

REVISIONS DE THERMODYNAMIQUE :

Le cours de thermodynamique peut être découpé en 4 thèmes essentiels (qui se recoupent) :

Premier et second principe ; cas des détente et des systèmes ouverts ; refaire des calculs de variation d'entropie ;

Le gaz parfait ; à connaître parfaitement ;

Machines thermiques (le plus important) : savoir définir un rendement et savoir le calculer simplement ;

Changements d'état : chapitre court mais important !!!

Remarque :

la statique des fluides est révisée avec la mécanique des fluides ;

Pour chaque partie, vous pouvez pratiquer comme suit :

- relire le cours, en refaisant les démos essentielles et en extraire les points essentiels (fiche la plus courte possible !) et ceux qui doivent être connus par cœur (un résumé de thermodynamique peut servir de base de révision) ;
- noter les points obscurs pour questions (à un camarade, un professeur) ;
- le lendemain, tester le cours, puis refaire quelques exercices classiques en s'aidant plus ou moins du cours et de la solution, puis sans s'aider de la solution ni du cours. Si les exos vous semblent trop simples, vous pouvez faire des problèmes !
- En fin de séance, réviser le chapitre suivant.

Rque : Si vous faites un problème, limitez votre temps (environ une heure) ; contentez-vous de faire correctement le début du problème ; ne rédigez pas !

Voici quelques références de problèmes à partir de 2004.

2010 :

CCP PSI2 2010 : climatisation d'un véhicule.

CCP MP 1 : moteur ditherme

Centrale MP 10 : compression dans un caisson

E3A MP 10 : moteur 2 temps.

Banque PT : pompe à chaleur.

Alès : climatiseur.

2009 :

X-Cachan 09 : machine frigorifique ;

CCP MP 1 09 : GP dans un cylindre

CCP TSI 09 : cycle diphasé ;

E3A PC 09 : étude de l'air humide.

2004

Climatisation d'une voiture CCP MP 04 : avec changements d'état, pas trop simple.

Cycle de beau de Rochas CCP PSI 04 : simple.

Réacteur nucléaire CCP PSI 04 : énoncé très long et pénible ; éviter.

Cycle de Beau de Rochas E3a PSI 04 : simple.

Réfrigérateur ditherme CCP MP 05 : simple, avec changements d'état.

Pompe à chaleur

Mines de sup 05

2008 :

mines-ponts mp : montgolfière

ccp mp : compressions d'un gp ; équilibre lv (DM 08/09)

Centrale TSI : ballon sonde.

2007 :

CCP MP : Etude du système liquide vapeur + cycle de Rankine (DM 0708)

MinesPonts PSI : climatisation.

2006 :

Différentes détente (hors programme)

CCP MP

Production d'azote

E3a MP

La neige

Centrale PC

Production de froid ; réf d'Einstein CCP PC 06

Bon travail !

Vous pouvez m'écrire du 19 au 26 février 2011 : marc.strubel@wanadoo.fr

THERMODYNAMIQUE - QUESTIONNAIRE DE CONTROLE :

Répondre par vrai ou faux :

- 1°) Soit une fonction A de différentielle totale exacte dA ; alors il s'agit d'une fonction d'état et entre deux états donnés sa variation s'écrit ΔA .
- 2°) Soit une fonction B de forme différentielle δB , alors il ne s'agit pas d'une fonction d'état et entre deux états donnés sa valeur est B . Elle dépend du chemin suivi.
- 3°) Peut-on dire : « Le climat est plus doux au bord de la mer, car elle emmagasine de la chaleur en été qu'elle restitue en hiver » ?
- 4°) Il n'existe pas de relation qui permette de relier l'échelle Celsius à l'échelle absolue.
- 5°) Dans le diagramme de Clapeyron (représentation graphique $PV = f(P)$) les isothermes d'un gaz parfait sont des hyperboles.
- 6°) Un gaz parfait n'existe pas stricto sensu. Il s'agit d'un modèle qui traduit le comportement d'un gaz réel à très faible pression.
- 7°) On a toujours pour R la valeur 8,3144.
- 8°) Pour un gaz, l'équation d'état s'écrit $PV = nRT$.
- 9°) Un système fermé est l'inverse d'un système ouvert, c.à.d. qu'il n'existe pas d'échange d'énergie entre ce système et le milieu extérieur.
- 10°) L'efficacité d'une pompe à chaleur peut être supérieure à 1.
- 11°) dans une pompe à chaleur les énergies échangées sont de mêmes signes que dans un réfrigérateur.
- 12°) Soit la pression d'un système, le travail échangé par ce dernier avec l'extérieur s'écrit $W = -\int P dV$.
- 13°) La première loi de Joule traduit que l'énergie interne d'un gaz dépend de sa température.
- 14°) Pour un fluide homogène de chaleur massique C_v et de masse m , l'expression de la chaleur élémentaire échangée est $\delta Q = m C_v dT$.
- 15°) Pour une transformation adiabatique, on relie P et V par la loi de Laplace $PV^\gamma = \text{cte}$.
- 16°) Une transformation irréversible n'est jamais quasistatique.
- 17°) Le théorème de Carnot énonce que tous les moteurs thermiques réversibles ont même rendement et que ce dernier est supérieur à celui d'un moteur irréversible.
- 18°) Soit une transformation qui amène un système d'un état A à un état B , alors $S(B) - S(A) = \int \delta Q / T$.
- 19°) Pour un système isolé on a $\Delta S = 0$.
- 20°) Un cycle réversible ditherme est nécessairement composé de deux isothermes et deux adiabatiques.
- 21°) Un transfert thermique ne peut être réversible que si le système est à la même température que la source.
- 22°) Une détente de Joule est une détente à enthalpie constante.
- 23°) Une isotherme est toujours adiabatique.
- 24°) Pour une transformation cyclique on a toujours $W = -Q$.
- 25°) Pour une transformation cyclique on a toujours $\Delta S = 0$.

THERMODYNAMIQUE – EXERCICES DE REVISION

Gaz parfait :

Variation d'énergie interne :

On allume le chauffage dans une pièce. Au bout d'un moment, la température est passée de T_1 à T_2 , la pression restant égale à la pression extérieure. Quelle est la variation d'énergie interne de l'air –assimilé à un GP - de la pièce ?

Réponse : $\Delta U = 0$

Compressions d'un gaz parfait :

Un cylindre, fermé par un piston sans frottements et contenant un gaz parfait, est en contact avec un thermostat à la température T_0 . A l'état initial la pression du gaz est P_1 .

a) On fait varier lentement la pression extérieure qui s'exerce sur le piston, de la valeur P_1 à la valeur P_2 . Le volume initial étant V_1 , calculer le travail et le transfert thermique échangées par le gaz, ainsi que la variation d'énergie interne.

b) On part du même état initial. Avant de débloquent le piston, on porte la pression extérieure à la valeur P_2 , puis on le lâche : la compression n'est plus quasistatique. Quand les oscillations se sont amorties, quelle est la variation d'énergie interne du gaz ? Quels travail et transfert thermique a-t-il reçu ?

Réponses : a) $W = -Q = P_1 V_1 \ln(P_1/P_2)$; b) $W = -Q = P_2(V_2 - V_1)$.

Détente progressive d'un gaz parfait dans un réservoir vide :

On considère deux réservoirs de même volume V_0 , à parois indéformables et adiabatiques, reliés par un tube de volume négligeable comportant un robinet.

Il n'y a pas d'échange de chaleur entre les deux compartiments.

A l'état initial le robinet est fermé et le récipient A contient une mole de gaz parfait diatomique à T_0 . Le récipient B est vide.

On ouvre le robinet ; le gaz parfait contenu dans le compartiment A subit une détente dans le compartiment B.

a) Comment s'appelle cette détente ?

b) Déterminer la pression finale et la température du gaz dans les deux compartiments dans les deux cas suivants :

on ne ferme pas le robinet ;

on ferme le robinet dès que l'écoulement cesse (on peut alors considérer que le gaz restant dans le compartiment A a subi une détente adiabatique réversible).

Réponses : $P_f = P_0 / 2$; $T_f = T_0$; b) $P_f = P_0 / 2$; $T_A = T_0 \cdot 2^{(1-\gamma)/\gamma}$; $T_B = T_0 / 2^{(1-\gamma)/\gamma}$.

Premier et second principe :

Egalisation des températures de deux corps ; création d'entropie

Deux corps solides S_1 et S_2 de volumes invariables, possèdent des capacités calorifiques C_1 et C_2 .

Ils sont initialement aux températures T_{10} et T_{20} .

On les met en contact thermique. Déterminer leur température finale T_f et la création d'entropie correspondante.

Réponse : $T_f = (C_1 T_{10} + C_2 T_{20}) / (C_1 + C_2)$; $\Delta S = C_1 \ln(T_f/T_1) + C_2 \ln(T_f/T_2)$.

Echauffement d'une masse d'eau :

a) Une masse $m = 1$ kg d'eau à $t = 0^\circ\text{C}$ est portée à $t = 100^\circ\text{C}$ par contact avec un thermostat ayant cette température. Calculer la variation d'entropie de l'eau, du thermostat et du système total.

b) Mêmes questions si cette masse d'eau est portée au préalable à la température $t = 50^\circ\text{C}$ par contact avec un thermostat ayant cette température, puis t_2 comme précédemment.

c) Le chauffage de la masse d'eau peut-il être rendu réversible ?

Machines :

Cycle de Carnot :

On considère un cycle réversible constitué de deux adiabatiques et de deux isothermes à T_1 et T_2 ; le système est un gaz parfait.

Rappeler l'équation d'une adiabatique réversible ; tracer le cycle en diagramme de Clapeyron puis en diagramme (T,S).

Déterminer son rendement en fonction de T_1 et T_2 .

Inégalité de Clausius

Un inventeur affirme avoir mis au point un moteur fournissant 30 kWh alors qu'il consomme 372 MJ en provenance d'un thermostat à 400 K et qu'il rejette 264 MJ dans des vapeurs à 300 K. Y investiriez-vous de l'argent ?

Réponse : non !

Cycle de Beau de Rochas :

On peut schématiser le fonctionnement d'un moteur à explosion de la manière suivante.

Un gaz parfait de chaleur molaire à volume constant C_v , décrit le cycle réversible suivant : compression adiabatique de l'état (V_1, T_1) à l'état $(V_1/a, T_2)$, a étant une constante donnée ; échauffement à volume constant jusqu'à T_3 , le gaz échangeant une quantité de chaleur Q_c ; détente adiabatique jusqu'à V_1 ;

refroidissement à volume constant jusqu'à T_1 , le gaz échangeant une quantité de chaleur Q_f .

a) Représenter le cycle dans le diagramme de Clapeyron puis dans un diagramme entropique.

b) Calculer les quantités de chaleur Q_c et Q_f .

c) En déduire le travail fourni par le moteur.

d) Définir et calculer le rendement du moteur en fonction de γ et a .

e) Pourquoi le rendement obtenu n'est-il pas égal au rendement de Carnot ?

Réponse : $r = 1 - a^{-\gamma}$.

Changements d'état :

Congélateur :

Un congélateur fonctionnant de manière réversible a un coefficient d'efficacité égal à 6.

La température à l'intérieur du congélateur est de -18°C .

a) Quelle est la température de la pièce dans laquelle est placé le congélateur ?

b) On introduit dans ce congélateur 2 litres d'eau à 20°C qui sont transformés en glace à -18°C . Quelle est la quantité d'énergie fournie au moteur pour cette transformation ?

c) Quelle est la quantité de chaleur libérée dans la pièce ?

Données : chaleur massique de l'eau liquide : $c_L = 4180 \text{ J.K}^{-1}.\text{kg}^{-1}$;

chaleur massique de la glace : $c_S = 2100 \text{ J.K}^{-1}.\text{kg}^{-1}$

$L_f = 333 \text{ J.kg}^{-1}$.

Réfrigérateur ditherme

Un réfrigérateur réversible fonctionne entre les températures $T_C = 293 \text{ K}$ et $T_f = 273 \text{ K}$.

Quel travail consomme-t-il pour congeler un litre d'eau à 0°C ?

Donnée : $L_f (\text{eau}) = 335 \text{ J.g}^{-1}$.

Variation d'entropie au cours d'un changement d'état :

Dans un récipient parfaitement calorifugé contenant une masse $M = \text{kg}$ d'eau à $t_1 = 20^\circ\text{C}$, on place un bloc de glace de masse $m = 500 \text{ g}$, à $t_0 = 0^\circ\text{C}$.

On donne : chaleur massique de l'eau : $C = 4,2 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$;

Chaleur latente de fusion de la glace : $L_f = 336 \text{ kJ.kg}^{-1}$.

a) déterminer la composition et la température du mélange à l'équilibre ;

b) déterminer la variation d'entropie de la masse d'eau :

* initialement à l'état liquide ;

* initialement à l'état solide.

La transformation est-elle réversible ?

Réponses : a) 250 g de glace ont fondu, $t_{eq} = 0^\circ\text{C}$; b) $\Delta S = 11 \text{ J.K}^{-1}$.

Réponses au QCM :

1°) V ; 2°) V ; 3°) F (elle emmagasine de l'énergie) 4°) F ; 5°) F (des droites) ; 6°) V ; 7°) F (dépend des unités !) ; 8°) F (parfait !!) 9°) F ; 10°) V (c'est même toujours le cas !) 11°) V ; 12°) F (si réversible mécaniquement sinon P_{ext}) ; 13°) F (que de sa T) 14°) F ; 15°) D'un GP ! 16°) F ; 17°) Dithermes !! 18°) δQ_{rev} !!! 19°) V ; 21°) V ; 22°) F (U cste) ; 23°) F !!! 24°) V ; 25°) V.