

Le laboratoire MATEIS et les polymères

Par Laurent Chazeau

Laboratoire Matériaux : Ingénierie et Sciences (MATEIS, UMR CNRS 5510)

Equipe Polymère-Verres-Matériaux Hétérogènes (PVMH),

Institut National des Sciences Appliquées (INSA), Campus de la Doua, Bat. Blaise Pascal, 5^{ème} 2tage,
69621 Villeurbanne Cedex

Laurent.chazeau@insa-lyon.fr, Tel : 04 72 43 83 57

Les polymères au sein de MATEIS

Le laboratoire MATEIS, pour Matériaux : Ingénierie et Science, est un laboratoire de l'Institut National des Sciences Appliquées (INSA) Lyon, dédié à l'établissement des relations entre microstructures-propriétés dans les matériaux. Il a ainsi pour vocation l'optimisation des propriétés d'usage (résistance thermo-mécanique, corrosion...) des matériaux de structure existants ou la création de nouveaux matériaux, avec pour champs d'application les transports, l'énergie, l'environnement et la santé. Les quatre classes de matériaux sont étudiées : métaux, céramiques, polymères, composites, et ceci sous plusieurs angles : élaboration, observation microstructurale, observation de transformations thermomécaniques ou électrochimiques *in situ*, caractérisation non destructive, modélisation fondée sur la microstructure. Chaque classe de matériaux nécessitant des compétences spécifiques, ces dernières sont regroupées dans des équipes dédiées. Les matériaux à base polymère sont ainsi étudiés par l'équipe Polymère-Verres-Matériaux Hétérogène (PVMH).

Les recherches en ingénierie de cette équipe se positionnent au carrefour de la physique, de la mécanique et de la chimie (cf. Figure 1). PVMH est ainsi constituée de chercheurs aux compétences complémentaires (physicien, mécanicien, physico-chimiste, chimiste). La nature de ses activités explique qu'elle collabore avec des laboratoires du procédé ou de chimie - lorsqu'il s'agit de caractériser et de relier la microstructure aux propriétés des matériaux mis en œuvre - ou des laboratoires de mécanique des structures - lorsqu'il s'agit d'introduire des lois de comportement pertinentes dans les codes de calcul mécanique.

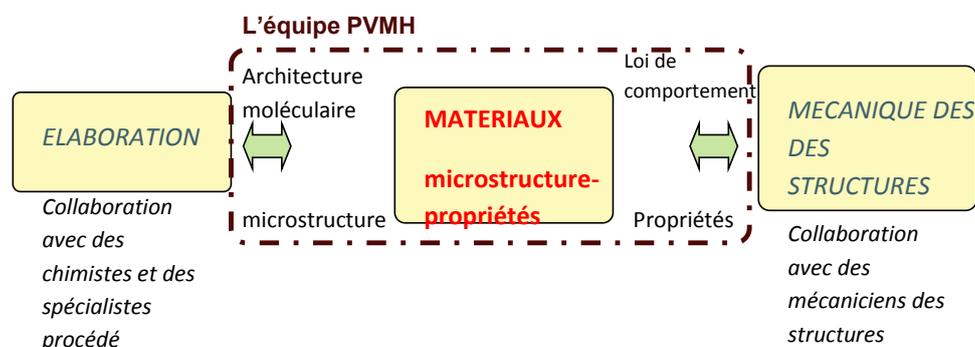


Figure 1 : positionnement scientifique de l'activité polymère du laboratoire MATEIS

Des outils de caractérisation performants...

Un tel positionnement est possible grâce à de fortes compétences dans le domaine de la caractérisation des matériaux (pour lesquelles le laboratoire MATEIS est globalement reconnu).

Le laboratoire possède en effet un large éventail de machines dédiées à la caractérisation des propriétés mécaniques ou diélectriques des matériaux (spectromètres mécaniques et diélectriques, machines d'essais mécaniques en compression, cisaillement, traction torsion, etc., micro et nanoindenteurs). Il est ainsi possible d'étudier la réponse mécanique des matériaux à base polymère dans une large gamme de fréquences/vitesses de sollicitations, de température et de déformation. L'équipe PVMH s'est notamment fait une spécialité de la caractérisation par spectrométrie mécanique et diélectrique.

Concernant la caractérisation microstructurale, le laboratoire possède aussi tous les équipements nécessaires à la caractérisation de la microstructure de systèmes polymères, de l'échelle macroscopique à l'échelle nanométrique (T.E.M., E.S.E.M, A.F.M., bancs de diffusion X, W.A.X.S. et S.A.X.S...) et s'appuie sur une équipe de microscopie performante (équipe SNMS) et sur le Consortium Lyonnais de Microscopies (CLYM, Fédération membre du réseau national METSA¹, auquel elle contribue). SNMS assure une recherche en pointe dans le développement des outils de caractérisation par microscopie électronique, appliquée notamment aux matériaux polymères. Les dernières avancées du laboratoire dans ce domaine concernent l'observation par tomographie électronique, permettant ainsi la caractérisation microstructurale tridimensionnelle à l'échelle du nanomètre (celle pertinente pour les nanocomposites) cf. Figure 2.

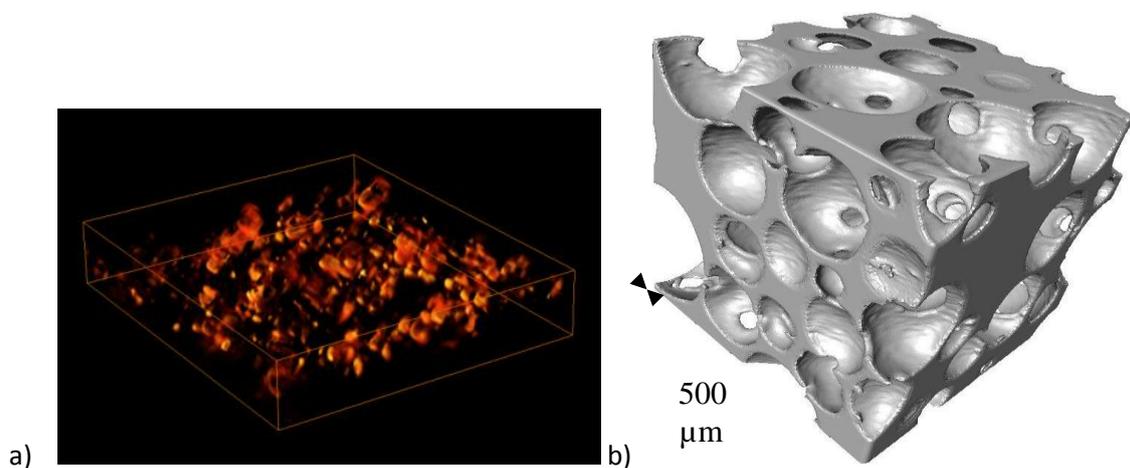


Figure 2 : a) tomographie électronique d'un thermoplastique renforcé par des nodules élastomère (thèse P. Jorsanoh) b) tomographie par rayons X d'une mousse (image J. Adrien)

Cette technique complète la tomographie sous rayons X, à l'échelle micrométrique, disponible aussi au laboratoire, et particulièrement utile à la caractérisation des mousses, et des composites micromiques. Une des activités particulièrement reconnues du laboratoire (cf. Figure 3) est le

¹Pour "Microscopie Electronique et Sonde Atomique", <http://www.metsa.fr/>

développement d'une caractérisation microstructurale des matériaux en cours de sollicitation mécanique (dans un microscope, un tomographe, ou sous rayons X).

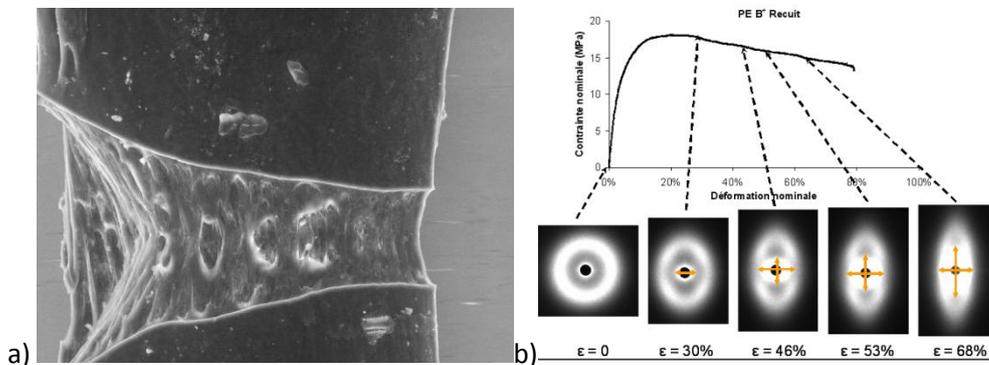


Figure 3 : Observation d'un polymère semi-cristallin pendant la traction par microscopie électronique à balayage (thèse P. Jorsanoh) b) diffusion des rayons X in situ d'un semi-cristallin sous étirement (thèse S. Humbert).

...au service de thématiques scientifiques...

L'ensemble des outils de caractérisation à la disposition de l'équipe PVMH lui permet de développer différentes thématiques scientifiques, qui concernent aussi bien les polymères amorphes, les polymères semi-cristallins que les élastomères. Un des objectifs de l'équipe est ainsi de proposer, parfois en collaboration avec des laboratoires de mécanique, une description du comportement mécanique des matériaux étudiés, par exemple sous la forme d'une loi de comportement, basée sur l'identification des mécanismes physiques mis en jeu lors de la déformation. L'équipe PVMH a ainsi acquis de fortes compétences dans la modélisation du comportement mécanique complexe (visco-élasto-plastique) des polymères amorphes cf. Figure 4. Elle travaille également à la description du comportement mécanique des matériaux semi-cristallins en lien avec leur microstructure (elle-même issue du procédé et de la nature du polymère). Elle s'intéresse aussi à l'influence de l'architecture des élastomères sur leur comportement mécanique jusqu'à la rupture.

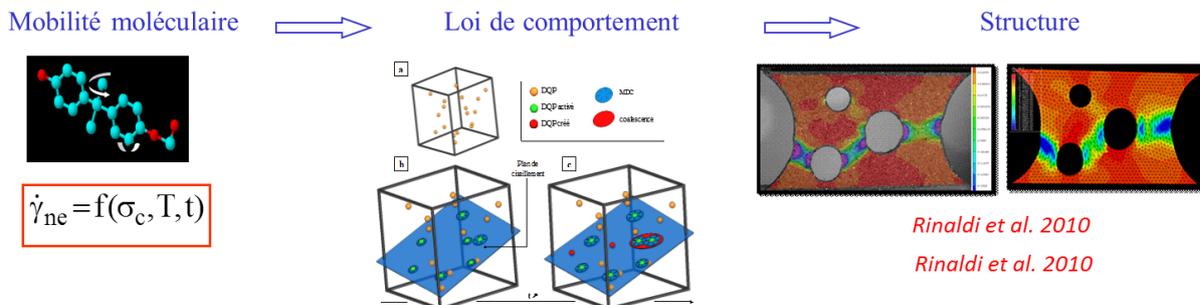


Figure 4 : de l'architecture moléculaire à la modélisation par éléments finis du comportement mécanique d'un polycarbonate (collaboration avec le LAMCOS)

...en lien avec des problématiques industrielles :

La culture de l'équipe sur les mécanismes fondamentaux à l'origine de la réponse mécanique des polymères lui permet d'intervenir dans de nombreuses thématiques industrielles, qui ont ainsi enrichi ses compétences.

Optimisation de procédés ou procédés innovants

L'équipe PVMH participe, par exemple, au développement de nouveaux procédés de mise en œuvre des polymères semi-cristallins. Les propriétés de ces derniers dépendant de leur cristallinité, il peut y avoir intérêt à conserver la cristallinité primaire du polymère. Cette dernière étant modifiée lors des procédés classiques de mise en forme (extrusion, injection), l'équipe travaille avec le CETIM au développement du procédé de compaction grande vitesse de poudres natives de polymère (cf. figure 5). Elle s'intéresse également à l'optimisation de l'architecture moléculaire et de l'histoire thermique pendant la mise en œuvre des polymères semi-cristallins (PE, PA), avec pour objectif une amélioration de leurs performances mécaniques. De telles études s'appuient bien entendu sur une caractérisation fine et multi-échelle de la microstructure semi-cristalline. Elles bénéficient en outre du soutien de grands groupes industriels.

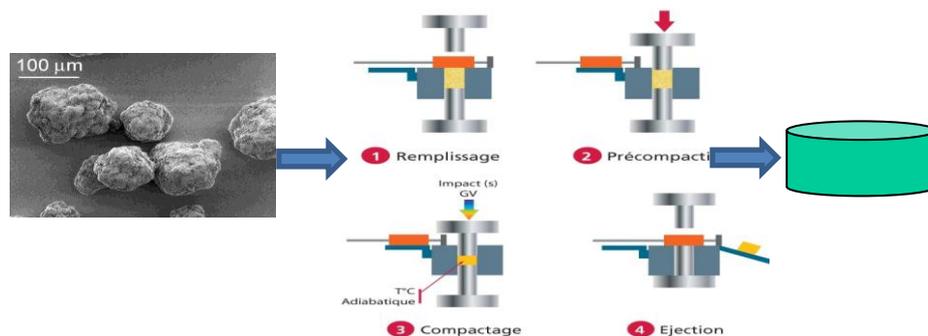


Figure 5: Principe du procédé de compaction grande vitesse

Nouveaux matériaux : (bio)(nano)composites, multifonctionnels, architecturés

De par ses compétences dans le domaine des propriétés mécaniques des polymères et dans le domaine de la caractérisation (microstructurale et mécanique), l'équipe PVMH a développé une importante activité dans le domaine des matériaux innovants. PVMH s'intéresse depuis longtemps aux relations microstructure-propriétés dans les composites et les nanocomposites, que la matrice polymère soit amorphe ou semi-cristalline, qu'elle soit réticulée ou non (thermodurcissable, élastomère, latex). L'équipe a étudié et continue d'étudier de nombreuses charges nanoscopiques de formes variées (sphérique, allongées et rigides, longues et flexibles, plaquettaires), parmi lesquelles des renforts cellulósiques, des plaquettes, synthétiques ou non, des noirs et nanotubes de carbone ou des silices, etc... Ces études ont pour but, d'une part d'optimiser le processus de dispersion, et d'autre part de comprendre les propriétés mécaniques du composite obtenu. On peut citer

notamment les travaux réalisés sur l'impact de l'introduction de charges plaquettaires sur la structure semi-cristalline de la matrice Polyamide et ses conséquences sur le comportement mécanique du nanocomposite.

PVMH développe également une activité importante dans le domaine des matériaux bio-composites. Un des enjeux concernant l'utilisation de ces derniers est la maîtrise de leur biodégradabilité. Les matrices biopolymère étant généralement semi-cristallines, il est en effet nécessaire d'optimiser leur microstructure (et donc leur mise en œuvre) qui contrôle leur vitesse de dégradation. L'ajout de charges, bioactives ou non, rajoute une difficulté supplémentaire puisqu'il doit également être pris en compte pour la compréhension et la maîtrise des propriétés finales.

L'équipe s'intéresse aussi aux aspects multifonctionnels des matériaux composites et nanocomposites. L'utilisation de renforts ayant des propriétés diélectriques, magnétiques, ou bien bioactives, ou biodégradables offre des possibilités infinies pour la création de nouveaux matériaux. On peut citer par exemple les travaux récents portant sur des matériaux composites à comportement électrostrictifs et magnétostrictifs.

Cette démarche est à rapprocher de l'intérêt grandissant du laboratoire MATEIS pour le développement de nouveaux matériaux architecturés. L'idée est ici de concevoir la (micro)structure du matériau avant sa mise en œuvre. La présence de compétences sur les différentes classes de matériaux au sein du même laboratoire est un atout qui explique la participation du laboratoire, et de son équipe polymère au sein du Groupe d'Intérêt Scientifique sur les Matériaux Architecturés (GISMAT)². Plusieurs actions sont déjà engagées dans ce domaine : dans le cadre de collaborations, l'équipe PVMH veut ainsi développer de nouvelles structures composites amortissantes à rigidité spécifique élevée, et travaille également sur des structures élastomères architecturées pour contrôler leur réponse mécanique tridimensionnelle.

En conclusion ?

L'équipe PVMH, comme le laboratoire MATEIS dans son ensemble est donc située à l'interface entre recherche à caractère fondamental et les problématiques posées par ses partenaires industriels (qui sont concernés par plus de la moitié de ses contrats). Nous pensons en effet que des problèmes très pratiques soulèvent souvent des questions très amonts, et que les solutions proposées sont applicables à de multiples situations. Citons par exemple le problème de l'optimisation du freinage des pneus et de la dissipation d'énergie, ou encore l'optimisation de la microstructure de matériaux pour leur usage d'actionneurs électrostrictifs, etc.

Pour répondre à des questions souvent très pluridisciplinaires, l'INSA a mis en place un Groupe Pluridisciplinaire en Plasturgie, alliant des équipes de chimistes, de mécaniciens, de thermiciens et de physiciens des matériaux, dans lequel PVMH est donc partie prenante.

A une échelle allant au-delà de l'INSA, notre équipe est fortement impliquée dans l'animation de la recherche dans le cadre des pôles de compétitivité (membre du conseil scientifique d'AXELERA, présidence de la Commission Scientifique et Technique de TECHTERA, depuis leur création, etc.).

² Ce GIS réunit des équipes de l'INSA de Lyon et de Grenoble-INP

Aux niveaux national et international, les membres de notre équipe sont impliqués dans plusieurs collaborations, notamment au travers de programmes financés par l'Agence Nationale pour la Recherche, ou de programmes européens. Par ailleurs, on peut citer des collaborations suivies depuis plusieurs années avec des universités brésiliennes, chinoises, etc. Enfin, nous co-pilotons un laboratoire international associé avec l'Université du Tohoku au Japon, laboratoire reconnu par le CNRS.