

---

**EXAMEN DE THERMODYNAMIQUE (2<sup>ème</sup> session)**

*Durée : 1 heure 30*

*Les documents et les téléphones portables ne sont pas autorisés. Les calculatrices sont autorisées. Barème approximatif : 1<sup>er</sup> exercice : 9 points ; 2<sup>ème</sup> exercice : 6 points ; 3<sup>ème</sup> exercice : 5 points. Les trois exercices sont indépendants.*

## 1 Travail reçu par un solide pour différentes transformations.

Un solide de volume  $V_0$ , de coefficient de compressibilité isotherme  $\chi_T$  et de coefficient de dilatation isobare  $\alpha$  subit un échauffement isobare et réversible de l'état 0 (pression  $P_0$ , température  $T_0$ ) vers l'état 1 ( $P_1 = P_0$  et  $T_1 = \lambda T_0$ ), puis une compression isotherme et réversible, de l'état 1 vers l'état 2 ( $P_2 = \lambda P_1$ ,  $T_2 = T_1$ ).  $\lambda$  est un réel  $> 1$ . On considèrera que les variations de volume sont petites devant  $V_0$  (mais non négligeables).

1/ Exprimer  $\alpha$  et  $\chi_T$  en fonctions des dérivées partielles des grandeurs appropriées (c'est à dire de  $P$ ,  $T$  ou  $V$ ). Quels sont les signes de  $\alpha$  et  $\chi_T$  (justifier physiquement votre réponse) ?

Dans le reste de l'exercice on considèrera que  $\alpha$  et  $\chi_T$  sont **constants**.

2/ Représenter les états 0, 1 et 2 sur un diagramme ( $P, T$ ).

3/ Établir l'expression du travail reçu pour passer de l'état 0 à l'état 2 en fonction de  $P_0$ ,  $V_0$ ,  $\lambda$ ,  $\alpha$ ,  $\chi_T$  et  $T_0$ ,

(a) en suivant le trajet  $0 \rightarrow 1 \rightarrow 2$  décrit dans l'introduction de l'exercice.

(b) en suivant de manière quasi-statique la droite d'équation  $P/P_0 = T/T_0$  reliant 0 et 2 sur le diagramme ( $P, T$ ).

## 2 Eau refroidie par l'air.

À la pression atmosphérique ( $P = 10^5$  Pa), une mole d'air passe de la température  $T_0 = 190$  K à  $T_1 = 273$  K au contact d'eau liquide, elle même en équilibre avec sa phase solide à la pression atmosphérique. L'ensemble est isolé thermiquement.

On notera  $R$  la constante des gaz parfaits,  $L$  la chaleur latente de fusion de l'eau ( $L = 3300$  J.kg<sup>-1</sup>) et on supposera que l'air est un gaz parfait diatomique dont la capacité thermique à pression constante est indépendante de la température.

1/ Quelle est la masse d'eau transformée en glace ?

2/ Quelle est la variation d'entropie du système ?

On donnera à chaque fois le résultat analytique et sa valeur numérique.

## 3 Machine frigorifique tritherme.

Dans un réfrigérateur tritherme, un système fermé ( $\Sigma$ ) décrit un cycle **sans travail** en recevant, au cours d'un cycle, des transferts thermiques  $Q_1$ ,  $Q_2$  et  $Q_3$  en provenance de trois sources. La

source chaude a une température  $T_3$ , la source intermédiaire a une température  $T_2$  et la source froide une température  $T_1$  avec  $T_1 < T_2 < T_3$ . Le système est conçu pour prélever de la chaleur à la source froide de sorte que  $Q_1 > 0$ . La source intermédiaire est l'atmosphère, de sorte que le transfert thermique  $Q_2$ , bien que non nul et important dans le bilan énergétique, est sans intérêt pour l'utilisateur et l'on définit donc l'efficacité par  $\eta = Q_1/|Q_3|$ .

**1/** Montrer que  $Q_3 > 0$ .

**2/** Montrer que l'efficacité  $\eta$  est inférieure à une efficacité maximale  $\eta_C$  atteinte pour un fonctionnement réversible. Exprimer  $\eta_C$  en fonction des températures des trois sources.

**3/** *Question hors barême* : En vous référant à ce que vous savez sur les machines dithermes, pouvez vous donner une interprétation physique à  $\eta_C$  ?