01

Thermodynamique

1.1 Énoncés

► Exercice 1.1 : Questions de cours

1. Énoncer la loi de Laplace et la démontrer.
2. Énoncer les deux lois de Joule ainsi que leur cadre d'application.
3. Démontrer le premier principe pour les systèmes en écoulement permanent.

► Exercice 1.2 : Cycle de Carnot

1. Représenter, dans un diagramme de Watt (p, V), le cycle de Carnot moteur de l'unité de masse d'un gaz parfait. Calculer le rendement du cycle en fonction des quantités d'énergie échangée puis de deux températures caractéristiques.
2. Représenter dans un diagramme entropique (T, s), le cycle et en déduire le rendement en fonction des quantités d'énergie échangée puis de deux températures caractéristiques.

► Exercice 1.3 : Moteur 4 temps

On considère un gaz parfait dans les conditions initiales p_0, V_0, T_0.

- 1^{er} temps : On effectue une compression adiabatique portant le volume de V_0 à V_1.
- $2^{\text{ème}}$ temps : Le volume étant toujours égal à V_1, on fournit une quantité de chaleur Q_1.
- $3^{\text{ème}}$ temps : On revient de façon adiabatique au volume initial V_0.
- $4^{\text{ème}}$ temps : On fournit au gaz une quantité de chaleur Q_0 de façon à revenir à l'état initial.

1. Tracer le cycle dans un diagramme de Watt (p, V).
2. Montrer que le rendement ρ n'est fonction que du rapport $\dfrac{V_0}{V_1}$.

► Exercice 1.4 : Cycle moteur : rendement

On considère le cycle suivant :
En A, la pression est minimale égale à p_A. On comprime de façon adiabatique réversible jusqu'au point B. On réalise ensuite une transformation isobare BC, puis une détente adiabatique réversible CD, et enfin une transformation isochore pour revenir en A.
On connaît $\dfrac{V_A}{V_B}$, $\dfrac{V_C}{V_B}$, p_A et T_A.

1. Représenter le cycle dans un diagramme de Watt (p, V).
2. Calculer p_B, T_B, p_C, T_C, T_D, p_D ainsi que le rendement ρ.

► Exercice 1.5 : Machine frigorifique

Une machine frigorifique à absorption est basée sur la variation avec la température de la solubilité des gaz dans les liquides et fonctionne avec trois sources de chaleur : on vaporise une solution d'ammoniac dans un générateur à température T_3. Après avoir été liquéfié, l'ammoniac est envoyé dans un évaporateur à la température T_1 où il se vaporise en enlevant de la chaleur à la source froide. Les vapeurs vont ensuite se dissoudre dans l'eau au niveau d'un absorbeur à la température T_2 en restituant de la chaleur au milieu extérieur.
On a $T_1 < T_2 < T_3$.
Exprimer le cœfficient d'efficacité e en fonction des températures T_1, T_2 et T_3.
Application numérique : $T_1 = 265\,K$, $T_2 = 293\,K$, $T_3 = 373\,K$.

► Exercice 1.6 : Moteur thermique

Une masse d'eau, de capacité thermique massique c, est initialement à la température de $\theta_1 = 100\,°\mathrm{C}$. On fait marcher un moteur thermique réversible entre cette masse d'eau prise comme source chaude et l'air ambiant, source froide à température constante $\theta_2 = 27\,°\mathrm{C}$.

Calculer quand le moteur s'arrête :
1. La chaleur Q_1 **fournie** par la source chaude.
2. La chaleur Q_2 **reçue** par la source froide.
3. Le travail W_f **fourni** par le moteur.

Application numérique : $m = 1{,}00\,T$, $c = 4{,}18\,J.g^{-1}.K^{-1}$.

► Exercice 1.7 : Eau condensée

On détend de façon isentropique de la vapeur d'eau saturante de la température T_1 à la température T_2. Calculer la fraction d'eau condensée.
On notera $\ell\,(T) = a - b\,T$ l'enthalpie massique de vaporisation de l'eau et c la capacité thermique massique de l'eau, indépendante de la température.
Application numérique :
$T_1 = 523\,K$, $T_2 = 473\,K$, $a = 3344\,J.g^{-1}$, $b = 2{,}93\,J.g^{-1}.K^{-1}$, $c = 4{,}18\,J.g^{-1}.K^{-1}$.

► Exercice 1.8 : Passage glace-eau

Dans un récipient isolé thermiquement, sous une pression de $1{,}00\,atm$, on met une masse $m_1 = 10{,}0\,g$ de glace à la température $\theta_1 = -8{,}00\,°\mathrm{C}$ et une masse $m_2 = 100\,g$ d'eau liquide à la température $\theta_2 = 15{,}0\,°\mathrm{C}$.
À $\theta_0 = 0{,}00\,°\mathrm{C}$ et sous une atmosphère, l'enthalpie massique de fusion de l'eau vaut $\ell = 340\,J.g^{-1}$, la capacité thermique massique de l'eau liquide est $c_\ell = 4{,}18\,J.g^{-1}.K^{-1}$ et la capacité thermique massique de la glace est $c_s = 2{,}10\,J.g^{-1}.K^{-1}$.

1. Calculer la température finale θ_f dans le récipient.
2. Calculer la variation d'entropie de la glace, de l'eau liquide et de l'ensemble.

► Exercice 1.9 : Transformation isotherme

On fait subir à un kilogramme de gaz, contenu dans un cylindre muni d'un piston, une transformation isotherme réversible qui le fait passer de l'état $p_1 = 0{,}68\,atm$, $T_1 = 422\,K$ à l'état $p_2 = 4{,}56\,atm$. Préciser les échanges d'énergie nécessaires à la réalisation de cette transformation :

- Δu, la variation d'énergie interne,
- Δh, la variation d'enthalpie,
- w, le travail reçu,

- q, le transfert thermique reçu,
- Δs, la variation d'entropie.

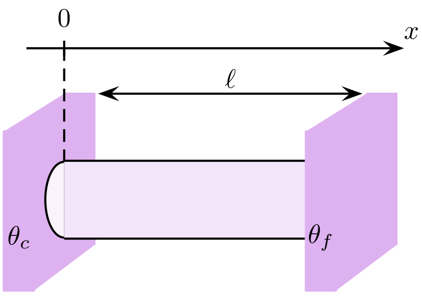
Les tables donnent :

	$p_1 = 0{,}68\,atm, T_1 = 422\,K$	$p_2 = 4{,}56\,atm, T_2 = 422\,K$
h (en $kJ.kg^{-1}$)	$h_1 = 2777$	$h_2 = 2743$
s (en $kJ.kg^{-1}.K^{-1}$)	$s_1 = 7{,}785$	$s_2 = 6{,}846$
v (en $m^3.kg^{-1}$)	$v_1 = 2{,}809$	$v_2 = 0{,}4035$

h : enthalpie massique,
s : entropie massique,
v : volume massique,
$1{,}00\,atm = 1{,}013.10^5\,Pa$.

▶ Exercice 1.10 : Tige en aluminium

On considère une tige en aluminium de longueur $\ell = 50{,}0\,cm$, de section $S = 2{,}00\,cm^2$, de conductivité thermique $\lambda = 240\,W.m^{-1}.K^{-1}$ et de résistivité électrique $\rho = 2{,}65\,\mu\Omega.cm$. Cette tige, enrobée par un isolant supposé parfait, a ses extrémités maintenues respectivement aux températures $\theta_c = 80\,°C$ et $\theta_f = 0\,°C$.



1. Déterminer la résistance électrique et thermique du dispositif.
2. En régime permanent, déterminer le vecteur gradient de température (sens et norme) dans la tige.
3. Calculer le flux de chaleur (en W).
4. La température θ_i de la tige à $15\,cm$ de son extrémité froide.

▶ Exercice 1.11 : Flux thermiques

1. Calculer le flux traversant une vitre de $1{,}0\,m^2$ de surface et de $3{,}5\,mm$ d'épaisseur. La température de la face interne de la vitre est égale à $10\,°C$, celle de la face externe est égale à $5{,}0\,°C$.
2. En déduire la résistance thermique de la vitre.
3. Pour les mêmes températures de paroi, calculer le flux traversant $1{,}0\,m^2$ de mur de briques de $26\,cm$ d'épaisseur. En déduire la résistance thermique.

Données :
Conductivités thermiques :

- du verre : $\lambda_v = 0{,}70\,W.m^{-1}.K^{-1}$,
- des briques : $\lambda_b = 0{,}52\,W.m^{-1}.K^{-1}$.

▶ Exercice 1.12 : Tube d'aluminium

Soit un tube d'acier $20/27$ dont la température de la paroi interne est $\theta_1 = 119{,}75\,°C$ et celle de la paroi externe $\theta_2 = 119{,}64\,°C$.
La conductivité thermique de l'acier vaut $\lambda = 46\,W.m.^{-1}.°C^{-1}$.

Calculer :

1. la résistance thermique du tube pour une longueur $\ell = 1{,}0\,m$,
2. le flux thermique correspondant.

— Le "Coup de pouce" —

Exercice 3 :
On suppose que le fonctionnement est réversible et que le travail reçu est nul : tout l'appareil électrique ne sert qu'à vaporiser la solution.

Exercice 5 :
La masse d'eau constitue une pseudo-source ou source réelle.

Exercice 6 :
On pourra raisonner sur $m = 1{,}00\,kg$ d'eau.