

SCIENCES SUP

*Exercices corrigés*

Licence • Master • Écoles d'ingénieurs

# EXERCICES ET PROBLÈMES DE SCIENCES DES MATÉRIAUX

*Michel Dupeux  
Jacques Gerbaud*

DUNOD

# TABLE DES MATIÈRES

<b>Avant-Propos</b>	1
<b>Thème 1 • Disponibilité et coût des matériaux</b>	3
<b>Énoncés</b>	3
1.1 (★) Ressources et réserves de matières premières	3
1.2 (★★) Gestion du cycle de vie des matériaux et des produits	3
1.3 (★★) Croissance de la consommation mondiale de papier	4
1.4 (★★★) Épuisement des réserves pétrolières	5
1.5 (★★★) Croissance de la production mondiale d'acier	6
1.6 (★★) Estimation de coût d'une pièce manufacturée	7
1.7 (★★★) Modèle des rendements d'adaptation	8
<b>Solutions</b>	9
<b>Thème 2 • Composition chimique, cristallographie, microstructure</b>	17
<b>Énoncés</b>	17
2.1 (★) Nature des matériaux, liaisons entre atomes	17
2.2 (★) Structure des matériaux	17
2.3 (★★) Mobilité atomique	18
2.4 (★) Définition d'un cristal	18
2.5 (★) Solutions solides	18
2.6 (★) Défauts cristallins : défauts ponctuels	18
2.7 (★★) Défauts cristallins : dislocations	19
2.8 (★★★) Observation des microstructures	21
2.9 (★★) Composé défini ordonné	21
2.10 (★★) Fer $\alpha$ cubique centré	22
2.11 (★★★) Réseau cubique à faces centrées	23
2.12 (★★★) Calcul des distances réticulaires dans un réseau orthorhombique et dans un réseau cubique	23
<b>Solutions</b>	24
<b>Thème 3 • Diagrammes d'équilibre de phases et applications</b>	33
<b>Énoncés</b>	33
3.1 (★) Règle de la variance	33
3.2 (★) Phases, constitution, concentrations et composition	33
3.3 (★★) Apéritifs anisés (à consommer avec modération !)	33
3.4 (★) Concentrations massiques/concentrations atomiques	34

## Table des matières

3.5 (★★) Diagramme d'équilibre de phases cuivre - nickel	35
3.6 (★★) Diagramme d'équilibre de phases platine-rhénium	35
3.7 (★★) Diagramme d'équilibre de phases eau-sel	36
3.8 (★★) Diagramme d'équilibre de phases aluminium-cuivre	37
3.9 (★★) Microstructure des aciers	38
3.10 (★★★) Diagramme d'équilibre de phases étain-plomb	39
3.11 (★★) Diagramme d'équilibre Ag-Cu - Construction de Tamman	39
3.12 (★★★) Diagrammes Fe-C.	41
3.13 (★★) Lecture sur un diagramme d'équilibre ternaire.	42
3.14 (★★★) Calcul de charge d'un four électrique de refusion.	43
3.15 (★★) Analyse d'un diagramme d'équilibre ternaire.	44
Solutions	44
<b>Thème 4 - Transformations de phases, solidification réelle, ségrégation</b>	<b>67</b>
Énoncés	67
4.1 (★) Transformations diffusives et transformations displacives	67
4.2 (★) Diagrammes TTT et TRC	67
4.3 (★★) Températures de fusion	68
4.4 (★) Analyse thermique d'une solidification	69
4.5 (★★★) Taille critique des germes de solidification ; surfusion	69
4.6 (★★★) Réchauffage d'un barreau Cu-Ni à gradient de composition	71
4.7 (★★★) Cinétiques de diffusion à l'état liquide et à l'état solide – Microstructures hors d'équilibre	72
4.8 (★★★) Ségrégation et solidus réel	73
Solutions	74
<b>Thème 5 - Propriétés mécaniques, élasticité et plasticité, durcissement et adoucissement</b>	<b>85</b>
Énoncés	85
5.1. (★) Vocabulaire : propriétés fonctionnelles et caractéristiques mécaniques	85
5.2. (★) Propriétés mécaniques et courbe de traction	85
5.3. (★) Évolution relative des propriétés mécaniques	86
5.4. (★) Dépouillement d'une courbe de traction	86
5.5. (★★★) Estimation du module d'élasticité – Correction de rigidité	87
5.6. (★★) Déformation élastique	87
5.7. (★★) Courbes de fluage	87
5.8. (★★) Plans de glissement et ductilité	88
5.9. (★★★) Déformation plastique d'un monocristal C.F.C. – Facteur de Schmid	89
5.10. (★★) Durcissement par précipitation	90
5.11. (★★★) Mécanismes de durcissement	91
5.12. (★★★) Pliage d'une tôle	92
Solutions	93
<b>Thème 6 - Traitements thermomécaniques des métaux et alliages</b>	<b>103</b>
Énoncés	103
6.1 (★) Cycle écrouissage/recuit	103
6.2 (★) Traitements de surface	104
6.3 (★★) Température de recristallisation	104

6.4 (★★★) Recristallisation de l'aluminium	104
6.5 (★★) Trempe et revenu de l'alliage d'aluminium 2017	106
6.6 (★) Lecture du diagramme TRC d'un acier	108
6.7 (★) Lecture du diagramme TTT d'un acier	108
6.8 (★★) Cémentation d'un acier doux	109
6.9 (★★★) Trempe et revenu de pièces en acier	109
6.10 (★★★) Essai de trempabilité Jominy	111
Documentation	114
Solutions	115
<b>Thème 7 • Maîtrise des propriétés et mise en œuvre</b>	127
Énoncés	127
7.1 (★) Mise en œuvre, microstructure et propriétés mécaniques	127
7.2. (★★) Propriétés mécaniques et mise en œuvre d'une tôle d'acier	127
7.3. (★★) Fabrication de ressorts hélicoïdaux	129
7.4. (★★★) Cémentation d'une pièce massive en acier doux	130
7.5. (★★★) Frittage et filtre métallique	132
Solutions	133
<b>Thème 8 • Endommagement mécanique, durée de vie en service</b>	141
Énoncés	141
8.1. (★) Endommagement et rupture brutale	141
8.2. (★) Défauts et rupture brutale	141
8.3. (★) Fatigue et endurance	142
8.4. (★★) Caractérisation d'un matériau en fatigue	143
8.5. (★★) Loi de Paris en fatigue	143
8.6. (★★★) Tenue en service d'une aile d'avion	144
8.7 (★★) Usure d'un palier	145
8.8. (★★) Fluage d'une canalisation sous pression	146
8.9. (★★★) Relaxation d'une vis en tension	147
8.10. (★★★) Plasticité et rupture d'un réservoir sous pression	148
Solutions	149
<b>Thème 9 • Endommagement chimique – Oxydation, corrosion</b>	159
Énoncés	159
9.1 (★) Corrosion chimique et corrosion électrochimique	159
9.2 (★) Corrosion d'une pièce en acier	160
9.3 (★) Corrosion galvanique	160
9.4. (★★) Canalisation souterraine	161
9.5. (★★★) Acier inoxydable et corrosion	162
Solutions	163
<b>Thème 10 • Polymères</b>	167
Énoncés	167
10.1 (★) Polymères et liaisons interatomiques	167
10.2 (★) Monomères et polymères	167
10.3 (★) Mode de synthèse et structure des macromolécules	168
10.4. (★) Polymères et structures macromoléculaires	168

## Table des matières

10.5 (★) Structure macromoléculaire et comportement	168
10.6 (★) Propriétés d'usage des polymères	169
10.7 (★★) Degré de polymérisation	169
10.8 (★★★) Cristallinité du polyéthylène	170
10.9 (★★★) Réticulation d'un élastomère	170
10.10. (★★★) Polymères et environnement	170
10.11. (★★★) Relaxation d'un polymère	171
Solutions	171
<b>Thème 11 • Composites</b>	177
Énoncés	177
11.1 (★) Propriétés attribuées à la matrice et aux renforts	177
11.2 (★) Connaissance des renforts	177
11.3 (★) Comportement mécanique	177
11.4 (★★) Loi des mélanges	179
11.5 (★★) Fraction massique et fraction volumétrique	179
11.6. (★★) Influence de l'orientation des renforts	179
11.7. (★★★) Longueur de transfert d'une fibre courte	180
11.8. (★★★) Pale d'hélicoptère	181
11.9. (★★★) Arbre de transmission	182
Solutions	184
<b>Thème 12 • Matériaux minéraux</b>	191
Énoncés	191
12.1 (★) Liaisons chimiques et propriétés d'usage des minéraux	191
12.2 (★) Mise en forme des matériaux minéraux	191
12.3 (★) Caractéristiques mécaniques des céramiques et des verres	192
12.4 (★★) Caractéristiques des bétons	192
12.5 (★★) Densification et retrait au frittage	193
12.6 (★★) Surface spécifique des poudres	194
12.7 (★★★) Tenue d'un minéral au choc thermique	194
12.8 (★★★) Statistique de Weibull de la rupture fragile	195
Solutions	196
<b>Thème 13 • Sélection des matériaux en conception et production</b>	205
Énoncés	205
13.1 (★) Exigences fonctionnelles et caractéristiques des matériaux	205
13.2 (★) Fonction, objectif et contrainte	206
13.3 (★★) Indice de performance – Cas d'un conducteur électrique	207
13.4 (★) Sélection graphique par un indice de performance et une carte de propriétés	208
13.5 (★★) Choix de matériau pour un barreau en compression	209
13.6 (★★★) Choix d'un couple matériau + procédé	211
13.7 (★★★) Choix d'un traitement de surface	214
13.8 (★★★) Tapis de convoyeur de four à haute température	215
Solutions	218