

Table des matières

Avant-propos	V
1. Les deux principes de la thermodynamique	1
1.1 Système thermodynamique	1
1.2 Le premier principe de la thermodynamique	5
1.3 Le second principe de la thermodynamique	19
1.4 L'entropie	28
1.5 L'exergie	37
2. Relations fondamentales	45
2.1 Règle de phase de Gibbs	45
2.2 Équations de Gibbs et Gibbs-Duhem	46
2.3 Les quatre fonctions d'état	47
2.4 Relations de Maxwell	47
3. Propriétés des corps purs	51
3.1 Introduction	51
3.2 Règle des phases de Gibbs pour les corps purs	54
3.3 Les gaz à un constituant	55
3.4 Les phases condensées : liquides ou solides	76
3.5 Changements de phase	80
3.6 Diagrammes des corps purs	88
3.7 Compressions et détentes	94
4. Propriétés des mélanges	101
4.1 Règle de phase de Gibbs	101
4.2 Solutions idéales	102

4.3	Solutions non idéales	107
4.4	Équilibre liquide-vapeur pour les mélanges (loi de Raoult)	108
4.5	Diagrammes de phase liquide/vapeur pour des mélanges binaires	111
5.	Cycles thermodynamiques	121
5.1	Le concept de cycle thermomécanique	121
5.2	Les cycles moteurs à vapeur	125
5.3	Les cycles moteurs à gaz	147
5.4	La cogénération	170
5.5	Le cycle combiné et les tendances pour la production thermodynamique d'électricité	172
5.6	Les cycles inverses à compression mécanique de vapeur	177
5.7	Les cycles inverses à compression de gaz	187
5.8	Les cycles à détente	194
5.9	Le cycle frigorifique à compression thermique de vapeur	202
6.	Combustion	207
6.1	Notions générales sur la combustion	207
6.2	Application du premier principe à la combustion	210
6.3	Bilan énergétique de la combustion	213
6.4	Combustion et émissions de NOx	225
6.5	Constante d'équilibre de la combustion	236
7.	Effets thermoélectriques et froid magnétique	239
7.1	Thermodynamique linéaire des processus irréversibles	239
7.2	Effets thermoélectriques	240
7.3	Applications de l'effet thermoélectrique	242
7.4	Le froid magnétique	247
Annexes		251
Index		296

AVANT-PROPOS

Cet ouvrage présente les concepts ainsi que les outils de base de la thermodynamique telle qu'elle a été conçue dans le passé et telle qu'elle est utilisée aujourd'hui pour les applications énergétiques et pour certaines applications environnementales. Un ouvrage de thermodynamique ne peut pas se dispenser de l'outil mathématique qui a permis à la thermodynamique d'acquérir ses lettres de noblesse. Néanmoins, il est prouvé qu'il n'est nullement indispensable de posséder un niveau élevé en mathématiques pour maîtriser parfaitement la thermodynamique de l'ingénieur. Fort de mon expérience d'enseignement au Cnam et à l'Institut français du froid industriel (IFFI), je me suis efforcé, dans cet ouvrage, de ne pas occulter la démarche mathématique qui fait la force de la thermodynamique, tout en permettant au lecteur de suivre le fil conducteur et de pouvoir appliquer les résultats même si certains développements mathématiques peuvent lui échapper. Cet ouvrage, destiné à des techniciens supérieurs titulaires d'un BTS, DUT ou son équivalent, est accessible dans certaines de ses parties à des étudiants inscrits en BTS ou DUT. Afin de faciliter l'utilisation de l'ouvrage, des fiches de synthèse mettant en relief ce qu'il faut impérativement savoir sont présentées à la fin de chaque chapitre.

Je tiens à remercier mes collaborateurs enseignants (MM. Clause, Toubanc et Tréméc) qui dispensent, au Cnam et à l'IFFI, les enseignements dirigés associés aux cours qui relèvent de cet ouvrage, pour leurs remarques précieuses qui ont permis de faire évoluer mon enseignement. Je tiens également à remercier M. G. Descombes, enseignant, pour sa relecture partielle.