

Les polymères, aujourd'hui et demain

Un polymère est très rarement utilisé seul dans un produit manufacturé. Il est le plus souvent considéré comme une matière première formulée pour donner un produit fini, qu'il soit mélangé à d'autres ingrédients pour donner une composition finale liquide – par ex. shampoing, peinture ou adhésif –, ou utilisé comme constituant principal d'une matière plastique en présence d'additifs anti-oxydants, retardateurs de flamme ou charges de renfort mécanique.

À l'heure actuelle, le chimiste polymériste dispose d'un choix considérable de monomères et de catalyseurs à combiner pour une palette très riche de techniques et de procédés de polymérisation. Dans ce contexte, il est important de maîtriser le choix des groupements fonctionnels, leur concentration et le contrôle de leur répartition sur la chaîne polymère.

C'est d'une véritable « boîte à outils monomères » dont dispose l'expérimentateur pour définir la nature aliphatique, semi-aromatique ou aromatique des polymères d'intérêt ; il s'agit d'un avantage incontestable pour contrôler les paramètres essentiels que sont la température de transition vitreuse (Tg) et pour les polymères semi-cristallins leur température de fusion. Ceci combiné au fait que la chimie macromoléculaire moderne autorise un contrôle toujours plus fin du séquençage et de la topologie des chaînes, il est aujourd'hui possible de contrôler précisément les propriétés thermomécaniques des polymères, qu'ils soient thermoplastiques ou thermodurcissables, afin de viser des applications de haute performance. Les élastomères thermoplastiques conçus à base d'alliages de polymères, ou de copolymères multiblocs tels les polyamides/polyéther PEBAX® d'Arkema en sont de bonnes illustrations. Cette dernière décennie a été le témoin de l'émergence d'un troisième type de polymère du point de vue thermomécanique : les vitrimères.

Une sélection judicieuse des monomères constitutifs d'un polymère et un contrôle toujours plus fin de leur agencement le long des chaînes permettent également de maîtriser la solubilité et les propriétés rhéologiques et interfaciales des polymères utilisés en tant qu'additifs de formulation. À titre d'exemples, citons les (co)polyéthers aliphatiques statistiques ou à blocs utilisés dans les domaines des cosmétiques et du biomédical, et les liants élastomères de microstructure et de Tg contrôlées pour l'industrie des caoutchoucs.

Si la recherche d'un contrôle toujours plus pointu de la structure moléculaire et des propriétés des polymères est au cœur des préoccupations du polymériste, la prise de conscience d'inscrire cette classe de matériaux, toujours d'avenir, dans la transition écologique est de plus en plus prégnante. Les enjeux sont clairs : réduire l'empreinte carbone de ces matériaux, quasiment tous issus de la pétrochimie, dans le but de répondre aux défis climatiques et sociétaux auxquels nous faisons face. L'utilisation de substrats renouvelables (carbone renouvelable) pour l'élaboration de monomères biosourcés est devenue aujourd'hui un thème de recherche très prolifique. Hormis l'exemple historique du polyamide 11 (le Rilsan® d'Arkema), produit industriellement depuis plus de 70 ans à partir d'un monomère 100 % renouvelable issu de l'huile de ricin, il sera possible de juger des avancées académiques et industrielles récentes dans ce domaine à travers toutes les familles de polymères exposées dans ce numéro. Il sera traité des époxydes biosourcés pour la chimie des polyéthers, ou de la part croissante d'alcools, d'amines, d'acides, voire

d'isocyanates multifonctionnels issus de ressources renouvelables pour la chimie des polycondensats. Dans cette course à l'écoconception de produits à base de polymères, les polymères naturels ne sont pas en reste.

De façon concomitante, le caractère biosourcé d'un polymère doit aussi permettre d'apporter de nouvelles fonctionnalités et propriétés. Mais si le caractère biosourcé d'un polymère répond en partie à cette nécessité de transition, il ne fait pas tout au regard des grands défis d'aujourd'hui. Un enjeu majeur reste à repenser ces classes de polymères afin de favoriser leur recyclage (mécanique, chimique) et de maîtriser leur fin de vie. Prenons l'exemple du poly(téréphtalate d'éthylène), le PET, matériau phare utilisé pour les bouteilles en plastique. Non biodégradable, il jouit cependant aujourd'hui d'une bonne recyclabilité mais n'est que très partiellement biosourcé par l'intermédiaire du monomère diéthylène glycol. Dans ce domaine, la recherche avance à grands pas : il est déjà possible de produire de l'acide téréphtalique biosourcé et certains géants de l'agroalimentaire se sont entendus pour co-développer un PET issu de ressources 100 % renouvelables. Parallèlement, des travaux très récents décrivent des procédés enzymatiques capables de dépolymériser le PET en ses deux monomères de base dans des conditions qui permettraient d'envisager une nouvelle industrie circulaire du PET. Nous pouvons raisonnablement espérer un avenir plus « vert » pour le PET...

Les applications des polymères reposant souvent sur des cahiers des charges très précis et exigeants, les polymères biosourcés ne peuvent pas répondre à toutes les attentes de l'industrie. Ainsi, un autre enjeu fort de ces dernières années est l'utilisation de matières premières moins toxiques et moins polluantes, tout en développant des procédés moins énergivores et générant moins de rebuts de production. À ce sujet, les évolutions dans le choix des catalyseurs – cas de l'antimoine pour la synthèse des polyesters –, des monomères – possibilité de synthétiser des polyuréthanes sans l'emploi d'isocyanates –, et des procédés de production de pièces plastiques seront abordés dans les articles qui suivent.

Pour finir, les stratégies pour augmenter la durée de vie des matériaux plastiques – et par là-même diminuer la production industrielle et la création de déchets – sont multiples : par le biais de leur formulation (choix des additifs), en travaillant à leur réparabilité (par exemple grâce à des approches d'auto-cicatrisation), ou grâce à une facilité récemment acquise à les transformer et à les remettre en forme (approche vitrimère).

Tous ces défis et enjeux traversent les différentes familles de polymères qui sont présentées dans les articles de ce numéro.

Mathias DESTARAC,

Professeur à l'Université Toulouse 3 Paul Sabatier, responsable de l'équipe « Polymères de précision par procédés radicalaires » au Laboratoire des Interactions Moléculaire et Réactivité Chimique et Photochimique (IMRCP).

Henri CRAMAIL,

Professeur à l'Université de Bordeaux, responsable de l'équipe « Biopolymères et polymères biosourcés » au Laboratoire de Chimie des Polymères Organiques (LCPO), ENSCBP.

*destarac@chimie.ups-tlse.fr ; cramail@enscbp.fr