

## Correction des exercices de thermodynamique (T2)

### Exercice n°1

1- Le système est fermé ( $n$  constant) et on considère que le volume reste constant.

G.P.  $P_1V_1 = nRT_1$  (hiver);  $P_2V_2 = nRT_2$  (été) et transformation isochore  $V_1 = V_2$

$$nRT_1 / P_1 = nRT_2 / P_2 \quad \text{d'où } P_2 = T_2/T_1 \cdot P_1 \quad \text{A.N. } P_2 = 2,5 \text{ bar}$$

2- Variation relative:  $(P_2 - P_1)/P_1 = 0,3/2,2 = 13,6 \%$  ce qui n'est pas négligeable, il faut régulièrement vérifier la pression des pneus.

### Exercice n°2

#### 1. Réalisation d'une compression isotherme de la pression $P_1$ à la pression $P_2$ .

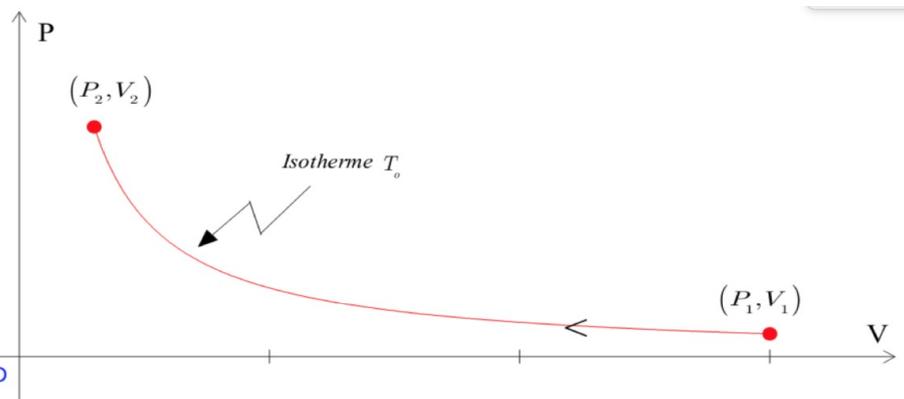
Une transformation **isotherme** est une transformation **quasi statique et mécaniquement réversible au cours de laquelle la température du système est constante et égale à celle du milieu extérieur**. Une transformation est quasi statique lorsqu'elle amène le système d'un état d'équilibre initial à un état d'équilibre final en le faisant passer par une **succession continue d'états d'équilibre**. Une transformation est dite mécaniquement **réversible** si elle est **quasi statique** et si en outre à chaque instant de l'évolution il y a **équilibre mécanique entre le système considéré et l'extérieur** avec lequel il est en contact. S'il y avait un équilibre parfait entre le système et le milieu extérieur il ne pourrait pas se produire de transformation : pour que celle-ci puisse exister il est donc nécessaire qu'il existe un très faible déséquilibre tel que si on le supprime, l'évolution progresse alors dans le sens contraire en repassant exactement par les mêmes états intermédiaires mécaniques.

L'exercice étudie une compression isotherme d'un gaz parfait de la pression  $P_1$  à la pression  $P_2$  : à chaque étape de l'évolution, le travail mécanique fourni par l'extérieur au système doit être intégralement échangé par chaleur par le système avec l'extérieur (**les parois du système sont nécessairement diathermanes**).  $T_{\text{ext}} = T_0 = \text{Cte.}$  (thermostat).

Pour que cet échange soit complet cela impose de **procéder très lentement** : on peut, par exemple, déposer très progressivement un à un des toutes petites masses sur le piston de telle manière à ce que la pression extérieure (et donc celle du système) passe de façon quasi continue de la pression  $P_1$  à la pression  $P_2$ .

#### 2. Représentation graphique

Au cours d'une transformation **isotherme** à la température  $T_0$  d'un gaz parfait, l'équation d'état permet d'écrire avec  $n = 1$  et  $T = T_0$ , que :  $P = RT_0/V = \text{Cte}/V$  car  $T_0$  est constante.



Ce qui graphiquement correspond à une **branche d'hyperbole** dans le diagramme de Clapeyron:  $P$  en fonction de  $V$ .

### 3- Travail fourni.

On étudie le système constitué du cylindre, du piston sans masse et du gaz parfait. Le travail élémentaire s'écrit :  $\delta W = - P_{\text{ext}} dV$  (transformation infinitésimale)

$\delta W = - P dV$  car transformation réversible.

$$\delta W = - nRT_0 \cdot dV/V$$

$$W_1 = \int_{V_1}^{V_2} -nRT_0 \cdot dV/V = -nRT_0 \cdot \int_{V_1}^{V_2} dV/V = n R T_0 \ln (V_1/V_2) = R T_0 \ln (P_2/P_1) \quad (n = 1 \text{ mol})$$

$$P_1 V_1 = P_2 V_2 = n R T_0$$

### 4. Caractéristiques de la transformation.

Il y a maintenant une descente brusque du piston. La transformation n'est plus mécaniquement réversible car la pression du gaz n'est pas définie au cours de l'évolution. Cette compression est non représentable par une courbe dans le diagramme  $P = f(V)$  : seuls les points correspondant à l'état initial et l'état final peuvent y figurer.

Cependant la pression extérieure  $P_2 = P_1 + (M g / S)$  et la température extérieure sont considérées comme constantes.

Le gaz subit une évolution monobare à la pression  $P_2$  et monotherme à la température  $T_0$ .

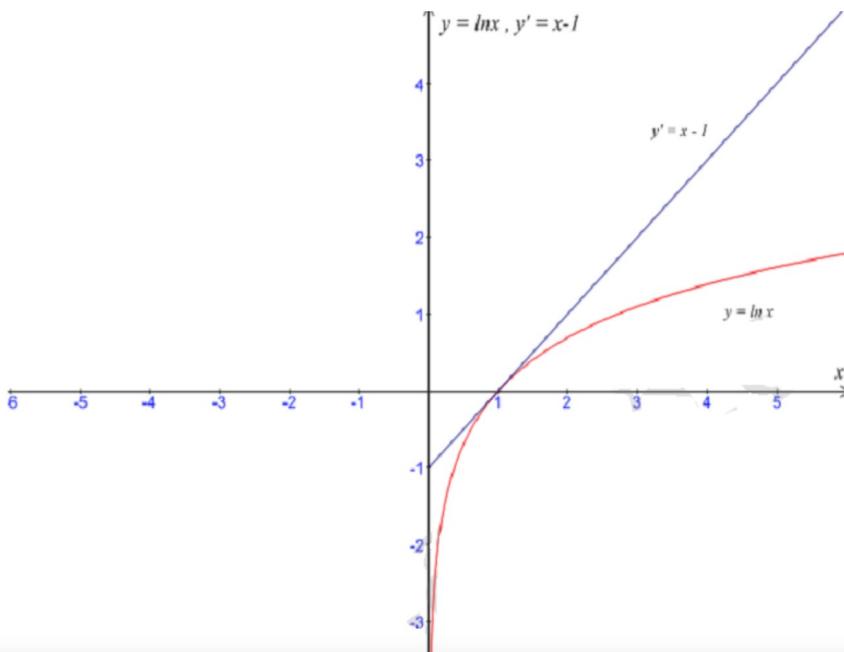
### 5. Travail.

Le travail élémentaire s'écrit :  $\delta W = - P_{\text{ext}} dV$  avec  $P_{\text{ext}} = P_2$  ( $P_{\text{ext}} \neq P$ )  $P_1 V_1 = P_2 V_2 = n R T_0$

$$W_2 = \int_{V_1}^{V_2} -P_2 dV = -P_2 \int_{V_1}^{V_2} dV = -P_2(V_2 - V_1) = -P_2 V_2 (1 - V_1/V_2) = P_2 V_2 (V_1/V_2 - 1) = nRT_0 (P_2/P_1 - 1)$$

### Remarque: représentations graphiques.

$$y = \frac{W_1}{nRT_0} = \ln \frac{P_2}{P_1} = \ln x \quad \text{et} \quad y' = \frac{W_2}{nRT_0} = \frac{P_2}{P_1} - 1 = x - 1$$



On peut remarquer que :  $y' \geq y$ .

Le travail fourni lors de la compression isotherme qui est mécaniquement réversible est plus faible que celui fourni lors de la compression brutale qui n'est pas mécaniquement réversible

### Exercice n°3

$$PV = nRT \text{ d'où } n = PV/(RT)$$

$$n = (400\,000 \times 0,5) / (8,314 \times 300) = 80,18 \text{ mol.}$$

$$m = n \times M \quad m = 80,18 \times (14 \times 2 \times 10^{-3}) = 2,24 \text{ kg.}$$

$$Q_R = UI \Delta t = 120 \times 2 \times 5 \times 60 = 72\,000 \text{ J}$$

Quantité de chaleur transmise au diazote:  $Q_R - Q_{\text{perdue}}$

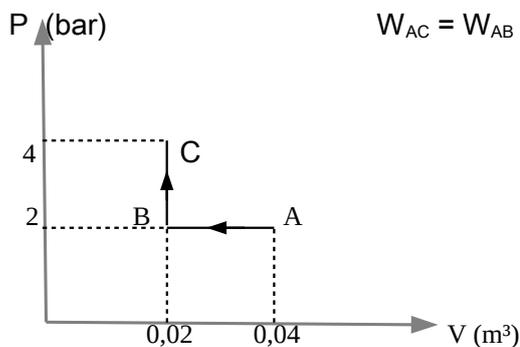
$$72\,000 - 2800 = 69\,200 \text{ J} = 69,2 \text{ kJ. (sert à chauffer } N_2)$$

$$m c_p (T_f - T_i) = 69,2 \text{ kJ.}$$

$$T_f = T_i + 69,2 / (2,24 \times 1,039) = (27 + 273) + 29,73$$

$$T_f = 329,73 \text{ K}$$

### Exercice n°4



$$W_{AC} = W_{AB} + W_{BC} = W_{AB} + 0 = -P_A (V_B - V_A)$$

BC: isochore d'où travail nul selon BC.

$$W_{AC} = -2 \cdot 10^5 \cdot (0,02 - 0,04) = 4 \text{ kJ} > 0$$

Le travail est positif, il est donc reçu par le gaz.

### Exercice n°5

1- On calcule les quantités de matière : ( $n = m/M$ )

$$n_{H_2} = 0,150 / 2 = 0,075 \text{ mol} ; \quad n_{N_2} = 0,7 / 28 = 0,025 \text{ mol} \text{ et } n_{NH_3} = 0,34 / 17 = 0,02 \text{ mol.}$$

$$n_{\text{total}} = 0,075 + 0,025 + 0,02 = 0,12 \text{ mol.}$$

**Fractions molaires :**  $x_i = n_i / n_{\text{tot}}$

$$x_{H_2} = n_{H_2} / n_{\text{total}} = 0,075 / 0,12 = 0,63$$

$$x_{N_2} = n_{N_2} / n_{\text{total}} = 0,025 / 0,12 = 0,21$$

$$x_{NH_3} = n_{NH_3} / n_{\text{total}} = 0,02 / 0,12 = 0,16$$

2- La pression partielle de chaque gaz :  $P_i = x_i \cdot P$  avec  $P = 1 \text{ atm} = 10^5 \text{ Pa}$ .

$$P_{H_2} = x_{H_2} P = 0,63 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

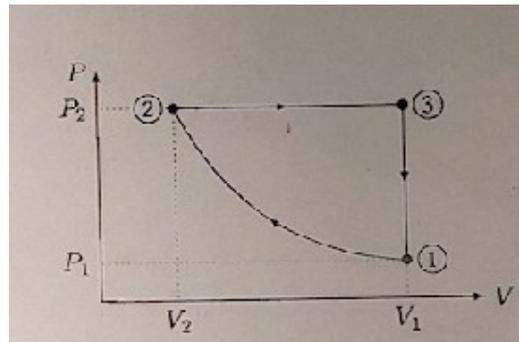
$$P_{N_2} = x_{N_2} P = 0,21 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

$$P_{NH_3} = x_{NH_3} P = 0,16 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

3-  $P V = n_{\text{total}} RT$        $V = n_{\text{total}} RT / P$        $V = 0,12 \times 8,314 \times 300 / 10^5 = 3 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 = 3 \text{ L.}$

### Exercice n°6

1- Cycle :



2-  $P_1 V_1 = nRT_1$  avec la pression en Pa, le volume en  $m^3$ , T en K, n en mol et  $R = 8,314 \text{ J K mol}^{-1}$ .

3-  $U_1 = \frac{3}{2} nRT_1$  car le gaz est **monoatomique**.

4- La température est constante donc  $P_1 V_1 = P_2 V_2$  ( $T_1 = T_2$ ) d'où  $P_2 = P_1 V_1 / V_2$

5- Le travail élémentaire s'écrit :  $\delta W = - P_{\text{ext}} dV$  avec  $P_{\text{ext}} = P$  car la transformation est quasi-statique

$$W_{12} = \int_{V_1}^{V_2} - nRT_1 / V \cdot dV = - nRT_1 \ln(V_2 / V_1) = P_1 V_1 \ln(V_1 / V_2) \quad (\text{transformation isotherme}).$$

6- **L'énergie interne d'un gaz parfait ne dépend que de sa température** et comme elle est constante,  $U_2 = U_1$ .

7-  $P_2 V_3 = nRT_3$  ( $P_2 = P_3$ ) et  $P_2 = nRT_1 / V_2$  (question 4) on arrive à  $T_3 = T_1 V_1 / V_2$

8-  $W_{23} = - P_2 (V_3 - V_2)$  (transformation isobare).

9- La transformation est isochore donc le travail échangé par le gaz est nul.

10- Le travail total échangé au cours du cycle est  $W = W_{12} + W_{23} = P_1 V_1 \ln(V_1 / V_2) - P_2 (V_3 - V_2)$   
Le cycle est parcouru dans le sens horaire donc il est moteur (W négatif).

### Exercice n°7

1- Le système est récepteur donc le cycle est parcouru dans le sens trigo.

2- Le travail est égal à  $W = (P_B - P_A)(V_A - V_C) + 1/2 (P_C - P_B)(V_A - V_C)$

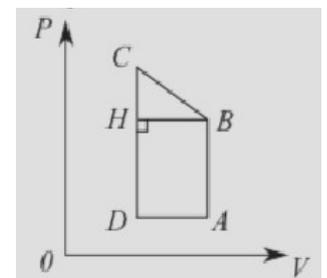
L'aire peut être décomposée en aire d'un rectangle + aire d'un triangle

3- A.N. :  $W = [(P_B - P_A) + 1/2 (P_C - P_B)] (V_A - V_C)$

$$W = [(1,12 - 1,026) + 1/2 \cdot (1,14 - 1,12)] \cdot 10^5 \cdot (150 - 90) \cdot 10^{-6} = 0,64 \text{ J}$$

4-  $P = (\text{nombre de cycles} \times W) / t$

$$P = 70 \times 0,64 / 60 = 0,74 \text{ W.}$$



### Exercice n°8

La compression étant isotherme et réversible :  $\delta W = - P dV$  ( $P_{\text{ext}} = P_{\text{gaz}}$ ) et  $T = T_0 = \text{cte}$

$$P = RT / (V - b) - a / V^2$$

$$\delta W = - [RT_0 / (V - b) - a / V^2] dV = - RT_0 \cdot dV / (V - b) + a \cdot dV / V^2$$

$$W_{12} = - RT_0 \int_{V_1}^{V_2} dV / (V - b) + a \int_{V_1}^{V_2} dV / V^2 = - RT_0 \cdot \ln[(V_2 - b) / (V_1 - b)] + a (1 / V_1 - 1 / V_2)$$