

CHIMIE

IUT - Techniciens - Ingénieurs

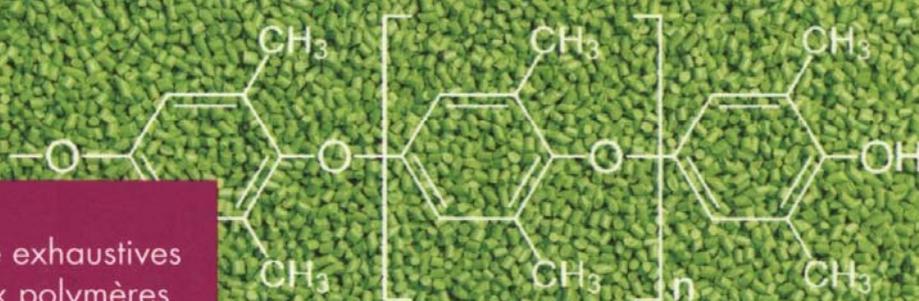
SCIENCES DE L'INGÉNIEUR

# Introduction aux matériaux polymères

Rémi Deterre, Bernard Lestriez

2<sup>e</sup> édition

- Notions de base exhaustives sur les matériaux polymères
- Nombreux schémas clairs et pédagogiques
- Contribution originale du chapitre sur le collage



**L**avoisier  
TEC & DOC

# Table des matières

<b>Sigles et abréviations</b> .....	V
<b>Préface</b> .....	VII

## Chapitre 1

<b>Rappels sur les matériaux</b> .....	3
1. Différents états de la matière .....	3
2. Caractérisation mécanique simple des solides .....	4
2.1. Comportement élastique : déformation et contrainte .....	4
2.2. Module élastique de divers matériaux .....	9
3. Origine physique du module des matériaux .....	10
3.1. Forces interatomiques .....	10
3.2. Liaisons ou interactions .....	11
3.3. Origines physiques du module d'Young .....	12
4. Types d'organisation des liaisons dans les matériaux .....	13
4.1. Matériaux « atomiques » .....	13
4.2. Matériaux « moléculaires » .....	15
4.3. Illustration .....	16
4.4. Classement des solides par l'ordre d'empilement des atomes. ....	17
5. Solides moléculaires : introduction à la spécificité des matériaux moléculaires .....	19
6. Conclusion .....	22

## Chapitre 2

<b>Matériaux macromoléculaires</b> .....	23
1. Longueur de la macromolécule .....	23
1.1. Du matériau moléculaire au matériau macromoléculaire : synthèse ..	24
1.2. Définitions à propos de la longueur des macromolécules .....	29
1.3. Propriétés en fonction de la longueur .....	32
1.4. Désordre conformationnel .....	39

2.	Nature des liaisons entre les macromolécules . . . . .	41
2.1.	Liaisons faibles. . . . .	41
2.2.	Liaisons fortes . . . . .	42
3.	Nature de la macromolécule . . . . .	45
3.1.	Homogénéité de composition sur la chaîne macromoléculaire . . .	45
3.2.	Homogénéité dans la disposition des groupements latéraux . . . . .	47
4.	Renforcement des polymères . . . . .	48
4.1.	Polymères autorenforcés . . . . .	49
5.	Composites fibreux, particuliers ou cellulaires. . . . .	52
5.1.	Introduction. . . . .	52
5.2.	Composites fibreux . . . . .	52
5.3.	Composites particuliers. . . . .	52
5.4.	Composites cellulaires. . . . .	53
6.	Classement des matériaux macromoléculaires. . . . .	54
6.1.	Constantes de modules. . . . .	54
6.2.	Classement des valeurs des $T_g$ et $T_f$ en fonction de la nature des macromolécules . . . . .	57
7.	Conclusion. . . . .	63

### *Chapitre 3*

<b>Propriétés des polymères . . . . .</b>	<b>65</b>
1. Propriétés économiques . . . . .	65
1.1. Masse volumique. . . . .	65
1.2. Masse volumique des polymères en fonction du taux de charges . . . . .	67
1.3. Prix et disponibilité des polymères . . . . .	67
1.4. Classement du prix en fonction du tonnage et des propriétés . . . . .	68
1.5. Facteurs de développement. . . . .	71
1.6. Historique des polymères commerciaux . . . . .	72
1.7. Importance économique des polymères par rapport aux autres matériaux . . . . .	73
1.8. Prix de revient des objets finis . . . . .	74
1.9. Intervenants de la filière professionnelle des polymères. . . . .	75
1.10. Polymères et environnement . . . . .	76
2. Propriétés mécaniques. . . . .	80
2.1. Introduction : analogie entre la sollicitation mécanique et thermique . . . . .	80
2.2. Module d'élasticité en traction . . . . .	82
2.3. Analogie entre l'effet de la température et le temps . . . . .	83
2.4. Viscoélasticité . . . . .	85
2.5. Contrainte de traction et allongement rupture . . . . .	93
2.6. Influence de la vitesse de sollicitation et résistance aux chocs . . . . .	99
2.7. Compromis entre la rigidité et la tenue aux chocs. . . . .	101
2.8. Variation des propriétés mécaniques en fonction de la composition . . . . .	103

2.9.	Comparaison des propriétés mécaniques des polymères et des autres matériaux .....	107
3.	Propriétés thermiques .....	109
3.1.	Dilatation thermique .....	109
3.2.	Tenue thermique à court terme : température de fléchissement sous charge. ....	110
3.3.	Tenue thermique à long terme : profil d'endurance thermique .....	111
3.4.	Capacité calorifique .....	113
3.5.	Conductivité thermique .....	113
3.6.	Diffusivité thermique .....	114
4.	Propriétés optiques .....	114
4.1.	Absorption et diffusion des rayonnements .....	114
4.2.	Transparence et opacité .....	118
4.3.	Matité et brillance des polymères .....	118
4.4.	Couleur des polymères .....	118
5.	Propriétés électriques .....	120
6.	Propriétés chimiques .....	122
6.1.	Solubilité – plastification .....	122
6.2.	Tenue à l'oxygène .....	123
6.3.	Tenue aux agents chimiques .....	125
7.	Identification sommaire des polymères .....	126
7.1.	Rigidité apparente, toucher .....	126
7.2.	Odeur .....	126
7.3.	Aspect visuel .....	126
7.4.	Bruit .....	127
7.5.	Masse volumique. ....	127
7.6.	Essai de combustion .....	127
7.7.	Tenue aux solvants .....	127
7.8.	Essai Beilstein. ....	127
8.	Conclusion. ....	129

#### Chapitre 4

<b>Propriétés de mise en œuvre .....</b>	<b>131</b>
1. Introduction .....	131
2. Propriétés thermodynamiques .....	133
2.1. Variation du volume spécifique en fonction de la température ...	133
2.2. Variation du volume spécifique en fonction de la pression. ....	135
2.3. Évolution du volume spécifique lors de la mise en œuvre. ....	136
2.4. Retrait. ....	136
3. Propriétés rhéologiques. ....	136
3.1. Introduction. ....	136
3.2. Définition de la vitesse de cisaillement. ....	137
3.3. Équilibre des forces. ....	138
3.4. Viscosité .....	140

4.	Extrudabilité et injectabilité des polymères. . . . .	154
4.1.	Ordre de grandeur du temps de cycle. . . . .	154
4.2.	Extrudabilité . . . . .	155
4.3.	Moulabilité. . . . .	158
5.	Influence de la mise en œuvre sur les propriétés des pièces . . . . .	175
5.1.	Influence de la mise en œuvre sur les propriétés dimensionnelles des objets moulés . . . . .	176
5.2.	Influence de la température d'injection et du temps de séjour . . .	186
5.3.	Influence de la température du moule . . . . .	189
5.4.	Dégradation lors de la mise en œuvre . . . . .	191
6.	Conclusion. . . . .	191

### Chapitre 5

<b>Application des polymères au collage. . . . .</b>	<b>193</b>	
1.	Pourquoi la très grande majorité des adhésifs sont-ils des polymères ? .	193
2.	Étalement de l'adhésif : rôle des liaisons faibles et de la viscosité. . . . .	195
2.1.	Notion de tension (énergie) de surface (interface) . . . . .	197
2.2.	Mouillage d'un solide par un liquide. . . . .	197
2.3.	Vitesse du mouillage et de l'imprégnation d'un solide par un liquide	199
3.	Quelles liaisons fortes et durables à l'interface adhésif/substrat ? . . . . .	199
4.	Nécessité des traitements de surface . . . . .	201
5.	Résistance mécanique des assemblages collés. . . . .	202
5.1.	Influence de la construction géométrique de l'assemblage . . . . .	202
5.2.	Influence des liaisons à l'interface adhésif/substrat. . . . .	208
5.3.	Interfaces avec des polymères amorphes vitreux ou semi-cristallins . .	209
5.4.	Interfaces avec réseaux thermodurs vitreux . . . . .	214
5.5.	Interfaces avec élastomères et polymères mous. . . . .	217
6.	Prise des adhésifs et grandes familles d'adhésifs . . . . .	219
6.1.	AMOP à base thermoplastique et élastomère . . . . .	220
6.2.	AMOC. . . . .	221
7.	Exemple de choix d'un adhésif : étude du cas de l'assemblage d'un manche au bol d'une cafetière. . . . .	227
8.	Conclusion. . . . .	230
<b>Bibliographie . . . . .</b>	<b>235</b>	

### Annexe 1

<b>Compléments au chapitre sur le collage. . . . .</b>	<b>237</b>	
1.	Énergie de surface . . . . .	237
2.	Calcul de Volkersen . . . . .	240
3.	Base de données pour le choix d'un type d'adhésif . . . . .	243

*Annexe 2*

<b>Méthodes de caractérisation des polymères</b> .....	251
1. Rappels thermodynamiques .....	251
2. Viscosimétrie .....	254
3. Chromatographie d'exclusion stérique .....	256

*Annexe 3*

<b>Caractérisations des polymères non obligatoirement solubles</b> ...	259
1. Résonance magnétique nucléaire (RMN) .....	259
2. Absorption Infrarouge .....	261
3. Diffraction de rayons X .....	263
<b>Index détaillé des appellations courantes des polymères</b> .....	265
<b>Index</b> .....	269