

---

# Table des matières

---

## Première partie I Équilibre des systèmes sans interaction

---

<b>1</b>	<b>Fondements</b> .....	15
1.1	Définitions et postulats. . . . .	15
1.2	Répartition des particules . . . . .	16
1.2.1	Cas des bosons . . . . .	17
1.2.2	Cas des fermions . . . . .	17
1.3	Distributions d'équilibre . . . . .	18
1.3.1	Distribution de Bose-Einstein. . . . .	19
1.3.2	Distribution de Fermi-Dirac. . . . .	21
1.3.3	Limite classique . . . . .	22
1.4	Liens avec la physique . . . . .	23
1.4.1	Relation de Boltzmann . . . . .	23
1.4.2	Le paramètre $\beta$ . . . . .	24
1.5	Exercices. . . . .	32
<b>2</b>	<b>Le gaz parfait classique</b> .....	35
2.1	Le gaz parfait monoatomique.. . . .	35
2.1.1	Limite continue. . . . .	35
2.1.2	Le facteur $\delta$ . . . . .	36
2.1.3	Quelques relations pour le gaz parfait monoatomique.	40
2.2	Rotation et vibration des molécules diatomiques . . . . .	43
2.2.1	États d'énergie associés aux degrés de liberté internes	43
2.2.2	Effet de la vibration. . . . .	48
2.2.3	Effet de la rotation . . . . .	49
2.3	Exercices. . . . .	54

<b>3</b>	<b>Le gaz parfait de bosons</b> . . . . .	55
3.1	Bosons en nombre indéterminé . . . . .	56
3.1.1	Théorie du corps noir . . . . .	56
3.1.2	Phonons dans les solides . . . . .	63
3.2	Bosons en nombre déterminé . . . . .	74
3.2.1	Modèle général . . . . .	75
3.2.2	Condensation de Bose-Einstein . . . . .	84
3.3	Exercices. . . . .	89
<b>4</b>	<b>Le gaz parfait de fermions</b> . . . . .	93
4.1	Le cas discret exact . . . . .	93
4.2	La fonction de Fermi. . . . .	95
4.3	La limite thermodynamique pour le gaz parfait de fermions	96
4.3.1	Expression de l'énergie libre . . . . .	96
4.3.2	Grandeurs thermodynamiques . . . . .	98
4.3.3	Le cas de la température nulle . . . . .	100
4.3.4	Escapades à températures non nulles. . . . .	104
4.4	Exercices. . . . .	110
<b>5</b>	<b>Annexes de la première partie</b> . . . . .	115
5.1	Second principe de la thermodynamique . . . . .	115
5.2	Erreur commise lors des passages à la limite continue. . .	116
5.2.1	Fonction de partition de translation . . . . .	117
5.2.2	Fonction de partition de rotation . . . . .	118
5.3	Calcul d'intégrales. . . . .	119
5.3.1	Quelques classiques . . . . .	119
5.3.2	Intégrales bosoniques et fermioniques . . . . .	121
5.3.3	Développement basse température de la fonction des fermions. . . . .	122
5.4	Multiplicateurs de Lagrange . . . . .	128

---

## Deuxième partie II Systèmes en interaction

---

<b>6</b>	<b>Introduction</b> . . . . .	133
6.1	Ordres de grandeur . . . . .	134
6.2	Instabilité dynamique du gaz classique de Boltzmann. . .	136

<b>7</b>	<b>Systèmes en équilibre avec un réservoir</b> .....	141
7.1	Équilibre thermique entre deux systèmes . . . . .	141
7.2	Système en équilibre avec un thermostat . . . . .	142
7.2.1	Définition du thermostat. . . . .	142
7.2.2	Équilibre du système . . . . .	143
7.2.3	Relations thermodynamiques . . . . .	145
7.2.4	Entropie statistique . . . . .	146
7.3	Généralisation . . . . .	147
7.4	Exemple : un modèle élémentaire pour les polymères linéaires	149
7.5	Exercices. . . . .	154
<b>8</b>	<b>La transition gaz-liquide</b> .....	157
8.1	Phénoménologie. . . . .	157
8.1.1	Fonction de partition d'un gaz non idéal . . . . .	160
8.2	L'équation de van der Waals . . . . .	168
8.2.1	Approximation de champ moyen . . . . .	170
8.2.2	Transition gaz-liquide . . . . .	172
8.2.3	Conclusions partielles . . . . .	173
8.3	Exercices. . . . .	175
<b>9</b>	<b>Ferromagnétisme – Le système d'Ising</b> .....	179
9.1	Une expérience simple . . . . .	180
9.2	Paramagnétisme . . . . .	181
9.3	Modèles d'interactions entre spins . . . . .	183
9.4	Approximation de champ moyen de Weiss. . . . .	185
9.5	Fonction de partition exacte à une dimension . . . . .	190
9.6	Fonction de partition exacte à deux dimensions . . . . .	193
9.7	Introduction au groupe de renormalisation . . . . .	197
9.7.1	Ising 1D. . . . .	198
9.7.2	Comparaison avec la solution exacte. . . . .	203
9.7.3	Groupe de renormalisation et système d'Ising à deux dimensions. . . . .	205
9.7.4	Quelques conclusions sur le groupe de renormalisation	209
9.8	Simulation Monte-Carlo d'un système d'Ising 2D. . . . .	210
9.9	Exercices. . . . .	217
<b>10</b>	<b>Approche de l'équilibre - Équation maîtresse et équation de Boltzmann</b> .....	221

10.1 Équation maîtresse . . . . .	222
10.1.1 Conséquences de l'équation maîtresse - Théorème $H$ de Boltzmann. . . . .	224
10.1.2 Conditions d'équilibre - Relation de bilan détaillé . . . . .	226
10.1.3 Équation maîtresse pour un système en contact avec un thermostat. . . . .	228
10.1.4 Conclusions . . . . .	229
10.2 Équation de Boltzmann . . . . .	230
10.2.1 Étude cinétique élémentaire . . . . .	230
10.3 L'équation de Boltzmann. . . . .	241
10.3.1 Fonction de distribution à une particule . . . . .	241
10.4 Dérivation de l'équation de Boltzmann . . . . .	242
10.4.1 Calcul du terme de collision . . . . .	243
10.4.2 Équation de Boltzmann : le théorème $H$ . . . . .	245
10.4.3 Caractérisation des états d'équilibre . . . . .	248
10.4.4 Évolution des valeurs moyennes. . . . .	249
10.4.5 Conclusions . . . . .	251
10.5 Exercices. . . . .	254
<b>Bibliographie</b> . . . . .	<b>259</b>
<b>Index</b> . . . . .	<b>261</b>