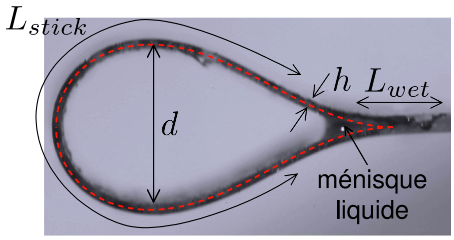
TP Rupture. à la maison : expériences de décollement

Dans le TD n5 MSM2, il est question du "test du Rabot" utilisé pour mesurer l'énergie de fissure d'un matériau. D'une certaine manière, collage et adhésion peuvent être traités de la même manière que l'équilibre de fissure, puisque ce sont des phénomènes qui mettent en jeu une énergie de surface. Dans ce TP, on va tester les prédiciions du TD, en utilisant un collage dû à la capillarité d'un liquide.

MATERIEL :
On fournit des bandes élastiques sont des feuilles de PET (Mylar) d'épaisseur $h = 50\mu$m et 100μm ; et de largeur w et de longueur L diverses ; ainsi que des lame de microscope (épaisseur 1mm).

1 Caractériser les lamelles : la raquette élasto-capillaire

Quand on boucle une languette élastique mouillée sur elle-même, celle ci prend une forme de raquette, fermée par un ménisque capillaire. Étonnamment, quel que soit le matériau et l'épaisseur de la languette les profils en raquette se déduisent les uns des autres par homothétie.



EXPERIENCE : former des raquettes avec les différentes languettes (trempées dans de l'eau + liquide vaisselle).

1. Comparer qualitativement les formes obtenues pour des languettes différentes. Est-il vrai que les formes sont vraiment similaires (à un simple facteur d'échelle près) ? On pourra faire quelques photos que l'on essaiera de placer côte à côte en modifiant l'échelle pour qu'elles aient toutes la même hauteur

   Solution: oui.

2. On prend comme mesure de la taille de la raquette la distance d repérée sur la figure. La mesurer pour différentes languettes. Cette taille d dépend-elle de la largeur w de la languette ? de sa longueur L ?

   Solution: Non.

   Nous n'avons finalement qu'une seule longueur pour décrire la partie courbée : sa longueur (notée L_{stick} sur l'image), son rayon de courbure typique $\rho \sim d$ sont tous proportionnels à d. L'énergie élastique par unité de largeur s'écrit donc :

$$U_{el} \sim BwL_{stick}\left(\frac{1}{\rho}\right)^2 \sim \frac{Bw}{d}.$$

   où $B \sim Eh^3$ est le module de flexion de la lamelle. L'énergie de surface est proportionnelle à la la surface liquide-air qui est exposée par l'ouverture de la raquelle :

$$U_s = 2\gamma bL_{stick} \sim \gamma wd$$

Le minimum de l'énergie totale conduit donc à :

$$d \sim \left(\frac{B}{\gamma}\right)^{1/2}$$

on note maintenant

$$L_{ECF} = \left(\frac{B}{\gamma}\right)^{1/2}$$

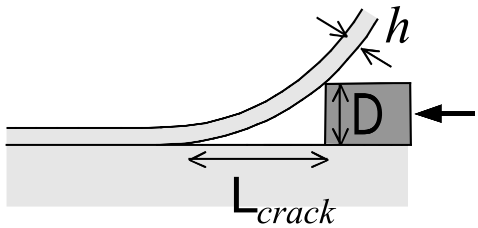
la longueur elasto-capillaire de flexion, qui fait intervenir la compétition entre le coût du décollement (γ) et celui de la flexion (B). Un calcul exact pour la raquette nous donnerait

$$d = 0.89 L_{ECF}$$

3. Mesurer L_{ECF} pour les différentes épaisseur de languettes à partir des mesures directement sur les raquettes. Tracer L_{ECF} en fonction de l'épaisseur. Est-ce compatible avec ce qu'on attend ?
   Rappel : $B = Eh^3/12(1-\nu^2)$ avec le coefficient de Poisson $\nu = 0.3$.
   Pour de l'eau + liquide vaisselle la tension de surface est $\gamma \sim 30mN/m$

2 L'expérience du rabot (clivage)

Nous nous intéressons ici aux tests de clivage basés sur les travaux d'Obreimoff (1930) et qui sont couramment pratiqués pour mesurer l'énergie de rupture d'adhésifs. Il s'agit de soulever une couche mince (épaisseur h et largeur w) à l'aide d'une lame d'épaisseur D et de mesurer la longueur de la fissure L_{crack} devant la lame. Un menuisier appellerait cette technique le "test du rabot".



EXPERIENCE : Une lamelle est recouverte d'une couche d'un liquide mouillant (ici on prendra de l'eau + liquide vaisselle) et "collée" à une surface plane (table, partie plane d'une assiette, etc...). On fabriquera des cales d'épaisseur d variables en empilant des lame de microscope (épaisseur 1mm).
ATTENTION : veiller à ne pas laisser la languette se coller sur le dessus de la cale (comme sur le schema) ; (ou alors toujours coller sur le dessus de la cale) pour pouvoir comparer les résultats entre vos expériences avec différentes cales et languettes.

1. Choisir une cale d'épaisseur D, et faire varier lat Mesurer la longueur L_{crack}. Est-ce que ça dépend de la longueur collée ? de la longueur décollée (au delà de la cale) ? Est-ce que ça dépend de la largeur w des languettes ? Peut-on expliquer vos observations.

Solution:
ça ne devrait dépendre que de D et l. La partie au delà de la cale est censée être droite. L'énergie élastique est proportionnelle à w, dépend de D, L_{crack}. Comme l'énergie d'adhésion est aussi proportionnelle à w, ce paramètre n'intervient pas au final.

2. En loi d'échelle, la courbure typique de la lamelle dans ce cas est D/L_{crack}^2, et l'énergie élastique s'écrit :

$$U_{el} \sim Bw \frac{D^2}{L_{crack}^4} L_{crack}$$

. On considère une situation où la "fissure" (le point de décollement) se trouve à une distance L_{crack} du rabot. On se demande si cette fissure va se propager plus loin. La variation d'énergie élastique si la fissure avance d'une quantité dL_{crack} alors que le rabot reste fixe est

$$dU_{el} \sim -Bw\frac{D^2}{L_{crack}^4}\,\mathrm{d}L_{crack}$$

alors que le coût énergétique de cette propagation en termes d'énergie de fracture est $2\gamma w \mathrm{d}L_{crack}$.
La fissure va se propager si au total on gagne de l'énergie, donc si

$$G = \frac{dU_{el}}{w dL_{crack}} \geq 2\gamma$$

c'est le critère de Griffith. La position d'équilibre de la fissure ($G = 2\gamma$) est donc obtenue quand

$$L_{crack} \sim D^{1/2}\left(\frac{B}{\gamma}\right)^{1/4} = \sqrt{DL_{ECF}}$$

3. Tracer L_{crack} en fonction de D pour une lamelle d'épaisseur h donnée. Observe-t-on le comportement en $\sqrt{d}$ attendu ? On pourra utiliser des échelles logarithmiques.
4. Pour comparer languettes de différentes épaisseur h, il est utile de considerer des quantités adimensionnées, en utilisant les valeurs de L_{ECF} obtenues au dessus. Par exemple, tracer L_{crack}/L_{ECF} en fonction de D/L_{ECF}. Observe-t-on que toutes les languettes se comportent de façon compatible avec la même loi $L_{crack} \propto \sqrt{DL_{ECF}}$? Si oui, mesurer le coefficient de proportionnalité.