Recherche d'un adhésif capable de coller un matériau cireux et un matériau polyester dans la perspective du montage d'un dessin de José Maria Sicilia appartenant au Frac Picardie

Allocation de recherche en matière de restauration
et de conservation d'œuvres d'art contemporain,
Centre national des arts plastiques

Octobre 2010

Emmanuelle Hincelin

Recherche d'un adhésif capable de coller un matériau cireux et un matériau polyester dans la perspective du montage d'un dessin de José Maria Sicilia appartenant au Frac Picardie

Allocation de recherche en matière de restauration
et de conservation d'œuvres d'art contemporain
Centre national des arts plastiques

2009 -2010

Introduction

Le cas d'une oeuvre à base de papier et de cire m'a conduite à m'interroger sur les adhésifs à utiliser dans le cas spécifique d'un montage sur charnières. Il s'agit, pour les œuvres graphiques contemporaines dont le papier est totalement imprégné de cire, de réaliser un collage sûr qui respecte les caractéristiques propres du matériau cireux. Afin de fabriquer des éprouvettes représentatives, nous avons tout d'abord eu besoin de mieux connaître les matériaux de l'œuvre (documentation écrite, interview de l'artiste et analyse qualitative). Comme le montage envisagé se fera par collage, l'application d'un film adhésif fluide implique un séchage par évaporation du solvant. Cependant, la présence d'un matériau cireux modifie la nature des adhésifs utilisés dans le domaine de la conservation-restauration arts graphiques et les paramètres de collage. Un cahier des charges a donc été établi afin de hiérarchiser les paramètres les plus importants à étudier. Puis, le choix des adhésifs s'est effectué à partir des pratiques d'autres spécialités (sceaux, sculptures, peintures, photographies sur papier ciré, papiers imprégnés, peintures). Les éprouvettes ont alors pu être fabriquées et les mesures en cisaillement et en pelage réalisées. Nous présentons ici les résultats obtenus et concluons sur les adhésifs utilisables pour le montage.

Matériaux étudiés

Connaissance des matériaux de l'œuvre

Afin de pouvoir modéliser les éprouvettes, nous avons étudié les matériaux constitutifs de l'œuvre de J.M. Sicilia.

Le papier d'œuvre

A l'œil nu, le papier d'œuvre apparaît très fin, avec un épair nuageux. Il ressemble à un papier extrême-oriental.
Le catalogue d'exposition *Eclipses* à laquelle appartient cette œuvre les désigne comme des gouaches sur papier japonais. Une rencontre avec l'artiste, en mars 2010[1], a mis en évidence son intérêt et sa connaissance des papiers extrême-orientaux. Il se fournit auprès de revendeurs français (Simon international (société qui n'existe plus aujourd'hui) et Atlantis). Ses voyages au Japon sont également l'occasion de visiter des papetiers et d'acheter des papiers. Il utilise des papiers faits à la main et des papiers machine (disponibles en rouleau, donc de plus grandes dimensions).
A partir de ces informations, nous avons estimé que l'analyse fibreuse du papier d'œuvre n'était pas indispensable. D'une part, nous savons que la matière première la plus utilisée pour les papiers japonais est le kozo (mûrier à papier). D'autre part, le papier d'œuvre est complètement recouvert par la cire. Il paraissait difficile voire impossible d'effectuer un prélèvement.

[1] Voir en annexe 1, le compte-rendu de rencontre avec l'artiste.

Le matériau cireux

Le matériau cireux apparaît translucide et blanchâtre. Il est légèrement satiné et au verso, sa surface est ridée. Sa matière est relativement dure mais reste souple. L'épaisseur du matériau cireux diffère entre le recto et le verso de l'œuvre : la couche mesure 1 à 2 mm environ au recto alors qu'elle est très fine au verso. Aucune odeur n'est perceptible.

Dans le catalogue d'exposition *Eclipses,* les descriptions techniques indiquent de la cire d'abeille. La connaissance du matériau cireux était nécessaire à l'étude car les compositions chimiques des cires animale ou minérale modifient leurs caractéristiques chimiques et physiques qui entrent en jeu dans le collage.
Un prélèvement a été effectué à l'aide d'un scalpel au verso de l'œuvre, près du bord droit, à 20 cm de l'angle supérieur. Vu la finesse de la couche, il était possible que le prélèvement contienne des fibres de papier. L'analyse par spectrophotométrie IRTF a confirmé qu'il s'agissait bien de cire d'abeille[2].

Voici des extraits de textes de J. M. Sicilia qui fournissent des éléments de compréhension sur le processus mis en œuvre dans ses peintures et dessins à la cire : « C'est physique, ma peinture se construit d'elle-même car mon intervention est de plus en plus « minime ». (…) ce sont des peintures qui se font grâce au temps (…) les principales protagonistes de son élaboration sont surtout le temps et la température. Ce sont des jours plus chauds ou plus froids qui marquent ma peinture (…)
L'effet global dépend du climat, (…) de la durée de l'ensoleillement, de l'intensité du soleil reçu (…)
Les essais durent longtemps, il y a beaucoup de ratés, de tentatives et d'autres histoires, de choses qui ne fonctionnent pas pendant parfois plus d'un an. »[3]

Parallèlement, à cette démarche, nous avons rencontré l'artiste qui nous a confirmé avoir utilisé de la cire d'abeille pour sa stabilité, après quelques essais non satisfaisants avec de la paraffine[4]. Il l'achetait en très grande quantité en provenance, d'abord, d'Australie puis de Chine.
Ce travail avec la cire a duré une quinzaine d'années et il constitue aujourd'hui une phase close pour l'artiste. La phrase « Je fabrique des étangs sur lesquels se déposent des pigments, mais ces étangs se font à leur guise. »[5] traduit bien la narration faite de la mise en œuvre. J. M. Sicilia ne travaillait la cire qu'à Majorque où le climat chaud gardait la cire malléable plus longtemps. La cire était mise à fondre dans une « grande bassine (1 m environ de diamètre) avec un robinet ». Au sol était posé un châssis recouvert d'un support en bois, fabriqué par Marin, puis la cire était coulée. J. M. Sicilia 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 l'eau-forte qui donne des teintes brunes.

Pour finir, notons que la composition de la cire d'abeille varie selon l'espèce productrice et les traitements subis. Elle va influer sur le choix des adhésifs à tester et leurs solvants. La cire d'abeille blanchie est composée :

- à 67 % d'esters (35 % de monoesters, 14 % de diesters, 3 % de triesters, 4 % d'hydroxymonoesters, 1% d'esters acides (portant une fonction acide libre), 2 % de polyesters acides, 8 % d'hydroxypolyesters) :
- d'hydrocarbures (en faible proportion par rapport aux cires minérales) : 14 %. Cette composante justifie sa solubilisation par les hydrocarbures aromatiques et chlorés.
- La proportion élevée d'acides (12 %) et d'alcool libres (1 %) favorise l'interaction chimique des liaisons hydrogènes avec les liaisons hydroxyles d'un solvant polaire.
- et 6 % de composés non identifiés.

[2] Voir l'annexe 2.
[3] Entretien de J. M. Sicilia avec Gonzalo Zanza dans *José-Maria Sicilia*, Centre d'art Contemporain d'Issoire, Issoire, France, 2001, p. 49.
[4] Pour plus de détails, voir l'annexe 1.
[5] *José-Maria Sicilia,* opus cit. à la note 2, p. 2.

Choix des matériaux de montage

Les charnières

Un montage flottant étant envisagé, nous souhaitons employer des charnières dans un matériau résistant vu les dimensions de l'œuvre, souple pour s'adapter aux déformations de la surface de l'œuvre et peu perceptible au verso de cette œuvre translucide.
A cette fin, nous avons choisi un non-tissé polyester :

- la résistance mécanique de ce matériau est supérieure à celle des papiers japonais très souvent utilisés (pour le poids et les dimensions de l'oeuvre).
- Son aspect (blanc et trame ouverte) s'approche de celui du papier. Il est peu visible sous l'œuvre.

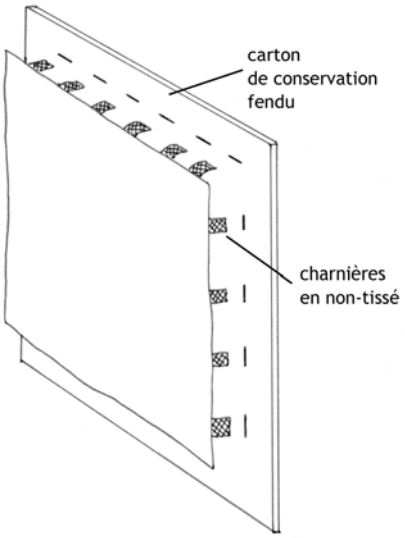
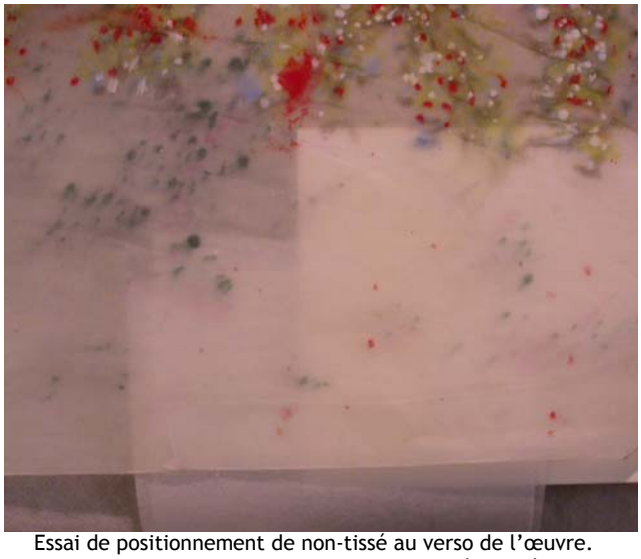


Schéma du montage flottant



Essai de positionnement de non-tissé au verso de l'œuvre.
A 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 doit ne pas dissoudre la surface de l'œuvre ni modifier son aspect de surface :
  - la forte pression est inadaptée,
  - la chaleur peu adaptée,
  - et les matériaux cireux sont solubles dans les hydrocarbures aromatiques, aliphatiques, chlorés, les essences de pétrole et végétales. Nous privilégierons donc un adhésif soluble dans un solvant polaire qui ne dissout pas la cire. Après tests, il s'avère que l'acétone et l'éthanol répondent à ce critère.
- Au moment de l'application, l'adhésif doit former un film uniforme malgré la faible mouillabilité de la cire. La tension de surface du solvant est donc à prendre en compte.
- Enfin, il doit être étalé à travers le non-tissé car les solvants choisis sont très volatils.

Et une fois le film sec :

- l'adhésif doit avant tout avoir un bon comportement en cisaillement
- Il doit former un joint adhésif qui résiste également, dans une moindre mesure, au pelage car lors de l'insertion des charnières dans les fentes, le collage sera 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 de préférence 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 (c'est-à-dire pas perte de résistance mécanique, pas de retrait, pas de changements chimiques (acidification, émanation de produits de dégradation et changement de couleur)).
- L'adhésif doit être réversible (mécaniquement ou par re-solubilisation).
- Enfin, nous souhaitons qu'il se différencie du matériau original.

Les pratiques existantes en conservation-restauration d'œuvres à base de cire

Le choix des adhésifs à tester s'est fait à partir des pratiques relatées dans d'autres spécialités de conservation-restauration.

Dans le domaine de la conservation-restauration de sculptures, il s'agit principalement de refixage de morceaux plus ou moins volumineux et lourds. Ils utilisent une gamme d'adhésifs selon la dimension de l'élément à recoller :

- pour les petits morceaux (entre 0,4 et 8 g), les adhésifs à base de polybutyrale de vinyle (Pioloform®, Butavar®), solubles dans l'éthanol, sont utilisés. Ce type de molécules offre des adhésifs souples, au bon pouvoir collant[6].
- Pour les plus gros morceaux, une résistance mécanique plus importante est exigée tout en conservant une certaine souplesse. Des adhésifs acryliques tels que le Paraloïd® B67 et l'Elvacite® 2046 sont utilisés[7] ou encore des acétates de polyvinyle en émulsion aqueuse.
- Pour les collages structuraux, des résines époxydes (AY 103®) sont employées.

La conservation-restauration des sceaux traite également des objets tri-dimensionnels en cire : les sceaux médiévaux sont faits d'un mélange à base de cire d'abeille à laquelle sont ajoutés différents additifs (résines, matières grasses ou poix, pigments). Une fois encore, selon le type d'altérations, les adhésifs et les mises en œuvre sont différents.

- Les fragments sont assemblés par soudure à l'aide d'une pointe fine chauffante et d'une goutte d'un mélange spécifique : 20-80 cire micro-cristalline Cosmoloïd – paraffine. En effet, les cires minérales sont préférées à la cire d'abeille pour leur meilleure stabilité.
- Un travail de recherche a été mené pour le collage des cassures nettes, les éclats et les cachets[8]. Plusieurs types de cires ont servis pour les tests de collage avec différents adhésifs : Paraloïd ® B72, colle d'esturgeon, amidon de blé, propolis, Lascaux ® 498 HV, tylose et gélatine. Parmi les adhésifs présentant une bonne adhérence, seule la colle d'esturgeon est réversible après séchage.

En peinture, la cire est depuis très longtemps utilisée qu'il s'agisse de peinture à l'encaustique ou à la cire froide. D'un point de vue de la conservation-restauration, elles présentent souvent des problèmes d'adhésion : il s'agit de fixer de petites écailles et de soulèvements dans le plan du support (toile, papier, …). La chaleur, l'emploi de « pâte de cire »[9] ou de matériaux cireux sont les moyens les plus fréquemment utilisés[10]. D'autres adhésifs sont employés au cas par cas : adhésif acrylique (Paraloïd® B67), adhésif protéinique (colle de peau).

---

[6] VATELOT J., « Une synthèse des pâtes à modeler utilisées au XIXème siècle au travers de l'étude du buste composite *Le Sommeil* d'Augute Rodin », *Les cires, matériaux de sculpture, matériaux de restauration*, Les Rencontres de l'Arset, Tours, Ecole des beaux-Arts, 2005, p. 49-54.

[7] LEGENDRE S., « Esquisse en cire pour un tombeau d'évêque, attribuée à François Siccard (1862-1934), Musée des beaux-arts de Tours », *Les cires, matériaux de sculpture, matériaux de restauration*, Les Rencontres de l'Arset, Tours, Ecole des beaux-Arts, 2005, p. 61-69.

[8] 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, non publié, 2007.

[9] L'appellation « pâte de cire » décrit les mélanges cires-solvants (white-spirit, toluène, trichloroéthylène, essence de térébenthine, misobutylcétone) qui sont plus fluides à température ambiante.

[10] Par exemple, C. VICAT applique la cire à travers un papier japonais pour le refixage d'une peinture à la cire froide sur papier calque, marouflé sur contreplaqué de Sonia Delaunay.

Enfin, en conservation-restauration d'œuvres sur papier, les papiers imprégnés (colophane, huiles végétales, cires naturelles, résines naturelles,…) deviennent très cassants du fait de l'oxydation de ces corps gras. Il est alors nécessaire de les doubler et on constate que les adhésifs aqueux sont toujours préférés (méthylhydroxyéthylcellulose[11], amidon de blé).

A partir de cette compilation bibliographique et des critères souhaités, nous avons choisi de comparer six adhésifs choisis dans deux familles :

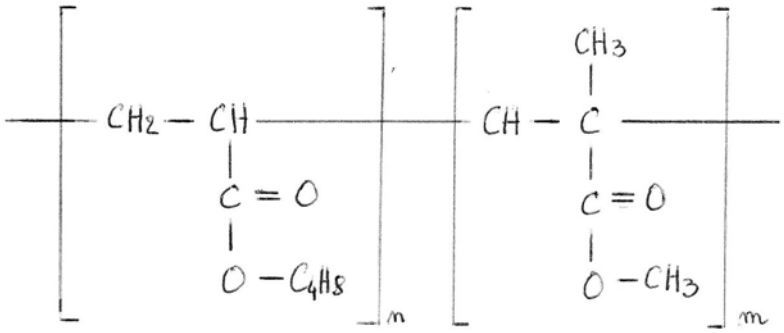
- parmi les acryliques : Lascaux ® 360 HV, Plexisol ® P550, Paraloïd ® B72, Solucryl™ 356 ;
- et dans les vinyliques : la Beva ® 371 gel et le Mowital ® B60 HH.

Le collage par application d'un film liquide au dos de l'oeuvre est possible pour les six. Deux d'entre eux (Lascaux ® 360 HV et Solucryl™ 356) peuvent également être appliqués, une fois le film sec, par pression. Ce mode opératoire n'a pas été exploité lors de nos tests. Nous ne souhaitions pas, en effet, appliquer de pression forte sur ce type d'œuvre.

Propriétés des adhésifs testés

Lascaux ® 360 HV

Cet adhésif acrylique est un copolymère de polyacrylate de butyle (plus de 50%) et de polyméthylmétacrylate épaissi avec un acrylate de butyle. Il se présente sous forme d'émulsion blanche et crémeuse.



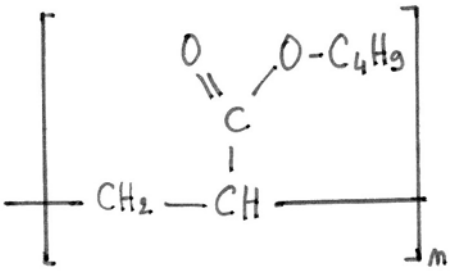
Formule chimique semi-développée de l'émulsion Lascaux ® 360HV.

Son extrait sec est d'environ 48%. Il est diluable à l'eau et une fois sec, il est seulement soluble dans les alcools, les solvants aromatiques, les esters et les esters de glycols. Le film sec est réactivable à chaud (50-55°C) ou bien, avec du toluène ou de l'éthanol. C'est un adhésif thermoplastique dont la température de transition vitreuse est de -8°C.
C'est un adhésif recommandé en conservation-restauration. Il fait partie des adhésifs acryliques les plus neutres et il le reste dans le temps. Le dégagement d'acide acétique est quasi nul. Le film sec est très flexible. Son jaunissement est très faible.
D'un point de vue de la mise en œuvre, sa consistance crémeuse le rend facile à appliquer précisément à travers un non-tissé. Une fois sec, le film est fin, régulier, souple et légèrement collant.

[11] GAUDU A., *Etude et conservation-restauration de trois esquisses peintes à l'huile sur papier imprégné par Paul Baudouin à la fin du XIXème siècle – Cas d'un papier imprégné collé avec un mélange d'huile et de blanc de plomb sur un papier vergé : essai de démontage,* ENP, Mémoire de fin d'études, 2002.

Plexisol ® P550

Le Plexisol ® P550 est un adhésif acrylique (homopolymère de polyméthacrylate de butyle). Il se présente sous forme de solution dans l'essence.

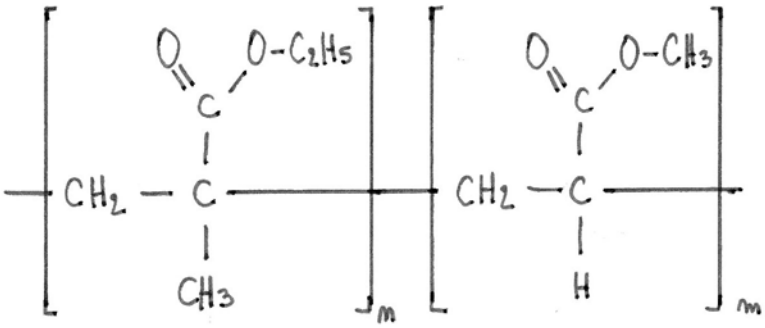


Formule chimique semi-développée du Plexisol ® P550.

Son extrait sec est de 40 ±1 %. Il est soluble dans les esters, les cétones, les hydrocarbures aromatiques, les éthers et acétates du glycol, les hydrocarbures aliphatiques et chlorés ; sa solubilité est limitée dans les alcools.
Sa stabilité chimique est satisfaisante, il jaunit très peu en vieillissant.
La solution commercialisée est très visqueuse et ne peut pas être appliquée ni facilement ni précisément à travers le non-tissé. Dans le cadre de cette étude, il a été utilisé à 66%, dilué dans l'acétone. Le film sec est d'épaisseur moyenne, régulier et légèrement rigide.

Paraloïd ® B72

Cet adhésif acrylique est un copolymère de polyméthacrylate d'éthyle et polyacrylate de méthyle.



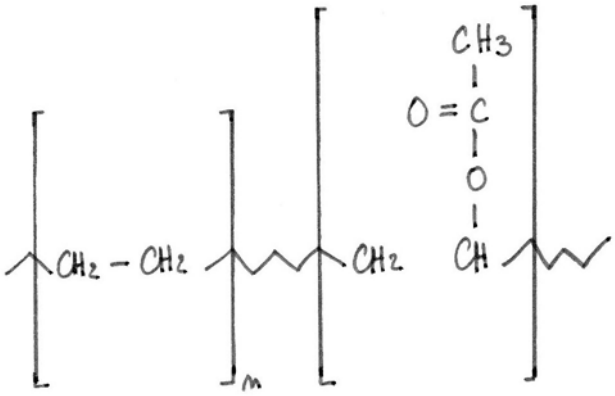
Formule chimique semi-développée du Paraloïd ® B72.

Il forme une solution dans les solvants suivants : cétones (acétone, méthyléthylcétone), esters (acétate d'éthyle, acétate de butyle, acétate de cellosolve), hydrocarbures aromatiques (toluol, xylol, et solvesso), hydrocarbures chlorés (chlorure de méthylène, chlorotane). Il est également dispersable dans l'éthanol.
Sa température de transition vitreuse est de 40°C.
C'est un adhésif très utilisé en conservation-restauration du fait de sa bonne stabilité. Au vieillissement à la lumière, il tend à devenir acide (pH : 5 à 6) mais reste neutre pour un vieillissement dans le noir. Sa flexibilité reste bonne et il présente un léger jaunissement, imperceptible à l'œil nu.
La première concentration choisie (20%) donnait une solution liquide, très facile à appliquer mais l'adhésion n'était pas bonne. La concentration retenue a été de 50 %, d'où une solution plus visqueuse qui permettait néanmoins une

application précise et homogène. Après évaporation du solvant, le film est régulier mais épais et rigide.

Beva ® gel 371

Cet adhésif est un copolymère d'acétate de vinyle et d'éthylène (résine Elvax et A-C 400) avec plusieurs additifs : une résine à base de cyclohexanone (Laropal K-80), de la paraffine et un phtalate (Cellolyn 21) dilués dans le toluène et solvants appropriés. Cette solution est soluble dans le toluène, le xylène, l'alcool isopropylique.



Formule chimique semi-développée de la Beva ® 371 gel.

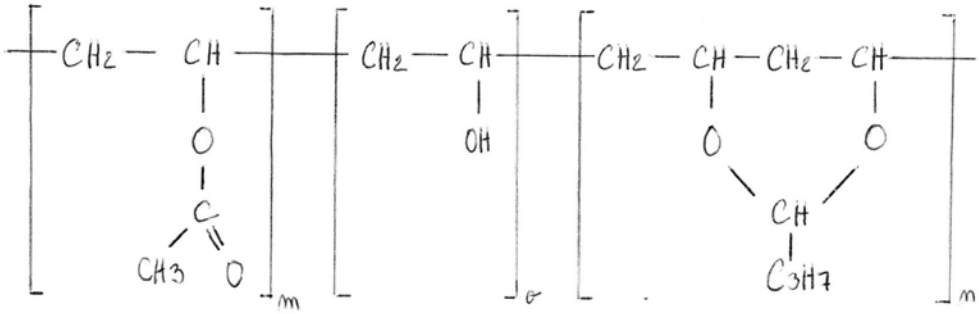
Cet adhésif a été formulé pour la conservation-restauration. Son vieillissement a été par ailleurs été étudié. Parmi les acétates de polyvinyle, son pH est neutre et le reste dans le temps. Il émet très peu d'acide acétique. Sa résistance mécanique s'affaiblit et sa flexibilité devient moyenne. A long terme, il présente un jaunissement perceptible (moyen à fort).
La Beva ® 371 a été utilisée à la concentration où elle est commercialisée. Elle est moyennement visqueuse et très pâteuse. Elle s'applique facilement sur le non-tissé. Le film sec est épais et régulier mais légèrement rigide.

Solucryl ™356

Le Solucryl ™356 est une solution acrylique dans une mélange de solvants (64% de toluène, 35% d'hexane et 1% de méthanol). Sa composition exacte n'est pas connue car il s'agit d'un produit industriel. Il a été retenu afin de tester un adhésif contact et de le comparer à la Lascaux ® 360 HV.
Les solides représentent 39 à 41 % de sa masse totale. Sa température de transition vitreuse est inférieure à 0°C.
La solution est extrêmement visqueuse, elle ne peut pas être précisément appliquée au pinceau. Elle a été diluée à 50 % dans le toluène. Une fois le film formé, il est très fin, régulier, souple et reste légèrement collant.

Mowital ® B60 HH

Notre premier choix était de tester le Pioloform® BN18 (polybutyrale de vinyle dont les proportions sont 18% alcool vinylique + 2 +-1% acétate de vinyle + environ 80% d'acétal de vinyle). Cependant, la production de ce polymère a cessé en 2008. Nous avons donc choisi un autre polybutyrale de vinyle : le Mowital ® B60 HH (polybutyrale de vinyle (83) / alcool de polyvinyle (14)[12] et 3 % d'acétate de vinyle)[13]. Il est utilisé en conservation-restauration de céramiques comme adhésif et consolidant.



Formule chimique semi-développée de le Mowital ® B 60 HH.

Cet adhésif est soluble dans les alcools, les éthers de glycol, les esters et les cétones. Ce produit utilisé en conservation-restauration peut jaunir et devenir insoluble dans le temps.
Il a été utilisé à 15 % dans l'éthanol. La solution est liquide et facile à appliquer. Une fois sec, le film est d'épaisseur moyenne, irrégulier et légèrement rigide.

[12] http://cameo.mfa.org/index.asp.
[13] Tous les polybutyrales de vinyle contiennent un certain nombre de groupes hydroxyles et une petite quantité de groupes acétate pour permettre la saponification du polymère.

Protocole

Deux phases de travail se sont succédées : la première a consisté à mettre au point la fabrication des éprouvettes (mode d'application de la cire, détermination de la zone de collage, vérification des concentrations d'adhésifs) puis, les éprouvettes définitives ont pu être produites afin de procéder aux tests mécaniques.

Préparation des éprouvettes

Faisabilité de l'étude

La conception des éprouvettes s'inspire des normes NF B 51-124 et NF T 76-107 « Détermination de la résistance d'assemblages réalisés avec des adhésifs structuraux, collés à recouvrement simple » et ASTM D 903-49 « Peel or stripping strength of adhesive bonds ». Il a fallu réaliser deux séries d'échantillons pour affiner le protocole.

Tout d'abord, il a été choisi de réaliser le film de cire sur un tasseau de bois. Cela ne reproduisait pas du tout la stratigraphie originale de l'œuvre mais nous souhaitions nous concentrer sur l'adhésion à l'interface cire-non-tissé. Avec cette mise en œuvre, nous évitions le risque systématique de rupture de l'ensemble papier-cire avant celle du film adhésif ou du non-tissé.
La zone de collage pour les tests en traction mesurait pour cette première série d'éprouvettes 1 cm de long sur 2,7 cm de large. Le support bois de chaque éprouvette mesurait 2,7 cm de large et 10 cm de long.
Les premiers essais de formation du film de cire ont été faits en disposant des pastilles de cire sur la surface puis en la faisant fondre avec un Mylar siliconé intermédaire. La surface obtenue comportait des bulles d'air et des zones de cire plus ou moins fondue. Son adhésion au bois était irrégulière.

Fabrication des premières éprouvettes par fonte des pastilles de cire.

Détail de la surface irrégulière ainsi obtenue.

Ces constatations nous ont conduit à modifier le processus de fabrication : la cire a été coulée sur chaque tasseau à l'aide d'un moule sur une zone de 3 cm de long. Une couche de papier a finalement était introduite car l'œuvre présentait un recto et un verso très différents. Le verso où devait avoir lieu le collage présente une couche de cire beaucoup plus fine qu'au recto. Un papier japonais (31 g/m²) découpé à la forme était donc déposé sur la surface de cire encore fondue. Cette méthode offrait un film de cire plus uniforme mais son épaisseur était très difficile à contrôler. Des bulles d'air étaient visibles entre le papier et la cire. Enfin, l'usage d'un moule provoquait des bords incurvés. La zone de collage n'était pas plane ce qui risquait de fausser les résultats. Il a donc finalement été choisi de réaliser les éprouvettes en trempant le tasseau dans la cire fondue : le film était plus lisse, plus homogène et son épaisseur régulière. Cette méthode permettait d'enrober le papier japonais au cœur du film de cire.

Comparaison de l'aspect et de l'épaisseur des films de cire des trois mises en œuvre successives.

Fabrication des éprouvettes définitives par trempage.

Nous avons utilisé cette deuxième série d'éprouvettes pour effectuer des collages afin de vérifier la validité du protocole et les concentrations d'adhésifs choisies. La zone de collage a été agrandie (2,7 x 3 cm). Elle est supérieure à la zone de collage envisagée au dos de l'œuvre (environ 2 x 2 cm).
Ces premiers essais ont mis en évidence que certains adhésifs aux concentrations choisies avaient un pouvoir adhésif en traction mais aucun en pelage. Ceci nous a conduit :

- à augmenter la concentration du Paraloïd ® B72 (de 20 à 50 %),
- à abandonner l'étude de la cire micro-cristalline dans l'heptane comme adhésif (mauvaise adhésion et le solvant risque de dissoudre la matière originale),
- à prévoir une série complémentaire de tests en pelage. Ceux-ci nous paraissent indispensables car cette sollicitation en clivage sera réelle au moment de la manipulation des charnières et de leur fixation sur le carton de fond.

Réalisation des éprouvettes définitives

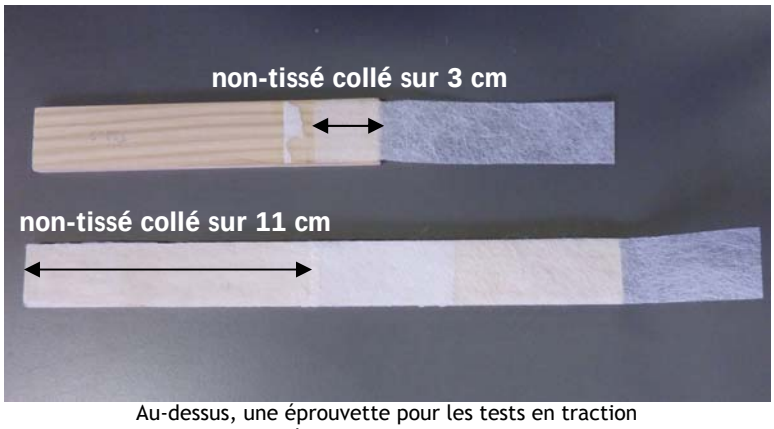
Au final, 120 éprouvettes ont été fabriquées : 10 éprouvettes par adhésif et par type de sollicitation mécanique.

Les adhésifs testés sont :

- la Lascaux ® 360 HV utilisée pure,
- le Paraloïd ® B72 à 50% dans l'acétone,
- le Plexisol ® P550 dilué à 66 % dans l'acétone,
- la Beva ® 371 gel utilisée pur,
- le Solucryl™ 356 dilué à 50 % dans le toluène,
- le Mowital ®60 HH à 15 % dans l'éthanol.

Les éprouvettes pour les tests en cisaillement mesurent 15 cm de long par 2,7 cm de large. La zone de collage mesure 3 cm de long par 2,7 cm de large.
Les éprouvettes pour les tests en clivage mesurent 25 cm de long par 2,7 cm de large. La zone de collage mesure 11 cm de long par 2,7 cm de large.

Après trempage, le film de cire se fige sur les éprouvettes.



Au-dessus, une éprouvette pour les tests en traction et dessous, une éprouvette pour les tests en pelage.

Non-tissé pour les charnières

Le non-tissé a été préféré au papier japonais pour sa résistance mécanique supérieure. Un intissé 100% polyester thermosoudé a été choisi de faible grammage (34 g/m²) du fait de sa translucidité et du faible poids de l'œuvre (2 kg maximum). Les charnières ont été coupées suivant le sens machine du rouleau de non-tissé afin d'exploiter sa résistance mécanique. Nous avons mesuré sa force à la rupture 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.

Allongement et déformation du non-tissé seul en traction.

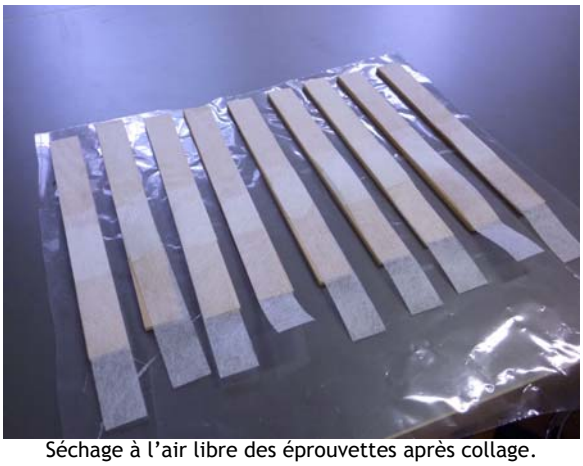
Rupture du non-tissé seul en traction.

Mise en œuvre du collage

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 d'une œuvre :

- la surface à encoller n'est pas modifiée,
- l'adhésif est appliqué au pinceau à travers le non-tissé, en une couche régulière,
- le contact entre le non-tissé et la cire est assuré par la simple pression du pinceau.
- Le collage sèche ensuite à l'air libre pendant dix jours (pas de mise sous poids).

Application de l'émulsion Lascaux ® 360 HV à travers le non-tissé sur une éprouvette de traction.



Séchage à l'air libre des éprouvettes après collage.

Tests effectués

Tests

Deux types de mesures ont été effectués :

- une série d'essais de cisaillement pour étudier le comportement du collage dans sa principale sollicitation, c'est-à-dire une fois l'œuvre montée et accrochée,
- une série d'essais en pelage pour compléter la connaissance du collage.

Les mesures ont été réalisées sur l'appareil de traction LLOYD LRX 250 de LARCROA.
Comme la température de transition vitreuse de la cire d'abeille est faible (31-33°C)[14], nous nous sommes attachés à réaliser nos essais à température constante (24 °C).

Le comportement du collage une fois l'œuvre montée est étudié lors des tests en cisaillement.

Les tests en pelage étudient le comportement du collage pendant le montage (manipulation des charnières).

[14] Delcroix G., « Les cires », dans *Les cires, matériaux de sculpture, matériaux de restauration*, Les Rencontres de l'Arset, Tours, Ecole des beaux-Arts, 2005, p. 7-18.

Résultats et discussion

Observation des films secs d'adhésif

Les qualités du film d'adhésif sec formé nous paraissent importantes à décrire car certaines caractéristiques font partie du cahier des charges (passage uniforme de l'adhésif à travers le non-tissé, quantité d'adhésif déposé, régularité, souplesse). Les observations faites à l'œil nu sont regroupées dans le tableau ci-dessous et accompagnées d'un échantillon.

	Caractérisation du film d'adhésif sec sur le non-tissé	Echantillon correspondant
Lascaux® 360 HV	Film fin et régulier, Souple et élastique, Présent à l'interface non-tissé – cire, Il reste légèrement collant.	
Plexisol® P550	Film d'épaisseur moyenne et régulier, Légèrement rigide, Présent à l'interface non-tissé – cire.	
Paraloïd® B72	Film épais et régulier, Rigide (il imprègne totalement le non-tissé), Cassant, Présent à l'interface non-tissé – cire.	
Beva® gel 371	Film épais et régulier, Légèrement rigide (il imprègne totalement le non-tissé), Présent à l'interface non-tissé – cire.	
Solucryl ™ 356	Film très fin et régulier, Souple et élastique, Présent à l'interface non-tissé – cire, Il reste très légèrement collant.	
Mowital ® B60HH	Film d'épaisseur moyenne et irrégulier, Légèrement rigide, Cassant, Présent à l'interface non-tissé – cire.	

Traction

Les observations à l'œil nu et les mesures sont compilées dans le tableau suivant. Il était en effet important de connaître :

- le type de rupture obtenu,
- l'état de la surface cireuse après rupture,
- et la contrainte maximale exercée.

Après traction, l'observation sous UV des éprouvettes a été réalisée afin de vérifier si les adhésifs étudiés présentaient une fluorescence et si de ce fait, nous pouvions constater des résidus d'adhésifs. Aucune fluorescence n'a été constatée. Il semble que les adhésifs ne présentent pas de fluorescence caractérisée dans ce contexte précis.

Par ailleurs, nous avons pesé toutes les éprouvettes avant et après collage avec une balance de précision (± 0,001 g) afin de déterminer si il y avait un lien entre la masse d'adhésif et la résistance au cisaillement. Nous constatons que les écarts de masse varient beaucoup d'un échantillon à l'autre. De plus, après calcul, il apparaît que, quel que soit l'adhésif, le cœfficient de corrélation est nettement inférieur à 1. Seul le Solucryl™356 est proche d'une relation linéaire entre la contrainte à la rupture et la masse d'adhésif.
Nous en concluons, qu'à partir des résultats obtenus, l'influence de la masse d'adhésif ne semble pas influencer leur pouvoir adhésif.

Les mesures et le raisonnement sont détaillés dans l'annexe 3. Seule l'analyse finale est ici présentée. En cisaillement, les valeurs mesurées sont des forces maximales à la rupture. Rapportées à une surface, elles deviennent une contrainte (σ) et permettent une comparaison juste entre les adhésifs. Comme la dispersion des valeurs mesurées est importante, il est indispensable de prendre en compte l'écart-type (E-T). Le facteur (Ψ* E-T)[15] représente alors un facteur risque. Le rapport : σ/Ψ* E-T permet d'exploiter statistiquement et de comparer les performances des six adhésifs testés.

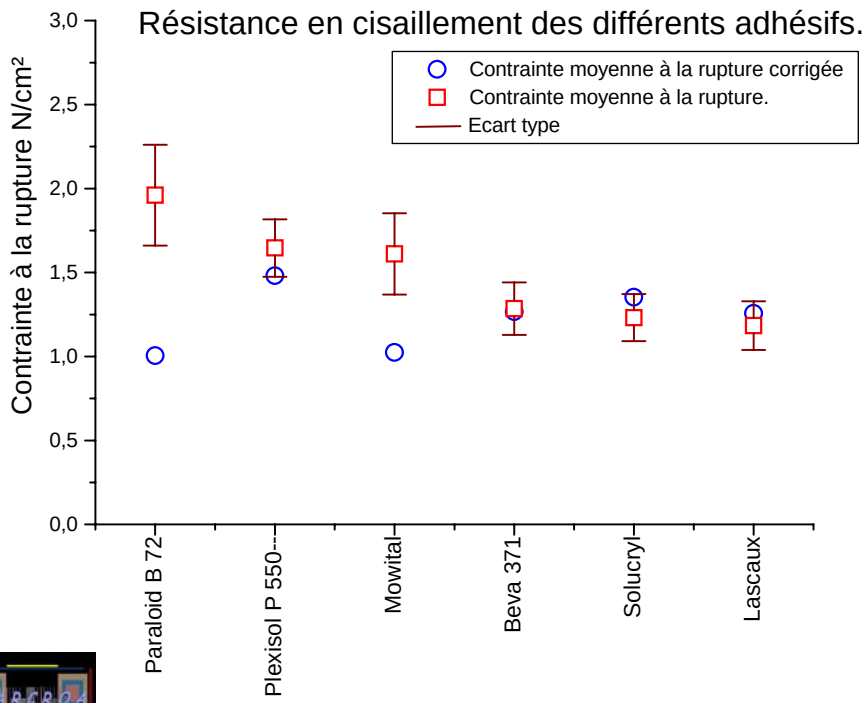
	Type de comportement	Etat de surface de l'éprouvette après pelage	Contrainte (σ) moyenne à la rupture en cisaillement (N/cm^2)[16]	σ/Ψ* E-T
Lascaux® 360 HV	Rupture adhésive entre l'adhésif et la cire	Non modifié Pas de résidus d'adhésif	1,184	1,257
Plexisol® P550	Rupture adhésive entre l'adhésif et la cire (2 cas de rupture cohésive)	Non modifié Résidus d'adhésif dans le cas des ruptures cohésives	1,646	1,481
Paraloïd® B72	Rupture adhésive entre l'adhésif et la cire	Non modifié Pas de résidus d'adhésif	1,961	1,005
Beva® gel 371	Rupture cohésive de l'adhésif	Empreinte du non-tissé sur la cire Quelques résidus d'adhésif	1,285	1,267
Solucryl ™ 356	Rupture cohésive de l'adhésif	Parfois, de longs fils d'adhésif restent sur la cire	1,231	1,353
Mowital ® B60HH	Rupture cohésive de l'adhésif (2 cas de rupture du non-tissé)	Quelques résidus d'adhésif	1,611	1,024

[15] Ψ est un cœfficient de correction sans valeur physique ou mécanique. Il facilite la comparaison entre les résultats obtenus des adhésifs pour les mesures de traction.
[16] Valeurs provenant du rapport de LARCROA, voir annexe 3.

Le graphe ci-dessous présente pour les six adhésifs :

- les valeurs de la contrainte moyenne à la rupture mesurée (carré rouge),
- l'écart-type, c'est-à-dire l'échelle de dispersions des dix mesures (ligne violette),
- et les valeurs corrigées présentées dans le tableau ci-dessus (cercles bleus).

Le Plexisol® P550 et le Solucryl™ 356 apparaissent comme les adhésifs qui offrent la résistance en cisaillement la plus fiable.



Graphe tiré du rapport « Collage d'un substrat cireux/textile polyester dans la perspective du montage d'un dessin de José Maria Sicilia appartenant au Frac Picardie » d'Alain Roche, LARCROA, 2010, p. 9.

Pelage

Les observations à l'œil nu et les mesures sont réunies dans le tableau suivant.

Dans le cas où les adhésifs étudiés présenteraient une fluorescence, nous les avons observés sous UV après les tests de pelage pour vérifier si nous pouvions constater des résidus d'adhésifs. Aucune fluorescence n'a été constatée. Il semble que ces adhésifs ne présentent pas de fluorescence caractérisée dans ce contexte précis.

La mesure de la masse d'adhésif déposée a été également réalisée pour les éprouvettes de test en pelage. Nous constatons que les écarts de masse varient beaucoup d'un échantillon à l'autre. Les cœfficients de corrélation sont faibles. L'influence de la masse d'adhésif sur la force de pelage est peu probable pour quatre des adhésifs (Lascaux® 360 HV, Plexisol® P550, Beva gel 371® et Mowital® B 60 HH) et improbable pour les deux autres (Solucryl™ 356 et Paraloïd® B72).

Nous ne présentons ici que l'analyse finale à partir des résultats obtenus. Le détail du raisonnement est présent dans l'annexe 3. En pelage, Les valeurs mesurées sont des forces maximales qui s'appliquent sur une ligne d'où l'unité de mesure : N/m. De la même manière que pour les mesures en cisaillement, la dispersion des valeurs, c'est-à-dire l'écart-type (E-T), va être utilisé pour obtenir statistiquement des valeurs corrigées. Ainsi, nous pouvons comparer les performances en pelage des six adhésifs.

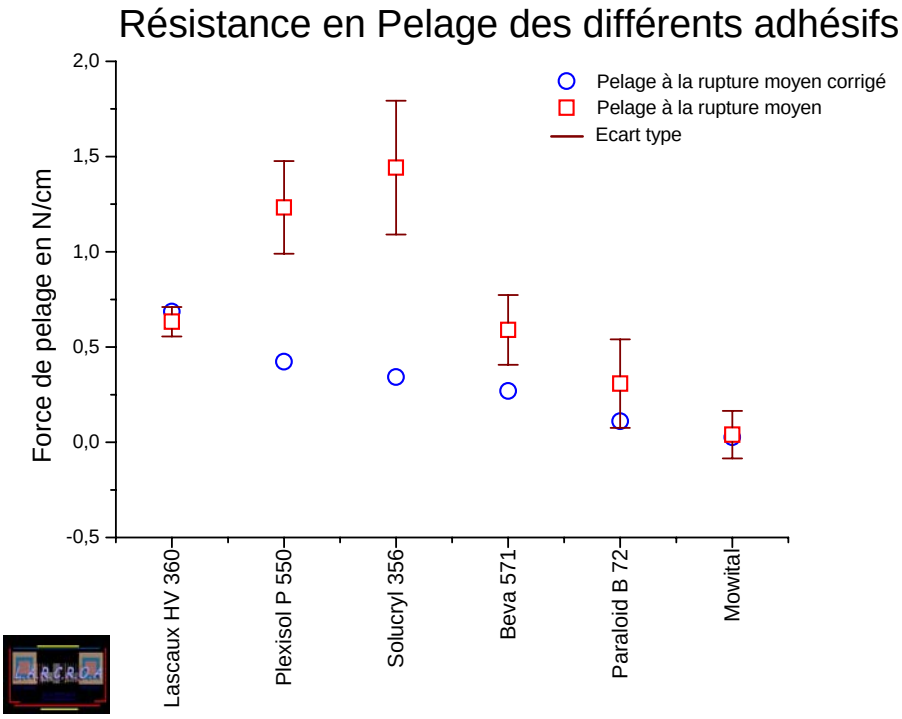
	Type de comportement	Etat de surface de l'éprouvette après pelage	Force de pelage (F) moyenne (N/cm)[17]	F/Ψ* E-T
Lascaux® 360 HV	Rupture adhésive entre l'adhésif et la cire	Non modifié	0,633	0,686
Plexisol® P550	Rupture cohésive entre l'adhésif et la cire	Quelques petits résidus sur toute la surface	1,233	0,423
Paraloïd® B72	Pelage peu régulier Rupture adhésive entre l'adhésif et la cire	Quelques petits résidus brillants sur la cire	0,309	0,111
Beva® gel 371	Pelage irrégulier Rupture adhésive entre l'adhésif et la cire	Surface légèrement matifiée	0,590	0,269
Solucryl ™ 356	Pelage régulier Rupture adhésive entre l'adhésif et la cire	Légers arrachages très ponctuels Quelques résidus sur la cire	1,442	0,342
Mowital ® B60HH	Pelage irrégulier Rupture adhésive (adhésion quasi nulle)	Non modifié	0,040	0,027

[17] Valeurs provenant du rapport de LARCROA, voir annexe 3.

Suivant la même démarche, le graphe ci-dessous présente :

- les valeurs de la force moyenne de pelage à la rupture mesurée (carré rouge),
- l'écart-type (ligne violette),
- et les valeurs corrigées présentées dans le tableau ci-dessus (cercles bleus).

En pelage, les meilleurs résultats sont obtenus par la Lascaux® 360 HV puis par le Plexisol® P550.



Graphe tiré du rapport « Collage d'un substrat cireux/textile polyester dans la perspective du montage d'un dessin de José Maria Sicilia appartenant au Frac Picardie » d'Alain Roche, LARCROA, 2010, p. 13.

Analyse des résultats en fonction du cahier des charges initial

L'analyse statistique des mesures obtenues a permis de valider les performances en cisaillement et en pelage de trois adhésifs : le Plexisol® P550, la Lascaux® 360 HV et le Solucryl™ 356.
Nous souhaitons néanmoins privilégier la résistance au cisaillement car il s'agit des efforts principalement subis par l'œuvre, une fois montée. Les mesures en pelage ont été effectuées en complément afin d'être certain d'avoir des charnières collées manipulables le temps du montage.
Après réflexion, nous avons décidé d'appliquer un cœfficient arbitraire de 1,5 aux contraintes en cisaillement afin de faire apparaître le rôle prédominant de ce paramètre.

Adhésifs	Cisaillement (σ rupt) Moyennes (N/cm²)		Pelage (F pel) Moyennes (N/cm)		$\frac{(1{,}5 \times \sigma\ rupt + F\ pel)}{2}$
	brutes	corrigées	brutes	corrigées	Moyenne des moyennes corrigées
Plexisol® P550	1,646	1,481	1,223	0,423	1,322
Lascaux ®HV 360	1,184	1,257	0,633	0,686	1,285
Solucryl™ 356	1,231	1,353	1,443	0,342	1,185

Ce travail statistique met en avant le Plexisol® P550.

On remarque qu'en cisaillement, le facteur risque a peu d'incidence sur les valeurs brutes. Cependant, en pelage, les valeurs corrigées des forces sont fortement modifiées par le facteur risque pour le Plexisol® P550 et le Solucryl™ 356.

Le Plexisol® P550 et la Lascaux® 360 HV apparaissent être les deux adhésifs les plus à même de répondre au cahier des charges initial :

- ils s'appliquent facilement à travers le non-tissé et le collage reste précis.
- Une fois secs, le film de Lascaux® 360 HV est plus souple que celui de Plexisol® P550.
- L'adhésion est satisfaisante même sans séchage sous poids.
- Ils présentent une résistance au cisaillement suffisante vu le poids de l'œuvre. En cas de rupture, nous avons constaté qu'elle se faisait, pour ces deux adhésifs, entre l'adhésif et la cire. Le Plexisol® P550 semble laisser néanmoins quelques résidus à la surface de l'œuvre.
- La valeur constatée en pelage permet une manipulation sûre pendant le montage tout en autorisant une réversibilité mécanique (valeurs inférieures à 5 N/cm). D'autre part, ils peuvent être re-solubilisés a posteriori.
- La Lascaux® 360 HV et le Plexisol® P550 sont deux adhésifs stables utilisés en conservation-restauration. Leur emploi sera privilégié par rapport au Solucryl™ 356 dont les solvants peuvent dissoudre légèrement la cire et dont le vieillissement est inconnu.

Autres éléments de choix par rapport à une mise en œuvre définitive

Par ailleurs, nous savons que la qualité du collage sera améliorée avec un séchage sous poids. Nous pensons également prendre pour les charnières un non-tissé au comportement mécanique plus homogène afin de sécuriser le montage. Enfin, il reste à définir le nombre de charnières et leur disposition sur le pourtour de l'œuvre.

Conclusion

En juin 2010, une question sur la Conservation Distlist faisait écho à ma recherche. Une restauratrice américaine demandait des conseils quant au choix d'un adhésif pour consolider des fleurs artificielles faites de papier imprégné de cire en couche épaisse. Les réponses proposaient, entre autres, l'emploi d'adhésifs testés dans cette étude : la Lascaux 360 HV, une pâte de cire ou encore la Beva ® film 371 réactivée avec un mélange 50/50 toluène/benzine. Cette dernière solution avait été précédemment utilisée pour le montage de « feuilles de cire » avec des charnières en T en papier japonais. Cette anecdote rappelle l'aspect transversal de ce sujet. Elle souligne, si besoin est, l'intérêt de la recherche appliquée en conservation-restauration.
L'étude menée grâce à l'allocation de recherche en matière de restauration et de conservation d'œuvres d'art contemporain a atteint son objectif : déterminer une gamme d'adhésifs (nature, concentration, solvants) pour un collage où les principales contraintes s'exercent en cisaillement. Celle-ci pourrait se compléter par une recherche sur le vieillissement de ces adhésifs en contact avec la cire (comportement mécanique et stabilité chimique). Des mesures similaires pourraient également être effectués avec des adhésifs aqueux (éthers de cellulose, adhésifs protéiniques) : les pratiques en conservation-restauration arts graphiques ou de sceaux montrent que de tels choix sont valables pour des doublages ou des assemblages de petits éléments. D'autre part, l'échange avec J. M. Sicilia a mis en évidence une autre problématique propre à son œuvre à base de cire : ces tableaux résistent aux augmentations de température mais ils ont tendance à se craqueler à basse température. Ces altérations sont très dommageables à la perception de ces œuvres. Enfin, la thématique du collage papier – autre matériau reste un vaste champ de recherche (films plastiques colorés, trames, ...)

Je tiens à remercier Yves Lecointre, directeur du Frac Picardie, pour avoir accepté de soutenir cette recherche ; Alain Roche pour m'avoir accueilli dans son laboratoire, pour sa disponibilité et sa curiosité et enfin, José Maria Sicilia et sa galerie, C. Crousel à Paris.

Bibliographie

- *Adhesives and coatings,* Science for conservators, vol. 3, Museums and Galleries Commission and Routledge,2005.
- COLOMBO C., *Etude et histoire du papier calque*, IFROA, 1997.
- DOWN J et al., *Adhesive Testing at the Canadian Conservation Institute, An Evaluation of Selected Poly(vinylacetate) and Acrylic Adhesives*, Ottawa, 1992, 29 p.
- FLIEDER F. et RICHARDIN P., « Analyse des produits d'imprégnation de papiers calques anciens », *Les nouvelles de l'Arsag*, n°6, juillet 1990, p. 9-10.
- GAUDU A., *Etude et conservation-restauration de trois esquisses peintes à l'huile sur papier imprégné par Paul Baudouin à la fin du XIXème siècle – Cas d'un papier imprégné collé avec un mélange d'huile et de blanc de plomb sur un papier vergé : essai de démontage,* ENP, Mémoire de fin d'études, 2002.
- *L'attenzione alle superfici pittoriche, Materiali e metodi par il consolidamento e moetodi scientifici par valutarne l'efficacia*, Atti del Quarto Congresso internazionale Colore et Conservazione, Milano, 21-22 novembre 2008.
- 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, non publié, 2007. exemplaire consulté : Archives Nationales, Paris.
- LAVEDRINE B. et al., *(re)Connaître et conserver les photographies anciennes,* Paris, Ed. CHTS, 2007.
- LEBLOND S., *Etude et restauration du Tableau optimiste de Victor Brauner, MNAM, Paris*, IFROA, Mémoire de fin d'études, 1984.
- *Les cires, matériaux de sculpture, matériaux de restauration*, Les Rencontres de l'Arset, Tours, Ecole des beaux-Arts, 2005, 70 p.
- MASSCHELEIN KLEINER L., *Liants, vernis et adhésifs anciens*, 3ème édition mise à jour, 1992, IRPA, Bruxelles.
- MASSCHELEIN KLEINER L., *Les solvants*, 1994, IRPA, Bruxelles.
- PREVOST A., "La conservation des sceaux en cire aux Archives Nationales", *Support Tracé*, n°8, 2008, p. 48-61.
- PUREWAL V. J., « An investigation into the composition of botanical wax models with a view to their conservation", *Pre-prints of the SSCR'S 2nd Resins Conference "Resins Ancient and Modern"*, Department of Zoology, University of Aberdeen, 13-14 september 1995.
- RAYNER J. et al., *Art on Paper, Mounting and housing*, Londres, ed. Archetype, 2005.
- *SKEIST I., Handbook of adhesives*, New York, Van Nostrand Reinhold, 3ème édition, 1989.
- VICAT C., *Etude et restauration d'une nature morte portugaise peinte avec de la cire sur calque par Sonia Delaunay en 1916,* IFROA, Mémoire de fin d'études, 1982.

- *José Maria Sicilia, Eclipses*, Galerie Chantal Crousel, Paris, Edition A.S.S.N, 2007.
- *José-Maria Sicilia*, Centre d'art Contemporain d'Issoire, Issoire, France, 2001.

Annexes

- Annexe 1 : Notes suite à l'entretien avec J. M. Sicilia.
- Annexe 2 : Rapport d'analyse du matériau cireux prélevé au dos de l'œuvre de J. M. Sicilia appartenant au Frac Picardie (n° inv. 07-026).
- Annexe 3 : Fiches techniques des six adhésifs testés.
- Annexe 4 : Rapport LARCROA suite aux tests en cisaillement et en pelage.

- Annexe 1 : Notes suite à l'entretien avec J. M. Sicilia, 21 mars 2010, Malakoff.

Nous avons rencontré l'artiste en mars 2010, à Malakoff où il vit et travaille. José Maria Sicilia a travaillé pendant 15 ans avec la cire. Aujourd'hui, il ne l'utilise plus. Il a commencé par utiliser la paraffine mais très vite, il s'est aperçu qu'elle vieillissait mal (jaunissement, noircissement). Il lui a donc rapidement préféré la cire d'abeille pour sa stabilité connue. Il achetait la cire en grande quantité, elle provenait de Chine, en transitant par Rotterdam et auparavant d'Australie.
Il nous a ensuite fourni quelques éléments de mise en œuvre. Le travail avec la cire était uniquement réalisé à Majorque (autre lieu de vie et de travail de l'artiste) où le climat permettait de travailler avec la cire, matériau thermofusible. A ses yeux, ce travail était impossible à réaliser en France.
Pour les peintures, il achetait des châssis chez Marin recouverts d'un support en bois. Ce support était posé au sol et il coulait la cire à partir de « grandes bassines d'environ 1 m de diamètre avec un robinet ». « La cire était comme du yaourt », elle s'étalait très facilement au centre mais beaucoup moins bien sur les bords. L'artiste était alors obligé de courir avec un décapeur thermique autour de la peinture où la cire se figeait déjà.
Les couleurs sont :
soit des mélanges de cire et de peinture à l'huile (peinture diluée au White Spirit (« moins nocif »),
soit des mélanges de cire et de vernis pour l'eau-forte (teinte brune).

L'artiste a constaté des problèmes d' « oxydation « (sic) de la cire quand deux tableaux sont en contact, c'est-à-dire que leur surface blanchit. Ce phénomène disparaît en appliquant de l'huile ou un vernis.

J. M. Sicilia indique qu'il ne crée pas en se souciant des problèmes de conservation car sinon, « on ne fait plus rien ». Cependant, il est au faite des ces problèmes par différents biais :

- sa sœur est restauratrice d'œuvres graphiques,
- il a étudié la restauration deux ans en Espagne sans pour autant mettre à profit cet apprentissage dans son œuvre.

Il est bien conscient de la fragilité des œuvres sur papier à la cire. A propos du système de montage flottant proposé, il insiste sur l'aspect flottant du montage et sur la conservation des épingles. L'emploi envisagé d'adhésifs acryliques l'a fait réagir : il a immédiatement demandé si ils étaient colorés et quelle était leur stabilité dans le temps. Le terme « résines acryliques » évoquait pour lui des résines utilisées pour les bateaux qui sont différentes des résines pures utilisées en conservation-restauration et dont la stabilité a été étudiée.

Aujourd'hui, son principal problème vis-à-vis des peintures à la cire est leur mauvais comportement au froid. Il a constaté qu'un stockage long ou un transport inadapté, à basse température (-5°C environ), provoquait l'apparition de cassures dans l'épaisseur de la couche de cire. Ces altérations sont très gênantes visuellement pour les propriétaires de ce type d'œuvres qui le rappellent à ce propos. L'artiste a essayé de masquer ces cassures en faisant refondre localement la cire à l'aide d'un décapeur thermique mais cela a plutôt tendance à brûler la surface. Il a ensuite effectué une retouche à l'huile. Il souhaiterait qu'une solution de restauration soit trouvée à ce problème afin de pouvoir consacrer tout son temps à son travail.

Au moment de notre visite, l'artiste était en train de faire des essais mettant en œuvre de grands papiers japonais. Ce fut l'occasion de parler de son intérêt pour les papiers japonais. Il se fournit auprès de revendeurs français (Simon international (société qui n'existe plus aujourd'hui) et plus rarement chez Atlantis). Ses voyages au Japon sont également l'occasion de visiter des papetiers trésors nationaux et d'acheter leurs productions. Par exemple, il a ainsi acheté un papier japonais à la main de 75 g/m² environ, en feuille de 1 x 1,5 m. Il voulait également des feuilles de 1,8 x 1,8 m, d'environ 20 g/cm², mais le prix était très élevé du fait que « le papetier en rate dix pour en réussir une ».

- Annexe 2 :

- Annexe 3 : Fiches techniques des six adhésifs testés.

- Annexe 4 : Rapport LARCROA suite aux tests en cisaillement et en pelage.