

# Approche du Principe de Réversibilité des Doublages des Peintures sur Toile

Alain Roche

*La réversibilité des doublages des peintures sur toile est un problème récurrent qui se pose constamment pour les conservateurs-restaurateurs du support. Nous nous proposons dans cette étude d'examiner les propriétés adhésives d'une série de colles à base de Plextol B 500 et de Tylose MH 300. Les moyens que nous avons choisis pour traiter le problème se sont inspirés des essais de pelage et de cisaillement définis par les normes ASTM et AFNOR. Dès l'introduction, après une définition des conditions idéales de collage nous avons essayé de quantifier la masse de colle strictement nécessaire, pour un mélange de 20% de Plextol B 500 et 80% de Tylose et d'identifier les différents types de ruptures. Ensuite nous avons examiné l'influence de la proportion des constituants du mélange sur les forces de pelage et de cisaillement. Dans le cas du pelage d'une toile de polyester collée sur une toile de lin avec la série d'adhésifs à base de Plextol et de Tylose, nous voyons qu'une augmentation du pourcentage de Plextol se traduit à la fois par une plus grande compatibilité avec le polyester et une meilleure réversibilité. Par contre il suffit d'une petite quantité de Plextol pour augmenter au maximum la cohésion de la colle. Enfin la dernière partie de l'étude se consacre aux propriétés de collage des différents matériaux utilisés dans les doublages.*

## INTRODUCTION

Dans le domaine de la conservation-restauration des supports, nous sommes souvent amenés à renforcer la toile d'origine dégradée par le collage d'un support de soutien. Selon les cas nous devons choisir d'une part le textile de renfort et d'autre part la colle qui les unit. Cette opération de restauration est soumise comme les autres, au principe de la réversibilité [1]. C'est pour cette raison que le choix du support et de la colle se pose en terme de conditions idéales de collage que l'on peut définir de la manière suivante:

- pas ou peu d'imprégnation de colle dans le support d'origine
- pas ou peu d'humidification
- réversibilité<sup>1</sup> du collage [2, 3]

Pour obtenir ces conditions de collage il faut prendre en considération les principaux facteurs influençant l'adhésion à savoir:

- nature et état physique de la colle durant la formation du joint
- structure et nature des surfaces à coller
- types de rupture
- quantité de colle strictement nécessaire au collage et répondant aux conditions de réversibilité

### *Nature et état physique des colles*

Le choix de la colle s'est porté sur une série de mélanges de Plextol B 500 et de Tylose MH 300 en gel. La série est composée de 21 mélanges de Plextol B 500 (50% d'extrait sec) et de Tylose MH 300 à 8% dans l'eau. Les proportions des deux produits varient de 5% en 5% en volume de façon à avoir une série continue. Elle va de 100% de Tylose MH 300 notée (P00/T100) à 100% de Plextol B 500 notée (P100/

<sup>1</sup>La réversibilité d'un collage est concevable à partir du moment où la valeur de pelage  $\leq 500 \text{ N.m}^{-1}$  et que la rupture se forme entre l'adhésif et le support original.

Received March 2002

T00).<sup>2</sup> L'un et l'autre de ces composants sont souvent utilisés seuls ou en mélange dans les techniques de doublage de peinture ou en art graphique. Ces techniques sont issues des recherches de Mehra [4, 5]. Cette colle se présente sous forme pâteuse. Cette consistance limite la pénétration de la colle dans les supports, permettant de respecter en partie la première condition du collage idéal. Par contre la colle est un adhésif aqueux et ne permet pas de respecter intégralement la deuxième condition.

### Structure et nature des matériaux à coller

Les matériaux à coller dans le cadre d'un doublage sont presque toujours des matériaux poreux et fibreux de nature cellulosique ou synthétique. La surface de ces matériaux est rugueuse. Les énergies de surface de ces deux types de matériaux sont inférieures à la tension superficielle de l'adhésif ce qui limite l'étalement de la colle.

### Types de ruptures

Les ruptures que l'on peut observer au cours des essais sont les suivantes:

- Rupture adhésive entre l'adhésif et le support original, la colle reste sur le renfort.
- Rupture adhésive entre l'adhésif et le support de renfort, la colle reste sur l'original.
- Rupture cohésive de l'adhésif, la colle se trouve sur les deux supports en fines couches.
- Rupture cohésive d'un des deux supports.
- Ruptures simultanées adhésive et cohésive.

### Quantité de colle strictement nécessaire au collage

C'est à partir d'une série d'essais de pelage et de cisaillement [6, 7] qu'on a pu déterminer l'évolution des forces d'adhésion et de cohésion d'un adhésif composé de 20% de Plextol B 500 et de 80% de Tylose MH 300 à 8% dans l'eau (P20/T80) en fonction de la masse du film sec de colle. Ces essais sont décrits dans les deux prochaines parties de l'article.

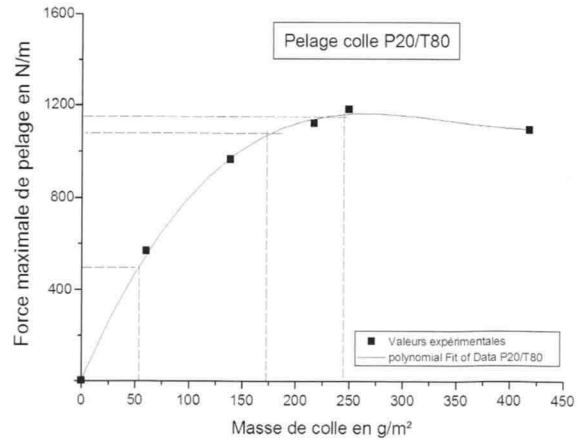


Figure 1 Courbe de la force de pelage en fonction de la masse du film de colle sec.

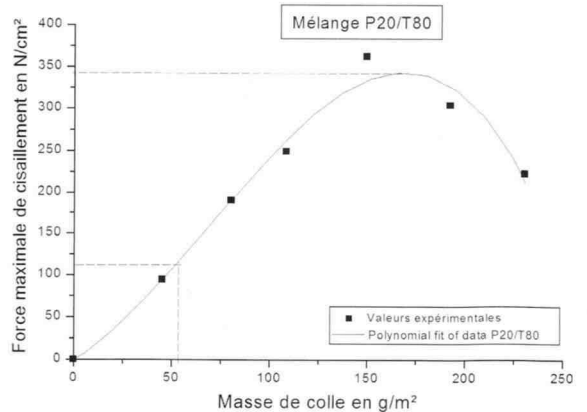


Figure 2 Courbe de la force de cisaillement en fonction de la masse du film de colle sec.

Soumis à un essai de pelage, la force nécessaire pour décoller les deux parties de l'éprouvette augmente dans un premier temps avec la quantité de colle sèche. A partir de 240 g.m<sup>-2</sup> elle atteint un palier d'une valeur d'environ de 29 N pour une éprouvette de 25 mm de large soit 1160 N.m<sup>-1</sup> (Figure 1).

<sup>2</sup>La notation des mélanges de Plextol B 500 et de Tylose MH 300 à l'état liquide est la suivante: un mélange de 40% de Plextol B 500 et de 60% de Tylose MH 300 en volume s'écrit: P40/T60. La série complète des 21 mélanges est notée: P00/T100, P05/T95, P10/T90, P15/T85, P20/T80, P25/T75, P30/T70, P35/T65, P40/T60, P45/T55, P50/T50, P55/T45, P60/T40, P65/T45, P70/T30, P75/T25, P80/T20, P85/T15, P90/T10, P95/T05, P100/T00.

En ce qui concerne les essais de cisaillement, pour une masse de colle<sup>3</sup> à l'état sec de  $170 \text{ g.m}^{-2}$ , la force maximale est de  $342,10 \text{ N.cm}^{-2}$ . L'épaisseur de la colle pour cette masse est de  $0,12 \text{ mm}$  (Figure 2).

Toutes les ruptures enregistrées sont du type adhésive ou le résidu de colle reste entièrement sur la toile. En prenant en compte les deux types d'essais, pour  $170 \text{ g.m}^{-2}$  de colle nous avons en cisaillement la valeur maximale de  $342,10 \text{ N.cm}^{-2}$  et en pelage la valeur  $1100 \text{ N.m}^{-1}$  qui est légèrement inférieure à la valeur maximale. Au-delà comme au dessous de cette masse de colle, les performances du collage sont moins bonnes.

Cependant si on s'appuie sur les critères de réversibilité  $500 \text{ N.m}^{-1}$ , et sur le type de rupture adhésive entre l'adhésif et le support original, les valeurs maximales sont bien trop importantes. D'après les courbes expérimentales, une masse de colle P20/T80 en poids sec<sup>4</sup> de  $55 \text{ g.m}^{-2}$  est suffisante pour assurer une résistance au pelage de  $500 \text{ N.m}^{-1}$  et force de cisaillement de  $115 \text{ N.cm}^{-2}$ .

## FORCES DE PELAGE ET ÉTUDE DES RUPTURES EN FONCTION DES POURCENTAGES DE PLEXTOL/TYLOSE

### Evaluation du pouvoir adhésif

D'après la norme ASTM D 903 pour qu'un résultat soit représentatif il faut au moins cinq essais par lot. Les courbes obtenues au pelage présentent une série de pics plus ou moins importants (Figure 3).

Sur les  $180 \text{ mm}$  de collage sur l'éprouvette seuls  $100 \text{ mm}$  sont pris en compte à partir de  $50 \text{ mm}$  du début et  $30 \text{ mm}$  de la fin pour évaluer la valeur moyenne. On supprime ainsi tous les effets parasites dus au démarrage et à la fin de l'essai. La moyenne obtenue correspond à la moyenne des pics de cette zone. La vitesse de décollement de l'éprouvette est de  $100 \text{ mm.min}^{-1}$ . Les essais ont été faits sur les 21 adhésifs de la série.

### Fabrication des éprouvettes

Les éprouvettes sont constituées de deux parties. La partie (A) est constituée d'une lame de bois de ramin

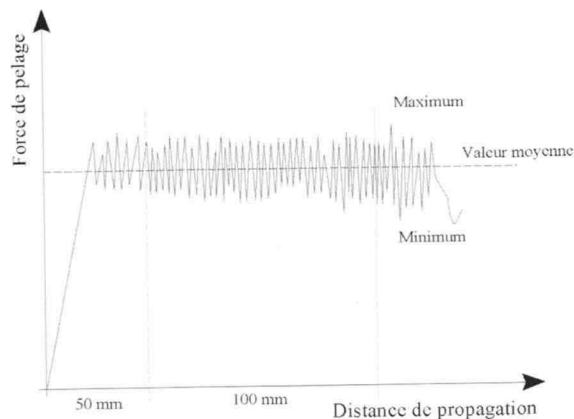


Figure 3 Courbe de pelage d'un collage.

de Malaisie de  $200 \times 25 \times 5 \text{ mm}$ . La partie (B) est constituée d'une toile de polyester blanche fine (trame  $26 \text{ fils.cm}^{-1}$ , chaîne  $26 \text{ fils.cm}^{-1}$ , masse surfacique  $147,2 \text{ g.m}^{-2}$ ). La fabrication des éprouvettes se fait par lot de cinq à partir de 21 morceaux rectangulaires de  $400 \times 130 \text{ mm}$ . Chaque morceau de toile, maintenu sur un plan de travail, reçoit les tracés de découpe des cinq éprouvettes. Ensuite chaque morceau dédié à un adhésif est enduit d'une couche de colle de la série à l'aide d'une raclette, sur une surface de  $180 \times 125 \text{ mm}$ . La partie (B) est pesée avant et après l'étalement de la couche de colle de manière à pouvoir en évaluer les quantités. Les parties (A) sont positionnées sur les parties (B) puis mise sous pression d'environ  $100 \text{ g.cm}^{-2}$  jusqu'à la fin du séchage. Cinq éprouvettes par lot sont finalement découpées au cutter pour se présenter selon la Figure 4.

### Résultats

La masse de colle déposée sur les éprouvettes varie de  $173,18 \text{ g.m}^{-2}$  (P60/T40) à  $361,88 \text{ g.m}^{-2}$  (P00/T100). Les masses oscillent autour de  $220 \text{ g.m}^{-2}$  sauf pour les deux extrêmes. Le calcul de la masse du film de colle sec nous permet de constater que la masse globale croît régulièrement de 100% de Tylose MH 300 à 100% de Plextol B 500 alors que la masse de Plextol

<sup>3</sup>La masse du film de colle sec est calculée à partir des masses volumiques du Plextol B 500 ( $M_v = 1,08$ ) et de la Tylose MH 300 ( $M_v = 1,5$ ) en fonction de leur proportions respectives dans les mélanges.

<sup>4</sup> $55 \text{ g.m}^{-2}$  de colle P20/T80 à l'état sec correspond à  $180 \text{ g.m}^{-2}$  de cette même colle liquide selon les concentrations définies. Pour se donner une idée de ce que représente cette quantité de colle, nous pouvons la comparer au poids par  $\text{m}^2$  des colles industrielles qui sont recommandées par les fabricants:  $15 \text{ kg}$  pour  $75 \text{ m}^2$  soit  $200 \text{ g.m}^{-2}$ .

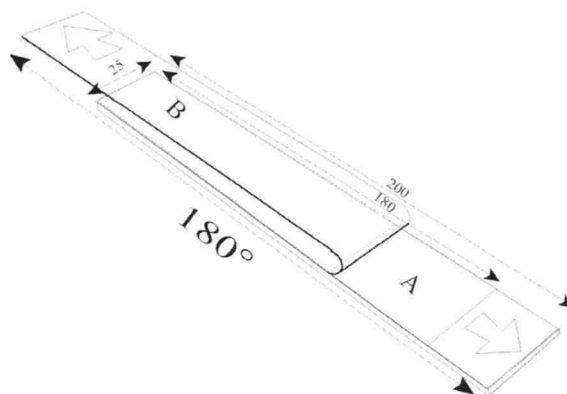


Figure 4 Représentation d'une éprouvette de pelage.

augmente pendant que la masse de Tylose diminue. Dans cette série de colle la masse de Plextol sec dans le mélange surpasse la masse de Tylose sèche après P15/T85 (Tableau 1).

L'évolution de la force de pelage en fonction de la modification du pourcentage des deux composants est représentée par la courbe de la Figure 5.

La dispersion des points est importante et les écarts types augmentent lorsque la concentration en Plextol croît. Ces deux phénomènes sont reliés aux différents

Tableau 1 Masses des deux composants dans les éprouvettes de pelage

Mélanges	Masse de colle liquide g.m <sup>2</sup>	Extrait sec Plextol g.m <sup>2</sup>	Extrait sec Tylose g.m <sup>2</sup>	Extrait sec total g.m <sup>2</sup>
P00/T100	361,88	00,00	28,95	28,95
P05/T95	<b>261,65</b>	6,54	19,89	26,43
P10/T90	251,76	12,59	18,13	30,72
P15/T85	200,47	15,04	13,63	28,67
P20/T80	203,29	20,33	13,01	33,34
P25/T75	220,24	27,53	13,21	40,74
P30/T70	226,35	33,95	12,68	46,63
P35/T65	203,76	35,66	10,60	46,25
P40/T60	206,12	41,22	9,89	51,12
P45/T55	203,29	45,74	8,94	54,69
P50/T50	204,71	51,18	8,19	59,36
P55/T45	192,94	53,06	6,95	60,00
P60/T40	173,18	51,95	5,54	57,49
P65/T35	217,88	70,81	6,10	76,91
P70/T30	226,82	79,39	5,44	84,83
P75/T25	187,76	70,41	3,76	74,17
P80/T20	219,76	87,91	3,52	91,42
P85/T15	229,18	97,40	2,75	100,15
P90/T10	211,76	95,29	1,69	96,99
P95/T05	223,06	105,95	0,89	106,85
P100/T00	291,29	145,65	0	145,65

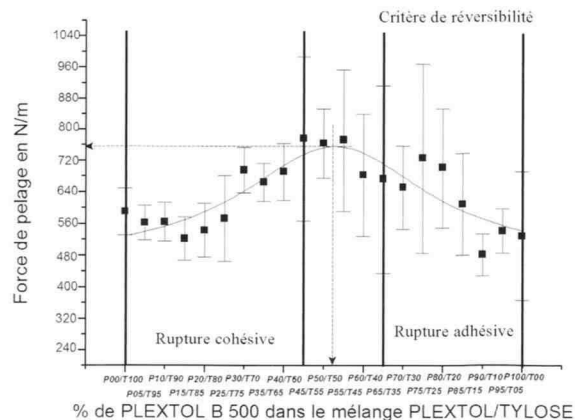


Figure 5 Evolution de la force de pelage en fonction des proportions des constituants de la colle.

types de rupture. Comme les ruptures ne sont pas homogènes au sein d'un même lot d'un mélange de Plextol/Tylose, la force de pelage s'en trouve fortement influencée. Cependant une tendance se dégage de l'ensemble des points sous forme d'une courbe de distribution qui présente un maximum  $F_p = 760 \text{ N.m}^{-1}$  pour un mélange de P53/T47.

#### Interprétation des résultats

Les ruptures entre les adhérents provoquées par le pelage à 180° peuvent être pures ou une combinaison des cinq types de ruptures définies dans l'introduction. Rappelons que la réversibilité d'un collage dans le domaine de la conservation-restauration est caractérisée par une rupture adhésive entre l'adhésif et le support d'origine. Ce qui suppose que la colle reste sur la toile de renfort.

La rupture adhésive (a) pure apparaît entre la colle et le substrat de bois. Le film de colle reste lié à la toile de polyester car la pénétration de la colle dans la toile entraîne avant tout un accrochage mécanique. Cette rupture se manifeste dans les mélanges allant de P65/T35 à P100/T00. Les valeurs de la force de pelage oscillent entre 520 et 748  $\text{N.m}^{-1}$ . Ce type de rupture est apparemment indépendant du mélange à condition que la quantité de Plextol soit supérieure à la quantité de Tylose.

Bien qu'exceptionnelle, la rupture cohésive du bois survient quand la cohésion superficielle du bois est plus faible que les forces d'adhésion. Des copeaux de bois se détachent parallèlement au plan de pelage. Cette rupture est toujours associée à une rupture

adhésive (type 'e'). Ce phénomène entraîne une augmentation de la force de pelage quand la surface de bois arraché dépasse 50%. La force maximale enregistrée est de 1053,6 N.m<sup>-1</sup> pour P80/T20. Cette rupture cohésive du bois n'a jamais atteint une surface de 100%. La combinaison de ces ruptures apparaît à partir de P70/T30 jusqu'à P100/T00.

Lorsque la rupture n'est pas purement adhésive elle se juxtapose à une rupture cohésive de l'adhésif (c). Ce type de rupture correspond à une rupture qui se propage au sein même de l'adhésif dans le plan du pelage. Des résidus de colle se trouvent alors à la fois sur le substrat de bois et dans la toile. On observe la juxtaposition de ces types de rupture, adhésive et cohésive (d) dans pratiquement tous les essais, à l'exclusion des ruptures pures.

Enfin les essais qui présentent des ruptures cohésives pures (c) se manifestent à partir de P00/T100 à P55/T45 et elles deviennent plus fréquentes lorsque la quantité de Tylose augmente. Elles sont caractérisées par la présence sur toute la surface du bois et de la toile d'une pellicule de colle. Les valeurs de force de pelage oscillent de 487,6 à 1067,6 N.m<sup>-1</sup>. Là encore, la valeur de la force de pelage est indépendante du mélange à condition que le pourcentage de Tylose soit suffisamment élevé.

En tout état de cause, quel que soit le pourcentage de Plextol/Tylose dans le mélange, la force de pelage moyenne provoquant:

- 100% de rupture adhésive est de 566 N.m<sup>-1</sup>
- 100% de rupture purement cohésive est de 640 N.m<sup>-1</sup>
- 45% de rupture adhésive et 55% de rupture cohésive est de 856 N.m<sup>-1</sup>

En examinant les résultats et la fréquence des types de rupture on remarque que les ruptures cohésives sont plus fréquentes dans les mélanges ayant une quantité de Tylose supérieure au Plextol et que les ruptures adhésives caractérisent davantage les mélanges ayant une plus forte concentration de Plextol. Si on se place du point de vue de la réversibilité, les collages de toile de polyester sur bois qui répondent le mieux aux critères, sont les mélanges à forte concentration de Plextol B 500.

Ce que l'on constate également dans cette série d'essais c'est que la compatibilité des colles avec le substrat a une importance considérable avec les processus de rupture. Dans une colle à deux composants, comme la série que nous étudions, le Plextol B 500 aura

une affinité plus importante avec la toile de polyester alors que la Tylose MH 300 s'associera plus volontiers avec le bois. Donc un mélange riche en Plextol B 500 va s'associer plus étroitement avec la toile de polyester et dans ce cas la rupture est une rupture adhésive entre le bois et la colle. Au fur et à mesure que la quantité de Tylose augmente, l'adhésion au bois s'accroît et la cohésion s'affaiblit. Le bilan de ces deux paramètres est une rupture cohésive qui laisse une couche de colle sur le support et sur la toile de doublage. Autant le premier comportement respecte l'un des critères de réversibilité autant le second ne le respecte plus.

### FORCES DE COHÉSION DES ADHÉSIFS ET ÉTUDE DES RUPTURES EN FONCTION DES POURCENTAGES DE PLEXTOL / TYLOSE

#### *Evaluation du pouvoir cohésif*

La conception des éprouvettes permet de mesurer les forces de cohésion de la série d'adhésifs en leur faisant subir un essai de cisaillement pur (Norme AFNOR T 76-112). La masse de colle déposée dans ces essais est beaucoup plus importante car on cherche à avoir une épaisseur suffisante pour que la rupture cohésive se fasse dans la colle. La vitesse de déplacement de la traverse est 100 mm.min<sup>-1</sup>.

#### *Fabrication des éprouvettes*

Les éprouvettes sont constituées de deux parties. Les parties (A) et (B) sont constituées de deux lames de bois de pin anglais de 50 × 19 × 5 mm. La surface de collage est de 10 mm sur 19 mm soit 190 mm<sup>2</sup>. La partie (A) est pesée avant l'étalement de la colle. Ensuite elle est positionnée dans un gabarit qui permet d'appliquer une couche de colle ayant toujours la même épaisseur. Une fois encollée la partie (A) est de nouveau pesée de manière à évaluer la quantité de colle déposée. La partie (B) est ensuite mise en contact avec la partie (A) et le séchage se fait sous une pression d'environ 100 g.cm<sup>-2</sup> (Figure 6).

#### *Résultats*

La quantité de colle liquide déposée sur les éprouvettes varie entre 631 (P10/T90) à 1000 g.m<sup>-2</sup> (P90/T10), la valeur moyenne étant autour de 790 g.m<sup>-2</sup>. La quantité de colle une fois sèche varie en progressant régulièrement entre 63 (P00/T100) et 458 g.m<sup>-2</sup> (P90/T10). Cette croissance régulière s'explique par le fait

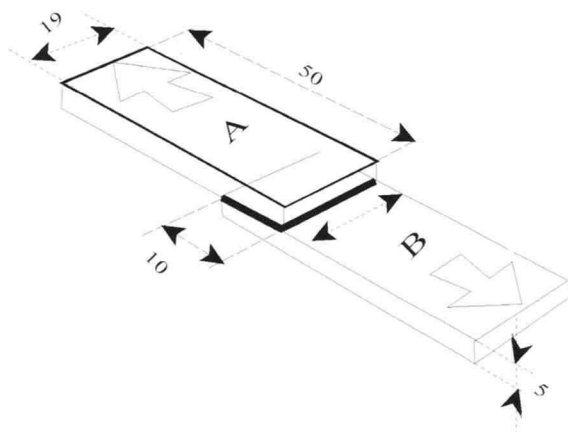


Figure 6 Représentation d'une éprouvette de cisaillement.

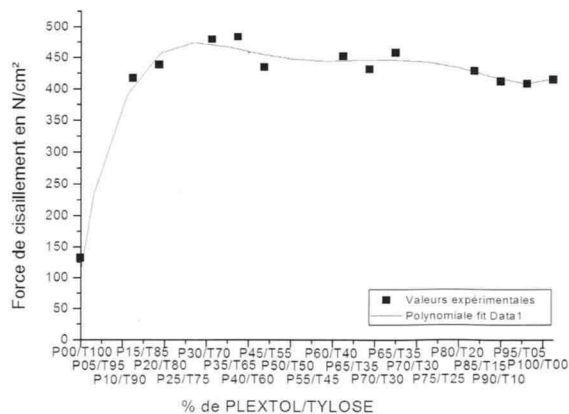


Figure 7 Evolution de la force de cisaillement en fonction des proportions des constituants de la colle.

que la masse de Plextol qui augmente dans le mélange est multipliée par sa concentration (50%) qui est bien supérieure à la concentration en Tylose (8%) (Tableau 2).

La courbe obtenue (Figure 7) par régression polynomiale de l'évolution des forces de cisaillement à la rupture par rapport aux proportions des différents constituants, présente deux parties bien distinctes.

#### Interprétation des résultats

La première partie de la courbe est caractérisée par une croissance rapide des forces de cisaillement à la rupture, alors que dans la deuxième partie de la courbe les forces diminuent lentement. La force de cisaillement

Tableau 2 Masses des deux composants dans les éprouvettes de cisaillement

Mélanges	Masse de colle liquide g.m <sup>2</sup>	Extrait sec Plextol g.m <sup>2</sup>	Extrait sec Tylose g.m <sup>2</sup>	Extrait sec total g.m <sup>2</sup>
P00/T100	789,474	0,000	63,158	63,158
P05/T95	684,211	17,105	52,000	69,105
P10/T90	631,579	31,579	45,474	77,053
P15/T85	947,368	71,053	64,421	135,474
P20/T80	684,211	68,421	43,789	112,211
P25/T75	684,211	85,526	41,053	126,579
P30/T70	684,211	102,632	38,316	140,947
P35/T65	789,474	138,158	41,053	179,211
P40/T60	789,474	157,895	37,895	195,789
P45/T55	894,737	201,316	39,368	240,684
P50/T50	894,737	223,684	35,789	259,474
P55/T45	684,211	188,158	24,632	212,789
P60/T40	789,474	236,842	25,263	262,105
P65/T35	736,842	239,474	20,632	260,105
P70/T30	684,211	239,474	16,421	255,895
P75/T25	842,105	315,789	16,842	332,632
P80/T20	894,737	357,895	14,316	372,211
P85/T15	842,105	357,895	10,105	368,000
P90/T10	1000,000	450,000	8,000	458,000
P95/T05	684,211	325,000	2,737	327,737
P100/T00	789,474	394,737	0,000	394,737

maximum est de 473,6 N.cm<sup>-2</sup>. Le changement de comportement des mélanges de colle se situe vers P15/T85 et P20/T80. Cette proportion correspond à des quantités de Plextol dans le film sec aussi importante que la Tylose.

La force de rupture cohésive de la Tylose MH 300 pure est de l'ordre de 130 N.cm<sup>-2</sup>. Elle est 3,4 fois plus faible que la force de rupture cohésive du Plextol B 500 qui atteint 443 N.cm<sup>-2</sup>. Dès que la quantité de Plextol dans le mélange dépasse la quantité de Tylose, la résistance de la cohésion de la colle parvient à son maximum soit 538 N.cm<sup>-2</sup> (P20/T80). Ensuite l'addition de Plextol dans le mélange n'améliore pas ses performances puisque l'on constate une légère chute de la résistance de la cohésion de la colle.

On observe principalement dans ces essais des ruptures cohésives au sein de la colle. La rupture se fait dans l'épaisseur de la colle en laissant sur chaque partie de l'éprouvette des résidus de masses différentes (Figure 8).

Bien que la rupture est cohésive dans presque tous les cas, on voit apparaître des modifications de comportement au fur et à mesure que la proportion de Plextol/Tylose change. A partir de P30/T70, ce qui correspond à une quantité de 102 g.m<sup>-2</sup> de Plextol et de 38 g.m<sup>-2</sup> de Tylose dans le film sec, nous voyons se former des petits filaments de colle [8] (Figure 9).

Ces filaments deviennent plus nombreux lorsque que la quantité de Plextol augmente. Lorsque la

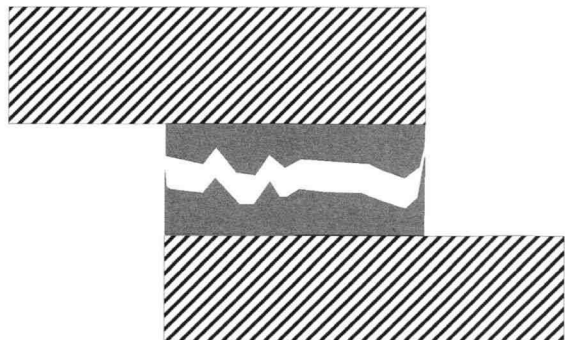


Figure 8 Représentation d'une rupture cohésive d'une colle friable.

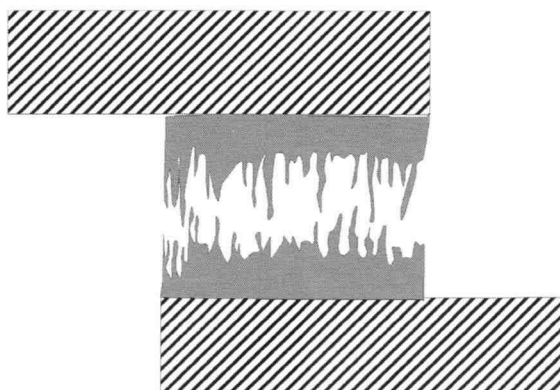


Figure 9 Représentation d'une rupture cohésive d'une colle ductile.

proportion de Plextol est trop importante (P85/T15) le film devient mou et il a tendance à s'arracher. Les forces d'adhésion au bois du Plextol sont plus faibles que les forces de cohésion.

#### FORCES DE PELAGE ENTRE DIFFÉRENTS MATÉRIAUX AVEC UNE SÉRIE RESTREINTE D'ADHÉSIFS

L'objectif de cette partie de l'étude est de mettre en évidence l'influence de la nature des substrats sur le collage et d'examiner l'efficacité d'une série de colle sur le collage de matériaux couramment utilisés dans le domaine du renfort des peintures sur toile. La série de colle se limite aux mélanges suivants: P20/T80, P30/T70, P40/T60, P50/T50, P100/T00.

##### Fabrication des éprouvettes

Les éprouvettes de pelage fabriquées sont de quatre types et associent à chaque fois un couple de matériaux différent. L'un simulera le support original<sup>5</sup> et l'autre le support de renfort. Nous avons étudié le collage des matériaux ci-dessous.

Le premier type d'éprouvettes s'inspire directement de la méthode de doublage proposée par Mehra. Par contre le second type d'éprouvettes est une variante de cette méthode. L'application d'une couche d'enduit composé de Plextol B 500 et de blanc de Meudon (carbonate de calcium) a pour but d'augmenter la rigidité de la toile de renfort. Cette méthode est quelque fois utilisée mais c'est surtout à titre expérimentale qu'elle est présentée dans cette étude. Les éprouvettes de type 3 simulent une pratique de doublage largement utilisée en art graphique pour le renfort des dessins, des plans anciens et des cartes de grand format [9, 10]. Le papier Japon RK 19 (à base de fibres de mûrier d'une masse surfacique de 19 g.m<sup>-2</sup>) sert de renfort intermédiaire avant le collage de l'oeuvre sur la toile de coton. Enfin le dernier cas de figure se rapporte à une technique de renfort adaptée au peinture sur toile de jute très dégradée. Le collage de ces matériaux se fait à chaque fois avec la série d'adhésifs choisie. Toutes les éprouvettes sont fabriquées dans les mêmes conditions de température et d'humidité. Elles ont toutes séché sous une pression d'environ 100 g.m<sup>-2</sup>.

	Support 'd'origine'	Support de renfort
1	Toile de lin encollée	Toile de polyester renforcée de non-tissé de polyester
2	Toile de lin encollée	Toile de polyester renforcée de non-tissé de polyester et enduite
3	Papier Japon	Toile de coton encollée de Tylose MH 300
4	Toile de jute	Non-tissé de polyester

<sup>5</sup>Dans tous les cas le matériau dit 'd'origine' est collé sur une lame d'aluminium à l'aide d'Araldite AWB/HY994, pour les besoins des essais.



## EPROUVETTES 1

La partie (A) est constituée d'une toile de lin (trame 13 fils.cm<sup>-1</sup>, chaîne 17 fils.cm<sup>-1</sup>, masse surfacique 302 g.m<sup>-2</sup>) collée sur une plaque d'aluminium de 200 × 25 × 2 mm [11]. La fabrication de cette partie des éprouvettes se fait par lot de cinq éprouvettes de manière à obtenir une homogénéité dans la réalisation. Après le séchage de la colle, cette toile est encollée d'une couche de colle de peau à 10% dans l'eau. La partie (B) est formée d'une toile de polyester (trame 20 fils.cm<sup>-1</sup>, chaîne 20 fils.cm<sup>-1</sup>, masse surfacique 208,3 g.m<sup>-2</sup>). On colle sur la toile de polyester un non-tissé de polyester de 17 g.m<sup>-2</sup> au Plextol B 500 à l'aide d'une brosse. La fabrication de cette partie se fait dans les mêmes conditions que dans un traitement de doublage. Ensuite chaque morceau dédié à un adhésif est enduit d'une couche de colle à l'aide d'une raclette. La partie (B) est pesée avant et après l'étalement de la couche de colle de manière à pouvoir en évaluer les quantités (Tableau 3). Les parties (A) sont positionnées sur les parties (B) puis mise sous pression jusqu'à la fin du séchage.

## EPROUVETTES 2

La partie (A) de ces éprouvettes est identique. Ce qui différencie la partie (B) des éprouvettes 1, c'est l'application sur la toile de polyester renforcée de non-tissé d'un enduit de Plextol B 500 et de carbonate de calcium. L'enduit liquide est composé de trois volumes égaux de Plextol B 500, d'eau et de carbonate de calcium. Sec l'enduit contient 66% de carbonate de calcium et 34% de résine acrylique. Après l'enduction de la toile de polyester renforcée de non-tissé la colle est étalée et la fabrication des éprouvettes suit la même procédure que nous avons vu. Les quantités de colle sont évaluées (Tableau 4).

## EPROUVETTES 3

La partie (A) est constituée d'un papier Japon RK 19 collé sur une plaque d'aluminium de 200 × 25 × 2 mm. La colle étant pâteuse n'imprègne pas le papier. La partie (B) est constituée d'une toile de coton (trame 30 fils.cm<sup>-1</sup>, chaîne 29 fils.cm<sup>-1</sup>, masse surfacique 120 g.m<sup>-2</sup>). Cette toile de coton est encollée avec une solution de

**Tableau 3** Caractéristiques des éprouvettes: toile de lin encollée à la colle de peau et toile de polyester rigidifié par un non-tissé de polyester

Lot	Partie A (25 × 200)	Adhésif	M col. liq. (g)	M col. liq. (g.m <sup>2</sup> )
1	Toile de lin sur alu	PB500 épaissi xylène	3,5	155,5
2	Toile de lin sur alu	PB500/Tylose (50/50) c = 8%	5,6	248,88
3	Toile de lin sur alu	PB500/Tylose (40/60) c = 8%	4,6	204,44
4	Toile de lin sur alu	PB500/Tylose (30/70) c = 8%	4,4	195,55
5	Toile de lin sur alu	PB500/Tylose (20/80) c = 8%	4,9	217,77

**Tableau 4** Caractéristiques des éprouvettes: toile de lin encollée à la colle de peau et toile de polyester rigidifiée par un non-tissé de polyester et un enduit de Plextol B 500 chargé de carbonate de calcium

Lot	Partie A (25 × 200)	Adhésif	M col. liq. (g)	M col. liq. (g.m <sup>2</sup> )
6	Toile de lin sur alu	PB500 épaissi xylène	2,6	115,55
7	Toile de lin sur alu	PB500/Tylose (50/50) c = 8%	5,6	248,88
8	Toile de lin sur alu	PB500/Tylose (40/60) c = 8%	3,5	155,5
9	Toile de lin sur alu	PB500/Tylose (30/70) c = 8%	2,6	115,55
10	Toile de lin sur alu	PB500/Tylose (20/80) c = 8%	3,4	151,11

**Tableau 5** Caractéristiques des éprouvettes: papier Japon RK 19 et toile de coton encollée de Tylose MH 300

Lot	Partie A (25 × 200)	Adhésif	M col. liq. (g)	M col. liq. (g.m <sup>2</sup> )
11	Papier sur alu	PB500 épaissi xylène	5,0	222,22
12	Papier sur alu	PB500/Tylose (50/50) c = 8%	4,6	204,44
13	Papier sur alu	PB500/Tylose (40/60) c = 8%	5,5	244,44
14	Papier sur alu	PB500/Tylose (30/70) c = 8%	5,5	244,44
15	Papier sur alu	PB500/Tylose (20/80) c = 8%	5,7	253,33



**Tableau 6** Caractéristiques des éprouvettes: toile de jute encollée de colle de peau et non-tissé de polyester fin

Lot	Partie A (25 × 200)	Adhésif	M col. liq. (g)	M col. liq. (g.m <sup>2</sup> )
16	Toile de jute sur alu	PB500 épaissi xylène	2,5	111,11
17	Toile de jute sur alu	PB500/Tylose (50/50) c = 8%	2,8	124,44
18	Toile de jute sur alu	PB500/Tylose (40/60) c = 8%	2,8	124,44
19	Toile de jute sur alu	PB500/Tylose (30/70) c = 8%	2,8	124,44
20	Toile de jute sur alu	PB500/Tylose (20/80) c = 8%	2,7	120,00

Tylose MH 300 à 0,5% dans l'eau. Ensuite chaque morceau de toile de coton dédié à un adhésif est enduit d'une couche de colle de la série à l'aide d'une raclette. La partie (B) est pesée avant et après l'étalement de la couche de colle de manière à pouvoir en évaluer les quantités (Tableau 5). Les parties (A) sont positionnées sur la partie (B) puis séchées sous pression.

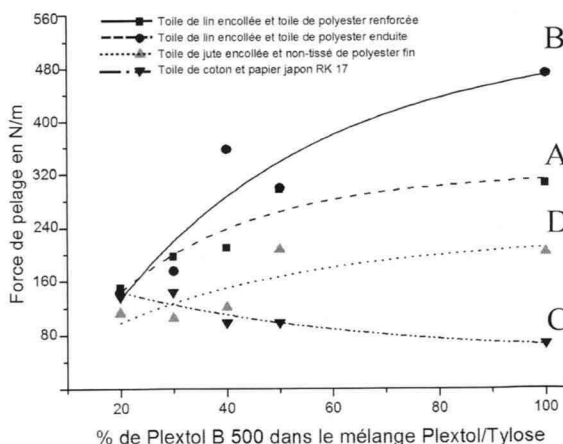
#### EPROUVETTES 4

La partie (A) est une toile de jute (trame: 7 fils.cm<sup>-1</sup>, chaîne 6 fils.cm<sup>-1</sup>, masse surfacique 324,9 g.m<sup>-2</sup>). La toile est collée comme précédemment sur une plaque d'aluminium de 200 × 25 × 2 mm. Après le séchage de la colle cette toile est encollée d'une couche à 10% de colle de peau. La partie (B) est formée d'un non-tissé de polyester de 17 g.m<sup>-2</sup>. Chaque morceau dédié à un adhésif, est enduit d'une couche de colle de la série à l'aide d'un pinceau sur un Mélinex. La partie (A) est pesée avant et après l'étalement de la couche de colle de manière à pouvoir en évaluer les quantités (Tableau 6). Les parties (A) sont positionnées sur la partie (B) puis mises sous pression jusqu'à la fin du séchage.

#### RÉSULTATS

En positionnant chaque valeur de pelage en fonction du pourcentage de Plextol B 500 dans le mélange on obtient pour chaque type de matériaux collés les courbes suivantes (Figure 10):

- A Collage d'une toile de polyester renforcée de non-tissé sur une toile de lin encollée
- B Collage d'une toile de polyester renforcée de non-tissé et enduite sur une toile de lin moyenne encollée
- C Collage d'une toile de coton encollée de Tylose sur un papier japon RK 19
- D Collage d'un non-tissé de polyester sur une toile de jute encollée



**Figure 10** Courbes des différents collages en fonction du mélange Plextol B 500 et de Tylose MH 300.

La croissance ou la décroissance des forces de pelage ne suivent pas une loi linéaire. Les courbes sont tracées à partir des points expérimentaux et elles nous donnent une tendance de l'évolution des forces dans chaque cas.

#### Courbe A

Les valeurs corrigées<sup>6</sup> de la force de pelage s'étendent de 149,2 à 304,8 N.m<sup>-1</sup>. Dans la première partie de la courbe comprise entre P20/T80 et P50/T50 la croissance de la force de pelage est rapide. Au-delà des 50% des deux composants elle atteint un régime de croissance plus faible. L'augmentation de la quantité de Plextol B 500 se manifeste par une intensification des forces de collage. On peut attribuer ce phénomène du point de vue de l'adhésion à un renforcement de l'affinité du Plextol B 500 avec le polyester renforcé par un non-tissé. Par conséquent plus la proportion de Plextol augmente dans la série de colle choisie plus les forces d'adhésion vont pouvoir se développer. D'un

<sup>6</sup>Pour tenir compte de l'influence de la quantité d'adhésif sur la force de pelage nous avons ramené toutes les valeurs de pelage à 100 g.m<sup>-2</sup> d'adhésif à l'aide de l'expression suivante:  $F_{\text{pelage}} = F_{\text{mesurée}} \times 100 \text{ g.m}^{-2} / M_{\text{adhésif}} \text{ g.m}^{-2}$

autre côté la porosité de la toile de lin encollée permet un accrochage mécanique qui n'est pas affectée par la composition de la colle. Cette observation justifie la présence sur chaque éprouvette du côté de la toile de lin d'un léger film de colle irrégulier qui s'incruste dans les anfractuosités.

#### *Courbe B*

Les valeurs corrigées de la force de pelage s'étendent de 141 à 471,6 N.m<sup>-1</sup>. Elles sont plus élevées que les précédentes tout en respectant la forme de la courbe. La couche d'enduit en rigidifiant le textile modifie les conditions de pelage [12]. Quand on décolle la partie (B), sa flexibilité agit comme un bras de levier sur l'adhésif et la force de pelage s'exprime par:  $F_p = 4EI/m^2$  avec  $F_p$  = force de pelage,  $E$  = module d'élasticité du membre flexible,  $I$  = moment d'inertie<sup>7</sup>,  $m$  = bras de levier. Lorsque l'on enduit la toile, l'augmentation du module d'élasticité et du moment d'inertie sont responsables de l'élévation des forces de pelage.

#### *Courbe C*

Les valeurs corrigées de la force de pelage de cette série de collage s'étendent de 143,2 à 66 N.m<sup>-1</sup>. Contrairement à ce que l'on a pu constater auparavant les forces de pelage diminuent lorsque le pourcentage de Plextol B 500 augmente. On explique ce renversement de situation par une meilleure compatibilité de la Tylose contenue dans le mélange avec le coton et le papier. En effet les forces d'adhésion entre les substrats et la Tylose se développent proportionnellement avec la quantité contenue dans le mélange.

#### *Courbe D*

Les valeurs corrigées de la force de collage s'étendent pour cette série de 106 à 207,6 N.m<sup>-1</sup>. Les valeurs sont beaucoup plus basses que les valeurs d'adhésion des collages 1 et 2 mais la courbe conserve la même forme. Dans ce cas comme dans les deux autres, c'est le pouvoir adhésif du Plextol B 500 qui prédomine. La faible amplitude des valeurs de pelage est liée à la structure des matériaux à assembler et à la mise en oeuvre. La toile de jute plus grossière que la toile de

lin présente un taux de rugosité plus élevé et par conséquent une surface de contact plus faible et des forces d'adhésion réduites.

### CONCLUSION

L'étude des forces de collage assemblant des matériaux utilisés dans le domaine de la conservation-restauration fait ressortir non seulement la complexité des mécanismes mais aussi la diversité des paramètres mis en jeu. Le collage est un ensemble de forces devant résister au pelage et au cisaillement. Le principe de réversibilité est respecté à partir du moment où les forces de pelage ne dépassent pas 500 N.m<sup>-1</sup> et que la résistance au cisaillement atteint le maximum pour que la rupture soit adhésive.

Le respect de la réversibilité d'un collage est lié à la maîtrise de certains paramètres. La masse de colle et les proportions des produits constituent peut-être pour une mise en oeuvre identique les deux paramètres les plus faciles à maîtriser. Par ailleurs les propriétés de collage dépendent aussi de la nature et la structure des matériaux à assembler. Les phénomènes se compliquent à partir du moment où l'on prend en considération la rigidité de la partie flexible, la rugosité des surfaces et la température qui modifie les propriétés de la colle.

Dans le cas de l'étude de cette série de colle à base de Plextol B 500 et de Tylose MH 300, plusieurs données intéressantes ont été mises en évidence. Pour un mélange donné, la masse de colle juste nécessaire pour assurer un collage réversible est inférieure à la masse de colle permettant d'assurer un collage optimum. La réversibilité d'un assemblage de deux matériaux aussi différents qu'une toile de fibres naturelles et de polyester dépend aussi de la composition de la colle. Une plus grande compatibilité de la colle avec le support de renfort provoque la plupart du temps une rupture adhésive. Dans la série des colles étudiées, une petite proportion de Plextol est suffisante pour assurer à la colle une bonne cohésion.

Le vieillissement combiné des matériaux assemblés et de la colle se traduit la plupart du temps par une perte d'adhésion. Ce phénomène est difficile à maîtriser car il dépend également des conditions de conservation. En tout état de cause le collage s'achemine plus ou moins rapidement vers une réversibilité plus grande.

<sup>7</sup>Le moment d'inertie joue dans les mouvements de rotation autour d'un point ou d'un axe le même rôle que la masse dans les mouvements de translation.

La normalisation des critères de réversibilité des collages dans le domaine de la conservation-restauration doit tenir compte de tous ces paramètres. Elle ne peut se faire que dans le cadre d'études systématiques.

## FOURNISSEURS

Plextol B 500 (résine acrylique en émulsion, extrait sec  $51 \pm 1\%$ ): Rohm, Boulougne-Billancourt, France.

Tylose MH 300 (méthylhydroxyléthylcellulose): Hoechst Hight Chem.

Toile de lin, de jute et de coton: Marin, Arcueil Cedex, France.

Toile de polyester P 110: Artfix, 06140 Tournette sur Loup, France.

Papier Japon RK 19 (masse surfacique  $19 \text{ g.m}^{-2}$ ): Atlantis, 75002 Paris, France.

Non tissé de polyester Spun-bond Reemay 2055: Nordlys, Bailleul, France.

Tasseau de ramin de Malaisie, tasseau de pin anglais: Bricorama, 75013 Paris, France.

Appareil d'essais LRX 2500: Llyord Instrument, 78180 Montigny la Bretonneux, France.

## REFERENCES

- 1 'Déontologie professionnelle du conservateur restaurateur', texte écrit par l'Association Française des Conservateurs-restaurateurs et distribué par l'Association Professionnelle des Restaurateurs Indépendants travaillant pour les Musées (APRIM), 1989.
- 2 Katz, K.B., 'The quantitative testing and comparison of peel and lap/shear for Lascaux and Beva 371', *Journal of American Institute for Conservation* **24** (1985) 60-65.
- 3 Hawker, J.J., 'The bond strength of two hot table lining adhesives - Beva 371 and Plextol D 360' dans *ICOM Committee for Conservation 8th Triennial Meeting*, Sydney (1987) 161-168.
- 4 Mehra, V.R., 'Comparative study of conventional relining methods and materials and research towards their improvement', interim report, *ICOM Committee for Conservation 3rd Triennial Meeting*, Madrid (1972) 27 pp.
- 5 Mehra, V.R., 'Further developments in cold-lining' dans *ICOM Committee for Conservation 4th Triennial Meeting*, Venice (1975) 75/11/5 (25 pp).
- 6 Phenix, A., et Hedley, G., 'Lining without heat or moisture' dans *ICOM Committee for Conservation 7th Triennial Meeting*, Copenhagen (1984) 84/2/38-44.
- 7 Berger, G.A., et Zeliger, H.I., 'The procedure for developing an adhesive for paintings. The importance of valid tests' dans *Adhesives and Consolidants*, IIC, London (1984) 13-17.
- 8 Andrews, E.H., et Kinloch, A.J., 'Mechanics of elastomeric adhesion', *J. Polymer Sci. Symposium* **46** (1974) 1-14.
- 9 Roche, A., 'Etude du comportement mécanique des dessins grands format doublés sur des matériaux non-tissés' dans *ICOM Committee for Conservation 11th Triennial Meeting*, Edinburgh (1996) 545-551.
- 10 Roche, A., et Lennuyeux-Comnène, S., 'Le doublage des dessins de grand format sur non-tissé polyester étudié en fonction d'une série d'adhésifs' dans *ICOM Committee for Conservation 12th Triennial Meeting*, Lyon (1999) 517-524.
- 11 Roche, A., 'Pressure-sensitive adhesives for attachment of reinforcing canvases to the back of paintings', *Studies in Conservation* **41** (1996) 44-54.
- 12 Keable, D.H., 'Theory and analysis of peel adhesion: mechanism and mechanics', *Transactions of the Society of Rheology* **III** (1959) 161-180.

## AUTEUR

ALAIN ROCHE est diplômé de l'Institut Français de Restauration des Oeuvres d'Art (IFROA) et ingénieur du Conservatoire National des Arts et Métiers (CNAM). Il a été pensionnaire à la Villa Medici à Rome de 1982 à 1984. Il travaille depuis 20 ans comme restaurateur pour le Centre de Recherche et de Restauration des Musées de France (C2RMF), pour les Monuments Historiques et d'autres institutions françaises. Il enseigne depuis 15 ans la physique et la physico-chimie appliquée à la restauration à la MST de Conservation et Restauration des Biens Culturels et à l'IFROA de l'Institut National du Patrimoine. Il a créé depuis sept ans un laboratoire privé de services et de mécanique ou se développe une partie de ses recherches. Adresse: 03 rue Liard, 75014 Paris, France. Email: roche.al@wanadoo.fr

**Summary** — *The reversibility of linings of paintings on canvas is a perennial problem for conservators of the support. In this study, the author investigates the adhesive properties of a series of glues based on Plextol B 500 and Tylose MH 300. The methods chosen are based on the tests for peel and shear defined by ASTM and AFNOR standards. After defining the ideal requirements for adhesion, the introduction attempts to quantify the amount of glue strictly necessary, using a mixture of 20% Plextol B 500 and 80% Tylose, and to identify the various types of rupture. Next, the influence of the proportion of the constituents in the mixture on peel and shear strength is investigated. In the peel test, for a polyester canvas glued to a linen canvas using the series of adhesives based on Plextol and Tylose, an increase in the percentage of Plextol*

gives both greater compatibility with the polyester and better reversibility. On the other hand, only a small quantity of Plextol is required to provide maximum adhesiveness. The last part of the study deals with the adhesive properties of the various materials used for lining.

**Zusammenfassung** — Seit Jahren ist die Reversibilität von Doublierungen ein Problem für Restauratoren. In dieser Studie werden die Eigenschaften einer Serie von Klebmitteln auf der Basis von Plextol B 500 und Tylose MH 300 untersucht. Die Untersuchungsmethoden basieren auf von ASTM und AFNOR definierten Tests. Nachdem zu Beginn der Studie die idealen Adhäsionsbedingungen definiert worden waren, wurde unter Verwendung einer Mischung von 20% Plextol B 500 und 80% Tylose MH 300 die genau notwendige Menge an Klebmittel ermittelt. Danach wurde der Einfluss des Mischungsverhältnisses auf die zur Ablösung führenden Zug- und Scheerkräfte untersucht. In der Tests der Zugkraft konnte im Falle eines mit einem auf Plextol und Xylose beruhenden Klebmittels auf einer Leinwand aufgetragenen Polyesterträgers gezeigt werden, dass eine Erhöhung des Anteils an Plextol sowohl zu einer besseren Verträglichkeit mit dem Polyester wie auch zu einer größeren Reversibilität führt. Auf der anderen Seite wird nur eine kleine Menge an Plextol für eine maximale Klebkraft benötigt. Im letzten Teil der Studie wird die Klebkraft verschiedener für die Doublierung verwendeten Materialien untersucht.

**Resumen** — La reversibilidad de los reentelados en pinturas sobre lienzo es un problema recurrente para los restauradores de soportes. En este estudio el autor investiga las propiedades adhesivas de una serie de colas basadas en el Plextol B 500 y en Tylose MH 300. Los métodos escogidos se basan en las pruebas de separación y desgarró definidas por los standards ASTM y ANFOR. Después de establecer los requerimientos ideales en cuanto a adhesión, en la introducción se intentó cuantificar la cantidad de cola estrictamente necesaria, llegándose a una mezcla de 20% de Plextol B 500 y un 80% de Tylose, intentándose definir los distintos tipos posibles de ruptura. A continuación se investigó la influencia de la proporción de los componentes en relación a los resultados de las fuerzas de separación y desgarró. En las pruebas de separación, en el caso de una tela de poliéster unida a un lienzo de lino con una serie de adhesivos basados en Plextol y Tylose, un aumento del porcentaje del primero daba mayor compatibilidad con el poliéster, así como mejor reversibilidad. Por otra parte, solo una pequeña parte de Plextol se requiere para aumentar la capacidad adhesiva al máximo. La última parte del estudio se refiere a las propiedades adhesivas de varios materiales usados para forraciones.