

Table des matières

Chapitre I - INTRODUCTION	1
1- Matériaux anciens et matériaux modernes	1
2- Classification des matériaux	2
2.1. Classement des matériaux selon leur microstructure	2
2.2. Classement des matériaux selon leur emploi	4
3- Plan de l'ouvrage	5

Partie A : DE LA MICROSTRUCTURE A LA MACROSTRUCTURE DES MATERIAUX

Chapitre II - ELEMENTS DE PHYSIQUE ATOMIQUE	7
1- Bases de la mécanique quantique	8
1.1. Equivalence masse – énergie	8
1.2. Dualité ondes – corpuscules	8
1.3. Principe d'exclusion de Pauli	10
1.4. Principe d'incertitude de Heisenberg	10
1.5. Quelques rappels sur les propriétés des ondes	10
1.6. Ondes associées aux particules	13
1.7. Notion de paquet d'ondes	14
1.8. Ondes stationnaires	15
2- Equation de Schrödinger	17
2.1. Equation de Schrödinger indépendante du temps	17
2.2. Energie potentielle d'une particule	17
2.3. Solutions de l'équation de Schrödinger	18
3- Electrons dans les atomes	19
3.1. Moments cinétiques et moments magnétiques	19
3.2. Structure électronique des atomes	24
4- Formes des orbitales atomiques	29
4.1. Représentation radiale des orbitales atomiques	29
4.2. Représentation angulaire des orbitales atomiques	29
4.3. Autres représentations	30
5- Liaisons atomiques	31
5.1. Liaisons fortes	31
5.2. Liaisons faibles	33
5.3. Propriétés induites par le type de liaison	34
6- Exercices	35

Chapitre III - SOLIDES CRISTALLINS	37
1- Stabilité des solides	37
2- Concepts des structures cristallines	40
2.1. Loi de la constance des angles dièdres	41
2.2. Loi des tronçatures	41
2.3. Forme macroscopique des cristaux	43
3- Réseau périodique	44
3.1. Rangées et plans réticulaires	45
3.2. Maille élémentaire et maille conventionnelle	45
4- Systèmes cristallins	46
4.1. Réseaux de Bravais	46
4.2. Symétries cristallines	48
5- Indices de Miller	49
5.1. Cas des plans	49
5.2. Cas des directions	50
5.3. Distances entre plans	51
5.4. Cas particulier du système hexagonal	52
5.5. Plans de grande densité	52

6- Quelques structures types	53
7- Cristaux métalliques	54
8- Cristaux céramiques	56
8.1. Exemple des silicates	56
8.2. Exemple des pérowskites	57
9- Défauts des structures cristallines	58
9.1. Types de défauts	58
9.2. Défauts ponctuels	59
9.3. Défauts linéaires : dislocations	60
9.4. Défauts plans : joints de grains	63
10- Quasicristaux	64
11- Exercices	66
Chapitre IV - SOLIDES NON CRISTALLINS OU PARTIEL. CRISTALLINS	69
1- Structure des verres	69
2- Structures des polymères	72
2.1. Macromolécules	72
2.2. Configurations des macromolécules	73
2.3. Liaisons entre les atomes des macromolécules	74
2.4. Polymères réguliers	77
2.5. Polymères cristallins et non cristallins	79
2.6. Polymères thermodurcis	83
3- Exercices	85
Chapitre V - PROPRIETES ELASTOPLASTIQUES MICROSCOPIQUES	87
1- Contraintes et déformations	87
1.1. Contraintes	87
1.2. Déformation d'un milieu continu	90
1.3. Relation contrainte déformation : élasticité	91
2- Déformation élastique microscopique	93
2.1. Loi de Hooke	93
2.2. Agitation thermique et dilatation	94
3- Vibrations des réseaux cristallins	95
3.1. Premiers modèles	95
3.2. Ondes élastiques dans les cristaux	97
4- Déformation plastique des cristaux	99
4.1. Glissements dans les monocristaux	99
4.2. Consolidation des monocristaux	101
4.3. Limite élastique des cristaux	102
5- Rôle des dislocations	103
5.1. Mécanisme de cisaillement	103
5.2. Propriétés élastiques des dislocations	104
5.3. Durcissement structural	108
6- Exercices	109
Chapitre VI - PROPRIETES PHYSIQUES	111
1- Matériaux conducteurs	111
1.1. Rappels	111
1.2. Loi de Wiedemann-Franz	112
1.3. Modèle de Sommerfeld	113
1.4. Statistique de Fermi-Dirac	117
1.5. Modèle des bandes d'énergie	119
1.6. Conducteurs, isolants et semiconducteurs	121
2- Matériaux semiconducteurs	123
2.1. Zones de Brillouin	123
2.2. Masse effective, conduction par électrons et trous	125
2.3. Bandes d'énergie dans un cristal tridimensionnel	127
2.4. Densité d'états dans les bandes permises	128
3- Matériaux diélectriques	129

3.1. Propriétés des diélectriques	129
3.2. Interprétation physique de la polarisation électrique	130
3.3. Piézoélectricité	132
3.4. Ferroélectricité	133
4- Matériaux magnétiques	134
4.1. Induction magnétique	134
4.2. Diamagnétisme et paramagnétisme	135
4.3. Ferromagnétisme	136
5- Exercices	143
Chapitre VII - ATOMES ETRANGERS DANS LES SOLIDES CRISTALLINS	145
1- Solutions solides	145
1.1. Types de solutions solides	145
1.2. Solutions d'insertion	146
1.3. Solutions de substitution	149
1.4. Solutions solides ordonnées	149
1.5. Phases intermédiaires	150
2- Diffusion dans les solides	151
2.1. Diffusion et autodiffusion	151
2.2. Equations de Fick	152
2.3. Solutions des équations de Fick	154
3- Exercices	155
Chapitre VIII - ETUDE EXPERIMENTALE DES MICROSTRUCTURES	157
1- Matérialographie optique	157
2- Microscopies électroniques	159
2.1. Microscopes électroniques à transmission	159
2.2. Microscopes électroniques à balayage	160
3- Rayons X	162
3.1. Nature des rayons X	162
3.2. Production des rayons X	162
3.3. Etude spectrale du rayonnement X	163
3.4. Interaction des rayons X avec la matière	165
4- Radiographie industrielle	168
5- Diffraction des rayons X par les cristaux	169
5.1. Diffusion des rayons X par les électrons	169
5.2. Loi de Bragg	170
5.3. Facteur de structure d'un cristal	171
5.4. Méthodes de la radiocristallographie	173
6- Vers d'autres techniques	177
6.1. Analyse des matériaux vitreux	177
6.2. Utilisation des neutrons	177
6.3. Utilisation de la lumière infrarouge	178
7- Exercices	179

Partie B : TRANSITIONS DE PHASES DANS LES MATERIAUX

Chapitre IX - THERMODYNAMIQUE ET TRANSITIONS	181
1- Eléments de thermodynamique	181
1.1. Rappels des fondements de la thermodynamique	181
1.2. Propriétés de l'enthalpie libre	182
1.3. Energie superficielle	183
2- Définitions des transitions	184
2.1. Présentation des transitions	184
2.2. Classification des transitions	185
3- Equilibres de phases	186
3.1. Règle des phases	186
3.2. Etude expérimentale de la solidification d'un matériau cristallin	187

4- Germination	188
4.1. Germination homogène	188
4.2. Germination hétérogène	189
5- Exercices	190
Chapitre X - SOLIDIFICATION ET TRANSFORMATIONS A L'ETAT SOLIDE	191
1- Diagrammes de solidification d'un alliage	191
1.1. Principe	191
1.2. Règles de lecture des diagrammes de solidification	192
2- Principaux diagrammes de solidification	193
2.1. Solution solide illimitée	193
2.2. Transformation eutectique	194
2.3. Transformation péritectique	195
2.4. Formation d'une combinaison chimique du type A_xB_y	197
2.5. Remarques	198
3- Mécanismes de solidification	198
3.1. Hétérogénéités des solutions solides	198
3.2. Coefficient de ségrégation	199
3.3. Microstructures de solidification des alliages	200
3.4. Application de la ségrégation à la purification des matériaux	204
4- Systèmes ternaires	205
4.1. Représentation des diagrammes ternaires	205
4.2. Formes des diagrammes ternaires	206
5- Transformations à l'état solide	208
5.1. Transformations allotropiques	208
5.2. Réactions de précipitation	210
5.3. Transformations eutectoïdes	212
5.4. Solubilité partielle à basse température	212
5.5. Ecrouissage et recristallisation	213
5.6. Transformations martensitiques	216
6- Obtention de solides par frittage	217
7- Exercices	218
Chapitre XI - TRANSITION VITREUSE	221
1- Introduction	221
2- Transition vitreuse	223
2.1. Volume spécifique et température	223
2.2. Volume libre	224
3- Autres transitions	225
4- Exercices	226
Partie C : ESSAIS MECANIQUES ET LOIS DE COMPORTEMENT DES MATERIAUX	
Chapitre XII - ESSAIS MECANIQUES	227
1- Essais de dureté	228
2- Essais de traction	229
2.1. Machines et appareils de mesure des déformations	229
2.2. Rigidité des machines de traction	230
2.3. Eprouvettes de traction	232
2.4. Formes générales des courbes de traction	232
2.5. Courbes rationnelles de traction	234
3- Autres essais mécaniques	235
3.1. Essais de compression	235
3.2. Essais de flexion	235
4- Exercices	236
Chapitre XIII - RHEOLOGIE	237

1- Comportements élastique et viscoélastique	238
1.1. Solides élastiques	238
1.2. Matériaux visqueux	240
1.3. Solides viscoélastiques	241
1.4. Equivalence temps-température dans les polymères	244
2- Comportements plastique et viscoplastique	245
2.1. Solides plastiques	245
2.2. Solides viscoplastiques	246
2.3. Lois du fluage	247
3- Comportement élastoplastique	252
3.1. Ecrouissage monotone	252
3.2. Ecrouissage cyclique et accommodation	253
3.3. Critères de plasticité	255
3.4. Limite élastique des polycristaux	255
3.5. Plasticité discontinue	256
3.6. Effet Bauschinger	257
4- Exercices	257
<i>Chapitre XIV - ENDOMMAGEMENT ET RUINE DES MATERIAUX</i>	259
1- Endommagement des matériaux	259
2- Rupture ductile et rupture fragile	262
2.1. Caractères des ruptures ductile et fragile	262
2.2. Transition ductile-fragile	264
3- Mécanique de la rupture et ténacité	267
3.1. Introduction	267
3.2. Théorie de la rupture de Griffith	268
3.3. Contraintes au voisinage d'une fissure chargée	270
3.4. Condition de propagation des fissures	272
3.5. Mécanismes de propagation des fissures	273
3.6. Méthodes de mesure de K_{Ic}	274
3.7. Maîtrise de la rupture fragile	275
3.8. Cas des céramiques, statistique de Weibull	276
4- Rupture par fluage	278
5- Endommagement et rupture par fatigue	279
5.1. Caractères des ruptures de fatigue	279
5.2. Lois générales de la fatigue	281
5.3. Dispersion statistique des ruptures de fatigue	282
5.4. Paramètres de la tenue en fatigue	283
5.5. Fatigue oligocyclique	284
5.6. Interprétation physique de la fatigue	285
5.7. Essais de fatigue	289
6- Exercices	292
Solutions des exercices	293
Pour en savoir plus...	308
Index	309