

PRINCIPES

E

thermodynamique

thermodynamique  
thermodynamique  
thermodynamique  
thermodynamique  
thermodynamique

JEAN-CHARLES SISI

## TABLE DES MATIÈRES

---

<b>Liste des symboles</b>	<b>ix</b>
<b>1 Notions générales</b>	
1.1 Signification et objet de la thermodynamique	1
1.2 Définitions de base	1
1.3 État d'un système	3
1.4 Les propriétés d'état	3
1.5 La force	5
1.6 Les types d'énergie	7
1.7 Grandeurs spécifiques, grandeurs extensives et grandeurs intensives	11
<b>2 Les transformations énergétiques et les énergies transitoires</b>	
2.1 Les transformations énergétiques	13
2.2 Les énergies transitoires	13
2.3 La chaleur	13
2.4 Les fonctions d'état	15
2.5 Comment reconnaître une fonction d'état: — différentielle exacte, — différentielle inexacte	16
2.6 L'intégration des fonctions d'état et des énergies transitoires	19
<b>3 Les transformations en système fermé</b>	
3.1 Introduction	21
3.2 Le diagramme de Clapeyron	21
3.3 Considérations pratiques sur les transformations	25
3.4 Les transformations adiabatiques	26
3.5 Les propriétés et les fonctions d'état dans le diagramme de Clapeyron	28
3.6 Le premier principe de la thermodynamique	28
3.7 Les gaz parfaits	30
3.8 Application du premier principe à un système fermé constitué par un gaz parfait	31
3.9 Le premier principe appliqué à une série de transformations	34
3.10 Les machines cycliques	35
3.11 L'impossibilité d'obtenir un rendement égal à 100%	36
3.12 Application du premier principe à des systèmes ayant une masse différente de l'unité	37

<b>4</b>	<b>Le deuxième principe de la thermodynamique</b>	
4.1	Introduction	41
4.2	Le deuxième principe de la thermodynamique	42
4.3	Le concept d'équilibre thermodynamique	43
4.4	Les transformations réversibles. Le travail maximum	43
4.5	L'entropie dans les transformations réversibles	51
4.6	Le cycle de Carnot et l'échelle absolue des températures	53
4.7	L'entropie dans les transformations irréversibles	61
4.8	Le diagramme entropique	63
4.9	L'entropie totale	65
4.10	Le travail perdu et le travail utile	67
<b>5</b>	<b>La chaleur</b>	
5.1	Introduction	75
5.2	La chaleur spécifique	75
5.3	La chaleur spécifique et la température	78
5.4	Le processus polytropique	81
5.5	Exemples	83
<b>6</b>	<b>Les transformations en système ouvert</b>	
6.1	Introduction	97
6.2	Le premier principe appliqué à un système ouvert	98
6.3	L'enthalpie	102
6.4	Exemples	104
<b>7</b>	<b>Les propriétés des fluides</b>	
7.1	Introduction	113
7.2	Le gaz réel	114
7.3	Le liquide réel	118
7.4	Le système à deux phases	120
7.5	Les systèmes à plusieurs constituants	121
7.6	Exemples	123
<b>ANNEXE</b>		
<b>A</b>	<b>Analyse des transformations</b>	
A.1	Introduction	135
A.2	Les équations d'état et les équations de processus	136
A.3	L'étude détaillée des transformations polytropiques	137
A.4	Analyse des transformations	140
<b>B</b>	<b>Les cycles</b>	
B.1	Introduction	185
B.2	Définitions	185
B.3	Les cycles pratiques	186
B.4	Le cycle d'Otto	189
B.5	Le cycle de Diesel	191
B.6	Le Cycle à double combustion	193
B.7	Le cycle de Brayton	196
B.8	La pression effective moyenne	198

<b>C</b>	<b>Les cycles en système à deux phases</b>	
C.1	Introduction	201
C.2	Le cycle de Rankine	202
C.3	Amélioration de l'efficacité du cycle de Rankine	208
C.4	Le cycle avec plusieurs réchauffages	218
C.5	Conclusions	220
<b>D</b>	<b>Le cycle de Brayton</b>	
D.1	Introduction	223
D.2	Le cycle employant les turbines à gaz	224
D.3	Les modifications du cycle de base	227
<b>E</b>	<b>Les cycles inversés</b>	
E.1	Introduction	241
E.2	Le cycle de Carnot et le cycle de Carnot inversé	241
E.3	Considérations générales sur les cycles inversés	244
E.4	Le cycle inversé dans un système à deux phases	246
E.5	Le cycle inversé à deux phases utilisé pour la réfrigération	248
E.6	Amélioration du cycle réfrigérant	253
E.7	Le cycle réfrigérant en phase entièrement gazeuse	257
<b>F</b>	<b>La liquéfaction des gaz</b>	
F.1	Introduction	259
F.2	La réfrigération en cascade	259
F.3	L'expérience de Joule	262
F.4	L'expérience de Joule-Thomson	263
F.5	La liquéfaction des gaz basée sur l'effet Joule-Thomson	266
F.6	Le travail minimum pour la liquéfaction d'un gaz	271
<b>G</b>	<b>Relations des propriétés thermodynamiques</b>	
G.1	Introduction	273
G.2	Les transformations mathématiques des équations thermodynamiques	273
G.3	Les relations de Maxwell	278
G.4	L'expression générale de l'entropie	282
G.5	L'expression générale de l'énergie interne	283
G.6	L'expression générale de l'enthalpie	284
G.7	Les chaleurs spécifiques $C_p$ et $C_v$	285
<b>H</b>	<b>La règle des phases</b>	
H.1	Introduction	287
H.2	La règle des phases	287
<b>I</b>	<b>Considérations à propos des définitions</b>	
I.1	Généralisation du concept des systèmes	297
I.2	Considérations à propos de la définition de chaleur spécifique	301
	<b>Conclusions</b>	<b>305</b>
	<b>Solutions des problèmes</b>	<b>307</b>