circ\text{C}) - s_L(0^\circ\text{C})} = \frac{2100 - 1000}{2367 - 1000} = 0,8047$     or  $x_V = \frac{h - h_L(0^\circ\text{C})}{h_V(0^\circ\text{C}) - h_L(0^\circ\text{C})}$

donc  $h = h_L(0^\circ\text{C}) + x_V(h_V(0^\circ\text{C}) - h_L(0^\circ\text{C})) = 200,00 + 0,8047 \cdot (573,38 - 200,00)$

finalement  $h = 500,5 \text{ kJ.kg}^{-1}$

### Exercice 2 Expérience de Joule

1)  $W = m_0 g h = 100 \cdot 10 \cdot 1 = 10^3 \text{ J}$

2) Premier principe :  $\Delta U + \Delta E_c = W + Q$  avec  $\Delta E_c = 0$  (eau immobile dans l'état initial et final)

et  $Q = 0$  (l'enceinte est calorifugée : on néglige les transferts thermiques)

D'autre part  $\Delta U = C \Delta T = m_{\text{eau}} c_{\text{eau}} \Delta T$  où  $c_{\text{eau}}$  est la capacité thermique massique de l'eau, et  $m_{\text{eau}} = 100 \text{ g}$

On a donc  $m_{\text{eau}} c_{\text{eau}} \Delta T = m_0 g h$ , ce qui donne  $c_{\text{eau}} = \frac{m_0 g h}{m_{\text{eau}} \Delta T} = \frac{100 \cdot 10 \cdot 1}{0,1 \cdot (22,5 - 20)} = 4,0 \cdot 10^3 \text{ J.K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$

3)  $S(T) = S(T_0) + C \ln(T/T_0)$  pour une phase condensée idéale, donc  $\Delta S = C \ln(T_f/T_i) = m c_{\text{eau}} \ln(T_f/T_i)$

AN :  $\Delta S = 0,14 \cdot 0,10^3 \cdot \ln(295,5/293) = 3,4 \text{ J.K}^{-1}$  or  $\mathcal{E}_{\text{éch}} = 0$  car  $Q = 0$ , donc  $\mathcal{E}_{\text{cr}} = 3,4 \text{ J.K}^{-1} > 0$

(transformation irréversible, il y a eu de la dissipation par frottement entre l'eau et les pales)

## 3TSI - Physique-Chimie - Colle 7

### Exercices supplémentaires

#### Exercice Eau pressurisée

A la sortie de la chaudière d'une centrale thermique, avant de pénétrer dans la turbine, l'eau se trouve à la pression  $P = 50$  bar. Elle possède alors une enthalpie massique  $h = 2620 \text{ kJ.kg}^{-1}$ .

En utilisant les données fournies, déterminer si l'eau se trouve sous forme de liquide, de vapeur sèche, de vapeur saturante ou d'un mélange liquide-vapeur (dans ce dernier cas, indiquer la composition).

#### Données pour l'eau

$$T_{\text{vap}}(50 \text{ bar}) = 264 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$s_{\text{vap}}(537\text{K}) = 3052 \text{ J.K}^{-1}.\text{kg}^{-1}$$

$$h_L(537\text{K}) = 1,155 \text{ MJ.kg}^{-1}$$

#### Exercice Moteur automobile

Un moteur comporte 4 cylindres fonctionnant selon un cycle à 4 temps. En régime permanent, la puissance développée au niveau des pistons est  $P_m = 40 \text{ kW}$ . Le rendement du moteur est  $r = 0,35$ . L'essence utilisée présente un pouvoir calorifique de  $48 \text{ MJ.kg}^{-1}$  et sa densité est de  $0,72$ .

- 1 ) Calculer la puissance  $P_1$  fournie par la combustion de l'essence et la puissance  $P_2$  évacuée par le système de refroidissement.
- 2 ) Calculer la consommation d'essence du moteur en litre par heure.

#### Exercice Cycle de Beau de Rochas

Un gaz parfait diatomique est admis dans le cylindre dans les conditions  $P_A = 1 \text{ bar}$ ,  $V_A = 0,1 \text{ L}$ ,  $T_A = 300 \text{ K}$ . Le gaz subit ensuite les transformations suivantes :

A=> B : compression adiabatique réversible ( $V_B = 0,021 \text{ L}$ )

B=> C : chauffage isochore ( $T_C = 2032 \text{ K}$ )

C=> D : détente adiabatique

D=> A : refroidissement isochore

- 1) Représenter le cycle dans un diagramme (P,V) ; s'agit-il d'un cycle moteur ou récepteur ?
- 2) Déterminer le rendement du cycle.

3TSI - Physique-Chimie - Colle 8  
Exercices supplémentaires - Corrigé

**Exercice Eau pressurisée**

$$l_{\text{vap}}(537\text{K}) = T_{\text{vap}} \cdot s_{\text{vap}}(537\text{K}) = 537 \cdot (3052) = 1639 \text{ kJ.kg}^{-1}$$

On peut alors calculer  $h_v(537\text{K}) = h_L(537\text{K}) + l_{\text{vap}}(537\text{K}) = 2794 \text{ kJ.kg}^{-1}$

On a  $h_L < h < h_v$ , l'eau se trouve sous forme de mélange diphasé liquide/vapeur

$$x = \frac{h - h_L}{h_v - h_L} = \frac{2620 - 1155}{2794 - 1155} = 0,894 \quad \text{Le mélange contient 89,4\% de vapeur.}$$

**Exercice Moteur automobile**

1) Le rendement du moteur est défini par  $r = \frac{|W|}{Q_c} = \frac{P_m}{P_1}$  donc  $P_1 = 114 \text{ kW}$

Sur un cycle, le premier principe donne  $W + Q_F + Q_C = 0$

En utilisant les puissances (en valeur absolue), on obtient  $-P_m - P_2 + P_1 = 0$  d'où  $P_2 = P_1 - P_m = 74 \text{ kW}$

2) En une heure, l'énergie fournie par l'essence vaut  $P_1 \Delta t = 4,1 \cdot 10^8 \text{ J}$  d'où une masse  $\frac{P_1 \Delta t}{P.C.} = 8,5 \text{ kg}$

D'après la densité, on en déduit un volume  $V = 12 \text{ L}$ . La consommation du moteur est de  $12 \text{ L.h}^{-1}$

**Exercice Cycle de Beau de Rochas**

1) voir schéma. Cycle moteur ( $W = -A_{\text{cycle}} < 0$  car sens horaire)

2) Pour un GP diatomique,  $C_V = 5/2 nR$  et  $C_P = 7/2 nR$  donc  $\gamma = 1,4$

Loi de Laplace A=>B :  $T_A V_A^{\gamma-1} = T_B V_B^{\gamma-1}$  donc  $T_B = T_A \left( \frac{V_A}{V_B} \right)^{\gamma-1} = 560 \text{ K}$

De même pour C=>D :  $T_D = T_C \left( \frac{V_C}{V_D} \right)^{\gamma-1} = 1088 \text{ K}$

$$C_V = \frac{5}{2} nR = \frac{5}{2} P_A \frac{V_A}{T_A} = \frac{5}{2} \cdot \frac{1,0 \cdot 10^5 \cdot 0,1 \cdot 10^{-3}}{300} = 8,33 \cdot 10^{-2} \text{ J.K}^{-1}$$

$$\eta = \frac{-W}{Q_c} = \frac{-W}{Q_{BC}}$$

avec  $W = -Q_{\text{cycle}} = -Q_{BC} - Q_{DA} = -C_V (T_C - T_B) - C_V (T_A - T_D) = -56 \text{ J}$

et  $Q_{BC} = C_V (T_C - T_B) = 122 \text{ J}$

soit un rendement de 46%

