

Étude du comportement mécanique d'adhésifs synthétiques pour le montage d'œuvres à base de papier et de cire d'abeille blanchie

Emmanuelle Hincelin et Alain Roche

(Les biographies et les coordonnées des auteurs se trouvent à la fin du présent article.)

Résumé

Cette étude concerne le montage par collage de l'œuvre *Eclipses* de J.M. Sicilia à base de papier. Cependant l'usage de cire d'abeille en couche épaisse sur toute sa surface a impliqué de modifier les pratiques habituelles de montage. L'adaptation d'un système de montage flottant a nécessité d'étudier le pouvoir adhésif de six adhésifs synthétiques : quatre acryliques (Lascaux 360HV, Plexisol P550, Paraloid B72, Solucryl 356) et deux vinyliques (la BEVA 371 Original Formula et le Mowital B60HH). Les sollicitations mécaniques diffèrent de celles communément en jeu lors du refixage ou collage de petits éléments cireux. Nous avons donc étudié le comportement en cisaillement et en pelage du joint adhésif assemblant les charnières en non-tissé sur une cire récente. L'étude a permis de déterminer trois adhésifs acryliques répondant au cahier des charges (Lascaux 360HV pur, Plexisol P550 dilué à 66 % dans l'acétone et Solucryl 356 dilué à 50 % dans le toluène). Les deux premiers ont un vieillissement relativement connu et seront privilégiés pour la mise en pratique.

Title and Abstract

Study of the Mechanical Behaviour of Synthetic Adhesives for Mounting Works on Paper and Bleached Beeswax

This study looks at the glue mounting of *Eclipses* by J.M. Sicilia. The thick layers of wax used on the entire surface of this work of art on paper required a modification of the usual mounting practices. To adapt the float mounting system, it was first necessary to study the adhesive power of six synthetic adhesives: four acrylic adhesives (Lascaux 360HV, Plexisol P550, Paraloid B-72, and Solucryl 356) and two vinyl adhesives (BEVA 371 Original Formula and Mowital B60HH). The mechanical properties necessary for this project are different from those that commonly come into play during the consolidation or reattachment of small pieces of wax. We therefore studied the shear strength and peeling resistance of adhesives used to attach non-woven hinges to new wax. The study identified three acrylic adhesives that met the project specifications: pure Lascaux 360HV, Plexisol P550 diluted in acetone to 66%, and Solucryl 356 diluted in toluene to 50%. The aging properties of the first two are relatively known, and they will be the preferred method for the project.

Introduction

« Je fabrique des étangs sur lesquels se déposent des pigments, mais ces étangs se font à leur guise. »

José-Maria Sicilia, 2001

José-Maria Sicilia a utilisé la cire pendant quinze ans sur panneau de bois et sur papier. Le Fonds Régional d'Art Contemporain de Picardie possède dans sa collection dédiée au dessin contemporain sept de ses œuvres. Les missions de soutien à la création plastique contemporaine et de diffusion en région sous-entendent pour cette institution une constante réflexion sur le montage et l'encadrement. Le dernier achat à cet artiste, *Eclipses*, à base de papier totalement inclus dans une couche de cire d'abeille blanchie (95 x 99 cm, 2 kg environ, 2007), est à l'origine de cette étude. La présence d'un matériau cireux remettait en cause l'emploi des adhésifs utilisés dans le domaine de la conservation-restauration arts graphiques. Un cahier des charges a été établi afin de hiérarchiser les paramètres les plus importants à étudier. A partir des pratiques en conservation-restauration de sceaux, de sculptures, de peintures ou des photographies sur papier ciré et des papiers imprégnés, six adhésifs synthétiques ont été retenus et leur comportement mécanique étudié (traction et pelage). Nous présentons ici les résultats obtenus et concluons sur les adhésifs utilisables pour le montage de ce type d'œuvre.

De l'œuvre à la recherche appliquée

Description technique d'Eclipses

Afin de modéliser les éprouvettes, nous avons étudié les matériaux constitutifs de l'œuvre. A l'œil nu, le papier apparaît très fin, avec un épaisseur nuageux. Il ressemble à un papier extrême-oriental. Une rencontre avec l'artiste, en mars 2010, a mis en évidence son intérêt et sa connaissance des papiers japonais. Il se fournit auprès de revendeurs français et ses voyages au Japon sont également l'occasion de visiter des papetiers et d'acheter leurs productions. Le matériau cireux est translucide et blanchâtre. Au verso, sa surface est satinée et ridée (Figure 1). Sa matière est relativement dure. Cette couche mesure 1 à 2 mm d'épaisseur environ au recto alors qu'elle est très fine au verso. Aucune odeur n'est perceptible.



Figure 1 : Vue de l'aspect de surface du dos de l'œuvre avant traitement. Au premier plan est visible un morceau de ruban double-face utilisé pour le montage existant avant acquisition de l'œuvre.

L'analyse par spectrophotométrie Infra-Rouge à Transformée de Fourier a confirmé qu'il s'agissait de cire d'abeille. Parallèlement à cette démarche, nous avons rencontré J. M. Sicilia qui explique avoir utilisé la cire d'abeille durant une quinzaine d'années. Il ne travaillait la cire qu'à Majorque où le climat chaud la gardait malléable plus longtemps. Elle était mise à fondre dans une « grande bassine avec un robinet » (sic). Au sol était posé un support en bois sur lequel la cire était coulée. L'artiste souligne qu'elle s'étalait facilement au centre mais beaucoup moins sur les bords. Il était donc obligé de courir autour de la peinture avec un décapeur thermique pour l'empêcher de se figer avant d'avoir recouvert toute la surface. Les couleurs sont obtenues par un mélange de cire, de peinture à l'huile et de White Spirit ou par un mélange cire – vernis pour eau-forte qui donne des teintes brunes.

Choix du montage et des matériaux

En 2007, *Eclipses* a été acquise par le Frac Picardie encadrée : elle était épinglée par les quatre angles sur un carton de fond d'environ 130 x 130 cm, dans un cadre en bois lasuré en blanc, sans protection de face. Lors du constat d'entrée, un examen en lumière ultra-violette a révélé que l'épinglage était complété au verso par dix-huit morceaux de ruban double-face, répartis sur la périphérie (Figure 1). Ceux-ci s'adaptaient aux déformations naturelles du verso de l'œuvre mais l'adhésion sur le carton de fond était hétérogène. Il apparaissait nécessaire à court terme de modifier le montage pour sécuriser sa présentation à la verticale et pour éliminer l'adhésif instable du ruban double-face. L'œuvre a néanmoins été accrochée en l'état au printemps 2009 et elle s'est détachée de son encadrement sans dommage.

L'épinglage était le système souhaité par l'artiste. Après l'accident de 2009, l'observation de l'œuvre démontée a révélé que les angles supérieurs avaient été renforcés par un triangle de papier de soie collé avec un matériau cireux (Figure 2). Ceci laisse supposer que J.M. Sicilia était conscient des défauts de l'épinglage.

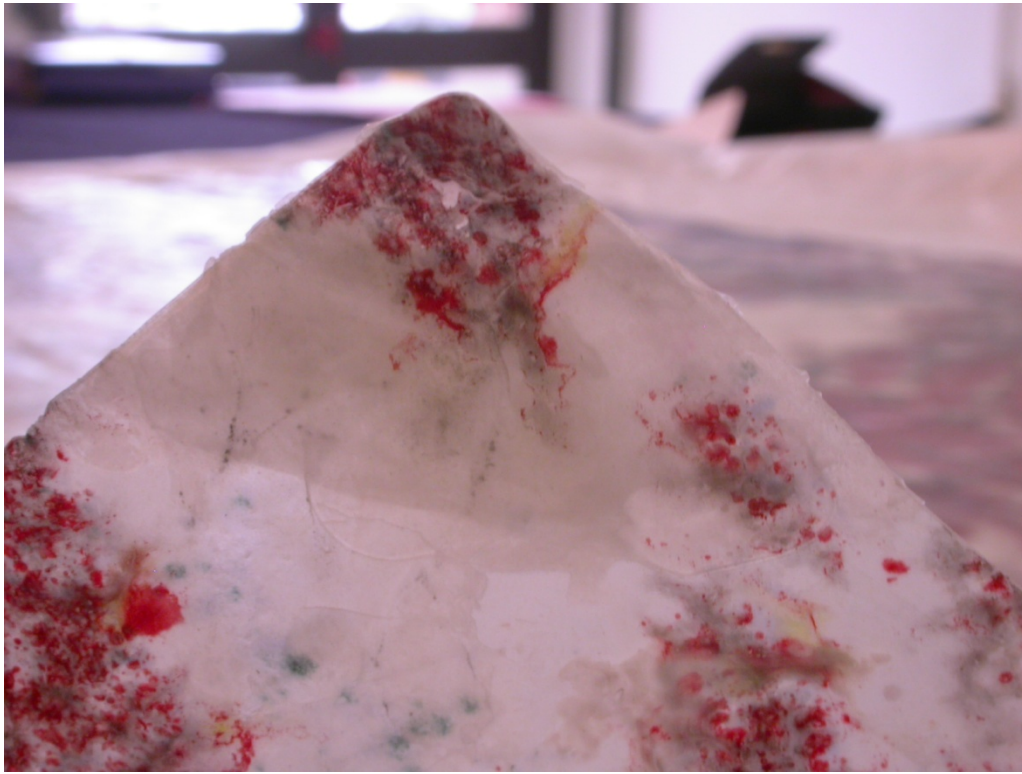


Figure 2 : En lumière transmise, un angle supérieur « renforcé » avant traitement.

Ces constatations nous ont conduits à privilégier un système pérenne et invisible qui permette l'exposition à la verticale et maintienne l'œuvre dans le plan. Un montage flottant avec des charnières glissées dans des fentes ménagées dans le support nous a paru intéressant (Battison 2005) (Figure 3). Il laisse la possibilité de repositionner les épingles dans leurs trous originaux.

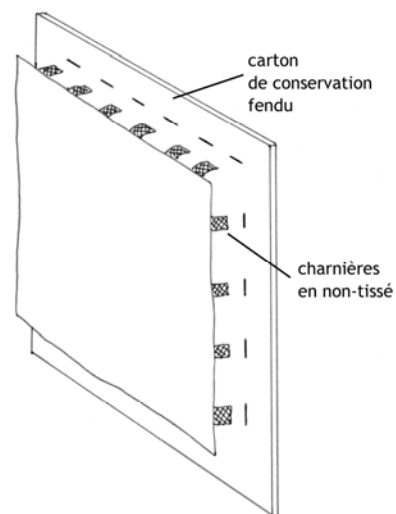


Figure 3 : Principe du montage flottant.

Les charnières collées au dos de l'œuvre sur 2 x 2 cm environ doivent épouser la surface froissée de l'œuvre semi-rigide. Elles doivent être résistantes pour ce grand format, souples pour s'adapter aux déformations de la surface et peu perceptibles au verso de cette œuvre translucide. A cette fin, nous avons préféré un non-tissé polyester (Reemay) aux papiers japonais couramment utilisés. Sa blancheur et sa trame ouverte et aléatoire le rendent peu visible sous l'œuvre, même utilisé ponctuellement (Figure 4). Le nombre de charnières, leurs dimensions et leur répartition ne font pas partie de l'étude. Ces paramètres sont néanmoins essentiels lors de la mise en œuvre et font appel à l'expérience du restaurateur.



Figure 4 : Détail d'un bord d'Eclipses avant traitement : à droite, avec un carton de fond, le non-tissé est très peu perceptible.

Le cahier des charges pour l'adhésif

Lors de l'application, l'adhésif pour le montage doit répondre à plusieurs critères : il ne doit pas dissoudre la surface de l'œuvre ni modifier son aspect de surface. De ce fait, la forte pression et la chaleur sont inadaptées. Par ailleurs, nous privilégierons un adhésif soluble dans un solvant polaire qui ne dissout pas ou peu la cire. Après tests sur l'œuvre, il s'avère que l'acétone et l'éthanol répondent à ce critère. Au moment de l'application, l'adhésif doit former un film le plus uniforme pour obtenir un collage stable et ce, malgré la faible mouillabilité de la cire d'où l'importance de la tension de surface du solvant. Enfin, il doit être étalé à travers le non-tissé.

Une fois le film sec, l'adhésif doit avant tout avoir une bonne résistance en cisaillement pour supporter le poids de l'œuvre. Il doit former un joint qui résiste, dans une moindre mesure, au pelage car lors de l'insertion des charnières dans les fentes, le collage est sollicité. D'un point de vue de la conservation, nous souhaitons qu'en cas de rupture, cette dernière soit plutôt adhésive et qu'elle se produise préférentiellement entre la cire et l'adhésif. Sa couleur doit être neutre afin de ne pas être perceptible au verso de cette œuvre translucide. Son comportement doit être stable dans le temps. L'adhésif doit être réversible mécaniquement ou par ressolubilisation. Enfin, nous souhaitons qu'il se différencie du matériau original. De ce fait, les mélanges cireux ou pâtes de cire ont été exclus.

Les pratiques existantes en conservation-restauration

L'étude bibliographique a mis en évidence que pour les objets à base de cire, la gamme d'adhésifs utilisés est très variée. Les adhésifs naturels sont privilégiés dans un certain nombre de cas : la colle d'amidon ; les adhésifs protéiniques (Prévest 2008) ou encore les matériaux cireux (Kerlo 2007). Les éthers de cellulose sont peu utilisés car leur pouvoir adhésif semble souvent insuffisant. Les adhésifs synthétiques sont de plus en plus utilisés du fait de la variété des pouvoirs adhésifs et de leurs autres propriétés. Ils se différencient facilement de la matière originale et certains sont stables dans le temps.

Six adhésifs ont été sélectionnés dont quatre acryliques : Paraloid B72, Plexisol P550, Solucryl 356, Lascaux 360HV et deux polymères à base vinylique : la BEVA 371 Original Formula (copolymère d'éthylène et d'acétate de vinyle) et le Mowital B60HH (polybutyrale de vinyle).

Protocole de la recherche appliquée

La conception des éprouvettes s'inspire de deux normes (NF EN 1465, 2009) et (ASTM D 1876, 2008).

Fabrication des éprouvettes cire-papier

Tout d'abord, le film de cire (sans pigments) a été réalisé sur un tasseau de bois. Cela ne reproduisait pas du tout la stratigraphie originale de l'œuvre mais nous souhaitons nous concentrer sur l'adhésion à l'interface cire - non-tissé. Cette mise en œuvre évitait le risque systématique de rupture de l'ensemble papier-cire avant celle du film adhésif ou du non-tissé. Les éprouvettes ont été fabriquées en trempant le tasseau dans la cire fondue : le film était lisse, homogène et d'épaisseur régulière. Cette méthode enrobait le papier japonais au cœur du film de cire. 120 échantillons ont ainsi été fabriqués, c'est-à-dire 10 par adhésif et par type de sollicitation mécanique.

Réalisation des collages

Le non-tissé testé est en polyester thermosoudé de faible grammage (Reemay 34 g/m²). Les charnières sont coupées suivant le sens machine du non-tissé afin d'exploiter sa résistance mécanique. En cisaillement, ce matériau présente un allongement important avant la rupture (23 mm en moyenne). La force moyenne à la rupture est de 37,58 N. Il a tendance à se défibrer en diagonale. Ce matériau semble relativement hétérogène dans sa structure et donc, dans son comportement mécanique.

Pour les tests en cisaillement, la zone de collage mesure 3 cm de long par 2,7 cm de large. Pour les mesures en clivage, elle mesure 11 cm de long par 2,7 cm de large. Ces zones de collage sont supérieures à celle du collage envisagé en situation réelle (environ 2 x 2 cm) cependant elles permettent d'obtenir des valeurs exploitables.

La Lascaux 360HV a été appliquée pure, le Paraloid B72 à 50% dans l'acétone, le Plexisol P550 dilué à 66 % dans l'acétone, la BEVA 371 Original Formula utilisée pure, le Solucryl 356 dilué à 50 % dans le toluène et le Mowital B60HH à 15 % dans l'éthanol.

Dans l'optique d'une utilisation pratique des résultats, nous avons collé les bandes de non-tissé sur la cire comme nous envisageons de le faire au dos de ce type d'œuvre d'après le cahier des charges établi. Afin de ne pas induire de modification de la couche cireuse, nous n'effectuerons pas de préparation de surface avant collage (abrasion ou nettoyage). La rigidité de la cire nous a conduits à privilégier une application au pinceau à travers le non-tissé, en une couche régulière (Figure 5). Elle limite également l'évaporation du solvant des adhésifs lors de la mise en œuvre et offre un collage précis. Le contact entre le non-tissé et la cire est assuré par la simple pression du pinceau. Le collage a séché ensuite à l'air libre pendant dix jours sans mise sous poids. La pertinence de ce mode d'application a été évaluée lors de l'analyse des résultats.



Figure 5: Application de l'émulsion Lascaux 360HV à travers le non-tissé.

Tests mécaniques effectués

Deux types de mesures ont été effectués : une série d'essais en traction pour étudier le comportement du collage une fois l'œuvre montée et accrochée et des essais en pelage pour évaluer la permanence du collage lors de l'insertion des charnières dans les fentes du carton. Les mesures ont été réalisées sur l'appareil de traction LLOYD LRX 250. Les essais ont été réalisés à température constante (24 °C), en dessous de la température de transition vitreuse de la cire d'abeille (31-33°C) (Delcroix 2005).

Résultats

En préambule, nous souhaitons insister sur le fait que pour l'interprétation des mesures, nous avons privilégié la fiabilité de l'adhésif (c'est-à-dire une résistance peut-être plus faible mais peu variable d'un échantillon à l'autre) plutôt que celui présentant la valeur de résistance la plus élevée. Cette démarche s'appuie sur le fait qu'en conservation-restauration, le collage reste relativement artisanal : sa qualité dépend de l'adhésif employé mais surtout de la mise en œuvre et de l'état de surface de l'objet (nature du matériau, état de dégradation). De plus, les défauts initiaux inhérents au collage (micro-bulles, contaminants) vont être responsables d'un affaiblissement du collage. Souhaitant privilégier un collage durable et reproductible, nous avons exploité les données en ce sens.

Observation des films secs d'adhésif

Les qualités du film sec nous paraissent importantes à décrire car certaines d'entre elles font partie du cahier des charges (passage uniforme de l'adhésif à travers le non-tissé, régularité, souplesse) et ont des implications sur la qualité du collage final. Tous les adhésifs forment un film à l'interface non-tissé – cire ce qui signifie que le mode d'application choisi est compatible avec leur viscosité. Tous sont réguliers excepté pour le Mowital B60HH. Le Solucryl 356 et la Lascaux 360HV forment un film fin, souple et élastique. Le second reste très légèrement collant à température ambiante, ceci peut constituer un défaut (surface gluante, poussière fixée). Les films de Plexisol P550 et de BEVA 371 Original Formula sont un peu plus épais et légèrement rigides. Enfin, le film de Mowital B60HH est moyennement épais, légèrement rigide et cassant. Celui de Paraloïd B72 est le plus épais, rigide et cassant.

Mesures en traction

La rupture est adhésive pour les échantillons avec la Lascaux 360HV, le Paraloïd B72 et le Plexisol P550. L'état de surface n'est pas modifié. Les trois autres adhésifs présentent des ruptures cohésives de l'adhésif. Il reste à la surface de la cire quelques résidus de BEVA 371 Original Formula et de Mowital B60HH tandis que de longs fils de Solucryl 356 ont été parfois constatés.

A partir des mesures de force maximale à la rupture, nous avons calculé la contrainte moyenne (σ) qui permet une comparaison entre les adhésifs (Tableau 1, colonne 1) : le Paraloïd B72, le Plexisol B550 et le Mowital B60HH présentent les plus fortes valeurs moyennes de résistance en cisaillement, symbolisées par des carrés noirs (Figure 6). Cependant, ce premier classement nous apparaît peu fiable car, pour ces trois adhésifs, la dispersion des valeurs mesurées est importante : celle-ci est représentée par l'écart-type qui est une mesure de la dispersion des valeurs par rapport à la moyenne (Tableau 1, colonne 2). Sur le graphe (Figure 6), il est matérialisé, pour chaque adhésif, par un segment vertical noir : ainsi plus l'écart-type est important, plus la dispersion des valeurs mesurées est grande et la fiabilité du collage faible. Or nous souhaitons privilégier cette dernière plutôt que la résistance la plus élevée car elle reflète la qualité du collage et sa reproductibilité. Nous avons en ce sens calculé, pour chaque adhésif, le rapport de la contrainte moyenne sur l'écart-type (Tableau 1, colonne 3) afin de mettre en relation ces deux paramètres. Ce rapport est figuré par les ronds bleus sur le graphe (Figure 6) : les adhésifs qui offrent la résistance en cisaillement la plus fiable sont d'abord le Plexisol B550, le Solucryl 356 puis la BEVA 371 Original Formula et la Lascaux 360HV.

Tableau 1 : Récapitulatif des mesures en traction par adhésif.

	Contrainte (σ) moyenne à la rupture en cisaillement (N/cm ²)	Ecart-type (E-T)	Rapport de la contrainte moyenne sur l'écart-type (σ / E-T)
Paraloïd B72	1,961	0,300	6,53
Plexisol P550	1,646	0,171	9,62
Solucryl 356	1,231	0,140	8,79
Lascaux 360HV	1,184	0,145	8,16
BEVA 371 Original Formula	1,285	0,156	8,23
Mowital B60HH	1,611	0,242	6,65

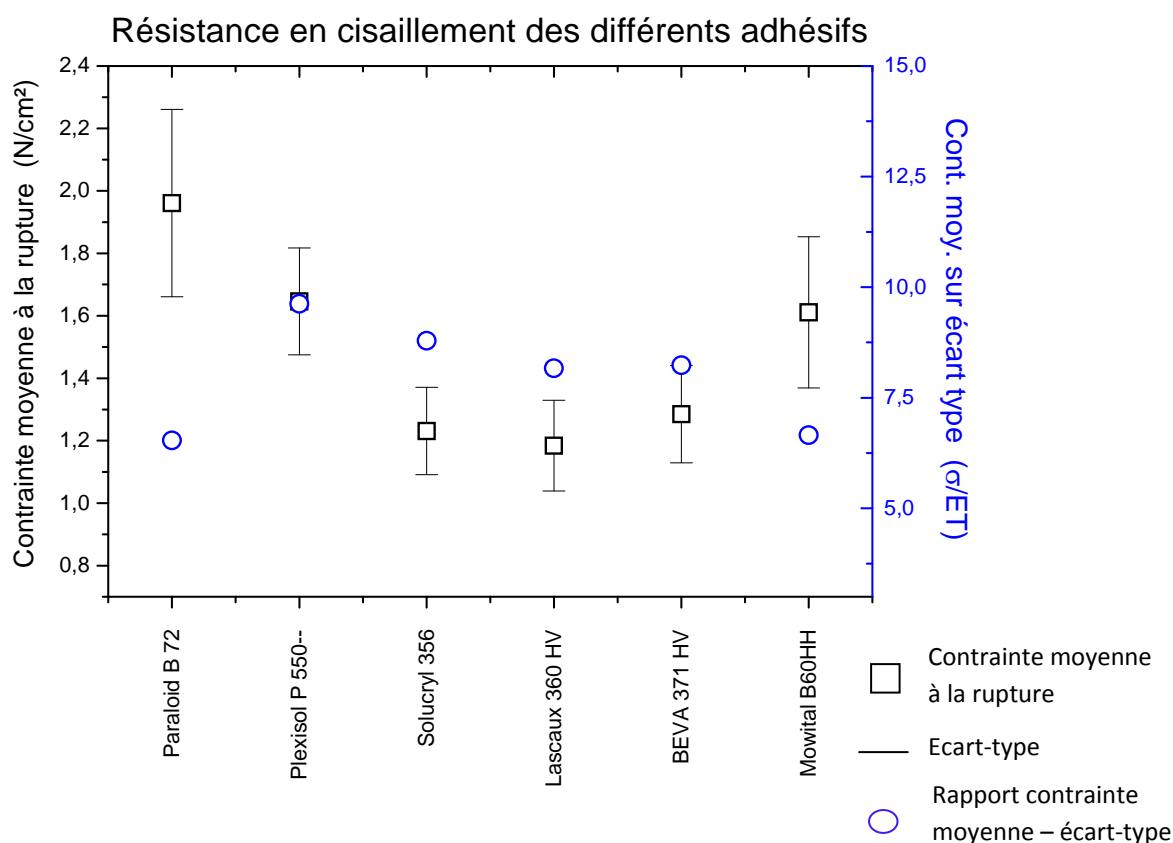


Figure 6: Graphe comparatif de la résistance en traction des 6 adhésifs synthétiques testés.

Mesures en pelage

En pelage, la rupture est adhésive, entre l'adhésif et la cire, excepté pour le Plexisol P550. Seules les éprouvettes avec la Lascaux 360HV et le Mowital B60HH ne présentent pas de modification de surface après pelage. Pour ce dernier, l'adhésion est quasi nulle et le pelage irrégulier.

A partir des mesures obtenues, nous avons calculé la force moyenne de pelage (Tableau 2, colonne 1) : le Solucryl 356, le Plexisol B550 et la Lascaux 360HV présentent les plus fortes valeurs moyennes de résistance en pelage, figurées par des carrés noirs (Figure 7). Comme pour les mesures en cisaillement, nous avons calculé l'écart-type afin de rendre compte de la dispersion des mesures (Tableau 2, colonne 2). Sur le graphe (Figure 7), il est matérialisé, pour chaque adhésif, par un segment vertical noir : ainsi plus l'écart-type est important, plus la dispersion des valeurs mesurées est grande et la fiabilité du collage en pelage faible.

Comme pour les mesures en cisaillement, nous souhaitons privilégier une qualité de collage et sa reproductibilité à la résistance au pelage la plus élevée. Ces deux paramètres sont mis en relation, pour chaque adhésif, dans le calcul du rapport de la force moyenne sur l'écart-type (Tableau 2, colonne 3). Ce rapport est symbolisé par les ronds bleus sur le graphe : en pelage, les meilleurs résultats sont obtenus par la Lascaux 360HV puis le Plexisol P550, le Solucryl 356 et la BEVA 371 Original Formula (Figure 7).

Tableau 2 : Récapitulatif des mesures en pelage par adhésif.

	Force de pelage (F) moyenne (N/cm)	Ecart-type (E-T)	Rapport de la force de pelage moyenne sur l'écart-type (F/ E-T)
Paraloid B72	0,309	0,232	1,331
Plexisol P550	1,233	0,243	5,074
Solucryl 356	1,442	0,351	4,108
Lascaux 360HV	0,633	0,077	8,220
BEVA 371 Original Formula	0,590	0,183	3,224
Mowital B60HH	0,040	0,125	0,320

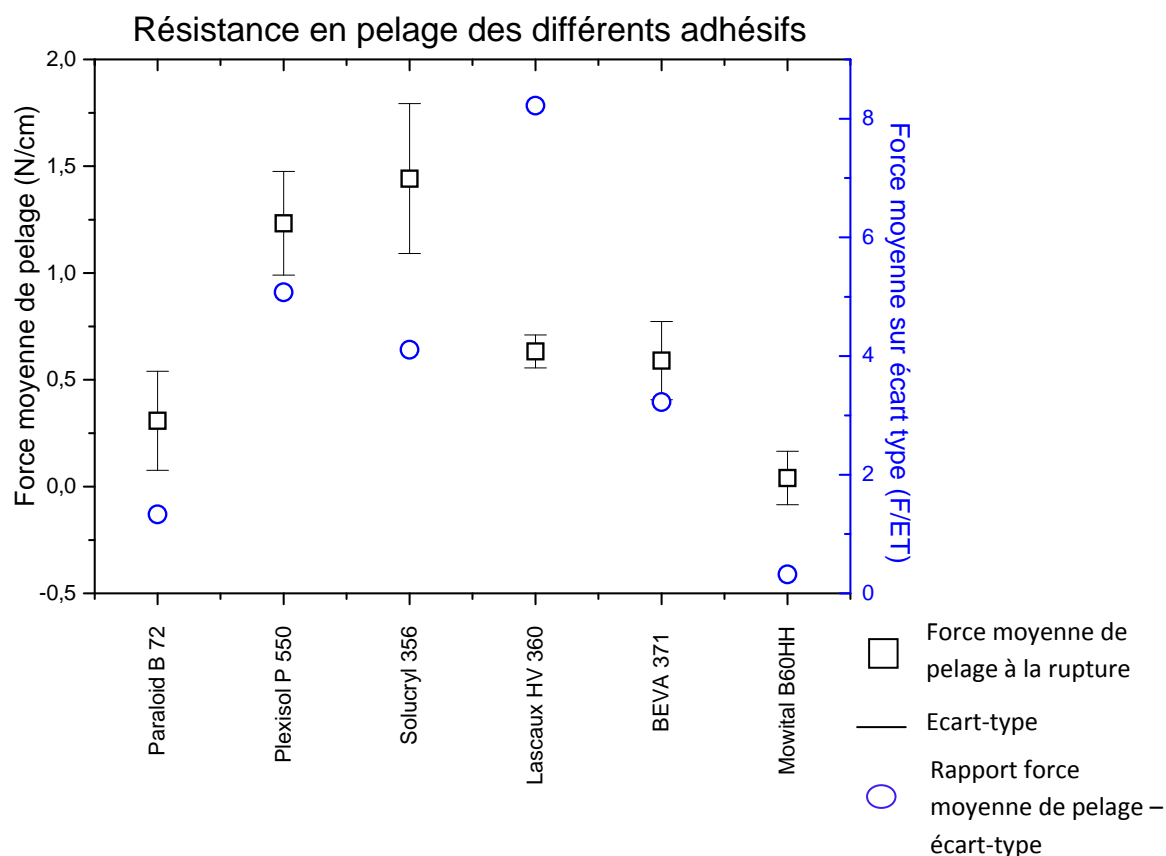


Figure 7 : Graphe comparatif de la résistance en pelage des 6 adhésifs synthétiques testés.

Influence de la masse d'adhésif sur la résistance en cisaillement et en pelage

Nous avons par ailleurs pesé avec une balance de précision toutes les éprouvettes afin de connaître la masse du film d'adhésif sec déposé ($\pm 0,001$ g). Les masses moyennes sont présentées ci-dessous (Tableaux 3 et 4, colonnes 1) : les différences de masse sont liées aux caractéristiques rhéologiques des adhésifs. Nous observons que la quantité de Paraloïd B72 déposée est beaucoup plus élevée que pour les autres adhésifs. Ceci recoupe le constat d'un film sec épais et rigide. Par ailleurs, nous constatons que les écarts de masse varient beaucoup d'un échantillon à l'autre (Tableaux 3 et 4, colonnes 2). Cette dispersion des valeurs met en évidence l'importance de la mise en œuvre et la difficulté de reproductibilité de la formation d'un film de colle en conservation-restauration. Avec ces mesures de masse, nous souhaitons savoir s'il existait un lien entre la quantité d'adhésif déposé et sa résistance au cisaillement et au pelage. A cette fin, nous avons utilisé les coefficients de corrélation. Ils permettent de déterminer la relation entre deux propriétés, ici la masse d'adhésif et la force exercée (la contrainte pour le tableau 3 ou la force de pelage dans le tableau 4). Le coefficient de corrélation est, par définition, compris entre -1 et 1. Un signe négatif indique que la force varie en sens inverse de

la masse et plus le coefficient est proche de 0, plus les deux variables sont linéairement dépendantes.

Après calcul, en cisaillement, les coefficients de corrélation sont faibles et nous indiquent que la dépendance des contraintes à la rupture aux masses de colle n'est pas vérifiée pour l'ensemble des adhésifs. Seule la relation linéaire du Solucryl 356 avec un coefficient de corrélation de 0,838 pourrait être vérifiée.

Tableau 3 : Récapitulatif des mesures et calculs pour évaluer l'influence de la masse d'adhésif sur les éprouvettes destinées au cisaillement.

	Masse moyenne en cisaillement (g)	Ecart de masse (g) $m_{\max} - m_{\min} = \Delta$	Contrainte moyenne (N/cm ²)	Coefficient de corrélation	Observations
Paraloïd B72	0,101	0,137 – 0,075 = 0,062	1,961	0,3202	Faible probabilité
Plexisol P550	0,034	0,046-0,016 = 0,030	1,646	0,4262	Probable relation linéaire
Solucryl 356	0,028	0,044-0,004 = 0,040	1,231	0,838	Linéarité
Lascaux 360HV	0,059	0,075 – 0,033 = 0,042	1,184	0,45291	Probable relation linéaire
BEVA 371 Original Formula	0,075	0,116-0,052 = 0,064	1,285	0,3452	Faible probabilité
Mowital B60HH	0,013	0,017-0,010 = 0,007	1,611	-0,1975	Variables indépendantes

Pour les éprouvettes destinées aux mesures en pelage, la régression linéaire nous permet de classer les adhésifs en deux catégories : les adhésifs dont la force de pelage augmente avec la masse de colle, c'est le cas du Plexisol P550, de la Lascaux 360HV et du Mowital B60HH et les adhésifs dont la force diminue avec l'élévation de la masse de colle : le Solucryl 356, la BEVA 371 Original Formula et le Paraloïd B72. Il est difficile d'expliquer ce phénomène sans avoir d'autres éléments d'analyse. Les coefficients de corrélation sont dans l'ensemble faibles, ce qui signifie que la dispersion des points est élevée. La dépendance de la force de pelage vis-à-vis de la masse de colle est peu probable pour quatre d'entre eux (Plexisol P550, Lascaux 360HV, BEVA 371 Original Formula et Mowital B60HH) et improbable pour les deux autres (Paraloïd B72 et Solucryl 356).

Tableau 4 : Récapitulatif des mesures et calculs pour évaluer l'influence de la masse d'adhésif sur les éprouvettes destinées au pelage.

	Masse moyenne en pelage (g)	Ecart de masse (g) $m_{\max} - m_{\min} = \Delta$	Force moyenne de pelage (N/cm)	Coefficient de corrélation	Observations
Paraloïd B72	0,380	0,451 – 0,349 = 0,102	0,308	-0,127	Variables indépendantes
Plexisol P550	0,083	0,102 – 0,063 = 0,039	1,233	0,394	Faible probabilité

Solucryl 356	0,122	$0,171 - 0,050 = 0,121$	1,441	-0,193	Variables indépendantes
Lascaux 360HV	0,232	$0,270 - 0,165 = 0,105$	0,633	0,292	Faible probabilité
BEVA 371 Original Formula	0,332	$0,448 - 0,277 = 0,171$	0,590	-0,328	Faible probabilité
Mowital B60HH	0,057	$0,109 - 0,012 = 0,097$	0,040	0,483	Probable relation linéaire

Les mesures de masse n'ont donc pas permis de mettre en évidence de lien entre la quantité d'adhésif déposé et sa résistance au cisaillement et au pelage.

Analyse des résultats en fonction du cahier des charges

L'analyse des mesures obtenues met en avant les performances en cisaillement du Plexisol P550, du Solucryl 356, de la BEVA 371 Original Formula et la Lascaux 360HV. La comparaison des valeurs des rapports contrainte à la rupture – écart-type met en évidence que leur fiabilité est proche même si le collage avec le Plexisol P550 semble le plus sûr. En comparant les valeurs des rapports force moyenne de pelage – écart-type on retrouve les mêmes adhésifs dans un ordre différent : la Lascaux 360HV apparaît comme la plus fiable puis viennent le Plexisol P550, le Solucryl 356 puis la BEVA 371 Original Formula. Nous souhaitons privilégier la résistance au cisaillement car il s'agit des efforts principalement subis par l'œuvre, une fois montée. Ce paramètre met en avant le Plexisol P550.

Tableau 5 : Comparatif des performances des quatre adhésifs sélectionnés.

Adhésifs	Contrainte moyenne brutes (N/cm ²)	Rapports contrainte moyenne- écart-type	Forces de pelage moyenne brutes (N/cm)	Rapports force de pelage moyenne-écart-type
Plexisol P550	1,646	9,62	1,223	5,074
Solucryl 356	1,231	8,79	1,443	4,108
BEVA 371 Original Formula	1,285	8,23	0,590	3,224
Lascaux 360HV	1,184	8,16	0,633	8,220

Le Plexisol P550 répond à la plupart des critères du cahier des charges : il s'applique facilement et régulièrement à travers le non-tissé et le collage reste précis. Cependant, une fois sec, le film est légèrement rigide. L'adhésion est satisfaisante même sans séchage sous poids. Il présente une résistance au cisaillement largement suffisante vu les contraintes de cisaillement d'environ 0,875 N/cm² exercée par le poids de l'œuvre. En cas de rupture, nous avons constaté qu'elle se faisait entre l'adhésif et la cire. Le Plexisol P550 semble laisser néanmoins quelques résidus à la surface de l'œuvre.

Les valeurs mesurées en pelage permettent une manipulation sûre pendant le montage tout en autorisant une réversibilité mécanique (valeurs inférieures à 5 N/cm). D'autre part, il peut être re-solubilisé a posteriori.

Le Plexisol P550 est un adhésif acrylique stable utilisé en conservation-restauration. La qualité du collage peut être améliorée avec un séchage sous poids. Enfin, le nombre et la répartition des charnières, la taille de la zone de collage sont des facteurs non étudiés mais déterminants dans tout montage. Ces choix font appel à l'expérience du restaurateur.

Conclusion

Cette recherche appliquée a atteint son objectif principal : déterminer un adhésif pour un collage de conservation où les principales contraintes s'exercent en cisaillement. Les résultats obtenus sont valables pour une cire récente dont l'indice d'acide est faible. Par ailleurs, nous tenons à rappeler la complexité de la conservation des objets en matériaux cireux dont nous n'avons abordé qu'un aspect. La température de fusion initiale de la cire détermine son comportement ultérieur et son vieillissement (risques de changement de couleur, de blanchiment ou de craquelures). Ainsi, une même matière première cireuse travaillée par deux artistes différents pourrait évoluer et réagir différemment, entre autres, au collage.

Références

Battison C., Gingell C. and Fleury S. "Conservation mounting at the V&A : an overview of techniques", *Art on Paper : Mounting and Housing*, London. Archetype Publications, 2005.

Prévost A. « La conservation des sceaux en cire aux Archives Nationales », *Support Tracé*, n°8 (2008), p. 48-61.

Kerlo A. *Tests de collage des cires médiévales. Tests de solubilité des cires et résines, solubilité des sceaux médiévaux, Projet de recherche sur les altérations et la conservation des sceaux de cire*. DAF-MRT. Service des sceaux des Archives Nationales, 2007. Non publié.

NF EN 1465, « Détermination de la résistance au cisaillement en traction d'assemblages collés à recouvrement simple », indice de classement JT 76-107, avril 2009.

ASTM D 1876, « Standard Test Method for Peel Resistance of Adhesives (T-Peel Test)», 2008.

Delcroix G. « Les cires », *Les cires, matériaux de sculpture, matériaux de restauration, Les Rencontres de l'Arset*, Tours, Ecole des Beaux-Arts, 2005, p. 7-18. (Delcroix 2005)

Produits et fournisseurs

BEVA 371 Original Formula, copolymère d'acétate de vinyle et d'éthylène (résine Elvax et A-C 400) avec une résine à base de cyclohexanone (Laropal K-80), de la paraffine et un ester phtalique de l'acide hydroabiétique (Cellolyn 21) à 40% de contenu solide dans des solvants aliphatique et aromatiques. CTS, www.ctseurope.com

Cire d'abeille blanchie, ADAM, www.adam18.com

Lascaux 360HV, copolymère de polyacrylate de butyle (> 50%) et de polyméthylmétacrylate épaissi avec un acrylate de butyle. LASCAUX, www.lascaux.ch

Mowital B60HH, polybutyrale de vinyle (83) / alcool de polyvinyle (14) et 3 % d'acétate de vinyle, CTS

Non-tissé, Reemay, 100% polyester thermosoudé, 34 g/m², CTS

Papier japonais, 100% kozo, 19 g/m², ATLANTIS, www.atlantis-france.com

Paraloïd B72, copolymère de polyméthacrylate d'éthyle et polyacrylate de méthyle, CTS

Plexisol P550, homopolymère de polyméthacrylate de butyle en solution dans l'essence. CTS

Solucryl 356, solution acrylique dans un mélange de solvants (64% de toluène, 35% d'hexane et 1% de méthanol). CYTEC, www.cytec.com

Biographies et coordonnées des auteurs

Emmanuelle Hincelin est diplômée de l'Institut national du patrimoine, département des restaurateurs. Elle est spécialisée en art moderne et contemporain. Elle travaille pour des institutions telles que le Musée Picasso à Paris, le Mac Val à Vitry-sur-Seine, le Musée d'Art moderne à Saint-Etienne, le Fonds Régional d'Art Contemporain Picardie à Amiens et le Musée Jean Cocteau Collection Severin Wunderman à Menton. Elle enseigne également un cours de travaux pratiques (consolidation-refixage des couches picturales mates sur papier) au département des restaurateurs de l'Institut national du patrimoine, à Paris. En 2010, une subvention à la recherche du Centre national des arts plastiques lui a permis de mener un travail de recherche sur les adhésifs utilisables pour le montage d'œuvres combinant papier et cire. Elle a travaillé avec M. Alain Roche, au laboratoire d'Analyses et de Recherche pour la Conservation-Restauration des Œuvres d'Art (LARCROA), dans le cadre de cette étude.

Coordonnées :

6 bis rue de Châtillon
75014 Paris, France
Tél. : 00 33 + (0)1.43.37.05.79
Courriel : ehincelin@yahoo.fr

Alain Roche est diplômé de l'Institut français de restauration des œuvres d'art (IFROA) et ingénieur au Conservatoire national des arts et métiers (CNAM). Il a fait une résidence à la villa Médicis, à Rome, de 1982 à 1984. Il travaille depuis plus de 22 ans comme conservateur-restaurateur pour le Centre de Recherche et de Restauration des Musées de France, pour les Monuments historiques, et d'autres institutions françaises. Il enseigne depuis 17 ans la physique et la physicochimie appliquée à la conservation-restauration aux étudiants inscrits au programme de maîtrise en conservation et restauration des biens culturels, à l'Université Paris 1 et à l'Institut national du patrimoine (INP). Il est le fondateur d'un laboratoire d'analyse et de recherche pour la conservation et la restauration des œuvres d'art (LARCROA), où il réalise une partie de ses recherches. Il est l'auteur d'une vingtaine d'articles sur la recherche en conservation-restauration et a publié deux livres dont l'un porte sur le « comportement mécanique des peintures sur toile : dégradation et prévention », publié aux éditions du CNRS. En 2007, la ministre de la Culture du gouvernement français le nomme Chevalier des arts et des lettres.

Coordonnées :

LARCROA
9 rue d'Alésia
75014 Paris, France
Tél. : 00 33 + (0)1.45.65.36.91
Courriel : a.roche@larcroa.fr

Author Biographies and Contact Information

Emmanuelle Hincelin is a graduate of the Conservation Department of the Institut national du patrimoine (INP) in Paris, France. She specializes in modern and contemporary art, and has carried out work for numerous institutions in France including the Musée Picasso in Paris, the MAC/VAL in Vitry-sur-Seine, the Musée d'Art Moderne in Saint-Etienne, the Fonds Régional d'Art Contemporain Picardie in Amiens, and the Musée Jean Cocteau - Collection Severin Wunderman in Menton. She also teaches a course in consolidation-reattachment of matte layers of images on paper in the Conservation Department of the INP. In 2010, she received a research grant from the Centre National d'Arts Plastiques to study adhesives for mounting works that combine paper and wax. She conducted her research in collaboration with Alain Roche in his LARCROA laboratory.

Contact Information:

6 bis rue de Châtillon
75014 Paris, France
Tel.: 00 33 + (0)1.43.37.05.79
E-mail: ehincelin@yahoo.fr

Alain Roche is a graduate of the Institut français de restauration des œuvres d'art (IFROA) and an engineer at the Conservatoire National des Arts et Métiers (CNAM). He was a boarder at the Villa Médici in Rome from 1982 to 1984, and has worked as a conservator for more than 22 years for various French institutions such as the Centre de recherche de restauration des musées de France and Monument historique. For the past 17 years, he has taught physics and physical chemistry as it applies to conservation for the Master's program in Conservation Treatment of Cultural Property at the Université Paris 1 and the Institut national du patrimoine (INP) in Paris. He is the founder of a research and analysis laboratory for the conservation of works of art (LARCROA), where he developed some of his research. He has authored 20 articles on conservation research and two books, including one published by the Centre national de la recherche scientifique (CNRS) that looks at degradation and prevention of the mechanical behaviours of canvas paintings. He was named the Chevalier des arts et des lettres in 2007 by France's Minister of Culture.

Contact Information:

LARCROA
9 rue d'Alésia
75014 Paris, France
Tel.: 00 33 + (0)1.45.65.36.91
E-mail: a.roche@larcroa.fr