

# TABLE DES MATIÈRES

<b>Chapitre 1 - Introduction</b> .....	1
1.1 - Une histoire, des hommes .....	1
1.2 - Manifestations expérimentales de la supraconductivité .....	2
1.2.1 - Découverte de la supraconductivité : température critique.....	2
1.2.2 - Comportement magnétique des supraconducteurs.....	3
Effet MEISSNER-OCHSENFELD .....	3
Champs critiques et supraconducteurs de type I et II .....	3
1.2.3 - Densité de courant critique .....	4
1.2.4 - Effet isotopique .....	4
1.2.5 - Courants JOSEPHSON et quantification du flux .....	4
1.3 - Les modèles phénoménologiques .....	5
1.3.1 - Théorie de LONDON .....	6
1.3.2 - Approche thermodynamique.....	7
1.3.3 - Théorie de GINZBURG-LANDAU .....	7
1.3.4 - Les vortex.....	8
1.4 - La théorie microscopique BCS .....	8
1.5 - Les effets tunnel.....	9
1.6 - Une grande diversité de matériaux supraconducteurs .....	10
1.7 - Des supraconducteurs non « conventionnels ».....	11
1.8 - Des applications spectaculaires.....	12
1.9 - La supraconductivité dans l'histoire des hommes .....	13
<b>Chapitre 2 - Théorie de LONDON</b> .....	15
2.1 - Les équations de MAXWELL.....	15
2.2 - Comportement attendu d'un conducteur parfait .....	16
2.2.1 - Conduction électrique dans un conducteur normal.....	16
2.2.2 - Conduction électrique dans un conducteur parfait.....	17
2.2.3 - Champ magnétique dans un conducteur parfait.....	18
Application à une plaque de conducteur parfait .....	19
2.3 - Supraconducteur <i>versus</i> conducteur parfait .....	22
2.3.1 - Refroidissement en champ nul suivi de l'application d'un champ .....	22
2.3.2 - Application du champ magnétique lorsque $T > T_c$ puis refroidissement sous champ .....	23
2.4 - Les équations de LONDON.....	24
2.4.1 - Les électrons supraconducteurs .....	25

2.4.2 - Première équation de LONDON.....	25
2.4.3 - Seconde équation de LONDON.....	25
2.4.4 - Plaque supraconductrice plongée dans un champ magnétique .....	26
Plaque épaisse ( $d \gg \lambda_L$ ).....	26
Plaque mince ( $d \leq \lambda_L$ ).....	27
2.5 - Longueur de LONDON .....	28
2.5.1 - Détermination expérimentale de $\lambda_L$ .....	28
2.5.2 - Dépendance thermique de la longueur de LONDON.....	29
2.6 - Application au fil supraconducteur.....	30
2.6.1 - Fil soumis à un champ magnétique.....	30
2.6.2 - Fil parcouru par un courant.....	32
2.6.3 - Fil de petit diamètre parcouru par un courant.....	33
2.6.4 - Généralisation .....	34
2.7 - Expérience d'OCHSENFELD.....	34
2.8 - Supraconducteur non simplement connexe (avec trou) .....	36
2.8.1 - Séquence 1 : refroidissement en champ nul.....	36
2.8.2 - Séquence 2 : refroidissement sous champ .....	37
2.8.3 - Conclusion .....	37
2.9 - Point de vue énergétique.....	38
2.9.1 - Interprétation énergétique de la longueur de LONDON.....	38
Energie magnétique .....	38
Energie cinétique des électrons supraconducteurs.....	38
2.9.2 - Seconde équation de LONDON par méthode variationnelle.....	39
2.10 - Approche de la supraconductivité par la mécanique des fluides .....	41
Trois remarques importantes .....	42
2.11 - Moment de LONDON .....	42
2.11.1 - Approche intuitive .....	42
2.11.2 - Evaluation du moment de LONDON .....	43
2.12 - Equation de LONDON en jauge de LONDON .....	46
2.12.1 - Notion de jauge .....	46
2.12.2 - Jauge de LONDON.....	46
2.12.3 - Seconde équation de LONDON en jauge de LONDON .....	47
2.12.4 - Impulsion $p$ et équation de LONDON.....	48
2.12.5 - Supraconducteur non simplement connexe .....	48
<b>Complément 2A - Dérivation totale et partielle par rapport au temps</b> .....	49
<b>Complément 2B - Propriété d'une fonction harmonique</b> <b>    dont la composante du gradient sur la normale à la surface est nulle</b> .....	50
<b>Complément 2C - Fonctions de BESSEL modifiées</b> .....	51
Au voisinage de l'origine ( $x \rightarrow 0$ ).....	51
Comportements asymptotiques à l'infini ( $x \rightarrow \infty$ ) .....	51
<b>Chapitre 3 - Equations non-locales de PIPPARD</b> .....	53
3.1 - Origine des équations non-locales .....	53
3.2 - Caractère non-local dans les supraconducteurs purs .....	54

3.3 - Longueur de pénétration du champ magnétique.....	55
3.4 - Analyse de FOURIER des équations de PIPPARD .....	56
3.5 - Supraconducteurs « sales ».....	60
<b>Chapitre 4 - Thermodynamique des supraconducteurs de type I.....</b>	<b>63</b>
4.1 - Description thermodynamique.....	64
4.2 - Les variables thermodynamiques de la supraconductivité.....	65
4.2.1 - Equivalence entre courants de LONDON et aimantation.....	65
Matière aimantable .....	65
Matière supraconductrice.....	65
4.2.2 - Systèmes thermodynamiques.....	66
Système solénoïde + matière .....	66
Système matière supraconductrice seule .....	68
4.2.3 - Interprétation de la lévitation des supraconducteurs de type I.....	68
4.3 - Les fonctions thermodynamiques de la supraconductivité .....	69
4.4 - Les données thermodynamiques .....	71
4.4.1 - Equations d'état .....	71
Phase normale .....	71
Phase supraconductrice .....	71
4.4.2 - Chaleurs spécifiques .....	71
Chaleur spécifique de réseau $C^{\text{vib}}$ .....	71
Chaleur spécifique électronique $C_n^{\text{el}}$ en phase normale .....	72
Chaleur spécifique électronique $C_s^{\text{el}}$ en phase supraconductrice .....	73
4.4.3 - Diagramme de phase - Ligne de champ critique .....	73
4.5 - Transition état supraconducteur - état normal.....	75
4.5.1 - Enthalpie libre de condensation .....	75
4.5.2 - Relation entre chaleur spécifique et pente de la ligne de transition.....	76
4.5.3 - Chaleurs latentes de transformation.....	78
4.5.4 - Ordre de la transition de phase.....	79
Transitions du premier ordre.....	80
Transitions du second ordre .....	80
<b>Complément 4 - Les milieux magnétiques .....</b>	<b>81</b>
4C.1 - Champs dans la matière aimantée .....	81
Equivalence aimantation - distribution de courants ampériens .....	81
Courants ampériens dans un cylindre uniformément aimanté.....	82
Champ magnétique B.....	82
Champ H .....	83
Champs B et H dans un cylindre uniformément aimanté .....	83
Champs B et H dans un cylindre infini placé dans un solénoïde.....	84
Ellipsoïde uniformément aimanté .....	85
Cas général.....	86
4C.2 - Travail d'aimantation de la matière .....	88
Travail de charge d'un solénoïde vide.....	88
Travail de charge d'un solénoïde contenant un cylindre de matière .....	89
Travail de la matière aimantée seule.....	89

<b>Chapitre 5 - Etat intermédiaire des supraconducteurs de type I</b> .....	91
5.1 - Critères d'apparition d'une transition S/N.....	91
5.2 - Transition S/N d'un cylindre infini.....	92
5.3 - Transition dans un échantillon de petite taille .....	93
5.3.1 - Film mince .....	93
5.3.2 - Fil de petit diamètre .....	94
5.4 - Effet de forme des échantillons.....	95
5.4.1 - Rappel de résultats de magnétisme .....	95
5.4.2 - Application aux supraconducteurs.....	96
Courants de LONDON comprimés sur la surface .....	96
Courants de LONDON décompressés .....	97
5.5 - Etat intermédiaire dans une sphère .....	98
5.5.1 - Première approche .....	98
5.5.2 - Structure plus réaliste.....	99
5.6 - Etat intermédiaire dans une plaque mince .....	102
5.6.1 - Modèle laminaire .....	102
5.6.2 - Bilan énergétique .....	103
Energie de création d'interfaces.....	103
Energie due à la perturbation du champ magnétique hors de la plaque.....	104
Energie due à la perturbation du champ magnétique dans la plaque.....	104
5.6.3 - Structure d'état intermédiaire de la plaque .....	105
5.7 - Eviter les confusions .....	107
5.8 - Fil parcouru par un courant (modèle d'état intermédiaire) .....	107
5.8.1 - Position du problème .....	107
5.8.2 - Modèle d'état intermédiaire .....	109
5.8.3 - Fil de petit diamètre .....	111
5.9 - Courant critique d'un fil plongé dans un champ magnétique.....	112
5.9.1 - Cas général.....	112
5.9.2 - Champ magnétique appliqué parallèlement à l'axe du fil .....	112
5.9.3 - Champ magnétique appliqué perpendiculairement à l'axe du fil .....	113
<b>Chapitre 6 - Supraconducteurs de type II</b> .....	115
6.1 - Deux types de comportement magnétique.....	115
6.1.1 - Emergence des supraconducteurs de type II.....	115
6.1.2 - Comportement magnétique des supraconducteurs de type II .....	116
Supraconducteur de type I (appelé aussi de PIPPARD) .....	116
Supraconducteur de type II (appelé aussi de LONDON) .....	117
Supraconductivité de surface .....	117
6.1.3 - Répartition des matériaux supraconducteurs .....	117
6.2 - Enthalpie libre magnétique de surface.....	118
6.3 - Filament normal dans un supraconducteur .....	120
6.4 - Enthalpie libre de surface (positive) par défaut de condensation .....	122
6.4.1 - Longueur de cohérence .....	122
6.4.2 - Interprétation géométrique de la longueur de cohérence.....	123

6.4.3 - Enthalpie libre de condensation surfacique .....	124
6.4.4 - Enthalpie libre de surface totale.....	125
6.5 - Vortex et supraconducteurs de type II .....	126
6.5.1 - Description d'un vortex .....	126
6.5.2 - Stabilité des vortex.....	127
Condition de stabilité .....	127
Dépendance en température.....	129
Effet des impuretés .....	130
6.5.3 - Quantification du flux porté par un vortex .....	130
6.5 - Résultats de la théorie GLAG .....	131
6.6 - Réseau de vortex .....	132
6.6.1 - Réseau d'ABRIKOSOV .....	132
6.6.2 - Visualisation des réseaux de vortex.....	134
6.7 - Champ critique $H_{c2}$ .....	136
6.8 - Eléments sur la structure et la dynamique des vortex.....	138
6.8.1 - Pénétration des vortex.....	138
6.8.2 - Diagrammes de phase des vortex.....	140
Cristal de vortex.....	140
Verre de BRAGG.....	140
Verre de vortex .....	140
Liquide de vortex .....	141
Diagramme de phase.....	141
6.9 - Transport de courant dans les supraconducteurs de type II .....	142
6.9.1 - Problématique des supraconducteurs de type II.....	142
6.9.2 - Distribution de la densité de courant .....	142
6.9.3 - Densité de courant critique .....	143
6.10 - Lévitacion en présence de vortex .....	144
6.11 - Quelques illustrations de la diversité de comportement des vortex.....	145
6.11.1 - Effet du champ démagnétisant.....	145
6.11.2 - Réorganisation de vortex sous l'effet d'un courant .....	146
6.11.3 - Répulsion par des surfaces.....	147
6.11.4 - Piégeage de lignes de vortex dans des nanostructures.....	148
6.11.5 - Effet de confinement.....	149
<b>Chapitre 7 - Champs et courants dans les supraconducteurs de type II -</b>	
<b>Modèles d'état critique .....</b>	<b>153</b>
7.1 - Forces subies par les vortex .....	153
7.1.1 - Force sur un vortex créée par un courant électrique.....	154
7.1.2 - Forces d'interaction entre vortex .....	154
Force entre deux vortex .....	154
Force sur un vortex situé dans un groupe de vortex .....	155
Force moyenne, force volumique .....	156
7.2 - Dissipation d'énergie par déplacement de vortex.....	156
7.2.1 - Modèle d'écoulement de vortex.....	157

7.2.2 - Champ électrique induit.....	158
7.2.3 - Origine de la force de freinage - Modèle de BARDEEN-STEPHEN.....	158
7.3 - Densité de courant critique .....	159
7.3.1 - Force d'ancrage.....	159
7.3.2 - Densité de courant critique .....	160
7.3.3 - Retour sur la résistivité d'écoulement de vortex.....	160
7.3.4 - Sauts de vortex .....	162
7.3.5 - Fluage de vortex.....	162
7.3.6 - Autres comportements .....	163
7.4 - Modèles d'état critique .....	163
7.4.1 - Etat critique .....	163
7.4.2 - Lois de comportement.....	164
7.5 - Modèle de BEAN .....	165
7.5.1 - Champ croissant : pénétration des vortex .....	165
7.5.2 - Champ décroissant : profil de champ et distribution des vortex.....	167
7.5.3 - Règles de profil du champ magnétique et de densité de courant (en géométrie plane) .....	168
7.6 - Aimantation d'une plaquette supraconductrice de type II.....	169
7.6.1 - Aimantation d'une plaquette.....	169
7.6.2 - Courbe de première aimantation (modèle de BEAN) .....	170
7.6.3 - Cycle d'hystérésis en modèle de BEAN.....	172
7.6.4 - Cycle d'hystérésis en modèle de KIM-JI .....	174
7.7 - Aimantation en géométrie cylindrique (modèle de BEAN) .....	176
7.7.1 - Cylindre plein, champ magnétique appliqué suivant l'axe.....	176
7.7.2 - Géométrie tubulaire, aimantation du vide.....	178
7.8 - Mise en évidence expérimentale des états critiques .....	179
7.9 - Transport de courant en phase de SCHUBNIKOV .....	180
7.9.1 - Transport de courant en absence de champ extérieur .....	180
7.9.2 - Transport de courant en présence d'un champ extérieur .....	184
<b>Complément 7A - Différents aspects de la force de LORENTZ .....</b>	<b>186</b>
7CA.1 - Introduction .....	186
7CA.2 - Force de LORENTZ .....	187
7CA.3 - Force de LONDON .....	187
Energie d'un vortex .....	187
Energie d'un vortex isolé.....	188
Energie d'interaction entre vortex .....	188
Extension à un vortex dans une densité de courant uniforme.....	189
7CA.4 - Force de MAGNUS.....	190
Sphère dans un fluide en translation .....	190
Vitesse autour d'un cœur de vortex .....	191
Force de MAGNUS .....	191
7CA.5 - Conclusion.....	192
<b>Complément 7B - Modèle de BARDEEN-STEPHEN .....</b>	<b>194</b>
7CB.1 - Articulation du raisonnement .....	194
7CB.2 - Densité de courant .....	194

7CB.3 - Champ électrique extérieur.....	194
7CB.4 - Densité de charge en surface de cœur .....	195
7CB.5 - Champ intérieur .....	196
7CB.6 - Puissance dissipée et résistivité d'écoulement de vortex .....	196
<b>Chapitre 8 - Paires de COOPER - Principaux résultats de la théorie BCS .....</b>	<b>199</b>
8.1 - Gaz d'électrons libres .....	199
8.1.1 - Gaz d'électrons libres à 0 K.....	199
Densité d'états.....	200
Niveau de FERMI.....	201
Effet de la température.....	202
8.2 - Gaz d'électrons à deux particules .....	203
8.2.1 - Fonctions d'onde à deux particules indépendantes.....	203
8.2.2 - Potentiel d'interaction.....	204
8.2.3 - Interaction par l'intermédiaire des phonons .....	205
8.3 - Système de référence .....	207
8.3.1 - Système à une particule .....	207
Système à états dégénérés.....	207
Généralisation à $N$ états dégénérés .....	208
Système à états non-dégénérés .....	209
Généralisation à $N$ états non-dégénérés .....	211
8.3.2 - Systèmes de paires .....	211
8.4 - Paires de COOPER.....	214
8.4.1 - Les états de paires accessibles .....	214
8.4.2 - Définition du zéro des énergies.....	215
8.4.3 - Etat lié de la paire de COOPER à 0 K.....	215
8.4.4 - Fonction d'onde, probabilité de présence .....	216
8.4.5 - Extension de la paire de COOPER .....	218
8.5 - Eléments de la théorie BCS .....	218
8.5.1 - Assemblée de paires de COOPER.....	218
8.5.2 - Etat fondamental .....	219
8.5.3 - Quasiparticules.....	221
8.6 - Conséquences de la structure énergétique .....	222
8.6.1 - Température critique.....	222
8.6.2 - Nature du gap supraconducteur .....	224
8.6.3 - Longueur de cohérence .....	225
8.6.4 - Champ critique - Enthalpie libre de condensation.....	226
8.6.5 - Chaleur spécifique électronique.....	227
8.6.6 - Densité de courant critique .....	228
Métal normal.....	228
Métal en phase supraconductrice .....	230
Bilan énergétique .....	231
8.7 - Les électrons supraconducteurs et la longueur de LONDON.....	232
<b>Complément 8 - Eléments de matrices du potentiel d'interaction entre particules .....</b>	<b>234</b>

<b>Chapitre 9 - Cohérence et quantum de flux</b> .....	235
9.1 - Densité de courant et équation de LONDON .....	235
9.2 - Phase de la fonction d'onde .....	236
9.3 - Quantification du flux .....	237
9.3.1 - Le fluxon .....	237
9.3.2 - Supraconducteur simplement connexe .....	238
9.3.3 - Supraconducteur non-simplement connexe .....	239
9.3.4 - Preuve expérimentale de l'existence des paires de COOPER .....	239
9.4 - Retour sur les jauges .....	242
9.4.1 - Seconde équation de LONDON .....	241
9.4.2 - Supraconducteur simplement connexe .....	241
9.4.3 - Supraconducteur non-simplement connexe .....	242
9.5 - Quantification du flux : application aux vortex .....	242
9.5.1 - Fluxon porté par un vortex isolé .....	242
9.5.2 - Fluxon en réseau d'ABRIKOSOV .....	243
9.5.3 - Vortex confiné .....	244
9.5.4 - Densité de courant autour d'un cœur de vortex .....	245
9.6 - Equation de LONDON généralisée en présence de vortex.....	246
9.7 - Retour sur le moment de LONDON .....	247
<b>Complément 9 - Impulsion (généralisée)</b> .....	249
9C.1 - Mécanique lagrangienne et hamiltonienne.....	249
Notations .....	249
Lagrangien et équations de LAGRANGE .....	249
Lagrangien d'une particule chargée.....	249
Impulsion d'une particule chargée.....	249
Fonction de HAMILTON .....	250
9C.2 - Passage à la mécanique quantique .....	250
Quelques principes.....	250
Impulsion et vecteur d'onde .....	251
Hamiltonien d'une particule dans un champ électromagnétique.....	251
Densité de courant .....	251
9C.3 - Jauge.....	251
<b>Chapitre 10 - Effet JOSEPHSON</b> .....	253
10.1 - Equations de JOSEPHSON dans une jonction SIS.....	253
10.1.1 - Molécule d'hydrogène ionisée .....	254
10.1.2 - Transfert entre blocs supraconducteurs .....	254
10.2 - Effet JOSEPHSON continu (SIS) .....	256
10.2.1 - Courant JOSEPHSON.....	256
10.2.2 - Courant maximum .....	257
Relation d'AMBEGAOKAR et BARATOFF (jonction SIS) .....	257
10.3 - Effet JOSEPHSON alternatif.....	258
10.3.1 - Fréquence de JOSEPHSON .....	258
10.3.2 - Application : représentation du volt.....	258



10.4 - Caractéristique « courant-tension » d'une jonction JOSEPHSON SIS .....	259
10.4.1 - Jonction JOSEPHSON alimentée en tension .....	259
10.4.2 - Modèle RCSJ .....	261
10.4.3 - Equations du système RCJS alimenté en courant .....	262
10.4.4 - Analogie mécanique au modèle RCJS .....	262
10.4.5 - Fréquences caractéristiques .....	263
D'oscillation du pendule libre .....	263
D'oscillation de la phase de jonction à ses bornes .....	265
10.4.6 - Réponses comparées des systèmes mécaniques et RCSJ « alimentés » en couple $\Gamma$ ou intensité $I$ .....	265
Etat initial .....	265
Régime JOSEPHSON .....	265
Seuil critique .....	265
Au-delà des seuils critiques .....	266
Retour en dessous des seuils critiques - Hystérésis .....	266
10.4.7 - Système suramorti .....	266
10.4.8 - Représentations graphiques .....	269
10.4.9 - Amortissement faible et intermédiaire .....	271
10.4.10 - Quelques exemples de jonction SIS .....	272
10.5 - Energie stockée dans une jonction JOSEPHSON (SIS) .....	273
10.6 - Jonction JOSEPHSON soumise à une onde électromagnétique .....	274
10.6.1 - Effets de résonance .....	274
10.6.2 - Marches de SHAPIRO .....	275
10.7 - Jonctions SNS et SCS .....	277
10.7.1 - Effets de proximité, modèle d'ASLAMAZOV-LARKIN .....	277
10.7.2 - Courant JOSEPHSON <i>via</i> les niveaux d'ANDREEV .....	278
Niveaux d'ANDREEV .....	278
Réflexions d'ANDREEV-SAINT JAMES .....	279
Niveau d'ANDREEV .....	280
Courant JOSEPHSON .....	281
10.7.3 - Exemple de jonctions SNS .....	283
10.7.4 - Signature de l'effet JOSEPHSON .....	285
10.8 - Jonctions JOSEPHSON de type $\pi$ .....	285
10.8.1 - Définition et énergie .....	285
10.8.2 - Familles de jonctions JOSEPHSON $\pi$ .....	287
10.8.3 - Jonctions SFS : mécanismes de jonction $\pi$ .....	288
10.9 - Jonction JOSEPHSON : un système à grand nombre d'états .....	292
10.9.1 - Electron sur une chaîne atomique .....	292
10.9.2 - Généralisation .....	294
10.9.3 - Application à l'effet JOSEPHSON .....	294
Première équation de JOSEPHSON .....	296
Energie stockée dans une jonction .....	296
Seconde équation de JOSEPHSON .....	296
10.9.4 - Propriété générale des condensats de BOSE-EINSTEIN .....	296

<b>Complément 10A - Résolution des équations de couplage</b> .....	297
<b>Complément 10B - Jonction JOSEPHSON en régime suramorti</b> .....	299
Equations initiales .....	299
Tension moyenne $\langle V \rangle$ et période T .....	299
Tension moyenne $\langle V \rangle$ en fonction du courant d'alimentation $I$ .....	299
<b>Complément 10C - Jonction JOSEPHSON soumise à une tension alternative</b> .....	301
<b>Chapitre 11- Superconducting QUantum Interference Device « SQUID »</b> .....	303
11.1 - Nature du courant SQUID .....	303
11.2 - rf-SQUID à inductance nulle .....	306
11.2.1 - rf-SQUID non-inductif à une jonction .....	306
11.2.2 - rf-SQUID non-inductif à deux jonctions .....	308
11.3 - rf-SQUID inductif .....	309
11.3.1 - Déphasage magnétique et flux du champ extérieur .....	309
11.3.2 - Fonctionnement du rf-SQUID inductif .....	311
11.4 - rf-SQUID à jonction $\pi$ .....	313
11.5 - SQUID inductif à une jonction : approche énergétique .....	314
11.6 - rf-SQUID à 2 jonctions JOSEPHSON de natures différentes .....	318
11.6.1 - rf-SQUID hétérojonction à inductance nulle .....	318
11.6.2 - rf-SQUID hétérojonction d'inductance significative .....	319
11.7 - Lecture du rf-SQUID .....	321
11.8 - DC-SQUID (SQUID à polarisation en courant continu) .....	321
11.8.1 - Principe du DC-SQUID .....	321
DC-SQUID à inductance nulle ( $\beta_L = 0$ ) .....	322
DC-SQUID inductif ( $\beta_L \neq 0$ ) .....	324
11.8.2 - DC-SQUID en régime suramorti .....	324
11.8.3 - Lecture du DC-SQUID .....	324
11.8.4 - DC-SQUID hétérojonction .....	325
<b>Chapitre 12 - Jonctions JOSEPHSON sous champ magnétique</b> .....	329
12.1 - Champ magnétique dans une jonction étroite .....	329
12.2 - Courant dans une jonction JOSEPHSON étroite soumise à un champ magnétique ...	332
12.3 - Jonction $0-\pi$ étroite sous champ magnétique .....	337
12.4 - Cas général d'une jonction sous champ magnétique .....	339
12.4.1 - Longueur de JOSEPHSON .....	339
12.4.2 - Equations générales .....	340
12.4.3 - Comportement en champ très faible .....	341
12.4.4 - Cas particulier de la jonction étroite .....	343
12.5 - Jonction JOSEPHSON large sous champ magnétique .....	343
12.5.1 - Analogie mécanique .....	343
12.5.2 - Mouvements remarquables du pendule .....	346
Scénario I .....	346
Scénario II .....	347
12.5.3 - Jonction large en régime MEISSNER .....	348

12.5.4 - Jonction large en régime de vortex .....	351
12.5.5 - Vortex de JOSEPHSON isolé .....	352
12.6 - Transport de courant dans une jonction JOSEPHSON large .....	354
12.6.1 - Jonction large parcourue par un courant .....	354
12.6.2 - Jonction JOSEPHSON soumise à un champ magnétique et parcourue par un courant.....	357
Régime MEISSNER.....	357
Régime vortex.....	358
12.7 - Demi fluxon au raccordement $0-\pi$ d'une jonction JOSEPHSON hybride .....	358
<b>Complément 12 - Déphasage entre les blocs supraconducteurs</b>	
<b>au sein d'une jonction <math>0-\pi</math> infinie</b> .....	362
12C.1 - Les équations qui gouvernent la jonction.....	362
12C.2 - Conditions aux limites.....	362
12C.3 - Profil du déphasage .....	363
<b>Notations</b> .....	365
<b>Ouvrages bibliographiques</b> .....	371
<b>Index</b> .....	373