

## Sujet 1 – corrigé

## I Cuisson des frites (★★)

On plonge 300 g de frites (de pommes de terre ou de plantains selon les goûts) à température  $T_{F0} = 0^\circ\text{C}$  dans un bain d'huile de 2,00 L à la température initiale  $T_{H0} = 180^\circ\text{C}$ .

**Données.**  $c_{\text{huile}} = 4,80 \text{ kJ} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,  $c_{\text{frite}} \approx c_{\text{eau}} = 4,20 \text{ kJ} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,  $\rho_{\text{huile}} = 920 \text{ g/L}$ .

Dans un premier temps, la température de l'ensemble s'homogénéise jusqu'à la valeur  $T_1$ . On néglige les transferts thermiques avec l'extérieur durant cette transformation.

- Déterminer l'expression de  $T_1$  et effectuer l'application numérique.

**Réponse :**

On considère {frites + huile}, considéré comme un système isolé. On appelle 0 l'état initial et 1 le premier état d'équilibre proposés par l'exercice. Puisque le système est isolé, d'après le premier principe de la thermodynamique, son énergie interne ne varie pas :

$$\Delta_{0 \rightarrow 1} U(\{\text{frites} + \text{huile}\}) = 0.$$

L'énergie interne est une grandeur extensive (on dit aussi additive), donc :

$$\Delta_{0 \rightarrow 1} U(\{\text{frites} + \text{huile}\}) = \Delta_{0 \rightarrow 1} U(\{\text{frites}\}) + \Delta_{0 \rightarrow 1} U(\{\text{huile}\}).$$

Les frites et l'huile sont des phases condensées indilatables et incompressibles (dont les capacités thermiques ne dépendent pas de la température), donc :

$$\begin{aligned} \Delta_{0 \rightarrow 1} U(\{\text{frites}\}) &= m_{\text{frite}} c_{\text{frite}} (T_1 - T_{F0}) \\ \Delta_{0 \rightarrow 1} U(\{\text{huile}\}) &= m_{\text{huile}} c_{\text{huile}} (T_1 - T_{H0}). \end{aligned}$$

On a donc :

$$m_{\text{frite}} c_{\text{frite}} (T_1 - T_{F0}) + m_{\text{huile}} c_{\text{huile}} (T_1 - T_{H0}) = 0,$$

c'est-à-dire :

$$T_1 = \frac{m_{\text{frite}} c_{\text{frite}} T_{F0} + m_{\text{huile}} c_{\text{huile}} T_{H0}}{m_{\text{frite}} c_{\text{frite}} + m_{\text{huile}} c_{\text{huile}}} = 430 \text{ K} = 158^\circ\text{C}.$$

Avec :

$$m_{\text{huile}} = \rho_{\text{huile}} V_{\text{huile}} = 1,84 \text{ kg}.$$

- Déterminer et calculer l'entropie créée durant cette étape.

**Réponse :**

L'entropie étant une grandeur extensive (additive), la variation d'entropie de l'ensemble {frites + huile} est la somme des variations d'entropie des 2 sous-parties :

$$\Delta_{0 \rightarrow 1} S(\{\text{frites} + \text{huile}\}) = \Delta_{0 \rightarrow 1} S(\{\text{frites}\}) + \Delta_{0 \rightarrow 1} S(\{\text{huile}\}).$$

Les frites et l'huile sont des phases condensées indilatables et incompressibles, donc d'après le cours :

$$\Delta_{0 \rightarrow 1} S(\{\text{frites}\}) = m_{\text{frite}} c_{\text{frite}} \ln \left( \frac{T_1}{T_{F0}} \right) \quad ; \quad \Delta_{0 \rightarrow 1} S(\{\text{huile}\}) = m_{\text{huile}} c_{\text{huile}} \ln \left( \frac{T_1}{T_{H0}} \right).$$

Finalement, la variation d'entropie du système {frites + huile} est :

$$\Delta_{0 \rightarrow 1} S(\{\text{frites} + \text{huile}\}) = m_{\text{frite}} c_{\text{frite}} \ln \left( \frac{T_1}{T_{F0}} \right) + m_{\text{huile}} c_{\text{huile}} \ln \left( \frac{T_1}{T_{H0}} \right).$$

Puisque le système {frites + huile} est isolé, alors il ne reçoit pas de transfert thermique de l'extérieur : la quantité d'entropie échangée lors de cette transformation entre le système {frites + huile} et l'extérieur est nul. On en déduit, d'après le second principe de la thermodynamique que :

$$S_{\text{créée}} = m_{\text{frite}} c_{\text{frite}} \ln \left( \frac{T_1}{T_{F0}} \right) + m_{\text{huile}} c_{\text{huile}} \ln \left( \frac{T_1}{T_{H0}} \right) = 125 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}.$$

Comme attendu, l'entropie créée durant cette étape est positive car cette transformation est irréversible.

Afin d'assurer la cuisson, la résistance électrique de la friteuse se remet à chauffer avec une puissance  $P = 1500 \text{ W}$ , elle s'éteint dès que la température atteint  $T_{H0}$ . On suppose que la température de la résistance est égale à celle de l'huile  $T_{H0}$ .

3. Déterminer la capacité thermique de l'ensemble { huile + frites }.

**Réponse :**

Puisque la capacité thermique est une grandeur extensive, la capacité thermique de l'ensemble {frites + huile} notée  $C_{HF}$  est :

$$C_{HF} = m_{\text{frite}} c_{\text{frite}} + m_{\text{huile}} c_{\text{huile}} = 1,0 \times 10^4 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} = 10 \text{ kJ} \cdot \text{K}^{-1}.$$

4. Combien de temps la friteuse va-t-elle rester allumée ?

**Réponse :**

On note 2 l'état d'équilibre final et on applique le premier principe de la thermodynamique à l'ensemble {frites + huile} lors de la transformation entre l'état 1 et l'état 2 :

$$\Delta_{1 \rightarrow 2} U(\{\text{frites} + \text{huile}\}) = Q,$$

où  $Q$  est le transfert thermique reçu par le système (et donc fourni par la résistance). Puisque la puissance dissipée par effet Joule dans la résistance est  $P$ , alors le transfert thermique lors du chauffage d'une durée  $T$  est :

$$Q = P \Delta t.$$

On remarque que  $Q$  est bien positif : en effet, le système d'étude reçoit effectivement de l'énergie sous forme de transfert thermique. Enfin, le système {frites + huile} étant une phase condensée, il suit la première loi de Joule donc :

$$\Delta_{1 \rightarrow 2} U(\{\text{frites} + \text{huile}\}) = C_{HF} (T_{H0} - T_1).$$

Finalement :

$$\Delta T = \frac{C_{HF} (T_{H0} - T_1)}{P} = 151 \text{ s} = 2,5 \text{ min}.$$

5. Déterminer et calculer l'entropie créée durant cette étape.

**Réponse :**

Puisque le système {frites + huile} est une phase condensée :

$$\Delta_{1 \rightarrow 2} S(\{\text{frites} + \text{huile}\}) = C_{HF} \ln \left( \frac{T_{H0}}{T_1} \right).$$

Le système {frites + huile} échange une quantité d'entropie avec la résistance :

$$S_{\text{ech}} = \frac{Q}{T_{H0}} = \frac{C_{HF} (T_{H0} - T_1)}{T_{H0}}.$$

D'après le second principe de la thermodynamique appliqué lors de la transformation entre les états 1 et 2 :

$$S_{\text{créée}} = \Delta_{1 \rightarrow 2} S(\{\text{frites} + \text{huile}\}) - S_{\text{ech}}.$$

On trouve alors :

$$S_{\text{créée}} = C_{HF} \ln \left( \frac{T_{H0}}{T_1} \right) - \frac{C_{HF}(T_{H0} - T_1)}{T_{H0}} = 13 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}.$$

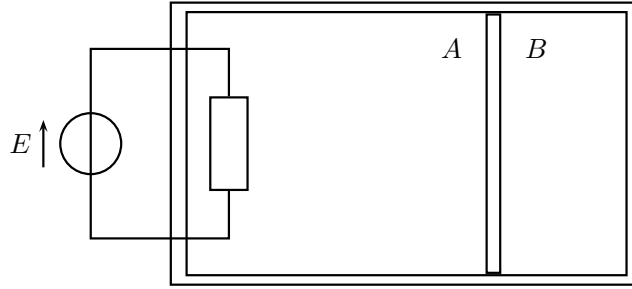
L'entropie créée est positive : la transformation est irréversible à cause d'une irréversibilité thermique : la résistance qui est en contact avec le système peut être considérée comme un thermostat car sa température ne change pas et le système a toujours une température différente de celle de ce thermostat (sauf au moment de l'état final).



## Sujet 2 – corrigé

## I Enceintes couplées

On considère un cylindre rigide aux parois calorifugées séparé en deux compartiments  $A$  et  $B$  par un piston calorifugé mobile sans frottement. Ces deux compartiments contiennent le même gaz parfait dont on connaît l'exposant adiabatique  $\gamma$  supposé constant. Un conducteur ohmique de résistance  $r$  et de capacité thermique négligeable est placé dans  $A$ .



L'état initial correspond à  $V_{A0} = V_{B0} = V_0$ ,  $p_{A0} = p_{B0} = p_0$ ,  $T_{A0} = T_{B0} = T_0$ . On fait passer un faible courant  $I$  dans  $R$  sous une tension  $E$  pendant un temps  $\tau$ . Le gaz  $A$  passe alors lentement de  $V_{A0}$  à  $V_A = 2V_B$  (et on a toujours  $V_A + V_B = 2V_0$ ).

1. Précisez les types des transformations qui affectent les gaz  $A$ ,  $B$ ,  $\{A + B\}$  puis les systèmes  $\{R + A\}$  et  $\{A + B + R\}$ .

**Réponse :**

$A$  subit un chauffage irréversible,  $B$  subit une compression adiabatique réversible,  $\{A + B\}$  subit une transformation isochore irréversible,  $\{R + A\}$  subit une transformation adiabatique irréversible et  $\{A + B + R\}$  subit une transformation adiabatique isochore irréversible.

2. Quels sont les paramètres d'état ( $T_A$ ,  $p_A$ ,  $V_A$ ,  $T_B$ ,  $p_B$  et  $V_B$ ) des gaz dans l'état final.

**Réponse :**

Comme l'enceinte contenant l'ensemble du dispositif est indéformable,  $V_A + V_B = Cte = 2V_0$  et à l'état final  $V_A = 2V_B \Rightarrow 2V_B + V_B = 2V_0 \Rightarrow V_B = \frac{2}{3}V_0$ .

$B$  est un gaz parfait qui subit une transformation adiabatique réversible, on peut utiliser les relations de Laplace  $pV^\gamma = Cte$  entre l'état initial et l'état final d'où la première équation :

$$p_{B0}V_{B0}^\gamma = p_B V_B^\gamma \Rightarrow p_B \cdot V_B^\gamma = p_0 V_0^\gamma \Rightarrow p_B = p_0 \left(\frac{3}{2}\right)^\gamma > p_0$$

L'équation d'état des gaz parfaits permet ensuite de déterminer

$$nR = \frac{p_B V_B}{T_B} = \frac{p_0 V_0}{T_0} \Rightarrow T_B = T_0 \frac{p_B V_B}{p_0 V_0} = T_0 \frac{2}{3} \left(\frac{3}{2}\right)^\gamma = T_0 \left(\frac{3}{2}\right)^{\gamma-1} > T_0$$

À l'équilibre final,  $p_A = p_B = p_0 \left(\frac{3}{2}\right)^\gamma$  (équilibre de la paroi mobile) et  $V_A = 2V_0 - V_B = \frac{4}{3}V_0$  d'où

$$nR = \frac{p_A V_A}{T_A} = \frac{p_0 V_0}{T_0} \Rightarrow T_A = T_0 \frac{p_A V_A}{p_0 V_0} = T_0 p_0 \frac{4}{3} \left(\frac{3}{2}\right)^\gamma = 2T_0 \left(\frac{3}{2}\right)^{\gamma-1} = 2T_B$$

3. Quels sont les échanges d'énergie (travail et transfert thermique) entre  $A$  et  $B$  ?

**Réponse :**

$B$  ne reçoit aucun transfert thermique de  $A$  (paroi mobile adiabatique) mais le travail

$$W_B = \Delta U_B = C_V(T_B - T_0) = \frac{nR}{\gamma - 1}(T_B - T_0) = \frac{p_0 V_0}{\gamma - 1} \left[ \left(\frac{3}{2}\right)^{\gamma-1} - 1 \right]$$

L'expression  $\Delta U_B = C_V(T_B - T_0)$  reste valable bien que la transformation ne soit pas isochore puisqu'elle concerne un gaz parfait (la première loi de Joule affirmant que la variation d'énergie interne ne dépend que de la température). Le calcul direct du travail était également possible en utilisant la relation de Laplace et l'hypothèse que l'équilibre mécanique est atteint à tout instant. Il est plus délicat à mettre en œuvre :

$$W_B = - \int P_{\text{ext}} dV = - \int P dV = -P_0 V_0^\gamma \int_{V_0}^{(2/3)V_0} \frac{dV}{V^\gamma} = -P_0 V_0^\gamma \left[ \frac{1}{(-\gamma + 1)V^{\gamma-1}} \right]_{V_0}^{(2/3)V_0}$$

Tout calcul fait, on retrouve bien  $W_B = \frac{p_0 V_0}{\gamma - 1} \left[ \left( \frac{3}{2} \right)^{\gamma-1} - 1 \right]$

4. Montrez finalement que  $A$  reçoit le transfert thermique

$$Q_A = \frac{nR}{\gamma - 1} T_0 \left[ 3 \left( \frac{3}{2} \right)^{\gamma-1} - 2 \right]$$

de la part du résistor.

**Réponse :**

Le gaz  $A$  reçoit un transfert thermique  $Q_A$  de la part du résistor tel que  $\Delta U_A = Q_A + W_A$  où  $W_A$  est le travail des forces de pression exercées sur  $A$  :  $\delta W_A = -p_A \cdot dV_A = -p_B \cdot dV_A = +p_B \cdot dV_B$  car  $V_A + V_B = \text{Cte} \Rightarrow dV_A = -dV_B$  d'où  $W_A = -W_B$  et on en déduit

$$Q_A = \Delta U_A - W_A = C_V(T_A - T_0) + W_B = C_V(T_A - T_0) + C_V(T_B - T_0) = \frac{nR}{\gamma - 1}(T_A + T_B - 2T_0)$$

$$\Rightarrow Q_A = \frac{nR}{\gamma - 1} T_0 \left[ 3 \left( \frac{3}{2} \right)^{\gamma-1} - 2 \right]$$

*Indice : On pourra utiliser la relation suivante qui est uniquement vraie pour une transformation adiabatique réversible d'un gaz parfait :*

$$pV^\gamma = \text{Cte}$$

## Sujet 3 – corrigé

## I Montée en température d'une résistance

Un résistor électrique  $R$ , de capacité thermique  $C$ , est placé dans l'air de température  $T_0$ .

Lorsque la température du résistor est  $T > T_0$ , on admet que le transfert thermique entre le résistor et l'air ambiant pendant une durée  $dt$  est donné par la loi de Newton :

$$\delta Q = -aC(T - T_0)dt \quad \text{où } a \text{ est une constante.}$$

À la date  $t = 0$ , le résistor étant à la température  $T_0$ , il est traversé par un courant électrique d'intensité  $I$  constante.

1. Quelle est la dimension de la constante  $a$  ?

**Réponse :**

$CT$  est homogène à une énergie. On en déduit  $[a] = T^{-1}$  (inverse d'un temps)

2. En faisant un bilan énergétique sur une durée  $dt$ , montrer que l'on obtient l'équation différentielle

$$\frac{dT}{dt} + aT = \frac{RI^2}{C} + aT_0$$

pour  $T$ , la température de résistor.

**Réponse :**

Premier principe sur un temps  $dt$  :

$$dU = \delta W + \delta Q = CdT$$

On a d'après l'énoncé  $\delta Q = aC(T - T_0)dt$ . Il reste donc à déterminer  $\delta W$ . Ici, il n'y a pas de travail des forces de pression (la résistance ne change pas de volume). Il reste donc à considérer le travail électrique. La résistance reçoit une puissance  $U_i I$  et fournit une puissance  $U_o I$  telle que  $I(U_i - U_o) = RI^2$ . On en déduit :

$$\delta W_{elec} = U_i dt = RI^2 dt$$

En combinant ces résultats, on obtient :

$$CdT = RI^2 dt - aC(T - T_0)dt \quad (27.1)$$

$$\Rightarrow \boxed{\frac{dT}{dt} + aT = \frac{RI^2}{C} + aT_0} \quad (27.2)$$

3. Identifiez la constante de temps  $\tau$  du phénomène ainsi que la température  $T_\infty$  atteinte par le résistor au bout d'une durée  $t \gg \tau$ .

**Réponse :**

On obtient par identification  $\tau = 1/a$  (cohérent avec la dimension de  $a$ ) et :

$$\boxed{T_\infty = T_0 + \frac{RI^2}{aC}}$$

4. Tracez l'allure de  $T(t)$  pour  $t \geq 0$  sans chercher à résoudre l'E.D.

**Réponse :**

Il convient de tracer un régime transitoire du premier ordre donc la C.I. vaut  $T_0$  et le régime asymptotique  $T(t) \rightarrow T_\infty$ .

Remarque :

La résolution de l'équation différentielle du premier ordre donne:

$$T(t) = T_\infty + (T_0 - T_\infty)e^{-at}$$





## Sujet 4 – corrigé

## I Variation d'entropie pour N transformations

Soit  $n$  moles de gaz ( $n = 1$ ) parfait à la pression  $p = 1$  bar et à température la  $T_0 = 450$  K (état 0). On comprime ce gaz de la pression  $p$  à  $p' = 10$  bar de façon réversible et isotherme, puis, on détend le gaz de façon réversible et adiabatique de  $p'$  à  $p$  (état 1).

1. Représentez la suite des transformations dans un diagramme de Watt ( $p, V$ ).

**Réponse :**

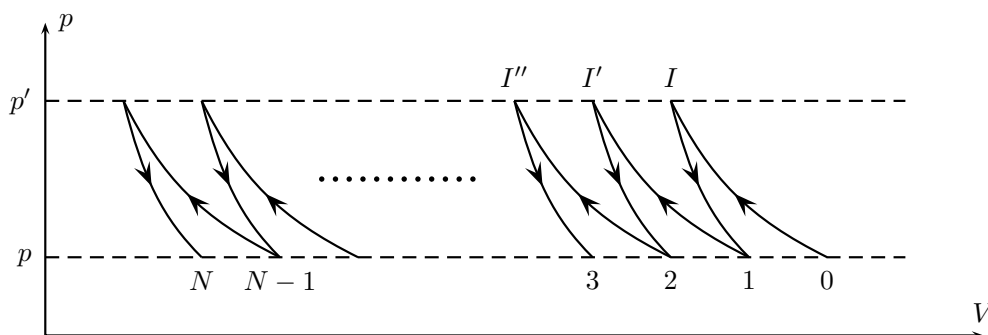
Lors de la transformation menant de l'état 0 ( $p, T_0$ ) à l'état 1 ( $p, T_1$ ), le système { gaz parfait monoatomique } subit d'abord une compression isotherme réversible ( $pV = Cte$  : branche d'hyperbole dans le diagramme de Watt) de  $p$  à  $p'$ .

Il se situe alors dans un état intermédiaire ( $p', T_0$ ) avant de subir une détente adiabatique réversible ( $pV^\gamma = Cte$  : courbe de pente plus raide dans le diagramme de Watt) de  $p'$  à  $p$ .

On résume cette suite de transformations dans le tableau suivant.

État 0	isotherme	État Intermédiaire (I)	adiab rév	État 1
$T_0 = 450$ K	$\longrightarrow$	$T_0$	$\longrightarrow$	$T_1$
$p = 1$ bar	$pV = Cte$	$p' = 10$ bar	$pV^\gamma = Cte$	$p$

On trace enfin l'allure de la transformation (état 0  $\rightarrow$  état intermédiaire  $\rightarrow$  état 1 : 0  $\rightarrow$  I  $\rightarrow$  1) sur la figure ci-dessous.



2. Calculez la température finale  $T_1$  du gaz ainsi que la variation d'entropie  $\Delta S_1$  en fonction de  $n$ ,  $p$  et  $p'$  et  $R$  la constante des gaz parfaits (On pourra utiliser l'expression de  $C_p$  en fonction de  $\gamma$  pour simplifier le résultat). Faire l'application numérique.

**Réponse :**

Pour déterminer  $T_1$ , on peut utiliser une relation de Laplace entre l'état I et l'état 1 car la transformation est adiabatique réversible et le système est un gaz parfait (conditions d'application remplies). Ainsi,  $pV = RT \Rightarrow V = \frac{RT}{p}$  et  $pV^\gamma = Cte \Rightarrow p^{1-\gamma} \cdot T^\gamma = Cte$  avec  $\gamma = \frac{C_p}{C_v} = \frac{5/2}{3/2} = \frac{5}{3}$ . D'où entre I et 1

$$p'^{1-\gamma} \cdot T_0^\gamma = p^{1-\gamma} \cdot T_1^\gamma \Rightarrow T_1 = T_0 \left( \frac{p'}{p} \right)^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} \simeq 179 \text{ K}$$

Puis pour calculer la variation d'entropie  $\Delta S_1 = S_1 - S_0$  du gaz, on utilise d'abord le fait que  $S$  est une fonction d'état : peu importe le chemin suivi. La pression initiale et la pression finale sont les mêmes, on peut donc utiliser directement la formule donnée :  $S_m(T_f) - S_m(T_i) = C_{p,m} \ln \frac{T_f}{T_i} \Rightarrow S(T_f) - S(T_i) = C_p \ln \frac{T_f}{T_i}$ .

On a affaire à un GP donc  $C_p = \frac{\gamma}{\gamma-1}nR$  d'où  $S(T_f) - S(T_i) = \frac{\gamma}{\gamma-1}nR \ln \left( \frac{p'}{p} \right)^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} = \frac{\gamma}{\gamma-1}nR^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} \ln \left( \frac{p'}{p} \right) = -nR \ln \left( \frac{p'}{p} \right)$  A.N.  $-8.314 \ln(10) = -19,1 \text{ J/K}$ .

3. On recommence la même opération depuis l'état 1 ( $p, T_1$ ) → état 2 ( $p, T_2$ ) → ... → état  $N$  ( $p, T_N$ ). Complétez le diagramme de Watt et déterminez la variation d'entropie du gaz après les  $N$  opérations ainsi que la température finale  $T_N$  et enfin la variation d'énergie interne  $\Delta U_N$  en supposant le gaz parfait monoatomique.

Faites ensuite les applications numériques pour  $N = 5$ .

**Réponse :**

On répète  $N$  fois la même opération depuis l'état 1 ( $p, T_1$ ) → état 2 ( $p, T_2$ ) → ... → état  $N$  ( $p, T_N$ ), le diagramme de Watt est constitué de  $N$  isothermes réversibles et  $N$  adiabatiques réversibles (Cf figure ci-dessus).

En décomposant la variation d'entropie

$$\Delta S_N = \Delta S_{0 \rightarrow N} = \Delta S_{0 \rightarrow 1} + \Delta S_{1 \rightarrow 2} + \dots + \Delta S_{N-1 \rightarrow N} = \sum_{i=1}^N \Delta S_{i-1 \rightarrow i}$$

avec, en reprenant le même raisonnement que lors de la question 2,  $\Delta S_{i-1 \rightarrow i} = -nR \ln \frac{p'}{p}$  pour tout  $i$ .

On en déduit  $\Delta S_N = -NnR \ln \frac{p'}{p} \simeq -95,7 \text{ J.K}^{-1}$  pour  $N = 5$ .

En utilisant une relation de Laplace entre les états 0 et 1, on a montré que  $T_1 = T_0 \left( \frac{p'}{p} \right)^{\frac{1-\gamma}{\gamma}}$ .

De même, entre les états 2 et 1, on pourra montrer que  $T_2 = T_1 \left( \frac{p'}{p} \right)^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} = T_0 \left( \frac{p'}{p} \right)^{\frac{2(1-\gamma)}{\gamma}}$ .

Ou encore, entre 3 et 2 :  $T_3 = T_2 \left( \frac{p'}{p} \right)^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} = T_0 \left( \frac{p'}{p} \right)^{\frac{3(1-\gamma)}{\gamma}}$ .

On généralise immédiatement :  $T_N = T_0 \left( \frac{p'}{p} \right)^{\frac{N(1-\gamma)}{\gamma}} = 4,5 \text{ K}$  pour  $N = 5$ .

Enfin, comme on travaille sur un gaz parfait, on a d'après la première loi de Joule,

$$\Delta U_N = C_V \cdot \Delta T = \frac{3}{2}R(T_N - T_0) \simeq -5560 \text{ J}.$$

4. Voyez-vous une application ? Discuter l'hypothèse du gaz parfait si  $N$  grand

**Réponse :**

On voit qu'on peut rapidement obtenir un fluide à très faible température, c'est le principe d'un liquéfacteur. Mais à des températures si faibles, on n'a plus un gaz mais un liquide puis un solide

*Rappel pour un GP :*

$$S_m(T_f, p_f) - S_m(T_i, p_i) = C_{p,m} \ln \frac{T_f}{T_i} - R \ln \frac{p_f}{p_i}$$

## Sujet 5 – corrigé

## I Chauffage isobare d'un gaz parfait

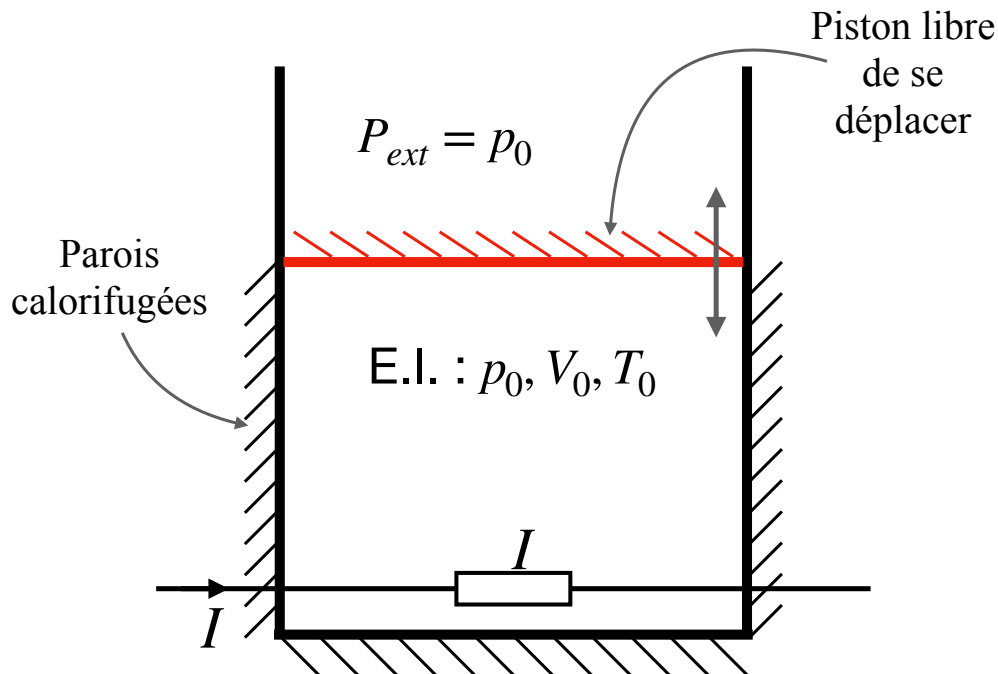
On considère une enceinte calorifugée, fermée par un piston libre de coulisser sans frottements, contenant un gaz parfait. La pression extérieure est notée  $p_0$ . Initialement, le volume de l'enceinte est  $V = V_0$ , la température et la pression du gaz  $T_0$  et  $p_0$ .

Il y a dans l'enceinte un résistor de capacité thermique négligeable, alimenté par un générateur de courant idéal délivrant l'intensité  $I$  supposée faible.

On considère dans un premier temps que la résistance du résistor est constante :  $R_0$

1. Réaliser un schéma de l'expérience.

**Réponse :**



2. Justifier que la transformation subie par le gaz parfait présent dans l'enceinte est quasi-statique et isobare.

**Réponse :**

Le courant circulant dans le résistor est responsable du déplacement de l'équilibre thermodynamique. Ce dernier étant faible, la transformation sera lente donc quasi-statique.

On en déduit que le piston sera à l'équilibre mécanique à tout instant et donc que  $p_{int} = p_{ext} = cste$  donc la transformation est bien isobare (et donc aussi monobare).

3. Déterminer l'évolution de la température du gaz au cours à l'instant  $t$ . On pourra pour cela appliquer le premier principe de la thermodynamique à un système judicieusement choisi entre l'instant initial  $t_0 = 0$  et l'instant  $t$ .

**Réponse :**

On applique le premier principe à l'ensemble { resistor + GP } entre l'instant initial et l'instant  $t$  pour l'enthalpie (transformation monobare)

$$\Delta H = H(t) - H(0) = W_a + Q$$

avec  $W_a = R_0 I^2(t - 0)$  et  $Q = 0$  (parois calorifugées). De plus, on obtient en négligeant la capacité thermique du résistor par rapport à celle du GP que  $\Delta H = C_p(T(t) - T_0)$  soit au final

$$T(t) = T_0 + \frac{R_0 I^2}{C_p} t$$

4. En déduire l'expression de l'évolution du volume  $V$  au cours du temps.

**Réponse :**

On a d'après l'équation d'état du GP  $V = nRT/p = \frac{nR}{p_0}(T_0 + \frac{R_0 I^2}{C_p} t)$ . De plus, on a à l'instant initial  $p_0 V_0 = nRT_0$  soit au final

$$V(t) = V_0 \left( 1 + \frac{R_0 I^2}{C_p T_0} t \right)$$

On considère maintenant que la résistance varie avec la température selon la loi  $R(T) = R_0 \frac{T}{T_0}$ .

5. Reprendre alors les questions 3 et 4.

**Réponse :**

On reprend l'écriture du premier principe entre les instants

$$C_p(T(t) - T_0) = \int_0^t R_0 \frac{T(t')}{T_0} I^2 dt'$$

En effet, la puissance dissipée n'étant plus constante, il faut utiliser une intégrale pour exprimer le travail électrique reçu. On peut ensuite dériver le résultat obtenu

$$C_p \frac{dT}{dt} = \frac{R_0 I^2}{T_0} T \Rightarrow \frac{dT}{dt} = \frac{R_0 I^2}{C_p T_0} T$$

Et cette équation différentielle d'ordre un admet pour solution (CI :  $T(0) = T_0$ )

$$T(t) = T_0 \exp \left( \frac{R_0 I^2}{C_p T_0} t \right)$$

On en déduit ensuite l'expression du volume

$$V = \frac{nRT}{p_0} = V_0 \exp \left( \frac{R_0 I^2}{C_p T_0} t \right)$$