

# *Table des matières*

## CHAPITRE I

### THEORIE CINETIQUE DES GAZ PARFAITS

I. THERMODYNAMIQUE ET MECANIQUE STATISTIQUE	1
II. THEORIE DU GAZ PARFAIT	
1. Modèle du gaz parfait	2
2. Température absolue	5
3. Pression et équation d'état des gaz parfaits	6
4. température cinétique	8
5. Applications au gaz parfait monoatomique	9
6. Equipartition de l'énergie	11
7. Conclusion	12
III. MELANGE DE GAZ PARFAITS	
1. Mélange à deux constituants	12
2. Mélange à plusieurs constituants	13
Exercices	15

## CHAPITRE II

### PRINCIPE ZERO DE LA THERMODYNAMIQUE COMPRESSIBILITE ET DILATATION DES FLUIDES

I. EQUILIBRE THERMIQUE ET PRINCIPE ZERO DE LA THERMODYNAMIQUE	
1. Variables macroscopiques	16
2. Equation d'état et représentation des transformations	17
3. Equilibre thermique et Principe zéro de la thermodynamique	18
4. Notion de source thermodynamique	19
II. LES TRANSFORMATIONS INFINITESIMALES COEFFICIENTS DE COMPRESSIBILITE ET DE DILATATION DES FLUIDES	20

## CHAPITRE III

### LES ECHANGES D'ENERGIE ET LE PREMIER PRINCIPE DE LA THERMODYNAMIQUE

I. INTRODUCTION	26
II. ECHANGE DE TRAVAIL ENTRE LE SYSTEME ET L'EXTERIEUR	
1. Définition	26
2. Transformations réelles et transformations réversibles	29
3. Généralisation de la notion de travail	31
III. ECHANGE DE CHALEUR ENTRE LE SYSTEME ET L'EXTERIEUR	
1. Définition de la chaleur	32
2. Coefficients calorimétriques	34
3. Application au cas du gaz parfait	36
IV. CALCUL DU TRAVAIL ET DE LA CHALEUR ECHANGES AU COURS D'UNE TRANSFORMATION D'UN GAZ PARFAIT	
1. Cas d'une transformation isotherme réversible	39
2. Cas d'une transformation adiabatique réversible	40
3. Cas d'une transformation polytropique	41
4. Cas d'une transformation sans échange de travail	41
V. LE PREMIER PRINCIPE DE LA THERMODYNAMIQUE	42
1. Interprétation moléculaire de l'énergie interne d'un système et le Premier Principe	43
2. Interprétation macroscopique du premier principe et expérience de Joule	44
3. Différentes expressions du Premier Principe	47
4. Définition de la fonction Enthalpie	49
VI. CONSEQUENCES DU PREMIER PRINCIPE	
1. Application du Premier Principe à la détente des gaz	51
2. Notion de rendement d'une machine thermique	53
3. Détermination des chaleurs de réaction	54
Exercices	57

## CHAPITRE IV

### SECOND PRINCIPLE DE LA THERMODYNAMIQUE

I. LES ENONCES DU SECOND PRINCIPLE	
1. Observations expérimentales	60
2. Énoncés non mathématiques du second principe	61
3. Énoncé mathématique du second principe	62
II. PROCESSUS REVERSIBLE ET IRREVERSIBLE. CYCLE DE CARNOT	
1. Définition	63
2. Cycle de Carnot	64
3. Rendement et théorème de Carnot	66
4. Température absolue du Point triple de l'eau	68
5. Cycle réversible quelconque	69
III. ENTROPIE	
1. Définition de l'entropie	70
2. Calcul des variations d'entropie d'un système	73
3. Diagramme entropique	74
4. Accroissement d'entropie d'un système isolé	75
Exercices	78

## CHAPITRE V

### APPLICATIONS DES DEUX PRINCIPES DE LA THERMODYNAMIQUE

I. EXPRESSION MATHÉMATIQUE DES DEUX PRINCIPES	82
II. LES FONCTIONS THERMODYNAMIQUES L'ÉNERGIE LIBRE – L'ENTHALPIE LIBRE	
1. Variables $S, v$	83
2. Variables $S, p$	84
3. Variables $T, v$	85
4. Variables $T, p$	87

III. RELATIONS DE MAXWELL	88
IV. NOUVELLES EXPRESSIONS DES COEFFICIENTS CALORIMETRIQUES ET RELATIONS DE CLAPEYRON	
1. Variables T,v	89
2. Variables T,p	90
3. Formule de Mayer généralisée	92
V. POTENTIELS THERMODYNAMIQUES	
1. Systèmes isolés	93
2. Fonction de Helmotz	94
3. Fonction de Gibbs	95
VI. CHANGEMENT D'ETAT ET FORMULE DE CLAPEYRON	
1. Formule de Clapeyron	95
2. Exemple d'application de la formule de Clapeyron	97
VII. LE POTENTIEL CHIMIQUE	
1. Notion de potentiel chimique	98
2. Potentiel chimique d'un gaz parfait	101
VIII. CHANGEMENT D'ETAT DE PREMIERE ESPECE ET DE SECOND ESPECE	
1. Changement d'état de première espèce	103
2. Changement d'état de seconde espèce	105
IX. EXPRESSION GENERALE DES CHALEURS SPECIFIQUES	105
1. Evolution dans le plan p, T	106
2. Evolution dans le plan v,T	106
3. Evolution dans le plan p, v	107
Exercices	110

## CHAPITRE VI

### REPRESENTATION DES EVOLUTIONS D'UN GAZ PARFAIT

#### I. DIAGRAMMES

1. Définition	113
---------------	-----

2. Diagramme de Clapeyron	114
3. Diagramme entropique	115
4. Utilisation du diagramme entropique	118
5. Etude de quelques transformations particulières à l'aide du diagramme entropique	120
<b>II. APPLICATIONS DU DIAGRAMME ENTROPIQUE</b>	
1. Evolution réelle d'un gaz sans frottements	124
2. Evolution réelle d'un gaz avec frottements	129
<b>III. ETUDE DU CYCLE D'UN COMPRESSEUR</b>	
1. Examen des phases successives du fonctionnement	132
2. Expression du travail	134
3. Cas d'une compression isotherme	135
4. Cas d'une compression adiabatique ou polytropicque	136
Exercices	138
<b>CHAPITRE VII</b>	
<b>LES GAZ REELS</b>	
<b>I. INTRODUCTION</b>	139
<b>II. EQUATION DE VAN DER WAALS</b>	140
<b>III. LES GRANDEURS THERMODYNAMIQUES D'UN GAZ REEL</b>	142
<b>IV. EQUATION DU VIRIEL ET FACTEUR DE COMPRESSIBILITE</b>	143
<b>V. EQUATION DE BEATTIE-BRIDGMAN</b>	146
Exercices	147

## CHAPITRE VIII

### LES VAPEURS SATUREES ET SURCHAUFFEES

#### I. GENERALITES

- 1. Liquide et vapeur 149
- 2. Titre d'une vapeur humide 152

#### II. CHALEUR - ENERGIE INTERNE - ENTHALPIE - ENTROPIE

- 1. Liquide en ébullition 154
- 2. Vapeur saturante sèche 156
- 3. Vapeur humide 159
- 4. Vapeur surchauffée 161

#### III. DIAGRAMMES DE LA VAPEUR D'EAU

- 1. Diagramme de Clapeyron 165
- 2. Diagramme entropique 166
- 3. Diagramme enthalpie-entropie ou diagramme de Mollier 169

#### IV. CHALEUR A SATURATION 172

Exercices 175

## CHAPITRE IX

### TROISIEME PRINCIPE DE LA THERMODYNAMIQUE OU POSTULAT DE NERNST-PLANCK

I. TROISIEME PRINCIPE DE LA THERMODYNAMIQUE 176

II. CONSEQUENCES DU POSTULAT DE NERNST-PLANCK 178

III. COMPORTEMENT DES FONCTIONS CARACTERISTIQUES  
A BASSE TEMPERATURE 181

IV. INACCESSIBILITE DE LA TEMPERATURE DU ZERO  
ABSOLU 182

Exercices 185

## CHAPITRE X

### THERMODYNAMIQUE STATISTIQUE DESCRIPTION STATISTIQUE DES SYSTEMES PHYSIQUES

I. PROPRIETES DES SYSTEMES MACROSCOPIQUES	186
II. CONCEPTS FONDAMENTAUX EN PROBABILITES	
1. Probabilité	188
2. Probabilités composées	189
3. Distribution binomiale	190
4. Valeurs moyennes et dispersion	192
III. DESCRIPTION STATISTIQUE DES SYSTEMES DE PARTICULES	
1. Cas d'un système idéal de N spins 1/2	199
2. Cas d'une particule dans une boîte à une dimension	200
3. Cas d'une particule dans une boîte à trois dimensions	201
4. Nombre d'états accessibles d'un système macroscopique	202
Exercices	205

## CHAPITRE XI

### DISTRIBUTION CANONIQUE

I-EQUILIBRE THERMIQUE	207
II- SYSTEME EN CONTACT AVEC UN THERMOSTAT- DISTRIBUTION CANONIQUE	210
III. PARAMAGNETISME	213
IV. ENERGIE MOYENNE D'UN GAZ PARFAIT	
1. Expression générale de l'énergie	217
2. Calcul de l'énergie moyenne	218
3. Pression moyenne d'un gaz parfait	220

V. EXPRESSION DES GRANDEURS THERMODYNAMIQUES EN FONCTION DE Z	
1. Détermination de l'état macroscopique le plus probable	222
2. Entropie statistique	224
3. Energie libre	225
4. Paradoxe de Gibbs	226
VI. DISTRIBUTION CANONIQUE DANS L'APPROXIMATION CLASSIQUE	
1. Approximation classique et sa validité	227
2. Distribution des vitesses de maxwell	229
3. Discussion de la distribution maxwelienne	232
VII. THEOREME DE L'EQUIPARTITION	233
VIII. APPLICATION DU THEOREME DE L'EQUIPARTITION	
1-Chaleur spécifique des gaz parfaits	235
2. Oscillateur harmonique	237
3. Capacité calorifique dans les solides	237
Exercices	241

## CHAPITRE XII

### STATISTIQUES QUANTIQUES

I. INTRODUCTION AUX STATISTIQUES QUANTIQUES	
1. Structure discontinue de l'espace des phases	244
2. Exemple	247
II. LA STATISTIQUE QUANTIQUE DE BOSE-EINSTEIN	
1. Calcul du nombre d'états accessibles $\Omega$	248
2. Détermination de l'état macroscopique le plus probable	249
III. LES STATISTIQUES QUANTIQUES AVEC PRINCIPE D'EXCLUSION OU STATISTIQUES DE FERMI-DIRAC	251
IV. INTERPRETATION STATISTIQUE DE $\delta Q$ ET $\delta W$	
1. Energie interne	253

2. Pression et densité d'énergie	254
3. Validité de $\beta = \frac{1}{KT}$ en statistiques quantiques	256
<b>V. LES STATISTIQUES QUANTIQUES DANS LE CAS LIMITE OÙ <math>\bar{n}_i \ll 1</math> OU STATISTIQUES DE MAXWELL-BOLTZMAN CORRIGÉES</b>	257
Exercices	262
 <b>CHAPITRE XIII</b>	
<b>APPLICATIONS DES STATISTIQUES QUANTIQUES</b>	
<b>I- LES STATISTIQUES DE BOSE-EINSTEIN</b>	
1- Ecart par rapport à la loi limite	265
2. Théorie statistique du rayonnement thermique du corps noir	268
<b>II-LES STATISTIQUES DE FERMI-DIRAC</b>	
1. Les électrons dans les métaux	271
2. Le gaz électronique à $T=0^\circ\text{K}$	273
3. Le gaz électronique à la température ordinaire	276
Exercices	279
 <b>CHAPITRE XIV</b>	
<b>LA THERMODYNAMIQUE DES PHENOMENES IRREVERSIBLES</b>	
I. INTRODUCTION	282
II. LOIS DE CONSERVATION	283
III. SOURCE D'ENTROPIE	286
IV. LA THEORIE D'ONSAGER	288

<b>V. APPLICATION A LA CONDUCTION</b>	
1. Conduction de la chaleur	290
2. Conduction électrique	290
<b>VI. LES EFFETS THERMOELECTRIQUES</b>	291
1. Effet Seebeck	294
2. Effet Peltier	295
3. Effet Thomson	296
 Exercices	 298
 <b>CHAPITRE XV</b>	
 <b>MOTEURS THERMIQUES ET MACHINES FRIGORIFIQUES- CENTRALES THERMIQUES</b>	
<b>I MOTEURS THERMIQUES</b>	
1. Machine à vapeur	299
2. Amélioration du rendement	302
3. Moteurs à combustion interne	303
4. Cycle de Beau de Rochas	304
5. Cycle diesel	306
<b>II. MACHINE FRIGORIFIQUE ET POMPE A CHALEUR</b>	
1. Principe	307
2. Machine frigorifique	308
3. Pompe à chaleur	310
4. Energie utilisable ou « Exergie »	311
<b>III. LES CENTRALES THERMIQUES CLASSIQUES</b>	
1. Généralités	313
2. La turbine à vapeur	313
3. La turbine à gaz	315
<b>IV. LES CENTRALES THERMIQUES A CYCLE COMBINE GAZ-VAPEUR</b>	
1. Généralités	316
2. Principe du cycle combiné avec chaudière de récupération	317
3. Cycle combiné avec générateur de vapeur	321

4. Cycle combiné avec chaudière suralimentée	323
5. La cogénération	325
6. Cycle binaire	327
Exercices	328

## **CHAPITRE XVI**

### **LA THERMODYNAMIQUE APPLIQUEE A L'ÉCOULEMENT DES FLUIDES COMPRESSIBLES**

#### **I. EQUATIONS DE LA DYNAMIQUE DES FLUIDES COMPRESSIBLES**

1. Introduction	332
2. Equations générales	333

#### **II. RAPPELS DE THERMODYNAMIQUE**

1. Travail de compression	335
2. Travail de transvasement	336
3. seconde forme de l'équation de conservation de l'énergie	337
4. Détente d'un fluide en mouvement	340
5. Point d'arrêt, Nombre de Mach et Différents écoulements	341

#### **III. ÉCOULEMENT D'UN GAZ PARFAIT SANS FROTTEMENTS ET APPLICATION AUX TUYERES**

1. Théorème d'Hugoniot	342
2. Relation de Barré de Saint-Venant	345
3. Vitesse d'écoulement maximum	348
4. Débit en masse de la canalisation	349
5. Application spécifique aux tuyères	354

Exercices	356
-----------	-----

## **CHAPITRE XVII**

### **LES ONDES DE CHOC**

I. INTRODUCTION	360
-----------------	-----