

Rémi Deterre Gérard Froyer

Introduction aux matériaux polymères

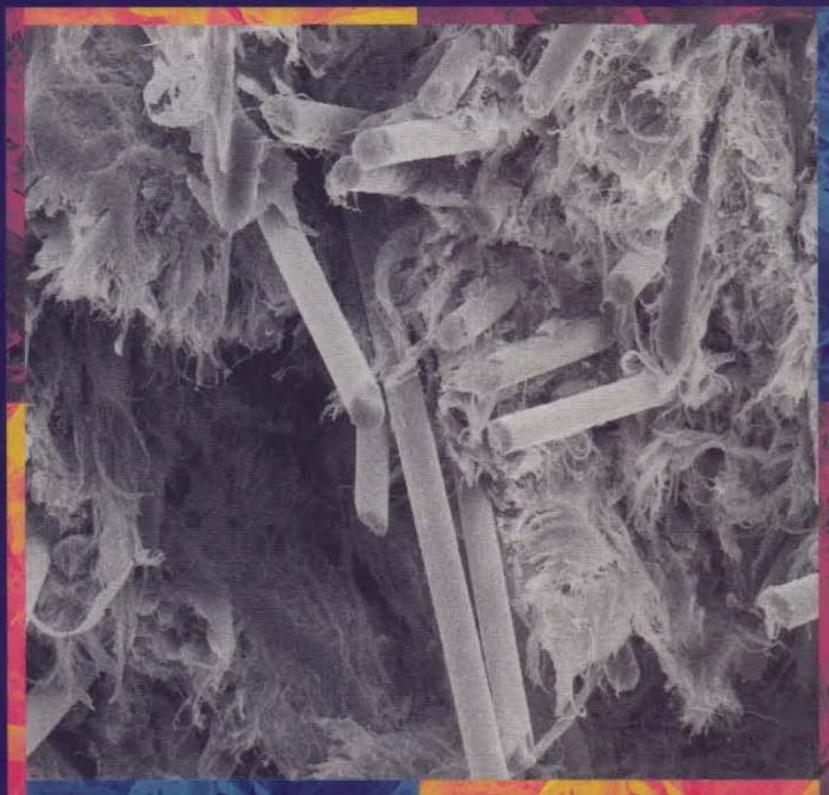


TABLE DES MATIÈRES

Chapitre 1

RAPPELS SUR LES MATÉRIAUX	1
1.1 Les différents états de la matière	1
1.2 Caractérisation mécanique simple des solides	2
1.2.1 Comportement élastique : déformation et contrainte	2
1.2.1.1 Définition de la déformation	2
1.2.1.2 Définition de la contrainte	4
1.2.2 Le module élastique de divers matériaux	7
1.3 Origine physique du module des matériaux	8
1.3.1 Les forces interatomiques	8
1.3.2 Les liaisons ou interactions	9
1.3.3 Les origines physiques du module d'Young	10
1.4 Types d'organisation des liaisons dans les matériaux	10
1.4.1 Matériaux « atomiques »	11
1.4.2 Matériaux « moléculaires »	13
1.4.3 Illustration	14
1.4.4 Classement des solides par l'ordre d'empilement des atomes	15
1.4.4.1 Solides cristallins	15
1.4.4.2 Solides amorphes	16
1.4.4.3 La température de transition vitreuse	16
1.5 Solides moléculaires : spécificité et module d'Young des matériaux moléculaires	17

Chapitre 2

MATÉRIAUX MACROMOLÉCULAIRES	21
2.1 Longueur de la macromolécule	21
2.1.1 Du matériau moléculaire au matériau macromoléculaire : synthèse .	22
2.1.1.1 Polymérisation en chaîne	22
2.1.1.2 Polycondensation et polyaddition	25
2.1.1.3 Exemples de polymères préparés par polycondensation	26
2.1.2 Définitions à propos de la longueur des macromolécules	26

2.1.3	Propriétés en fonction de la longueur	30
2.1.3.1	Consistance	30
2.1.3.2	Propriétés thermiques	30
2.1.3.3	Mouvements des macromolécules	32
2.1.3.4	Dispersion de forme	35
2.1.4	Désordre conformationnel	37
2.2	Nature des liaisons entre les macromolécules	39
2.2.1	Liaisons faibles	39
2.2.2	Liaisons fortes	40
2.3	Nature de la macromolécule	43
2.3.1	Homogénéité de composition sur la chaîne macromoléculaire	43
2.3.2	Homogénéité dans la disposition des groupements latéraux	45
2.4	Renforcement des polymères	46
2.4.1	Polymères auto-renforcés	47
2.4.1.1	Polymères semi-cristallins	47
2.4.1.2	Polymères à cristaux liquides	48
2.4.1.3	Renforcement par orientation moléculaire : matériaux fibreux et orientés	49
2.4.1.4	Bois	49
2.4.2	Les composites fibreux, particuliers ou cellulaires	50
2.4.2.1	Introduction	50
2.4.2.2	Composites fibreux	50
2.4.2.3	Composites particuliers	50
2.4.2.4	Composites cellulaires	50
2.5	Classement des matériaux macromoléculaires	52
2.5.1	Constantes de modules	52
2.5.2	Classement des valeurs des Tg et Tf en fonction de la nature des macromolécules	54
2.5.2.1	Température de transition vitreuse (Tg) et température de fusion (Tf)	54
2.5.2.2	Plastomères et élastomères	57

Chapitre 3

X	PROPRIÉTÉS DES POLYMÈRES	63
3.1	Propriétés économiques	63
3.1.1	Masse volumique	63
3.1.2	Masse volumique des polymères en fonction du taux de charges	64
3.1.3	Prix et disponibilité des polymères	65
3.1.4	Classement prix en fonction du tonnage et des propriétés	65
3.1.5	Facteurs de développement	68
3.1.6	Historique des polymères commerciaux	69
3.1.7	Importance économique des polymères par rapport aux autres matériaux	71

3.1.8	Prix de revient des objets finis	71
3.1.9	Intervenants de la filière professionnelle des polymères	72
3.1.10	Les polymères et l'environnement	73
	■ Exemple des emballages	75
3.2	Propriétés mécaniques	77
3.2.1	Introduction : analogie entre la sollicitation mécanique et thermique	77
3.2.2	Module d'élasticité en traction	79
	■ Relation entre les différents modules élastiques	79
3.2.3	Analogie entre l'effet de la température et le temps	80
3.2.4	Viscoélasticité	82
	3.2.4.1 Description phénoménologique de la viscoélasticité	83
	3.2.4.2 Fonction de fluage	88
	3.2.4.3 Fonction de relaxation	88
	3.2.4.4 Comportement dynamique des polymères	89
3.2.5	Contrainte de traction et allongement à la rupture	90
	3.2.5.1 Comportement fragile	90
	3.2.5.2 Comportement ductile	91
	3.2.5.3 Contrainte au seuil d'écoulement	91
	3.2.5.4 Courbes de traction de quelques thermoplastiques	94
	3.2.5.5 Contrainte rupture ou au seuil d'écoulement en fonction de la densité	95
3.2.6	Influence de la vitesse de sollicitation et résistance aux chocs	96
3.2.7	Compromis entre la rigidité et la tenue aux chocs	97
3.2.8	Variation des propriétés mécaniques en fonction de la composition .	100
	■ Influence de la charge renforçante	100
3.2.9	Comparaison des propriétés mécaniques des polymères et des autres matériaux	103
3.3	Propriétés thermiques	105
3.3.1	Dilatation thermique	106
3.3.2	Tenue thermique à court terme : température de fléchissement sous charge (H.D.T. comme « Heat Distorsion Temperature »)	107
3.3.3	Tenue thermique à long terme : profil d'endurance thermique	108
3.3.4	Capacité calorifique	110
3.3.5	Conductivité thermique	110
3.3.6	Diffusivité	111
3.4	Propriétés optiques	112
3.4.1	Absorption et diffusion des rayonnements	112
3.4.2	Transparence et opacité	115
3.4.3	Matité et brillance des polymères	117
3.4.4	Couleur des polymères	117
3.5	Propriétés électriques	117
3.6	Propriétés chimiques	118
3.6.1	Solubilité – plastification	119
	3.6.1.1 Absorption d'eau	119
	3.6.1.2 Tenue aux huiles, essences... ..	119
	3.6.1.3 Plastifiants	120

3.6.2	Tenue à l'oxygène	120
3.6.3	Tenue aux agents chimiques	121
3.7	Identification sommaire des polymères	122
3.7.1	Rigidité apparente, toucher	122
3.7.2	Odeur	122
3.7.3	Aspect visuel	122
3.7.4	Bruit	124
3.7.5	Masse volumique	124
3.7.6	Essai de combustion	124
3.7.7	Tenue aux solvants	124
3.7.8	Essai Beilstein	124
3.8	Propriétés de mise en œuvre	124
3.8.1	Introduction	124
3.8.2	Propriétés thermodynamiques	126
3.8.2.1	Variation du volume spécifique en fonction de la température	126
3.8.2.2	Variation du volume spécifique en fonction de la pression .	128
3.8.2.3	Évolution du volume spécifique lors de la mise en œuvre ...	129
3.8.2.4	Retrait	129
3.8.3	Propriétés rhéologiques	130
3.8.3.1	Introduction	130
3.8.3.2	Définition de la vitesse de cisaillement	131
3.8.3.3	Équilibre des forces	131
3.8.3.4	Viscosité	133
3.8.4	Extrudabilité et injectabilité des polymères	146
3.8.4.1	Ordre de grandeur du temps de cycle	146
3.8.4.2	Extrudabilité	147
3.8.4.3	Moulabilité	150
3.8.5	Influence de la mise en œuvre sur les propriétés des pièces	171
3.8.5.1	Influence de la mise en œuvre sur les propriétés dimensionnelles des objets moulés	171
3.8.5.2	Influence de la température d'injection et du temps de séjour	182
3.8.5.3	Influence de la température du moule	184
3.8.5.4	Dégradation lors de la mise en œuvre	186

Chapitre 4

ANNEXES

MÉTHODES DE CARACTÉRISATION	187
4.1 Rappels thermodynamiques	187
4.2 Viscosimétrie	190
4.3 Chromatographie d'exclusion stérique	192

Chapitre 5
ANNEXES (suite)

CARACTÉRISATIONS DES POLYMÈRES NON OBLIGATOIREMENT SOLUBLES.....	195
5.1 Résonance Magnétique Nucléaire (R.M.N.)	195
5.2 Absorption infrarouge	197
5.3 Diffraction de rayons X	199
Table des abréviations	201
Index détaillé des appellations courantes des polymères	203
Bibliographie	207