

# Table des matières

<b>Chapitre I - INTRODUCTION</b>	<b>1</b>
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

<b>Partie A : DE LA MICROSTRUCTURE A LA MACROSTRUCTURE DES MATERIAUX</b>
--

<b>Chapitre II - ELEMENTS DE PHYSIQUE ATOMIQUE</b>	<b>7</b>
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

<b>Chapitre III - SOLIDES CRISTALLINS</b>	<b>37</b>
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 troncatures	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

<b>6- Quelques structures types</b>	<b>53</b>
<b>7- Cristaux métalliques</b>	<b>54</b>
<b>8- Cristaux céramiques</b>	<b>56</b>
8.1. Exemple des silicates	56
8.2. Exemple des pérowskites	57
<b>9- Défauts des structures cristallines</b>	<b>58</b>
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
<b>10- Quasicristaux</b>	<b>64</b>
<b>11- Exercices</b>	<b>66</b>
<b>Chapitre IV - SOLIDES NON CRISTALLINS OU PARTIEL. CRISTALLINS</b>	<b>69</b>
<b>1- Structure des verres</b>	<b>69</b>
<b>2- Structures des polymères</b>	<b>72</b>
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
<b>3- Exercices</b>	<b>85</b>
<b>Chapitre V - PROPRIETES ELASTOPLASTIQUES MICROSCOPIQUES</b>	<b>87</b>
<b>1- Contraintes et déformations</b>	<b>87</b>
1.1. Contraintes	87
1.2. Déformation d'un milieu continu	90
1.3. Relation contrainte déformation : élasticité	91
<b>2- Déformation élastique microscopique</b>	<b>93</b>
2.1. Loi de Hooke	93
2.2. Agitation thermique et dilatation	94
<b>3- Vibrations des réseaux cristallins</b>	<b>95</b>
3.1. Premiers modèles	95
3.2. Ondes élastiques dans les cristaux	97
<b>4- Déformation plastique des cristaux</b>	<b>99</b>
4.1. Glissements dans les monocristaux	99
4.2. Consolidation des monocristaux	101
4.3. Limite élastique des cristaux	102
<b>5- Rôle des dislocations</b>	<b>103</b>
5.1. Mécanisme de cisaillement	103
5.2. Propriétés élastiques des dislocations	104
5.3. Durcissement structural	108
<b>6- Exercices</b>	<b>109</b>
<b>Chapitre VI - PROPRIETES PHYSIQUES</b>	<b>111</b>
<b>1- Matériaux conducteurs</b>	<b>111</b>
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
<b>2- Matériaux semiconducteurs</b>	<b>123</b>
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
<b>3- Matériaux diélectriques</b>	<b>129</b>

3.1. Propriétés des diélectriques	129
3.2. Interprétation physique de la polarisation électrique	130
3.3. Piézoélectricité	132
3.4. Ferroélectricité	133
<b>4- Matériaux magnétiques</b>	<b>134</b>
4.1. Induction magnétique	134
4.2. Diamagnétisme et paramagnétisme	135
4.3. Ferromagnétisme	136
<b>5- Exercices</b>	<b>143</b>
<b>Chapitre VII - ATOMES ETRANGERS DANS LES SOLIDES CRISTALLINS</b>	<b>145</b>
<b>1- Solutions solides</b>	<b>145</b>
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
<b>2- Diffusion dans les solides</b>	<b>151</b>
2.1. Diffusion et autodiffusion	151
2.2. Equations de Fick	152
2.3. Solutions des équations de Fick	154
<b>3- Exercices</b>	<b>155</b>
<b>Chapitre VIII - ETUDE EXPERIMENTALE DES MICROSTRUCTURES</b>	<b>157</b>
<b>1- Matérialographie optique</b>	<b>157</b>
<b>2- Microscopies électroniques</b>	<b>159</b>
2.1. Microscopes électroniques à transmission	159
2.2. Microscopes électroniques à balayage	160
<b>3- Rayons X</b>	<b>162</b>
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
<b>4- Radiographie industrielle</b>	<b>168</b>
<b>5- Diffraction des rayons X par les cristaux</b>	<b>169</b>
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
<b>6- Vers d'autres techniques</b>	<b>177</b>
6.1. Analyse des matériaux vitreux	177
6.2. Utilisation des neutrons	177
6.3. Utilisation de la lumière infrarouge	178
<b>7- Exercices</b>	<b>179</b>

<p><b>Partie B : TRANSITIONS DE PHASES DANS LES MATERIAUX</b></p>
---

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

<b>4- Germination</b>	<b>188</b>
4.1. Germination homogène	188
4.2. Germination hétérogène	189
<b>5- Exercices</b>	<b>190</b>
<b>Chapitre X - SOLIDIFICATION ET TRANSFORMATIONS A L'ETAT SOLIDE</b>	<b>191</b>
<b>1- Diagrammes de solidification d'un alliage</b>	<b>191</b>
1.1. Principe	191
1.2. Règles de lecture des diagrammes de solidification	192
<b>2- Principaux diagrammes de solidification</b>	<b>193</b>
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
<b>3- Mécanismes de solidification</b>	<b>198</b>
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
<b>4- Systèmes ternaires</b>	<b>205</b>
4.1. Représentation des diagrammes ternaires	205
4.2. Formes des diagrammes ternaires	206
<b>5- Transformations à l'état solide</b>	<b>208</b>
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
<b>6- Obtention de solides par frittage</b>	<b>217</b>
<b>7- Exercices</b>	<b>218</b>
<b>Chapitre XI - TRANSITION VITREUSE</b>	<b>221</b>
<b>1- Introduction</b>	<b>221</b>
<b>2- Transition vitreuse</b>	<b>223</b>
2.1. Volume spécifique et température	223
2.2. Volume libre	224
<b>3- Autres transitions</b>	<b>225</b>
<b>4- Exercices</b>	<b>226</b>
<b>Partie C : ESSAIS MECANIQUES ET LOIS DE COMPORTEMENT DES MATERIAUX</b>	
<b>Chapitre XII - ESSAIS MECANIQUES</b>	<b>227</b>
<b>1- Essais de dureté</b>	<b>228</b>
<b>2- Essais de traction</b>	<b>229</b>
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
<b>3- Autres essais mécaniques</b>	<b>235</b>
3.1. Essais de compression	235
3.2. Essais de flexion	235
<b>4- Exercices</b>	<b>236</b>
<b>Chapitre XIII - RHEOLOGIE</b>	<b>237</b>

<b>1- Comportements élastique et viscoélastique</b>	<b>238</b>
1.1. Solides élastiques	238
1.2. Matériaux visqueux	240
1.3. Solides viscoélastiques	241
1.4. Equivalence temps-température dans les polymères	244
<b>2- Comportements plastique et viscoplastique</b>	<b>245</b>
2.1. Solides plastiques	245
2.2. Solides viscoplastiques	246
2.3. Lois du fluage	247
<b>3- Comportement élastoplastique</b>	<b>252</b>
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
<b>4- Exercices</b>	<b>257</b>
<b><i>Chapitre XIV - ENDOMMAGEMENT ET RUINE DES MATERIAUX</i></b>	<b>259</b>
<b>1- Endommagement des matériaux</b>	<b>259</b>
<b>2- Rupture ductile et rupture fragile</b>	<b>262</b>
2.1. Caractères des ruptures ductile et fragile	262
2.2. Transition ductile-fragile	264
<b>3- Mécanique de la rupture et ténacité</b>	<b>267</b>
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
<b>4- Rupture par fluage</b>	<b>278</b>
<b>5- Endommagement et rupture par fatigue</b>	<b>279</b>
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
<b>6- Exercices</b>	<b>292</b>
<b>Solutions des exercices</b>	<b>293</b>
<b>Pour en savoir plus...</b>	<b>308</b>
<b>Index</b>	<b>309</b>