

## Examen de Thermodynamique

Durée 1h30

*Les documents et les téléphones portables ne sont pas autorisés. Les calculatrices sont autorisées  
Les 2 exercices sont indépendants.*

### 1. Cours

1. Donner l'expression de l'enthalpie. En déduire, pour un gaz parfait, la relation de Mayer
2. Sachant que  $\gamma = C_p/C_v$  exprimer  $C_p$  et  $C_v$  en fonction de  $n$ ,  $R$  et  $\gamma$
3. Déduire de l'identité thermodynamique l'expression, pour un gaz parfait, de la variation  $\Delta S$  d'entropie entre les états  $(T_1, V_1)$  et  $(T_2, V_2)$  en considérant que  $C_v$  reste constant.
4. Déduire de la question précédente, que dans le cas d'une évolution isentropique, on retrouve les relations de Laplace.

### 2. Machine frigorifique à cycle de Stirling.

A. On réalise un appareil frigorifique à partir d'un fluide réfrigérant, considéré comme un gaz parfait diatomique, fonctionnant suivant un cycle de Stirling. On rappelle que le cycle de Stirling est constitué de deux transformations isothermes respectivement aux températures  $T_1 = 313$  K et  $T_2 = 253$  K et de deux transformations isochores respectivement aux volumes  $V_{\min}$  et  $V_{\max}$  tels que  $V_{\max} / V_{\min} = 3$ . Toutes les transformations seront supposées réversibles.

1. Représenter dans le diagramme de Clapeyron le cycle subit par le gaz. On appellera A le point  $(V_{\max}, T_2)$ , B  $(V_{\max}, T_1)$ , C  $(V_{\min}, T_1)$  et D  $(V_{\min}, T_2)$
2. Le cycle est parcouru dans le sens ABCD. Justifier ce sens pour un appareil frigorifique et indiquer pour les quatre transformations les signes des chaleurs échangées avec les deux sources de chaleur à températures respectives  $T_1$  et  $T_2$ .
3. Calculer le rapport de pressions  $P_C / P_A$ .
4. Calculer pour une mole de gaz la chaleur et le travail reçus pour chacune des quatre transformations.
5. Calculer l'efficacité de ce cycle.
6. Application numérique : calculer  $P_C / P_A$ , le travail échangé  $W$  au cours d'un cycle et la quantité de chaleur échangée  $Q_{DA}$ .

B. Dans ce dispositif frigorifique, le fluide réfrigérant à température  $T_2$  refroidit, par l'intermédiaire d'un échangeur (évaporateur), l'air à pression  $P_a = 1$  bar de l'enceinte à réfrigérer que l'on maintient en moyenne à  $T_i = 275$  K. L'air de la pièce où se trouve l'appareil frigorifique est à  $T_e = 293$  K.

L'enceinte à réfrigérer (l'intérieur du réfrigérateur) est assimilable à un parallélépipède rectangle de dimensions  $L_1 = 1$  m,  $L_2 = 0,6$  m et  $L_3 = 0,5$  m (Figure 1). On considérera que les épaisseurs des parois ( $e = 0,04$  m) de l'enceinte sont suffisamment faibles pour négliger les différences de surface entre l'intérieur et l'extérieur de l'enceinte. De plus on considérera que les températures au contact de ces parois sont  $T_i$  et  $T_e$  (pas de convection ou rayonnement). Les échanges de chaleur entre le réfrigérateur et l'extérieur sont modélisés par un dispositif unidimensionnel représenté Figure 2.

1. On considère que le mode de transfert de chaleur qui intervient dans la paroi satisfait la loi de Fourier. Énoncer cette loi en précisant les dimensions de chacun des termes.

On notera  $\lambda$  la conductivité thermique du matériau et  $\vec{J}_{th}$  la densité de courant de chaleur.

2. Donner l'expression du flux de chaleur  $\Phi_{th}$  en fonction de  $\vec{J}_{th}$  et de  $S = 2(L_1L_2 + L_1L_3 + L_2L_3)$ .
3. Dériver ou rappeler sans démonstration (moins bien noté) l'équation de la chaleur.
4. En considérant que l'on est en régime permanent, montrer que  $T_e - T_i = R_{th} \Phi_{th}$  (on donnera l'expression littérale de  $R_{th}$ ).
5. Application numérique : on donne  $\lambda = 0,04 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ . Calculer le flux de chaleur  $\Phi_{th}$ .
6. En prenant en compte l'efficacité du cycle du fluide réfrigérant calculé à la question A.5, calculer la puissance consommée par le réfrigérateur afin d'équilibrer les pertes par diffusion calculées en B.5.

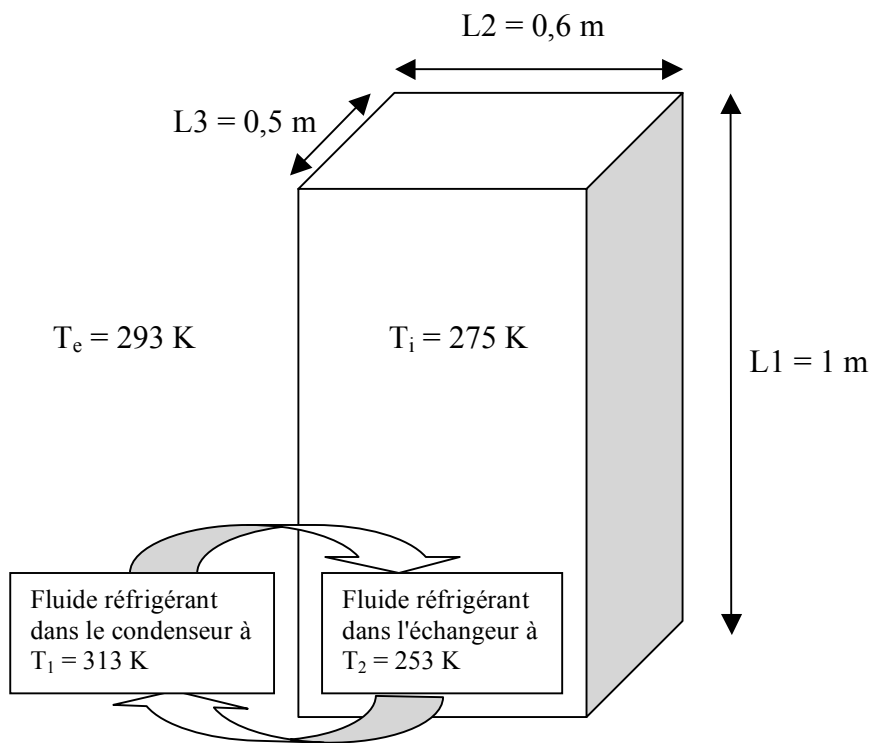


Figure 1 : schéma de principe du réfrigérateur.

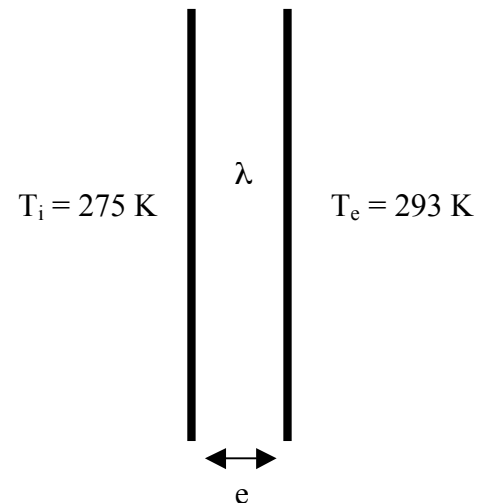


Figure 2 : Définition d'une paroi effective de surface  $S$ , décrivant l'échange thermique entre le réfrigérateur et l'extérieur.