

et programme du DS 2

Thermodynamique :

Cours deuxième année

Chap 1 : Etude thermodynamique des systèmes fermés de composition constante

Définitions : système thermodynamique (isolé, fermé, ouvert) paramètres d'état (variables, fonctions d'état) intensifs et extensifs ; équilibre thermodynamique ;

Définitions : transformations réversibles, transformations irréversibles, transformations quasi-statiques, isothermes, isobares, isochores, monobares, monothermes.

Transferts d'énergie :

Forces pressantes.

(Établir un bilan de forces exercées sur la paroi d'un piston mobile. Interpréter la condition d'équilibre mécanique).

Travail des forces pressantes : expression générale et cas des transformations quasi-statiques, cycliques ou non.

(Calculer le travail par découpage en travaux élémentaires et sommation sur un chemin donné (monobare, isobare, isotherme d'un gaz parfait).

(Interpréter géométriquement le travail des forces de pression dans un diagramme de Clapeyron).

Transfert thermique.

Premier principe :

Enoncé du premier principe ; Energie interne

Transformations isochores, capacité thermique à volume constant

Enthalpie : transformation monobare avec $P_i = P_f = P_{\text{ext}}$. Capacité thermique à pression constante.

(Déterminer un transfert thermique à partir de la variation de la fonction d'état la plus adaptée.)

(Exprimer la variation d'énergie interne et la variation d'enthalpie sous une forme différentielle ou finie.)

(Utiliser les grandeurs molaires et massiques.)

Exploiter l'extensivité de l'énergie interne et de l'enthalpie.

Deuxième Principe :

Enoncé du second principe : définition de S et variation d'entropie : entropie échangée, entropie créée : $\Delta S = S_{\text{éch}} + S_{\text{créée}}$.

Fonction entropie : identité thermodynamique (écrite avec U et avec H).

Systèmes particuliers :

Phases condensées étudiées dans le cadre du modèle incompressible et indilatable : énergie interne et enthalpie d'une phase condensée. Capacité thermique. Entropie d'une phase condensée.

Modèle du gaz parfait : équation d'état, signification microscopique. Energie interne et enthalpie d'un gaz parfait :

première et deuxième lois de Joule. Relation de Mayer, coefficient γ .

Entropie d'un gaz parfait.

(Établir l'expression d'une variation d'entropie dans le système de coordonnées le plus adapté.)

Applications du premier principe et deuxième principe

Détente Joule-Gay-Lussac (Relier qualitativement la variation de température lors d'une détente de Joule - Gay-Lussac aux propriétés d'un gaz).

Calorimétrie.

Applications du premier principe et deuxième principe aux transformations du gaz parfait :

- transformation isotherme,

- transformation adiabatique quasi-statique d'un gaz parfait (Démontrer et utiliser la loi de Laplace)

- transformation monotherme irréversible et transformation adiabatique irréversible (avec $P_{\text{ext}} = C^{\text{ste}}$).

Bilan énergétique et bilan entropique (calcul de l'entropie créée lors d'une transformation).

Diagrammes entropiques (S,T).

Chap 2 : Changements d'état du corps pur

Enthalpie de changement d'état.

Entropie de changement d'état.

Bilan sur les diagrammes du corps pur (T,P), (v,P) et (s,T) (pour l'équilibre L = V) : titre massique en vapeur, théorème des moments, expression de $h(T, x_v)$ et $s(T, x_v)$. Utilisation de ces diagrammes pour les machines thermiques.

(Relier, pour un équilibre entre deux phases, les grandeurs H, S et V aux grandeurs massiques ou molaires associées et au titre en vapeur.

Utiliser la relation entre les entropies molaires (massiques) et les enthalpies molaires (massiques) de changement d'état.

Réaliser un bilan enthalpique dans le cas d'un changement d'état.)

Chap 3 : Etude thermodynamique des systèmes ouverts

Description d'un système ouvert : notion de surface de contrôle ; variables intensives, écoulement unidimensionnel (vitesse et variables intensives constantes sur une section perpendiculaire à l'écoulement).

Flux de masse et flux de volume (ou débit massique et débit volumique).

Bilan global de masse sur un système ouvert.

(Justifier le caractère conservatif d'un flux de masse en régime permanent. Établir un débit volumique à partir d'un débit massique dans le cas d'un écoulement incompressible.

Savoir que le flux convectif d'une grandeur est le produit du débit massique par la grandeur massique correspondante).

Premier principe pour un système ouvert :

Bilan d'énergie en régime permanent sur un système ouvert. Travail utile.

Formuler le premier principe sur un système ouvert sous forme d'un bilan élémentaire et en termes de puissance.

(puissance utile c'est-à-dire autre que celle des forces pressantes sur les sections d'entrée et de sortie et autre que celle de gravité) et dans le cas du régime permanent :

$$\left[\frac{1}{2} v^2 + gz + h \right]_e^s m = W_u + Q \quad \left(\text{ou} : \left[\frac{1}{2} v^2 + gz + h \right]_e^s = w_u + q \text{ avec les grandeurs massiques} \right)$$

Application aux détente de gaz : description de la détente de Joule Thomson. Détente dans une tuyère.

Application aux machines thermiques avec ou sans changement d'état (deux exercices (moteur + échangeur) faits en cours). Calcul de rendements ou d'efficacité.

Diagrammes (v, P) et (s, T) à savoir utiliser.

Machines thermiques.

(Appliquer le premier principe en système ouvert et en régime permanent à des éléments simples d'une machine thermique : échangeur thermique, compresseur, détenteur isenthalpique, mélangeur. Réaliser un bilan local sur un échangeur thermique monodimensionnel. Estimer à partir des différents éléments d'une machine pris séparément le travail utile et le transfert thermique en termes de puissances ou de grandeurs massiques.

Établir le rendement ou l'efficacité d'une machine thermique.)

Révision de première année :

États de la matière

Phases condensées et phases gazeuses.

Notion de température absolue.

Modèle du gaz parfait. Mélange idéal de gaz parfaits.

Fraction molaire et pression partielle.

Gaz réel.

Équilibre et transformations thermodynamiques d'un système fermé

Équilibre thermodynamique.

Transformations thermodynamiques.

Réversibilité d'une transformation.

Travail et transfert thermique ; puissance mécanique et puissance thermique.

Thermostat.

Premier principe de la thermodynamique en système fermé

Contributions à l'énergie d'un système : énergie interne, énergie cinétique macroscopique et énergie potentielle macroscopique.

Énergie interne molaire et massique d'une phase condensée.

Capacité thermique à volume constant.

Premier principe en système fermé : $\Delta U + \Delta E_p + \Delta E_c = Q + W$

Second principe de la thermodynamique en système fermé

Entropie ; entropie massique et entropie molaire.

Second principe en système fermé ; entropie d'échange ; entropie créée : $\Delta S = S_{\text{éch}} + S_{\text{créée}}$

Identité thermodynamique.

Entropie molaire et massique d'une phase condensée.

Changements d'état du corps pur

Diagramme de phases en coordonnées (T,P) ; point critique et point triple.

Pression de vapeur saturante.

Variance.

Changement d'état liquide-vapeur ; diagramme (P,V) ; isothermes. Titre en vapeur. Théorème des moments.

(Interpréter le diagramme (P,V) selon la variance. Interpréter qualitativement le palier de température associé au changement d'état isobare. Calculer à partir d'un diagramme la composition d'un mélange liquide-vapeur à l'équilibre.)