

TABLE DES MATIÈRES

| | |
|--|----|
| Chapitre 1 - Introduction | 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 |
| Chapitre 2 - Théorie de LONDON | 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 λ_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 |
| Complément 2A - Dérivation totale et partielle par rapport au temps..... | 49 |
| Complément 2B - Propriété d'une fonction harmonique | |
| dont la composante du gradient sur la normale à la surface est nulle..... | 50 |
| Complément 2C - Fonctions de BESSEL modifiées..... | 51 |
| Au voisinage de l'origine ($x \rightarrow 0$)..... | 51 |
| Comportements asymptotiques à l'infini ($x \rightarrow \infty$)..... | 51 |
| Chapitre 3 - Equations non-locales de PIPPARD..... | 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 |
| Chapitre 4 - Thermodynamique des supraconducteurs de type I | 63 |
| 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^{vib} | 71 |
| Chaleur spécifique électronique C_n^{el} en phase normale | 72 |
| Chaleur spécifique électronique C_s^{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 |
| Complément 4 - Les milieux magnétiques | 81 |
| 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 |

| | |
|---|-----|
| Chapitre 5 - Etat intermédiaire des supraconducteurs de type I | 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 |
| Chapitre 6 - Supraconducteurs de type II | 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 - Lévitiation 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 |
| Chapitre 7 - Champs et courants dans les supraconducteurs de type II - | |
| Modèles d'état critique | 153 |
| 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 |
| Complément 7A - Différents aspects de la force de LORENTZ | 186 |
| 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 |
| Complément 7B - Modèle de BARDEEN-STEPHEN | 194 |
| 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 |
| Chapitre 8 - Paires de COOPER - Principaux résultats de la théorie BCS | 199 |
| 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 |
| Complément 8 - Eléments de matrices du potentiel d'interaction entre particules | 234 |

| | |
|--|-----|
| Chapitre 9 - Cohérence et quantum de flux | 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 |
| Complément 9 - Impulsion (généralisée) | 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 |
| Chapitre 10 - Effet JOSEPHSON | 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 Γ 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 π | 285 |
| 10.8.1 - Définition et énergie | 285 |
| 10.8.2 - Familles de jonctions JOSEPHSON π | 287 |
| 10.8.3 - Jonctions SFS : mécanismes de jonction π | 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 |

| | |
|--|-----|
| Complément 10A - Résolution des équations de couplage | 297 |
| Complément 10B - Jonction JOSEPHSON en régime suramorti | 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 |
| Complément 10C - Jonction JOSEPHSON soumise à une tension alternative | 301 |
| Chapitre 11 - Superconducting QUantum Interference Device « SQUID » | 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 π | 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 |
| Chapitre 12 - Jonctions JOSEPHSON sous champ magnétique | 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 |
| Complément 12 - Déphasage entre les blocs supraconducteurs au sein d'une jonction $0-\pi$ infinie | 362 |
| 12C.1 - Les équations qui gouvernent la jonction..... | 362 |
| 12C.2 - Conditions aux limites..... | 362 |
| 12C.3 - Profil du déphasage | 363 |
| Notations | 365 |
| Ouvrages bibliographiques | 371 |
| Index | 373 |