DIPLÔME NATIONAL DE DOCTORAT

(Arrêté du 25 mai 2016)

Date de la soutenance : **05 mars 2020**

Nom de famille et prénom de l'auteur : **Madame DJUKIC Stéphanie**

Titre de la thèse : *« Mécanismes d'endommagement sous traction de polymères amorphes et faiblement semi-cristallins »*

Résumé

Ces dernières années, une nouvelle classe de polyamides a été développée pour des applications spécifiques nécessitant de meilleures propriétés mécaniques et thermiques, telles que l'électronique ou l'industrie automobile. Les polyphtalamides (PPA) sont des polyamides semi-aromatiques, contenant des cycles aromatiques dans leur chaine principale. Le PPA résultant peut être amorphe ou semi-cristallin en fonction de la combinaison de monomères utilisée et peut être utilisé dans des composites pour des applications à haute température.

Récemment, les mécanismes d'endommagement ont été étudiés dans le cas de polymères semi-cristallins (PA66) et amorphes (acétate de cellulose). Le but de la thèse a été d'étudié les mécanismes d'endommagement de polymères amorphes et semi-cristallins. Par ailleurs, peu d'études ont été réalisées pour caractériser les propriétés des PPA purs. Des données plus détaillées concernant leurs propriétés mécaniques sont nécessaires. L'étude des propriétés de cette classe de polymères est importante, d'autant plus que leurs applications sont différentes des polyamides aliphatiques. Nous avons dans un premier temps caractérisé ces polymères (RMN, GPC, DMTA) puis étudié leur comportement mécanique en traction, compression et choc.

Nous avons ainsi pu mettre en évidence l'apparition d'un phénomène de striction et d'un régime de durcissement plastique (strain hardening) dès 20% de déformation pour trois PPA étudiés. Le durcissement plastique a également été observé dans d'autres polymères amorphes ductiles tels que le polycarbonate (PC) ou le poly(méthyle methacrylate) (PMMA). Le durcissement plastique stabilise la déformation en évitant la localisation de l'endommagement.

Afin de décrire les mécanismes microscopiques liés à l'initiation et la propagation de l'endommagement sous traction de nos polymères, nous avons réalisé des observations par microscopie électronique à balayage en transmission (STEM) et microscopie optique ainsi que par diffusion des rayons X aux très petits angles (USAXS).

L'analyse de ces différents polymères (PPA amorphes et semi-cristallins, PC, PMMA) par USAXS met en évidence différents modes d'endommagement. La nucléation simultanée de craquelures nanométriques autour des défauts préexistants (défauts liés au processus d'injection), puis la croissance limitée de ces craquelures sont observées pour les PPA amorphes, le PC et le PMMA étudiés, dans un mécanisme similaire à celui étudié dans le cas de l'acétate de cellulose. L'endommagement est bloqué dans un premier temps par le durcissement plastique. Cependant, dans le cas du polycarbonate et du PMMA, lorsque la contrainte appliquée devient suffisamment élevée, une petite fraction de ces craquelures croît plus rapidement jusqu'à entrainer la rupture de l'échantillon, ce qui permet d'observer l'évolution d'une deuxième famille de craquelures de plus grandes tailles. On observe également la croissance d'une deuxième famille de craquelures pour l'un des PPA amorphe, mais leur croissance s'arrête à l'apparition de la striction. Aucune rupture n'est observée. Le deuxième PPA amorphe s'endommage par cavitation jusqu'à environ 5% de déformation. Les cavités cessent de croître à l'apparition de bandes de cisaillement. Lorsque les bandes de

cisaillement se sont propagées de part et d'autre de l'échantillon, la rupture est observée. Les deux PPA semi-cristallins se déforment par striction sans rupture. Aucune cavitation n'a été observée par USAXS.

L'endommagement des polymères étudiés se classe ainsi en trois catégories. La première catégorie concerne les polymères qui ont un comportement similaire à l'acétate de cellulose. On observe la nucléation de craquelures dont la croissance est dans un premier temps bloquée par le durcissement plastique. Lorsque la contrainte appliquée devient suffisamment élevée une fraction de ces craquelures croît plus rapidement jusqu'à entrainer la rupture de l'échantillon, ce qui permet d'observer l'évolution d'une deuxième famille de craquelures de plus grandes tailles. Cette catégorie concerne le polycarbonate et le PMMA. La deuxième catégorie concerne l'un des PPA amorphe ayant des craquelures dont la croissance est dans un premier temps bloquée par le durcissement plastique. La croissance d'une deuxième famille de craquelures s'arrête à l'apparition de la striction, et aucune rupture n'est observée. La dernière catégorie concerne les polymères ne présentant pas d'endommagement. Il s'agit des deux PPA semi-cristallins.

Nous proposons dans cette thèse une interprétation de ces différents mécanismes d'endommagement.