

TABLE DES MATIÈRES

Avant-propos	IX
Introduction	XI
Chapitre 1. Notions fondamentales	1
1.1 La notion de système	1
1.1.1 Définition	1
1.1.2 Les différents types de systèmes	2
Exercice d'application. Types de systèmes	3
1.1.3 Description de l'état d'un système	3
Exercice d'application. La notion de pression hydrostatique	5
1.1.4 Caractère intensif ou extensif d'une variable	6
1.1.5 Homogénéité et hétérogénéité d'un système	7
Exercice d'application. Système homogène et hétérogène	7
1.2 Évolution d'un système	8
1.2.1 État de repos et état d'équilibre d'un système	8
Exercice d'application. La notion d'état d'équilibre thermodynamique	9
1.2.2 La notion de transformation	10
1.3 L'outil mathématique	13
1.3.1 Différentielle et forme différentielle	13
1.3.2 Fonction d'état et grandeur de transformation	14
1.3.3 La notion de fonction homogène	15
Exercice d'application. Fonction homogène et grandeur intensive	15
1.4 Les systèmes thermoélastiques physiques	16
1.4.1 Équations d'état	16
Exercice d'application. Relations entre les coefficients différentiels	17
1.4.2 Les coefficients thermoélastiques	17
1.5 Le modèle du gaz parfait	18
1.5.1 Approche expérimentale du gaz parfait	18
1.5.2 Définition du gaz parfait	20
Exercice d'application. Gaz parfait et coefficients calorimétriques	22
1.5.3 Mélange de gaz parfaits	22
Exercices	24
Solutions	30
Chapitre 2. Travail et chaleur	38
2.1 L'échange de travail avec l'extérieur	38
2.1.1 Préliminaires	38
2.1.2 Les travaux mécaniques	39
Exercice d'application. Système thermoélastique et travail mécanique	41
2.1.3 Les autres travaux	42

Les bases de la thermodynamique

2.2	L'échange de chaleur avec l'extérieur	43
2.2.1	La notion de chaleur	44
2.2.2	La notion de source thermique	45
2.2.3	L'échange de chaleur	45
	Exercice d'application. Relations entre les coefficients calorimétriques	46
2.2.4	Capacités calorifiques d'un corps pur	47
2.2.5	Capacités calorifiques d'un mélange	48
	Exercice d'application. Capacité calorifique de l'air	48
	Exercices	50
	Solutions	51
	Chapitre 3. Le premier principe	58
3.1	Le premier principe et l'énergie interne	58
3.1.1	Énoncé du premier principe	58
3.1.2	Premier principe et transformation ouverte	59
3.1.3	Conséquence du premier principe	59
3.1.4	La notion d'énergie interne d'un système	60
	Exercice d'application. Calcul d'une variation d'énergie interne	61
3.1.5	L'énergie interne, fonction d'état	61
3.2	Application au gaz parfait	62
3.2.1	La loi de Joule	62
3.2.2	Conséquences pour le gaz parfait	64
	Exercice d'application. Compression irréversible d'un gaz parfait	65
3.2.3	Conditions de validité d'une formule	65
3.2.4	La transformation polytropique	67
	Exercice d'application. Détente d'un gaz parfait	68
	Exercices	70
	Solutions	74
	Chapitre 4. La fonction enthalpie	84
4.1	Cas des systèmes fermés	84
4.1.1	La fonction enthalpie	84
4.1.2	Les cas classiques	85
	Exercice d'application. Calcul de la variation d'enthalpie d'un système	86
4.2	Introduction aux systèmes ouverts	87
4.2.1	Cas général	87
4.2.2	Cas particulier d'un système ouvert stationnaire	92
	Exercice d'application. Étude d'un écoulement stationnaire simple	93
4.2.3	La détente de Joule et Thomson	94
	Exercices	96
	Solutions	100
	Chapitre 5. Le deuxième principe	104
5.1	Les insuffisances du premier principe	104
5.1.1	Transformation cyclique monotherme	104
5.1.2	La notion de qualité de l'énergie	105
5.1.3	Le niveau de transfert de la chaleur	106

5.2	Le deuxième principe	106
5.2.1	Relation de définition de l'entropie	106
	Exercice d'application. Calcul d'une variation d'entropie	107
5.2.2	Bilan entropique d'un système fermé et deuxième principe	108
5.2.3	Bilan entropique des systèmes ouverts en régime stationnaire	109
5.2.4	Conséquences du deuxième principe	109
5.2.5	Spontanéité d'une transformation	110
	Exercice d'application. Calcul d'une production d'entropie	111
5.3	Entropie et système thermoélastique	112
5.3.1	L'équation fondamentale de Gibbs	112
5.3.2	Entropie et variables d'état	112
5.3.3	Troisième principe et signification physique de l'entropie	114
5.4	Les fonctions dérivées de l'entropie	118
5.4.1	Énergie libre et enthalpie libre	118
5.4.2	Énergie libre par rapport à l'ambiance	119
5.4.3	Enthalpie libre par rapport à l'ambiance	120
	Exercice d'application. Récupération de l'énergie cinétique du vent	121
5.4.4	Application à l'état d'équilibre d'un système physique	121
	Exercices	122
	Solutions	126
	Chapitre 6. Thermodynamique du corps pur	132
6.1	Notions de base sur le corps pur	132
6.1.1	Changements d'état d'un corps pur	132
6.1.2	Entropie absolue d'un corps pur	134
	Exercice d'application. Calcul de l'entropie absolue d'un corps pur	136
6.1.3	Enthalpie libre molaire d'un corps pur	137
6.1.4	Le phénomène de vaporisation	140
6.1.5	Le phénomène de l'ébullition	142
6.1.6	Condensation dans un milieu hétérogène en température	143
6.2	Aspect thermodynamique	143
6.2.1	Caractérisation de l'état d'équilibre	143
6.2.2	La notion de variance	144
6.2.3	La relation fondamentale de Clapeyron	145
6.2.4	Représentation graphique	149
	Exercice d'application. Un peu de magie	151
	Exercice d'application. Le phénomène de cavitation	152
6.2.5	Les retards aux transitions de phases	153
	Exercice d'application. Solidification de l'eau liquide en surfusion	154
6.2.6	Transformations allotropiques du corps pur	155
	Exercices	156
	Solutions	161
	Chapitre 7. Les fluides réels	173
7.1	Les isothermes d'Andrews	173
7.1.1	Évolution isotherme d'un fluide réel	173

Les bases de la thermodynamique

7.1.2	La règle des moments	175
	Exercice d'application. Calcul du titre vapeur d'un mélange diphasique	175
7.2	Équations d'état des fluides réels	176
7.2.1	L'équation de Van der Waals	176
7.2.2	L'équation de Redlich-Kwong	179
	Exercice d'application. Comportement volumétrique d'une vapeur saturée	180
7.2.3	L'équation de Peng-Robinson	181
	Exercice d'application. Détermination du comportement volumétrique d'un mélange de fluides réels	183
7.3	Calcul des fonctions thermodynamiques des fluides réels	184
7.3.1	La notion de grandeur résiduelle	185
7.3.2	Expression des grandeurs résiduelles	187
7.3.3	Équations d'état et grandeurs résiduelles	188
7.4	Les diagrammes thermodynamiques	189
7.4.1	Grandeurs relatives à un fluide homogène	190
7.4.2	Le diagramme entropique	192
7.4.3	Le diagramme enthalpique	198
	Exercices	202
	Solutions	205
	Chapitre 8. Les machines thermiques	216
8.1	Notions préliminaires	216
8.1.1	Définitions	216
8.1.2	Les différents types de machines dithermes	217
8.2	Les machines dithermes motrices	222
8.2.1	Généralités	222
	Exercice d'application. Calcul d'un rendement thermique	223
8.2.2	La machine de référence de Carnot	224
	Exercice d'application. Machine motrice de Carnot à fluide liquéfiable	225
8.2.3	Cycles de base des installations réelles	226
	Exercice d'application. Le cycle idéal de Rankine.	227
	Exercice d'application. Le cycle idéal de Hirn avec simple surchauffe	229
8.2.4	La notion de rendement isentropique	230
	Exercice d'application. Rendement isentropique d'une turbine	231
8.2.5	Installations à soutirage	233
8.3	Les machines dithermes réceptrices	235
8.3.1	Généralités	235
8.3.2	Les machines réceptrices à fluide liquéfiable	236
8.3.3	Les machines bi-étagées	239
8.3.4	Les machines à cycle inversable	239
	Exercices	241
	Solutions	248
	Bibliographie	256
	Index	257