

Table des matières

Préface	1
Michel FEIDT	
Avant-propos	3
Bernard DESMET	
Chapitre 1. Conversion d'énergie : bases thermodynamiques	7
Georges DESCOMBES et Bernard DESMET	
1.1. Introduction	7
1.2. Principes de la thermodynamique	8
1.2.1. Notion de système thermodynamique	8
1.2.2. Premier principe : systèmes fermés et ouverts	8
1.2.3. Second principe : mécanisme de dégradation d'énergie mécanique dans les machines thermiques	11
1.3. Thermodynamique des gaz	20
1.3.1. Équation d'état	20
1.3.2. Coefficients calorimétriques	22
1.3.3. Gaz parfait	23
1.3.4. Gaz de van der Waals	26
1.4. Conclusion	28
1.5. Bibliographie	29
Chapitre 2. Moteurs à combustion interne	31
Bernard DESMET	
2.1. Généralités et principes de fonctionnement	31
2.1.1. Introduction	31
2.1.2. Moteurs à allumage commandé	33

2.1.3. Moteurs à allumage par compression	36
2.1.4. Expression du travail utile	37
2.2. Cycles théoriques à air	38
2.2.1. Hypothèses	38
2.2.2. Cycle Beau de Rochas	39
2.2.3. Cycle de Miller-Atkinson	45
2.2.4. Cycle Diesel	47
2.2.5. Cycle de Sabathé	50
2.2.6. Comparaison des cycles théoriques à air	52
2.3. Influence des propriétés thermophysiques du fluide de travail sur les cycles théoriques	52
2.3.1. Propriétés thermophysiques du fluide de travail	52
2.3.2. Transformation adiabatique réversible	54
2.3.3. Cycle de Sabathé en gaz parfait et gaz semi-parfait	56
2.4. Modèles thermodynamiques zéro-dimensionnels	60
2.4.1. Hypothèses	60
2.4.2. Modèle monozone	61
2.4.3. Écoulements dans les soupapes	63
2.4.4. Transferts thermiques avec les parois du cylindre	65
2.4.5. Modèle de production de chaleur de combustion	67
2.4.6. Modèle à deux zones	68
2.5. Suralimentation des moteurs à combustion interne	70
2.5.1. Principes de base de la suralimentation	70
2.5.2. Suralimentation par compresseur entraîné	72
2.5.3. Suralimentation par turbocompresseur	73
2.6. Conclusion et perspectives	76
2.7. Bibliographie	77

Chapitre 3. Propulsion aéronautique et spatiale 79

Yannick MULLER et François COTTIER

3.1. Histoire et développement des moyens de propulsion aéronautique . . .	79
3.2. Présentation du système aéronef et de son groupe propulsif	82
3.2.1. Classification et présentation des architectures usuelles des moteurs aéronautiques et de leurs utilisations spécifiques	82
3.2.2. Étude des forces appliquées sur le système aéronef en vol stabilisé	90
3.2.3. Définition des forces propulsives et des grandeurs spécifiques du groupe propulsif	93
3.3. Étude du cycle de fonctionnement	97
3.3.1. Hypothèses d'étude et limites de validité	97

3.3.2. Présentation des stations moteur	99
3.3.3. Étude des transformations thermodynamiques et de leurs représentations dans le diagramme T-s	102
3.3.4. Étude du cycle thermodynamique d'une turbine à gaz	103
3.3.5. Étude du cycle thermodynamique d'une turbine à gaz branche par branche	107
3.3.6. Améliorations du cycle de Joule-Brayton	109
3.3.7. Amélioration thermodynamique d'une turbine à gaz par régénération d'énergie	112
3.3.8. Amélioration thermodynamique d'une turbine à gaz par compression et détente étagées	114
3.4. Moteur réel	116
3.4.1. Cycle de développement de la turbomachine (turbojet)	116
3.4.2. Disciplines techniques dans le développement	120
3.4.3. Quelques problèmes spécifiques de chacun des modules	123
3.4.4. Méthodes de conception usuelles du système d'air secondaire	137
3.4.5. T_4 et le système d'air secondaire	139
3.5. Conclusion et perspectives	144
3.6. Bibliographie	145

Chapitre 4. Combustion et conversion d'énergie 147

Bernard DESMET

4.1. Généralités	147
4.1.1. Introduction	147
4.1.2. Flamme de prémélange	149
4.1.3. Flamme de diffusion	150
4.1.4. Stabilisation d'une flamme	151
4.1.5. Inflammabilité des mélanges air-combustible	152
4.1.6. Combustion dans les moteurs à combustion interne	153
4.2. Réactions théoriques de combustion	155
4.2.1. Constituants du mélange combustible	155
4.2.2. Combustion stœchiométrique	156
4.2.3. Combustion théorique d'un mélange pauvre	158
4.2.4. Combustion théorique d'un mélange riche	158
4.3. Étude énergétique de la combustion	159
4.3.1. Combustion à volume constant	159
4.3.2. Combustion à pression constante	160
4.3.3. Relations entre les pouvoirs calorifiques	161
4.3.4. Températures adiabatiques de flamme et d'explosion	164
4.4. Cinétique chimique appliquée à la combustion	169

4.4.1. Réactions en chaîne	169
4.4.2. Composition d'un système réactif	170
4.4.3. Vitesse de réaction	171
4.4.4. Établissement d'un équilibre chimique	173
4.4.5. Composition d'équilibre des produits de combustion	175
4.4.6. Cinétique chimique détaillée, formation des polluants	179
4.5. Analyse exergetique de la combustion	181
4.5.1. Exergie d'un mélange gazeux	181
4.5.2. Production d'exergie d'une réaction de combustion	183
4.5.3. Exergie d'un combustible	187
4.6. Conclusion	191
4.7. Bibliographie	191

Chapitre 5. Moteurs à apport de chaleur externe 193

Georges DESCOMBES et Bernard DESMET

5.1. Introduction	193
5.2. Moteur Stirling	194
5.2.1. Cycle théorique	194
5.2.2. Caractéristiques du moteur Stirling	199
5.3. Moteur Ericsson	201
5.3.1. Principe de fonctionnement	201
5.3.2. Cycles théoriques	202
5.3.3. Améliorations du moteur Ericsson	207
5.4. Conclusion et perspectives	208
5.4.1. Avantages et inconvénients des moteurs Stirling et Ericsson	208
5.4.2. Perspectives d'évolution des machines à combustion externe dans le nouveau paysage énergétique décarboné	209
5.5. Bibliographie	210

Chapitre 6. Valorisation d'énergie et de chaleur fatale 213

Mohamed MEBARKIA

6.1. Récupération d'énergie fatale	213
6.1.1. Bilan d'énergie d'un moteur à combustion interne	213
6.1.2. Dégradation d'énergie mécanisable en chaleur non compensée	216
6.1.3. Bilan d'exergie dans les moteurs à combustion interne	219
6.1.4. Concept de récupération d'énergie	221
6.2. Cogénération dans les installations industrielles	222
6.2.1. Turbine à gaz cogénérée	222
6.2.2. Moteur Diesel cogénéré	223

6.2.3. Rendements de cogénération comparés	226
6.2.4. Cycle complexe dépressurisé	227
6.2.5. Cycle complexe à surdétente	229
6.2.6. Analyse et comparaison des performances systèmes de cogénération industriels	231
6.3. Microcogénération	232
6.3.1. Enjeux énergétiques et environnementaux	232
6.3.2. Classification	233
6.3.3. Moteur à combustion interne	234
6.3.4. Microturbine à gaz	236
6.3.5. Piles à combustible	238
6.3.6. Thermo-électricité	241
6.3.7. Thermo-acoustique	242
6.3.8. Cycles « rankinisés »	242
6.4. Conclusion et perspectives	245
6.4.1. Spécificités des systèmes de cogénération	245
6.4.2. Perspectives	246
6.5. Bibliographie	247
Liste des auteurs	251
Index	253