

MÉCANIQUE & MATÉRIAUX

Cours
et exercices
corrigés

Introduction
au comportement
mécanique
des matériaux

Préface de Nicolas Moës,
de l'Académie des sciences

Tanguy Rouxel



Table des matières

I. Vu, de mes propres yeux vu !	15
I.1 Cinématique	15
I.2 Mesure du déplacement	18
I.3 Echelle d'observation et forme locale de la déformation	21
I.4 Histoires d'atomes et de molécules	22
I.5 Histoires de poutres et de plaques	26
II. Contraint et forcé !	29
II.1 Actions mécaniques	29
II.2 Contraint mais résistant	31
II.3 Contrainte locale	34
II.4 Travail mécanique et considérations énergétiques	37
II.5 Rigidité ou mobilité : contraintes topologiques	41
II.6 Explication mécanique des formes	44
II.7 Systèmes articulés et tenségrité	47
III. Qui plie mais ne rompt pas !	51
III.1 Elasticité dérivée du potentiel d'interaction entre atomes	51
III.2 Ecart à la linéarité	56
III.3 Modules d'élasticité et loi de comportement	57
III.4 Et l'entropie dans tout ça...	60
III.5 Ce que dit le coefficient de Poisson	62
III.6 Instabilités	66
IV. Comme elle a l'éclat du verre, elle en a la fragilité !	71
IV.1 Les matériaux fragiles	71
IV.2 Contrainte théorique de rupture	73
IV.3 Défauts et singularités	76
IV.4 Ténacité	79
IV.5 Energie de surface de fracture	81
IV.6 Effets d'échelle	85
IV.7 Rupture ductile	89
V. Solide ou liquide ? Fragile ou ductile ?	93
V.1 Une question de température, de pression, et de vitesse	93
V.2 Déborah et le temps de relaxation caractéristique	96

V.3 Résilience	99
V.4 Le caramel, le bitume, et le vitrail	101
V.5 Le Titanic, l'acier damassé, et l'acier à ferrer les ânes	103
V.6 Ductilisation, fragilisation, ou renforcement par des impuretés	106
VI. Plastique ou visqueux ?	111
VI.1 Au commencement : la limite d'élasticité	111
VI.2 Critère d'écoulement	113
VI.3 Mais que vaut la cission critique ?	117
VI.4 Un cristal presque parfait...	120
VI.5 Effets de taille de grain et durcissement	123
VI.6 Plasticité ?	128
VI.7 Dissipation d'énergie et mise en forme	129
VI.8 Dureté	130
VII. Creep show	135
VII.1 L'homme et la matière en mouvement : fluage	135
VII.2 Lois de comportement	137
VII.3 Approche et modélisation rhéologique	141
VII.4 Solide ou liquide ?	142
VII.5 Non-linéarité de comportement	145
VII.6 La fleur de maïs, les micelles d'asphaltènes, et le kaolin	149
VII.7 Mécanismes activés thermiquement...Entropie	151
VII.8 Superplasticité	154
VII.9 Bilan et prévision	159
VII.10 Tas de grains, polycristaux, nanomatériaux et verres	160
VIII. Inertie, vitesse, ondes et impacts	161
VIII.1 Dynamique	161
VIII.2 Localisation, endommagement et enlèvement de matière	164
VIII.3 Le saut à l'élastique	167
VIII.4 Vibrations	169
VIII.5 C'est comment qu'on freine ?	172
VIII.6 Vibrations forcées et frottement intérieur	174
VIII.7 Ondes	179
VIII.8 Adiabaticité ou isothermie ?	183
VIII.9 Impacts et explosions	184
VIII.10 Cicatrices d'étoiles	187

IX. Je vis, donc je me fatigue et je vieillis	191
IX.1. Vieillissement	191
IX.2 Endommagement	193
IX.3 Fatigue	195
IX.4 Corrosion sous contrainte	202
IX.5 Influences de la température et de la pression	206
IX.6 Autoréparation	207
X. Mécanique, matériaux et énergie	211
X.1 Énergie	211
X.2 Contenu énergétique des matériaux et des structures	215
X.3 Stockage : le bœuf, l'eau et le vent	219
X.4 L'énergie humaine	224
Annexe I : qu'est-ce qu'un matériau ?	229
AI.1 Electrons, atomes, coordinance et densité d'empilement atomique	229
AI.2 Etats de la matière et organisation du réseau atomique	234
AI.3 Défauts ponctuels, grains, joints de grains et précipités	238
Annexe II : notations réduites et introduction à la mécanique des milieux continus	241
AII.1 Généralités	241
AII.2 Cinématique : vecteur déplacement et tenseur de déformation	242
AII.3 Vecteur et tenseur de contrainte	244
AII.4 Divergence et équation du mouvement	245
AII.5 Relation de l'élasticité linéaire	246
AII.6 Expression scalaire de l'énergie	246
Questions et exercices corrigés	249
Références	311
Index	327