

DIPLÔME NATIONAL DE DOCTORAT

(Arrêté du 25 mai 2016)

Date de la soutenance : **24 octobre 2025**

Nom de famille et prénom de l'auteur. e : **Madame Leila ISSOUFOU ALFARI**

Titre de la thèse : Adhésifs polymères au bord de la rupture : imagerie des contraintes à l'échelle nanométrique

Résumé



La compréhension des mécanismes de déformation des solides mous à l'échelle microscopique est essentielle pour concevoir de nouveaux matériaux aux propriétés innovantes. Typiquement, les adhésifs sensibles à la pression (PSA) sont des réseaux non réactifs constitués de polymères souples et viscoélastiques, dont le mécanisme d'adhésion repose sur une forte capacité d'amortissement, favorisant une dissipation efficace de l'énergie lors de la propagation des fissures. Faciles à utiliser et sûrs, ces matériaux adhèrent par simple contact et trouvent des applications croissantes dans divers secteurs. Les connaissances actuelles sur l'optimisation des PSA proviennent en grande partie d'analyses mésoscopiques indirectes des mécanismes de décollement, corrélées à la structuration et aux propriétés viscoélastiques des polymères constitutifs. Dans ce travail, nous proposons de nouvelles approches de caractérisation des polymères mous à l'échelle microscopique, au cœur même de l'adhésif, en associant polymères et nanocristaux fluorescents afin d'étudier leur comportement mécanique via la microscopie confocale. Cette stratégie vise à développer de nouveaux types de PSA dont les propriétés peuvent être modulées à l'échelle locale. Dans ce but, nous utilisons une classe de nanocristaux fluorescents constitués de nanoparticules colloïdales semi-conductrices. Ils peuvent être synthétisés sous forme de structures sphériques (boîtes quantiques) ou de structures bidimensionnelles (nanoplaquettes), chacune offrant des avantages spécifiques selon l'application, avec des propriétés optiques remarquables et une grande stabilité thermique. Ce manuscrit explore différentes approches pour marquer des films polymères, réalisés à partir d'une suspension aqueuse de particules de polymères, à l'aide de boîtes quantiques. Ces boîtes quantiques sont synthétisées puis incorporées soit par encapsulation dans des particules polymères (latex) suivi de la formation du film, soit par l'introduction de traceurs constitués d'agrégats de boîtes quantiques dispersés dans la suspension de latex puis directement dans le film. Le suivi de ces marqueurs lors de la déformation mécanique permet de visualiser les modes de rupture dans des formulations

de PSA présentant des compositions similaires mais des comportements mécaniques très différents. Ce suivi a également mis en évidence un comportement mécanique interne très hétérogène. Une exploration plus approfondie de cette méthode pourrait permettre une cartographie à l'échelle nanométrique des déformations internes dans ces matériaux avant la rupture, améliorant ainsi la compréhension de l'initiation des ruptures dans les matériaux mous. En parallèle, nous avons développé des sondes de déformation fluorescentes basées sur des nanoplaquettes auto-assemblées et couplées par transfert d'énergie non radiatif (FRET), qui ont ensuite été intégrées dans une matrice polymère. Les nanoplaquettes ont été synthétisées et assemblées en différentes morphologies selon les conditions de mise en œuvre. Ces assemblages ont montré un transfert d'énergie efficace, confirmé par diverses techniques de caractérisation. Les assemblages couplés ont été intégrés avec succès dans différents types de matrices polymères et utilisés comme sondes de déformation à l'intérieur de ces matrices. L'utilisation de ces polymères dopés en nanocristaux et sensibles à la déformation ouvre la voie à une cartographie localisée des déformations au sein de matériaux hétérogènes, tels que les composites, les emballages ou les tissus biologiques mous, contribuant ainsi à une meilleure compréhension des mécanismes de rupture et à l'optimisation des performances des matériaux. De plus, cette approche ouvre de nouvelles perspectives pour la conception de matériaux intelligents capables de détecter, d'adapter ou de signaler des changements mécaniques à l'échelle nanométrique.

Mots-clés :

Latexes de vitrimères, Adhésif sensible à la pression, Cartographie contrainte déformation, imagerie confocale, nanoparticules fluorescentes,