

Table des matières

Préface	ix
Préambule	xv
Système d'unités de Gauss	xxiii
Chapitre 1 • Modèle d'Ising à une et deux dimensions	1
1.1 Introduction.....	1
1.1.1 Systèmes magnétiques anisotropes.....	2
1.1.2 « Gaz sur réseau ».....	3
1.1.3 Modèle d'alliages binaires	4
1.2 Le modèle d'Ising à une dimension, cas des forces à courte portée.....	4
1.2.1 Fonction de partition	5
1.2.2 Matrice de transfert.....	7
1.2.3 Fonctions de corrélations	9
1.2.4 Absence de transition de phase à une dimension	13
1.2.5 Interactions à longue portée.....	16

1.3	Le modèle d'Ising à deux dimensions.....	18
1.3.1	Matrice de transfert.....	18
1.3.2	Existence d'une transition de phase - méthode de Peierls	19
1.3.3	Dualité.....	23
1.3.4	Quelques résultats sur Ising 2D.....	32
1.3.5	Quelques caractéristiques de la transition.....	33
Chapitre 2 • Transitions de phases - Généralités.....		37
2.1	Généralités.....	37
2.1.1	Introduction.....	37
2.1.2	Classification des transitions de phase	40
2.1.3	Le modèle de Landau.....	48
2.2	Notion de symétrie brisée.....	51
2.2.1	Qu'est-ce que la symétrie brisée ?	51
2.2.2	Origine des brisures de symétrie	52
2.2.3	Propriétés liées aux brisures de symétrie	61
2.3	Modèle de Landau – Recherche des paramètres d'ordre	68
2.3.1	Introduction.....	68
2.3.2	Exemple simple	70
2.3.3	Cas général	73
2.4	Modèle de Landau – Ordre des transitions.....	75
Chapitre 3 • Approximations de champ moyen.....		81
3.1	Méthodes variationnelles.....	81
3.1.1	Les théorèmes variationnels.....	82
3.1.2	Méthode de Bragg et Williams – Champ moléculaire.....	85
3.2	Théorie thermodynamique de Landau.....	94
3.2.1	Principes généraux	94
3.2.2	Approximation du col	94
3.3	Théorie d'Ornstein-Zernike – Approximation gaussienne.....	102
3.3.1	Modèle gaussien	103
3.3.2	Fonction de corrélation	104
3.3.3	Longueur de corrélation	106
3.3.4	Susceptibilité relative au paramètre d'ordre.....	107
3.3.5	Validité de l'approche – Critère de Ginzburg.....	108
3.3.6	Dimensionnalités critiques.....	111
Chapitre 4 • Phénomènes critiques		113
4.1	Généralités.....	113
4.1.1	Comportement critique	113
4.1.2	Exposants critiques.....	115
4.1.3	Universalité.....	116
4.2	Lois d'échelles – Hypothèse d'homogénéité	124
4.3	Introduction au groupe de renormalisation.....	131
4.3.1	Le groupe de renormalisation.....	133

4.3.2	Point fixe – Champs pertinents	136
4.3.3	Surface critique – Bassin d'attraction	138
4.3.4	Exposants critiques.....	139
4.4	Exemple du modèle gaussien.....	141
4.4.1	Le modèle.....	141
4.4.2	La transformation du groupe de renormalisation	142
4.4.3	Les points fixes.....	143
4.4.4	Les exposants critiques	144
4.5	Au-delà du modèle gaussien.....	145
4.5.1	Introduction.....	145
4.5.2	Le modèle.....	146
4.5.3	Point fixe gaussien	147
4.5.4	Point fixe non gaussien.....	152
Chapitre 5 • Les transitions de Kosterlitz-Thouless.....		159
5.1	Introduction.....	159
5.1.1	Un type original de transition de phase.....	160
5.1.2	La notion d'ordre à grande distance.....	160
5.1.3	Le rôle des modes de Goldstone.....	161
5.1.4	Le rôle des défauts topologiques.....	162
5.2	Le modèle X-Y.....	162
5.2.1	L'énergie libre élastique	163
5.2.2	Les fluctuations	165
5.2.3	Le quasi ordre à longue distance.....	168
5.3	Les défauts topologiques.....	171
5.3.1	Introduction.....	171
5.3.2	Définitions.....	171
5.3.3	Configurations de vortex	176
5.3.4	Énergies de vortex.....	179
5.3.5	Interaction entre vortex	182
5.4	Transition de Kosterlitz-Thouless.....	185
5.4.1	Modèle de Villain – Gaz de Coulomb	185
5.4.2	Effet d'écran.....	188
5.4.3	Renormalisation.....	190
5.4.4	Propriétés de la transition	196
5.5	Exemples	197
5.5.1	Films superfluides	198
5.5.2	Fusion bidimensionnelle.....	200
Chapitre 6 • Le gaz d'électrons.....		209
6.1	Introduction.....	209
6.2	Gaz quantique – Premières approches et difficultés.....	210
6.2.1	Particule sans interaction – Trou d'échange.....	210
6.2.2	Méthodes de Hartree et Hartree Fock.....	213
6.2.3	Énergie totale – Calcul en perturbations.....	221

6.3	Méthode de la RPA	227
6.3.1	Méthode RPA – Plasmons	228
6.3.2	Constante diélectrique	241
6.3.3	Application : Cas statique – Écran	246
6.3.4	Énergie de l'état fondamental	250
6.4	Modèle du jellium	253
6.4.1	Généralités – Constante diélectrique	256
6.4.2	Modes propres d'oscillations	258
6.5	Instabilités de Peierls	265
6.5.1	État fondamental à température nulle	265
6.5.2	Température finie	270
6.5.3	Observations expérimentales	274
Chapitre 7 • Théorie de Landau des liquides de Fermi		281
7.1	Introduction	281
7.2	Principe d'exclusion et diffusion électron-électron près du niveau de Fermi	282
7.3	Les quasiparticules	284
7.3.1	Gaz parfait et Liquide de Fermi dégénéré	284
7.3.2	La notion de quasiparticule	287
7.3.3	Surface de Fermi des quasiparticules	293
7.3.4	Énergie des quasiparticules	295
7.4	Interaction entre quasiparticules	297
7.4.1	Fonctionnelle de l'énergie libre	297
7.4.2	Énergie locale d'une quasiparticule	299
7.4.3	Distribution d'équilibre de quasiparticules à température finie	301
7.5	Propriétés d'équilibre	302
7.5.1	Chaleur spécifique	303
7.5.2	Susceptibilité de spin	304
7.5.3	Compressibilité et vitesse du son	305
7.6	Propriétés hors d'équilibre	306
7.7	Application à ^3He liquide	308
7.8	Conclusion	313
Chapitre 8 • Au-delà du liquide de Fermi		317
8.1	Localisation par les corrélations électroniques	317
8.1.1	Transition de Wigner-Mott : généralités	318
8.1.2	Le traitement de Hubbard	321
8.1.3	L'approximation variationnelle de Gutzwiller	324
8.1.4	La théorie de champ moyen dynamique	334
8.2	Conducteurs unidimensionnels	338
8.2.1	Introduction	338
8.2.2	Modèle de conducteur unidimensionnel	341

8.2.3	Le traitement de champ moyen.....	346
8.2.4	Renormalisation à une dimension.....	351
8.3	Fermions corrélés à une dimension.....	362
8.3.1	Introduction.....	362
8.3.2	Bosonisation et liquide de Luttinger.....	362
8.3.3	Conclusions.....	366
Chapitre 9	• Introduction au magnétisme localisé.....	369
9.1	Introduction – Énergie d'échange.....	369
9.1.1	Atomes et ions magnétiques.....	370
9.1.2	Mécanismes d'échange.....	371
9.2	État d'équilibre stable – État fondamental.....	372
9.2.1	État d'équilibre stable de spins classiques – Structures magnétiques.....	373
9.2.2	État fondamental pour des spins quantiques.....	375
9.3	Champ moléculaire à température finie.....	377
9.3.1	Méthode du champ moléculaire statique – Cas uniforme.....	377
9.3.2	Champ moléculaire non uniforme.....	380
9.3.3	Structures magnétiques.....	382
9.3.4	Couplages moments magnétiques – Réseau.....	387
9.3.5	Parois et domaines.....	391
9.4	Ondes de spin et magnons.....	394
9.4.1	Ondes de spin dans un cristal ferromagnétique.....	394
9.4.2	Magnons.....	396
Chapitre 10	• Le magnétisme itinérant.....	401
10.1	Introduction au magnétisme itinérant.....	401
10.2	La théorie de Stoner.....	408
10.3	Ondes de Densité de Spin.....	415
10.3.1	Critère d'instabilité.....	415
10.3.2	Théorie de la phase ordonnée.....	420
10.3.3	Onde de Densité de Charge.....	429
10.3.4	Conduction de Fröhlich.....	432
10.3.5	Ondes de Densité de Spin induites par un champ magnétique.....	436
10.4	Magnons.....	448
10.4.1	Excitations collectives.....	449
10.4.2	Mode de Goldstone.....	452
Chapitre 11	• Supraconductivité conventionnelle.....	457
11.1	Principaux faits expérimentaux.....	457
11.1.1	Conductivité infinie.....	461
11.1.2	Effet Meissner.....	461
11.1.3	Courants persistants et quantification du flux.....	464
11.1.4	Chaleur spécifique.....	464
11.1.5	Gap d'énergie.....	465

11.1.6 Effets Josephson.....	468
11.1.7 Effet isotopique	469
11.2 Théorie phénoménologique de Ginzburg-Landau	469
11.2.1 Les équations de Ginzburg-Landau	469
11.2.2 Solutions dans des cas simples – Longueurs caractéristiques.....	473
11.2.3 Quantification du fluxoïde.....	478
11.2.4 Les deux types de supraconducteurs.....	479
11.3 La théorie de Bardeen-Cooper-Schrieffer	491
11.3.1 Introduction.....	491
11.3.2 L'appariement des électrons – Les paires de Cooper	497
11.3.3 Fondamental supraconducteur : méthode variationnelle	502
11.3.4 Fondamental supraconducteur : transformation de Bogoliubov	513
11.3.5 Supraconducteur à température finie.....	520
11.3.6 Quelques effets quantiques importants dans les supraconducteurs	536
Chapitre 12 • Les supraconducteurs non conventionnels	543
12.1 Introduction.....	543
12.2 Le « paradigme » de la supraconductivité « conventionnelle ».....	544
12.2.1 L'ordre supraconducteur.....	544
12.2.2 Les points essentiels de la théorie BCS de la supraconductivité conventionnelle	545
12.3 Les supraconducteurs « non conventionnels ».....	547
12.3.1 Les cuprates	548
12.3.2 Les conducteurs et supraconducteurs organiques	561
12.3.3 Les fermions lourds.....	570
12.3.4 Les pnictures.....	574
Chapitre 13 • Exemples d'analogies élaborées par de Gennes	583
13.1 Le parcours scientifique de Pierre-Gilles de Gennes	583
13.2 Trois exemples d'analogies développées par P.-G. de Gennes.....	585
13.2.1 Les analogies entre transitions de phase des supraconducteurs et celles des cristaux liquides.....	586
13.2.2 Physique et physico-chimie des polymères – La découverte $n = 0$	592
13.2.3 La percolation : un concept unificateur	594
Chapitre 14 • Physique des atomes froids et physique de la matière condensée	597
14.1 Introduction.....	597
14.2 La physique de Fermi-Hubbard décrivant des atomes dans un réseau optique.....	598
14.3 Gaz quantiques atomiques	600

14.4 Atomes dans les réseaux optiques.....	601
14.5 Le modèle de Fermi-Hubbard dans un piège atomique.....	602
14.6 Physique à N corps avec des interaction attractives ou répulsives	604
14.7 Limitations de la description de Fermi-Hubbard	606
14.8 Résonances de Feshbach	607
14.9 Perspectives	608