

## Initiation de la fracture dans un adhésif mou

Arnaud Chiche<sup>1</sup> — Costantino Creton<sup>2</sup>

Laboratoire de Physico-Chimie Structurale et Macromoléculaire, UMR 7615 CNRS,  
Ecole Supérieure de Physique et Chimie industrielles  
10, rue Vauquelin 75231 Paris Cedex 05

<sup>1)</sup> Tél. : 33(0)1 40 79 46 84 / Fax. : 33(0)1 40 79 46 86 / E-mail. : arnaud.chiche@espci.fr

<sup>2)</sup> Tél. : 33(0)1 40 79 46 83 / Fax. : 33(0)1 40 79 46 86 / E-mail. : costantino.creton@espci.fr

---

*RÉSUMÉ.* Nous étudions les micromécanismes de décollement d'un adhésif repositionnable modèle (un latex de polyacrylate de 2-ethylhexyle, ou PEHA) en géométrie axisymétrique plane (technique du "probe tack"). Nous nous sommes particulièrement intéressés à la phase de cavitation-propagation de fractures interfaciales initiant le processus de décollement. Les effets de l'épaisseur du film adhésif et de la vitesse constante de séparation ont été abordés. Il apparaît une indépendance vis à vis de l'épaisseur du film de l'énergie à fournir au système pour atteindre la chute brutale de la force associée à ce mécanisme, pour une vitesse initiale de déformation donnée. Un tel critère énergétique semble plus correspondre à un mécanisme de propagation de fracture qu'à celui d'une cavitation, attendu associé à un critère de contrainte.

*MOTS-CLÉS :* adhésion, tack, PSA, cavitation, fracture, propagation, élasticité.

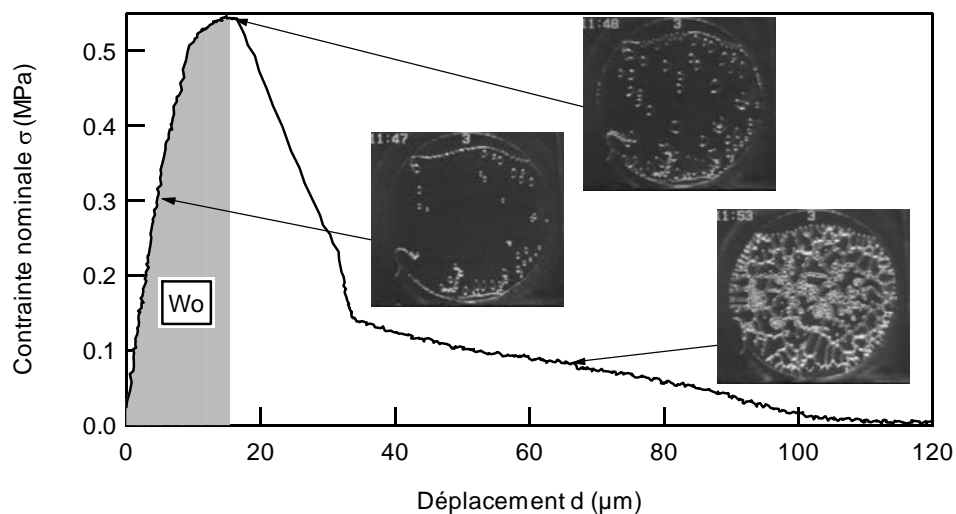
---

## 1. Introduction

Nous pouvons tous vérifier facilement que l'énergie à fournir pour séparer un film adhésif mou d'une surface rigide avec laquelle il a préalablement été mis en contact, est très nettement supérieure au travail thermodynamique de séparation de l'interface formée. Ceci est lié au mécanisme complexe de décollement qui voit l'essentiel de l'énergie fournie dissipée au niveau de l'adhésif viscoélastique.

Nous étudions ici des adhésifs repositionnables par des tests dits de "tack" qui consistent à décoller à vitesse constante de séparation un film mince d'adhésif (de l'ordre de la centaine de microns) d'une surface plane, de manière totalement uni axiale. Une telle géométrie offre l'avantage d'une homogénéité des contraintes et déformations qui permet de distinguer plus clairement les différents mécanismes mis en jeu lors du décollement. De tels tests ont déjà pu mettre en évidence trois types de mécanismes successifs (Lakrouit et al., 1999) : d'abord une augmentation linéaire de la contrainte appliquée pendant laquelle des fractures interfaciales apparaissent progressivement, puis une chute brutale de la force correspondant à une croissance rapide et simultanée de ces fractures et finalement la formation d'une mousse bidimensionnelle plus ou moins compacte qui se trouve alors étirée à force à peu près constante (plateau de "fibrillation"), jusqu'au décollement final (Figure 1).

C'est la première partie de tels décollement qui nous intéresse ici. Dans le but de mieux comprendre les critères qui contrôlent l'apparition des cavités et leur soudaine propagation latérale, nous avons fait varier l'épaisseur du film adhésif et la vitesse de séparation. De récents travaux ont en effet mis en évidence une bonne corrélation entre les variations de la contrainte maximale de traction mesurée en probe tack et le module élastique de l'adhésif (Lakrouit et al., 1999). Ces résultats suggéraient que le maximum de contrainte observé était lié à un critère de cavitation (Gent et al., 1958) soit un seuil de contrainte (proche du module élastique) au delà duquel une cavité submicronique existante croît de façon spontanée. Il nous est donc apparu intéressant de vérifier ce point dans le cas de notre adhésif repositionnable modèle en faisant varier l'épaisseur du film adhésif qui ne devrait en principe pas influencer ce seuil de contrainte critique.



**Figure 1.** Courbe contrainte nominale-déplacement et images associées (épaisseur  $100 \mu\text{m}$ , vitesse de décollement  $10 \mu\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ).  $W_0$  est l'intégrale de la courbe jusqu'au maximum de la contrainte, en  $\text{J} \cdot \text{m}^{-2}$ .

## 2. Partie expérimentale

L'adhésif modèle utilisé est un PEHA (polyacrylate de 2-ethylhexyle), déposé sur lame de verre par racle de hauteur de fente variable à partir d'un latex concentré fourni par RHODIA. Selon l'épaisseur initiale du film aqueux, des épaisseurs  $h_0$  de 100 et 200 microns ont pu être obtenues après séchage sous vide à  $60^\circ\text{C}$ . Il est à noter que la modification de l'épaisseur entraîne un changement du confinement du film testé qui pourrait

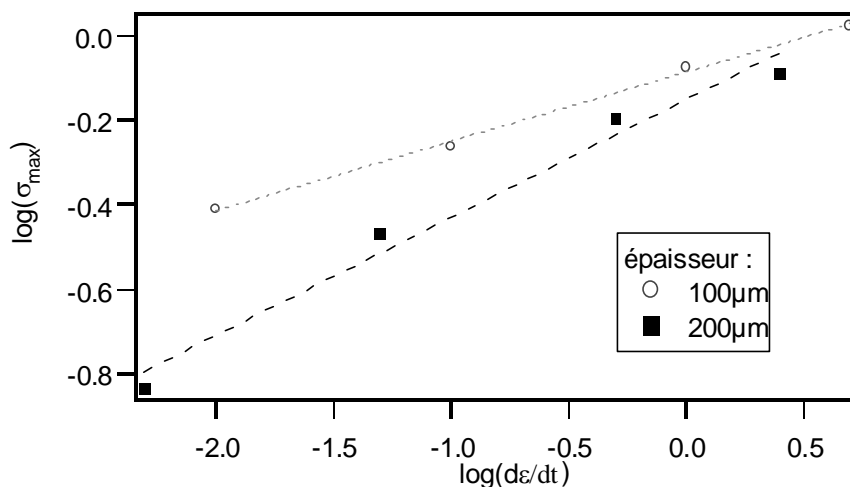
influencer les mécanismes de décollement. Dans ce cas il n'en est cependant rien, les valeurs de confinement étant particulièrement élevées.

Les tests de tack ont été réalisés sur un dispositif dédié (Lakrouf et al., 1999). Ils consistent à mettre en contact à une pression donnée (1 MPa) les films d'adhésifs avec un indenteur plan d'inox poli miroir de 10 mm de diamètre (rugosité moyenne voisine d'une dizaine de nanomètres), pendant un temps court de contact (1s). On les sépare ensuite à vitesse constante (de 1 à 500  $\mu\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) en mesurant simultanément la force appliquée et le déplacement imposé, et en enregistrant les images de la zone de contact observée à travers la lame de verre supportant le film adhésif transparent. Les courbes ainsi obtenues sont classiquement représentées en contrainte nominale  $\sigma$  (calculées à partir de la surface initiale de contact) en fonction du déplacement  $d$  (par rapport à la position du système à force nulle) ou de la déformation  $\varepsilon$  (rapport du déplacement  $d$  par son épaisseur initiale). L'épaisseur des films étant variable, nous avons utilisé la vitesse initiale de déformation  $d\varepsilon/dt$  issue du rapport de la vitesse de séparation avec l'épaisseur initiale  $h_0$  du film.

### 3. Résultats et discussion

#### 3.1. Vérification du critère de contrainte ?

Nous avons représenté figure 2 les courbes contrainte maximale - vitesse initiale de déformation obtenues pour les deux épaisseurs testées. Les courbes obtenues présentent une tendance linéaire en représentation logarithmique, signe de loi de puissance du type  $Y = X^\alpha$  qui caractérise aussi la dépendance du module élastique  $G'$  dans cette gamme de fréquence (déterminée par rhéologie). La similitude des exposants  $\alpha$  de  $G'$  et  $\sigma_{\max}$  dans le cas du film de 100 $\mu\text{m}$  (voisins de 0,16) suggère une assez bonne vérification du critère de Gent caractéristique d'une contrainte critique de cavitation. On voit toutefois bien sur la figure 2 une assez nette différence entre les données issues des films de 100 et 200 $\mu\text{m}$  (la contrainte associée à ce dernier étant systématiquement plus basse, caractérisée par un exposant de 0,28).

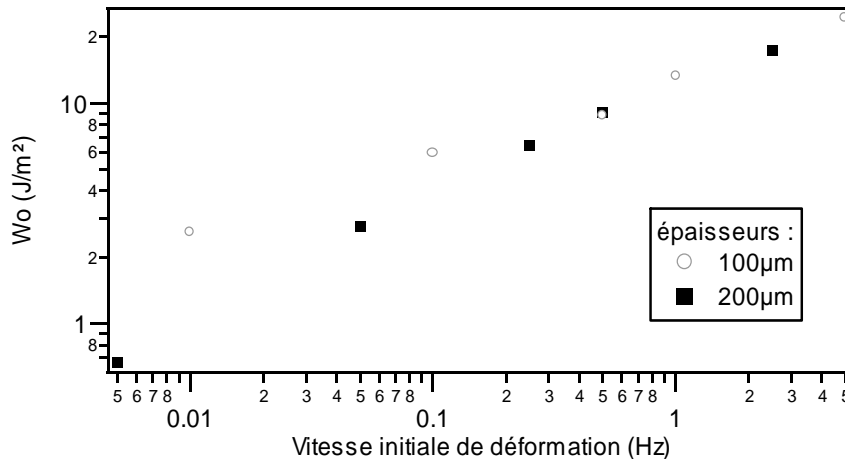


**Figure 2.** Courbes  $\sigma_{\max}$  en fonction de la vitesse initiale de déformation  $d\varepsilon/dt$  pour les deux épaisseurs testées.

La sensibilité relevée de la contrainte maximale à l'épaisseur du film adhésif fait planer un doute sur la validité du critère de cavitation étudié. La question se pose alors de trouver un autre critère physique à l'origine de la chute de la force observée. En observant les enregistrements vidéo des tests réalisés sur cet adhésif, il vient un double constat : l'apparition progressive des cavités interfaciales commence bien avant le maximum considéré de la contrainte (première image de la figure 1), et la chute brutale de la force de traction est généralement associée à une accélération de la propagation latérale de ces cavités (auparavant très lente, voire inexistante).

### 3.2 Vers un critère énergétique de propagation de fracture

Ceci suggère non un critère de cavitation mais plutôt de propagation de fracture, directement pilotée par l'énergie fournie au système : de manière analogue au taux  $\dot{G}$  de restitution d'énergie associé à la propagation d'une fracture et fonction de la vitesse de cette propagation, on peut se demander si la propagation initialement très lente des cavités apparues n'est pas brusquement accélérée lorsque l'énergie élastique disponible dépasse un certain seuil.



**Figure 3.** Courbes  $W_0(d\varepsilon/dt)$  pour les deux épaisseurs testées.

Si tel est le cas, nous devons nous attendre à une valeur constante de l'énergie totale  $W_0$  fournie au système au moment de la chute brutale de la force de traction. Ceci apparaît assez bien vérifié sur la figure 3 qui présente la variation de  $W_0$  avec la vitesse initiale de déformation  $d\varepsilon/dt$  : les courbes associées aux deux épaisseurs testées semblent se superposer notablement mieux que celles associées à la contrainte maximale. La représentation logarithmique de cette fonction  $W_0(d\varepsilon/dt)$ , linéaire, nous permet une mise en forme en loi de puissance, de manière analogue au cas du taux critique de restitution d'énergie (Maugis et al., 1978) :

$$W_0 \propto (d\varepsilon/dt)^{0,45}$$

## 4. Conclusion

Cette étude de l'influence de l'épaisseur sur les premières étapes du décollement d'un adhésif repositionnable a mis en évidence la pertinence de l'énergie élastique stockée  $W_0$  dans la couche adhésive comme critère de la chute de la force. Ce critère apparaît ne dépendre que de la vitesse initiale de déformation. Ces deux paramètres nous permettent en effet d'unifier les résultats obtenus pour les deux épaisseurs testées, révélant au sujet de cette chute de force un critère de propagation plus qu'un critère de cavitation (en contrainte). Le déroulement de la traction d'un tel adhésif en géométrie plane peut donc être précisé comme une cavitation progressive de fractures interfaciales ne se propageant pas ou peu, suivie d'une brusque propagation latérale dès lors que l'énergie stockée dans le film adhésif est suffisante, générant la chute rapide observée de la force.

## 5. Bibliographie

Lakrout, H., P. Sergot, and C. Creton, "Direct observation of cavitation and fibrillation in a probe tack experiment on model acrylic Pressure-Sensitive-Adhesives". *Journal of Adhesion*, vol. 69 (3/4), 1999, p. 307-359.

Gent A. N., Lindley P. B., « Internal rupture of bonded rubber cylinders in tension », *Proceedings of the royal society of London, series A: mathematical and physical sciences*, vol. 249, 1958, p. 195-205.

Maugis, D. and M. Barquins, "Fracture Mechanics and the adherence of viscoelastic bodies." *Journal of Physics D: Applied Physics* vol 11, 1978, p. 1989-2023.