

Table des matières

Avant-propos	1
Michel FEIDT	
Introduction	3
Michel FEIDT et Antonio VALERO-CAPILLA	
Chapitre 1. De la thermodynamique de l'équilibre à la thermodynamique irréversible	15
Michel FEIDT	
1.1. Émergence récente de la thermodynamique : de la chaleur aux moteurs	15
1.1.1. Chaleur et température	15
1.1.2. Matière et réactions chimiques	16
1.1.3. Énergie mécanique	17
1.1.4. Équivalence chaleur-travail	18
1.2. Des machines aux concepts (œuvre de Carnot).	19
1.2.1. Moteur à vapeur et autres moteurs	19
1.2.2. Cycle de Carnot	19
1.2.3. Rendement de Carnot	21
1.2.4. Puissance d'un moteur	22
1.3. Thermostatique à thermodynamique	23
1.3.1. Essentiel de la thermodynamique	23
1.3.2. Transformation thermodynamique	27
1.3.3. Transfert et conversion des énergies	31
1.3.4. Généralisation des notions de cycle et efficacité.	35

1.4. Étude de cas : la machine thermomécanique de Carnot	38
1.4.1. Bilans énergétiques et entropiques	38
1.4.2. Production d'entropie et efficacité énergétique	41
1.5. Conclusion	47
1.6. Bibliographie	48

Chapitre 2. Cycles thermodynamiques dithermes : représentation en diagramme ternaire 51

Julien RAMOUSSE

2.1. Introduction aux systèmes dithermes	51
2.2. Définitions et convention.	52
2.2.1. Travail et chaleur	52
2.2.2. Convention de signe	53
2.2.3. Sources/puits de chaleur	53
2.2.4. Bilan selon le premier principe	54
2.2.5. Bilan selon le second principe	55
2.3. Représentations graphiques : état de l'art	58
2.3.1. Diagramme Q-T	58
2.3.2. Diagramme de Borel et Favrat	60
2.3.3. Diagramme de Raveau	62
2.4. Diagramme ternaire	63
2.4.1. Représentation en diagramme ternaire.	64
2.4.2. Interprétation à l'aide des coordonnées polaires	68
2.5. Exemples d'application.	75
2.5.1. Systèmes dithermes endoréversibles (exo-irréversibles)	75
2.5.2. Systèmes dithermes exoréversibles (endo-irréversibles)	78
2.5.3. Cas général : systèmes endo et exo-irréversibles	83
2.6. Conclusion	86
2.7. Bibliographie	89

Chapitre 3. Thermodynamique à vitesse finie 91

Stoian PETRESCU et Monica COSTEA

3.1. Introduction.	91
3.2. Premiers développements de la thermodynamique à vitesse finie (1964-1974)	92
3.2.1. Origine de la thermodynamique à vitesse finie (TVF)	92
3.2.2. Concepts fondamentaux	94
3.2.3. Premier principe de la thermodynamique pour des processus à vitesse finie dans des systèmes simples.	97

3.2.4. Première approche du cycle irréversible à vitesse finie de Beau de Rochas et Otto	104
3.3. Développements de la thermodynamique à vitesse finie de 1990 à 2007	106
3.3.1. Premier principe de la thermodynamique pour des processus à vitesse finie dans les systèmes fermés complexes.	106
3.3.2. Méthode directe de la thermodynamique à vitesse finie	110
3.4. Principaux accomplissements de la thermodynamique à vitesse finie et de la méthode directe	111
3.4.1. Modélisation et optimisation du cycle du moteur de Stirling	111
3.4.2. Optimisation du cycle irréversible du moteur de Carnot	120
3.4.3. Effet des irréversibilités sur les performances du cycle de Beau de Rochas-Otto à vitesse finie	123
3.4.4. Optimisation des performances du cycle de Diesel à vitesse finie	124
3.5. Développements nouveaux et extension de la thermodynamique à vitesse finie	126
3.6. Reconnaissance internationale de la thermodynamique à vitesse finie et la méthode directe	128
3.7. Conclusion	128
3.8. Bibliographie.	129

Chapitre 4. De la thermodynamique à la TODF, thermodynamique en dimensions physiques finies 137

Michel FEIDT

4.1. Introduction.	137
4.2. Moteur de Carnot selon la thermodynamique de l'équilibre	138
4.2.1. Thermodynamique de l'équilibre et pertes thermiques	138
4.2.2. Moteur de Carnot exoréversible (endo-irréversible)	140
4.2.3. Puissance du moteur de Carnot exoréversible	141
4.3. Modèle de moteur de Chambadal (1957)	142
4.3.1. Optimisation du moteur de Chambadal modifié sans contrainte de couplage des transferts thermiques source/convertisseur.	143
4.3.2. Optimisation du moteur de Chambadal modifié, avec la contrainte d'entropie de transfert	145
4.3.3. Remarques	145
4.4. Modèle de Curzon-Ahlborn (1975).	146
4.4.1. Optimisation en énergie mécanique	147
4.4.2. Optimisation en puissance mécanique.	149

4.5. Thermodynamique à vitesse finie	150
4.5.1. Expression de la première loi de la thermodynamique pour les processus à vitesse finie.	151
4.5.2. Extension de la méthode.	151
4.6. Thermodynamique optimale en dimensions physiques finies (TODF) : cas sans couplage des sources et puits avec le convertisseur.	152
4.7. Thermodynamique optimale en dimensions physiques finies : cas avec couplage des sources et puits avec le convertisseur	154
4.7.1. Moteur irréversible de Carnot à source et puits dimensionnés. . .	156
4.7.2. Moteur irréversible de Carnot à convertisseur dimensionné . . .	156
4.8. Conclusion	158
4.9. Annexes.	158
4.10. Bibliographie	160

Chapitre 5. Thermoéconomie circulaire : une théorie de comptabilisation du coût des déchets

Antonio VALERO-CAPILLA et César TORRES

5.1. Introduction.	162
5.1.1. Vers une théorie générale du rendement des processus.	165
5.1.2. Concepts fondamentaux	167
5.2. Théorie du coût exergétique	170
5.2.1. Principe de non-équivalence des irréversibilités locales	176
5.2.2. Processus de formation du coût des déchets	179
5.2.3. Allocation du coût des flux de déchets	183
5.2.4. Calcul des coûts exergétiques.	186
5.3. Théorie structurale de la thermoéconomie.	189
5.3.1. Équations de coût marginal	193
5.3.2. Modèle linéaire des équations caractéristiques.	195
5.4. Théorie structurale et coût exergétique.	196
5.4.1. Modèle flux-processus	201
5.4.2. Équations caractéristiques de la théorie du coût exergétique . . .	205
5.4.3. Formule d'impact de la ressource	208
5.4.4. Désagrégation des coûts	209
5.4.5. Rendement et recyclage	213
5.5. Conclusion	216
5.5.1. Théorie structurale	216
5.5.2. Économie circulaire et symbiose industrielle.	218
5.6. Bibliographie.	222

Chapitre 6. La fonction d'énergie libre relative : une nouvelle approche du diagnostic thermoéconomique.	227
Antonio VALERO-CAPILLA et César TORRES	
6.1. Introduction.	228
6.2. Inconvénients de l'exergie	231
6.3. Fonction d'énergie libre relative	232
6.4. Chemin(s) de détérioration h-s d'un système énergétique	235
6.5. Transformée de Legendre d'un chemin de détérioration	236
6.6. Conclusion	242
6.7. Épilogue.	244
6.8. Bibliographie.	248
Liste des auteurs.	251
Index	253