

# COMPORTEMENT DE L'ADHESIF DANS LE DOUBLAGE

## ETUDE D'UN DOUBLAGE A FROID

*Alain ROCHE*

### **I. FORCES MISES EN JEU DANS UN DOUBLAGE**

- En principe le doublage va être soumis à deux types de force :

des forces de clivage.

des forces de cisaillement.

- Par conséquent : les forces d'adhésion nécessaires au contre collage doivent être en mesure de résister aux déformations du tableau provoquées par les contraintes résiduelles emmagasinées lors de la mise en œuvre.

Les forces de cohésion de l'adhésif doivent résister à l'ensemble des forces de cisaillement provoquées par les effets de tension du doublage sur le châssis définitif, les variations dimensionnelles inhérentes aux deux toiles de fibres naturelles, le poids de la peinture disposée à la verticale, etc...

### **1. EFFET DE LA TENSION D'UN DOUBLAGE SUR LE CHÂSSIS DÉFINITIF**

Les effets de cette tension provoquent des déformations relatives entre les deux toiles; deux cas se présenteront : les deux toiles vont être tendues ensemble et on aura une déformation de la toile originale supérieure à la toile de renfort. L'amplitude de cette déformation va dépendre de l'épaisseur de l'ensemble.

La tension de l'ensemble du dispositif de doublage sur le châssis va s'effectuer par l'intermédiaire de la toile de doublage et l'allongement de celle-ci va être beaucoup plus important que la toile originale. C'est un cas courant que l'on rencontre lorsque les bords des toiles originales ont été abîmés ou même détruits. L'amplitude de cet allongement va dépendre de la force de tension et

de l'élasticité de la toile.

Notons que si une toile est extensible et obéit à la loi de l'élasticité (dans des conditions limites adéquates), elle subira une déformation différentielle.

## **2. VARIATIONS DIMENSIONNELLES DES TOILES**

Je résumerai ce vaste projet en quelques remarques :

La sensibilité d'une toile de lin aux écarts hygrométriques est à l'origine de ses variations hygrométriques. L'amplitude de celle-ci dépend :

- de la contexture de la toile.
- des traitements qu'elle a subi.
- de l'état d'altération de celle-ci.
- de l'importance des écarts hygrométriques.

On constate que pour deux toiles d'origines différentes, la probabilité d'avoir un même comportement est extrêmement faible.

En tout état de cause, l'adhésif va être soumis à une série de déformations dues aux variations dimensionnelles des toiles qui va se superposer aux déformations résultantes dans la tension sur châssis, sans oublier la charge en cisaillement que provoque le poids de la peinture.

Les conséquences de ces variations sur la vie du dispositif de renfort vont être à plus ou moins long terme :

- la fatigue des toiles assemblées.
- l'affaiblissement des propriétés mécaniques de l'adhésif.
- l'apparition des zones de décollement.

En conséquence, les qualités d'un doublage vont dépendre du choix de l'adhésif, de la diminution du jeu entre les deux toiles.

## **II. DISTRIBUTION DES CONTRAINTES À L'INTÉRIEUR DE L'ADHÉSIF**

Les contraintes à l'intérieur d'un doublage ne sont pas distribuées de manière homogène; la tension d'une toile sur un châssis est à l'origine d'une distribution complexe des déformations que l'on peut observer par la méthode de Fischer. En ramenant le problème à un modèle simple de joint par recouvrement avec des adhérents flexibles, on constate que la distribution des contraintes provoquées par les déformations différentielles des supports va s'exprimer par une relation : la relation de Volkersen. L'analyse de cette relation met en évidence des contraintes élevées aux extrémités du recouvrement par rapport à une contrainte

moyenne.

Si la contrainte maximale dépasse la résistance du joint à la rupture, le décollement s'ensuit : c'est un cas que l'on observe en tendant trop un doublage sur son châssis définitif (les bords ont tendance à se décoller). Les précautions à prendre peuvent être : diminuer la tension ou réduire la contrainte maximale.

Comment peut-on réduire cette contrainte maximale ?

La relation de Volkersen est une fonction continue monotone qui possède un minimum; ce minimum correspond à la contrainte maximum la plus petite pour un module d'élasticité de l'adhésif déterminé.

## **III. CLASSIFICATION DES ADHÉSIFS SELON LEUR COMPORTEMENT MÉCANIQUE**

Les adhésifs organiques naturels ou synthétiques sont constitués de macro-molécules; le comportement de ces matériaux va dépendre de la nature chimique et de la structure de ces macro-molécules. En outre leurs comportements dépendent aussi de la température à laquelle il est sollicité. Dans le cas des doublages, il s'agit de la température ambiante qui peut varier dans une fourchette allant de 5°C à 50°C ou 10°C à 40°C. Nous allons trouver dans les adhésifs utilisés en restauration des matériaux ayant des comportements divers que l'on peut classer dans les différents groupes.

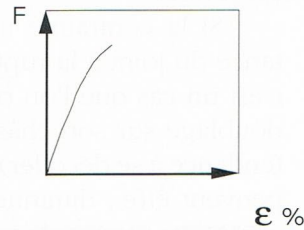
### **1. MATÉRIAUX DURS ET TENACES**

Ces matériaux sont caractérisés par une forte résistance en traction et en cisaillement; ils ont des modules d'élasticité E et de cisaillement G élevés. E est de l'ordre  $10^{10}$  dynes/cm<sup>2</sup>; ils ont un très faible allongement à la rupture : environ 5 %; ces déformations sont dues à la déformation des angles de valence.

Dans ces matériaux, on trouvera des adhésifs constitués de polymères cristallins tels que les colles protéiniques, de polymères réticulés qui forment le groupe des adhésifs structuraux (epoxy-polyester etc...), tous les polymères amorphes ou semi-cristallins qui ont une Tg > à la température ambiante (Voir fig. 1).

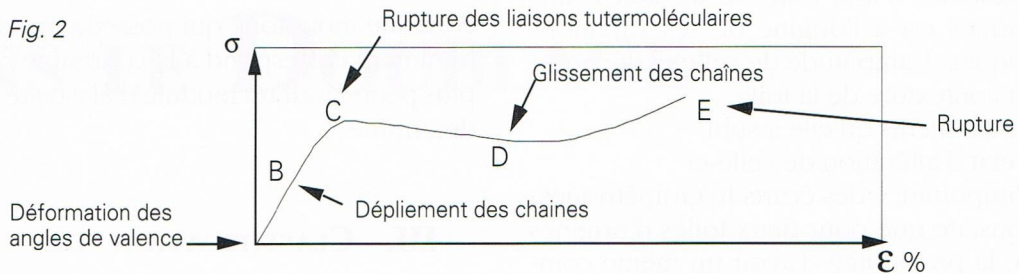
$$G = \frac{E}{3}$$

Fig. 1



Courbes de traction

Fig. 2



Dans les polymères semi-cristallins, l'existence de la zone cristalline va conférer à l'édifice macromoléculaire une forte cohésion. En traction, au-dessus de la  $T_g$ , l'allongement de l'échantillon est essentiellement dû au dépliement des chaînes des zones amorphes, avec une orientation préférentielle des macromolécules.

Si on impose à ce polymère une contrainte qui dépasse la limite d'élasticité, les liaisons intermoléculaires (force de Van der Waals, liaison hydrogène) sont rompues et les chaînes glissent les unes par rapport aux autres dans la direction de l'effort. Ce phénomène de fluage est irréversible; on dit que la matériau est déformable et que sous l'effet d'une contrainte suffisante, il présente un comportement plastique (Voir fig. 2).

On trouve dans cette catégorie des matériaux malléables à faible module.

- Ces matériaux sont caractérisés par un allongement qui se trouve proche du seuil d'élasticité.

- C'est le cas des polymères ayant une masse moléculaire faible.

- Dans ces matériaux, on va trouver des colles vinyliques et acryliques du type

Rhodopas B

Mowilith plastifiée

Rhodopas plastifié (Voir fig. 3).

**3. MATÉRIAUX MALLÉABLES ET ÉLASTIQUES**

- Ces matériaux ont un module d'élasticité faible; il n'y a pas après le seuil d'élasticité de diminution de la contrainte traduisant un écoule-

ment plastique, c'est à dire une déformation irréversible.

- Ce comportement peut s'expliquer si l'on suppose qu'en l'absence de toute contrainte, les chaînes macromoléculaires sont repliées sur elles-mêmes dans un état désordonné; sous l'effet de la traction, les chaînes peuvent se dérouler et s'organiser quasi-parallèlement les unes par rapport aux autres dans la direction de l'effort. On constate qu'au cours de l'étirement, ces matériaux vont s'échauffer.

- Lorsque la contrainte cesse, l'état désordonné est repris sous l'influence de l'agitation thermique en raison du plus grand nombre de conformations que peuvent prendre les molécules sous l'effet de la libre rotation des liaisons covalentes des chaînes.

- Les polymères ayant ce comportement s'appellent des élastomères.

- Il y a deux différences remarquables par rapport à un solide élastique : des tensions relativement faibles produisent de très grands allongements; autrement dit, le module de Young est faible (environ 10Kg/cm<sup>2</sup> ou de l'ordre de 10<sup>7</sup> dynes/cm<sup>2</sup>); la proportionnalité entre la contrainte et la déformation s/e (loi de Hook) n'est vérifiée que dans un très petit domaine (partie OA de la courbe) (Voir fig. 4).

- Il existe toute une série d'adhésifs ayant ce comportement

élastomérique :

les caoutchoucs naturels et synthétiques,

les néoprènes (chloroprène).

copolymères d'acétate de vinyle/butadiène des acryliques

**4. MATÉRIAUX DITS «PLASTIQUES»**

- Sous l'effort faible, la déformation est pratiquement inexistante. En augmentant progressivement la sollicitation, il apparaît pour une valeur déterminée  $s_c$  de la contrainte une déformation. Le matériau se met à «céder» sous l'effort sans qu'il soit possible de faire dépasser à la contrainte la valeur  $s_c$ . Si l'on supprime la sollicitation, la déformation conserve la valeur maximale qu'elle a prise.

- La cire-résine utilisée dans les rentoilages présente ce comportement (Voir fig. 5).

**IV. ETUDE EXPÉRIMENTALE D'UN DOUBLAGE À FROID**

- On constate qu'actuellement, dans la pratique du doublage, la tendance est d'éliminer progressivement dans la mise en œuvre des paramètres difficiles à contrôler tels que :

- humidité
- chaleur
- pression

et le but à atteindre est de supprimer dans la mesure du possible ces facteurs de mise en œuvre. Pour concilier l'ensemble de ces critères, l'exploitation des données exposées dans la première partie m'a permis d'orienter mon choix vers un adhésif contact.

- Ces adhésifs sont des colles polymériques ayant la particularité d'être poisseux ou «tack». Qu'appelle-t-on le «tack»? C'est une propriété qui peut être assimilée à la force nécessaire pour séparer brusquement l'adhérent de l'adhésif après les avoir portés rapidement en contact; cette propriété

est fonction de la vitesse d'arrachage. Ces auto-adhésifs sont caractérisés par une Tg très basse de -20°C à -60°C et d'un module de cisaillement relativement faible à température ambiante.

- Afin de contrôler le comportement de cette colle, les tests retenus sont : «Peel test» c'est à dire un pelage à 180°C qui permet d'évaluer la force relative d'adhésion d'une colle qui assemble deux supports flexibles.

Le test de cisaillement qui met en évidence la résistance au cisaillement d'un adhésif; cette résistance caractérise la cohésion de la colle.

Les éprouvettes étaient constituées d'un assemblage - composite - fibre de verre imperméabilisée - encollées de trois couches de l'adhésif contact.

- toile de lin encollée.

Les conditions expérimentales du vieillissement comprenaient : exposition à la lumière dans un xénotest, variation de HR de 30% à 90% pendant 15 cycles de 32 heures, variation de température de 10°C à 50°C pendant 15 cycles de 32 heures, variation de HR, exposition à la lumière.

L'analyse des résultats a permis d'émettre un certain nombre d'hypothèses sur le comportement

de la colle vieillie; on constate que l'action du vieillissement sur la colle provoque une amélioration des propriétés adhérence/cohésion. D'autre part, on ne constate aucun processus de dégradation. Bien que les résultats de cette première étude paraissent satisfaisants, on ne peut rien prédire sur la fiabilité de cette colle car toute la discussion repose sur la validité du vieillissement dans ces conditions expérimentales; cependant des applications sur des cas concrets présentent jusqu'à maintenant un comportement satisfaisant.

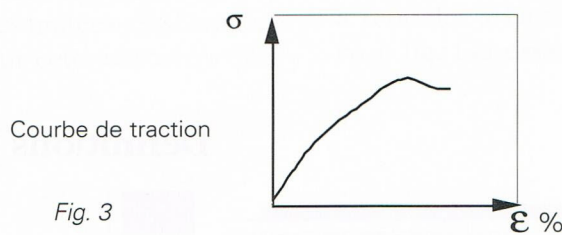


Fig. 3

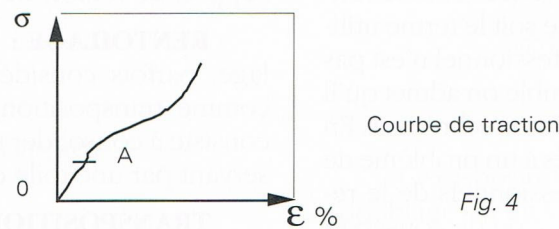


Fig. 4

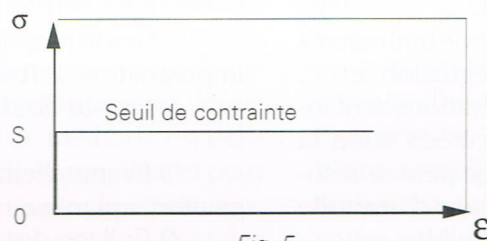


Fig. 5

1 N = 10<sup>5</sup> dynes