



RÉSUMÉ :

Dans la vie quotidienne, on est régulièrement confronté au problème de séparer deux objets collés. On réalise qu'il existe deux comportements de décollement qui sont fondamentalement différents. D'un côté, il y a un processus où le décollement est complet et la colle ne laisse pas de trace visible sur le substrat, comme dans le cas des rubans adhésifs, par exemple le scotch. De l'autre côté, on trouve un décollement qui ressemble au chewing-gum, le matériau se déforme, forme de longues fibrilles et laisse des résidus. Des adhésifs qui collent seulement grâce aux forces van der Waals sont appelés « pressure sensitive adhesives ». Des applications typiques sont les rubans adhésifs et les étiquettes. Le mécanisme de décollement est en grande partie défini par les propriétés physiques, qui proviennent dans ce cas des matériaux liquides et solides à la fois. En étudiant des mécanismes différents de décollement, je me suis concentrée dans ma thèse de physique expérimentale sur la question fondamentale de mieux comprendre la transition entre liquide et solide, en passant par les matériaux viscoélastiques.

Comme système modèle, j'ai utilisé un produit composé d'une huile de silicone (polydiméthyle siloxane, PDMS) et d'un réticulant. L'huile de silicone pure est formée de courtes chaînes de polymère et suit le comportement d'un liquide simple. En ajoutant le réticulant, des liaisons chimiques se forment entre les chaînes et un réseau se développe. En fonction de la quantité de réticulant ajoutée, on obtient un liquide viscoélastique, un matériau au point de gel, ou un solide viscoélastique. Comme les propriétés rhéologiques sont déterminantes pour le mode de décollement, les différents matériaux – du liquide au solide – ont été caractérisés dans un rhéomètre.

Les expériences de décollement ont été réalisées dans une géométrie de « probe tack ». Dans ce montage, un piston cylindrique en métal avec un rayon de 3 mm et une surface parfaitement plate entre en contact avec une couche de PDMS dont l'épaisseur varie entre 50 et 500 μm . Après être complètement entré en contact avec le PDMS, le piston est retiré à vitesse constante et se décolle de la couche adhésive. Pendant l'expérience, la force normale sur le piston ainsi que son déplacement relatif à la couche de PDMS sont mesurés. Pendant le processus de décollement, l'air qui entre dans la couche adhésive forme des motifs. J'ai observé ces motifs par au-dessus par une caméra montée sur un microscope.

Pendant le décollement, l'air entre soit par les côtés dans le volume de la couche viscoélastique, soit directement à l'interface entre polymère et piston métallique. Initialement, la ligne de contact entre l'air et le PDMS est circulaire. En se décollant cependant, elle devient instable et ondule. Au cours du décollement, l'amplitude des ondulations croît, et finalement des « doigts d'air » se forment, qui se propagent vers le centre du piston circulaire. Il existe deux mécanismes de formation de ces doigts d'air. Le cas du décollement interfacial se caractérise par un avancement très rapide des doigts d'air directement à l'interface, sans déformer beaucoup le PDMS même. Dans le cas du décollement volumique, les doigts d'air évoluent dans le volume du matériau et des fibres de PDMS se forment entre le piston et la couche de polymère. Dans ces expériences j'ai mesuré la longueur d'onde des motifs, c'est à dire, le nombre de doigts d'air par périmètre du piston au moment de la première déstabilisation de la ligne de contact. J'ai montré que dans le régime volumique, la longueur d'onde est décrite par l'instabilité de Saffman-Taylor, valable pour le cas des liquides purs, et que dans le régime interfacial, l'instabilité est prédite par des équations qui ont été établies pour une instabilité élastique surfacique. Basé sur des propriétés de matériau qui sont facilement accessibles expérimentalement, j'ai défini un paramètre empirique pour décrire la transition entre régime interfacial et volumique. Ce paramètre est valable pour toute la gamme des PDMS utilisés. Avec ce paramètre, il est donc dorénavant possible de prédire le mécanisme de décollement uniquement à partir des caractéristiques des matériaux.

Pour déterminer la forme des doigts d'air en trois dimensions, nous avons développé une méthode existante pour observer la ligne de contact sous un angle en utilisant la réflexion totale dans un prisme et en remplaçant le piston métallique par un piston en verre. J'ai montré que les matériaux diffèrent par l'épaisseur des doigts d'air ainsi que par l'angle de contact avec le piston. Ainsi, nous avons pour la première fois réussi à visualiser la ligne de contact et sa déstabilisation pendant le décollement *in situ*. Avec ce montage, la détermination directe des conditions aux limites entre le matériau viscoélastique et le substrat dur est possible et peut fournir une base aux modélisations théoriques.

Dans la dernière partie de ma thèse, j'ai étudié en détail de décollement d'un liquide simple. Ce système plus simple d'un liquide pur m'a permis de considérer les processus plus complexes de pénétration d'air dans le liquide en fonction du temps pendant tout le décollement. Dans ce système liquide, il est bien connu que la déstabilisation de la ligne de contact est déterminée par un paramètre sans dimensions constitué de la viscosité, la tension de surface, l'épaisseur de la couche, le rayon du piston et la vitesse de rétraction. J'ai montré que ce paramètre est crucial pour le cours du décollement, et que le rapport entre l'épaisseur de la couche liquide et le rayon du piston joue également un rôle important pour l'évolution des doigts d'air et pour la force nécessaire à la séparation du piston et du substrat.

Les résultats obtenus au cadre de cette thèse permettent une plus grande compréhension de la formation de motifs dans les matériaux viscoélastiques. Notamment, la question de la transition entre liquide et solide est d'un grand intérêt aussi bien pour l'amélioration et le développement d'adhésifs que pour la conception fondamentale de la formation de motifs dans les matériaux aux propriétés complexes.