

L'adhésion élastocapillaire permet aux coléoptères de marcher la tête en bas.

T. Gilet¹, S.M. Gernay^{1,2} & P. Lambert²

¹ Microfluidics Lab, Dept. Aerospace & Mech. Eng., ULiège (Belgium)

² TIPS, Université Libre de Bruxelles (Belgium)

Tristan.Gilet@uliege.be

Les forces capillaires sont capables de déformer significativement des structures suffisamment flexibles et élancées. Ces forces dépendent néanmoins de la configuration géométrique des interfaces liquides et de leur raccord avec la structure déformée. Ce couplage entre forces capillaires et déformation des structures porte le nom d'élastocapillarité. Celle-ci façonne le monde microscopique, et permet notamment aux coléoptères de se déplacer avec aisance sur n'importe quelle surface solide, y compris tête en bas [1]. Les coléoptères possèdent sur leurs tarsi des coussinets adhésifs velus, chacun formé de centaines de soies. Ces dernières sont des microstructures élancées, encastrées sur le coussinet, et dont le diamètre est de l'ordre du micromètre. L'extrémité libre de ces soies est très flexible, et elle est seule à toucher la surface. Un liquide sécrété par le coussinet forme un pont capillaire entre le substrat et l'extrémité de chaque soie [2], et force ainsi cette dernière à épouser au mieux les aspérités microscopiques de la surface pour obtenir un maximum d'adhésion [3]. Ensuite, en une fraction de seconde, l'insecte peut annuler cette adhésion et détacher son tarse, simplement en l'inclinant. L'élastocapillarité procure donc aux coléoptères un mécanisme d'adhésion apparemment réversible, robuste et contrôlable.

Dans la présente étude expérimentale et théorique, nous proposons un modèle physique de l'adhésion élastocapillaire des soies, composé d'une poutre encastrée à une extrémité et dont l'autre est approchée d'un substrat plan solide sous-jacent. L'encastrement est faiblement incliné par rapport au substrat. Nous étudions la déformation de cette poutre lorsqu'un pont liquide est formé entre l'extrémité libre et le substrat. Nous identifions trois régimes, obtenus successivement lorsque la poutre s'approche : (1) la poutre ne touche pas le substrat, (2) l'arête de l'extrémité libre de la poutre touche le substrat avec un angle fini, et (3) l'extrémité de la poutre épouse le substrat et forme une zone de contact apparent d'aire finie. Ces trois régimes ont été observés dans d'autres configurations similaires (par exemple, [4] [5]). Nous mesurons également la force de réaction exercée par la poutre sur son encastrement dans la direction normale au substrat. Cette force correspond à l'adhésion potentielle que l'insecte peut attendre de chacune de ses soies. Sa variation avec la distance au substrat n'est pas monotone. Le régime 2 est faiblement adhésif (voire même répulsif dans certaines conditions), et il présente une hystérèse directionnelle. Dans le régime 3, la force d'adhésion augmente fortement lorsque la poutre s'approche du substrat. Nous proposons un modèle bidimensionnel de poutre pour expliquer ces mesures. Les équations correspondantes présentent plusieurs non-linéarités induites par les contraintes géométriques. Le modèle reproduit qualitativement et quantitativement les courbes de force-déplacement, sous deux conditions : les forces de friction sont prises en compte dans le régime 2, et la force de réaction est distribuée sur la surface de contact dans le régime 3. Cette dernière hypothèse est en contradiction avec la plupart des modèles proposés pour rendre compte des configurations élastocapillaires similaires.

Références

1. S.M. GERNAY *et al.* , Multi-scale tarsal adhesion kinematics of freely-walking dock beetles, *J. R. Soc. Interface*, **14**, 20170493 (2017).
2. S.M. GERNAY *et al.* , Elasto-capillarity in insect fibrillar adhesion, *J. R. Soc. Interface*, **13**, 20160371 (2016).
3. T. GILET *et al.* , Liquid secretion and setal compliance : the beetle's winning combination for a robust and reversible adhesion, *Curr. Opin. Insect Sci.* , **30**, 19–25 (2018).
4. H.-M. KWON *et al.* , Equilibrium of an elastically confined liquid drop, *J. Appl. Phys.*, **103**, 093519 (2008).
5. J. M. ARISTOFF *et al.* , Elastocapillary imbibition, *Int. J. Non-linear Mech.*, **46**, 648–656 (2011).