

## Livres

**Thermosetting polymers**

Jean-Pierre Pascault,  
Henry Sautereau, Jacques Verdu et  
Roberto J.J. Williams  
477 pages, 185 \$  
Marcel Dekker, 2002

Les utilisateurs des matériaux organiques savent que l'on distingue deux grandes familles de polymères : ceux dont les chaînes macromoléculaires sont chimiquement indépendantes les unes des autres, ce sont les thermoplastiques (leurs mises en œuvre se font indépendamment de la synthèse et sont théoriquement réversibles), et ceux dont les chaînes forment un réseau chimiquement lié, ce sont les thermodurcissables (leurs mises en œuvre se produisent durant la synthèse et sont irréversibles).

Ce livre est consacré à ces derniers qui, bien qu'ils aient été les premiers polymères obtenus par synthèse (la Bakélite qui appartient à cette catégorie a été préparée au XIX<sup>e</sup> siècle), sont sans doute restés longtemps beaucoup plus mystérieux que les thermoplastiques en ce qui concerne la chimie, l'organisation et les propriétés. C'est à une explication de ces mystères que le lecteur est convié en parcourant 14 chapitres qui peuvent se lire indépendamment.

Tout commence par la chimie, et après l'introduction, le chapitre 2 décrit les grandes familles de systèmes réticulables dont la polymérisation peut être soit polycondensation, soit polymérisation en chaîne. Le texte est concis, les schémas explicites, et l'ensemble permet au lecteur qui possède des bases en chimie de se repérer. Cependant, ce lecteur aimerait disposer dans la bibliographie de références sur de très bonnes et complètes monographies qui existent et décrivent en détail les différentes familles citées.

La caractéristique des systèmes réticulables est qu'elle met en jeu des réactifs dont la fonctionnalité est supérieure à 2. Dès lors, à partir d'un certain avancement de la réaction (polycondensation ou polymérisation en chaîne), la masse molaire en poids diverge et une macromolécule géante insoluble se forme, c'est le gel. La description de ce phénomène pour les différents types de polymérisation et son analyse mathématique statistique en fonction de la conversion des réactifs fait l'objet du chapitre 3. Ce dernier est important pour comprendre la différence entre

polymère linéaire et système thermodurcissable. Quelle est l'influence des transformations avant le gel et au-delà du gel sur la transition vitreuse du réseau formé ? Cette question est traitée dans le chapitre 4 qui introduit la notion importante de l'équivalence temps température dans le processus de transformation.

Il est, me semble-t-il, nécessaire de consulter ensemble les chapitres 5 et 6. Le premier traite de l'analyse cinétique de la formation du réseau, le second des méthodes rhéologiques et diélectriques permettant de suivre l'avancement des réactions. En ce qui concerne les états cinétiques, les auteurs ont raison de ne pas s'étendre sur les méthodes d'analyse enthalpique qui ne permettent réellement que de suivre une transformation globale et ne s'appuient pas sur, ou ne rendent pas compte, des mécanismes réactionnels qui sont complexes, comme le font d'ailleurs les méthodes rhéologiques – cette remarque étant moins vraie pour les méthodes diélectriques.

Il est important que les auteurs s'interrogent sur l'inhomogénéité des réseaux réticulés (chap. 7). Comment ne pas se poser la question puisque les réactions avant et après le gel se déroulent dans des milieux différents ? Cette réflexion ouvre la voie à la discussion sur les réseaux modifiés par des polymères linéaires (élastomères ou thermoplastiques) (chap. 8). Comment ces mélanges vont-ils se comporter ? Ils sont évidemment d'une manière générale non miscibles et les questions de séparation des phases en fonction de l'avancement de la formation du réseau et de la morphologie du mélange sont importantes. Ce chapitre aurait peut-être été mieux placé entre les chapitres 12 et 13 qui traitent des propriétés mécaniques des polymères. Il en est de même pour le chapitre 9 qui discute des phénomènes se produisant lors de la mise en œuvre. Ce chapitre est important et finalement, les phénomènes évoqués peuvent être associés à ce qui fait l'objet des chapitres relatifs à la cinétique et au suivi de la formation des réseaux.

A partir du chapitre 10, le lecteur entre dans le domaine des propriétés des réseaux thermodurcis. Le comportement dans l'état vitreux et dans l'état caoutchoutique sont discutés, ainsi que les valeurs des transitions vitreuses en terme de contribution des motifs à la cohésion et à la mobilité. Les propriétés élastiques et viscoélastiques à faible déformation sont analysées aussi en termes de cohésion et de

mobilité des segments (chap. 11). On comprend par là la relation avec la densité de réticulation, point sur lequel les auteurs auraient peut-être pu insister davantage.

Déformation et fracture des réseaux et des réseaux modifiés font l'objet des chapitres 12 et 13, chapitres essentiels pour les utilisateurs, mais aussi pour le chimiste qui voudrait concevoir un matériau répondant à un cahier des charges précis en termes de propriétés mécaniques et de comportement au vieillissement et aux phénomènes de fatigue. Pour m'être intéressé au problème autrefois, j'ai particulièrement apprécié la partie consacrée au renforcement des réseaux par des polymères linéaires.

La durabilité et l'étude des phénomènes, qui provoquent la destruction d'un réseau polymère en fonction de l'environnement, sont discutées dans le dernier chapitre. Ce thème est extrêmement important pour l'ingénieur de bureau d'étude, et bien que les auteurs proposent une méthode pour prédire la durée de vie (en précisant ses limitations), un classement, même grossier, du comportement des familles de thermodurcissables en fonction de différents environnements aiderait le lecteur non spécialiste.

En conclusion, cet ouvrage rédigé par des experts du domaine est une très bonne contribution à l'analyse du comportement des matériaux polymères réticulés. C'est un outil précieux pour les étudiants en DEA et en thèse, et il doit trouver sa place dans les laboratoires de recherche publics et privés et dans les bureaux d'étude.

Bernard Sillion

## A signaler

- **Reviews of environmental contamination and toxicology**  
G.W. Ware (ed.)  
Vol. 175, 270 p., 105,45 €  
Springer, 2002
- **Environmental sampling and analysis for metals**  
M. & C. Csuros  
408 p., 89,95 \$  
Lewis Publishers, 2002
- **Polymer films with embedded metal nanoparticles**  
Springer series in materials science (vol. 52)  
A. Heilmann  
300 p., 84,35 €  
Springer, 2002