

Table des matières

Notations	11
Première Partie. Thermodynamique	
Introduction	17
Chapitre 1. Systèmes thermodynamiques. Premier principe	
1.1. Caractérisation d'un système	19
1.1.1. Etats d'équilibre	19
1.1.2. Grandeurs et équations d'état	20
1.1.3. Modèle du gaz parfait	22
1.2. Evolution et transformation des systèmes	25
1.3. Echanges d'énergie. Travail et chaleur	27
1.3.1. Echanges de travail	27
1.3.2. Echanges de chaleur	30
1.4. Principe de conservation de l'énergie	32
1.4.1. Systèmes fermés	32
1.4.2. Systèmes ouverts	36
Annexe 1. Définition de la température absolue	41
Annexe 2. Résumé des propriétés élémentaires du gaz parfait	42
Annexe 3. Ecoulements monodimensionnels de fluide parfait	43
Problèmes résolus	47
Chapitre 2. Second principe et conséquences	
2.1. Deuxième principe de la thermodynamique	57
2.1.1. Définition et propriétés de l'entropie	57
2.1.2. Enoncé du deuxième principe	59
2.2. Fonctions thermodynamiques et applications	65
2.2.1. Energie interne et entropie	65
2.2.2. Fonctions dérivées de l'entropie	66
2.2.3. Autres fonctions thermodynamiques	67
2.3. Transformations cycliques	70

2.4. Autres systèmes thermodynamiques divariants	72
2.4.1. Thermodynamique des fils	72
2.4.2. Thermodynamique des milieux magnétiques	75
2.5. Systèmes à nombre variable de particules	77
2.5.1. Particules identiques	77
2.5.2. Particules différentes	78
Annexe 1. Equations de Maxwell	80
Annexe 2. Energie disponible d'un système	81
Problèmes résolus	84
Chapitre 3. Fluides réels et transition de phase	
3.1. Changements de phase d'un corps pur. Analyse qualitative	97
3.2. Thermodynamique du gaz de Van der Waals	100
3.3. Mélange liquide-vapeur	104
3.3.1. Généralités	104
3.3.2. Equilibre entre phases. Transitions du premier ordre	106
3.3.3. Relation de Clapeyron-Clausius	107
3.3.4. Potentiels chimiques	109
3.3.5. Systèmes multi-composants. Règle des phases	110
3.4. Transitions de phase du second ordre	112
3.5. Thermodynamique des supraconducteurs	113
Annexe 1. Fonctions thermodynamiques du gaz de Van der Waals	116
Annexe 2. Règle d'égalité des aires de Maxwell	118
Annexe 3. Retard à la transition de phase liquide-vapeur	119
Problèmes résolus	121
Chapitre 4. Applications. Machines thermiques	
4.1. Fluides parfaits, fluides réels	135
4.1.1. Modèles basiques simples	135
4.1.2. Facteur de compressibilité	136
4.1.3. Autres modèles, tables et diagrammes	138
4.1.4. Mélanges de gaz	141
4.2. Réactions chimiques	143
4.3. Machines thermiques	146
4.3.1. Cycles thermodynamiques usuels	147
4.3.2. Machines à combustion interne	151
4.3.3. Cycles de réfrigération	157
Annexe. Turbines à gaz. Cycle réel de Joule-Brayton	159
Problèmes résolus	160

Deuxième Partie. Physique statistique

Introduction	175
Chapitre 5. Description statistique des systèmes	
5.1. Principes généraux	177
5.1.1. Approximation classique	178
5.1.2. Ensemble statistique	180
5.1.3. Conditions d'équilibre d'un système	184
5.2. Interactions entre les systèmes	185
5.2.1. Interaction thermique	185
5.2.2. Interaction mécanique	188
5.2.3. Interaction générale	191
5.3. Résumé des résultats du chapitre	193
5.3.1. Lois thermodynamiques	193
5.3.2. Relations statistiques	193
Annexe 1. Le théorème de Liouville	194
Annexe 2. Le théorème H.	195
Problèmes résolus	197
Chapitre 6. Méthodes générales et statistique classique	
6.1. Système isolé	205
6.2. Distribution canonique	206
6.2.1. Système en contact avec un réservoir de chaleur	206
6.2.2. Système dont l'énergie moyenne est connue	208
6.2.3. Calcul des grandeurs thermodynamiques	208
6.3. Distribution grand-canonique	210
6.4. Fonction de partition. Approximation classique	211
6.4.1. Calcul général	211
6.4.2. Approximation classique	212
6.5. Applications	212
6.5.1. Gaz parfait monoatomique	212
6.5.2. Vibration dans les solides	217
6.5.3. Paramagnétisme	218
6.5.4. Système à plusieurs composants.	
Réactions chimiques	219
Annexe 1. Validité de l'approximation classique	222
Annexe 2. Equipartition de l'énergie. Généralisation	223
Problèmes résolus	225

Chapitre 7. Statistiques quantiques

7.1. Généralités	237
7.1.1. Statistique de Bose-Einstein	238
7.1.2. Statistique de Fermi-Dirac	238
7.1.3. Cas limite : Statistique de Maxwell-Boltzmann	239
7.1.4. Fonction de partition et distribution	239
7.2. Statistique de Maxwell-Boltzmann. Applications	240
7.2.1. Energie de translation	241
7.2.2. Energie de rotation	242
7.2.3. Energie de vibration	243
7.2.4. Considérations générales et ordres de grandeur	245
7.3. Statistiques de Bose-Einstein et Fermi-Dirac	249
7.3.1. Grandeurs thermodynamiques	249
7.3.2. Application. Gaz de bosons	250
7.3.3. Application. Gaz de fermions	257
Annexe 1. Distributions et probabilités	260
Annexe 2. Approche quantique du paramagnétisme	262
Problèmes résolus	263

Chapitre 8. Systèmes de particules interactives

8.1. Gaz non-idéal	273
8.2. Plasma complètement ionisé	278
8.3. Ferromagnétisme	281
Annexe 1. Point critique pour un gaz de Van der Waals	284
Annexe 2. Réseau cristallin ferromagnétique	286
Annexe 3. Les fluctuations	288
A.3.1. Fluctuations d'énergie	289
A.3.2. Fluctuations du nombre de particules	290
A.3.3. Le mouvement brownien	292
Problèmes résolus	297

Troisième Partie. Cinétique

Introduction	301
---------------------	-----

Chapitre 9. Méthodes d'étude des phénomènes irréversibles

9.1. Thermodynamique des phénomènes irréversibles	303
9.1.1. Equations de bilan. Sources d'entropie	303
9.1.2. Cas des faibles déséquilibres. Relations flux-gradient	307
9.1.3. Applications. Phénomènes thermoélectriques	309
9.2. Méthodes statistiques. Equations cinétiques	311

9.2.1. Milieux dilués. Equation de Boltzmann	312
9.2.2. Milieux denses. Equation de Fokker-Planck	321
Problèmes résolus	326
Chapitre 10. Phénomènes de transport	
10.1. Equilibre et non-équilibre dans les systèmes gazeux	337
10.2. Régime de non-équilibre. Gaz purs	340
10.2.1. Equation de Boltzmann adimensionnée	340
10.2.2. Méthode de Chapman-Enskog	341
10.2.3. Termes de transport. Equations de Navier-Stokes	345
10.3. Régime de non-équilibre. Mélanges de gaz	347
10.4. Régime de non-équilibre. Gaz polyatomiques	351
Annexe 1. Fonctions et valeurs propres de l'opérateur J_1	357
Annexe 2. Bases de polynômes orthogonaux	358
Annexe 3. Calcul de $a_1(\mathbf{r}, t)$	358
Annexe 4. Intégrales collisionnelles	359
Annexe 5. Mode interne et déséquilibre	361
Problèmes résolus	361
Chapitre 11. Milieux gazeux hors d'équilibre	
11.1. Classification des régimes	369
11.2. Cinétique vibrationnelle	372
11.2.1. Modèle de l'oscillateur harmonique	375
11.2.2. Collisions VV prépondérantes	377
11.2.3. Collisions résonantes prépondérantes	378
11.2.4. Transport dans les gaz hors d'équilibre vibrationnel	379
11.3. Cinétique chimique	381
11.3.1. Exemple simple	382
11.3.2. Cas général	382
11.4. Exemples de milieux gazeux hors d'équilibre	384
11.4.1. Cinétique vibrationnelle d'un gaz diatomique pur	385
11.4.2. Cinétique chimique de l'air	386
11.4.3. Gaz d'électrons dans un métal	387
Problèmes résolus	390
Annexes	403
Références	425
Index des matières	427