

# TECHNOSUP

Les FILIÈRES TECHNOLOGIQUES des ENSEIGNEMENTS SUPÉRIEURS

## GÉNIE ÉNERGÉTIQUE

# Exercices et problèmes de thermodynamique

Des principes aux applications aux machines

André LALLEMAND

ellipses

# SOMMAIRE

SOMMAIRE .....	V
NOMENCLATURE .....	XIV
Chapitre I. CONSTANTES PHYSIQUES ET UNITES .....	1
1. Valeurs de quelques constantes physiques .....	1
2. Facteurs de conversion des unités usuelles .....	2
3. Définitions officielles des unités et règles d'écriture .....	3
3.1. Unités du système international (SI) .....	3
3.2. Unités légales en dehors du système international .....	4
3.3. Règles d'écriture et de typographie des unités .....	5
3.4. Préfixes .....	6
Chapitre II. PREMIER PRINCIPE .....	7
1. Rappels .....	7
1.1. Conventions .....	7
1.2. Énoncé du Premier Principe (PP) ou Principe de la conservation de l'énergie .....	7
1.3. Premier Principe sous forme technique .....	8
1.4. Généralisation de la forme technique du premier principe .....	9
1.5. Expressions des énergies thermique et mécanique échangées .....	9
1.6. Relations propres au gaz parfait .....	10
2. Exercices relatifs au Premier Principe .....	10
2.1. Importance de la définition stricte du système considéré .....	10
2.2. Mise en œuvre des propriétés des fonctions d'état .....	11
2.3. Association de systèmes et de sous-systèmes   additivité des fonctions d'état .....	12
2.4. Système en déplacement – mise en œuvre des fonctions d'état .....	13
2.5. Système en déplacement sans changement d'état .....	14
2.6. Échauffement d'un gaz sous pression constante .....	14
2.7. Changement de phase et fonctions d'état .....	15
2.8. Mélange de gaz - association de systèmes et fonctions d'état .....	15
2.9. Mélange de gaz. Équation d'état et d'additivité des fonctions d'état .....	16

2.10. Écoulement d'un gaz parfait à travers un orifice	17
2.11. Passage d'un système d'unités à un autre	17
2.12. Pressurisation d'un réservoir	18
2.13. Systèmes fluides évoluant à travers une machine thermique	19
2.14. Bilan enthalpique d'un échangeur de chaleur	19
2.15. Bilan enthalpique d'un système mécano-thermique	20
2.16. Bilan enthalpique d'une machine motrice	21
Chapitre III. DEUXIEME PRINCIPE .....	22
1. Rappels .....	22
1.1. Caractéristiques des variables intensives et extensives	22
1.2. Expression différentielle d'un type d'énergie d'échange quelconque	22
1.3. Cas de l'énergie thermique – température et entropie	22
1.4. Transferts réversibles ou irréversibles source de chaleur	23
1.5. Variation d'entropie d'un système ( $\Sigma$ )	23
1.6. Bilan entropique d'un système ouvert	24
1.7. Machine de Carnot	24
1.8. Exergie - anergie	25
1.9. Expressions de la chaleur échangée - coefficients calorimétriques	27
1.10. Expressions des variations des fonctions d'état classiques	28
2. Exercices relatifs au Deuxième Principe .....	29
2.1. Notions de base du deuxième principe	29
2.2. Entropie fonction d'état – création d'entropie	30
2.3. Création d'entropie lors d'un mélange d'un même fluide – addition de fonctions d'état	31
2.4. Échanges thermiques réversibles ou irréversibles	32
2.5. Transfert thermique direct ou par pompe à chaleur	33
2.6. Création d'entropie par transfert thermique direct	35
2.7. Création d'entropie par transfert conductif dans une barre métallique	35
2.8. Échanges énergétiques et exergétiques entre deux sources à températures négatives	36
2.9. Échanges énergétiques et exergétiques entre deux sources à températures positive et négative	37
2.10. Générateur thermique de Carnot avec échanges irréversibles avec les sources – production anergétique	38
2.11. Création interne d'entropie lors de l'évolution d'un système	39
2.12. Détente brusque – système ouvert - création d'entropie	40
2.13. Compression instantanée d'un gaz parfait – création d'entropie	42

2.14. Application des propriétés des fonctions d'état - évolution des caractéristiques thermiques d'une barre lors d'une traction	43
2.15. Création d'entropie due aux pertes de charge dans un écoulement	46
2.16. Démonstration exergetique de l'impossibilité d'atteindre le zéro absolu	48
2.17. Représentation exergetique adaptée au cas des échangeurs de chaleur	48
2.18. Bilan exergetique d'un échangeur de chaleur	49
2.19. Bilan exergetique d'un compresseur	50
Chapitre IV. CARACTERISTIQUES ET EVOLUTIONS DES FLUIDES .....	52
I. Rappels .....	52
1.1. Préambule	52
1.2. Gaz parfaits	54
1.3. Gaz réels	57
1.4. Liquides	58
1.5. Équilibre liquide-vapeur	59
1.6. Transformations (ou évolutions) particulières	59
2. Exercices relatifs aux caractéristiques et évolutions des fluides .....	61
2.1. Application de l'équation d'état du gaz parfait - détermination d'une pression	61
2.2. Application de l'équation d'état du gaz parfait - constante du gaz	61
2.3. Équation d'état d'un gaz parfait et coefficient calorimétrique	61
2.4. Condition d'identité des capacités thermiques à volume et à pression constants	62
2.5. Transformation d'énergie cinétique en "chaleur interne"	62
2.6. Détente d'un gaz parfait - propriété des fonctions d'état - dépendance entre types de transformations et échanges énergétiques	63
2.7. Détentes réversible ou irréversible d'un gaz parfait - rendement isothermique	64
2.8. Laminage d'un gaz parfait	65
2.9. Expression de la vitesse du son	65
2.10. Détente irréversible d'un gaz parfait en écoulement - rendement exergetique	66
2.11. Application directe des équations du gaz parfait	67
2.12. Comparaison de compressions réversible et irréversible - production d'énergie	69
2.13. Définition d'une transformation polytropique d'un gaz parfait et évolutions particulières	70
2.14. Détente adiabatique d'un GP - rendement isentropique - production énergetique	72
2.15. Transfert thermique entre une source et un GP en évolution polytropique	73
2.16. Compression réelle d'un gaz parfait - compression polytropique - production énergetique	74
2.17. Gaz parfait : compression suivie d'une détente adiabatique - puissance, production énergetique, coefficient polytropique, rendement isentropique	76