



Trois silhouettes issues des pièces d'ombres de *La Nuit des temps* et de *L'Épopée* présentées au cabaret du Chat Noir de Montmartre de 1886 à 1897 (Musées de Châtellerauld)

BENEDICTE MASSIOT

MEMOIRE DE DIPLOME DE RESTAURATEUR DU PATRIMOINE, SPECIALITE : Arts du feu option Métal

D'OMBRE ET DE LUMIERE. CONSERVATION-RESTAURATION DE TROIS SILHOUETTES DU CABARET DU CHAT NOIR DE MONTMARTRE (MUSEES DE CHATELLERAULT). RECHERCHE D'UN SYSTEME DE RENFORT STRUCTUREL DE FEUILLES DE ZINC AU MOYEN DE STRATIFIES.

Membres du jury

Présidente : Elisabeth Moggetti

Membres :

Marie-José Mano
Florence Herenschmidt
Olivier Roland
Léon-Bavi Vilmont
Catherine Join-Dieterle

Rapporteurs

Partie historique :
Sophie Brégeaud-Romand

Partie technico-scientifique :
Sylvie Le Moyne

Partie restauration :
Antoine Amarger / Régis Bertholon

D'ombre et de lumière :
**Conservation-restauration de trois silhouettes du cabaret du Chat Noir de
Montmartre (Musées de Châtellerault). Recherche d'un système de renfort
structurel de feuilles de zinc au moyen de stratifiés.**

Mémoire de fin d'études
soutenu par Bénédicte MASSIOT
en vue de l'obtention du diplôme de restaurateur du patrimoine
dans la spécialité Arts du Feu
septembre 2008

Membres du jury :

Présidente :

- Elisabeth MOGNETTI, conservatrice en chef du patrimoine, directrice scientifique du Centre interrégional de conservation et de restauration du patrimoine (CICRP)

Membres :

- Marie-José MANO, restauratrice de peintures, Istituto centrale per il restauro (ICR)
- Florence HERRENSCHMIDT, restauratrice d'arts graphiques
- Olivier ROLAND, restaurateur de sculptures
- Léon-Bavi VILMONT, ingénieur de recherche au Centre de recherche sur la conservation des collections (CRCC)
- Catherine JOIN-DIETERLE, conservatrice en chef du patrimoine, directrice du musée Galliera

Rapporteurs :

Historique : Sophie BREGEAUD-ROMAND, conservatrice du patrimoine, Musées de Châtellerault (Vienne).

Scientifique : Sylvie LE MOYNE, maître de conférences à l'université de Paris 6, Institut de mécanique physique de Jean-Le-Rond d'Alembert à Saint Cyr.

Restauration : Antoine AMARGER, restaurateur de sculptures métalliques.

Régis BERTHOLON, restaurateur de mobilier métallique archéologique et maître de conférences à l'université de Paris 1.

« Dans ce canton détourné de l'Art, qui est l'Ombre chinoise, M. Henri Rivière a su se tailler (c'est le cas de le dire) un petit royaume qui est bien à lui. Il est vraiment poète. Avec des feuilles de métal découpé se profilant sur des toiles diversement éclairées, il nous donne l'impression de beauté et insinue en nous les plus merveilleux songes ».

Visite de Jules Lemâtre lors de la représentation d'Ailleurs !, 1897, p. 346.

Remerciements

Je tiens à remercier toutes les personnes qui ont, par leur soutien et leur attention, contribué à la réalisation de ce travail :

Madame Sophie Brégeaud, conservatrice des Musées de Châtellerauld dans la Vienne, qui a accepté de me confier des objets complexes et s'est rendue disponible tout au long de l'année.

Monsieur Antoine Amarger, restaurateur de sculptures métalliques monumentales, pour son aide précieuse et ses conseils pertinents qu'il a su me prodiguer au fur et à mesure de la restauration.

Monsieur Régis Bertholon, restaurateur de mobilier métallique archéologique et maître de conférences à l'université de Paris 1, pour son suivi sans faille, sa grande disponibilité et ses qualités pédagogiques.

Madame Sylvie Le Moyne, maître de conférences à l'université de Paris 6, Institut de mécanique physique de Jean-Le-Rond d'Alembert à Saint Cyr, pour sa disponibilité, son enthousiasme vis-à-vis de cette recherche et sa gentillesse qui m'ont permis de mener une étude très intéressante pour moi dans une atmosphère chaleureuse.

Monsieur Marc Olympio, régisseur et archiviste du Musée de La Vie Romantique de Montmartre, Jean Michel Bück, Vice-président de l'association la Collectionnoise, Monsieur Éric Blanchegorge, conservateur en chef du musée Antoine Vivenel, Madame Sandrine Doré, historienne d'art de l'Association des Amis d'Alfred Robida ainsi que les membres de l'Association, Monsieur Jean Marie Haussadis, responsable des figurines historiques du Musée de l'Armée, Monsieur Jean Paul Sage conservateur adjoint, département ancien du musée de l'Armée, Monsieur Pierre Korzilius, chef du service de l'auditorium du Musée d'Orsay, Monsieur Jean Godement, marionnettiste, Monsieur David Bourgarit, ingénieur de recherche au Centre de Recherche des Musées de France, Monsieur Michel Dubus, ingénieur de recherche au Centre de Recherche des Musées de France, Monsieur Faiçal Bousta, ingénieur de recherche au Laboratoire de Recherche des Monuments Historiques, Madame Michaela Berner, biologiste et consultante spécialisée en conservation-restauration, Monsieur Julien Barthez, assistant ingénieur au Centre de Recherche sur la Conservation des Collections. Ainsi que Madame Odile Blanc, Monsieur Patrick Noblet et Monsieur Alexandre Deshayes.

J'adresse aussi de vifs remerciements aux enseignants de l'INP pour leur aide dans les choix de restauration : Madame Cécile Argenton, Madame Claudia Sindaco, Madame Marie Christine Enshaian. Je remercie enfin mes collègues de quatrième année, notamment Claire Gonnier pour ses relectures pertinentes, ainsi que Marie Messenger et Annaé Annenkoff pour leur aide précieuse.

Merci à ma famille, sans laquelle je n'aurais pas pu faire ce parcours, et à Grégoire pour son soutien.

Sommaire

Introduction	1
--------------------	---

Chapitre I. Étude historique

I. L'ENVERS DES OMBRES : de la genèse du théâtre au spectacle.....	2
A. Un ensemble foisonnant	2
1. Présentation des trois silhouettes	2
2. Les silhouettes dans les collections muséales	4
3. Intérêt de l'étude d'un ensemble.....	4
B. Le projet artistique et littéraire	5
1. Le Chat Noir, un lieu de création original	5
2. Les personnalités à l'origine du théâtre d'ombres	6
3. L'engouement pour l'image au XIXe siècle ou la redécouverte des silhouettes d'ombres	8
C. Le théâtre du Chat Noir : une technique portée à son apogée.....	9
1. Une découverte fortuite	9
2. Le premier agrandissement des coulisses	9
3. Les améliorations techniques.....	11
II. DES ILLUSTRATEURS ET DES SILHOUETTES.....	14
A. Caran d'Ache, créateur de <i>L'Épopée</i>	14
1. Présentation de Caran d'Ache (1858-1909).....	14
2. <i>L'Épopée</i>	15
3. Identification des silhouettes des cavaliers	16
B. Robida, créateur de <i>La Nuit des Temps</i>.....	19
1. Présentation d'Albert Robida (1848 – 1926).....	19
2. <i>La Nuit des Temps</i>	20
3. Identification et situation de la silhouette du Guerrier.....	23
III. HISTOIRE PATRIMONIALE.....	25
A. Parcours au sein des collections	25
1. Une entrée énigmatique	25
2. Création et évolution du musée dans les salles de l'Hôtel de Ville	27
3. Du musée Paul Chéron de la Martinière à l'Hôtel Sully	28
B. Des réserves au projet muséal.....	32
1. La mise en réserve et le chantier de collection	32
2. Le devenir des œuvres	34

Chapitre II. Étude technologique, constat d'état et diagnostic

I. ÉTUDE TECHNOLOGIQUE.....	35
A. De la conception à la fabrication	35
1. Les dessins préparatoires.....	35
2. Le support en zinc	38
B. Le découpage par l'atelier Barat	40

1. L'atelier de Barat.....	40
2. Le laminage.....	40
3. Le collage.....	42
4. Le découpage.....	43
C. Mise en place d'éléments structuraux.....	44
1. Les armatures.....	44
2. Les patins.....	46
D. Mise en place des éléments de décor.....	47
1. La mise en couleur.....	47
2. Les papiers colorés.....	48
3. Le textile.....	50
II. CONSTAT D'ÉTAT.....	51
A. Altérations de structure.....	52
1. Déformations.....	52
2. Bris.....	53
3. Lacunes.....	53
4. Perforations.....	56
5. Fissurations.....	56
6. Déchirures.....	56
7. Soulèvements.....	57
8. Perte de cohésion.....	57
9. Réparations.....	57
B. Altérations de surface.....	58
1. Empoussièremet.....	58
2. Dépôts divers.....	58
3. Usures.....	59
4. Structures fongiques.....	60
5. Jaunissement du papier.....	60
6. Corrosion des métaux.....	61
III. DIAGNOSTIC.....	66
A. Altérations liées au conditionnement.....	66
1. Empoussièremet et dépôts.....	66
2. Déformation des plaques de zinc sur les armatures.....	66
B. Altérations liées aux manipulations.....	67
1. Bris et lacunes des métaux.....	67
2. Bris et lacunes des papiers et du textile.....	68
3. Usure des matériaux.....	69
4. Empreintes digitales.....	69
C. Altérations liées aux conditions environnementales.....	70
1. Ancienne infestation.....	70
2. Contamination micro-biologique.....	70
3. Hydrolyse et oxydation des papiers et du textile.....	71
4. Corrosion atmosphérique des métaux.....	72
5. Interaction entre la corrosion du zinc et le papier.....	74
D. Altérations liées aux anciennes interventions.....	75
1. Corrosion liée à la pose des armatures.....	75
2. Perforations des métaux.....	75
E. Hypothèses d'altération de la couche mate.....	75
F. Évaluation des risques encourus par les œuvres.....	76
IV. VALEURS CULTURELLES.....	78
1. Présentation de la méthode.....	78
2. Valeurs associées aux silhouettes.....	79
V. PROPOSITIONS DE TRAITEMENT.....	83

1. Remise en forme des armatures	83
2. Nettoyage des surfaces	83
3. Traitements de consolidation et de refixage	84
4. Assemblage des zones de bris	84
5. Réintégration des éléments de papier et de métal	84
6. Conditionnement	85
7. Proposition d'exposition	85

Chapitre III. Étude technico-scientifique

I. PRÉSENTATION DE L'ÉTUDE TECHNICO-SCIENTIFIQUE	86
A. Contexte de l'étude	86
1. Collage ou soudage ?	86
2. Caractéristiques du substrat à encoller	87
B. Évaluation des contraintes et choix du système de renfort	90
1. Sollicitations mécaniques	90
2. Calcul de la charge maximale	91
3. Description du système de renforcement	91
4. Essais de résistance sélectionnés : la flexion et le cisaillement	92
5. Objectifs de l'étude	93
II. SÉLECTION DES MATÉRIAUX	94
A. Les matériaux de stratification	94
1. Cahier des charges	94
2. Sélection de la matrice	96
3. Sélection du renfort	98
B. Les adhésifs de liaison	99
1. Cahier des charges	99
2. Sélection des adhésifs thermoplastiques et de l'additif	101
3. Sélection des adhésifs thermodurcissables	102
C. Systèmes de tests envisagés	103
1. Flexion des stratifiés	103
2. Cisaillement des adhésifs de liaison sur une interface Zn patiné/Zn patiné	104
III. PRÉPARATION DES ÉCHANTILLONS	105
A. Préparation des stratifiés	105
1. Fabrication du moule	105
2. Stratification	106
B. Préparation des échantillons avec adhésifs de liaison	107
1. Préparation des éprouvettes de zinc	107
2. Préparation des adhésifs de liaison	109
3. Fabrication des échantillons pour les tests de cisaillement	111
IV. RÉSULTATS	113
A. Tests de flexion des stratifiés	113
1. Essais de flexion	113
2. Résultats	114
3. Interprétation des résultats	115
4. Sélection du stratifié	115
B. Tests de résistance à la rupture par cisaillement	116
1. Essais de cisaillement	116
2. Résultats	117

3. Interprétation des résultats.....	118
C. Validation du système de renforcement	121
1. Fabrication des échantillons finaux et essais de cisaillement	121
2. Résultats	121
2. Interprétation des résultats et comparaison des essais de cisaillement	122
3. Critique du protocole	123
4. Sélection du système de collage	124
IV. CONCLUSION.....	125

Chapitre IV : Conservation-restauration

I. TRAITEMENTS DE CONSERVATION-RESTAURATION.....	126
A. Traitements préalables à la manipulation de l'œuvre.....	126
1. Conditionnement provisoire	126
2. Retrait du fragment de textile	126
3. Remise en forme des cavaliers	127
B. Traitements de nettoyage et de consolidation.....	131
1. Nettoyage et consolidation des papiers.....	131
2. Nettoyage des métaux.....	143
3. Nettoyage et consolidation du patin en bois	153
C. Traitement de doublage	155
1. Rappel de l'étude scientifique	155
2. Interventions préalables au doublage.....	155
3. Mise en œuvre du doublage.....	156
D. Traitements de réintégration.....	158
1. Objectifs de restauration	158
2. Réintégration des métaux	160
3. Réintégration des papiers.....	163
E. Traitement du textile	170
1. Problématique et objectif.....	170
2. Matériaux disponibles et tests préalables.....	171
3. Mise en œuvre	173
II. EXPOSITION ET CONSERVATION PREVENTIVE	174
A. Conditionnement	174
1. Étiquettes et numéro d'inventaire	174
2. Boîte de conditionnement et de transport	175
B. Préconisations	176
1. Manipulations	176
2. Conditions de conservation	176
C. Propositions de présentation.....	178
 Conclusion.....	 179
Bibliographie.....	180
Annexes.....	I-VL

Introduction

Dans le Montmartre de la fin du XIX^{ème} siècle, poètes, musiciens et artistes se rencontrent au sein des nouveaux lieux à la mode que sont les cabarets littéraires. La plupart prennent l'aspect de cafés aux décors originaux, mais l'établissement du Chat Noir a su développer un véritable spectacle de qualité dont la renommée a traversé les âges. Ainsi qui ne connaît sans le savoir la ballade d'Aristide Bruant « *Je cherche fortune...* » ou l'affiche décorative de Steinlein présentant l'animal emblématique entouré d'une auréole de lumière ? À l'aube du cinéma, un petit groupe de passionnés crée un théâtre d'ombres où se mêle prose et musique, boniment et lumière. Ils utilisent des silhouettes découpées dans du zinc, souvent recouvertes de papier, qui allient des effets de perspectives à des recherches colorées.

À la fois brutes et délicates ces œuvres associent des matériaux peu compatibles qui soulèvent des problèmes fréquemment rencontrés en conservation-restauration. Elles sont aussi l'enjeu d'une présentation adaptée capable de retranscrire leur fonction tout en respectant leur fragilité. Pour toutes ces raisons, nous nous sommes très rapidement intéressés à ces objets dont le paradoxe est d'être célèbre sans être connu.

Les trois silhouettes sélectionnées proviennent des Musées de Châtellerault, ville dont était originaire le créateur du cabaret. Elles sont issues de deux pièces d'ombres nées de l'imagination d'illustrateurs de renom, Caran d'Ache et Alfred Robida, qui travaillèrent aux pieds de la butte de 1886 à 1889. Après leur utilisation puis leur vente locale du début du XX^{ème} siècle, les plaques furent conservées ou exposées puis mises en réserve suite à la fermeture du musée Sully en 2004.

Nous avons choisi trois objets représentatifs de l'ensemble de la collection qui impliquent des problématiques différentes. Fracturées, déformées, déchirées et corrodées, ces œuvres ont perdu une partie de leur intégrité physique qui altère leur sens. Une étude du contexte de création, de l'histoire patrimoniale et de leurs conséquences sont des étapes nécessaires à la perception de la spécificité de ces ombres. La forme de la plaque métallique est essentielle pour comprendre l'image, ce qui nous a amené à réfléchir à un système de maintien de ces zones brisées difficilement manipulables.

Fiche d'identification des Trois cavaliers

- *Numéro d'inventaire* : 13838.26
- *Dénomination* : **Silhouette d'ombres des Trois cavaliers**, cabaret du Chat Noir de Montmartre.
- *Illustrateur* : **Caran d'Ache** (1858 - 1909).
- *Datation* : Entre 1886, date de création de *L'Épopée*, et 1897, décès de Rodolphe Salis.
- *Découpeur* : Barat.
- *Matériaux et techniques* : Zinc laminé et découpé, armatures en alliage ferreux galvanisé brasées avec un alliage d'étain-plomb, papier collé, couche picturale noire.
- *Dimensions* : Hauteur : 71 cm / Longueur : 75 cm / Épaisseur max. : 2 ,3 cm et épaisseur de la feuille de zinc : 7/10^e mm.
- *Poids* : 1899 g.
- *Étiquettes et inscriptions* : Papier blanc marqué « 63 » scotché sur le revers de l'œuvre.
- *Responsable juridique* : Madame Sophie Brégeaud-Romand, conservatrice du Patrimoine.
- *Lieu de conservation* : Musées de Châtellerault, Vienne (87).

PLANCHE. I : Identification des œuvres : Trois cavaliers



III. 1. Avers de la silhouette d'ombres des Trois cavaliers. © G. Vanneste.



III. 2. Revers de la silhouette d'ombres des Trois cavaliers. © G. Vanneste.

SILHOUETTES D'OMBRES DU CABARET DU CHAT NOIR - MUSEES DE CHATELLERAULT
BENEDICTE MASSIOT - MEMOIRE INP DEPARTEMENT DES RESTAURATEURS, 2008

Fiche d'identification des Quatre cavaliers

- *Numéro d'inventaire* : 13838.25
- *Dénomination* : **Silhouette d'ombres des Quatre cavaliers**, cabaret du Chat Noir de Montmartre.
- *Illustrateur* : **Caran d'Ache** (1858 - 1909).
- *Datation* : Entre 1886, date de création de *L'Épopée*, et 1897, décès de Rodolphe Salis.
- *Découpeur* : Barat ?
- *Matériaux et techniques* : Zinc laminé et découpé, armatures en alliage ferreux (dont certaines sont galvanisées) brasées avec un alliage d'étain-plomb, papier collé et peint, textile collé, patin en bois vissé.
- *Dimensions* : Hauteur : 71 cm / Longueur : 88 cm / Épaisseur max. : 9 ,5 cm et épaisseur de la feuille de zinc : 7/10^e mm.
- *Poids* : 1909 g.
- *Étiquettes et inscriptions* : « XXXIV » peint en blanc sur le talon et étiquette adhésive blanche marquée « 12 » placée au revers de l'œuvre.
- *Responsable juridique* : Madame Sophie Brégeaud-Romand, conservatrice du Patrimoine.
- *Lieu de conservation* : Musées de Châtellerault, Vienne (87).

PLANCHE. II : Identification des œuvres : Quatre cavaliers



III. 3. Avers de la silhouette d'ombres des Quatre cavaliers. © G. Vanneste.



III. 4. Revers de la silhouette d'ombres des Quatre cavaliers. © G. Vanneste.

SILHOUETTES D'OMBRES DU CABARET DU CHAT NOIR - MUSEES DE CHATELLERAULT
BENEDICTE MASSIOT - MEMOIRE INP DEPARTEMENT DES RESTAURATEURS, 2008

Fiche d'identification du Guerrier

- *Numéro d'inventaire* : 13839.2
- *Dénomination* : **Silhouette d'ombres du Guerrier**, cabaret du Chat Noir de Montmartre.
- *Illustrateur* : **Alfred Robida** (1848 - 1926).
- *Datation* : Entre 1889, date de création de *La Nuit des Temps ou L'Élixir de Rajeunissement*, et 1897, décès de Rodolphe Salis.
- *Découpeur* : Barat ?
- *Matériaux et techniques* : Zinc laminé et découpé, armatures en alliage ferreux galvanisé, brasées avec un alliage d'étain-plomb, papier collé, lavis d'encre brune.
- *Dimensions* : Hauteur : 39 cm / Longueur : 47 cm / Épaisseur de la feuille de zinc : 7/10^e mm.
- *Poids* : 341 g.
- *Étiquettes et inscriptions* : Deux étiquettes adhésives blanches marquées « 47 » et « Photo faite le 23. 02. 89 » sur le revers de l'œuvre.
- *Responsable juridique* : Madame Sophie Brégeaud-Romand, conservatrice du Patrimoine.
- *Lieu de conservation* : Musées de Châtellerault, Vienne (87).

PLANCHE. III : Identification des œuvres : Guerrier



III. 5. Avers de la silhouette d'ombres du Guerrier. © G. Vanneste.



III. 6. Revers de la silhouette d'ombres du Guerrier. © G. Vanneste.

SILHOUETTES D'OMBRES DU CABARET DU CHAT NOIR - MUSEES DE CHATELLERAULT
BENEDICTE MASSIOT - MEMOIRE INP DEPARTEMENT DES RESTAURATEURS, 2008

Chapitre I.

Étude historique



Dessin d'Albert Robida Programme de *la Nuit des Temps ou l'Élixir de Rajeunissement*, 1889, musée Antoine Vivenel.

I. L'ENVERS DES OMBRES : de la genèse du théâtre au spectacle

A. Un ensemble foisonnant

1. Présentation des trois silhouettes

L'objet de notre étude est une sélection de trois silhouettes d'ombres en zinc, réalisées entre 1886 et 1897 pour le cabaret du Chat Noir de Montmartre. Les œuvres sont conservées au musée Sully de Châtellerauld, fermé depuis 2004, et aujourd'hui mises en réserves dans l'attente d'un futur lieu d'exposition.

Les plaques ont des structures similaires qui sont liées à leur fonction : elles sont légères, rigides et plates. Chaque forme est découpée dans de fines tôles de zinc d'environ 7/10^e mm d'épaisseur et présente des armatures en alliage ferreux sur le revers. Ces tiges métalliques sont maintenues solidaires à la feuille de métal par des brasures tendres, constituées d'un alliage étain-plomb, et épousent la forme des découpes. Les silhouettes sont ainsi renforcées et résistent mieux aux sollicitations mécaniques imposées par les nombreuses manipulations.

La face, qui correspond à la partie en contact avec le drap du castelet et à la partie visible par le spectateur, est plane. Deux silhouettes sont recouvertes du papier original qui avait servi de patron lors de la fabrication. La troisième est parsemée de morceaux de papiers colorés et d'un fragment de textile qui masquent les zones ajourées du zinc.

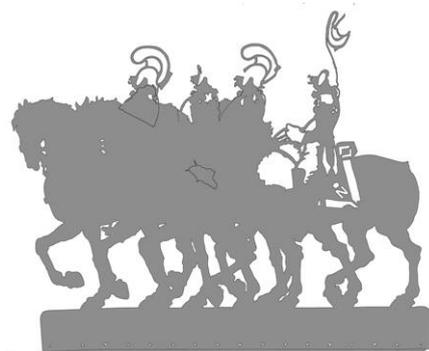
Deux œuvres sont issues de la pièce d'ombres de *L'Épopée*, écrite et illustrée par Caran d'Ache en 1886. Elles présentent des similitudes iconographiques et techniques mais aussi de grandes différences stylistiques :

- Trois cavaliers, n°13838.26



La scène figurée est composée de trois cavaliers de l'armée impériale de Napoléon. Chaque soldat est identifiable grâce à son costume et à sa coiffe : de droite à gauche nous distinguons au premier plan un grenadier, puis un carabinier et enfin un dragon. Ces personnages portent un étendard

dont les découpes évoquent des drapeaux déchiquetés sous la rudesse des combats. Les chevaux sont aussi dessinés avec la plus grande exactitude anatomique.



- Quatre cavaliers, n°13838.25

La lecture de cette seconde silhouette est rendue difficile par son état de conservation. Il est tout de même possible de distinguer 4 cavaliers de la Grande Armée, probablement des carabiniers portant un casque¹. Certains éléments du costume et du harnachement sont mis en valeur par des zones ajourées qui laissent passer la lumière.

- Guerrier, n°13839.2



La troisième silhouette appartient à *La Nuit des Temps ou l'Élixir de Rajeunissement*, œuvre d'anticipation née de l'imagination d'Alfred Robida. Elle a été jouée au cabaret à partir de 1889.

La figure campe un soldat du Moyen âge. Il est revêtu d'un gambison de cuir recouvert d'une cotte de mailles et d'éléments d'armure, ce qui est caractéristique d'un costume d'homme de pied du XIV^{ème} siècle. Sur son épaule gauche se trouve un écu personifié par un lion héraldique ajouré. Le personnage actionne une manivelle d'un outil non identifié entraînant un mouvement d'ensemble qui anime la silhouette.

¹ Pour l'étude iconographique détaillée de chacune des œuvres avec situation dans la pièce d'ombres voir p. 16 à 19 et 23 à 24.

2. Les silhouettes dans les collections muséales

Le Chat Noir a produit une cinquantaine de spectacles pendant près de douze années. De nombreuses silhouettes ont donc été créées avant d'être dispersées à la mort de Rodolphe Salis, propriétaire du cabaret. Le matériel de Montmartre a été vendu à Paris à l'Hôtel Drouot et le reste des œuvres qui se trouvait dans la Vienne, à l'intérieur du manoir de Salis, a dû être vendu à son tour depuis cette résidence. Les plaques de zinc sont aujourd'hui réparties dans quatre collections publiques² auxquelles il faut ajouter des collections particulières.

Le musée de Châtellerault est le seul qui présentait des silhouettes d'ombres avant sa fermeture en 2004. Une salle était entièrement consacrée à Rodolphe Salis et au cabaret du Chat Noir. Dans le pré-projet scientifique et culturel du futur lieu d'exposition, il est toujours question de recréer un espace semblable. Nous avons donc décidé de sélectionner des œuvres de ce musée afin de participer à leur mise en valeur.

3. Intérêt de l'étude d'un ensemble

Des critères de sélection ont orienté le choix de ces trois plaques de zinc. Il s'agissait tout d'abord d'envisager l'étude de silhouettes provenant de deux œuvres théâtrales différentes, afin de pouvoir comparer leur technique de mise en forme et leurs altérations.

L'Épopée est la pièce d'ombres qui a été la plus jouée au cabaret, celle qui a amené le succès. Elle est donc bien documentée et son illustrateur est assez connu. En revanche, il a été décidé de choisir deux œuvres différentes : la première représentative de l'ensemble des collections visibles au musée de Châtellerault et au musée de l'Armée, celle des Trois cavaliers, et la seconde qui n'a pas de point de comparaison, celle des Quatre cavaliers. Cette dernière conserve un patin original, correspond à l'un des tableaux de la pièce mais présente des différences matérielles et stylistiques importantes. Il pourrait s'agir d'une œuvre effectuée à l'occasion d'une des tournées tardives du cabaret, découpée pour pallier un manque suite à une casse.

La Nuit des Temps est une pièce moins documentée, il ne reste plus que quatre silhouettes sur les 42 tableaux prévus dans le programme. Les connaissances sont plus lacunaires mais la

² Le musée de l'Armée conserve un dépôt du musée des Arts Décoratifs, constitué d'une cinquantaine de plaques exclusivement de *L'Épopée* de Caran d'Ache. Le musée des Arts Décoratifs possède 1 tableau de *L'Épopée* ; celui de Montmartre conserve des cadres d'*Ailleurs* d'Henri Rivière ; et celui de Châtellerault, dans la Vienne, possède 46 plaques de *L'Épopée* de Caran d'Ache, 4 de *La Nuit des Temps* de Robida, 10 de *Phryné*, 14 de *L'Âge d'Or* de Willette, 1 du *Rêve de Zola* et 5 décors de *La Tentation de Saint Antoine*.

redécouverte du manuscrit original en rend l'étude historique importante. Les altérations présentes sur le guerrier sont significatives de la collection et complètent celles de *L'Épopée*.

B. Le projet artistique et littéraire

1. Le Chat Noir, un lieu de création original

Au pied de la butte de Montmartre, dans un quartier artistique devenu à la mode, Rodolphe Salis ouvre un cabaret mondain en novembre 1881. Les premiers clients du Chat Noir³ sont des membres du groupe des Hydropathes⁴, composé essentiellement de poètes et de musiciens. Émile Goudeau, le chef de file du mouvement⁵, rencontre Salis au cabaret de la Grande Pinte et décide de quitter le quartier latin devenu trop étroit. Le groupe est vite rejoint par des peintres, des sculpteurs, de jeunes artistes de la bohème puis par des aristocrates et de grands bourgeois qui viennent assister aux soirées sélectives du vendredi après-midi. Ils se réunissent dans cet ancien bureau postal aménagé dans un goût particulier mêlant des objets rustiques au style Louis XIII. Il est constitué d'une longue salle et d'un petit réduit, appelé l'Institut, réservé aux hôtes de marque.

Progressivement le cabaret du boulevard Rochechouart devient trop petit. En 1885, le Chat Noir déménage en grande pompe, et vient s'installer rue de Laval⁶, à 500 m environ de son ancien local. La décoration de l'ensemble du bâtiment est particulièrement soignée. Salis reprend la formule qui avait déjà fait son succès et envahit tout l'espace de peintures et de curiosités. Il fait participer ses fidèles amis⁷ : le sculpteur



Fig. 1 : Façade extérieure du cabaret du Chat Noir rue Victor Massé. Dessin d'Albert Robida.
© Musée Antoine Vivenel.

³ Il existe de nombreuses légendes sur l'origine du nom du cabaret. Certains parlent d'un hommage à Allan Poe (*Le Chat Noir*, 1843), d'autres d'un chat recueilli sur un lampadaire par Salis ou encore d'un hommage à Baudelaire. Paris, [sn], *Le temps*, 1886.

⁴ DONNAY (M.), 1926, p. 10. Le nom d'hydropathe serait construit par analogie avec celui de névropathe « qui souffre des nerfs ». Hydropathe serait alors celui « qui souffre de l'eau », donc qui n'aime pas l'eau. La signification de ce nom est d'autant plus appropriée qu'il aurait été imaginé par le poète Émile GOUDEAU !

⁵ Pour l'explication de la philosophie du mouvement et de la fumisterie voir : GOUDEAU (E.), 1888.

⁶ La rue de Laval correspond à l'actuelle rue Victor Massé.

⁷ OBERTHÜR (M.), 2007, p 65 à 73 ; et GRAND-CARTERET (J.), 1886, p 77 à 98.

Alexandre Charpentier habille la façade d'un énorme chat en terre cuite, Adolphe Willette réalise l'enseigne de la porte⁸ ainsi que le célèbre vitrail du Veau d'Or⁹, Eugène Grasset dessine les lanternes. Un petit fascicule vendu sur place, le *Chat Noir Guide*¹⁰, donne une description fantaisiste de cet hôtel particulier transformé en cabaret exubérant.

Le deuxième étage devient une salle des Fêtes réservée aux spectacles d'ombres. C'est dans ce lieu que les premières pièces sont jouées devant un public enthousiaste. À la mort de Salis, en 1897, le Chat Noir a créé une quarantaine de pièces d'ombres qui ont été jouées à Paris mais aussi en province et à l'étranger. Deux personnages sont à l'origine de la réussite de cet établissement et de la grande renommée du théâtre « consacré[s] aux Muses et à la Joie ¹¹ »: Rodolphe Salis et Henri Rivière.

2. Les personnalités à l'origine du théâtre d'ombres

- Rodolphe Salis (1851-1897)

Originaire de Châtellerauld, Salis décide de venir à Paris pour tenter de faire fortune. Il débute sa carrière comme peintre de chemins de croix, et fonde « *L'École vibrante* » afin de réunir



Fig. 2 : Salis bonimenteur de l'Épopée, dessin de Léandre. © Musée Carnavalet.

l'art et la littérature, puis « *L'École iriso-subversive de Chicago* » pour lutter contre l'invasion allemande en Amérique¹². Vivant de façon modeste, Salis abandonne bientôt ses pinceaux et décide d'ouvrir un endroit nouveau associant l'expression artistique et le débit de boisson. « *Je serai gentilhomme cabaretier, se dit Salis. A moi l'avenir !*¹³ ». Fort de la renommée du lieu, il devient l'âme et la figure emblématique de l'établissement. Son caractère est assez connu de ses contemporains qui le décrivent comme un personnage avare ayant su exploiter les talents qui l'entouraient : « *Quant au maître de céans, il est [...] le rapin bon*

⁸ L'enseigne est conservée au musée Carnavalet (Paris).

⁹ Le carton du vitrail est conservé au musée de Châtellerauld (Vienne).

¹⁰ SALIS (R.), [1888].

¹¹ Fragment de l'inscription qui se trouvait sur la porte d'entrée du cabaret. PARIS, 1981.

¹² EUDEL (P.), 1896, p.563 et 564.

¹³ GOUDEAU (E.), 1888, p. 256.

*enfant qui a su élever la fumisterie à la hauteur d'une institution, tout en se faisant de belles et bonnes rentes*¹⁴ ». Mais son charisme, son imposante figure d'homme roux et athlétique, attirent de plus en plus d'artistes de toute sorte, un public toujours plus nombreux. Salis est surtout un exceptionnel bonimenteur qui commente de sa verve mordante les pièces d'ombres projetées sur le drap du théâtre. Il improvise sur le thème du jour en agrémentant son discours d'un fait divers ou d'une actualité marquante. Parmi les pièces qu'il a animées se trouvent *L'Épopée* et *La Nuit des Temps*. Malheureusement nous ne conservons pas les textes qui variaient d'un spectacle à l'autre¹⁵. Il nous reste de lui les portraits dressés par ses contemporains, à défaut de conserver le contenu de ses boniments :

*« Insolent comme un reître, un toupet de commissaire, une drôlerie de gavroche, une grandiloquence bouffonne, il ne respectait rien ni personne. Ce qui faisait de Rodolphe Salis un cabaretier singulier, c'est qu'il avait, au fond, le plus grand mépris pour tous ces gens qui lui apportaient leur argent et, tout en les appelant « Vos seigneuries et Vos Altesses Électorales », il leur envoyait des brocards qu'ils encaissaient sans broncher.*¹⁶ »

- Henri Rivière (1864-1951)

Peintre, dessinateur et graveur, Henri Rivière¹⁷ est aussi le technicien inventif du théâtre du Chat Noir. Dès l'enfance il développe un goût précoce pour les musées et fréquente pendant une année l'atelier d'Émile Bin, peintre académique qui lui apprend à travailler la copie d'après l'antique. Dans ce petit cercle, il rencontre Paul Signac avec lequel il découvre la Bretagne mais fait aussi la connaissance de la bohème montmartroise fréquentant les cabarets. Il devient secrétaire de rédaction du journal hebdomadaire du Chat Noir en 1882 et participe à l'illustration de certains numéros. Rivière décide alors d'approfondir le domaine de l'impression et se penche tout naturellement vers la gravure et la lithographie. Il collectionne l'art japonais, fréquente le marchand d'art Siegfried Bing, rencontre des amateurs et participe à des expositions pour y présenter ses œuvres. Les pièces qu'il réalise pour le Chat Noir



Fig. 3 : Henri Rivière commandant les manœuvres, dessin de Léandre. © BHVP.

¹⁴ GRAND-CARTERET (J.), 1886, p.78.

¹⁵ JEANNE (P.), 1937, p. 23.

¹⁶ JEANNE (P.), 1937, p. 38, citation de Maurice Donnay sans référence bibliographique.

¹⁷ Les mémoires d'Henri Rivière ont été publiées récemment : RIVIÈRE (H.), 2004 et une étude sur la gravure et le japonisme est donnée par OBERTHÜR (M.), 2004, p. 36 à 101.

sont donc empreintes de cette double influence : celle de l'impressionnisme et celle de l'art japonais au travers de la gravure. Il crée des atmosphères comme de véritables tableaux lumineux, organise des aplats colorés et superpose des silhouettes découpées sur des ciels changeants.

3. L'engouement pour l'image au XIXe siècle ou la redécouverte des silhouettes d'ombres

Avec la création du théâtre d'ombres, Rodolphe Salis et Henri Rivière perpétuent une tradition populaire qui remonte à l'Antiquité et dont les origines restent assez obscures. L'idée de projeter une silhouette sur un drap pour obtenir une forme sombre auréolée d'un fond clair n'est pas récente. Elle aurait été inventée en Chine ou en Inde puis se serait diffusée en Malaisie, en Turquie et en Italie avant de gagner la France. Le premier « théâtre d'ombres chinoises » est créé par Séraphin à la fin du XVIII^{ème} siècle et présente des courtes saynètes au répertoire varié¹⁸. Son théâtre continue d'exister jusqu'en 1870 mais il est surtout relayé par les imagiers d'Épinal qui diffusent des jeux d'ombres à monter soi-même. Les fabriques sont installées en Lorraine et proposent aux enfants des papiers sur lesquels sont imprimés des silhouettes de personnages ou de décors à découper. Il ne reste plus ensuite qu'à les coller sur une matière rigide et à nouer les parties entre elles pour assembler les figures.

Le succès des théâtres d'ombres de la fin du XIX^{ème} siècle est aussi à mettre en relation avec le développement des images lumineuses¹⁹ et la volonté de se divertir malgré la censure. Les familles se regroupent autour de théâtres portatifs ou de lanternes magiques, appareils permettant la projection d'images peintes ou fixées par procédé photographique sur une longue plaque de verre de petit format. Apparaissent aussi les panoramas et les dioramas, spectacles très populaires donnant l'illusion de la réalité à partir de toiles gigantesques, décorées à la main et éclairées de façon théâtrale. Toutes ces inventions, les boîtes d'optiques ainsi que les images d'ombres animées, ont accompagné la création du cinématographe en 1892. Pour Paul Jeanne²⁰, le théâtre surpasse tout de même le cinéma qui « *même lorsqu'il sera en couleurs, ne pourra nous donner une sensation semblable. Au Chat Noir, c'était la vision artistique ; au cinéma, ce sera une reproduction photographique mouvante, une réalité relative, là où nous avons une réelle réalisation poétique.* »

¹⁸ REMISE (J.), 1979, p. 254.

¹⁹ PARIS, 1999, p. 75 à 81. et JEANNE (P.), 1937, p. 47.

²⁰ JEANNE (P.), 1937, p. 10.

C. Le théâtre du Chat Noir : une technique portée à son apogée

1. Une découverte fortuite

Au cabaret, la salle du deuxième étage devient un lieu privilégié où se réunit la bohème montmartroise. Tous les vendredis après-midi, des peintres, des poètes et des musiciens se retrouvent pour chanter et entendre des récitations en vers. C'est lors d'une de ces séances littéraires et suite à une plaisanterie qu'est né fortuitement le célèbre théâtre d'ombres. En décembre 1885, Henri Somm animait certaines de ces réunions d'une pièce de sa composition, *La Berline de L'Émigré*. Il avait fait construire pour l'occasion un petit castelet dans l'angle de la salle auquel il avait accolé un piano, ce qui lui permettait d'exécuter sa représentation. Un soir de spectacle, alors que Jules Jouy chantait les Sergots, il décide avec Henri Rivière, d'amuser l'auditoire derrière le castelet. Il tend une serviette dans l'ouverture et fait défiler en ombres chinoises des sergents de ville découpés dans du carton²¹. Rodolphe Salis comprend tout de suite qu'il pourra tirer un parti intéressant de cette initiative et demande à Henri Rivière d'en perfectionner le procédé. Ils ne savent pas encore qu'ils s'engagent dans une aventure de douze ans, pendant laquelle ils produiront une quarantaine de pièces et dont la qualité et la technicité seront portées à leur apogée.

2. Le premier agrandissement des coulisses

Le théâtre connaît trois évolutions entre 1886 et 1897. Les trois premières pièces que sont *l'Éléphant* d'Henri Somm, *Un Crime en chemin de fer* de Lunel et *1808* de Caran d'Ache, ont toutes été représentées dans le castelet du guignol installé dans un coin de la salle. L'endroit était plongé dans l'ombre et un simple bec de gaz permettait aux silhouettes de se découper sur le drap blanc tendu²². L'année suivante, Henri Rivière propose à Rodolphe Salis d'aménager un véritable théâtre d'ombres, ce qui est rapidement accepté par ce dernier pourtant reconnu pour sa pingrerie. Il voit tout de suite l'intérêt d'une telle entreprise et passe commande pour la réalisation des travaux. Au lieu d'édifier le castelet dans la pièce et d'empiéter sur l'espace des spectateurs, Henri Rivière conçoit de percer la large baie qui donnait sur le petit jardin de l'arrière cour. Il installe alors une construction hors œuvre en

²¹ RIVIÈRE (H), 2004, p. 46 à 47.

²² MAINDRON (E.), [1900 ?], p. 338 et 339.

bois de 3 à 4 mètres de long²³ qui servira désormais de coulisses. Lorsque Léo Claretie vient assister à une des représentations de Caran d'Ache, Rivière lui confie :

« - Vous savez, nous avons le vide sous nos pieds. Nous sommes ici dans une baraque collée contre la maison à la hauteur d'un second étage et posée sur des barres de fer comme un moucharabi. [...] »

- Regardez où nous sommes.

Il ouvre la porte et j'aperçois le vide, la nuit des toits et des cheminées, un arbre là-bas qui brille, tout humide de pluie sous les rayons de la lune ; une échelle de bois plonge jusque dans la sombre cour du bas. On a l'impression que le poids des gens et des décors va faire basculer la guérite dans l'espace. »²⁴

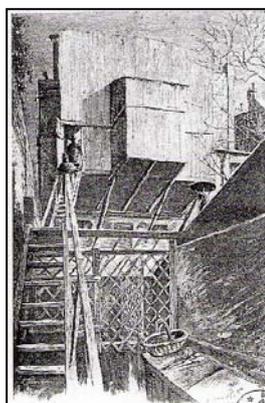


Fig. 4 : Les coulisses accrochées à la façade arrière, à la hauteur du 2^{ème} étage, dessin de Georges Redon paru dans *La revue Encyclopédique*, 1er février 1896. © BHVP.



Fig. 5 : La salle des fêtes pendant une séance de *L'Épopée*, dessin de Paul Merwaert, 1886. © Musée de Montmartre.

Le vitrage de la salle des fêtes est retiré au profit d'une façade polychrome réalisée par Eugène Grasset. Il imagine de faire courir une frise de chats exécutés par Steinlen tout autour du rideau rouge, installe des masques japonais aux couleurs variées des principaux acteurs du théâtre, et couronne l'ensemble d'un chat noir sur un globe terrestre avec pour devise « *Montjoye et Montmartre !* »²⁵. Rivière ménage une ouverture d'un mètre de long sur 98 cm de haut à l'endroit de la baie et tend un drap blanc qui lui servira d'écran de projection entre les coulisses et la salle. La lumière est produite par un chalumeau oxyhydrique placé dans le fond des coulisses, à environ trois mètres du drap, ce qui permet d'illuminer les silhouettes d'ombres. Elles sont désormais découpées dans du zinc, matériau plus résistant grâce auquel

²³ JEANNE (P.), 1937, p. 50.

²⁴ CLARETIE (L.), 1894, (sans numéro de page).

²⁵ EUDEL (P.), 1896, p. 571.

les arêtes sont plus vives et les décors de plus grandes dimensions. *L'Épopée* de Caran d'Ache est jouée toute l'année dans ces nouvelles coulisses qui apparaissent encore trop restreintes à mesure que s'accroît la popularité du spectacle. Comme le dit Maurice Donnay²⁶, contemporain et compagnon des premières heures :

« Encore toutes en ombres chinoises, sans décors ni couleurs, sauf de temps en temps, un ciel d'azur, cette Épopée avait été un spectacle si réussi, le succès avait été si considérable, qu'à partir de ce moment on s'attendit à voir au Chat Noir des spectacles merveilleux et Henri Rivière ne cessait d'améliorer et d'élever l'art des Ombres par de nouvelles trouvailles. »

3. Les améliorations techniques

Durant l'été 1887, de nouvelles améliorations sont donc apportées au théâtre. Elles ne concernent pas tant la salle que la machinerie des coulisses. C'est une véritable révolution et chaque nouvelle pièce jouée devient le lieu d'expérimentations visuelles et auditives.

La première étape consiste à agrandir au maximum les coulisses en gagnant toute la largeur et toute la hauteur du bâtiment. Les amis et journalistes du Chat Noir qui ont eu l'honneur de passer derrière l'écran ont été véritablement surpris par l'immensité de cet espace de neuf mètres de haut, neuf mètres de long et quatre à cinq mètres de profondeur²⁷. Dans ses mémoires²⁸, Henri Rivière est fier de décrire sa nouvelle construction qui comprend deux cintres, quatre-vingt tableaux, un dessous avec des casiers pour les décors de zinc venant du bas et des tablettes pour ranger les personnages par ordre d'apparition sur l'écran. Dès lors, la pièce est constituée de deux étages de galeries courant sur les parties latérales ainsi que sur le fond de la caisse. Au premier niveau, côté cour²⁹ se trouve le piano et en face, au jardin, a été installé un orgue avec d'autres instruments permettant d'assurer les bruitages pendant la représentation. Au-dessus des deux côtés, les machinistes du cintre manipulent les décors en les faisant descendre et remonter, selon les besoins, avec des cordes coulissant sur de petites poulies.

²⁶ DONNAY (M.), 1936, p. 54.

²⁷ JEANNE (P.), 1937, p. 50 et DE WEINDER (H.), 1894, p. 51.

²⁸ RIVIÈRE (H.), 2004, p. 48

²⁹ Au Chat Noir, les machinistes emploient le jargon du théâtre.



Fig. 6 : Reconstitution de la salle et des coulisses, dessin de J.L. Brossard. © Musées de Châtellerault, S.B-R.



Fig. 7 : L'appareil de lumière positionné derrière des corps de lumière. Par Henri Rivière. ©RMN, Orsay.

Tous ces lourds tableaux sont suspendus en plein milieu du cintre et maintenus par des glissières sur des poutres. Dans le fond de la paroi, face à l'écran lui aussi agrandi³⁰, a été creusé un renforcement destiné à recevoir la lumière oxhydrique et le sac à oxygène. Lorsque Paul Eudel interroge Henri Rivière sur l'éclairage, il lui demande :

«- Et vos appareils d'optique !

- Je n'en ai pas. Je ne fais aucune projection. La lumière oxhydrique dont je me sers brûle à feu libre sans réflecteur, à une distance d'environ trois mètres de l'écran.

- Comment, pas de lentilles !

- Non. Avant de se projeter sur la toile, la lumière traverse trois sortes de cages et châssis à rainures, il lui faut passer sous ce tunnel pour venir éclairer la scène.

Henri Rivière ne se sert donc pas de la lanterne, comme cela était d'usage à la fin du XIX^{ème} siècle. Il obtient des dégradés de gris en combinant les plans superposés et leur éloignement de l'écran. Plus le décor est proche, plus sa silhouette est nette et plus il est éloigné, plus son ombre sera enveloppée. Il combine ces effets avec des plaques de verre coloré qui ont toujours suscité un élan d'admiration chez le spectateur.

Le tout premier plan est constitué de silhouettes d'ombres découpées dans du zinc, placées contre le drap du théâtre. Ensuite viennent les « corps de lumière », terme utilisé par Rivière pour décrire les panneaux transparents accrochés au cintre. Dans le premier châssis sont

³⁰ Selon Paul Jeanne, à la fin du Chat Noir l'écran mesurait 1 m 40 de long pour 1 m 20 de haut. JEANNE (P.), 1937, p. 50.

suspendus trente verres peints en aplat, d'une seule tonalité, ce qui permet de créer les ambiances de fond. Vient ensuite le deuxième corps, comprenant lui-aussi trente verres sur lesquels ont été représentés des nuages, des paysages. Lorsque ces plaques sont associées aux précédentes et mises en mouvement dans des sens contraires, il est alors possible d'obtenir une grande variété de dégradés, des temps brumeux, des houles, des aurores. Enfin, le dernier plan est pourvu de silhouettes de zinc qui se perdent dans l'horizon tout en situant la scène dans son contexte. Ces petits châssis montrent des arbres, des toits, des maisons ou encore des reliefs montagneux...

Tout au long des années qui vont suivre, Rivière n'aura de cesse d'apporter des améliorations aux spectacles dont il a la charge. Il invente des astuces pour créer des bruitages, il perfectionne sa technique des verres peints en disposant certaines plaques verticalement, il articule progressivement les silhouettes et ajoute des panneaux recouverts de gaze en faisant varier l'épaisseur du tissu. Pas moins d'une dizaine de manipulateurs est nécessaire pour pouvoir faire vivre le spectacle. Les coulisses sont encombrées, remplies de gens et de décors ce qui amène Paul Eudel à comparer le machiniste des cintres à un « harpiste » qui a en charge les soixante-dix fils des châssis. Chacun connaît exactement la tâche qui lui est assignée et effectue les gestes qui ont été répétés pendant de longs mois. Simultanément, les cadres sont montés, baissés, les figures défilent, des chœurs chantent, le piano joue, la lumière jaillit, du sable est jeté devant le chalumeau pour imiter la pluie, ou un cigare est allumé pour créer de la fumée. C'est un véritable son et lumière !

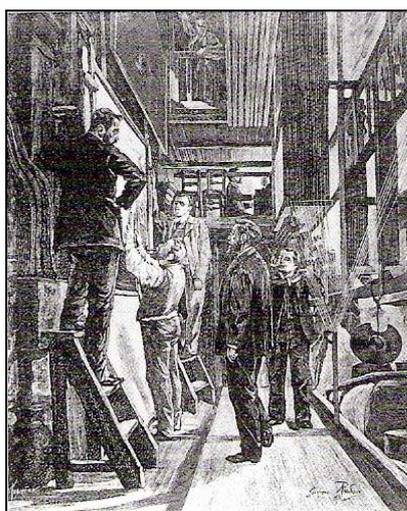


Fig. 8 : L'intérieur des coulisses, Dessin de Georges Redon paru dans *La revue Encyclopédique*, 1^{er} février 1896. © BHVP.



Fig. 9 : Les machinistes manipulant un décor, par Henri Rivière. ©RMN, Orsay.

PLANCHE. IV : Manipulation des décors par les machinistes



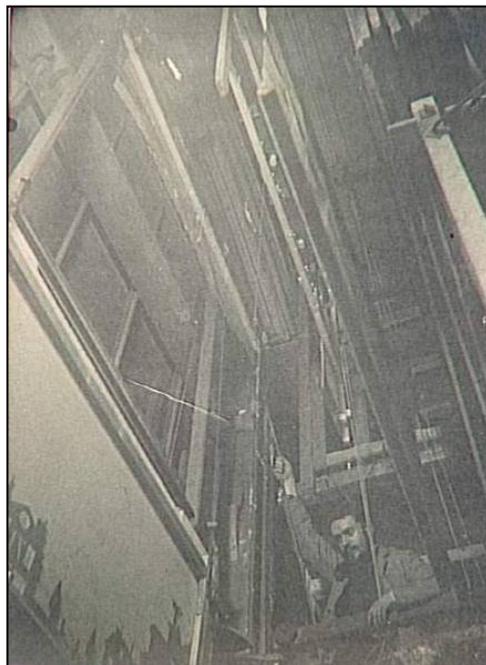
III. 7. Manœuvre d'un décor, par Henri Rivière. ©RMN, Orsay.



III. 8. Manœuvre d'un châssis de décor, par Henri Rivière. ©RMN, Orsay.



III. 9. Manœuvre des fonds de décor à la lumière, par Henri Rivière. ©RMN, Orsay.



III. 10. Premier cintre, par Henri Rivière. ©RMN, Orsay.

II. DES ILLUSTRATEURS ET DES SILHOUETTES

Les trois plaques sélectionnées pour cette étude ont été dessinées par deux illustrateurs et caricaturistes, Caran d'Ache et Albert Robida. Ils se connaissaient puisqu'ils travaillaient ensemble au cabaret du Chat Noir entre 1886 et 1889. Il est même parfois possible de trouver leurs noms associés sur les programmes du théâtre. Dans cette partie, nous proposons de présenter succinctement ces deux personnalités avant de développer le contenu des pièces qu'ils ont écrites et réalisées. Il sera alors permis de replacer les silhouettes dans la pièce en s'appuyant sur leur étude iconographique.

A. Caran d'Ache, créateur de *L'Épopée*

1. Présentation de Caran d'Ache (1858-1909)

Descendant d'une famille française établie en Russie depuis la campagne napoléonienne de 1812, Emmanuel Poiré, connu sous le pseudonyme de Caran d'Ache³¹, naît en 1858 à Moscou. Dès l'enfance il se prend d'une passion pour les défilés militaires, les charges et les uniformes de tous les pays. À 20 ans il perd ses parents et décide de venir en France pour reprendre la nationalité des ses ancêtres. Il s'engage

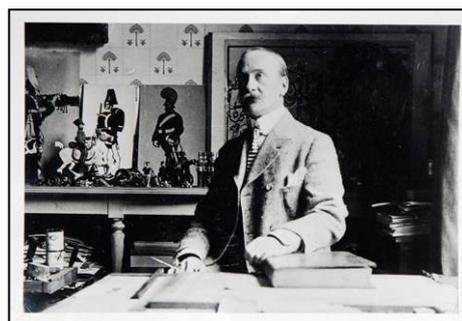


Fig. 10 : Caran d'Ache dans son atelier.
© Musée de l'Armée.

dans l'armée et commence à crayonner ses premiers croquis composés d'images militaires de sa jeunesse et se spécialise progressivement dans l'étude des cavaliers. Après une rapide collaboration avec des gazettes éphémères, Caran d'Ache rencontre le peintre Detaille qui l'invite à faire des dessins d'après nature. Mais il ne suit ses recommandations qu'une seule fois car il se rend compte qu'il ne peut faire de portraits posés et qu'il s'exprime beaucoup mieux dans l'action. Il préfère observer tous les détails qui l'intéressent avant de reproduire fidèlement une scène de mémoire. Caran d'Ache quitte alors l'armée, s'installe à Paris et collabore avec le Chat Noir puis avec de grands quotidiens, comme le *Figaro* pour lequel il réalise des illustrations en pleine page.

³¹ Caran d'Ache est une adaptation française du mot russe « Karandache » qui signifie « crayon ». MONTORGUEIL (G.), 1930, p. 105.

Les personnages de Caran d'Ache sont exécutés avec simplification. Il épure ses lignes pour obtenir des formes nettes et supprime les ombres superflues. Cette technique résulte d'un long travail³² : le premier dessin est tracé à l'encre de chine au pinceau fin, collé sur une vitre, et recouvert d'une succession de calques enrichis de détails jusqu'à obtenir la perfection. Il est probable qu'il ait procédé de cette façon pour arriver à « *la sobriété expressive*³³ » des figures de *L'Épopée*.



Fig. 11 : *Nos soldats du siècle*, album illustré par Caran d'Ache [1889].
a) Page de couverture.
b) « Au bivouac » en 1814.

2. L'Épopée

La première version de la pièce de Caran d'Ache s'intitule *1808*, elle est jouée à la fin de l'année 1886 avec des silhouettes en carton dont les contours s'abîment rapidement. Il décide donc de monter une nouvelle série, avec des zincs, qui reprend la même histoire napoléonienne mais qui s'appelle désormais *L'Épopée*. Au début elle ne comporte que 30 tableaux, puis quarante avant d'atteindre sa forme définitive en deux actes et cinquante tableaux³⁴. Rodolphe Salis assure le boniment pendant que Charles de Sivry accompagne les



Fig. 12 : L'artillerie de la Garde impériale prenant position à la bataille d'Eylau. In *Nos Soldat du Siècle*, illustration par Caran d'Ache.

acclamations de « *Vive l'Empereur*³⁵ » au piano. Le décor alterne entre plaques mobiles, manœuvrées de droite à gauche pour le spectateur, et plaques fixes de dimensions importantes avec de nombreuses figures soumises à des effets de perspectives. Le spectacle est constitué de défilés de la Grande Armée ainsi que de reprises de célèbres batailles³⁶.

³² MONTORGUEIL (G.), 1930, p.109.

³³ BABIN (G.), 1909, p. 157.

³⁴ JEANNE (P.), 1937 p.72 et OBERTHÜR (M.), 2007, p. 101.

³⁵ Pour la description des représentations de *L'Épopée*, voir DONNAY (M.) 1936, p. 54.

³⁶ PARIS, 1999.

3. Identification des silhouettes des cavaliers

a. Trois cavaliers (n°13838.26)

Caran d'Ache représente avec exactitude les costumes militaires ce qui facilite grandement l'identification des soldats³⁷ et ce qui permet aussi de resituer aisément la silhouette dans la pièce d'ombres. La plaque n°13838.26 est composée de trois cavaliers portant de longues hampes. Elle correspond donc à l'acte I, tableau 19, intitulé « *Étendards pris à l'ennemi* ».



Fig. 13 : Interprétation des découpes de la silhouette des Trois cavaliers et correspondance iconographique avec deux figurines de carte (carabinier et grenadier) et un soldat de plomb (dragon), conservés au musée de l'Armée. Les figurines de cartes passent de gauche à droite et sont ici inversées pour faciliter la compréhension. Il est probable que Caran d'Ache connaissait ces figurines, réalisées dans la première moitié du XIX^e siècle et vendues non loin de son atelier. *Musée de l'Armée.*

- Le soldat de droite, qui serait alors situé devant les autres cavaliers, est un **grenadier** de la garde impériale identifiable à son bonnet à poil muni d'un cordon, appelé bonnet d'ourson. Il porte derrière lui, sur la croupe de son cheval, une pièce de harnachement qui correspond au porte manteau servant à ranger ses effets personnels.
- Le second cavalier, situé au centre, est un **carabinier** portant une cuirasse et un casque avec une chenille de crin auquel Caran d'Ache a ajouté un plumet.
- Enfin la figure de gauche pourrait-être un cuirassier ou un dragon. L'attribution n'est pas certaine car la tête du second cheval cache en grande partie le buste du cavalier dont on ne sait pas s'il porte une armure, seul moyen de distinction entre ces deux corps de soldats. Mr Haussadis pencherait pour un **dragon** car une plaque identique à

³⁷ M. Haussadis, responsable des figurines historiques au musée de l'Armée, nous a permis de mener à bien cette étude iconographique. Il nous a aussi aimablement autorisé à photographier des figures de cartes et des soldats de plomb pour illustrer les plaques de Caran d'Ache.

celle de Châtellerault est conservée au musée de l'Armée mais elle est soudée à une autre série de trois cavaliers tenant des étendards, dont un cuirassier. Il apparaît donc logique que la silhouette n°13838.26 soit composée de soldats appartenant à d'autres régiments que ceux déjà présentés.

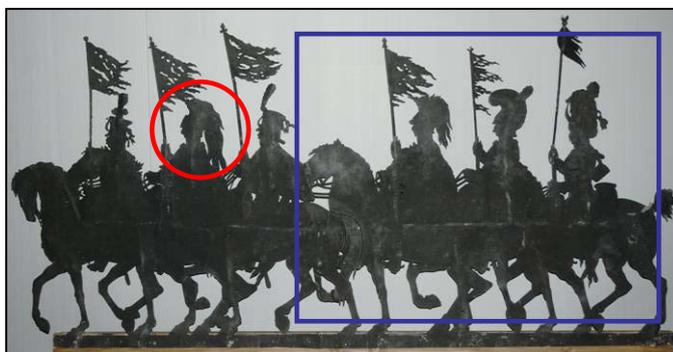


Fig. 14 : Silhouette d'ombres de *L'Épopée* conservée au musée de l'Armée. La plaque encadrée correspond à celle de cette étude. Elle est soudée à une autre série de trois cavaliers, dont un cuirassier (encerclé en rouge). *Musée de l'Armée.*

b. Quatre cavaliers (n°13838.25)

La silhouette représente des soldats appartenant à un régiment de carabinier de 1810. Les militaires portent un casque composé d'une bombe en acier et d'une chenille de crin rouge. Ils sont aussi vêtus d'une cuirasse de protection, conformément à leur uniforme. La plaque correspond donc à une scène précise de *L'Épopée*, située à l'acte I, tableau 12, intitulée « *Carabiniers* ». Le métal est ajouré de façon à mieux comprendre les détails du costume et du harnachement.

Identification du harnachement :

- **Le porte manteau :** sac ou parallélepède servant à poser les vêtements de rechange du cavalier. Il se fixe sur le croupelin.
- **Le croupelin :** pièce de textile en drap, avec un galon cousu qui permet de reconnaître les unités par sa couleur et par sa forme. Le symbole du régiment se trouve souvent situé dans le coin inférieur droit (ici un N couronné). Cette pièce textile fait partie du harnachement de la selle, et plus précisément de ce que l'on appelle l'équipage (pièces de textile).
- **Les retroussis** sont les parties repliées du vêtement du cavalier, lui permettant plus d'aisance (= pans du vêtement). Cependant le motif est mal compris puisque l'on ne devrait apercevoir qu'un seul pan, étant donné la perspective (le second devrait passer de l'autre côté). Les pans de l'habit étaient retroussés au début de l'empire, ce qui disparaîtra par la suite.

- **La courteline et le chaperon** : la courteline est le sac qui protège la fonte dans laquelle sont placés les pistolets (au niveau du pommeau). Par-dessus se trouve une jupe qui protège les métaux des intempéries : le chaperon. Les découpes que l'on trouve sur la plaque des carabiniers correspondent à ces pièces.
- **La jugulaire** est l'attache du casque passant sous le menton du soldat.

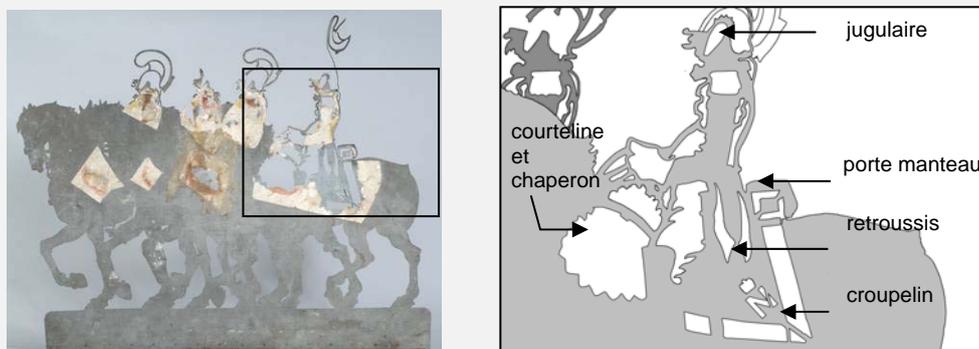


Fig. 15 : Silhouette des Quatre cavaliers et dessin des différentes parties du harnachement.

L'anatomie des chevaux est moins bien comprise que pour la plaque précédente. Les contours sont moins « secs » et le corps des animaux paraît déformé : les jarrets sont trop creusés, les paturons ressortent au niveau des sabots, le poitrail ressemble à celui d'un animal de labour et les maxillaires sont disproportionnées. La crinière est aussi composée d'épis, ce qui n'a jamais été représenté par Caran d'Ache sur les autres plaques. Pour Mr Haussadis³⁸, cet objet tend vers la caricature et s'éloigne de la précision anatomique dont l'illustrateur était coutumier.

Selon Paul Jeanne les plaques de *L'Épopée* ont été refaites au moins trois fois. Il semblerait aussi que les œuvres se cassaient lors des tournées européennes du Chat Noir et que de nouvelles pièces étaient découpées sur place pour pallier aux manques et permettre au spectacle de continuer. Ainsi, dans une correspondance de Rivière adressée à Salis :

« Mon cher Salis, j'ai reçu les décalques de la Marche à l'Étoile mais ils ne peuvent me servir, ils sont décalqués en dehors du trait. À la rigueur on pourrait s'en servir pour en refaire si les zincs n'existaient plus, mais comme je pratique c'est beaucoup plus commode : je suis installé contre l'écran du théâtre, les zincs d'un côté et un papier calque de l'autre. C'est parfait. Je vais le plus vite possible. »

³⁸ Propos rapportés de la réunion du 31.10.2007 avec M. Haussadis au sujet de l'identification des soldats.

La différence stylistique de cette œuvre par rapport au corpus des plaques de *L'Épopée* s'explique donc peut-être par le fait qu'elle ait été découpée sur une tournée sans l'aide du patron de Caran d'Ache.

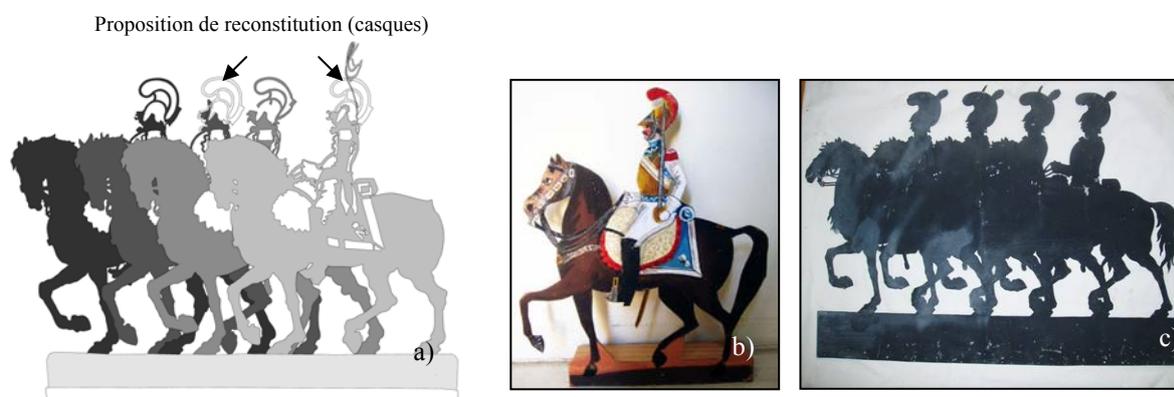


Fig. 16 : a) Interprétation des découpes de la silhouette des Quatre cavaliers et correspondance iconographique avec b) une figurine de carte d'un carabinier et c) une silhouette d'ombres de Caran d'Ache conservée aux Musées de Châtellerault.

B. Robida, créateur de *La Nuit des Temps*

1. Présentation d'Albert Robida (1848 - 1926)

Illustrateur, historien ou encore visionnaire, Albert Robida naît à Compiègne en 1848. Il commence sa carrière dans une étude de notaire mais ce dernier s'aperçoit rapidement du talent de dessinateur de son élève et l'encourage dans cette voie. Il le présente alors au caricaturiste Cham³⁹ et le recommande à Alexandre Dumas père, ce qui permet à Robida de venir s'installer à Paris. Il gardera de son enfance le souvenir d'une région imprégnée d'histoire et pourvue d'un riche patrimoine architectural.

Il débute comme dessinateur dans la presse satirique puis devient reporter de guerre sous la Commune, correspondant à l'étranger ou encore témoin des mœurs parisiennes. Ses croquis de la réalité comme ses réalisations fantaisistes sont de plus en plus appréciés des lecteurs. Il acquiert une certaine maturité artistique et remplit les pages de saynètes animées, peuplées de multiples personnages disposés avec la plus grande liberté dans la page. Ce travail est couronné en 1880 par la création d'un nouveau journal qu'il fonde avec l'éditeur Decaux : *La*

³⁹ BRUN (P.), 1984, p.13. Cham présente des dessins de Robida au directeur du *Journal amusant* qui décide de l'embaucher immédiatement.

Caricature. Tous les thèmes sont traités, la vie quotidienne, l'actualité politique, les expositions, les avancées sociales ainsi que les mouvements littéraires. De jeunes auteurs ont participé à cette aventure, dont Steinlein ou Caran d'Ache qui œuvraient aussi au Chat Noir. En parallèle, Robida publie des ouvrages d'anticipation comme le *Vingtième siècle*, dans lequel il imagine de façon quasi prophétique une multitude d'inventions techniques très proches de la réalité actuelle. Ces innovations s'accompagnent du développement de l'électricité qui bouleverse fortement la société de la fin du XIX^{ème} siècle. Robida ne considère pas cela comme une avancée bénéfique, il se contente d'imaginer ce qui pourrait advenir de pire dans le futur, ce qui couperait définitivement l'homme de la nature. A l'opposé, il illustre de nombreux livres d'histoire et s'engage au sein de la Société des Amis des Monuments parisiens qui sera à l'origine de la création de la Commission du Vieux Paris en 1897⁴⁰.



Fig. 17 : a) et b): Illustrations de Robida représentant des soldats en armure. © Musée Antoine Vivenel.

- a) Dessin aquarellé : l'armure vide et la princesse gelée.
- b) Page de couverture des *Assiégés de Compiègne*.

Ces deux traits caractéristiques de Robida se trouvent réunis dans la pièce qu'il a créée pour le Chat Noir : *La Nuit des Temps*. Tous ses thèmes favoris y sont représentés : le héros est un scientifique aux théories absurdes, il voyage dans le passé et notamment au Moyen Age qui est une période récurrente dans son œuvre, puis il réapparaît dans le futur sur une machine moderne.

2. La Nuit des Temps

a. Le manuscrit original

En 1889, Albert Robida crée une pièce d'ombres en deux actes et 42 tableaux pour le théâtre du Chat Noir qui s'intitule *La Nuit des Temps ou l'Élixir de Rajeunissement*. Il s'agit d'une œuvre d'anticipation adaptée d'un de ses romans, probablement écrit en 1875⁴¹. Le musée

⁴⁰ VICHE (J.C.), 2005, p.31.

⁴¹ L'action principale se situe en 1875, il est donc possible que cette date soit aussi celle de réalisation de l'ouvrage.

Antoine Vivenel à Compiègne est en voie d'acquérir le manuscrit original, jamais publié, composé de 126 feuillets écrits à l'encre bleue. Celui-ci constitue une source précieuse d'informations puisque le contenu de la pièce d'ombres n'était auparavant connu qu'au travers des programmes diffusés lors des représentations.

- Du « Drame de l'escalier » à « La nuit terrible »

L'ouvrage raconte l'histoire fantaisiste de Florimond Bridel, 68 ans, illustre professeur de physique-chimie, ayant voué sa vie aux sciences et à la recherche sans jamais s'accorder de repos. En 1875, alors qu'il rentrait chez lui, Florimond croise dans les escaliers une jeune femme d'à peine 25 ans, du nom de Colette, toute en jupes et dentelles. Il constate amèrement qu'il a vieilli, que ses cheveux ont fait place à une calvitie persistante, et qu'il est passé à côté de sa jeunesse. Cette rencontre bouleverse son existence. Il donne sa démission à la faculté et se consacre entièrement à la recherche d'un nouveau remède, élixir, ou fluide, contre le vieillissement physique. Au bout de deux années de travail acharné, pendant lesquelles il a perdu toutes ses économies dans ce projet insensé, Florimond parvient à mettre au point un élixir prometteur. Il convie Colette à essayer le breuvage et lui permet seulement d'y tremper ses lèvres pour qu'elle ne retombe pas en enfance. Il boit en revanche une pleine rasade de l'élixir pour tenter de retrouver sa jeunesse et se donner une chance auprès de la belle. Malheureusement, dans son enthousiasme, Florimond invite aussi ses voisins à venir partager le flacon contenant le fluide dilué et il se ressert à chaque fois pour accompagner ses hôtes. A la fin de la nuit, il a même avalé le contenu de la bouteille n°1 renfermant l'élixir concentré qui correspond à la préparation mère sur-puissante.

- Une remontée dans la « Nuit des Temps »

Le lendemain matin, tous ses voisins ont rajeuni proportionnellement à ce qu'ils ont bu mais Florimond a disparu. Il se réveille dans une forêt peuplée d'étranges animaux qu'il parvient vite à identifier : « *Ptérodactyles ! s'écrie Florimond qui se laisse tomber par terre, écrasé d'épouvante. Il a tout compris.* » Il est en plein âge tertiaire et son incroyable voyage au cours des siècles ne fait que commencer. Florimond traverse l'Âge de bronze, les Temps mérovingiens, le Moyen-âge, la Renaissance, la Régence et la Révolution. Chaque épisode de son parcours dans le temps suit le même processus : le scientifique étudie la population locale,

il est marqué par une rencontre féminine qui lui rappelle immanquablement sa « Colinette bobinette », et les périodes sont interrompues par la mort violente du protagoniste.

Florimond Bridel réapparaît en 1912 dans son ancienne maison parisienne. Trente sept années se sont écoulées depuis le début de son voyage merveilleux. Il retrouve ses anciens voisins ainsi que Colette qui ne désire plus rajeunir et souhaite se consacrer entièrement à sa famille et à ses petits enfants. Le savant ne parvient pas à retrouver sa géniale invention et son intuition d'autrefois. Il vieillit. « *C'est fini, nous n'aurons pas l'Élixir Bridélien. [...] Attendons !* ».

b. Le programme d'ombres

Avant le spectacle, un programme de six pages illustré par Robida⁴², est distribué aux spectateurs. Il comporte le nom des personnes qui ont collaboré à cette œuvre⁴³ ainsi qu'un résumé des différents actes avec le titre des tableaux inscrits dans la marge. Cette pièce est fortement inspirée du roman et repose sur la même intrigue. Cependant les personnages sont changés et certaines périodes qui se trouvaient réduites dans le manuscrit, sont beaucoup plus développées pour le théâtre⁴⁴. La fin est aussi différente puisque le protagoniste, nommé Cambrenaz, voyage sur un « *aérocab* », ou engin volant fantaisiste, et se retrouve pris au piège par des torpilleurs chinois. Il saute de la machine ... « *et se réveille dans son lit. Tout cela n'était qu'un rêve* ».

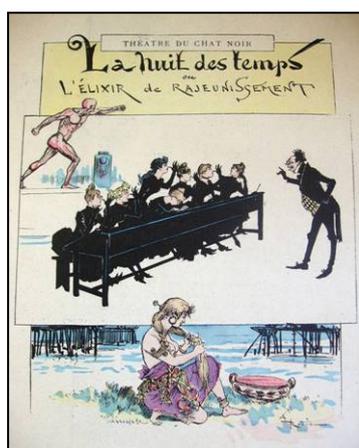


Fig. 18 : Programme de *la Nuit des Temps*. Musée Antoine Vivenel .



Fig. 19 : Affiche du spectacle, sans date. Musée Antoine Vivenel

⁴² ROBIDA (A.), *La Nuit des Temps ou l'Élixir de Rajeunissement*, programme du théâtre du Chat Noir (s.d. s.l.). Documentation du Musée Antoine Vivenel, Compiègne, [1886 ?], 8 p.

⁴³ Le comité de lecture est composé d'Henri Somm, Willette, Robida, Steinlein, Caran d'Ache, G. Auriol, Sahib, Henri Pille, Forain ; la musique est d'Albert Tinchant.

⁴⁴ Pour la description de la pièce d'ombres et la critique du spectacle voir LEMAITRE (J.), 1889.

3. Identification et situation de la silhouette du Guerrier

La silhouette d'ombres porte un costume caractéristique d'un soldat du Moyen-âge des environs du XIV^{ème} siècle. Nous proposons donc de replacer la figure dans la partie du programme du Chat Noir consacrée à cette période, intitulée « Mon Dieu, Mon Roy, Ma Dame », située à l'acte 1, et comprise entre les tableaux XVI à XX. Le texte de la pièce raconte un épisode de combat dans lequel devait prendre place le guerrier n° 13839.2 :

« C'est la guerre. En avant le ban et l'arrière ban ! Le sire châtelain enfourche son destrier et le trouvère Cambrenaz, laissant sa mandoline est armé par les dames. L'armée ennemie s'avance, hérissée de piques. Les chevaliers baissent la lance et chargent ; au fond brûlent les villes mises à sac par l'envahisseur. Pour ses débuts, le trouvère Cambrenaz n'a pas de chance. Il est aplati et comme passé au laminoir sous les coups de masses d'armes. »

Les détails du passage ne sont pas assez explicites et ne permettent pas d'identifier le personnage avec certitude. Il peut très bien s'agir du héros comme d'un quelconque soldat. Le manuscrit développe aussi ce même sujet au chapitre XVIII appelé « Souvenirs un peu confus d'existences bien agitées » :

*« En ligne, à côté de lui galopent en trombe d'autres figures de fer et d'acier Tout à coup [Florimond] est par terre, écroulé avec son cheval les quatre fers en l'air, et des hommes de pied, en **harnois de fer** ou **gambisons de cuir**, avec des marteaux d'armes, des plommées, des picois, des godendacs, cognent à tour de bras sur lui, le laminent et l'écrasent dans son armure...Pauvre Florimond aplati qui semble définitivement trépassé ! »*

Les ennemis constitués d'« hommes de pieds » sont séparés en deux catégories, ceux qui portent le « harnois de fer » et ceux qui ont des « gambisons de cuir ». Le harnois désigne l'équipement militaire d'un soldat du Moyen-âge, composé d'une armure complète avec mailles et plaques de fer, alors que le gambison est un vêtement de guerre confectionné dans de la peau ou de l'étoffe. Le tissu est généralement couvert d'un haubert ou cotte de mailles et renforcé de plates constituées de lamelles de fer battu.

En comparant cette description avec la silhouette et des illustrations d'Alfred Robida, il paraît probable que la figure d'ombres appartienne à cette catégorie des hommes de pieds portant le gambison. Par-dessus cet habit, il doit avoir une cotte de mailles ainsi qu'un surcot, tissu de protection, dont le bord inférieur est découpé en lamelles. À sa taille se trouve une ceinture qui est munie de crochets de fixation pour suspendre deux épées, une première à grande lame

sur sa gauche et une seconde plus courte sur sa droite. Il porte aussi des pièces d'armures qui servent de protection pour la tête et les membres. Enfin, un bouclier triangulaire, appelé écu, est fixé sur son épaule gauche. Il est marqué d'une figure animale qui n'est pas sans rappeler le lion héraldique de la ville de Compiègne, dont Robida était originaire.

Le guerrier n'est pas équipé de « plommées », « picois » ou « godendacs », comme cela est écrit dans le texte. Il ne possède pas d'arme de poing. Il est au contraire en train d'actionner une manivelle reliée à une sorte de caisse rectangulaire, et effectue probablement un mouvement rotatif. Il est difficile d'identifier cette action. Mr Haussadis et Mr Sage⁴⁵ du Musée de l'Armée ont émis l'hypothèse d'une baratte à polir les métaux. Il s'agit d'un coffre dans lequel se trouve du sable. Tous les éléments d'harnachement en acier y sont déposés, puis la manivelle est tournée pour entrainer la boîte en bois et mélanger le sable qui va venir nettoyer les métaux. Cette interprétation est peut-être juste mais aucun passage du texte ne vient la confirmer. D'après le manuscrit, il pourrait aussi s'agir d'un laminoir au sens propre du terme. Mais là encore, lorsque l'auteur dit que Cambrenaz est laminé, il faut peut-être y voir une figure de style. En conclusion, nous pensons que le guerrier porte des éléments caractéristiques des armures du XIV^{ème} siècle qui le situe dans un passage précis de la pièce d'ombres, et il actionne une manivelle qui pourrait être celle d'une baratte.

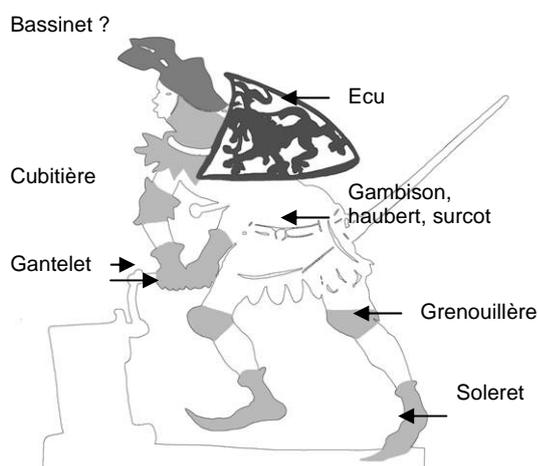


Fig. 20 : Description du Guerrier : éléments d'armure médiévale.



Fig. 21 : Dessins d'Albert Robida représentant des soldats médiévaux: in *Journal du Chat Noir* du 22 janvier 1886, *Le Baudrier de Magdeleine* et *Contes bibliophiles*, *Roman de chevalerie franco-japonais*. Musée Antoine Vivenel.

⁴⁵ Propos rapportés de la réunion du 28.11.2007, aimable communication de Jean Marie Haussadis et Jean Paul Sage conservateur adjoint, département ancien du musée de l'Armée.

III. HISTOIRE PATRIMONIALE

Le musée Sully ainsi que les archives municipales de Châtellerault conservent très peu de documents relatifs aux silhouettes d'ombres de *L'Épopée* ou de *La Nuit des Temps*. Leur mode d'acquisition, leur date d'entrée dans les collections ainsi que leur présentation au sein des différents musées de la ville restent particulièrement vagues. De surcroît aucune photographie ancienne des œuvres ne permet d'enrichir notre propos pour tenter de comprendre leur histoire matérielle et essayer de dresser une chronologie des altérations observées. Nous allons donc exposer dans cette partie l'état actuel de nos connaissances sur les objets en présentant les recherches effectuées en archives et en dressant une série d'hypothèses concernant les trois plaques de zinc.

A. Parcours au sein des collections

1. Une entrée énigmatique

a. L'Inventaire rétrospectif de René Duvau

Les archives municipales de Châtellerault, situées dans les locaux de l'Hôtel de Ville, conservent une quinzaine de documents versés par le musée Sully en juillet 2007. Ils sont constitués de catalogues, d'inventaires, et de registres d'achats, dons et dépôts. Parmi ces feuillets se trouve un catalogue général appelé aussi inventaire rétrospectif⁴⁶ qui a été dressé par René Duvau, ancien conservateur du musée Paul Chéron de la Martinière⁴⁷. Il a probablement réalisé cet ouvrage au tout début des années cinquante, en même temps que le guide du musée de 1953, mais la date précise reste à ce jour inconnue. Le manuscrit est séparé en deux grandes parties subdivisées en sections regroupées par type d'œuvre ou de matériau. La « section g » a plus particulièrement retenu notre attention car elle porte le nom improbable « [d'] objets divers ou rentrant dans aucune catégorie », ce qui semblait correspondre aux plaques de zinc. À la page 444, dans cette sous-partie, se trouve en effet deux mentions de silhouettes d'ombres. Ainsi aux numéros 13 838 et 13 839, qui correspondent aux numéros d'inventaire actuels des œuvres, nous pouvons lire:

⁴⁶ *Catalogue général dit inventaire, Musée Paul Chéron de la Martinière*, Archives Municipales de [s.d.], n° de versement 235 PR 1.

⁴⁷ Nom de l'ancien musée municipal, voir p. 28.

« 46 ombres chinoises (zinc découpé) du Défilé de l'Épopée de Caran d'ache, représentée[s] au Chat Noir. Achetées par M Duvau à la Vente de la Tour de Naintré en 1905 ».

« Quatre pièces d'ombres du Théâtre du Chat Noir (zinc et papiers de couleur)], Tirées de la « Nuit des Temps » de Robida.⁴⁸ »

En marge de cette description, dans des colonnes dévolues au nom du donateur et à une date soit d'entrée dans les collections, soit de rédaction du catalogue, sont aussi inscrits « R et A Duvau. 1952⁴⁹ ». Ce sont les seules indications précises qui concernent ces objets. Nous n'avons trouvé aucune mention de ces plaques dans le catalogue général rédigé à partir de 1900, ni dans le registre d'enregistrement des dépôts de 1950⁵⁰. S'il existe des catalogues anciens de coutellerie, ou des inventaires de monnaies et de peintures, aucun ouvrage ne traite des silhouettes d'ombres.

b. Des questions sans réponses

Dès lors, nous pouvons nous poser une série de questions dont beaucoup resteront en suspens. Pour commencer nous avons tenté de retrouver le catalogue de vente de la Tour de Naintré. Nous savons que trois ventes aux enchères ont eu lieu sur Paris, dès la mort de Rodolphe Salis, en avril 1897, en mai 1898 et en mars 1904. Le matériel du cabaret, resté dans la capitale, a dû être vendu à ces occasions. Cependant il ne reste pas de traces des ventes effectuées en province, dans la Tour de Naintré, située dans la Vienne. Salis l'avait acquise en 1892, s'était proclamé « *Baron de Naintré en Poitou et Seigneur de Chatnoirville en Vexin* », et avait aménagé l'intérieur « *avec le goût et le sens de l'originalité qui avaient fait du Chat Noir un véritable musée*⁵¹ ». Il paraît donc probable que de nombreuses œuvres se soient trouvées en ce lieu et qu'elles aient été dispersées lors



Fig. 22 : Tour de Naintré (résidence de Salis).
© Musées de Châtellerault, S.B-R.

⁴⁸ Le musée Sully conserve bien 46 plaques de *L'Épopée* et 4 plaques de *La Nuit des Temps*.

⁴⁹ Les initiales correspondent à René et André Duvau, fils de Jules Duvau.

⁵⁰ *Registre d'enregistrement des dépôts*, Archives Municipales de Châtellerault, à partir de 1950, n° de versement 235 PR 1.

⁵¹ ABBÉ LONGER, 1951, p.13.

de la succession. Les « anciens » de Châtelleraut⁵² auraient confirmé cela en affirmant l'existence de ces ventes du début du siècle. Nous avons essayé d'obtenir des renseignements auprès des archives départementales de la Vienne, sans succès. Puis nous avons contacté la maison de vente actuelle de Châtelleraut, afin de savoir si elle conservait un fond ancien d'archives sans obtenir de résultat. Nous supposons donc que les plaques de *L'Épopée*, les 46 que conserve toujours le musée, ont été acquises par Jules Duvau, créateur du musée municipal et premier conservateur, vraisemblablement lors d'une vente à Naintré.

Ces silhouettes ont-elles alors été exposées dans le musée ou sont elles restées dans la collection privée de Jules Duvau puis de son fils ? C'est encore une question à laquelle nous ne pouvons répondre.

2. Création et évolution du musée dans les salles de l'Hôtel de Ville

a. Une ébauche de musée (1891- 1899)

Comme nous avons pu le voir précédemment, les ombres de Caran d'Ache ont pu entrer dès 1905 dans le musée municipal. Nous proposons alors de retracer rapidement la genèse du musée jusqu'à son déménagement pour le château dans lequel nous pouvons affirmer que les œuvres ont été conservées. Le premier musée de Châtelleraut est ainsi créé en 1891 par décision municipale et sous l'impulsion du député-maire, Jules Duvau. Collectionneur averti, il installe tout d'abord les objets dans une petite pièce de l'Hôtel de Ville, et ouvre la salle à un public d'amateurs en 1893. L'espace est extrêmement réduit, de l'ordre de 10 m², et devait servir de stockage plus que de véritable lieu d'exposition. Dans un rapport rédigé en 1900, suite à un « questionnaire de l'inspection des musées des départements⁵³ », le conservateur confirme qu' « en 1891 un local de la mairie fut affecté pour recevoir en dépôt les objets pouvant servir plus tard à la constitution d'un musée ».

b. Le premier musée municipal (1899-1946)

En 1889, la mairie, comprenant aussi le palais de justice, s'agrandit et s'embellit. Il faut absolument témoigner de l'autorité municipale et honorer le centenaire de la République.

⁵² Propos rapportés de Mme Brégeaud-Romand, 27 novembre 2007.

⁵³ *Registre des délibérations de la commission du Musée*, Archives Municipales de Châtelleraut, 1899-1941, n° de versement 235 PR 4.

Cette même année, l'école primaire qui se trouvait dans les locaux déménage et le musée peut enfin s'organiser. Il s'installe dès lors au premier étage, à l'autre bout du bâtiment, dans une salle de 90 m² assez haute de plafond⁵⁴. Très peu de documents en rapport avec la création de cet espace nous sont parvenus. Seul un plan⁵⁵, conservé dans les archives de la ville, permet de localiser l'emplacement du musée dans les locaux.

Nous connaissons l'aménagement de la salle, dans laquelle se trouvaient peut-être les plaques d'ombres de Caran d'Ache grâce à un questionnaire de l'inspection des musées des départements de la Vienne⁵⁶. Selon Jules Duvau: « *le musée est à l'abri des risques d'incendie* », « *il n'y a pas de chauffage* », « *il n'y a pas d'humidité* », « *les ouvertures sont pourvues de volets pleins et la grande baie vitrée d'un store épais* », et « *l'aération est ménagée par des lamelles de verre interceptant la poussière et laissant passage à l'air* ». Ces indications sont à considérer avec prudence car les critères de l'époque ne sont probablement pas ceux d'aujourd'hui. Elles n'en restent pas moins importantes et témoignent de l'histoire matérielle des œuvres.

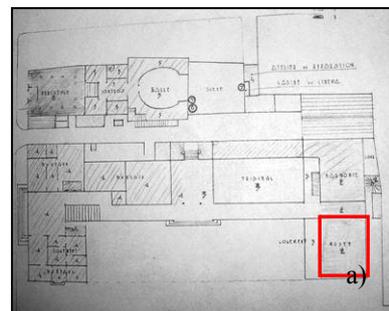


Fig. 23 : Localisation du premier musée municipal dans l'Hôtel de Ville. **a)** Plan de rationnement de l'électricité et **b)** vue depuis l'extérieur du bâtiment.

3. Du musée Paul Chéron de la Martinière à l'Hôtel Sully

a. Le Musée Paul Chéron de la Martinière (1946 - 1986)

Dès 1900, se pose la question d'un nouvel espace d'exposition⁵⁷ : « *La difficulté en effet est que la salle actuelle du musée se trouve déjà encombrée et que la nécessité d'une salle nouvelle se ferait sentir. Mais où la trouver ? L'administration municipale déclare que les deux salles voisines de celle du musée, l'une à côté, l'autre au-dessus, sont constamment occupées par les réunions des diverses sociétés de la ville* ». Le musée ne peut donc pas s'accroître dans les bâtiments de l'Hôtel de Ville. Ce n'est qu'en 1946 que la commune reçoit

⁵⁴ La pièce sert de salle de conférence mais conserve le nom historique de « Salle de l'ancien musée ».

⁵⁵ *Rationnement de l'électricité dans les services municipaux*, Archives Municipales de Châtelleraut, 1941 ou 1942, série 2 W 7.

⁵⁶ *Registre des délibérations de la commission du Musée*, Archives Municipales de Châtelleraut, 6 septembre 1899, n° de versement 235 PR 4.

⁵⁷ *Registre des délibérations de la commission du Musée*, Archives Municipales de Châtelleraut, 1900, n° de versement 235 PR 4.

en legs un château du XV^{ème} siècle pour en faire le nouveau musée de Châtellerault. Cette disposition est d'ailleurs une des conditions *sine qua none* de la donation qui stipule que « *la ville de Châtellerault [doit] installe[r] dans le château et ses dépendances le musée de la ville qui devra s'appeler musée Chéron de la Martinière* », du nom de son ancien propriétaire. Les collections sont transférées cette même année dans l'aile droite du bâtiment avec la bibliothèque municipale. En 1953, René Duvau, fils de Jules Duvau et nouveau conservateur, publie un guide du musée⁵⁸ dans lequel se trouvent des informations sur les ombres de Caran d'Ache. Dans le paragraphe concernant la salle VI, située au premier étage et appelée *Salle Rodolphe Salis*, il est possible de lire :

« La frise est composée de quelques ombres chinoises. On sait que le Théâtre d'Ombres du Cabaret fut l'une des causes de son succès. Quelques pièces d'Ombres sont restées célèbres ; citons « La Marche à l'Etoile » et « L'Épopée » de CARAN d'ACHE. Les ombres composant la frise appartiennent à cette dernière et sont tirées du tableau « Le Défilé ». On y reconnaît l'Empereur Napoléon, ses Maréchaux, ses Mameluks et sa Garde. »

Nous savons donc que des plaques de *L'Épopée* étaient exposées sous forme de frise et que des silhouettes de la garde participaient au défilé. Il paraît cependant improbable que les 46 éléments de la pièce d'ombres aient été présentés dans la même salle, d'autant plus que d'autres objets évoquant le Chat Noir étaient montrés au public en même temps⁵⁹. Les deux œuvres étaient donc peut-être accrochées dans ce musée mais il est possible que d'autres exemplaires similaires ou typologiquement proches aient occupé cette fonction.

L'évolution de la muséographie ainsi que l'emplacement des éventuelles réserves n'est pas connu. Nous pensons que la configuration des salles est restée la même jusqu'au déménagement sans en avoir de confirmation. En effet, à partir de 1964, le musée n'a plus de conservateur, ce qui réduit d'autant les informations. Il faut attendre 1984, soit vingt ans plus tard, pour que Mme Vila reprenne la conservation des musées de la ville. Elle explique alors que la collection d'ombres du musée Paul Chéron de la Martinière est composée d'une « *série de la Grande Armée Napoléonienne créée par Caran d'Ache* ⁶⁰ », ce qui ne renseigne pas plus sur le contenu de l'exposition.

⁵⁸ DUVAU (R.), 1953.

⁵⁹ « Dessins originaux de Salis. Steinlein et Uzès. Souvenirs du Chat Noir et de ses habitués. Lettres autographes de Salis. » ; DUVAU (R.), 1953; p. 6.

⁶⁰ *Rapport sur les musées de Châtellerault*, Archives Municipales de Châtellerault, janvier 1984, n° de versement 4 PR 14.

b. L'Hôtel Sully (1986 – 2004)

Dès 1952, la municipalité décide d'acheter un immeuble connu sous le nom d' « Hôtel Sully ». Elle considère qu'il fait partie intégrante de l'histoire locale puisqu'il a été inscrit à l'inventaire supplémentaire des monuments historiques⁶¹ en 1924. Le bâtiment devient un musée qui reçoit sa première collection dans les années 1970, composée d'une importante donation de coiffes régionales, puis il réunit en 1986 l'ensemble des collections d'art et d'histoire appartenant à la ville.

De cette période nous sont parvenues quelques informations relatives à la conservation des objets ainsi que des photographies des salles d'expositions. Des données climatiques ont été enregistrées en 1987⁶² dans la salle des textiles mais il est possible que l'ensemble du bâtiment ait connu le même climat. La conservatrice explique que l'humidité est de 100% et qu'un réel problème de chauffage existe puisque le poêle à mazout se dérègle, produit une température variant de 18°C à 30°C, et « donne des vapeurs noires ». Elle insiste aussi sur le fait que la salle acadienne n'est toujours pas chauffée, après une année d'ouverture au public. Les œuvres se trouvaient donc probablement dans des conditions de conservation précaires.

Les photographies prises en 2004, lors de l'arrivée de la nouvelle conservatrice, Mme Brégeaud-Romand, nous montrent la disposition des objets du cabaret du Chat Noir au premier étage du musée. La pièce non chauffée était entièrement recouverte de plaques fixées sur les murs, placées dans des vitrines murales ou mobiles. Les œuvres de Caran d'Ache étaient largement représentées avec 24 silhouettes accrochées diversement⁶³ : certaines étaient disposées en frises le long des lambris de bois peint en blanc et d'autres étaient posées contre



Fig. 24 : Exposition des œuvres avant la fermeture du musée Sully ; silhouettes de *L'Épopée* © Musées de Châtellerault, S.B-R.

⁶¹ *Registres des délibérations du conseil municipal*, Archives Municipales de Châtellerault, séance du 9 juillet 1952. XI C.8. Le bâtiment a été construit à la fin du XVI^{ème} siècle par Charles Androuet du Cerceau, pour le compte de François de la Béraudière, gouverneur de Châtellerault. En 1605, une assemblée politique se réunit pour préciser les termes de l'Édit de Nantes dans l'hôtel et d'aucuns racontent que Sully, alors gouverneur du Poitou, s'y serait rendu. C'est à la suite de cet événement que le lieu prit le nom d' « Hôtel Sully ». Il a ensuite appartenu à une série de familles nobles, de notables, de personnalités politiques avant d'être acquis par la ville.

⁶² *Lettre de Mme Vila*, conservatrice des musées de Châtellerault à Mr le Directeur des Musées de France. Le 31 juillet 1984. n° de versement 4 PR 14.

⁶³ L'accrochage comprenait en plus 11 plaques de *L'Âge d'Or*, 2 éléments de décors de *La Tentation de Saint Antoine*, 10 de *Phryné*, 1 du *Rêve de Zola*.

un textile bleu. Les soldats appartenant au cycle de la garde napoléonienne ont été observés plus particulièrement et ne correspondent pas à ceux de cette étude qui devaient être en réserve. De même une plaque de Robida était mise dans une des vitrines murales revêtues de textile bleu mais il ne s'agit pas non plus du Guerrier.

c. La localisation des silhouettes d'ombres

Les zincs découpés se trouvaient pour la plupart dans la salle du musée consacrée à Rodolphe Salis mais d'autres plaques ont été retrouvées dans plusieurs endroits insolites. Ainsi des silhouettes de *L'Épopée* étaient conservées sous les combles, dont les ouvertures des fenêtres étaient obturées par un simple grillage. Les objets subissaient donc les fuites d'eau ainsi que les rats et les pigeons.



Fig. 25: Combles du musée Sully en 2004 avant déménagement des œuvres en réserve. © Musées de Châtellerault, S.B-R.



Fig. 26 : Vue du coffre dans lequel se trouvaient des silhouettes avant déménagement du musée. © Musées de Châtellerault, S.B-R.

Quelques silhouettes étaient aussi superposées sous l'escalier du second étage, menant au grenier. La plaque des Quatre cavaliers provient de ce lieu : elle était posée en équilibre sur une quantité d'objets et a pu fortement se dégrader suite à cet entreposage malencontreux. Enfin, les derniers zincs étaient stockés dans un coffre en bois appuyé sous une fenêtre.

Aujourd'hui les œuvres sont conservées dans les réserves rue Reibel. Elles sont enveloppées dans du papier de soie recouvert de plastique et posées au sol sur un drap. Elles seront par la suite posées sur des étagères métalliques.

En retraçant le parcours des œuvres au sein des collections, il a été mis en évidence que peu d'informations directes étaient disponibles. Il est certain que les objets ont été conservés trente-quatre ans au musée Paul Chéron de la Martinière puis une vingtaine d'années à l'Hôtel Sully dans des bâtiments historiques, où l'hygrométrie devait être élevée et les fluctuations importantes.

B. Des réserves au projet muséal

1. La mise en réserve et le chantier de collection

a. La fermeture du musée (2004)

En 2004, l'état du bâtiment ainsi que celui des collections est jugé très préoccupant. La nouvelle conservatrice décide d'alerter la communauté d'agglomération chargée depuis 2002 de la gestion des équipements culturels d'intérêt communautaire sur la situation et demande la fermeture au public. En effet, de nombreux problèmes structurels apparaissent. La façade est construite dans une pierre calcaire tendre, le tuffeau, qui est devenue poreuse et tombe par plaques entières. Certains éléments décoratifs ne sont plus maintenus et présentent d'importants risques de sécurité. De même, à l'intérieur de l'Hôtel, les planchers vibrent et les poutres n'assurent plus leur rôle porteur. Devant l'urgence de la situation, les élus et la vice-présidente chargée des équipements culturels transférés décident de fermer le musée. Les futurs travaux à mener produiront beaucoup de poussière et s'accompagneront de changement d'huissieries ce qui sous-entend que les œuvres subiront de grandes variations de température et d'humidité. Il est donc prévu de déménager les collections dans des réserves provisoires afin de mener à bien toutes ces opérations.



Fig. 27 : Façade principale du musée Sully avant restauration (2004) et après restauration (2007).

© Musées de Châtellerault, S.B-R.

Parallèlement, des études ont été menées pour connaître la nature et l'étendue des détériorations de l'hôtel Sully. Il s'est avéré que le plancher avait une portance presque nulle et que la poutre maîtresse menaçait de reproduire « l'effet Chambord ⁶⁴ ». Sept champignons différents ont été identifiés, dont de la pourriture cubique en sous-sol, et une grande quantité d'insectes a été retrouvée, dont des mites, vrillettes et capricornes. Toutes les charpentes spongieuses ont donc été consolidées et les bois ont été désinfectés par une société spécialisée.

⁶⁴ En 2003, une poutre s'était effondrée, emportant le plancher et les visiteurs qui se trouvaient là (sans heureusement provoquer d'accident grave).

b. La mise en réserve des silhouettes (2006)

Les zincs ont été emballés dans du papier de soie neutre et recouvert de plastique pour les protéger de la poussière. Ils ont ensuite été posés à plat sur le sol de la salle du premier étage de l'hôtel Sully pour éviter qu'ils ne subissent de trop grandes vibrations sur les murs. En mars 2006, les silhouettes ont été déménagées dans les nouvelles réserves du musée rue Reibel, local appartenant à la ville⁶⁵ puis elles ont été traitées sous bulle d'anoxie.



Fig. 28 : Conditionnement provisoire des silhouettes dans les réserves de la rue Reibel.

L'espace est vaste, non chauffé et il est alors difficile de contrôler le climat qui se révèle peu adapté à la bonne conservation des œuvres. Des capteurs enregistreurs ont été installés en novembre 2007 afin de mieux connaître le climat des réserves. Il s'avère que les amplitudes thermiques et hygrosopiques sont importantes et suivent en général celles de l'extérieur ce qui signifie que le bâtiment n'a que très peu d'inertie. L'humidité relative est comprise entre 65% et 92% sur la période de tests allant de décembre 2007 à juin 2008 et la température est comprise entre 3°C et 10°C de décembre à mi-avril. Ces conditions sont donc inadaptées pour des œuvres composites qui devraient être conservées dans des atmosphères contrôlées et stables, et dont les valeurs limites seraient situées entre 40% et 55% d'humidité relative pour une température de 15°C à 25°C⁶⁶.

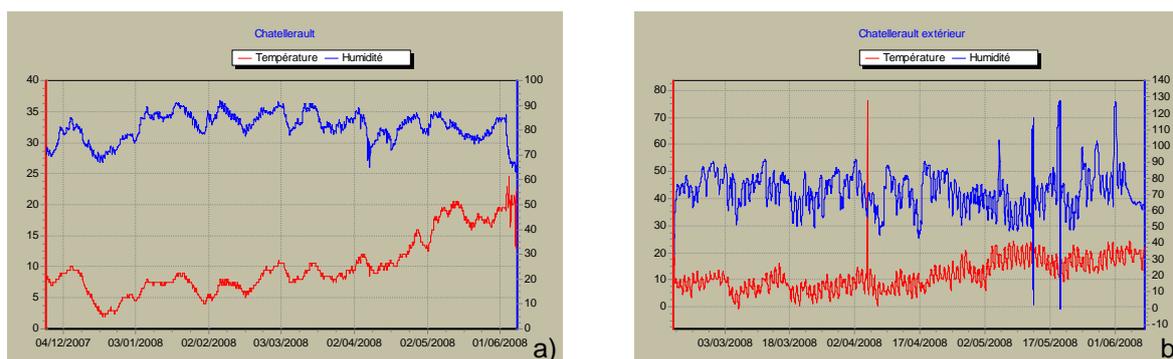


Fig.29: Courbes thermo-hygrométriques des réserves de la rue Reibel : a) intérieur du bâtiment (4 décembre 2007 au 1 juin 2008) et b) extérieur du bâtiment (février 2008 au 1 juin 2008).

⁶⁵ Ce lieu, qui était auparavant une imprimerie puis une entreprise textile, a été aménagé pour recevoir les œuvres : une alarme incendie et une autre contre les intrusions ont été installées, des étagères ont été achetées pour disposer les objets, des plaques de bois ont été posées sur les fenêtres pour protéger de la lumière du jour.

⁶⁶ Après avoir pris connaissance de ces données, la conservatrice des silhouettes, Mme Brégeaud-Romand a pris la décision de transférer les objets restaurés dans le musée Sully qui comporte une salle climatisée et surveillée. Ces courbes seront aussi présentées aux élus locaux pour signifier l'urgence de la situation

2. Le devenir des œuvres

a. Une situation précaire

Suite à la fermeture du musée, la communauté d'agglomération a libéré un entrepôt pour y installer les œuvres. Cependant ce lieu est mis à disposition du musée pour trois ans, à compter du 1^{er} mars 2006. La reconduction du bail peut se faire de façon tacite mais la ville est aussi en droit de reprendre le local en 2009, après l'envoi d'une lettre recommandée accompagnée d'un préavis de six mois. Ces réserves de la rue Reibel sont donc temporaires mais aucun autre espace adéquat n'a été trouvé pour créer de véritable lieu de réserves.

Se pose aussi la question du devenir du musée. L'Hôtel Sully paraît peu adapté pour recevoir les collections et aucun projet n'a été fait dans ce sens. Une installation au premier étage du musée Auto Moto Vélo, en plein ancien cœur industriel de la ville, pourrait s'avérer intéressant, mais il faudrait alors transférer les faïences et les œuvres inorganiques dans une autre réserve, ce qui semble compliqué.

b. Le pré-projet scientifique et culturel

Dans un document de travail daté de janvier 2006⁶⁷, Mme Bregeaud propose une série de points principaux sur lesquels le nouveau musée pourrait s'orienter. Il faudrait tout d'abord définir une « *nouvelle identité pour les musées de Châtellerault* » en opérant une sélection d'objets propres à transmettre un message porteur d'histoire et des œuvres ancrées dans la mémoire collective. La valorisation des savoir-faire pourrait donc être un axe majeur de la future exposition muséale. Dans le parcours sur le XIX^{ème} siècle, un espace pourrait s'orienter sur « *Salis et le Théâtre d'ombres* » en proposant une « *reconstitution de la salle du cabaret avec des meubles, des affiches, des menus et des zincs* ».

Avec une muséographie particulière, mettant en valeur la fonction des œuvres, et utilisant la médiation interactive, il s'agira d'intéresser les scolaires, les populations socialement défavorisées mais aussi les habitants de communes rurales et péri-urbaines. La proposition de présentation des silhouettes d'ombres du Chat Noir que nous développerons dans la partie suivante, devra donc prendre en compte ces considérations.

⁶⁷ Communication aimable de la conservatrice ; BREGEAUD-ROMAND (S.), 2006, p. 2.

Chapitre II.

Étude technologique,
constat d'état,
diagnostic et
valeurs culturelles



Projection de l'ombre de la silhouette des 3 cavaliers, *G. Vanneste.*

I. ÉTUDE TECHNOLOGIQUE

Ressortant les silhouettes de leur contexte historique, cette nouvelle partie nous oriente vers les aspects techniques et scientifiques des matériaux constitutifs. Les œuvres étudiées ont des caractéristiques communes. Leur mode de fabrication ainsi que les résultats d'analyses sont présentés ensemble de façon à pouvoir opérer des comparaisons entre les objets et les différentes hypothèses de création sont résumées à la fin de cette partie sous forme de schémas et de coupes stratigraphiques des matériaux⁶⁸. Nous espérons ainsi donner une vision d'ensemble des techniques utilisées au Chat Noir tout en privilégiant une approche individuelle des étapes de conception.

A. De la conception à la fabrication

Les silhouettes des Trois cavaliers et du Guerrier sont recouvertes de papier sur la face visible du spectateur. Nous supposons qu'il s'agit du gabarit ou du dessin original ayant permis la découpe des pièces.

1. Les dessins préparatoires

a. Le dessin préparatoire des Trois cavaliers

Certains dessins préparatoires de *L'Épopée* sont conservés dans des collections particulières⁶⁹. Ils sont réalisés avec un pinceau fin et de l'encre de Chine : le trait de contour est unique, et la forme complètement épurée de façon à obtenir une image très expressive avec le maximum de netteté⁷⁰. Une fois le dessin obtenu, Caran d'Ache devait l'amener au découpeur en zinc, Mr Barat, cité dans les programmes des pièces d'ombres de *L'Épopée*, qui devait l'agrandir pour en faire un gabarit⁷¹.

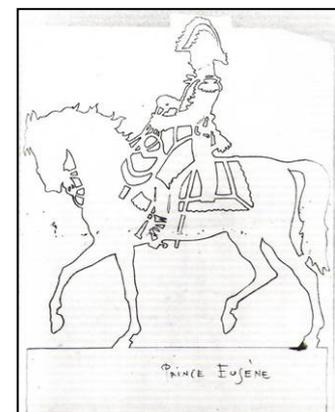


Fig. 30 : Dessin préparatoire pour le zinc du prince Eugène de Beauharnais par Caran d'Ache, coll. particulière. © Adam Biro.

⁶⁸ Voir aussi Annexe 1. Apport des analyses, p. I et Annexe 2. Tableau récapitulatif des étapes de fabrication, p.II.

⁶⁹ Il ne reste que trois dessins préparatoires, cependant aucun ne représente les silhouettes des Trois cavaliers, communication de M. Oberthür.

⁷⁰ MONTORGUEIL (G.), 1930, p.109.

⁷¹ Les dessins sont effectués sur des feuilles de 50 x 60 cm, donc de plus petite dimension que les silhouettes. Nous supposons que ces papiers étaient reproduits et mis à l'échelle par le découpeur en métaux. Il pouvait utiliser différentes techniques de reports, comme le poncif, la mise au carreau ou d'autres procédés qui n'ont pas pu être observés sur l'œuvre : LACOMBE (M.S.), 1929, p. 425. L'examen en photographie IR puis en réflectographie IR n'a pas permis d'observer de dessin sous-jacent.

b. Le dessin préparatoire du Guerrier

Un descendant direct d'Albert Robida, Mr Gravereaux possède les dessins préparatoires de *La Nuit des Temps*. Aucun ne correspond à la silhouette du Guerrier, mais leur observation facilite la compréhension de la technique employée par l'illustrateur. Robida exécute son dessin comme une esquisse à la ligne vive et enlevée, ce que l'on perçoit très bien sur ses croquis conservés au musée Antoine Vivenel. Il n'épure pas son trait comme Caran d'Ache et effectue souvent des dessins compliqués aux détails nombreux.



Fig. 31 : Croquis de chevaliers par Robida, Musée Antoine Vivenel, Compiègne.

L'examen visuel du papier collé sur la face de l'objet permet déjà d'apercevoir la présence de traits sous le lavis d'encre brune. En poussant cet examen en photographie IR, de nouveaux détails apparaissent au niveau des épaules, des gantelets, des solerets, du gambison et de la dague. Ces lignes ne correspondent pas aux traits de découpe mais bien à une interprétation de la figure du Guerrier. Nous supposons donc qu'il s'agit du dessin préparatoire réalisé directement par

Robida pour sa pièce d'ombres. Cette hypothèse est renforcée par le fait que *La Nuit des Temps* est une œuvre unique, faite en un seul exemplaire, alors que *L'Épopée* a été reproduite au moins trois fois, à partir de dessins identiques. De plus, dans *l'Encyclopédie Roret* consacrée à la sculpture et au découpage⁷², des préconisations sont données quand au choix du dessin : « il doit être nettement tracé et exempt de ces doubles traits que produit souvent l'hésitation de la main ; s'il en était autrement, la scie serait conduite tantôt sur un trait, tantôt sur un autre ». Il semble donc peu probable que les lignes tracées à l'intérieur de la découpe soient de la main de l'artisan.



Fig. 32 : Détails des traits du dessin préparatoire (en rouge) sur le guerrier et photographies IR. © G.Vanneste.

⁷² LACOMBE (M.S.), 1929, p. 425.

c. Le cas particulier des Quatre cavaliers

La silhouette des Quatre cavaliers n'est pas recouverte de papier, contrairement à la majorité des zincs du Chat Noir. Elle ne présente pas de traces de colle réparties sur la surface qui pourraient laisser penser qu'un gabarit a été arraché suite à la découpe. Sa conception est donc différente mais aucun document ne permet de connaître cette étape de fabrication. D'après Mariel Oberthür, il parait possible que l'œuvre ait été réalisée lors d'une tournée du Chat Noir en province ou à l'étranger. Un zinc a pu se casser, et pour pallier ce manque, une nouvelle silhouette aurait été refaite. Le dessin de la forme a pu être tracé de mémoire au crayon ou à la pointe sèche, mais il se peut aussi qu'une ombre ait été projetée sur un drap, décalquée puis reportée⁷³ sur le métal.

d. Composition fibreuse des papiers

La composition fibreuse des papiers de chacune des silhouettes a été analysée avec la méthode des réactifs colorés⁷⁴ afin de documenter les œuvres du Chat Noir ainsi que les procédés de fabrication utilisés.

Les deux papiers vélins présentent quelques différences :

- Le papier de la silhouette des Trois cavaliers est constitué d'un mélange de pâte chiffon et de pâte chimique blanchie de fibres de bois⁷⁵.
- Le papier de la silhouette du Guerrier est composé majoritairement de fibres de bois (résineux) et résulte de l'utilisation d'une pâte chimique ayant subi une opération de cuisson bisulfite et sulfate blanchie⁷⁶.



Fig. 33 : Détail d'une fibre de résineux (Guerrier) : identification par la présence d'aréoles ainsi que par la coloration.

⁷³ Une des façons pour reporter un dessin sur le métal consiste à enduire la surface de gras, de griser l'arrière d'un calque et de repasser sur le trait de contour pour imprimer le crayon dans la couche grasse.

⁷⁴ Il nous a été possible d'effectuer ces tests au CRCC en suivant un cours d'analyses de fibres d'élèves de deuxième année en section arts graphiques. Les résultats ont été interprétés par Julien Barthez, assistant ingénieur au CRCC.

⁷⁵ Les fibres de la silhouette des Trois cavaliers se sont colorées en lie de vin et en violet avec le réactif de Hertzberg et sont restées incolores avec celui de Lofton Meritt.

⁷⁶ Le second papier situé sur la face du Guerrier s'est teinté en bleu-gris avec le réactif de Hertzberg et en bleu pâle, rose et incolore pour celui de Lofton Meritt.

2. Le support en zinc

a. Choix de la feuille de métal

A partir de 1886, les silhouettes découpées dans du carton sont remplacées par de nouveaux supports en zinc. Ce métal est employé pour la première fois lors de la fabrication de la version définitive de *L'Épopée*. Il fallait en effet trouver une solution pour remédier aux dégradations qui survenaient sur les cartons : les contours s'émoussaient et les parties faibles se cassaient facilement⁷⁷. Salis aurait eu l'idée d'utiliser un support plus solide, à la fois léger et relativement économique.

Les plaques de zinc devaient être achetées auprès d'un revendeur en métaux, ce qui suppose l'utilisation de feuilles standardisées pour le commerce. Dans un livre publié par la Société Anonyme de la Vieille Montagne⁷⁸, un tableau récapitule les différents types de plaques disponibles sur le marché. En fonction de la dimension de la feuille et de son épaisseur, il est ainsi possible de connaître son utilisation à la fin du XIX^{ème} siècle.

- Informations obtenues par la dimension des plaques : La plus grande silhouette de zinc à l'étude correspond aux Quatre cavaliers. Ses dimensions maximales sont de 71 cm de haut pour 88 cm de long. Pour réaliser cette figure il fallait employer la seule feuille correspondante mesurant 0,80 m sur 2 m, utilisée « *pour toitures et autres emplois* ». Bien sûr, il était aussi possible d'acheter du zinc au mètre carré.
- Informations obtenues par l'épaisseur des plaques : Les silhouettes ont une épaisseur de l'ordre de 7/10^e de mm. Le tableau comparatif recense 26 numérotations, dont un numéro 12 qui correspond à une feuille de 6,9/10^e de mm. Ce numéro « *sert à la fabrication des objets de ménage, tels que seaux, brocs, arrosoirs, bains de pieds, etc...[...] se font aussi quelques descentes d'eau dans de petites constructions, des couvertures de hangars ou ateliers provisoires, des recouvrements de saillies, corniches, etc...* ». Les œuvres sont donc certainement découpées dans ces feuilles (nous nous autorisons une marge d'erreur sur la prise d'épaisseur des objets) et n'ont pas été réalisées dans des plaques conçues pour les toitures, comme cela pouvait être supposé. En effet, pour les couvertures il fallait employer un n°14, plus épais, de

⁷⁷ OBERTHÜR (M.), 2007, p.101 ; JEANNE (P.), 1937, p. 19.

⁷⁸ *Emploi du zinc laminé*, [s.d.], p. 3 et 4. Il s'agit de la plus ancienne usine de production du zinc, fondée en 1805 à Liège, en Belgique. En 1910 elle connaît un essor extraordinaire, devient la plus grande productrice mondiale de zinc puis son activité décline pour disparaître dans les années 60.

8,7/10^e de mm puisque « les numéros au-dessous ne pourraient faire un service convenable ».

ZINC LAMINÉ										
EN DIMENSIONS MÉTRIQUES,										
Avec le poids des feuilles de chaque numéro dans les diverses dimensions.										
N ^o NUMÉRO.	ÉPAISSEUR des FEUILLES en CENTIÈMES de millimètres.	DIMENSION ET POIDS DES FEUILLES						POIDS du MÈTRE CARRÉ (2).	OBSERVATIONS.	
		POUR DOUBLAGE DES NAVIRES (1).			POUR TOITURES ET AUTRES EMPLOIS.					
		Largeur, 0° 35'. Longueur, 1° 15'. Ancien 13 42	Largeur, 0° 40'. Longueur, 1° 30'. Ancien 14/48	Largeur, 0° 50'. Longueur, 2° ». Ancien 18/72	Largeur, 0° 65'. Longueur, 2° ». Ancien 24/72	Largeur, 0° 80'. Longueur, 2° ». An en 30/72				
10	0,00051	»	»	»	»	3 k 45	4 k 45	5 k 50	3 k 45	(1) Les épaisseurs ordinairement employées pour doublages sont celles des numéros 15, 16 et 17; il ne s'en emploie pas de plus minces pour cet usage. Les épaisseurs au-dessous du numéro 10 sont employées pour le salage des papiers; elles sont d'un prix plus élevé que les numéros ordinaires.
11	0,00060	»	»	»	»	4 05	5 30	6 50	4 05	
12	0,00069	»	»	»	»	4 65	6 10	7 50	4 65	
13	0,00078	»	»	»	»	5 30	6 90	8 50	5 30	
14	0,00087	»	»	»	»	5 95	7 70	9 50	5 95	
15	0,00096	2 k 65	3 k 40	6 55	8 55	10 50	6 55	7 50	6 55	
16	0,00110	3 »	3 90	7 50	9 75	12 »	7 50		7 50	

Fig. 34: Dimensions des feuilles de zinc et observations par la Société Anonyme de la Vieille Montagne, in *Emploi du zinc laminé*, p. 2 et 3.

b. Nature des alliages des silhouettes

Les analyses élémentaires effectuées avec la méthode Pixe ont montré que les silhouettes sont découpées dans des feuilles de zinc relativement pures, contenant peu d'éléments d'addition. L'alliage est composé de 99% de zinc, d'1 % de plomb et de 0,05% de fer et de cadmium⁷⁹.

Nous n'avons pas pu comparer ces résultats avec ceux de plaques similaires de la fin du XIX^{ème} siècle car peu d'analyses élémentaires sont disponibles sur le zinc ou alors ne concernent que les sculptures monumentales. La composition des silhouettes se rapproche du « zinc thermique », classifié Z6 par la norme AFNOR A-55-101⁸⁰, obtenu par une première fusion avec une faible teneur en plomb et en étain. Il est utilisé pour les opérations de laminage et se distingue des zincs purs, désignés comme extra-fin ou fins, réservés à l'élaboration de fil pour métallisation, d'anodes pour zingage électrolytique ou de piles. Les éléments d'addition contenus dans l'alliage proviennent donc tous du minerai de blende ou de calamine qui a subi une série d'opérations de grillage, de calcination et d'extraction mais sans étape de raffinage. Ce zinc est dit « brut de première fusion ».

Les trois silhouettes sont constituées du même métal, ce qui paraît logique lorsque l'on sait que la fabrication était presque l'entière exclusivité d'un artisan, M. Barat.

⁷⁹ Annexe 8. Rapport d'analyse Pixe, p. XVIII.

⁸⁰ DUCHAUSSOY (J.), 1965, p. 44 et 45.

B. Le découpage par l'atelier Barat

1. L'atelier de Barat

L'artisan qui a mis en œuvre les silhouettes à partir des dessins préparatoires est cité en première page des programmes du Chat Noir. Ainsi, à la fonction de « *découpeur* » est presque toujours accolé le nom de « *M. Barat* ». Il a réalisé entièrement *La Nuit des Temps* et a aussi collaboré à *L'Épopée*, même si la « *maison Lebaillif* »⁸¹ a dû effectuer les découpes de la première version en 30 tableaux. La consultation du Bottin du commerce⁸² aux archives de la Seine a permis de retracer l'activité de Mr Barat qui a travaillé une vingtaine d'années à Paris. Il apparaît pour la première fois en 1878, rue Saint Maur sous la profession de « *découpeur sur bois* ». Son activité évolue et dès 1882 il s'installe en tant que « *découpeur sur bois et métaux* ». Il déménage en 1888 pour monter un atelier au 5, Cité du Midi, à deux rues du Chat Noir, et crée un nouvel espace sur le boulevard Rochechouart l'année suivante. Henri Rivière et Rodolphe Salis pouvaient donc emmener facilement les dessins de pièces d'ombres à l'artisan qui semblait travailler avec rapidité.

Les informations concernant Barat sont relativement réduites. Seul un document concernant les patentes⁸³ établies en 1895 dans le quartier des Grandes Carrières apporte quelques renseignements sur son atelier. Le découpeur habite au 7 et 7 bis de la Cité du Midi et son activité est celle d'une « *exploitation d'une scierie mécanique* ». Il possède « *6 lames de scie, 4 machines à percer et à découper* ». Nous pouvons aussi déduire qu'il était son propre employeur puisqu'il payait l'impôt sur sa société.

2. Le laminage

a. Principe

Les trois silhouettes d'ombres sont réalisées dans des feuilles de zinc de 7/10^e de mm d'épaisseur. Seule une coupe métallographique permettrait d'affirmer avec certitude que le métal a été laminé mais nous supposons néanmoins que cette technique a été employée pour mettre en forme la feuille de zinc. L'opération consiste à compresser le lingot de façon continue entre deux cylindres parallèles et superposés qui tournent en sens contraire. Lorsque

⁸¹ Dans le bottin du commerce de Paris, aucun découpeur ne porte ce nom. Il existait en revanche un Lebailli qui était installé rue du Temple.

⁸² *Bottin du commerce*, Archives de la Seine, Paris, consultation des microfilms de 1877 à 1899, série 2MI 3/71 à 2MI 3/121.

⁸³ *Patentes du quartier des Grandes Carrières*, Archives de la Seine, Paris, 1895, série D9P2 0138.

le métal est placé devant la fente, il avance entre les rouleaux dont l'espacement définit l'épaisseur de la plaque. Cette technique permet d'obtenir une feuille uniforme et de plus grande dimension que par martelage ; elle est aussi plus rapide et donc plus économique d'où la généralisation de son emploi au cours du XVIII^{ème} siècle.

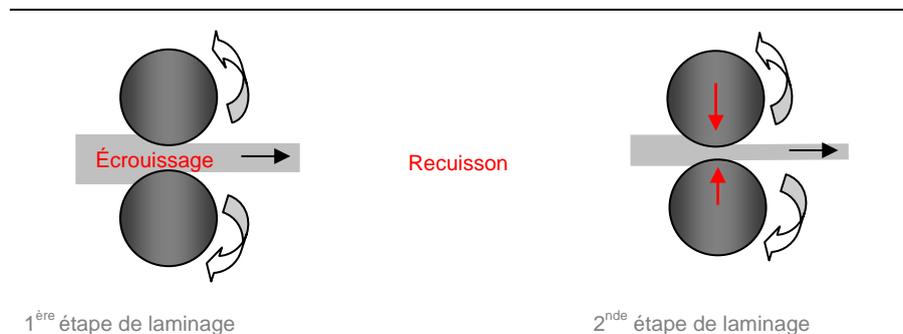


Fig. 35 : Coupe transversale d'un laminoir et étapes de laminage.

Définition de l'écrouissage et du recuit

Lors de chaque opération de laminage, le métal devient dur et cassant, il est écroui. Les contraintes appliquées ont provoqué une déformation plastique qui correspond à une modification de la structure interne du métal. Les plans d'atomes ont glissé grâce au mouvement de dislocation jusqu'à une certaine limite d'élasticité. Le métal ne peut plus être travaillé, il faut donc procéder à un recuit de cristallisation afin d'éliminer les contraintes emmagasinées par le matériau. La pièce est chauffée au chalumeau de façon uniforme et à une température élevée, située juste en-dessous du point de fusion du métal, et les grains métalliques peuvent alors se reformer. Ces étapes de recuit sont nécessaires et interviennent régulièrement entre chaque phase de compression et donc de perte de ductilité du métal.

b. La technique employée au XIX^{ème} siècle

Au XIX^{ème} siècle, les usines métallurgiques livrent des lingots plats mesurant 30 à 60 cm de long sur 25 à 30 cm de large et 3 à 4 cm d'épaisseur⁸⁴. Ils sont ensuite chauffés entre 100 et 150°C, à une température où le zinc est particulièrement malléable, puis passés dans une série de laminoirs gradués de façon à obtenir des feuilles standardisées. Le zinc est difficilement chauffé à l'air car il se recouvre d'une couche d'oxydation qui



Fig. 36 : Le laminoir à tôles de zinc de la Vieille Montagne à Tilff, Belgique, vers 1900. ©Université de Liège-Centre d'Histoire des Sciences et des Techniques.

⁸⁴ ROMAIN (A.), 1919, p. 244 et 245.

entraîne une perte importante de métal. Il est donc préférable de le plonger dans une cuve d'eau bouillante pour réaliser un recuit. Des laminoirs intégraient même des circuits d'eau bouillante dans les cylindres de façon à garder une température constante tout au long du processus de mise en forme.

3. Le collage

Il est peu probable que Barat ait lui-même laminé ses plaques qui devaient être achetées auprès d'un revendeur en métaux. En revanche il devait réaliser les agrandissements des dessins préparatoires de Caran d'Ache pour fabriquer des gabarits et les collait ensuite sur le métal avant de découper l'ensemble. Pour le Guerrier, si nous considérons que le dessin préparatoire est celui de la main de Robida, il est possible que Barat ait collé la feuille directement sur le zinc sans passer par la fabrication d'un patron. Il a certainement ajouté une bande de papier complémentaire à la base de la figure pour pouvoir y dessiner l'emplacement du talon.

La colle a été appliquée à l'aide d'un pinceau large sur toute la surface métallique et des mouvements croisés sont venus renforcer cette accroche, comme nous le discernons sur la partie inférieure de la silhouette. Nous pensons que l'artisan « *découpeur en bois* » avait utilisé une colle protéinique, qui devait être à disposition dans son atelier. Or l'analyse en chromatographie phase gazeuse couplée au spectromètre de masse a démontré l'absence de protéines dans la colle. En revanche le test par virage colorimétrique a indiqué la présence d'amidon, observation confirmée par une seconde analyse chromatographique⁸⁵.

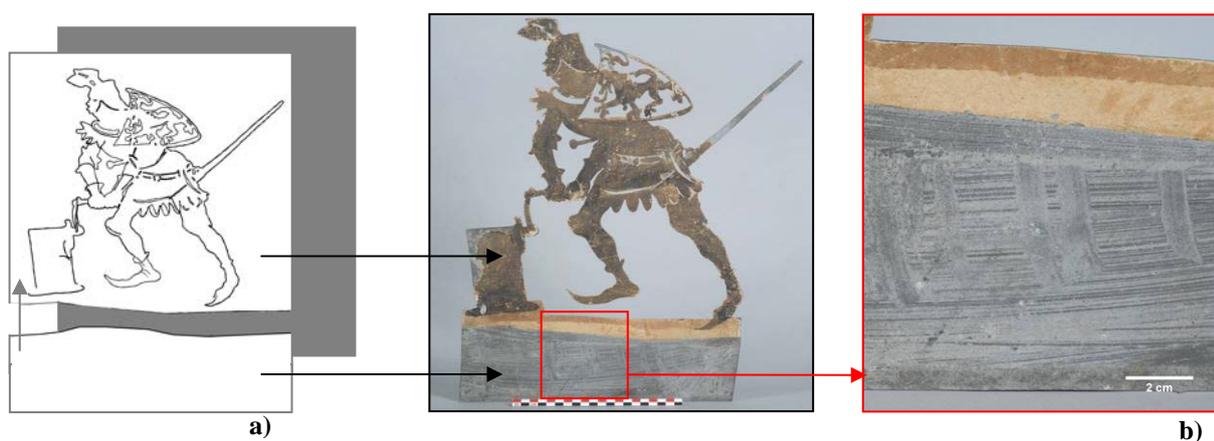


Fig. 37 : Collage du papier sur le Guerrier :

a) Schéma de collage des deux feuilles de papier sur la feuille de zinc

b) Détail du talon après perte de la bande de papier : résidus de colle révélant la technique de mise en œuvre. © G.Vanneste.

⁸⁵ Annexe 8. Rapports d'analyses, p. XVI.

4. Le découpage

a. Principe de découpage

Les trois silhouettes ont été chantournées et ajourées à l'aide d'une machine à découper, appelée aussi scie sauteuse. Même si les instruments utilisés au XIX^{ème} siècle sont nombreux et souvent conçus par les ébénistes eux-mêmes, le principe reste identique⁸⁶. L'outil est constitué d'un meuble en bois ou en fonte de fer moulée sur lequel sont fixés la lame de scie et le mécanisme de mise en mouvement. La plaque de métal est posée sur une plate-forme en bois dur, parallèlement au plan du sol, et la scie est actionnée verticalement à l'aide d'une pédale entraînant des poulies et des volants. Ce système permet de libérer les mains de l'artisan qui se concentre sur la ligne de tracé en guidant la plaque métallique au fur et à mesure de l'avancée du travail. La même machine était utilisée pour la marqueterie de bois ou les découpures de métaux, ce que confirment les publicités parues dans le Bottin du commerce à la fin du XIX^{ème} siècle.

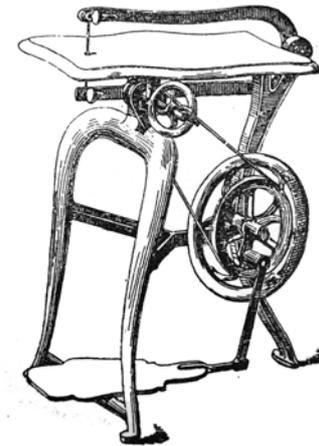


Fig. 38 : Dessin d'une scie mécanique.
© Encyclopédie Roret..

b. Examen

Les plaques sont effectuées d'un seul tenant, à l'exception de celle des Trois cavaliers dont les étendards sont assemblés séparément par soudure. Pour passer la lame de scie dans des zones ajourées situées au centre des différentes plaques de zinc, le métal est préalablement percé à l'aide d'un burin ou d'un outil coupant (cf. Planche V. Étapes de découpage des silhouettes de zinc). La lame est ensuite dévissée, passée dans le trou et remontée sur le bras de la machine. Il suffit alors d'appuyer sur la pédale pour actionner les volants et entraîner le mouvement de la lame.

Lors de ces étapes, le métal est déformé ou marqué par les outils de découpe. Ces observations sont synthétisées dans un tableau afin d'en faciliter la compréhension.

⁸⁶ LACOMBE (M.S.), 1929 et RAMOND (P.), 1977.

PLANCHE. V : Étapes de découpage des silhouettes de zinc

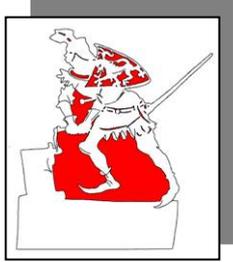
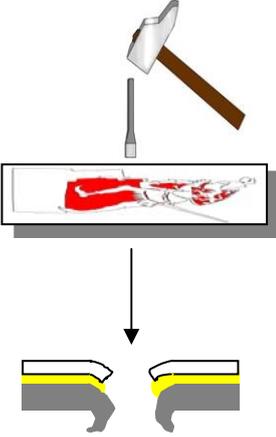
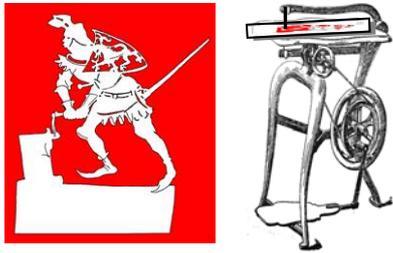
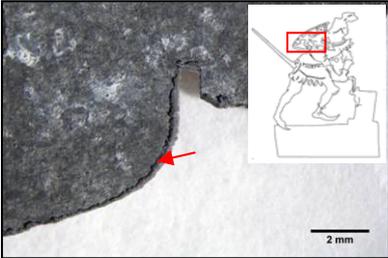
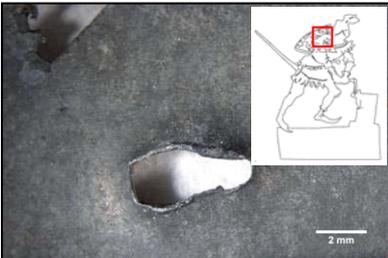
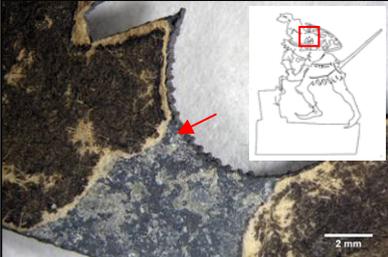
Étapes de découpage	Schémas de mise en forme
<p>1. Détermination des zones à repercer, situées à l'intérieur de la figure.</p>	
<p>2. Percement des zones à ajourer puis passage de la lame de scie dans la perforation pour faire la découpe</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p>Déformation de la silhouette dans les zones percées au burin.</p>	
<p>3. Découpage de la silhouette à la scie sauteuse (les zones rouges sont éliminées).</p>	

PLANCHE. VI : Informations obtenues par l'observation des détails de découpe

Observations	Informations	Détails photographiques
<p>Bavures</p> <p>Bourrelet de métal le long des zones chantournées, situé au revers des plaques et visible en lumière rasante.</p>	<p>Sens de découpe</p> <p>Silhouettes découpées depuis la face vers le revers puisque la zone de déformation se trouve toujours sur la partie inférieure de la pièce découpée.</p>	
<p>Déformations</p> <p>Localisées, rectangulaires et étroites, au revers du Guerrier, bien visibles en lumière rasante.</p>	<p>Méthode de percement</p> <p>Pour pouvoir passer la lame de scie dans des zones ajourées (comme l'écu du Guerrier), des percements préalables ont été effectués à l'aide d'un burin ou d'un outil métallique similaire.</p>	
<p>Fentes</p>	<p>Largeur de la lame de scie</p> <p>La largeur de la fente permet d'informer sur l'épaisseur de la scie utilisée : 1mm.</p>	
<p>Mors-fil</p>	<p>Finition</p> <p>Les champs métalliques n'ont pas été limés et conservent les marques des dents de scie.</p>	

C. Mise en place d'éléments structuraux

1. Les armatures

Les trois silhouettes sont pourvues d'armatures soudées sur le revers de la plaque de zinc. Ce sont des renforts structuraux qui permettent de rigidifier la plaque et de diminuer les risques de déformation lors des manipulations. Elles sont fabriquées dans des tiges d'alliage ferreux galvanisées⁸⁷ mises en forme par torsion et sont fixées au support avec une brasure tendre⁸⁸ contenant 30% d'étain en masse et le reste de plomb⁸⁹. Les techniques employées sur les œuvres sont sensiblement différentes et sont plus ou moins représentatives de l'ensemble de la collection.

Définition du brasage et d'une brasure tendre :

Le brasage est une technique d'assemblage à chaud de deux métaux, identiques ou différents, à l'aide d'un métal d'apport dont le point de fusion est nettement inférieur à ceux des métaux de base. Le métal d'apport est amené à l'état liquide tandis que les métaux de base chauffés restent à l'état solide. Ce mode d'assemblage est dit « hétérogène » car le joint a une nature différente du reste de la pièce. Une brasure est dite tendre lorsqu'elle a une température de fusion inférieure à 450°C.

Le manuel du plombier zingueur⁹⁰ donne une description de la technique utilisée au XIX^{ème} siècle pour braser solidement du zinc. Il conseille de nettoyer la surface « à blanc » en la grattant pour faire apparaître le métal et ôter tous les produits de corrosion et les substances grasses qui pourraient le recouvrir. Un fondant est ensuite appliqué sur la surface pour augmenter la mouillabilité de la partie à souder et aider à faire couler la brasure. Sa composition varie selon les auteurs, mais il s'agit le plus souvent d'un sel d'ammoniac dissout dans de l'eau, d'un chlorure neutre de zinc et d'ammoniaque, de poix résine, colophane ou d'acide chlorhydrique dilué. Les deux parties sont assemblées puis l'outil à souder est chauffé au réchaud et passé une à deux fois sur le joint.

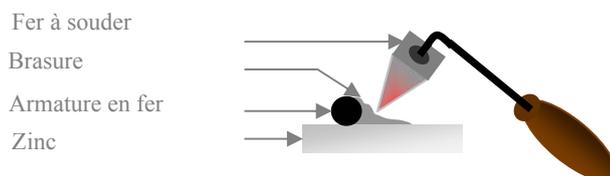


Fig. 39 : Schéma d'un fer appliqué sur un cordon de brasure.

⁸⁷ Annexe 8. Rapport d'analyse Pixe, p XVIII. Les fils de fer sont recouverts d'une couche de zinc qui a pu être appliquée selon deux procédés : par galvanisation à chaud qui correspond au trempage de l'élément en fer dans le zinc en fusion, ou par dépôt électrolytique dans une solution conductrice.

⁸⁸ BELAKHOWSKY (S.), 1983 ; LE GOUIC (R.), 1978 ; et Annexe 8 : Rapport d'analyse Pixe, p. XVIII.

⁸⁹ *Idem*. Les brasures tendres contenant une forte proportion de plomb, dite brasure de plomberie, fondent entre 160°C et 250°C. Aucun signe d'altération particulier lié à la chauffe n'a été observé sur les papiers.

⁹⁰ ROMAIN (A.), 1919, p. 242 à 243.

- *Trois cavaliers : armatures communes à la collection.* Sur la majorité des silhouettes de *L'Épopée*, des armatures ont été fixées avec une technique similaire. Des traits de crayon rouge sont d'abord tracés afin de déterminer les endroits où devront passer les armatures, puis les tiges sont brasées sur toutes les zones présentant des risques de faiblesse structurelle. Cette mise en place relève donc d'une réflexion préalable.

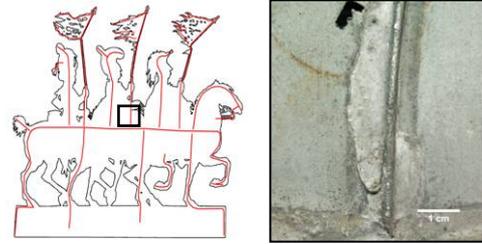


Fig. 40 : Relevé des armatures au revers des Trois cavaliers et photographie avec détail du trait de crayon, de la brasure et des armatures

- *Quatre cavaliers : disposition particulière des armatures.* Les armatures sont hétérogènes et semblent peu adaptées puisque de nombreux éléments fragiles n'ont pas été soutenus par des renforts. Le brasage est aussi différent et paraît moins bien maîtrisé.

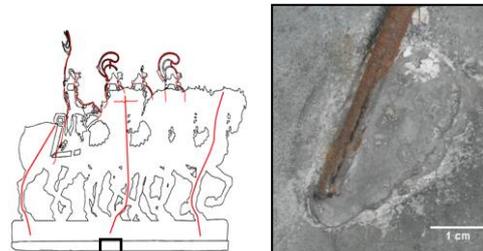


Fig. 41 : Relevé des armatures au revers des Quatre cavaliers et photographie avec détail de la brasure et de l'armature.

- *Guerrier : armatures ajoutées tardivement ?* Les armatures du guerrier pourraient être un ajout tardif. Une seule autre silhouette de *La Nuit des Temps* présente des renforts de cet ordre mais la technique employée est bien différente : les tiges ne passent pas devant les zones ajourées et les brasures sont appliquées au cordon, de façon précise. Sur le Guerrier, l'assemblage est en plots et les tiges métalliques masquent les décors. Cependant l'analyse élémentaire ne permet pas de différencier la composition de ces brasures par rapport à celles employées sur les deux autres silhouettes.

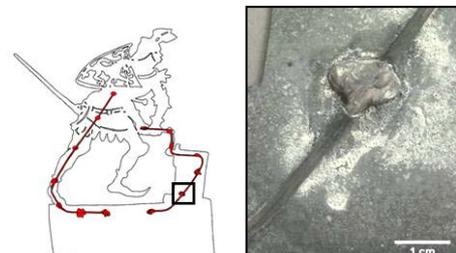


Fig. 42 : Relevé des armatures au revers du Guerrier et photographie avec détail de la brasure et des armatures



Fig. 43 : Silhouette comparative d'une figure de *La Nuit des Temps* : les armatures suivent la forme des découpes et les brasures sont effectuées au cordon.

2. Les patins

Les patins sont considérés comme des éléments structuraux, indispensables à la manipulation des œuvres.

- *Quatre cavaliers : patin existant.* Au revers de la silhouette des Quatre cavaliers se trouve un patin en bois⁹¹ d'environ 80 cm de long, qui servait à faire glisser la plaque sur des rainures lors des spectacles. L'observation visuelle permet de dire qu'il est en résineux : les veines sont marquées, les pores absents et le matériau est hétérogène. D'après l'orientation des veines en bois de bout, la découpe de l'élément est faite sur quartier.

Le patin est assemblé au zinc par une série de 15 vis fendues à tête plate en alliage ferreux. Afin de les positionner de façon régulière tous les 4,5 cm environ, des repères ont été tracés avec une pointe sèche sur l'avvers de la plaque de zinc. Ils sont constitués d'une ligne horizontale traversant tout le talon, interrompue par une série de traits courbes et perpendiculaires incisés dans le métal à l'aide d'une pointe sèche et d'un compas. Le point de rencontre de ces deux traits est perforé puis la vis est positionnée pour maintenir ensemble les éléments de bois et de métal. Sur le revers, le chiffre « XXIV » a été inscrit avec une peinture blanche sur le bois mais il ne semble pas correspondre à une scène de la pièce d'ombres.

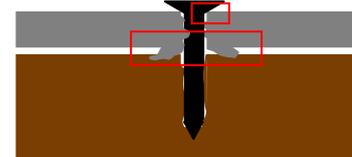
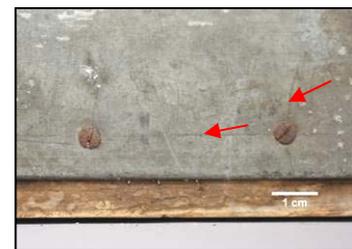


Fig. 44 : Détail des repères incisés sur le talon pour marquer l'emplacement des vis et schéma représentant les déformations induites par la fixation des vis.

- *Trois cavaliers : perte du patin.* Une série de perforations a été pratiquée sur la base du talon ce qui indique qu'un patin a dû être fixé à cet emplacement. Les trous sont de diamètre différents et répartis de façon aléatoire, laissant supposer des remaniements anciens. À ces endroits, nous observons les mêmes déformations que sur la silhouette des Quatre cavaliers ainsi que des résidus de produits de corrosion d'alliage ferreux.

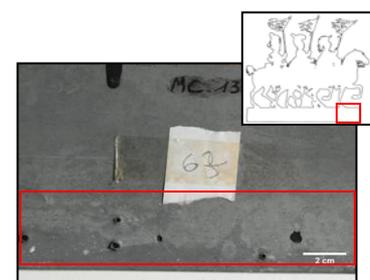


Fig.45 : Emplacement supposé de l'ancien patin sur la silhouette des Trois cavaliers.

⁹¹ Le musée de l'Armée conserve aussi une silhouette de l'Épopée, « La redoute », présentant un patin en bois similaire à celui des Quatre cavaliers. Ce sont les deux seuls exemplaires que nous avons pu observer.

• *Guerrier* : *patin non existant*. Le talon n'est pas perforé ainsi qu'aucune autre des trois silhouettes de *La Nuit des Temps*. La plaque devait être manipulée par un autre système que celui utilisé pour les ombres précédentes. D'après une marque sombre située à la base du talon, un élément d'un centimètre, qui avait peut-être un rôle fonctionnel, se trouvait à cet endroit.

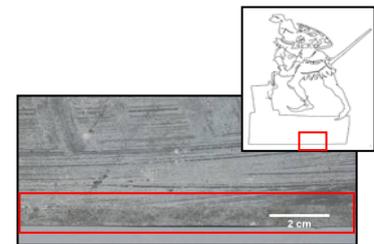


Fig. 46 : Absence de perforations et localisation d'une marque sombre rectiligne sur la face du Guerrier.

D. Mise en place des éléments de décor

1. La mise en couleur

a. Monochromie noire : la silhouette des Trois cavaliers

Le papier de la silhouette des Trois cavaliers est entièrement peint en noir. La couche picturale recouvre des lacunes de papiers et s'insinue dans les perforations qui devaient maintenir le patin en bois. Elle a donc été apposée dans un second temps, après utilisation de la plaque d'ombres, dégradation du gabarit en papier et disparition du patin. Cependant, nous pensons que cette intervention date de l'époque du Chat Noir⁹², avant la dispersion des œuvres dans les différentes collections, puisque la majorité des silhouettes de *L'Épopée* est recouverte d'une peinture qui semble similaire. La couche est appliquée avec un pinceau large et de façon débordante sur l'œuvre posée verticalement : les coulures sont nombreuses sur le revers. Tous les critères sont réunis pour laisser penser qu'il s'agit d'une peinture à la colle⁹³, fréquemment employée pour les décors de théâtre au XIX^{ème} siècle : elle est soluble à l'eau, poreuse, mate, appliquée en épaisseur, et des cratères se sont formés lors de l'évaporation du solvant.

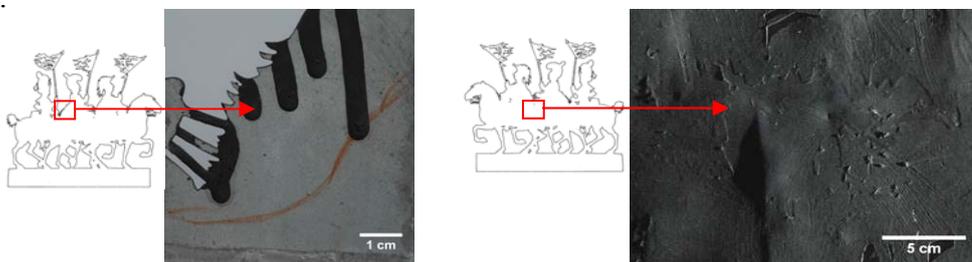


Fig. 47 : Épaises coulures de couche picturale noire au revers et lacune de papier recouverte de couche picturale noire.

⁹² Annexe 8. Rapports d'analyses, p. X. Un examen au MEB d'une coupe stratigraphique du papier a permis de confirmer la présence d'une seule couche picturale, sans repaint ultérieur.

⁹³ Nous n'avons pas effectué d'analyse chromatographique afin de ne pas multiplier les analyses. Selon Claudia Sindaco, restauratrice de peintures et spécialiste des couches non vernies, les critères sont suffisants pour émettre des hypothèses et permettre la restauration de l'œuvre.

b. Lavis d'encre brune : la silhouette du Guerrier

Le même lavis d'encre brune recouvre l'ensemble des silhouettes de *La Nuit des Temps*. Une première couche diluée a été appliquée sur la totalité de la surface, puis certaines parties ont été rehaussées par un deuxième passage plus foncé. Cette étape est intervenue avant la perte de la bande de papier située sur le talon car des entrées d'encre s'observent sur le papier restant.

La mise en couleur suit les traits du dessin préparatoire. Ainsi le soleret gauche du guerrier se découpe nettement sur le fond de papier alors que la pointe de la chaussure n'est pas visible lors des projections théâtrales.

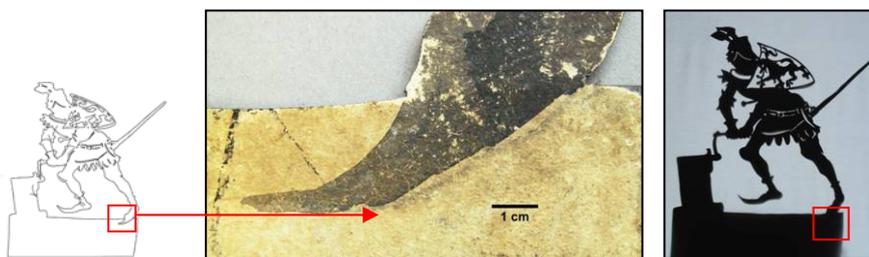


Fig. 48 : Détail du soleret gauche du Guerrier : le lavis est déposé à l'intérieur du trait préparatoire alors que la pointe du soleret n'est pas visible en projection lumineuse: © G. Vanneste.

2. Les papiers colorés

L'avant de la silhouette des Quatre cavaliers est recouvert de sept morceaux de papiers, parfois en double épaisseur et ponctués de lignes colorées bleues, jaunes et rouges. Ils sont collés sur la face et masquent des zones ajourées du zinc comme les cuirasses des soldats et l'équipement du premier cheval. Des résidus de colle situés sur les casques des grenadiers ainsi que sur les découpes du harnachement attestent de la perte d'éléments de papier ou de textile dans ces zones.

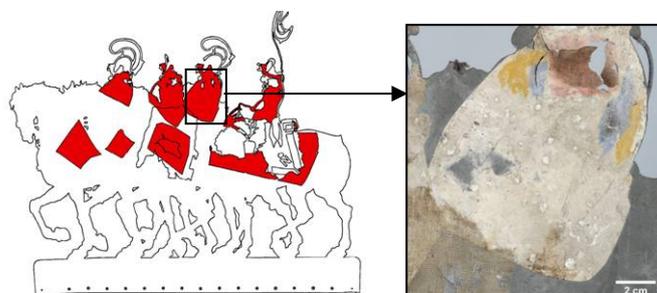


Fig. 49 : Les papiers de la silhouette des Quatre cavaliers : schéma de localisation des papiers sur l'œuvre et détail de mise en couleur au-dessus d'une zone en zinc ajouré.

Le papier vélin a été analysé au CRCC selon la méthode des réactifs colorés déjà utilisée sur les autres œuvres. Il est composé majoritairement de fibres textiles et correspond à une pâte chimique blanchie, similaire à celle utilisée pour le gabarit de la silhouette des Trois cavaliers. Les morceaux découpés et partiellement peints ont été fixés sur le zinc à l'aide d'une colle d'amidon⁹⁴.

- *Rôle des papiers colorés*

Selon Mariel Oberthür, Henri Rivière a pu employer cette technique pour créer des effets de lumière mais il a vite abandonné ce procédé « *car les rendus de couleurs étaient trop pâles* »⁹⁵. Nous avons donc entrepris, avec la collaboration de Ghislain Vanneste, de recréer un écran lumineux afin d'observer le rôle des papiers colorés : il en ressort qu'ils créent un effet de matière par transparence, et que les couleurs, visibles du spectateur, soulignent les traits des découpes. Sur les photographies qui ont été prises lors de la reconstitution de la projection, les couleurs sont difficilement observables. Nous proposons donc d'en restituer l'effet produit ci-dessous.



Fig. 50 : Essai de projection lumineuse de la silhouette des Quatre cavaliers. © G. Vanneste.

- *Récapitulatif des étapes de fabrication et de l'effet lumineux produit*

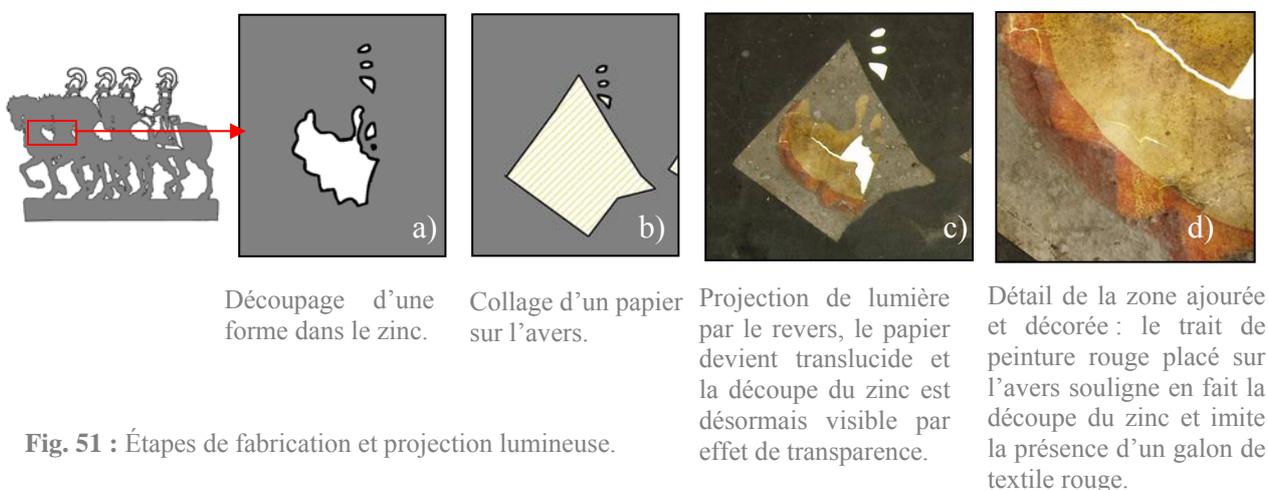


Fig. 51 : Étapes de fabrication et projection lumineuse.

⁹⁴ Annexe 8. Rapports d'analyses, p. XIV.

⁹⁵ Communication de Mariel Oberthür, 16/01/08.

3. Le textile

Un élément de textile collé en double épaisseur de 18 cm de haut par 14,5 cm de large est conservé sur l'avvers de la silhouette des Quatre cavaliers. Il subsiste aussi de petites fibres sur la base des casques des grenadiers. Leur rôle est certainement identique à celui des papiers même si leur fonction n'est pas forcément évidente. En effet, la toile se trouve au-dessus du papier ce qui limiterait son effet dans le cas d'une projection lumineuse. Il est aussi possible que le textile ait été placé après déchirure des papiers, pour combler des trous.

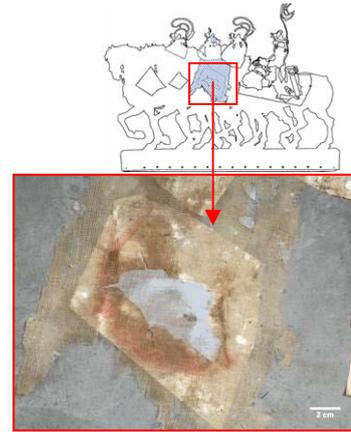


Fig. 52 : Élément textile sur la face des Quatre cavaliers.

- L'examen sous microscope montre la présence de fibres plates et enroulées identifiées comme du coton⁹⁶.
- Un spot test effectué sur une fibre non collée sur le papier a permis d'observer la présence d'amidon.
- Le fil de chaîne passe en alternance au-dessus et au-dessous des fils de trame, ce qui correspond à la fabrication d'une toile. Les descriptions du Chat Noir parlent d'une gaze pour décrire ce textile léger en tissage peu serré.

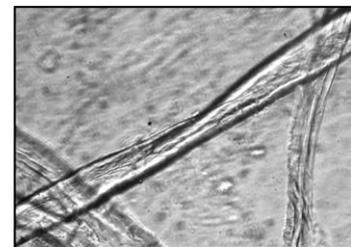


Fig. 53 : Photographie sous microscope d'une fibre de coton.

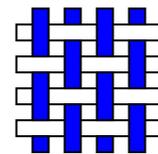
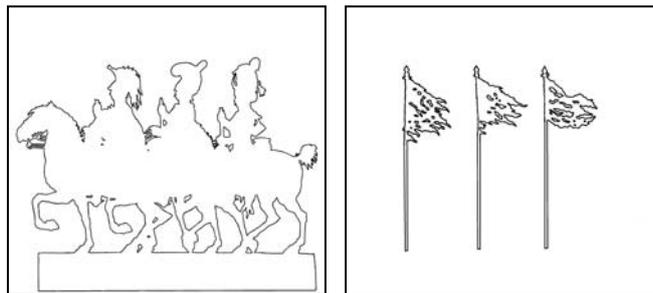


Fig. 54 : Schéma technique d'une toile.

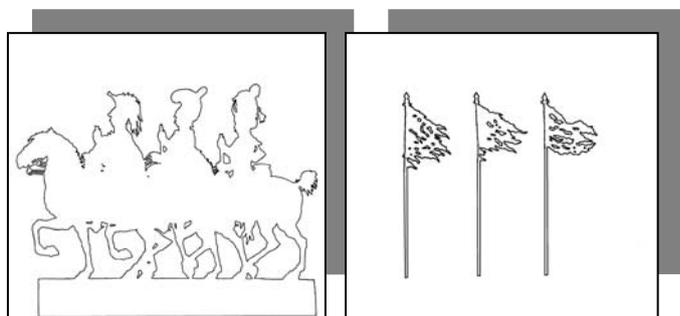
⁹⁶ Observations réalisées avec l'aide de Patricia Dal Pra, responsable de l'atelier textile de l'INP.

PLANCHE. VII : Hypothèses de fabrication de la silhouette des Trois cavaliers

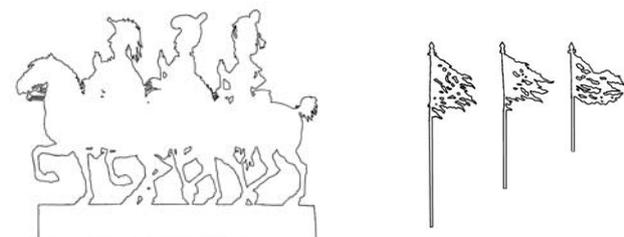
1. Dessins préparatoires



2. Collage du papier sur le zinc



3. Découpage de la silhouette et des étendards



4. Fixation des étendards au revers



Coupe stratigraphique des matériaux

Papier →

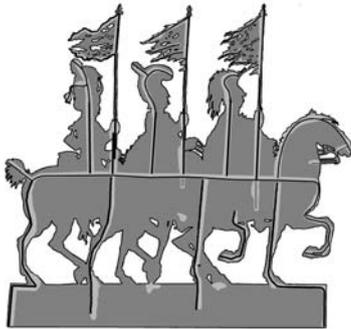
Papier →
Colle →
Zinc →

Papier →
Colle →
Zinc →

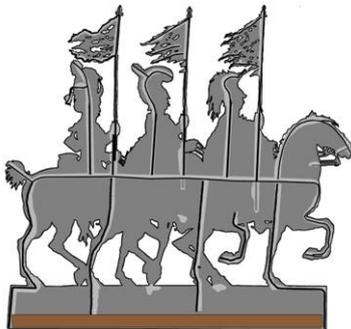
Papier →
Colle →
Zinc →
Brasure →
Étendard →

PLANCHE. VII : Hypothèses de fabrication de la silhouette des Trois cavaliers

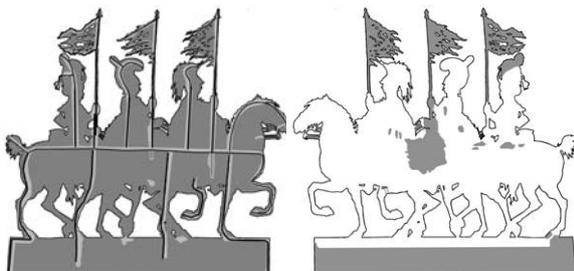
4. Fixation des armatures au revers



5. Pose du patin



6. Perte du patin et usure du papier (fabrication et usage)



7. Application d'une couche monochrome sur l'avant

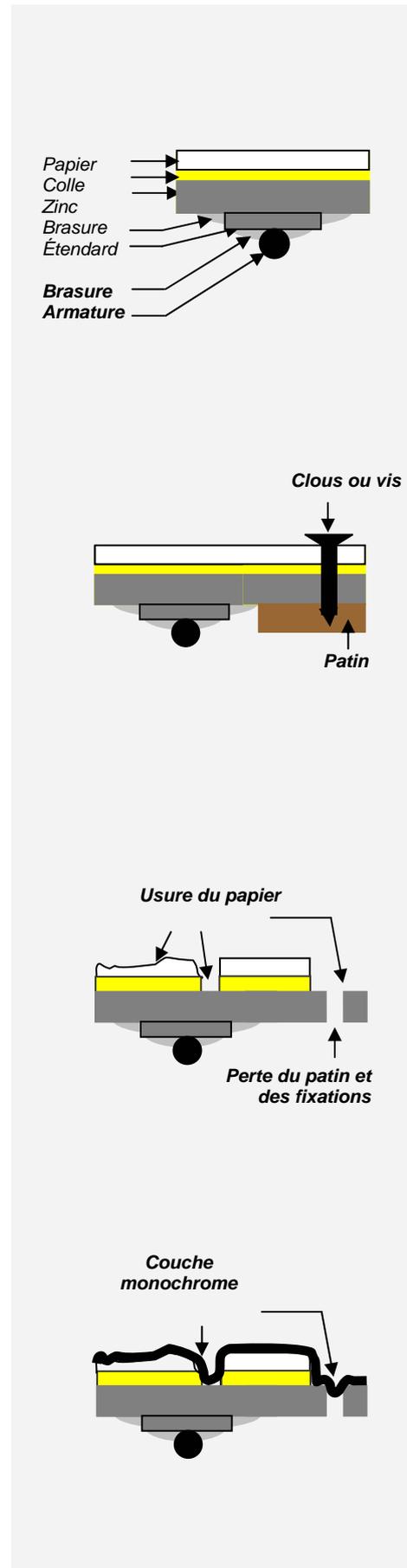
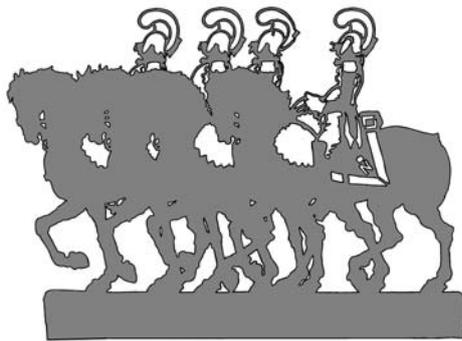


PLANCHE. VIII : Hypothèses de fabrication de la silhouette des Quatre cavaliers

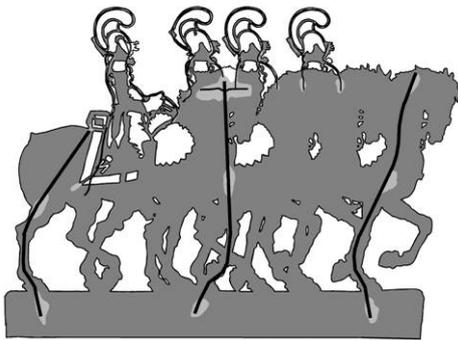
1. Conception

Décalcomanie d'un zinc dont la silhouette est projetée sur un drap ?
Report du dessin au crayon ou à la pointe sèche ?

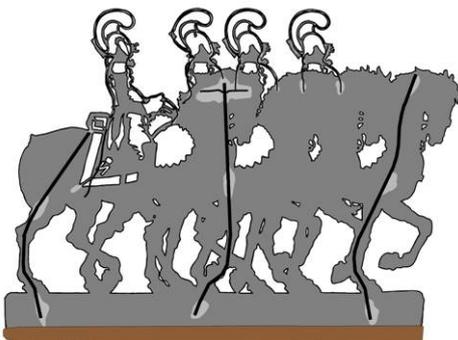
2. Découpage



3. Fixation des armatures



4. Pose du patin



Coupe stratigraphique des matériaux

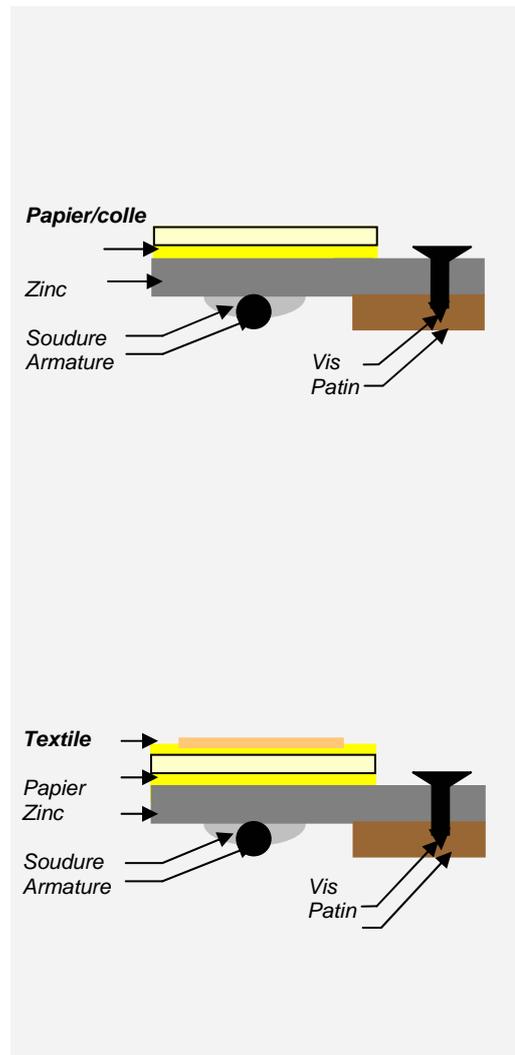
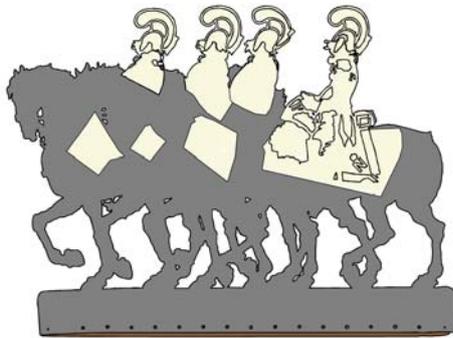
Zinc →

Zinc →
Brasure →
Armature →

Zinc →
Brasure →
Armature →
Vis →
Patin →

PLANCHE. VIII : Hypothèses de fabrication de la silhouette des Quatre cavaliers

5. Collage du papier



6. Collage du textile

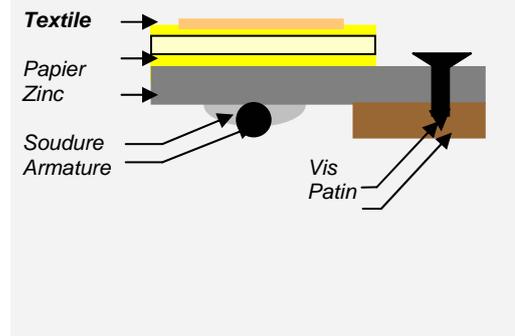
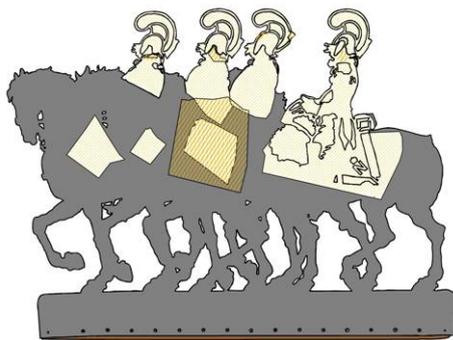
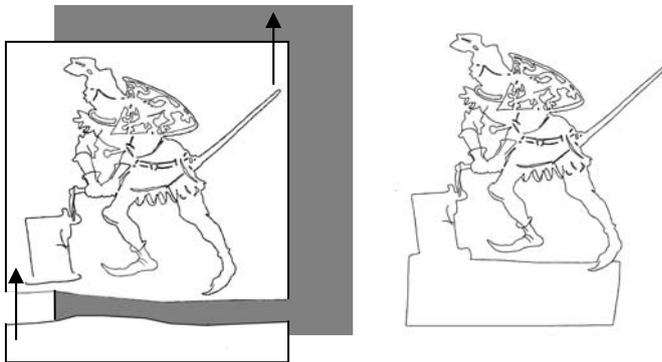


PLANCHE. IX : Hypothèses de fabrication de la silhouette du Guerrier

1. Dessin préparatoire



2 et 3. Ajout d'une bande de papier, collage et découpage



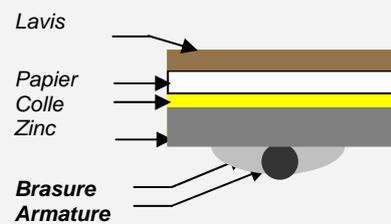
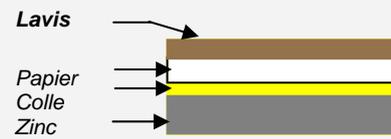
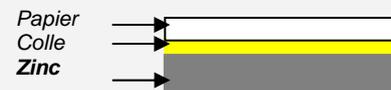
4. Application d'un lavis d'encre brune



5. Soudure des armatures



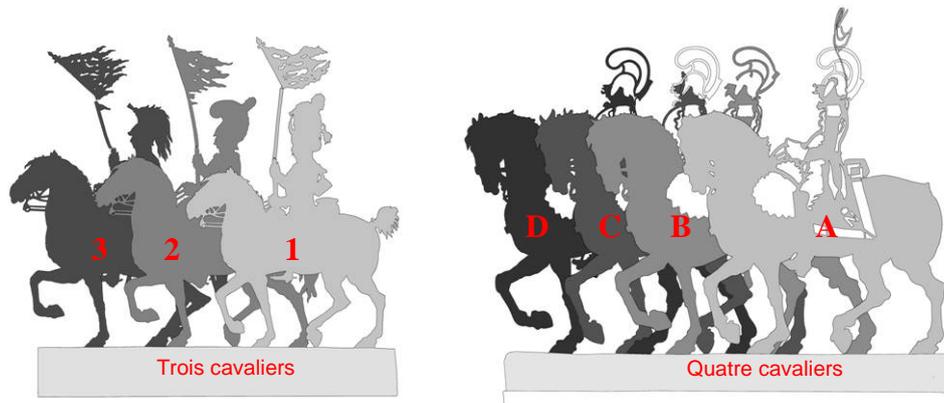
Coupe stratigraphique des matériaux



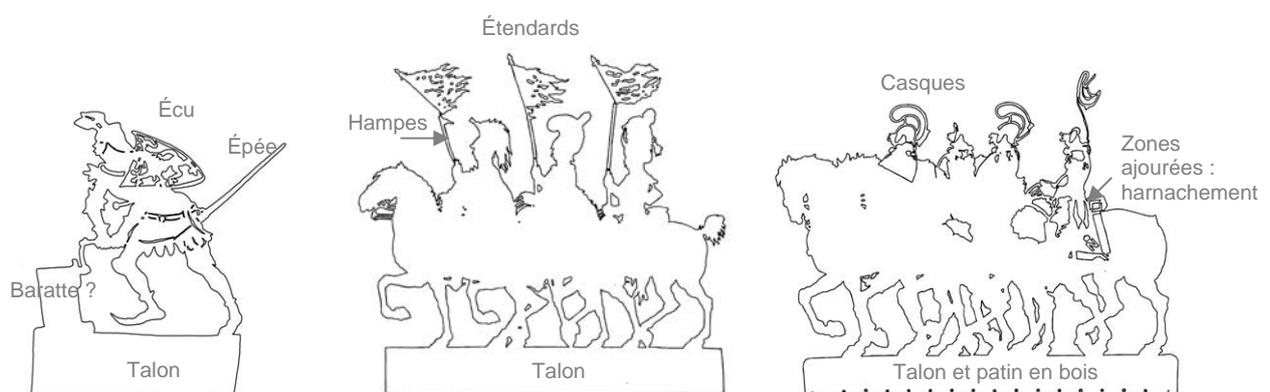
II. CONSTAT D'ÉTAT

La description des altérations des trois silhouettes est abordée simultanément ce qui permet d'obtenir une vue d'ensemble de l'état de conservation des œuvres. Nous avons aussi choisi de classer le document par type de dégradation et non par matériau afin de souligner les interactions entre les différents éléments constitutifs des œuvres. Nous pensons que cette approche transversale est plus en accord avec la spécificité des silhouettes et permet d'obtenir une vision globale des dégradations survenues sur les œuvres du Chat Noir. Des relevés individuels situés à la fin du document complètent ces observations.

Code descriptif des silhouettes :



Rappels iconographiques :



A. Altérations de structure

1. Déformations

- Déformation des métaux

Les plaques de zinc sont déformées. Le métal s'est affaissé sous l'effet d'une contrainte en épousant la forme des armatures en alliage ferreux, dont l'empreinte est désormais visible par l'avers en lumière directe. La photographie en lumière tangentielle permet de souligner ce phénomène.

Les principales zones déformées sont concentrées au niveau des bords du talon et sur toutes les extrémités saillantes des découpes. Ainsi, un élément de la queue du cheval des Trois cavaliers est plié, l'outil du guerrier est enfoncé, son épée est gondolée, et le talon des Quatre cavaliers est fortement soulevé.

Les armatures en alliage ferreux sont parfois tordues, n'épousent plus la forme de la découpe et n'assurent donc plus leur rôle structurel de renfort.



Fig. 55 : Déformation de la plaque de zinc sur les armatures.

© G. Vanneste.



Fig. 56 : Déformation du talon.

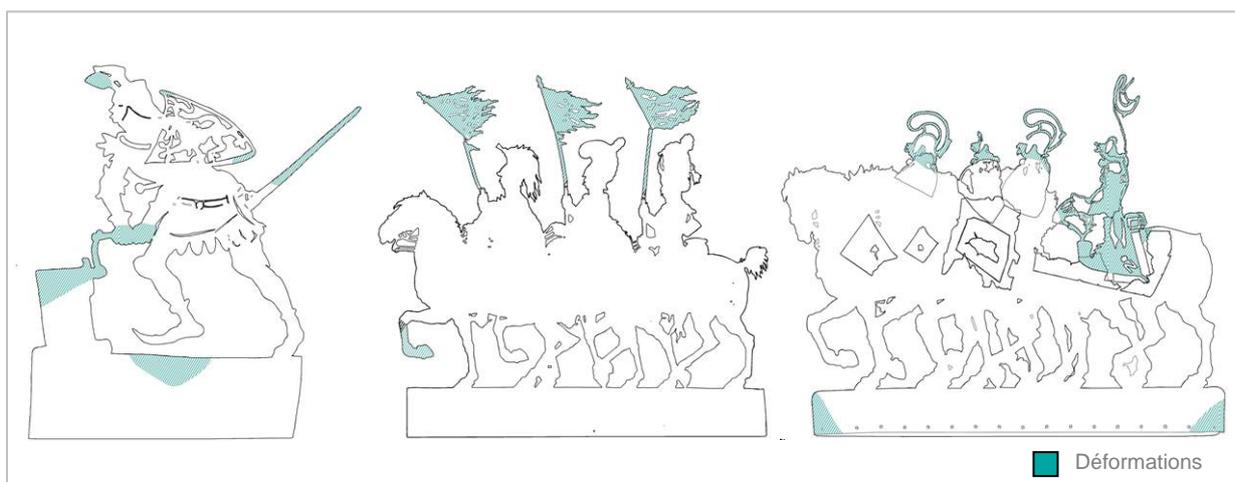


Fig. 57 : Relevé des déformations des supports de zinc.

Avers des silhouettes du Guerrier, des Trois cavaliers et des Quatre cavaliers.

- Déformation des papiers

Les déformations des papiers et du textile sont souvent localisées aux endroits d'enfoncement de la plaque de zinc, l'altération du support entraînant des dégradations sur la couche de surface. L'observation en lumière tangentielle révèle une matière irrégulière, granuleuse et qui présente d'importantes pliures.

2. Bris

Des éléments découpés en zinc et placés sur des zones saillantes sont brisés. Ils sont soit cassés de façon nette au centre de zones ajourées, soit maintenus solidaires par la présence d'armatures au revers. Les hampes des soldats de la plaque des Trois cavaliers se sont rompues en cinq endroits. Sur la silhouette des Quatre cavaliers, les casques sont cassés ainsi que toutes les zones découpées représentant le harnachement du cheval A. Tout autour de ces altérations, un réseau de fines fissures apparaît.

3. Lacunes

- Lacune des métaux

Les plaques métalliques sont peu lacunaires. Seule la silhouette des Quatre cavaliers a perdu la découpe de la tête du grenadier C et celle de la queue du cheval. Au revers de la plaque des Trois cavaliers il manque aussi la partie inférieure de deux hampes : il ne reste plus qu'une marque rectangulaire de leur emplacement dans la soudure qui conserve leur empreinte en négatif. Deux vis sont aussi absentes du patin.



Fig. 58 : Papier granuleux et déformé.
© G. Vanneste

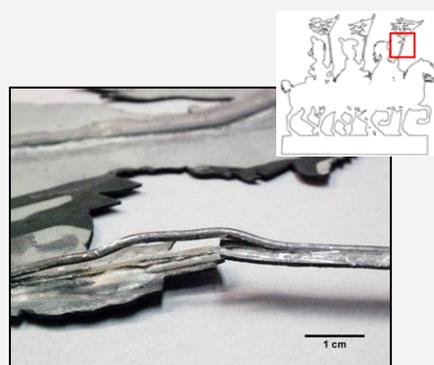


Fig. 59 : Cassure de la plaque de zinc sur la hampe du dragon et déformation de l'armature.



Fig. 60 : Perte du casque du cavalier C et lacunes de papier.
© G. Vanneste.

- Lacunes des papiers

La silhouette du Guerrier présente la plus importante perte de matière au niveau du talon puisqu'une bande de 330 mm de long sur 80 mm à 100 mm de large a disparu en laissant place à d'importants résidus de colle. Les deux autres lacunes de taille importante sont situées dans le coin supérieur gauche de la baratte et au niveau de l'épée, qui a presque perdu la totalité de sa surface de papier.



Fig. 61 : Lacune de papier sur le talon du Guerrier. © G. Vanneste.

La silhouette des Trois cavaliers est moins lacunaire. Nous avons vu dans la partie technologique que des papiers ont disparu pendant la période d'usage de la plaque, ce qui a dû être à l'origine de la mise en teinte de la surface. Ces lacunes sont uniquement visibles en lumière rasante car situées sous la couche picturale. En revanche des pertes de papier de taille réduite laissent le métal sous-jacent apparent principalement au niveau des casques et de l'antérieur du cheval 3.



Fig. 62 : Lacune de papier sur l'antérieur du cheval 3 de la silhouette des Trois cavaliers. © G. Vanneste.

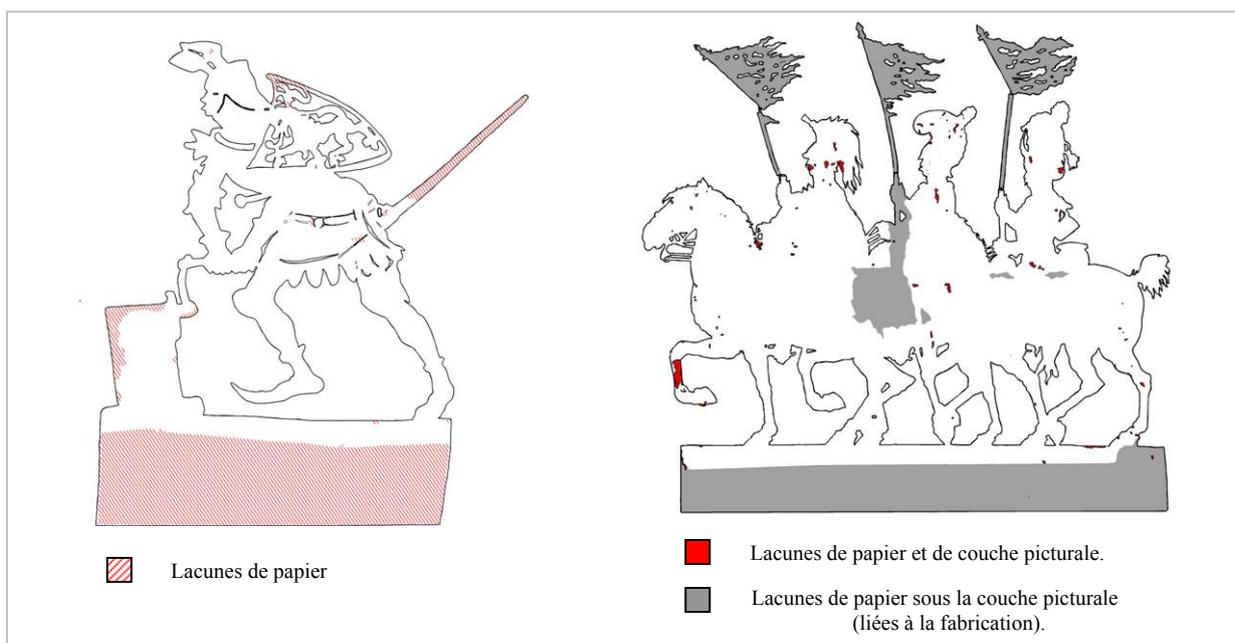


Fig. 63 : Relevé des lacunes de papier et de textile ; avers des silhouettes du Guerrier et des Trois cavaliers.

La silhouette des Quatre cavaliers est fortement altérée. Les zones ajourées couvertes de papier sont toutes perforées et lacunaires. Des résidus de matière organique indiquent que des éléments devaient aussi être collés au niveau du harnachement et des casques des soldats.

- Lacunes du textile

La grande pièce de toile de coton située sur les Quatre cavaliers est percée en son centre. Ses bords sont effilochés et des résidus de colle montrent qu'il manque au moins un centimètre de matière tout autour de l'élément. Des morceaux de fibres sont aussi restés collés sur les bases des casques.



Fig. 64 : Lacune de papier sur le cavalier A de la silhouette des Quatre cavaliers. © G. Vanneste.

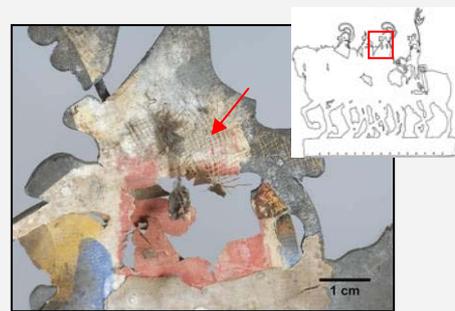


Fig. 65 : Résidus de textile collé sur le papier la cuirasse des Quatre cavaliers.

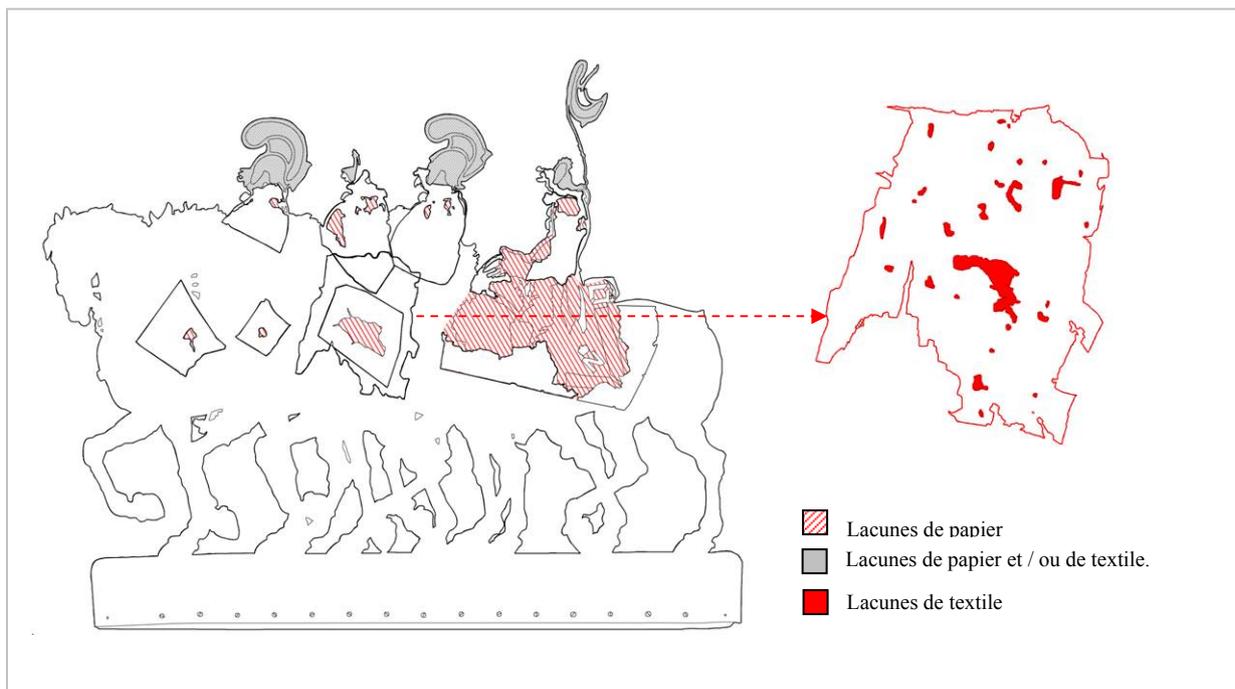


Fig. 66 : Relevé des lacunes de papier et de textile ; avers de la silhouette des Quatre cavaliers.

4. Perforations

Dans les zones perforées, la matière est souvent déformée ou déchirée, qu'il s'agisse du métal, de la couche picturale ou du papier. Le Guerrier est perforé sur le bras gauche du personnage, et de multiples trous sont visibles sur le talon de la silhouette des Trois cavaliers. Ils sont de diamètre variable et pratiqués de la face vers le revers.

La partie inférieure droite du patin est fragilisée et présente des pertes de matière. À cet endroit s'observent des perforations de 0,20 cm de diamètre creusées perpendiculairement et parallèlement aux veines du bois.

5. Fissurations

Les fissurations concernent les parties métalliques fortement déformées ou brisées. De nombreuses soudures à l'étain se sont ainsi partiellement détachées du support de zinc et se sont décollées le long des armatures en alliage ferreux. Lorsque l'altération structurelle est très importante, un réseau de fentes se développe dans l'épaisseur de la feuille de métal.

6. Déchirures

Les papiers sont devenus cassants et sont tous déchirés aux abords des zones de lacunes. Certaines fentes sont particulièrement longues comme sur la silhouette des Quatre cavaliers qui présente des altérations de près de 4 cm. Les pourtours du textile devenu rigide après encollage se sont altérés. Les fibres sont cassées, effilochées ou repliées sur elles-mêmes.

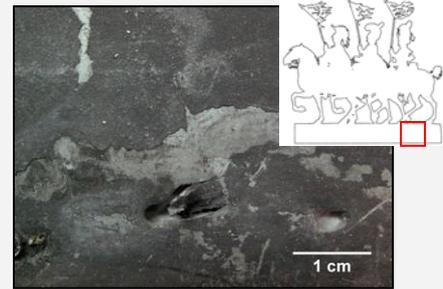


Fig. 67 : Perforations multiples du talon des Trois cavaliers et déformations des zones percées.



Fig. 68 : Perforations du patin des Quatre cavaliers.



Fig. 69 : Fissuration de la soudure, cavalier 2.

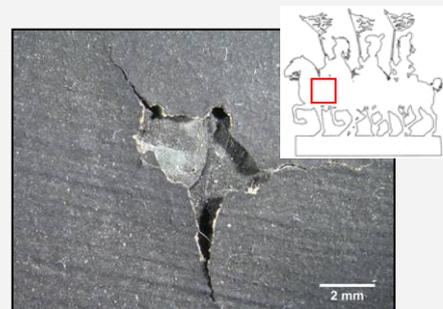


Fig. 70 : Déchirure du papier autour d'une lacune.

7. Soulèvements

Les soulèvements se trouvent aux abords des zones de perte de papier ou de textile et présentent parfois des déformations et des pliures. Ils sont visibles sur chacune des silhouettes et peuvent atteindre de grandes surfaces de près de 3 cm² sur la silhouette des Quatre cavaliers. À l'interface zinc-papier se sont développés des produits de corrosion.

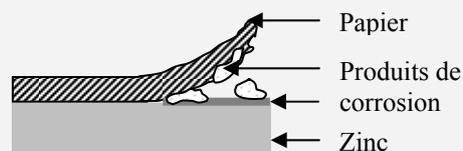


Fig. 71 : Schéma des zones soulevées avec développement de produits de corrosion à l'interface zinc- papier.

8. Perte de cohésion

- La couche picturale noire appliquée sur l'avant des Trois cavaliers est pulvérulente : le passage d'un coton sec provoque un décollement des pigments.
- Nous observons aussi un phénomène de microfissuration développé sur les coulures de matière au revers de l'œuvre. De petites bulles se sont formées lors de la mise en œuvre entraînant l'apparition de cratères après évaporation du solvant aqueux. Des fentes se sont ensuite propagées entre ces zones qui sont devenues plus poreuses mais demeurent cependant peu friables.
- Enfin des déplacements de couche picturale sont survenus sur la partie inférieure du talon.

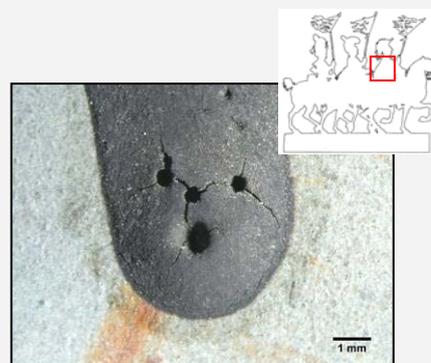


Fig. 72 : Fissuration des coulures de peinture noire.

9. Réparations

Des modifications de structure ont été apportées aux silhouettes du Guerrier et des Trois cavaliers. Pour la première des armatures ont été soudées sur le revers afin d'apporter une plus grande rigidité à la feuille de métal, et sur la seconde des joints ont été réalisés sur les sabots des chevaux 2 et 3 afin de renforcer des parties découpées à des endroits sensibles.



Fig. 73 : Brasure recouvrant une ligne de casse au niveau des sabots des Trois cavaliers.

B. Altérations de surface

1. Empoussièrément

L'empoussièrément est généralisé, important et constitué de deux couches : une première superficielle composée de particules pulvérulentes et une seconde inférieure, plus adhérente, concentrée dans les zones de creux, et étendue sur tout l'avant de l'œuvre. La poussière est aussi plus épaisse sur le dessus des armatures situées aux revers des silhouettes.



Fig. 74 : Empoussièrément incrusté dans la couche picturale.

2. Dépôts divers

- *Marque* : Un trait de crayon est appliqué sur l'avant de la silhouette du Guerrier. Il ne semble pas avoir la même fonction que celui situé au revers des Trois cavaliers et ne paraît donc pas être lié à la fabrication. La ligne fait au maximum 1 mm de large, elle est irrégulière, interrompue au niveau des découpes du décor et présente une couleur rouge orangée.

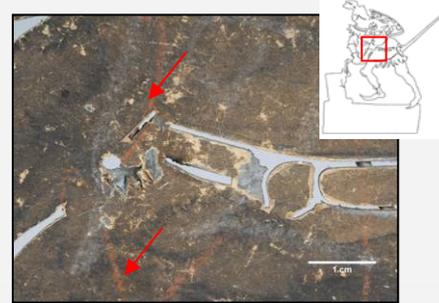


Fig. 75 : Trait orangé appliqué directement sur le zinc et suivant les formes des découpes du métal.

- *Dépôts* :

- Des dépôts blancs, adhérents et localisés, sont concentrés au niveau du coin inférieur droit du talon des Trois cavaliers. Ils sont circulaires et de petite dimension ce qui fait penser à une projection.

- Un film jaune-orangé et adhérent est situé sur la tête du cheval 3 de la plaque des Trois cavaliers.

- Enfin, certaines taches blanches de faible épaisseur, présentes sur le grenadier, sont marquées d'une empreinte digitale.



Fig. 76 : Gouttelettes de peinture blanche projetées sur la couche picturale noire.

- *Fibres mêlées à des poussières* : Des amas de poussière mêlés à des fibres végétales et des toiles d'araignées se trouvent accrochées aux hampes des Trois cavaliers ainsi que sur la silhouette des Quatre cavaliers. Des fibres sont aussi emprisonnées dans les résidus de colle et les produits de corrosion.
- *Auréoles* : Des coulures d'eau ont marqué la couche picturale noire des Trois cavaliers, créant un front de liant mélangé à de la poussière.

3. Usures

Les usures sont multiples et visibles par contraste de couleur entre la couche de papier et la polychromie ou par contraste de brillance entre des zones corrodées et des zones à l'éclat métallique

- *Sur le métal*, les rayures et les usures sont localisées surtout sur les armatures et sur les brasures placées en relief par rapport à la planéité de la feuille de zinc.
- *Le papier* est usé sur l'ensemble du Guerrier. Cette altération est particulièrement visible car le lavis a disparu dans ces zones, ce qui laisse la fibre jaune beige apparente. Les frottements sont le plus souvent concentrés sur les bords des découpes, et sur les zones où le papier n'est pas totalement plan (pliures du papier, déformation du métal qui apparaît convexe). La couche de polychromie noire des Trois cavaliers est aussi altérée : son épaisseur est irrégulière et apparaît fine près des zones de rayures. Enfin les papiers collés sur la silhouette des Quatre cavaliers peuvent être épidermés et défibrés sur de larges zones, entraînant la disparition de la surface.

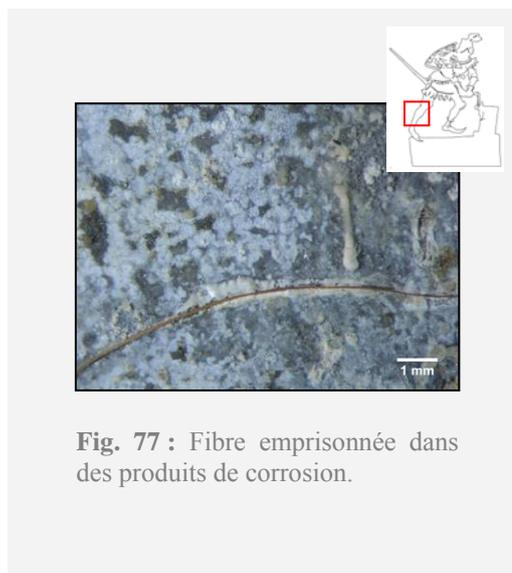


Fig. 77 : Fibre emprisonnée dans des produits de corrosion.

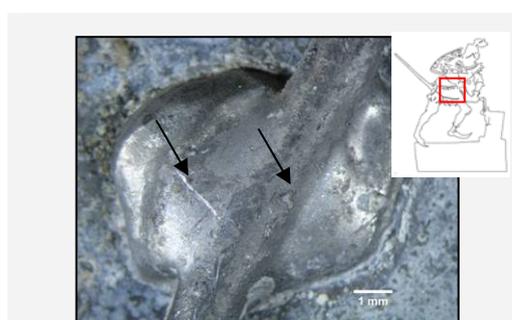


Fig. 78 : Rayures multiples sur les brasures.



Fig. 79 : Usure du lavis d'encre brune et des fibres du papier de la main droite du Guerrier.

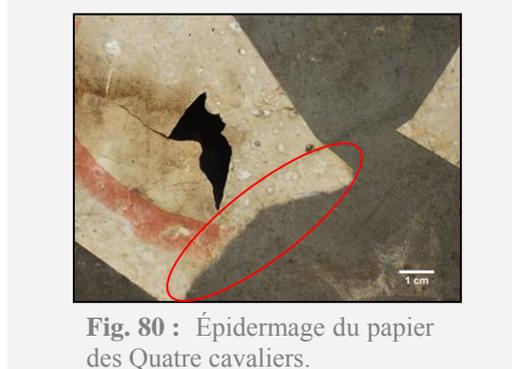
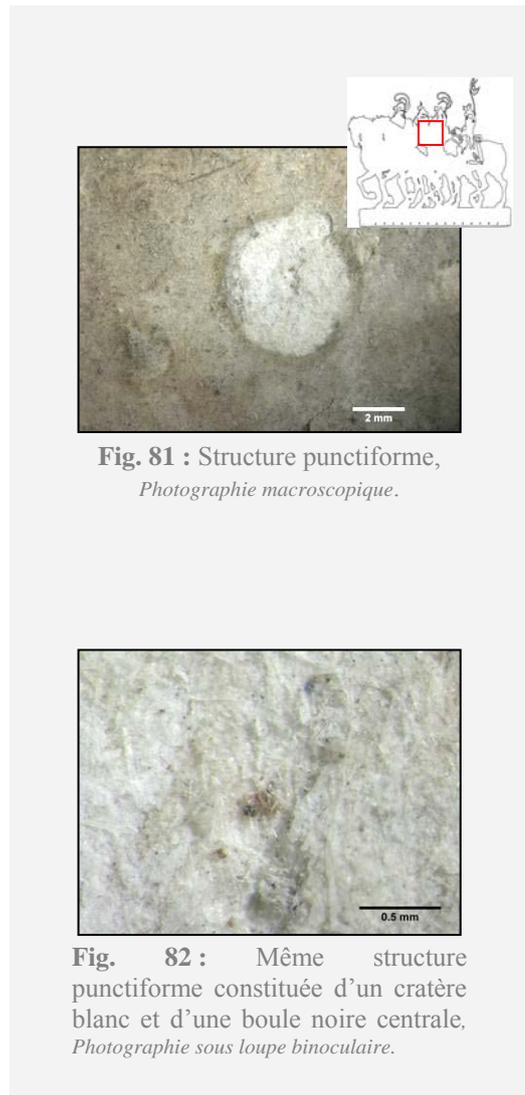
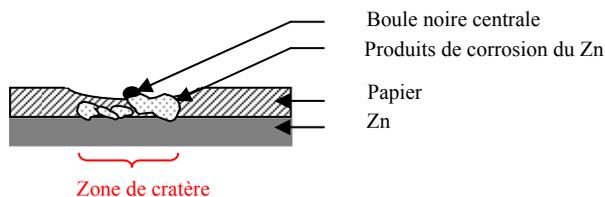


Fig. 80 : Épidermage du papier des Quatre cavaliers.

4. Structures fongiques

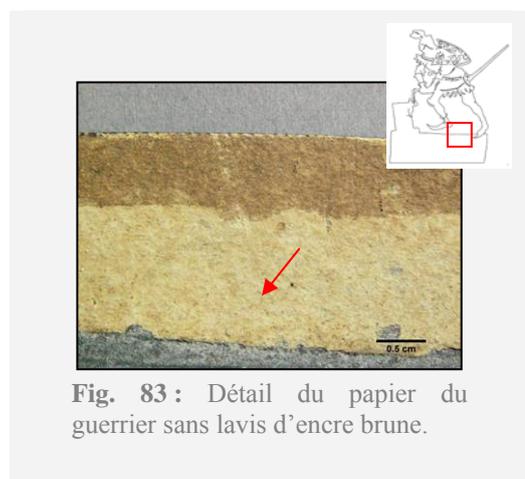
- *Structures punctiformes.* Un examen visuel, puis sous loupe binoculaire, a révélé la présence de taches localisées sur les éléments de papier de la silhouette des Quatre cavaliers. Elles sont formées de deux parties : un centre constitué d'une boule noire de très petites dimensions et une auréole périphérique circulaire de couleur claire. Ces taches, relativement nombreuses, sont légèrement creusées dans le papier et les fibres rompues à ces endroits. Des produits de corrosion du zinc y sont aussi mêlés.

- *Taches brunes.* D'importantes taches brunes sont situées sur les papiers et les textiles de la silhouette des Quatre cavaliers.



5. Jaunissement du papier

Nous ne savons pas dans quelle mesure les papiers ont jauni. Nous constatons simplement des différences de colorations entre les œuvres qui présentent pourtant des pâtes de papier aux compositions similaires⁹⁷. La silhouette du Guerrier est plus particulièrement dégradée tandis que le papier de la silhouette des Trois cavaliers semble avoir été mieux conservé sous la couche picturale noire.



⁹⁷ Excepté pour le Guerrier, voir Annexe, Rapport d'analyse des fibres de papier.

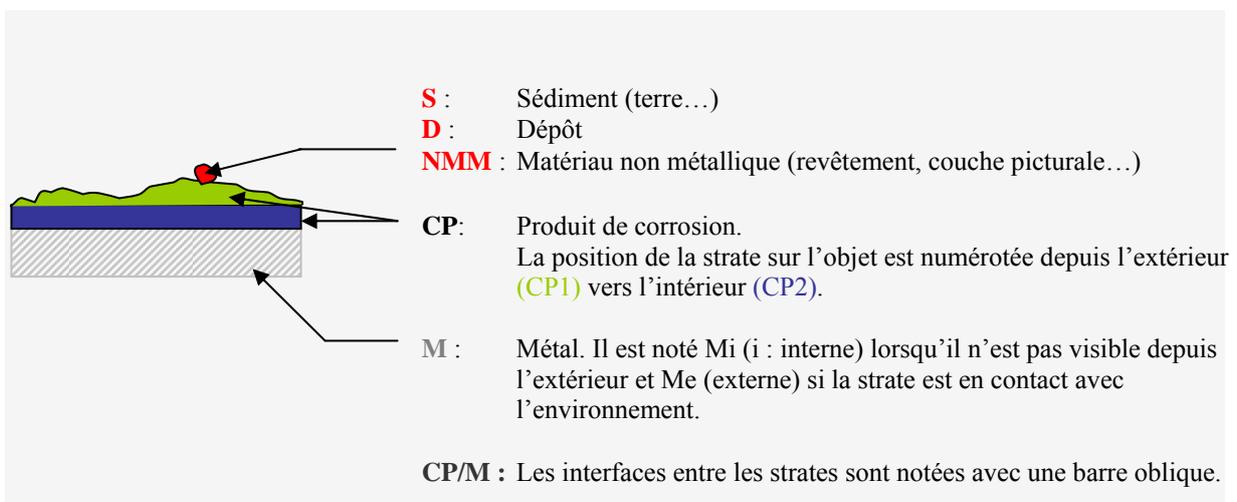
6. Corrosion des métaux

• *Méthode de description de la corrosion.* La principale altération physico-chimique des métaux consiste en la formation de produits de corrosion. Ces couches sont souvent multiples, ont un aspect irrégulier et le vocabulaire utilisé pour les décrire peut manquer de précision et d'uniformisation. Afin de remédier à ce problème, Régis Bertholon⁹⁸ a établi une méthode de description de la corrosion basée sur une observation minutieuse des surfaces et des interfaces. Nous avons décidé d'utiliser ce document⁹⁹ qui sert de référence à de nombreux restaurateurs de matériaux métalliques.

La description de la corrosion conduit à distinguer quatre formes qui sont à chaque fois schématisées et documentées par des photographies :

- ❖ Corrosion généralisée du zinc,
- ❖ Corrosion perforante du zinc,
- ❖ Corrosion du zinc près des brasures,
- ❖ Corrosion de l'alliage ferreux.

• *Définition des termes de l'examen.* L'observation est faite depuis la couche de surface vers l'intérieur du matériau. L'examen a été mené sous loupe binoculaire (grossissement x 30) et les hypothèses d'identification des strates ont été obtenues par analyse et déduction¹⁰⁰.



⁹⁸ BERTHOLON (R.), 2002, p. 56-65.

⁹⁹ Pour cette étude, le document a été synthétisé.

¹⁰⁰ Voir diagnostic.

a. Corrosion généralisée du zinc

Nous distinguons deux morphologies : une couche supérieure blanche, granuleuse et hétérogène mêlée à de la poussière, des sédiments terreux ou des fibres végétales et une autre couche sous-jacente de couleur grise, uniforme et qui paraît stable. Cette corrosion est dite généralisée puisque toutes les surfaces métalliques des silhouettes comportent ces caractéristiques.

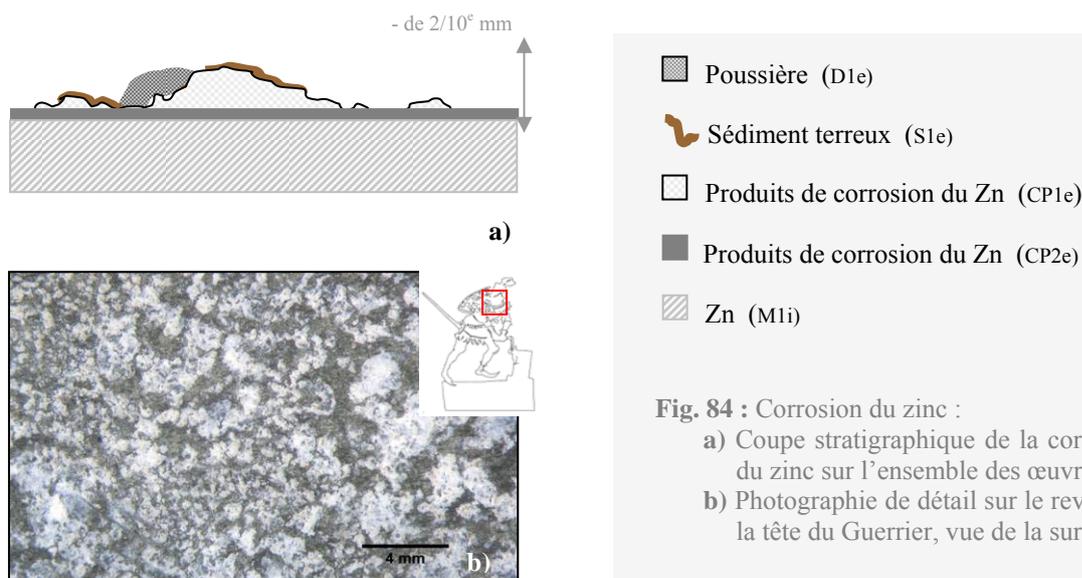


Fig. 84 : Corrosion du zinc :

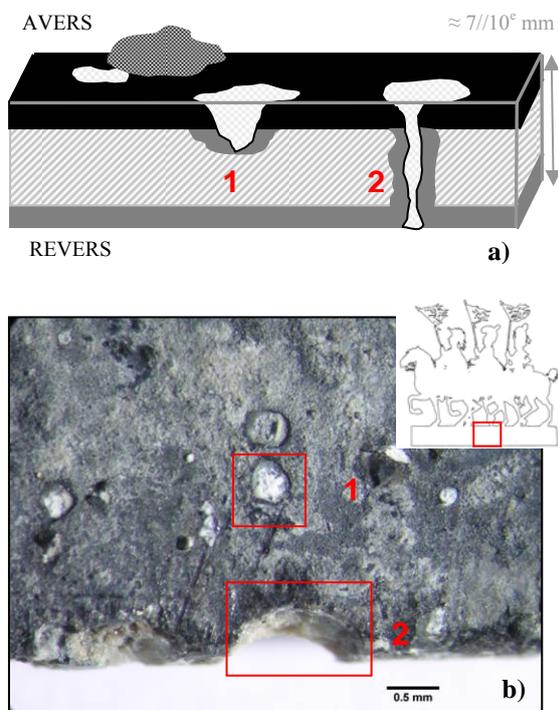
- a) Coupe stratigraphique de la corrosion du zinc sur l'ensemble des œuvres.
b) Photographie de détail sur le revers de la tête du Guerrier, vue de la surface.

Tableau 1. Description des différentes strates des zones corrodées : Corrosion généralisée.

Type de strate	Morphologie et hypothèses d'identification	Microstructure	Couleur	Texture	Relation entre les strates
S1e	VOILE, strate isolée Sédiment terreux	non observable	opaque, sans éclat, brun rabattu	clivage imparfait	S1e/CP1e : transition diffuse
CP1e généralisée	AMAS, strate dispersée Hydroxydes de Zn	microstructure cristalline, avec faciès d'agrégats de type pulvérulent	translucide, éclat vitreux, blanche	pulvérulente, clivage imparfait	CP1e/CP2e : interface à profil onduleux, transition diffuse
CP2e (Zn)	FILM, strate continue Oxyde et/ou carbonates de Zn	non observée	opaque, éclat faiblement satiné, gris foncé	compacte, sans aucune porosité observée, sans fissures ; clivage non observable	CP2e/M1i : interface lisse et sub-rectiligne, transition progressive
M1i	Strate continue Zn	non observée	opaque, éclat métallique, gris clair		

b. Corrosion perforante du zinc

Les talons des silhouettes des Trois cavaliers et des Quatre cavaliers présentent un faciès de corrosion particulier : des piqûres ont perforé l'épaisseur de la plaque et quelques amas isolés de produits de corrosion blancs sont passés au travers de la couche picturale.



- Poussière (D1e)
- Couche picturale (NMM)
- Produits de corrosion du Zn (CP1e)
- Produits de corrosion du Zn (CP2e)
- Zn (M1i)

Fig. 85 : Corrosion perforante du zinc :
 a) Coupe stratigraphique de la corrosion perforante du zinc sur les Trois cavaliers.
 b) Photographie de détail sur le talon des Trois cavaliers, vue de la surface.

Tableau 2. Description des différentes strates des zones corrodées : Corrosion perforante du zinc.

Type de strate	Morphologie et hypothèses d'identification	Microstructure	Couleur	Texture	Relation entre les strates
NMM	Strate continue Couche picturale	non observable	opaque, sans éclat, noire		NMM/CP1e Interface lisse et onduleuse, transition nette et diffuse
CP1e Perforante	PIQURE, strate dispersée Hydroxydes de Zn ?	microstructure cristalline, strate grenue	translucide, éclat vitreux, blanche	clivage imparfait	
CP2e (Zn)	FILM, strate continue Oxyde et/ou carbonates de Zn	non observée	opaque, éclat faiblement satiné, gris foncé	compacte, sans aucune porosité observée, sans fissures ; clivage non observable	CP1e/CP2e : interface à profil onduleux, transition diffuse
M1i	Strate continue Zn	non observée	opaque, éclat métallique, gris clair		CP2e/M1i : interface lisse et sub-rectiligne, transition progressive

c. Corrosion du zinc près des brasures

Les brasures sont souvent accompagnées d'un dépôt blanc tirant sur le jaune, poudreux et épais. Ces résidus sont concentrés au niveau des tiges de l'alliage ferreux et suivent la forme des armatures et des flux de soudure.

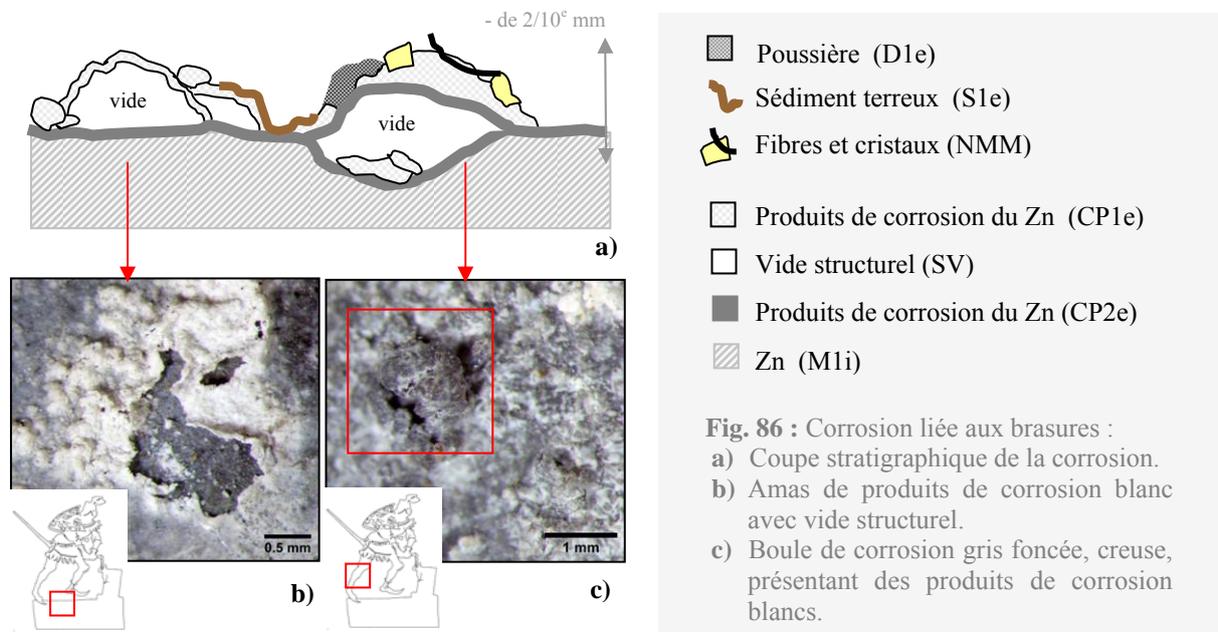


Tableau 3. Description des différentes strates des zones corrodées : Corrosion liée aux brasures.

Type de strate	Morphologie et hypothèses d'identification	Microstructure	Couleur	Texture	Relation entre les strates
S1e	VOILE, strate isolée Sédiment terreux	non observable	opaque, brun rabattu	clivage imparfait	S1e/CP1e : interface non visible avec la strate sous-jacente
NMM	FIBRES, NODULES, strate isolée Cristaux, graminées			bon clivage	NMM/CP1e : interface nette
CP1e brasures	AMAS, strate dispersée Chlorures de Zn	microstructure cristalline, strate grenue et globulaire avec vides structuraux	translucide, vitreuse, blanche	pulvérulente, clivage imparfait	CP1e/CP2e : interface à profil onduleux, transition diffuse
SV	VIDE STRUCTUREL				
CP2e (Zn)	FILM, strate continue Oxyde et/ou carbonates de Zn	non observée	éclat faiblement satiné, gris foncé	compacte, sans aucune porosité observée, sans fissures ; clivage non observable	CP2e/M1i : interface lisse et sub-rectiligne, transition progressive
M1i	Strate continue Zn	non observée	éclat métallique, gris clair		

d. Corrosion de l'alliage ferreux

Des produits de corrosion de l'alliage ferreux se sont formés le long des armatures non galvanisées et surtout sur les vis de fixation du patin. Ces produits sont peu épais, localisés, adhérents et de couleur rouge-orangé ; ils se sont aussi parfois déposés sur les brasures situées au revers de la silhouette des Quatre cavaliers. Aucune caractéristique de corrosion active n'a été décelée.

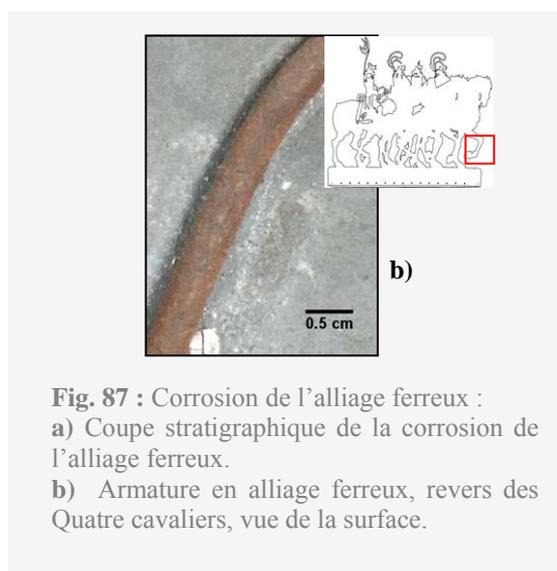
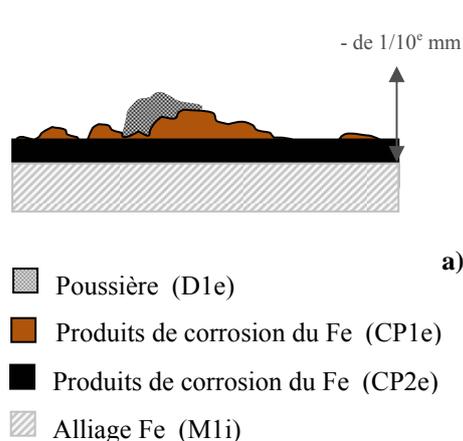


Fig. 87 : Corrosion de l'alliage ferreux :
a) Coupe stratigraphique de la corrosion de l'alliage ferreux.
b) Armature en alliage ferreux, revers des Quatre cavaliers, vue de la surface.

Tableau 4. Description des différentes strates des zones corrodées : Corrosion de l'alliage ferreux.

Type de strate	Morphologie et hypothèses d'identification	Microstructure	Couleur	Texture	Relation entre les strates
CP1e Armatures et vis	COUCHE continue Hydroxydes de Fe ?	non observée	Opaque, brun orangé profond	adhérente, clivage bon	CP1e/CP2e : interface à profil rectiligne transition nette
CP2e (Fe)	FILM, strate continue Hydroxydes + oxydes de Fe ?	non observée	éclat faiblement satiné, gris foncé	compacte, sans aucune porosité observée, sans fissures ; clivage non observable	
M1i	Strate continue Fe	non observée	éclat métallique, gris clair		CP2e/M1i : interface lisse et sub-rectiligne, transition progressive

Nous avons décrit les quatre formes de corrosion observées sur les œuvres. Les pages suivantes constituent des planches récapitulatives et individuelles des altérations rencontrées sur chacune des silhouettes.

PLANCHE X : Synthèse : altérations de la silhouette du Guerrier

Altérations de structure

➤ <i>Déformation de la plaque</i>	6 zones principales : <ul style="list-style-type: none">- enfoncement de la face vers le revers sur le haut du talon, sur la partie gauche de « la baratte », du bas de l'écu,- gondolement de l'épée,- soulèvement du revers vers la face du haut de l'écu et du heaume.
➤ <i>Perforation</i>	Bras gauche de la silhouette
➤ <i>Lacunes de papier</i>	4 zones principales : <ul style="list-style-type: none">- élément de raccord placé à la base du talon,- coin supérieur droit de « la baratte »,- presque totalité de la surface de l'épée.- partie supérieure de l'écu. Il reste sur le métal des résidus de colle mêlés à des produits de corrosion du zinc.
➤ <i>Soulèvements du papier</i>	Généralisé aux endroits de lacunes du papier ainsi que sur les bords des zones de découpe.
➤ <i>Réparations</i>	Pose d'armatures

Altérations de surface

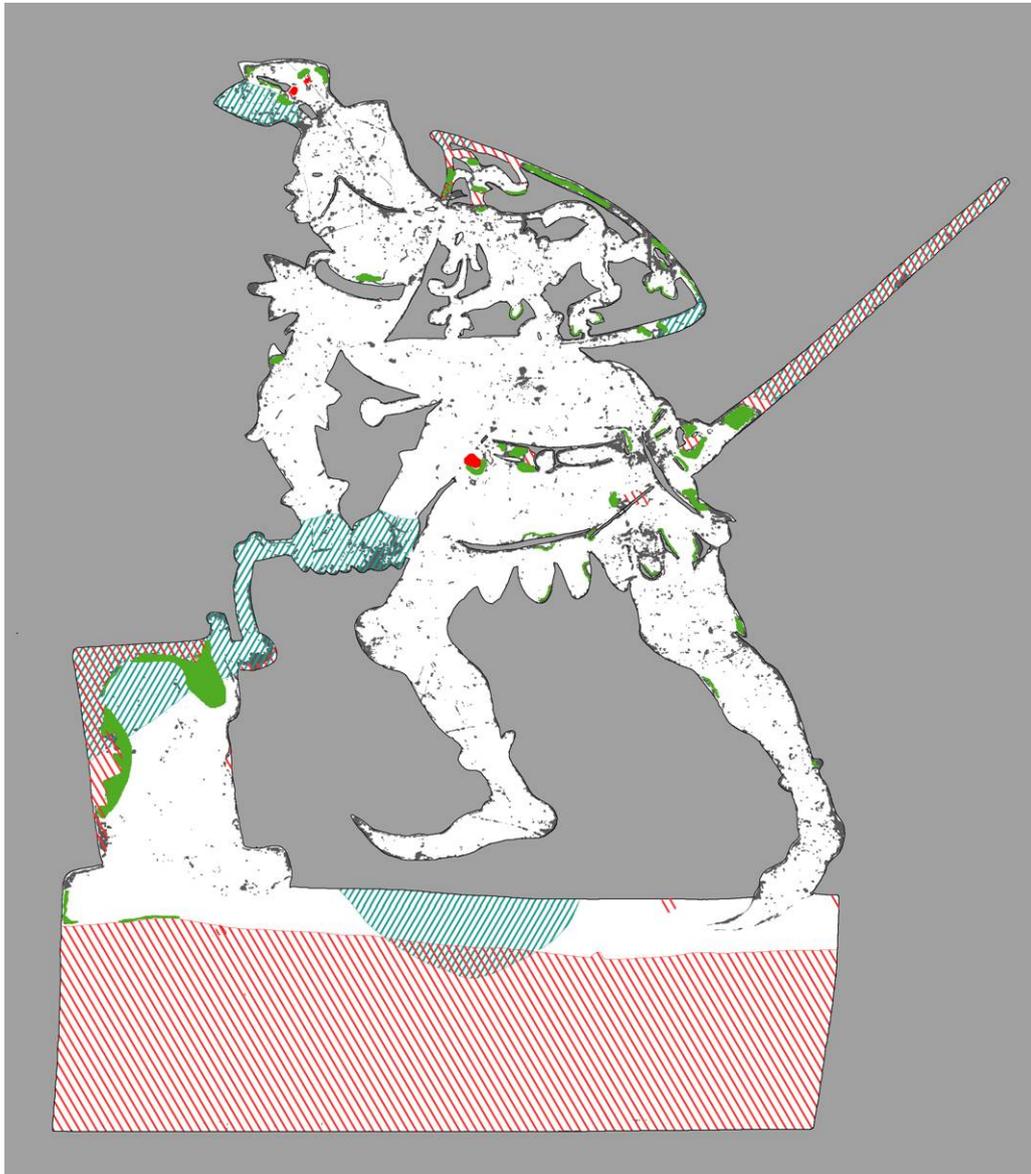
➤ <i>Empoussièrément</i>	Généralisé , accentué sur la face.
➤ <i>Dépôt</i>	Dépôt blanc, adhérent, dans le coin inférieur gauche de la baratte.
➤ <i>Usure</i>	Près des lacunes de papier, sur les zones déformées et en relief.
➤ <i>Jaunissement du papier</i>	Généralisé, visible sur le talon.
➤ <i>Corrosion généralisée du Zn</i>	Avers sous le papier, et revers au niveau du casque et du talon.
➤ <i>Corrosion du zinc près des brasures</i>	Le long des armatures et autour des points de brasure. La surface des armatures et des brasures est couverte d'une fine couche de produits stables.



III. 11. Silhouette du Guerrier : a) avers et b) revers.

PLANCHE X : Synthèse : altérations de la silhouette du Guerrier

Relevé des altérations du Guerrier, avers

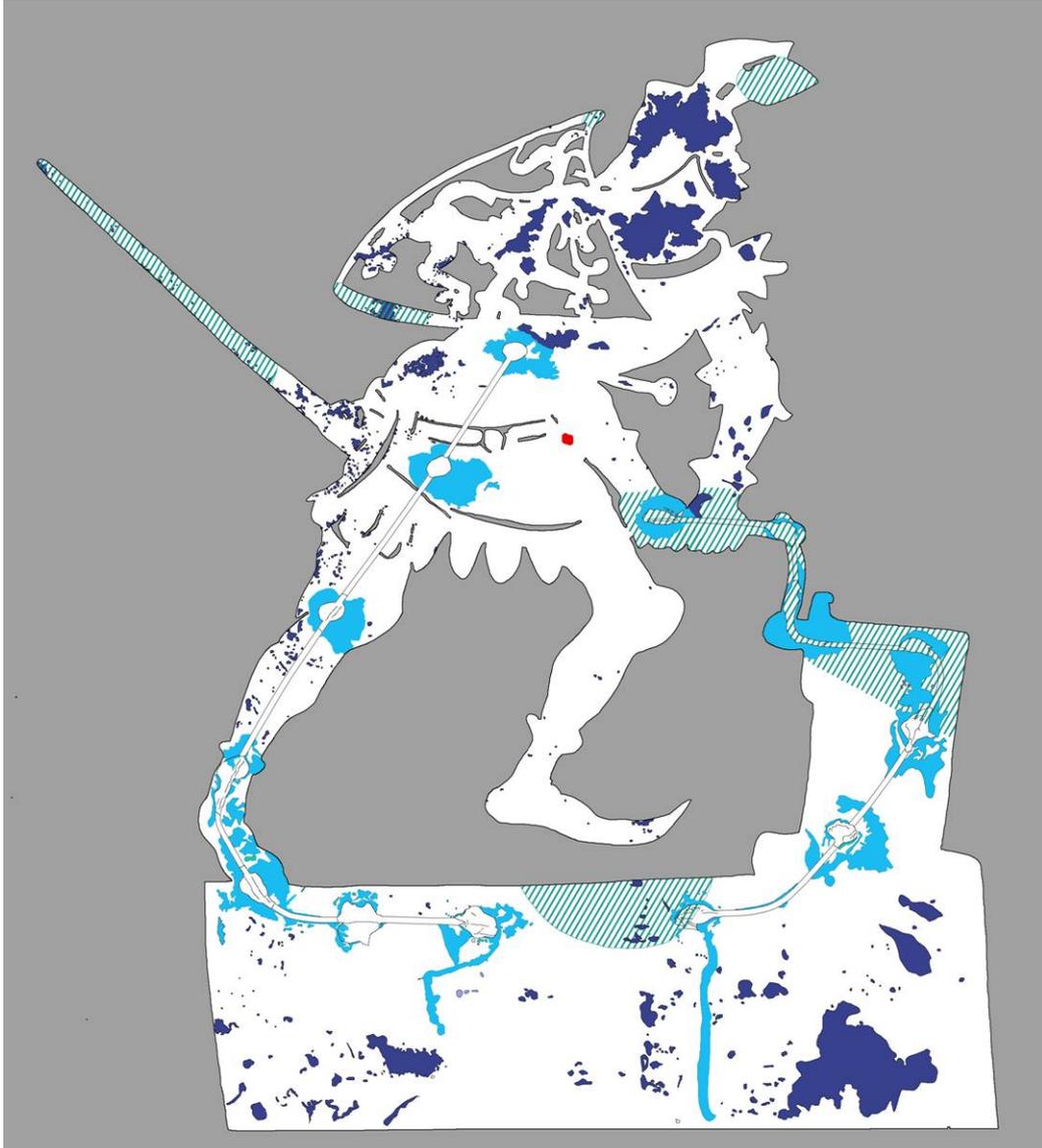


	Lacune de papier, résidus de colle et produits de corrosion du Zn
	Usure du papier
	Soulèvements du papier
	Déformation de la plaque de Zn
	Perforation de la plaque de Zn

SILHOUETTES D'OMBRES DU CABARET DU CHAT NOIR - MUSEES DE CHATELLERAULT
BENEDICTE MASSIOT - MEMOIRE INP DEPARTEMENT DES RESTAURATEURS, 2008

PLANCHE X : Synthèse : altérations de la silhouette du Guerrier

Relevé des altérations du Guerrier, revers



	Corrosion du Zn
	Corrosion du Zn et des brasures Sn-Pb
	Déformations de la plaque de Zn
	Perforation de la plaque de Zn

PLANCHE XI : Synthèse : altérations de la silhouette des Trois cavaliers

Altérations de structure

➤ <i>Déformation de la plaque</i>	3 zones principales : les hampes ainsi que les étendards (perte de verticalité), l'antérieur gauche du cheval du cuirassier (cavalier de gauche), une mèche de la queue est repliée sur le revers de la plaque.
➤ <i>Bris</i>	5 bris au niveau des hampes de chacun des cavaliers.
➤ <i>Lacunes de papier</i>	Lacunes de taille réduite sur l'ensemble de la face, surtout au niveau des casques des cavaliers. Antérieur gauche du cheval du cuirassier (près de 4 cm de long)
➤ <i>Fissuration</i>	Des brasures le long des hampes et du zinc aux abords des zones de bris.
➤ <i>Soulèvements du papier</i>	Généralisés aux endroits de lacunes du papier ainsi que sur les bords des zones de découpe. Antérieur gauche du Grenadier.
➤ <i>Perte de cohésion de la couche picturale</i>	Toute la surface de l'avvers et microfissuration des coulures dans les zones de surépaisseur sur le revers.
➤ <i>Réparation</i>	2 zones de brasure (au niveau des sabots des chevaux 2 et 3).

Altérations de surface

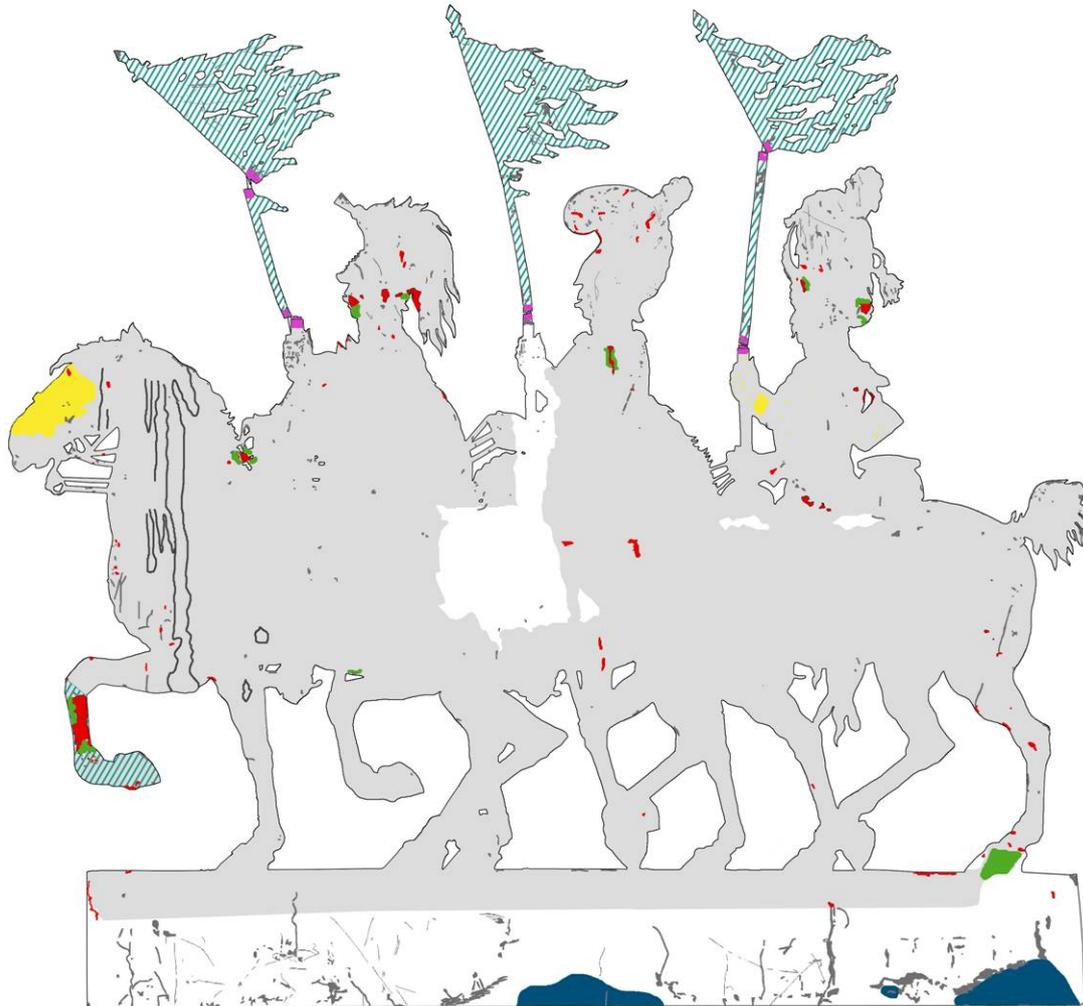
➤ <i>Empoussièrément</i>	Généralisé , incrusté dans les reliefs de la couche picturale et présent sur le dessus des armatures du revers.
➤ <i>Dépôts</i>	Face : film brun-rouge, coulures de peinture blanche, empreintes. Revers : résidus de colle, empreinte digitale noire.
➤ <i>Usures</i>	Près des lacunes de papier, sur les zones déformées, Usure importante de la polychromie sur le talon. Rayures généralisées : dans le papier ou sur les armatures et les brasures.
➤ <i>Jaunissement du papier</i>	Léger, visible dans les zones de papier lacunaire.
➤ <i>Corrosion généralisée du Zn</i>	Au revers, sur le bas du talon, autour des perforations.
➤ <i>Corrosion perforante du Zn</i>	Sur la face, sur le bas du talon.
➤ <i>Corrosion du zinc près des brasures</i>	Le long des armatures et autour des points de brasure. La surface des armatures et des brasures est couverte d'une fine couche de produits stables.



III. 12. Silhouette des 3 cavaliers : a) avers et b) revers.

PLANCHE XI : Synthèse : altérations de la silhouette des Trois cavaliers

Relevé des altérations des Trois cavaliers, avers



• Altérations de structure

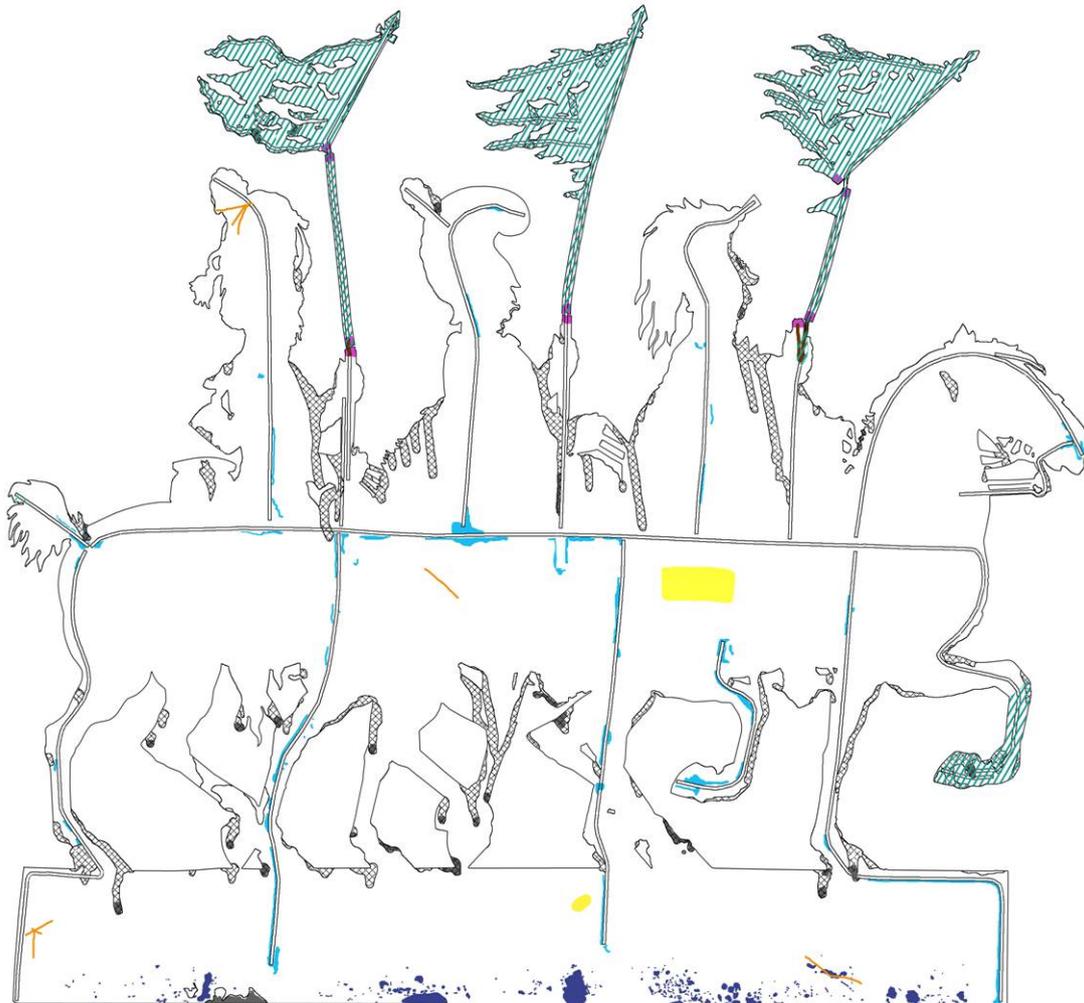
-  Déformation de la plaque de zinc
-  Bris
-  Lacunes de papier, résidus de colle et produits de corrosion du zinc
-  Zone de conservation du papier sous la couche picturale
-  Soulèvements du papier

• Altérations de surface

-  Usures du papier et de la couche picturale
-  Dépôts
-  Coulure d'eau
-  Corrosion perforante du zinc

PLANCHE XI : Synthèse : altérations de la silhouette des Trois cavaliers

Relevé des altérations des Trois cavaliers, revers



• Altérations de structure

-  Déformation de la plaque de zinc
-  Bris
-  Corrosion Zn-Sn-Pb
-  Corrosion Zn
-  Corrosion de l'alliage ferreux

• Altérations de surface

-  Usure : rayures principales
-  Usure de la couche picturale et microfissuration
-  Dépôts
-  Coulures de couche picturale

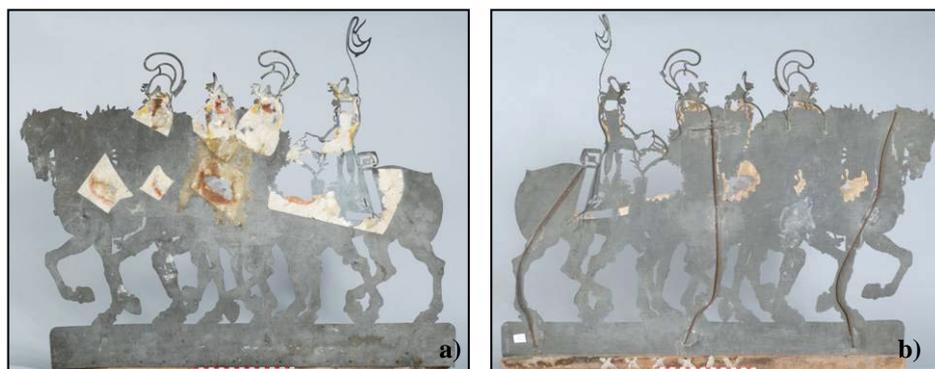
PLANCHE XII : Synthèse : altérations de la silhouette des Quatre cavaliers

Altérations de structure

➤ <i>Déformation de la plaque</i>	3 zones principales : les casques, le harnachement, les deux extrémités inférieures du talon.	
➤ <i>Bris</i>	17 zones de bris, localisées sur les casques et le harnachement : ruptures du Zn avec déformation de l'armature au revers, rupture Zn-Zn	
	<i>Métal :</i>	
	Perte de la tête du 3 ^{ème} cavalier et de la queue du 1 ^{er} cheval.	
	<i>Papier :</i>	<i>Textile :</i>
➤ <i>Lacunes</i>	- au centre des zones placées au-dessus des découpes du Zn (harnachement et croupelin), - sur les parties saillantes du zinc (casques).	- zone centrale placée au-dessus d'une découpe de Zn, - restes de fragments à la base des casques.
➤ <i>Perforations</i>	Partie inférieure droite du patin : fissuration, pertes de matière	
➤ <i>Fissuration</i>	Des brasures le long des hampes et du zinc aux abords des zones de bris.	
➤ <i>Déchirures</i>	Sur chaque morceau de papier placé au-dessus d'une découpe de zinc, pouvant atteindre 4 cm de long.	
	<i>Papier :</i>	<i>Textile :</i>
➤ <i>Soulèvements</i>	Généralisés et importants aux endroits de lacunes du papier ainsi que sur les bords des zones de découpe.	La presque totalité du textile est soulevé, la perte d'adhésion est très importante.

Altérations de surface

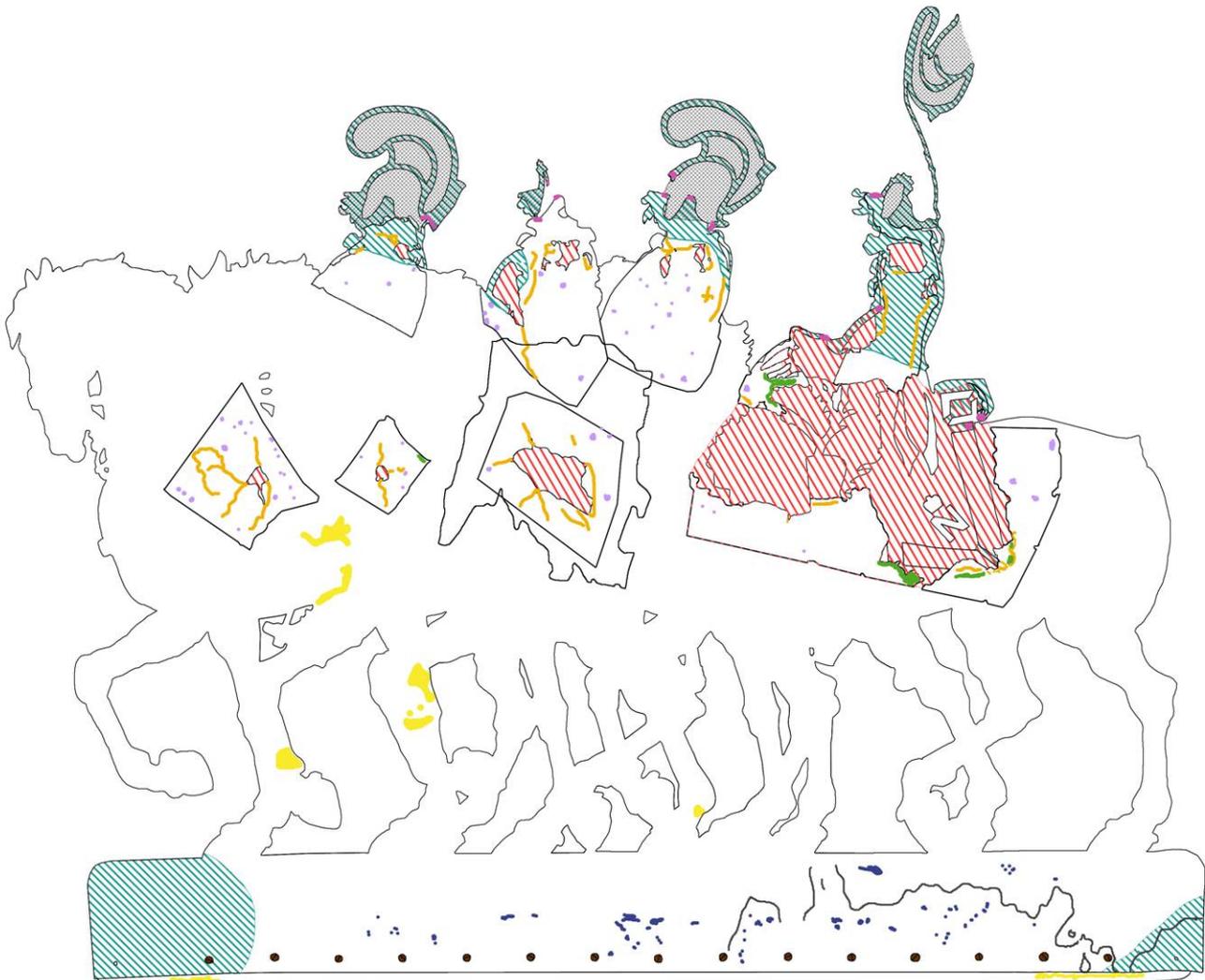
➤ <i>Empoussièrement</i>	Généralisé, mélangé à des produits de corrosion et des résidus de colle sur la face, et très importants sur le revers (sur le dessus des armatures et du patin).
➤ <i>Dépôts</i>	Blanc, adhérent entre le bois du patin et le zinc du talon.
➤ <i>Usures</i>	Généralisées. Rayures horizontales sur la face du talon.
➤ <i>Taches blanches punctiformes et taches brunes</i>	Taches blanches punctiformes généralisées. Taches brunes sur les textiles et papiers centraux.
➤ <i>Jaunissement du papier</i>	Hétérogène et étendu à tous les éléments.
➤ <i>Corrosion généralisée du Zn</i>	Localisée, sous forme de taches isolées.
➤ <i>Corrosion du zinc près des brasures</i>	Le long des armatures et autour des points de brasure.
➤ <i>Corrosion perforante du zinc</i>	Importante et étendue à l'ensemble de l'œuvre sous les dépôts et la poussière.
➤ <i>Corrosion de l'alliage ferreux</i>	3 armatures principales.



Ill. 13. Silhouette des 4 cavaliers : a) avers et b) revers.

PLANCHE XII : Synthèse : altérations de la silhouette des Quatre cavaliers

Relevé des altérations des Quatre cavaliers, avers



• Altérations de structure

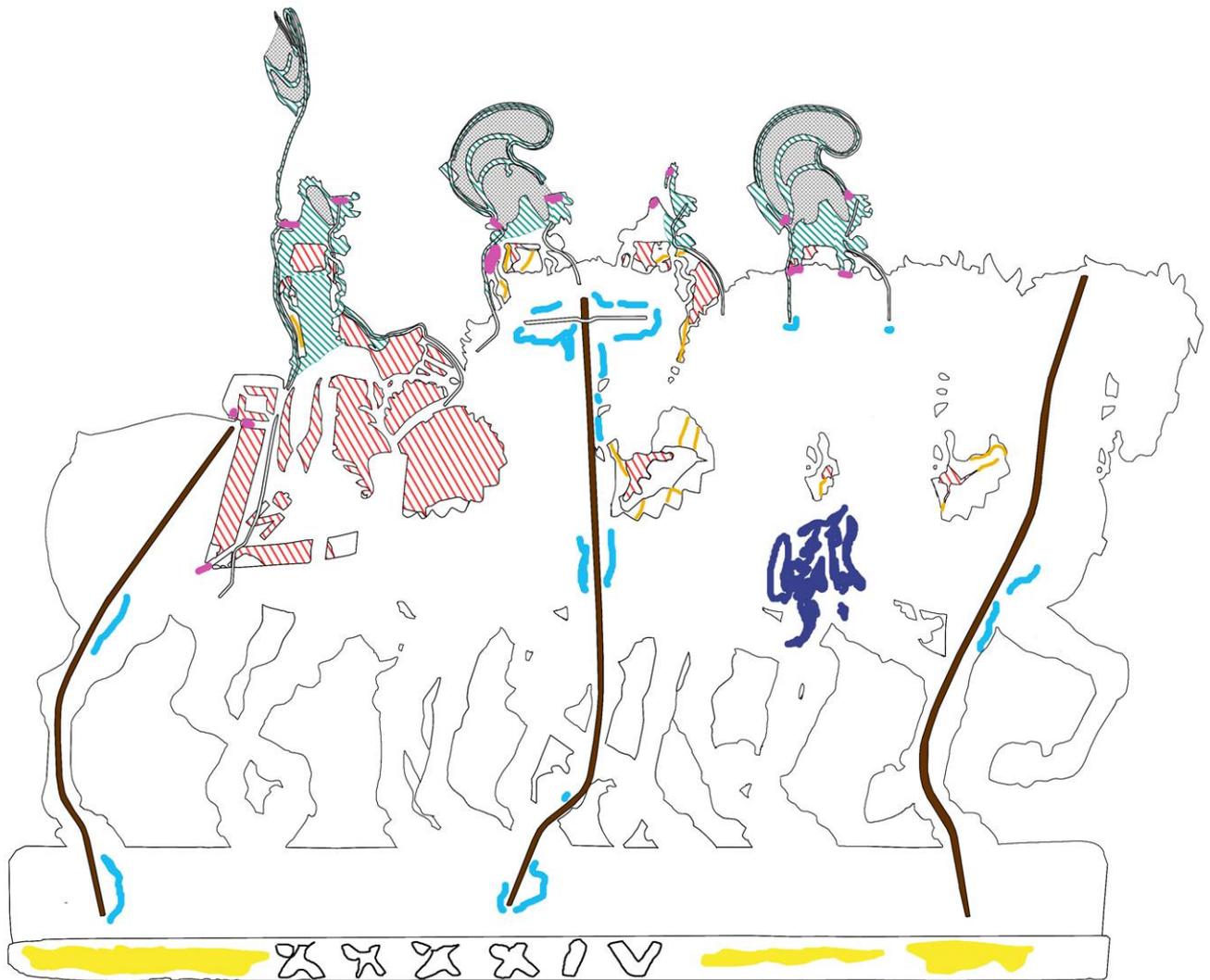
-  Déformation de la plaque de zinc
-  Bris
-  Lacune de papier
-  Soulèvements du papier
-  Lacune de papier et de textile

• Altérations de surface

-  Usure : rayures principales
-  Dépôts
-  Structure fongique punctiforme
-  Cou lure d'eau
-  Corrosion généralisée du zinc
-  Corrosion de l'alliage ferreux

PLANCHE XII : Synthèse : altérations de la silhouette des Quatre cavaliers

Relevé des altérations des Quatre cavaliers, revers



• Altérations de structure

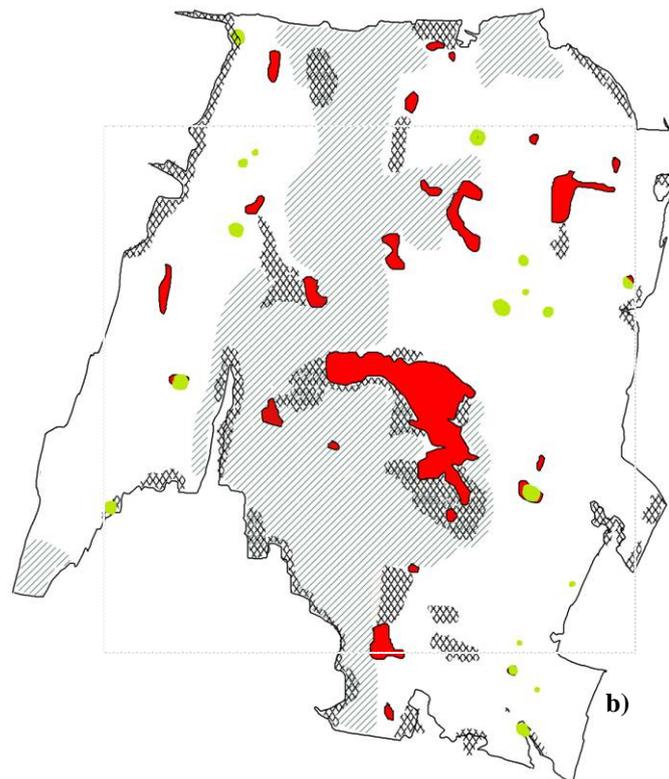
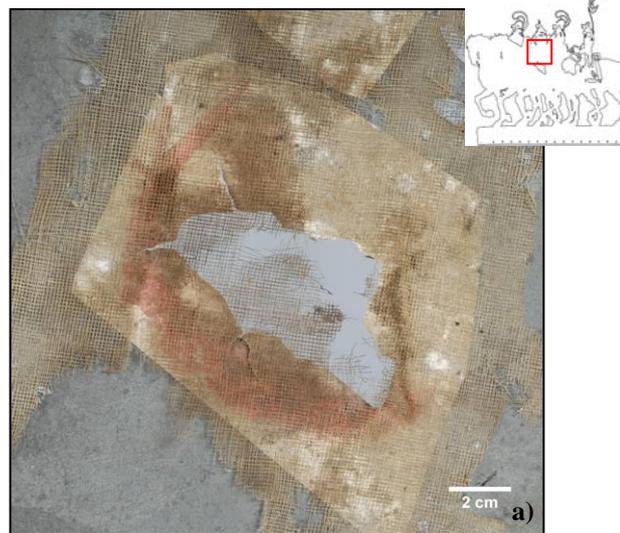
-  Déformation de la plaque de zinc
-  Bris
-  Lacune de papier
-  Soulèvements du papier

• Altérations de surface

-  Usure : rayures principales
-  Dépôts
-  Corrosion Zn-Sn-Pb
-  Corrosion du Zn
-  Corrosion de l'alliage ferreux

PLANCHE XII : Synthèse : altérations de la silhouette des Quatre cavaliers

Relevé des altérations du textile (fragment central)



	Lacunes
	Zones de fragilité mécanique d'importance
	Microorganisme (taches brunes)
	Microorganisme (taches blanches punctiformes avec amas de spores)

III. 14. Altérations du textile : a) photographie de la zone recouverte de textile et b) relevé des principales altérations.

III. DIAGNOSTIC

Après avoir observé les altérations présentes sur les silhouettes, nous allons maintenant rechercher les causes de ces dégradations. Elles ont été classées en fonction de leur origine puis nous avons évalué les risques que les œuvres encourent si aucune mesure de conservation n'est prise.

A. Altérations liées au conditionnement

1. Empoussièrément et dépôts

Les œuvres sont couvertes d'une épaisse couche de poussière qui renseigne sur le mode de conditionnement. Elle se trouve très incrustée dans les reliefs de la couche picturale noire de la silhouette des Trois cavaliers ce qui indique que l'objet a été posé à l'horizontal. En revanche l'empoussièrément de la plaque des Quatre cavaliers est plus important sur le dessus des armatures et sur le relief du patin en bois. Il semble donc que l'œuvre ait été stockée à la verticale. L'absence de protection des silhouettes est soulignée par la présence de multiples dépôts d'origines diverses : projection de peinture, fibres, amas de poussières contenant des fragments de mues d'insectes, coulures.

2. Déformation des plaques de zinc sur les armatures

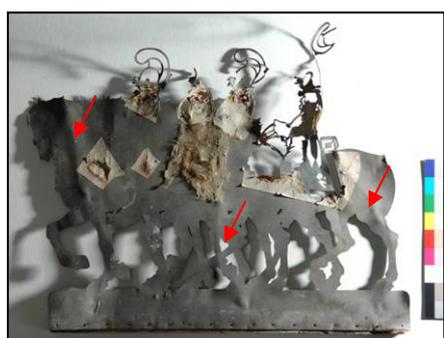


Fig. 88 : Déformation de la plaque de zinc au-dessus des armatures en alliage ferreux. © G. Vanneste..

Les plaques de zinc servant de support sont déformées: la silhouette a perdu la planéité que devait lui conférer la feuille laminée utilisée lors de la fabrication.

Le zinc est un métal ductile à température ambiante, qui a une dureté Brinell proche de 5 alors que le fer a une dureté supérieure comprise entre 45 et 55¹⁰¹. Lorsqu'un poids a été appliqué sur la face de l'objet, la feuille de zinc s'est écrasée autour d'armatures dont la résistance à la déformation est supérieure. Cette

altération est le résultat d'une longue sollicitation de la matière, appelée fluage. Elle correspond à un phénomène physique qui provoque la déformation irréversible d'un matériau

¹⁰¹ VOLFOVSKY (C.), 2001, tableau 4 « *Caractéristiques mécaniques des métaux et alliages* », p. 273.

ductile soumis à une contrainte constante pendant un temps imparti. Plus la durée de contrainte a été longue, plus la déformation permanente est importante. Les laminés anciens, constitués de zinc thermique, c'est-à-dire de zinc contenant une proportion non négligeable d'impuretés (plomb, fer, cadmium) présentent une dilatation et un fluage élevés.

Si la contrainte avait été forte et violente, une rupture du métal s'en serait suivie. Nous pensons donc que la déformation est liée au mode de conditionnement des objets, perpétué sur de longues années. Lorsque nous avons visité les réserves provisoires, nous avons vu que les œuvres étaient emballées dans du papier de soie, recouvertes de papier bulle puis superposées les unes sur les autres. Il est donc probable que ce conditionnement ait été employé pendant de longues périodes afin d'optimiser l'espace.

B. Altérations liées aux manipulations

1. Bris et lacunes des métaux

Certaines parties en zinc ayant subi des chocs mécaniques se sont brisées. Les armatures situées au revers se sont alors déformées sans se rompre et les brasures se sont détachées, soit du support en zinc, soit de la surface de l'alliage ferreux. Le plus souvent la brasure s'est complètement fissurée tandis que les tiges se sont étirées de façon irréversible sous l'impact des chocs mécaniques. Sur le harnachement de la silhouette des Quatre cavaliers, l'armature de la cuirasse du soldat est passée sur la face de l'œuvre. Pour se positionner à cet endroit, l'ensemble de la partie ajourée a dû subir une torsion ce qui a provoqué de multiples fractures dans cette zone.

Les métaux qui ont une structure cubique compacte, tel le cuivre, sont malléables, car les glissements d'atomes se font dans de nombreuses directions. En revanche, les structures hexagonales compactes ne possèdent qu'un ensemble de plans de glissement et ces métaux comme le zinc ou le cadmium ont tendance à être plus cassants. Le zinc est donc un métal qui est sensible aux chocs mécaniques, phénomène accentué par la finesse de la feuille employée et par la découpe de parties en saillies.

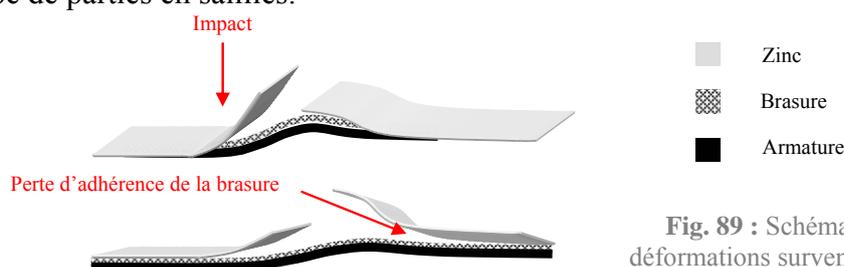


Fig. 89 : Schéma des déformations survenues à la suite de chocs mécaniques.



Fig. 90 : Bris ancien, la peinture s'est insinuée sur la tranche métallique.



Fig. 91 : Bris récent, la tranche métallique n'est pas corrodée.

- *Bris de la période d'usage* : Certaines casses remontent probablement à la période d'utilisation puisque de la peinture noire s'est insinuée dans une des fentes présente sur la plaque des Trois cavaliers. Comme nous avons démontré dans la partie technologique des œuvres que la couche noire avait certainement été appliquée à l'époque du Chat Noir, nous en déduisons que cette cassure est liée à une manipulation ancienne. D'autres bris ont pu survenir durant cette période mais aucune information ne permet de l'affirmer.

- *Bris de la période patrimoniale* : Des fractures plus récentes ont du survenir pendant la période de patrimonialisation des objets, comme l'atteste la fente située sur le bas du talon de la silhouette des Quatre cavaliers. En effet, la ligne de casse est brillante, l'éclat métallique bien visible, et le zinc ne s'est pas encore couvert d'une couche d'oxydes ou de carbonates stables et mats. Il est vraisemblable qu'un objet soit tombé sur le talon, provoquant la déformation du zinc à l'endroit de l'impact et occasionnant une fente à quelques millimètres.

2. Bris et lacunes des papiers et du textile

Les trois objets sélectionnés pour cette étude sont couverts de papiers lacunaires, plus particulièrement sur les zones ajourées du zinc des Quatre cavaliers. Des éléments sont passés au travers de ces parties fragiles et ont entraîné des pertes de matière importantes ainsi que l'apparition de longues déchirures. Selon la déformation de la feuille il est possible de connaître le sens de perforation. Il apparaît ainsi que les dégradations sont majoritairement survenues depuis la face vers le revers.

3. Usure des matériaux

Les usures sont multiples et la plupart sont réparties de façon aléatoire sur les objets, même si les zones de relief comme les brasures et les armatures sont plus fortement altérées. Certaines rayures verticales, concentrées au niveau du talon des Trois cavaliers, ont entraîné une perte de matière picturale qui fait apparaître le support en zinc. Elles ont dû être provoquées par des frottements répétés.

- *Sur la silhouette des Quatre cavaliers* un réseau de fines rayures horizontales est visible sur le bas du talon. Il est probable qu'il se soit formé suite aux manipulations de la plaque lors du jeu. En effet, les décors étaient manœuvrés sur un rail en bois et les zincs glissaient le long de l'écran pour donner l'impression de scènes animées. Des frottements ont dû survenir entre le talon, le drap et la glissière, provoquant des rayures parallèles et localisées.

- *La couche picturale noire de la silhouette des Trois cavaliers* recouvre d'anciennes lacunes de papier. Nous pensons que cette altération remonte à la période d'usage de l'œuvre puisque la grande majorité des plaques de *L'Épopée* présentent cette particularité alors qu'elles ont une histoire patrimoniale différente. Ces lacunes ont pu être provoquées lors de la découpe, la lame aurait arraché des éléments, ou par des frottements sur le drap du castelet.

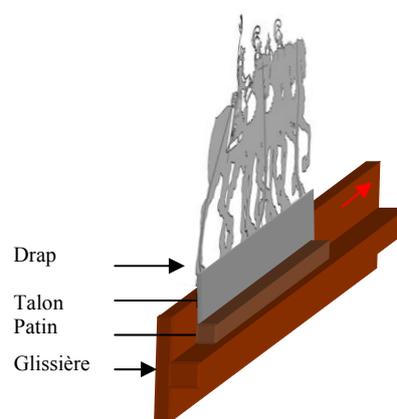


Fig. 92 : Schéma du montage de la silhouette sur la glissière lors des spectacles.

D'après l'explication de Mr Godement, marionnettiste, participe à la reconstitution des spectacles au musée d'Orsay.

4. Empreintes digitales

Des empreintes digitales sont présentes sur les surfaces métalliques. Ces marques se sont développées suite à la manipulation des objets sans protection. Des substances grasses ou acides liées à la sudation se sont déposées en surface et le métal s'est corrodé en suivant les lignes de l'empreinte.

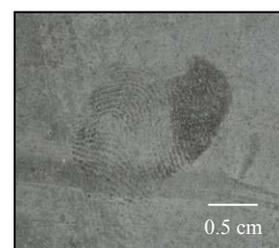


Fig. 93 : Corrosion du zinc suite à la dépose d'une empreinte digitale.

C. Altérations liées aux conditions environnementales

1. Ancienne infestation

Le patin en bois a subi une attaque d'insectes xylophages qui a fragilisé mécaniquement sa structure. De nombreux trous d'envols se trouvent dans le coin inférieur droit de la pièce qui n'est plus infestée suite au traitement d'anoxie effectué en 2006.

2. Contamination micro-biologique

- *Prélèvements et résultats d'analyse.* Les zones susceptibles de subir une attaque micro-biologique ont été prélevées par contact et par microéchantillon¹⁰². L'examen microscopique du dépôt blanc situé sur le patin en bois des Trois cavaliers et le voile blanchâtre situé sur la couche picturale du talon de la même plaque ne sont pas attaqués. Les micro-organismes sont absents des fibres de bois et aucune structure biologique n'est observable. En revanche, les papiers et le fragment de textile de la silhouette des Quatre cavaliers sont contaminés par des structures fongiques fréquemment rencontrées sur ces supports¹⁰³.
- *Facteurs de développement.* Les spores de ces champignons sont transportées par voie aérienne et se développent sur un substrat propice à leur développement. Les principaux facteurs de croissance des microorganismes sont la température, l'humidité et la poussière et des conditions favorables sont réunies lorsque la température est comprise entre 24 et 30°C pour une humidité relative de 65 à 80%¹⁰⁴. D'après l'histoire matérielle des objets, il semblerait que les silhouettes aient été conservées dans des locaux inadaptés, où l'humidité relative était importante.
- *Impact des micro-organismes.* Pour se nourrir les champignons ont puisé l'énergie nécessaire à leur croissance dans le substrat. Des cratères se sont formés aux endroits de consommation du papier et les fibres se sont rompues. Selon Michaela Berner, qui a réalisé les analyses micro-biologiques, ces altérations sont anciennes et les spores se sont réunies en amas dans l'attente de meilleures conditions climatiques. Quelques espèces sont aussi chromogènes ce qui explique la présence de taches colorées associées à certaines populations fongiques. Enfin il est possible qu'une interaction existe entre le métal et les micro-

¹⁰² Annexe 8, Rapports d'analyses, p. XXI.

¹⁰³ Sur le papier, quatre espèces fongiques se sont développées lors de la mise en culture: *Fusarium* sp., *Cladosporium* sp., *Penicillium* sp. et *Cladosporium herbarum*. La quantité de ces structures est faible, sauf pour les *Cladosporium herbarum* qui sont présents de façon importante. Sur le textile se trouvent deux espèces fongiques : *Fusarium* sp. et levure filamenteuses blanches.

¹⁰⁴ LIENARDY (A), VAN DAMME (P.), 1989, p. 9.

organismes qui peuvent sécréter des substances acides mais ces relations sont très difficiles à mettre en évidence.

3. Hydrolyse et oxydation des papiers et du textile

La dégradation de la cellulose est le résultat d'attaques multiples qui interagissent les unes avec les autres¹⁰⁵. Le processus d'altération se développe en premier lieu dans les zones amorphes de la molécule de cellulose qui sont plus relâchées et donc plus vulnérables que les zones cristallines. D'après le mode de conservation des objets, nous pensons que des phénomènes conjoints d'hydrolyse acide et d'oxydation se sont produits.

- *L'hydrolyse* apparaît en présence d'eau et d'acidité. Des ions hydrogènes agissent sur les atomes d'oxygène qui se trouvent sur la chaîne carbonée constituant la structure de la cellulose. Il se produit alors une rupture des chaînes polymériques avec une dégradation de la cellulose en glucose ou en autres substances. Les propriétés du papier sont modifiées ce qui se caractérise par une perte de résistance mécanique du matériau.

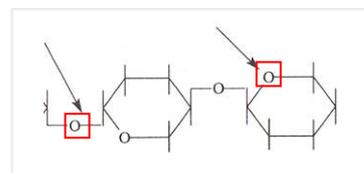


Fig. 94 : Hydrolyse de la cellulose. Points de rupture de la molécule. © Giovannini, 2004, p. 153.

- *L'oxydation* se produit en présence d'oxygène et de sels métalliques qui jouent le rôle de catalyseur en augmentant les vitesses de réaction. Cette altération se traduit par l'ouverture d'une molécule de glucose qui forme des groupes carboxyles susceptibles de se combiner avec de nombreux radicaux pour former des acides organiques.

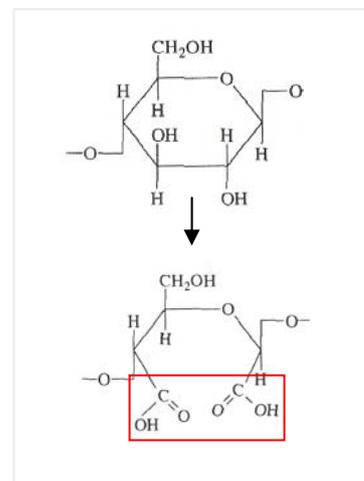


Fig. 95 : Oxydation sur la molécule de cellulose : formation des groupes carboxyles. © Giovannini, 2004, p. 151.

- De ces deux réactions résultent la formation de groupes chromophores, responsables du jaunissement du papier. Il peut aussi se produire un phénomène de réticulation caractérisé par la création de nouvelles liaisons entre les zones amorphes de la molécule, suite à la rupture de la chaîne. Le matériau devient alors rigide et cassant puisque les parties amorphes ne jouent plus leur rôle d'élasticité et de souplesse.

¹⁰⁵ GIOVANNINI (A.), 2004, p. 150 à 154 et LIENARDY (A.), VAN DAMME (P.) 1989, p. 62 à 65.

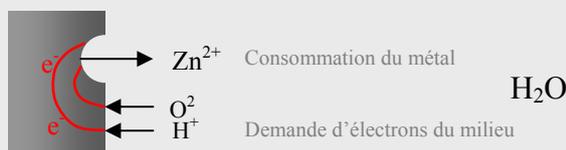
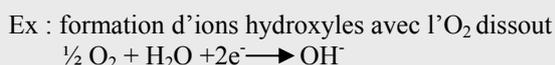
4. Corrosion atmosphérique des métaux

Principe de corrosion :

La fabrication d'un matériau métallique à partir d'un minerai nécessite un apport d'énergie qui est donné lors de l'oxydation puis de la réduction d'un composé. Pour obtenir du zinc, il faut procéder à une calcination de calamines (minerai contenant des carbonates de zinc) ou à un grillage des blends (minerai contenant des sulfures de zinc). Le métal obtenu à la sortie des fourneaux a emmagasiné de l'énergie qu'il va libérer spontanément au contact de certains milieux. Il s'agit de la loi de thermodynamique selon laquelle tout système tend vers un niveau d'énergie minimale. La corrosion correspond donc à une interaction du métal avec l'environnement, qui se fait au travers d'une perte d'électrons cédée par le matériau et qui est appelée oxydation.



La plupart des phénomènes de corrosion sont de nature électrochimique. Le métal, qui est un conducteur électronique, adsorbe des substances en surface dont de l'eau atmosphérique qui joue le rôle d'électrolyte. Au sein de ce milieu, des échanges anodiques et cathodiques se font avec l'eau (H^+ , OH^-), des polluants (O_2 , $CO_2\dots$), ou des substances dissoutes (Na^+ , $Cl^- \dots$).



- *Corrosion généralisée du zinc.* La couche de produits homogène de couleur gris foncé qui recouvre l'ensemble des silhouettes est considérée comme une corrosion uniforme. Au contact de l'environnement des micro-piles se créent qui attaquent point par point le métal et recouvrent toute la surface d'un film de faible épaisseur.

Ces produits de corrosion ont été analysés par diffraction de rayons X¹⁰⁶ et correspondent à de la zincite, ou oxyde de zinc¹⁰⁷. Ils ont dû se développer au contact de l'eau atmosphérique et des gaz solubles. Cette couche est considérée comme une protection naturelle du métal qui limite les échanges ioniques avec le milieu puisqu'au bout de quelques mois l'attaque se ralentit¹⁰⁸.

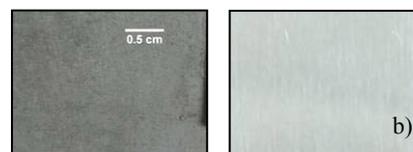


Fig. 96 : Comparaison entre a) une surface de zinc oxydée et b) des échantillons de zinc non corrodé, à l'éclat métallique visible.

¹⁰⁶ Annexe 8 : Rapports d'analyses, p. XXIII.

¹⁰⁷ Nous pensons aussi que des carbonates basiques de zinc de couleur grise peuvent recouvrir le métal, mais ces produits n'ont pas été détectés lors de l'analyse et n'ont peut-être pas été prélevés en quantité suffisante.

¹⁰⁸ GADEAU (R.), 1959, p. 102 ; GRISSOM (C.A.), 1994, p. 291.

Au-dessus de cette couche stable, des amas de produits de corrosion blancs et hétérogènes se sont formés sur le revers des silhouettes. L'analyse par diffraction X¹⁰⁹ n'a pas pu caractériser ces produits car ils présentaient une structure amorphe. Ce cas est relativement particulier car il suggère que des cristaux n'ont pas pu se développer. D'après les tables présentant les constantes de solubilité des sels, il s'avère que

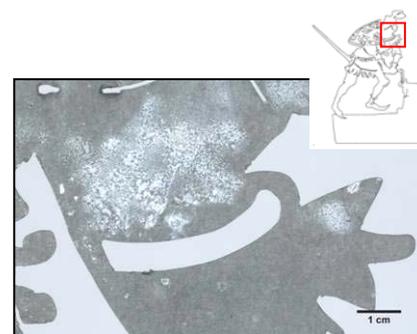


Fig. 97 : Produits de corrosion amorphes du zinc.

l'hydroxyde de zinc est un des éléments qui peut se présenter sous forme amorphe. Cette altération plus communément appelée « rouille blanche » ou « tache de réserve humide »¹¹⁰, se développe lorsque l'eau se condense sur le métal, empêchant le dioxyde de carbone de se déposer en surface pour former des carbonates ou des oxydes stables.

- *Corrosion perforante du zinc.* Sur le bas du talon de la silhouette des Trois cavaliers, la corrosion a perforé toute l'épaisseur de zinc. Cette altération très localisée correspond certainement à une zone de rétention d'eau. Il est probable que la plaque a été conservée à la verticale et que de l'eau a stagné entre le bas de l'œuvre et le support sur laquelle elle se trouvait. La quantité de poudre n'étant pas suffisante, les analyses en diffraction n'ont pas pu être effectuées. Une forme de corrosion similaire a aussi été observée sur la silhouette des Quatre cavaliers. Elle est plus étendue et apparaît sur l'ensemble des surfaces, en-dessous d'une épaisse couche de poussière adhérente. Il est possible que des micro-piles de corrosion se soient créées dans les zones d'impureté du métal, entraînant une dissolution localisée d'éléments plus sensibles aux polluants atmosphériques¹¹¹.

- *Corrosion de l'alliage ferreux.* Les trois armatures non galvanisées de la silhouette des Quatre cavaliers sont couvertes de produits de corrosion du fer qui se sont formés au contact de l'humidité et des polluants atmosphériques. Les vis maintenant le patin sont elles aussi

¹⁰⁹ Annexe 8 : Rapports d'analyses, p. XXIII.

¹¹⁰ GRISSOM (C. A.), 1994, p. 292. D'après la localisation de ces produits de corrosion situés sous le papier, ou proches de zones ayant subi un dégât des eaux comme nous pouvons l'observer sur le bois ou sur les auréoles de poussière, nous pensons que l'eau est à l'origine de cette altération du métal.

¹¹¹ Comme nous n'avons pu faire de coupe métallographique nous n'avons pas pu interpréter la formation de la corrosion sur ces zincs. D'après la bibliographie, une corrosion galvanique peut se développer entre les joints de grains de la structure du métal, provoquée par la présence d'impuretés ou de phases intermétalliques (plomb, fer). MOTTNER (P.), ASSFALG (E.), FREITAG (E.), 1998, p. 329 ; MOTTNER (P.), FREITAG (J.), KAISER (W.D.), p. 104 à 107; REIDERER (J.), 1993, p. 77 et 78.

couvertes de produits de corrosion mais en plus forte épaisseur. Il est possible que l'altération ait été favorisée par la présence du bois qui est un matériau hygroscopique, contenant une certaine acidité.

5. Interaction entre la corrosion du zinc et le papier

Des produits de corrosion du zinc se sont développés à l'interface métal-papier ce qui a provoqué une perte d'adhérence du papier sur le support. Ce phénomène est facilement observable sur les zones lacunaires car les produits blancs sont emprisonnés dans la colle. C'est ce qui permet notamment d'apercevoir les traits de pinceau appliqués sur le talon du guerrier.

La coupe stratigraphique effectuée sur l'antérieur de la silhouette des Trois cavaliers a été observée au MEB¹¹² ce qui a démontré que la corrosion avait complètement migrée dans le papier, atteignant presque la fine couche picturale.

- *Les matériaux organiques comme facteur de corrosion du zinc.* Nous n'avons pas trouvé d'élément chloré ou soufré ce qui indique une absence de chlorures ou de sulfures de zinc : ce n'est donc pas un éventuel traitement de blanchiment du papier qui a provoqué cette altération. Nous avons complété cette information en effectuant une analyse par diffraction de rayons X pour déterminer l'origine de la corrosion mais les produits étaient encore amorphes. Si nous nous en tenons aux tables de solubilité des sels, il est possible qu'il s'agisse d'hydroxydes de zinc qui se soient développés en contact avec la colle ou avec une matière hygroscopique tel que le papier. Les facteurs climatiques sont donc déterminants dans la cinétique de corrosion des métaux.

- *Le métal oxydé comme facteur d'altération physico-chimique du papier.* Inversement, les métaux corrodés peuvent affaiblir mécaniquement les papiers ou en changer les propriétés optiques. Lorsque des concrétions se forment il se produit une oxydo-réduction qui peut accélérer certaines réactions de dégradation de la cellulose¹¹³. Ainsi l'hydrolyse peut-être catalysée par l'acidité produite par la décomposition de sels métalliques et l'oxydation de la cellulose peut-être renforcée par celle du zinc. Ces phénomènes conduisent à des ruptures moléculaires qui fragilisent les fibres.

¹¹² Annexe 8 : Rapports d'analyses, p. X.

¹¹³ GIOVANNINI (A.), 2004, p. 161.

D. Altérations liées aux anciennes interventions

1. Corrosion liée à la pose des armatures

Le long des armatures et aux abords des brasures étain-plomb se trouvent des produits de corrosion blancs-jaunâtres, poudreux et volumineux. Ce sont des chlorures de zinc hydratés¹¹⁴ qui sont certainement liés à la présence du flux employé pour braser les métaux. Comme nous l'avons vu dans la partie technologique il était possible et fréquent d'utiliser un chlorure de zinc neutre pour faciliter l'accroche des différents éléments à souder¹¹⁵. Nous pensons donc que le flux n'a pas été suffisamment rincé après fabrication, et qu'il a favorisé le développement de la corrosion. Ces zones sont d'autant plus sensibles qu'elles sont composées de différents métaux (zinc, fer, étain, plomb) et qu'elles permettent la rétention d'humidité (sous les armatures et les reliefs). L'explication de la formation de ces produits est donc complexe car elle peut relever de nombreux paramètres : attaque acide, stagnation d'eau, pile de corrosion.

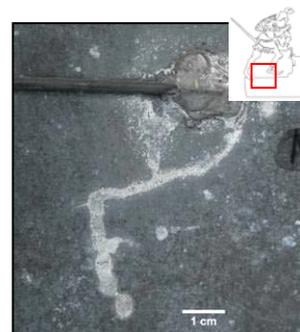


Fig. 98 : Chlorure de zinc situé près des brasures. Les produits de corrosion suivent les coulures de flux.
© G. Vanneste.

2. Perforations des métaux

Certaines perforations des talons, comme nous pouvons l'observer sur de nombreuses silhouettes de *L'Épopée*, doivent être liées à des remaniements anciens et des remontages successifs. En revanche, le trou pratiqué au centre de la plaque du Guerrier n'a pas pu être expliqué.

E. Hypothèses d'altération de la couche mate

La couche picturale noire est pulvérulente et présente des pertes d'adhérence localisées sur les bords du talon. Cette dégradation peut être liée à différents facteurs¹¹⁶ :

- *La mise en œuvre* peut avoir joué un rôle prépondérant dans le mécanisme d'altération : il est possible que peu de liant ait été introduit dans la préparation et que la concentration

¹¹⁴ Annexe 8, Rapports d'analyses, XXIII.

¹¹⁵ GADEAU (R.), 1959, p. 118 : « On peut souder sans flux, mais le soudage est bien meilleur avec l'emploi d'un flux tel que 50% $ZnCl_2$ + 50% NH_4Cl . ».

¹¹⁶ Interprétation effectuée avec l'aide de Claudia Sindaco, restauratrice peinture, spécialiste des couches mates.

volumique pigmentaire ait été élevée. La couche aurait donc été cassante et friable dès l'origine.

- *Le liant* des couches superficielles a pu migrer dans les couches inférieures ou a pu se dégrader en vieillissant.
- *Les frottements* répétés occasionnés lors du jeu ou des manipulations ont pu affaiblir la peinture et provoquer des déplacements localisés sur le talon de la silhouette.

Cette perte de cohésion entraîne une fragilité mécanique du film de peinture qui devient poreux et un changement optique caractérisé par une modification de saturation des couleurs.

F. Évaluation des risques encourus par les œuvres

Après avoir décrit les altérations survenues sur les objets et en avoir recherché les causes, il nous est alors permis d'évaluer les risques auxquels seront soumises les silhouettes si aucune mesure n'est prise lors de leur manipulation ou de leur conditionnement.

➤ *Déformations,*

-
- ⇒ Augmentation des altérations lors des manipulations.
 - ⇒ Perte d'éléments, comme le casque du soldat A de la silhouette des Quatre cavaliers.

Ces dégradations sont considérées comme majeures car elles provoquent des endommagements sur l'ensemble des matériaux. Nous consacrerons donc notre partie scientifique à la recherche d'un système de renfort structurel au moyen de stratifiés collés.

➤ *Lacunes :*

-
- ⇒ Aucun risque futur lié à cette altération pour l'ensemble les métaux.
 - ⇒ Fragilisation et possibilité d'accroissement des zones altérées des papiers et du textile.

➤ *Perforations :*

-
- ⇒ Aucun risque futur lié à cette altération pour l'ensemble les métaux.
 - ⇒ Pertes de matière prévisibles pour le patin dont la résistance mécanique est affaiblie.
-

➤ <i>Fissurations :</i>	⇒ Détachement des armatures du zinc : risques de rupture et de perte d'éléments. ⇒ Augmentation de la fragilité mécanique des métaux.
➤ <i>Déchirures et soulèvements :</i>	⇒ Augmentation de l'altération et à terme, pertes de matière.
➤ <i>Perte de cohésion :</i>	⇒ Perte de matière picturale, apparition d'auréoles.
➤ <i>Réparations :</i>	⇒ Aucune conséquence structurelle : les brasures n'engendrent pas de contraintes et renforcent au contraire ces silhouettes fragiles.
➤ <i>Empoussièrement et dépôts:</i>	⇒ Développement de corrosion (hygroscopicité). ⇒ Développement de moisissures (source de nutrition). ⇒ Augmentation de l'altération physico-chimique des matériaux organiques.
➤ <i>Usures :</i>	⇒ Aucun risque futur lié à cette altération pour l'ensemble des matériaux.
➤ <i>Structures fongiques :</i>	⇒ Développement de micro-organismes : dégradation de la cellulose, interaction possible avec le zinc.
➤ <i>Jaunissement du papier :</i>	⇒ Augmentation du jaunissement et affaiblissement des fibres cellulosiques.
➤ <i>Corrosion des métaux :</i>	⇒ Reprises de corrosion et consommation du métal. ⇒ Déformations du papier collé sur le métal corrodé et fragilisation des matériaux organiques.

L'étude des altérations et des facteurs de risques permet de dresser un bilan de l'état matériel des œuvres et des problèmes qu'elles pourront rencontrer dans un futur plus ou moins proche. Il convient alors d'étudier les valeurs culturelles liées aux silhouettes afin de déterminer les conséquences que peuvent avoir ces dégradations sur la perception que nous avons de ces objets. Nous pourrions ensuite établir nos propositions de traitement.

IV. VALEURS CULTURELLES

1. Présentation de la méthode

L'étude des valeurs culturelles associées aux œuvres a pour objectif principal de comprendre la signification culturelle actuelle des silhouettes. En essayant d'appréhender la façon dont elles ont été considérées dans le passé jusqu'à aujourd'hui, nous pourrions alors déterminer quelles sont les conséquences des altérations sur notre perception de l'objet.

Notre approche du traitement matériel de l'œuvre est influencé par notre regard et donc par les valeurs que nous lui associons. Barbara Appelbaum, dans son ouvrage « *Conservation Treatment Methodology*¹¹⁷ », a mis au point une analyse qui permet d'examiner l'ensemble des valeurs des objets avant le choix du traitement. Nous avons donc essayé d'appliquer sa méthode aux trois silhouettes d'ombres que nous avons à l'étude en utilisant la liste qu'elle a mise au point, que nous avons traduite puis développée ci-dessous¹¹⁸.

Nous nous poserons donc la question suivante : que représentaient les objets et que représentent-ils encore aujourd'hui ?¹¹⁹ Puis nous établirons nos propositions de traitement en se référant principalement à cette étude en lien avec le diagnostic.

Tableau 5. Résumé des valeurs (p. 203)

<i>Un objet porte cette valeur...</i>	<i>...lorsqu'il</i>
<i>Artistique</i>	a été créé intentionnellement comme œuvre d'art ou qu'il le devient
<i>Esthétique</i>	a une apparence esthétique
<i>Historique</i>	est associé à un événement historique ou une période particulière
<i>Usage</i>	est en usage
<i>Éducation</i>	livre des informations ou des idées au public
<i>Ancienneté</i>	paraît vieux et souhaitable comme cela
<i>Nouveauté</i>	paraît neuf et souhaitable comme cela
<i>Sentimentale</i>	engendre des sensations personnelles
<i>Marchande</i>	vaut de l'argent sur le marché de l'art
<i>Associative</i>	est associé à une personne connue
<i>Commémorative</i>	commémore une personne ou un événement
<i>Rareté</i>	est unique ou largement produit

¹¹⁷ APPELBAUM (B.), 2007.

¹¹⁸ Deux tableaux synthétiques sont présentés en annexe et mettent en rapport les différentes valeurs avec l'histoire matérielle des silhouettes de *L'Épopée* et de *La Nuit des Temps*. Annexe 3 : Valeurs culturelles des cavaliers en fonction de leur histoire matérielle et valeurs culturelles du Guerrier en fonction de son histoire matérielle.

¹¹⁹ Annexe 3. Tableaux récapitulatifs des valeurs culturelles en fonction de l'histoire patrimoniale, p. III et IV.



Fig. 99 : Descripteurs semi-quantitatifs utilisés pour définir l'importance des valeurs au cours du temps.

2. Valeurs associées aux silhouettes

Valeur	Valeurs passées et actuelles des silhouettes	Synthèse
<i>Artistique</i>	Rodolphe Salis considérait son théâtre comme un lieu d'exception, conçu dès l'origine comme un « <i>cabaret artistique et littéraire</i> ¹²⁰ ». Les silhouettes participaient donc de cette volonté. Aujourd'hui la salle de spectacle n'existe plus et les textes des pièces ne nous sont pas toujours parvenus. Les œuvres portent donc en elles-mêmes le projet artistique de Salis.	Considérable , elle est inhérente aux objets.
<i>Esthétique</i>	Le contour de la silhouette véhicule l'image. Les illustrateurs se sont attachés à la forme qui était prioritaire sur l'aspect de surface, invisible du spectateur. En conséquence, les champs des plaques ne sont pas limés et l'objet garde un caractère brut. Les œuvres sont désormais déformées et brisées ce qui ne permet pas de retrouver la lecture de leur contour. Les papiers des Quatre cavaliers sont aussi lacunaires et ne traduisent plus l'effet de lumière souhaité par Henri Rivière.	Importante , basée sur la forme, sur « la silhouette » plus que sur l'aspect de surface.
<i>Historique</i>	Les silhouettes sont tout d'abord les traces matérielles des spectacles d'ombres qui se produisaient dans les cabarets de la butte, peu avant l'invention du cinéma. Après leur période d'utilisation, les trois œuvres sont venues dans le château de Rodolphe Salis et devaient probablement servir de décoration d'intérieur. Elles sont ensuite entrées au musée où elles ont été exposées dans une salle consacrée au cabaretier châtelleraudais. La valeur historique de ces plaques est donc aussi liée au château de Naintré et à la personnalité de Salis.	Très importante , liée au Château de Naintré, à Salis et surtout au théâtre d'ombres du XIX ^e siècle.

¹²⁰ GOUDEAU (E.), 1886, p. 420.

Aujourd'hui elles sont surtout le témoin d'une forme de théâtre en vogue à la fin du XIX^e siècle, celui des projections d'ombres. Les coulisses hors-œuvre ont été détruites et les silhouettes sont parmi les seuls éléments restants de ces spectacles. L'existence de papiers colorés constitue aussi un élément fondamental de l'utilisation de la lumière et de la couleur par Henri Rivière.

Usage

Les objets ont été réalisés dans le but de leur manipulation, ils prennent donc une valeur d'usage considérable du temps de leur création et de leur emploi. Les silhouettes sont ensuite entrées dans les collections où elles ont perdu leur valeur d'usage, jusqu'en 1999, date à laquelle *L'Épopée* a été remontée par le musée d'Orsay. Les quatre plaques de *La Nuit des Temps* ont en revanche perdu cette valeur longtemps avant leur patrimonialisation.

Aujourd'hui les silhouettes de *L'Épopée* sont jouées régulièrement au musée d'Orsay. Des pièces d'ombres sont remontées pour permettre au spectateur de retrouver la sensation du spectacle produit au Chat Noir. Certaines pièces sont entièrement numérisées mais *L'Épopée* est recréée avec les plaques d'origine : elles sont maintenues entre deux feuilles de plexiglas puis manipulées sur des glissières, ce qui reproduit les techniques employées au cabaret.

Les deux objets de notre étude n'ont a priori jamais servi depuis la période de leur création mais des silhouettes similaires, représentant les Trois cavaliers, ont été prêtées par les Musées de Châtellerault. Après restauration, les œuvres de cette étude ne devraient pas être remises en fonction et seront présentées didactiquement pour en comprendre le sens.

Considérable
Intrinsèque aux objets du temps de la création, Aujourd'hui encore cette valeur est prédominante.

Éducation

Dans le pré-projet scientifique et culturel du musée¹²¹, il est question de présenter ces œuvres de façon pédagogique avec une reconstitution de la salle du cabaret et un soclage permettant de retrouver la sensation des ombres projetées. Des médias seront aussi à disposition du public qui pourra faire le lien entre Montmartre et Châtellerault au XIX^{ème} siècle.

Non
Cette notion n'était pas prise en compte jusque là.
Important
dans le futur lieu muséal.

¹²¹ Voir histoire patrimoniale et matérielle, p. 34.

<i>Ancienneté</i>	<p>Les objets véhiculent la sensation de la valeur d'ancienneté : les surfaces sont usées, le papier est jauni, le zinc est recouvert d'une couche de produits de corrosion fine et homogène de couleur gris foncé. Certaines altérations liées à l'usage ou aux conditions de conservation renforcent cette impression d'objet ancien. Cependant les armatures brisées ne relèvent pas de cette valeur car l'altération a pu se produire récemment.</p> <p>La valeur d'ancienneté est importante car elle souligne l'usage des œuvres.</p>	Important
<i>Nouveauté</i>	<p>Cette valeur est abandonnée depuis le temps de la première utilisation des œuvres.</p>	Non
<i>Associative et sentimentale</i>	<p>Dès leur création, les œuvres sont étroitement liées à leur illustrateur. En se rendant au théâtre, le spectateur vient regarder une pièce de Caran d'Ache ou de Robida. Lorsque les silhouettes entrent dans l'inventaire en 1952¹²², M. Duvau note le nom de la pièce d'ombres accolé à celui du concepteur qui est encore connu. Cette valeur était donc considérable, ce qui est encore d'actualité.</p> <p><i>L'Épopée</i> a été décrite avec passion lors des spectacles, ce que nous n'avons pu observer avec <i>La Nuit des Temps</i>. Cependant, la pièce de Robida prend une valeur sentimentale importante aujourd'hui auprès de l'Association des Amis de Robida¹²³, dont certains membres sont les descendants directs de l'illustrateur.</p> <p>La création du théâtre est aussi liée à la personnalité de Rodolphe Salis, considéré comme un enfant du pays châtelleraudais. Une pièce du musée lui était consacrée et ses effets personnels étaient exposés. Au niveau régional, les œuvres se chargent donc d'une valeur sentimentale.</p>	<p>Considérable L'Épopée est indissociable de Caran d'Ache et La Nuit des Temps de Robida Importante, Surtout pour ce qui est de <i>La Nuit des Temps</i></p>
<i>Marchande</i>	<p>Les œuvres réalisées au Chat Noir avaient une valeur marchande modeste du temps du cabaret. Tous les articles de l'époque racontent que Salis recherchait toujours le moyen de faire des économies. Il a donc utilisé du zinc, métal moins noble que le cuivre. Cependant, la</p>	<p>Faible, lors de la période de création et d'utilisation</p>

¹²² Voir histoire patrimoniale et matérielle, p. 26.

¹²³ Discussion avec les membres de l'association et rencontre de Mme Escoffier-Robida, arrière petite-fille de l'illustrateur et de Mr Gravereaux, neveu de Mme Escoffier-Robida.

valeur de ces œuvre s'est accrue lors des premières ventes à l'Hôtel Drouot puisque Willette relate que son vitrail était parti pour une bonne somme alors qu'il n'avait rien reçu pour la commande.

La valeur marchande actuelles ne nous a pas été communiquée mais n'intervient pas dans notre choix de traitement.

Commemorative Les œuvres n'ont pas de valeur commémorative en tant que tel, il s'agit plutôt de la pièce d'ombres. Au début, *L'Épopée* est créée pour rappeler les victoires de Napoléon et surtout le courage des soldats, vingt ans après la défaite de la France contre la Prusse et alors que renaît le nationalisme.

En revanche aujourd'hui les œuvres ne sont plus liées à la célébration d'un événement historique. La valeur de commémoration était donc faible dans le passé et peut-être considérée comme nulle actuellement.

Faible
période d'utilisation
Non
aujourd'hui

Rareté Les silhouettes de *L'Épopée* ont été refaites plusieurs fois et toutes les scènes de la pièce sont connues et peuvent être illustrées. Avec les différents musées parisiens qui conservent des zincs et le musée de Châtellerault, il est possible de remonter l'ensemble de la pièce d'ombres¹²⁴. En revanche, *La Nuit des Temps* est très peu documentée, sauf par le programme, et il ne reste en tout que quatre plaques.

Aujourd'hui, la valeur de rareté des œuvres de Robida est considérable, alors que celle de *L'Épopée* est moins importante.

Moyen
pour *L'Épopée*
Considérable
pour *La Nuit des Temps*

En rapprochant ces hypothèses des altérations observées sur les silhouettes, les propositions de traitement et de présentation devront tenir compte de ces valeurs attribuées actuellement à ces objets.

¹²⁴ PARIS, 1999.

V. PROPOSITIONS DE TRAITEMENT

Les interventions ont pour objectif premier d'assurer la bonne conservation des silhouettes et de tous les matériaux qui les constituent. Elles viseront à ralentir les phénomènes de dégradations qui présentent des risques importants pour les œuvres comme le sont les déformations liées aux bris, les déchirures, les soulèvements, la perte de cohésion de la couche picturale, l'effritement du patin ou la présence de micro-organismes actifs.

Le traitement visera aussi à redonner une certaine lisibilité aux objets en vue de leur présentation.

Les choix sont discutés au cas par cas et prennent en compte les valeurs culturelles associées aux œuvres ainsi que l'ensemble de la collection. Le projet de conservation-restauration a été décidé conjointement avec la responsable des œuvres, Mme Brégeaud-Romand et les restaurateurs qui nous ont encadrés, M. Amarger et M. Bertholon.

1. Remise en forme des armatures

Les valeurs esthétiques et artistiques reposent presque exclusivement sur la lecture de la forme des silhouettes d'ombres. Or les plaques des cavaliers sont déformées et brisées ce qui ne permet plus de comprendre cette forme initiale, souhaitée par les illustrateurs. De plus les altérations réduisent les possibilités de manipulation de ces objets devenus fragiles, les dégradations du support métallique ayant entraîné celles des papiers de gabarit ou de décor. Nous pensons donc qu'il est essentiel d'essayer de remettre en forme les armatures et les éléments de zinc pour retrouver ces valeurs et assurer la bonne conservation des œuvres.

En revanche, la silhouette du Guerrier a gardé sa valeur esthétique puisque son contour n'a pas été altéré par d'importantes déformations. Nous proposons donc de ne pas remettre en forme les légères déformations de l'épée, du talon ou de la baratte afin de souligner la valeur d'usage de ces œuvres qui ont été manipulées et qui se sont déformées lors des spectacles, comme l'attestent des photographies prises au Chat Noir à la fin du XIX^{ème} siècle.

2. Nettoyage des surfaces

Le vieillissement des surfaces participe de la valeur d'ancienneté des œuvres qui doit être privilégiée au détriment de celle de nouveauté. Il nous faut aussi dans le même temps assurer la conservation des objets recouverts de poussière, de dépôts et de sels métalliques. Nous proposons donc un dépoussiérage systématique de tous les matériaux, le retrait de tous les

dépôts créant des problèmes de conservation, le traitement des structures fongiques ainsi que l'élimination des produits de corrosion du fer et du zinc. En revanche certaines formes de corrosion considérées comme stables seront conservées : la couche fine et homogène gris foncé du zinc (CP2e Zn) et celle noire du fer (CP2e Fe). Elles se sont formées progressivement dans le temps, attestent de l'ancienneté de l'objet et participent de la conservation des œuvres en formant une sorte de barrière protectrice entre le métal et l'environnement. Les traces d'usage comme les rayures et les marqueurs liés à la fabrication seront conservés.

3. Traitements de consolidation et de refixage

La valeur historique est liée à la conservation de tous les éléments constitutifs de l'œuvre, comme les fragments de textile, de papier, le patin en bois, la couche picturale noire. Il convient d'assurer leur pérennité en évitant leur disparition progressive comme cela a été souligné dans l'évaluation des risques. Ces matériaux doivent donc être refixés sur le support ou consolidés afin de pouvoir garder les patrons ayant permis la découpe des pièces, les effets de lumière créés par la transparence et les couleurs des papiers, les témoins de manipulation sur rail ou la mise en teinte foncée renforçant l'effet d'ombre.

4. Assemblage des zones de bris

Nous avons vu dans le constat d'état que des réparations par brasure avaient permis d'assembler des structures métalliques. Ces interventions ne constituent plus un risque pour les œuvres mais ont transformé la matière en profondeur et sont considérées comme irréversibles. Elles ont aussi nécessité un apport de flux qui a engendré des phénomènes de corrosion près des brasures étain-plomb. Après remise en forme, il faudra assurer la conservation des éléments cassés et nous avons décidé de consacrer notre étude scientifique à la recherche d'un nouveau système de maintien plus réversible, suffisamment solide pour supporter les contraintes des silhouettes et répartissant mieux les tensions. A l'issue du collage, la valeur esthétique liée à la forme sera retrouvée et la manipulation des objets deviendra plus aisée.

5. Réintégration des éléments de papier et de métal

À ce niveau de traitement les silhouettes des Trois cavaliers et du Guerrier pourront à nouveau transmettre les valeurs historiques, esthétiques et d'usage. En revanche la plaque des Quatre cavaliers, fortement lacunaire, n'aura pas retrouvé tout son sens. Après discussion avec

l'ensemble de nos encadrant nous avons décidé de réintégrer les parties ne permettant plus de percevoir l'effet souhaité lors de la projection de l'œuvre. Le casque du soldat C, les jugulaires disparues et les papiers collés sur les zones ajourées seront donc comblés pour retrouver les valeurs décrites ci-dessus.

6. Conditionnement

Des boîtes de conditionnement devront assurer la conservation des ces œuvres composites sensibles, ce qui limitera les risques de redéposition de poussière et de déformation des matériaux.

7. Proposition d'exposition

Les valeurs artistiques, éducatives et sentimentales sont liées au mode de présentation des objets qui apparaît comme fondamental. Une exposition incluant une reconstitution du cabaret ou une projection de film permettrait de recréer le spectacle. Les objets ne seraient plus isolés mais replacés dans leur contexte. Il serait alors possible d'observer le fonctionnement des silhouettes, l'impact de la lumière sur la forme ou sur les papiers colorés et sur les fragments de textile. Dans le pré-projet scientifique et culturel du musée il avait été question d'une salle consacrée à Rodolphe Salis et au Chat Noir en lien avec l'histoire locale. Ce projet serait alors au service de ces valeurs.

Nous proposons de fabriquer deux socles pour la silhouette des Trois cavaliers et du Guerrier qui les soutiendraient en avant d'un mur blanc. Cette présentation aurait pour avantage de redonner une dimension aux objets qui ne seraient plus de simples plaques clouées contre une cloison, mais des sculptures avec une certaine épaisseur. Il sera aussi possible de placer une lumière pour retrouver la sensation de la projection d'ombre.

La plaque des Quatre cavaliers présente une problématique différente : il serait préférable de la positionner derrière un écran, comme à la période du Chat Noir, pour percevoir les transparences du papier et du textile.

Chapitre III.

Étude scientifique :

Recherche d'un système de maintien structurel de feuilles de zinc au moyen de stratifiés collés



Fabrication de matériaux composites en fibres de verre et résine époxyde.

I. PRÉSENTATION DE L'ÉTUDE TECHNICO-SCIENTIFIQUE

A. Contexte de l'étude

1. Collage ou soudage ?

a. Des œuvres fragiles

Les silhouettes des 3 cavaliers et des 4 cavaliers sont des œuvres de grandes dimensions et de très faible épaisseur qui présentent des cassures complexes dans leur partie supérieure. Les fragments sont maintenus solidaires par la présence d'armatures brasées au revers qui jouent le rôle de renfort structurel, et qui ont permis ici la préservation des différents éléments brisés. De part leur forme et leur état de conservation, ces silhouettes d'ombres sont des œuvres difficilement manipulables. Lorsqu'il faut basculer la plaque de son support de conditionnement provisoire à la position verticale, d'importantes contraintes sont exercées sur les armatures qui ploient et sur les cassures qui se chevauchent. Les risques pour l'œuvre sont multiples : augmentation des déformations des armatures et du zinc, apparition de microfissures dans les brasures, déchirure et perte des papiers collés, et à terme cassure d'éléments métalliques.

Il est donc nécessaire de réfléchir à un système de renforcement de ces zones brisées afin d'assurer la bonne conservation des pièces lors de leur transport, de leur mise en réserve ou de leur accrochage en vue de leur exposition. Une fois les œuvres sécurisées, les risques de propagation des altérations de structure seront réduits.

b. Vers un respect de la déontologie

D'après le constat d'état et les textes laissés par Salis ou Rivière, il apparaît que les silhouettes étaient réparées par brasure pendant toute la période d'usage au cabaret du Chat Noir. Aujourd'hui encore nous avons appris que ce procédé continuait à être utilisé lorsque des bris accidentels survenaient sur les œuvres. D'après le musée d'Orsay « *les soudures [sont] effectuées avec un alliage tendre de type Castolin 157 BN (température 221°C), décapant incorporé*¹²⁵ ». Cette technique est non seulement irréversible, mais elle modifie la structure

¹²⁵ Cet alliage est une brasure tendre d'étain et d'argent dont la résistance à la rupture est de 100 MPa.

cristallographique des métaux qui perdent des informations relatives à leur fabrication¹²⁶. Il semble donc nécessaire d'utiliser un autre mode d'assemblage, plus en accord avec notre déontologie, comme le collage. En conservation-restauration, c'est une technique de maintien souvent employée qui consiste à unir des éléments au moyen d'un adhésif. La réversibilité est plus grande même lorsque des liaisons chimiques se créent car la nature du support n'est pas transformée en profondeur.

2. Caractéristiques du substrat à encoller

a. Localisation et caractérisation des bris

Les zones brisées ont été soumises à de fortes sollicitations mécaniques qui ont entraîné l'apparition de déformations. Nous avons donc entrepris de remettre en forme la plupart des éléments métalliques situés aux abords des cassures afin de retrouver des points de contacts permettant le collage des structures fragiles. Après traitement, il s'avère que certaines armatures se sont allongées et se sont écrouies : elles sont donc devenues rigides et ne peuvent être repositionnées à l'endroit où elles avaient été brasées. Le support en zinc est aussi rompu et les tensions résiduelles ne peuvent pas toujours être résorbées, ce qui signifie que les tranches métalliques ne sont plus jointives.

La surface des cassures est réduite puisque les feuilles de zinc présentent une épaisseur moyenne de 7/10^e mm et que la longueur des bris est comprise entre 2 mm et 8 mm. Un collage des fragments en plein par contact n'est donc pas envisageable.

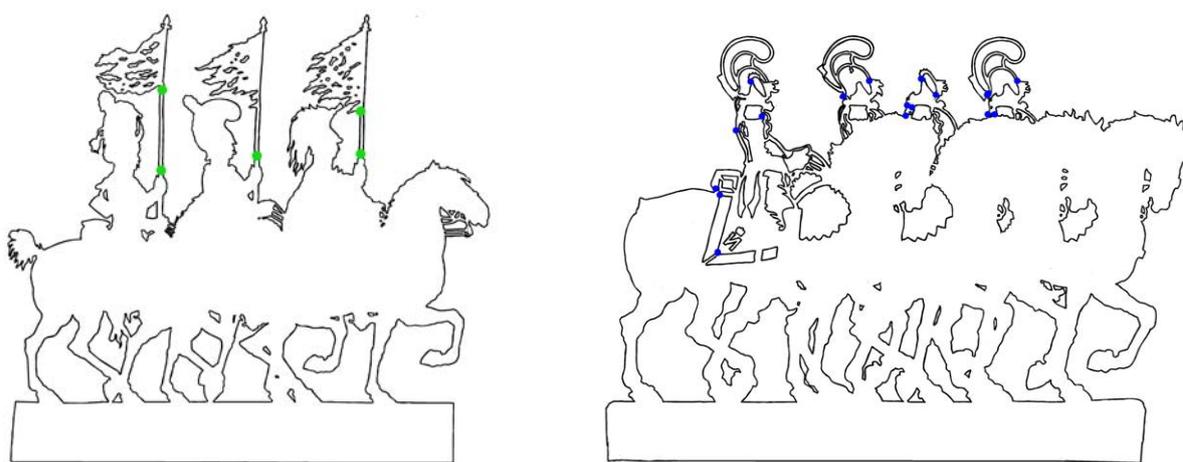


Fig. 100 : Localisation des zones de bris des silhouettes des 3 cavaliers et des 4 cavaliers.

¹²⁶ La structure du métal est certainement déjà modifiée par les déformations qu'elle a subies lors de la fragmentation et de la torsion. Il faut cependant rappeler que l'intervention ne se pratique pas sans risques pour l'œuvre qui est composite puisque couverte de papier peint collé sur l'avvers.

b. Nature de la surface

La caractérisation de la surface est une étape nécessaire à la compréhension des mécanismes d'adhésion et des propriétés du joint. Cette étude a été menée par observation visuelle, sous loupe binoculaire, recherche bibliographique et analyse des composés cristallisés par diffraction de rayons X.

Le métal est couvert d'une fine couche de produits de corrosion gris et mats. Ils ne sont pas enlevés lors du traitement de nettoyage du zinc car ils sont considérés comme stables et forment une barrière à l'humidité et aux polluants¹²⁷. S'il est d'usage de préparer les surfaces en éliminant les oxydes superficiels par sablage ou par toute autre forme d'abrasion, nous privilégions une approche déontologique qui vise à conserver les matériaux dans leur intégrité tant qu'ils ne nuisent pas à la conservation de l'œuvre. La surface d'origine est donc conservée et le film de produits de corrosion correspondra à l'interface sur laquelle se fera le collage.

D'après l'analyse effectuée en diffraction de rayons X cette couche serait composée d'oxydes de zinc¹²⁸. Ces produits sont normalement blancs et seuls les carbonates de zinc sont gris foncés et compacts, comme nous l'observons sur l'œuvre. Il est possible que le prélèvement ait été fait dans une zone où des oxydes étaient majoritaires ou que les carbonates n'aient pas été détectés par l'appareil de diffraction¹²⁹. Selon les principes de corrosion du zinc placé en intérieur (illustrés ci-dessous) il est probable que le collage s'opère sur une surface contenant de la zincite et des carbonates basiques de zinc.

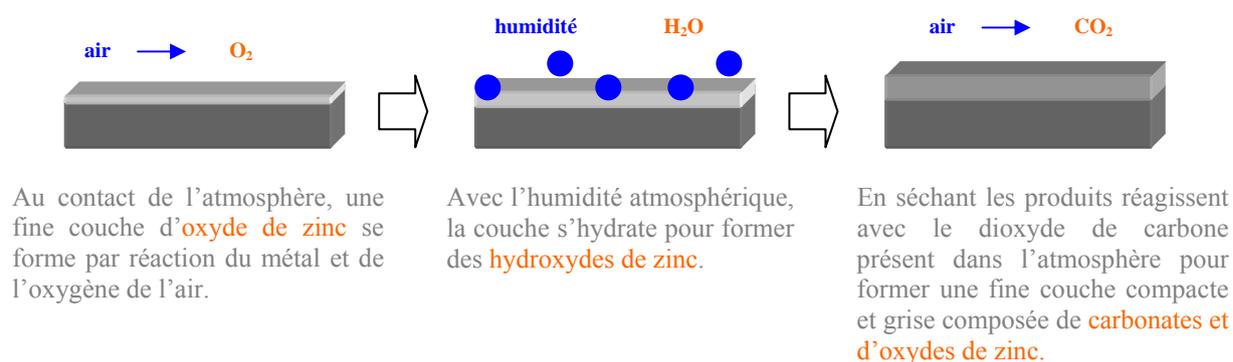


Fig. 101 : Schéma descriptif de formation de la « patine » du zinc.

¹²⁷ En effet des études ont démontré que la vitesse de corrosion décroissait à mesure que se formait la couche de corrosion uniforme. Il est courant d'employer le terme de « patine » pour cette altération qui correspond à un film protecteur pouvant se former naturellement ou volontairement à l'aide de réactifs chimiques.

¹²⁸ Annexe 8. Rapports d'analyses, p. XXIII.

¹²⁹ Communication orale de Michel Dubus, ingénieur au C2RMF qui a pratiqué les analyses: L'appareil de diffraction a une limite de détection de l'ordre du % sur l'ensemble de l'échantillon.

c. Influence de la corrosion sur le mécanisme d'adhésion

La particularité de la surface de zinc corrodée renseigne sur les mécanismes d'adhésion qui seront mis en jeu lors du collage. Un ancrage mécanique est peu envisageable puisque le substrat n'est pas assez poreux pour que l'adhésif pénètre dans les aspérités¹³⁰. La rugosité est aussi très faible¹³¹ ce qui limite les possibilités d'interaction entre les surfaces et donc abaisse considérablement les forces d'adhésion des matériaux.

D'après la théorie, l'adhésion est surtout liée à la création de liaisons aux interfaces. Il se produit une absorption physique, résultant des forces de Van der Waals, et parfois une absorption chimique, avec création de liaisons covalentes. Dans les années 1980, des chercheurs ont développé une nouvelle approche pour les métaux avec le concept d'acidobasicité. Comme les oxydes sont capables d'accepter ou de céder des électrons et donc d'échanger avec leur milieu, il a été démontré que les polymères légèrement acides (tels que les acryliques) pouvaient être adsorbés sur des surfaces basiques (tels que les carbonates de zinc) en créant des liaisons¹³².

Ces phénomènes sont difficiles à observer et les mécanismes complexes. Nous pensons néanmoins que les forces d'adhésions créées sur les silhouettes d'ombres résultent principalement de liaisons physico-chimiques.

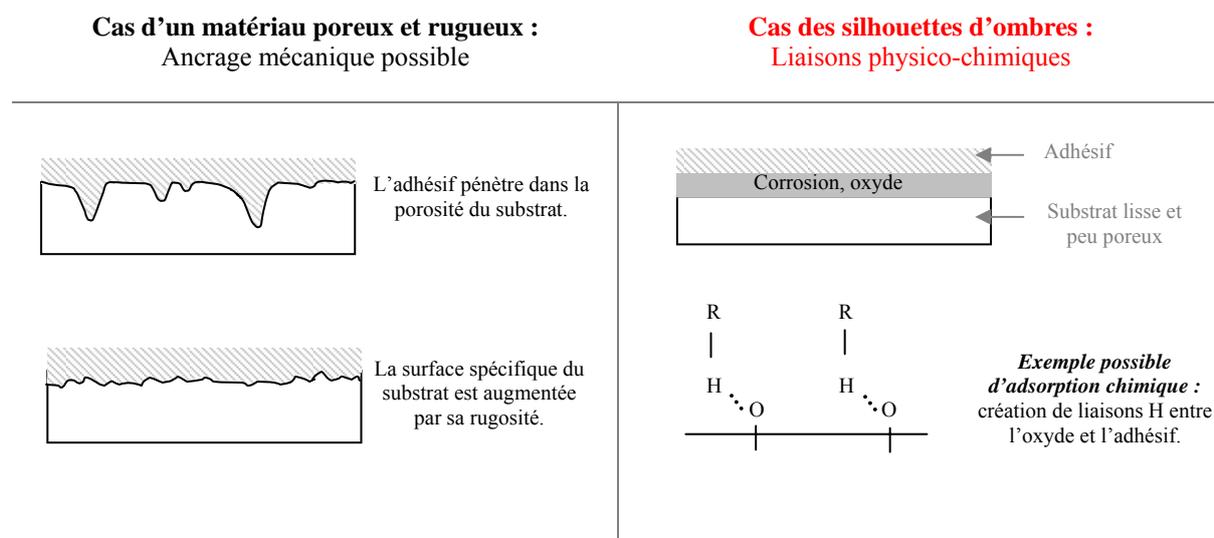


Fig. 102 : Distinction entre les principaux mécanismes d'adhésion mis en jeu sur une surface poreuse et rugueuse et sur la surface des silhouettes d'ombres.

¹³⁰ ALLEN (K.W.), 1984, p. 5.

¹³¹ Les aspérités ne sont ni perçues tactilement, ni visuellement.

¹³² DARQUE-CERETTI, 2003.

B. Évaluation des contraintes et choix du système de renfort

1. Sollicitations mécaniques

Avant de concevoir un système de collage des œuvres et de parvenir à sélectionner des tests de résistance à la rupture qui soient représentatifs, il convient de prendre en compte l'ensemble des sollicitations qui s'exercent ou s'exerceront sur les assemblages. Les contraintes sont liées à la répartition des bris sur de petites zones, à l'épaisseur de la plaque et surtout aux différentes configurations de manipulation ou de présentation des silhouettes. Trois cas ont été retenus :

- 1/ *Silhouette transportée et présentée à la verticale sur un socle.*
- 2/ *Silhouette transportée et conditionnée à l'horizontal.*
- 3/ *Silhouette basculée d'une position horizontale à une position verticale.*

Lorsque l'œuvre sera exposée verticalement, des forces de compression et de flexion s'appliqueront principalement sur les armatures et sur les brasures ou sur le zinc. En revanche lors d'un transport et surtout d'un basculement d'une position horizontale à verticale, de fortes contraintes de flexion et de cisaillement s'exerceront sur l'ensemble des éléments constitutifs de l'œuvre. Nous essaierons de diminuer ces forces en créant un support de conditionnement amovible qui servira de soutien à la silhouette lors de ces opérations délicates.

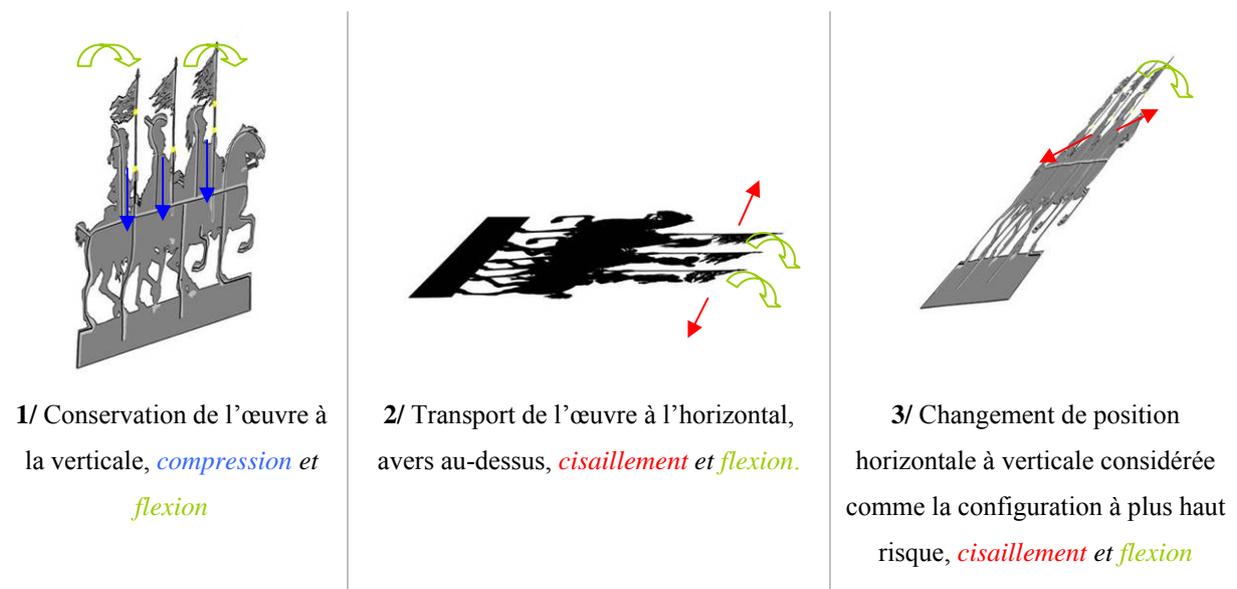


Fig. 103 : Exemples des sollicitations mécaniques des œuvres : silhouette des Trois

2. Calcul de la charge maximale

Pour chaque élément brisé, il faut calculer la force minimale que devra supporter le système de renforcement structural pour qu'il ne se rompe pas sous l'effet du poids des éléments. Nous choisissons de considérer le cas le plus défavorable, c'est-à-dire celui où la plaque serait saisie à deux mains de son support horizontal pour être placée en position verticale. Il nous faut donc calculer le poids situé au-dessus des cassures, ce qui s'avère relativement compliqué puisque les fragments sont maintenus solidaires par les armatures et ne peuvent être pesés.

Le calcul a été réalisé par notre responsable scientifique qui a évalué la masse des éléments en prenant en compte leur surface ainsi que leur masse volumique. Le poids considéré est une surestimation du poids réel avec à chaque fois une prise en compte des armatures en alliage ferreux. Par exemple, pour la silhouette des Trois cavaliers, nous avons considéré un drapeau plein de géométrie simplifiée dans lequel est contenu le drapeau réel.

Nous donnons ici sur le schéma les résultats des forces qui s'exercent sur les zones de bris, les calculs détaillés se trouvant en annexe¹³³.

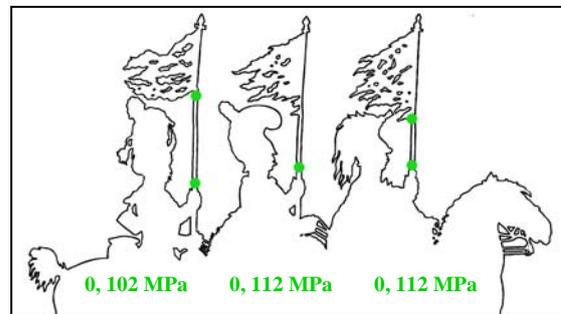


Fig.104 : Calcul de la charge maximale pour chacune des zones de bris des silhouettes des Trois cavaliers, qui présentent les sollicitations les plus importantes.

3. Description du système de renforcement

Après avoir pris connaissance des caractéristiques du substrat ainsi que des contraintes auquel il est soumis, il faut envisager un renfort pour ces structures fragiles. Un collage des tranches en plein n'est pas possible car la surface d'adhésion est trop faible et les sollicitations mécaniques importantes. Il faut aussi limiter le contact de l'adhésif avec la face couverte de papier et de couche picturale, ce qui exclu l'utilisation d'un matériau de comblement.

Nous proposons donc de rigidifier les zones de bris par la présence d'un stratifié¹³⁴ en matériau composite¹³⁵ jouant le même rôle que les armatures en alliage ferreux au revers des œuvres¹³⁶. Cet élément a pour objectif de supporter les contraintes de flexion de la plaque de

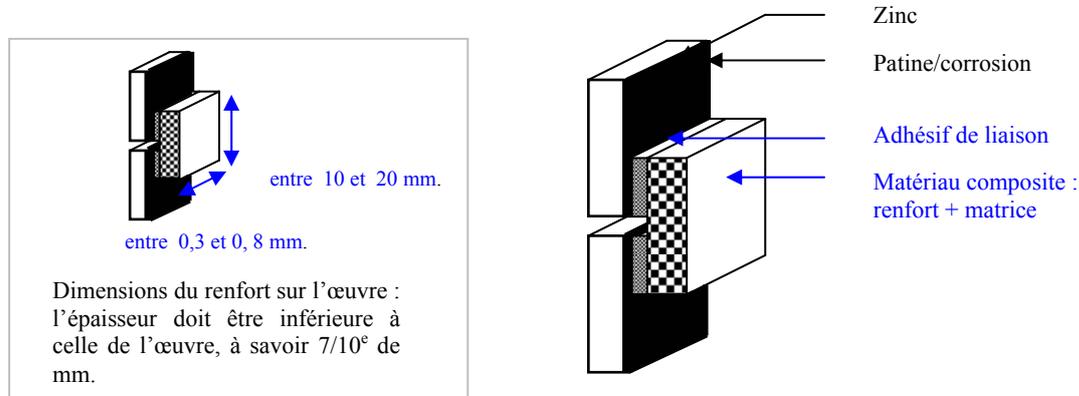
¹³³ Annexe 4 : Calcul de la contrainte maximale : Trois cavaliers, p.V.

¹³⁴ Nous utiliserons indifféremment le mot de stratifié (désignant le mode de fabrication) ou de composite (désignant la nature du matériau).

¹³⁵ Ouvrages de référence sur les matériaux composites : GAY (D.), 2005 et BATHIAS (C.), 2005.

¹³⁶ Il a été décidé de sélectionner un doublage en matériau composite et non en métal afin de limiter la formation de zones de corrosion sélective.

zinc tout en répartissant les tensions sans en créer de nouvelles. Il sera fixé sur le revers de l'œuvre au moyen d'adhésifs, que nous nommerons désormais adhésifs de liaison pour les distinguer de celui employé pour la stratification.



Définition des termes utilisés :

- **Matériau composite** : Assemblage de deux ou plusieurs matériaux, différent des matériaux macroscopiquement homogènes. Selon la norme AFNOR NF T50-100, c'est un produit solide comportant au moins deux phases physiques distinctes, composées d'un matériau de cohésion, la matrice, et d'un matériau sous forme granulée, fibreuse ou lamellaire, le renfort.
 - **Renfort** : matériau qui assure la résistance mécanique et la rigidité.
 - **Matrice** : matériau qui assure la cohésion du renfort en servant de liant. Sa résistance mécanique est beaucoup plu faible.
- **Adhésif de liaison** : Matériau permettant l'assemblage du stratifié sur l'œuvre.

4. Essais de résistance sélectionnés : la flexion et le cisaillement

Le système de renforcement de la structure de zinc va être étudié expérimentalement ce qui permettra de valider les matériaux qui le constitueront. L'objectif est de déterminer le comportement mécanique d'éprouvettes sur lesquelles sont appliquées des sollicitations qui s'exercent sur les œuvres. En accord avec notre responsable scientifique, Mme Le Moyne, les tests vont se dérouler en trois étapes distinctes. Cette séparation conduit à mieux différencier les paramètres ce qui est nécessaire pour pouvoir interpréter les résultats.

- 1. *Essai de flexion du stratifié*¹³⁷. Nous avons choisi de tester le stratifié en flexion pour calculer son module d'élasticité. Il devra se situer en-dessous de celui du zinc pour ne pas apporter de contrainte à l'œuvre mais devra être suffisamment rigide pour maintenir en place les fragments des silhouettes.

¹³⁷ Ce test correspond à la norme AFNOR, NF T 51-001, « Essai de flexion des matières plastiques rigides ».

- 2. *Essai de cisaillement des adhésifs de liaison sur une interface Zn patiné/Zn patiné.* Les interfaces sur lesquelles se feront le collage final correspondent au zinc oxydé pour l'œuvre et au matériau composite pour le stratifié. Au vu des tests préalables¹³⁸, ces deux matériaux, de composition différente, ne réagissent pas de la même façon aux sollicitations mécaniques. Les résultats sont dispersés et les écarts types importants. Nous avons donc décidé de caractériser dans un premier temps le collage et son mode de rupture sur le métal patiné avant de valider le système.
- 3. *Validation du système par des essais de cisaillement.* Enfin, des essais de cisaillement seront menés sur des échantillons dont la configuration se rapproche de celle de l'objet. Suite au test de flexion un stratifié sera choisi, puis certains adhésifs de liaison seront sélectionnés après les essais de cisaillement Zn/Zn. Cela conduira à fabriquer des éprouvettes en nombre limité avec une interface zinc patiné/matériau composite. Les résultats nous donneront des ordres de grandeur que nous pourrons comparer aux essais précédents.

5. Objectifs de l'étude

L'étude porte donc sur la validation d'un système de renforcement par le revers de fines feuilles de zinc dont les caractéristiques sont les suivantes :

- *Le métal est couvert de produits de corrosion,*
- *la porosité et la rugosité sont négligeables,*
- *les surfaces de collage sont réduites,*
- *les œuvres sont principalement soumises à des forces de flexion et de cisaillement.*

Compte-tenu de ce cahier des charges, notre choix d'adhésif de liaison s'orienterait naturellement vers la sélection de résines thermodurcissables, dont la résistance aux contraintes mécaniques est élevée. Elles sont cependant peu réversibles et pourraient être à l'origine d'une rupture cohésive du substrat : au lieu de se rompre dans le joint, l'adhésif pourrait entraîner un décollement de matière à l'interface métal-patine. Nous allons donc inclure dans cette étude des résines thermoplastiques et observer leur comportement aux sollicitations mécaniques. Une expérience¹³⁹ avait démontré que le Paraloid® pouvait jouer le rôle d'un adhésif structural sur des matériaux peu poreux. Il sera donc nécessaire de comparer ces résultats avec ceux obtenus par des thermodurcissables afin de sélectionner l'adhésif qui répond le mieux à la problématique des silhouettes d'ombres.

¹³⁸ Des essais avaient été menés sur des échantillons de zinc de différentes dimensions et avec des temps de séchages plus ou moins longs.

¹³⁹ PODANY (K.), 2001, p. 15 à 33.

II. SÉLECTION DES MATÉRIAUX

A. Les matériaux de stratification

1. Cahier des charges

Les conditions nécessaires à la sélection des matériaux constituant le stratifié sont expliquées selon un point de vue physico-chimique et pratique.

- **Mouillabilité** Les propriétés de mouillage de la matrice sur le renfort déterminent en grande partie les conditions de stabilité physico-chimique du matériau ainsi que sa résistance mécanique dans le temps. Généralement la bonne mouillabilité de la fibre est obtenue par un traitement de surface (dépôt, ensimage) mais nous préférons utiliser une fibre inerte sans additif.
- **Viscosité** Lorsque la viscosité est élevée, l'imprégnation de la matrice se fait plus difficilement. Dans l'industrie il est courant de chauffer les composés pour les fluidifier. Cette technique est parfois adaptée en restauration avec l'utilisation de lampes IR sur des résines thermodurcissables. Cependant les effets de ces rayons sont peu connus et pourraient accélérer le jaunissement de l'adhésif en modifiant certaines de ses propriétés¹⁴⁰. Il est donc préférable de prendre une matrice ayant une faible viscosité qui pourra pénétrer dans le substrat pour créer un pli homogène ce qui évite l'apparition de phénomènes de délaminage aux interfaces liquide/solide.
- **Temps de prise** Un stratifié est une alternance de couches de matrice et de renfort. Il faut donc que le temps de prise de la matrice soit suffisamment long pour permettre sa mise en œuvre. L'adhésif ne doit pas s'être évaporé ou ne doit pas être polymérisé tant que le dernier renfort n'a pas été posé. Un temps de prise long facilite aussi la remontée des bulles prisonnières du composite qui peuvent être éliminées avec l'ébulleur.
- **Stabilité physico-chimique** Dans le temps qui nous est imparti, une étude sur la stabilité des matériaux aux agents climatiques n'est pas envisageable. Nous avons donc préféré sélectionner des adhésifs ou des fibres employées en conservation-restauration et dont le vieillissement est connu. Le jaunissement de la matrice ne sera pas considéré comme discriminant puisque nous prévoyons

¹⁴⁰ D'après les cours dispensés par Martine Bailly à l'INP sur le collage des céramiques et des métaux, 2005.

de retoucher l'élément pour diminuer son impact visuel au revers de l'œuvre.

- **Épaisseur des plis** L'épaisseur des plis, c'est-à-dire du matériau composite, ne doit pas être supérieure à celle de la plaque de zinc. Nous souhaitons en effet que ces éléments de renfort soient le moins perturbants possible pour ne pas gêner la lisibilité de l'œuvre. Il faudra donc essayer d'obtenir un stratifié fin ayant les propriétés mécaniques souhaitées.

- **Taux de renfort** Selon les ouvrages, le taux de renfort dans la matrice est calculé en volume ou en masse. Pour faciliter les calculs nous avons choisi d'exprimer nos résultats en masse surfacique de matrice dans le renfort. Ces pourcentages varient selon la technique de mise en œuvre utilisée ou selon la technologie souhaitée. Nous avons décidé de travailler par moulage au contact, ce qui se traduit par l'utilisation de 80% à 50% de matrice pour 20% à 50% de masse de renfort ¹⁴¹.

- **Taux de matrice**

- **Facilité de mise en œuvre** Il existe de nombreux modes de fabrication des stratifiés : moulage sous vide d'air, pressage à chaud, projection simultanée¹⁴². Nous avons choisi le moulage par contact qui correspond à la technique la plus simple de stratification avec l'utilisation d'un moule ouvert.

- **Toxicité** Les résines employées pour la stratification sont le plus souvent des adhésifs thermodurcissables dont la toxicité peut-être élevée. Ce critère sera donc pris en compte lors de la sélection de l'adhésif et pendant toute la durée de mise en œuvre.

- **Accessibilité** La diversité des matériaux est grande et le prix de revient de la matière première varie énormément (par exemple entre les fibres kevlar et le verre¹⁴³). Nous considérons qu'il est important que les éléments soient facilement accessibles au restaurateur, d'un point de vue financier et géographique.

¹⁴¹ GAY (D.), 2005, p. 58.

¹⁴² GAY (D.), 2005, p. 38 à 45.

¹⁴³ BATHIAS (C.), 2005, p. 9 à 30.

2. Sélection de la matrice

Définition des termes utilisés :

Deux catégories de polymères sont utilisées en conservation-restauration des objets métalliques :

- **Les adhésifs thermoplastiques** sont des polymères linéaires ou ramifiés qui ont été obtenus par l'addition de monomères à motifs simples et identiques. Les macromolécules formées sont liées par des forces de faibles intensités, comme les liaisons de van der Waals, ce qui permet une certaine mobilité des chaînes et la rotation des liaisons carbone-carbone. Ces adhésifs comportent donc une température de transition vitreuse qui correspond au niveau énergétique minimum pour mettre en mouvement les chaînes moléculaires. En-dessous de cette température le polymère reste rigide, au-dessus il se déforme. Les résines de cette catégorie sont généralement souples, solubles dans des solvants, fusibles et présentent des forces d'adhésion moyennes.
- **Les adhésifs thermodurcissables** sont obtenus par condensation de monomères qui forment un réseau tridimensionnel de macromolécules. Ces matériaux sont constitués de liaisons atomiques de forte intensité, comme les liaisons covalentes, ce qui ne permet pas la mobilité des chaînes entre elles. Les résines de cette catégorie sont très résistantes aux sollicitations mécaniques et ont un pouvoir adhésif élevé.

Cf. DE WITTE (E.), 1983-1984, p.16 p. et HORIE (C.V.), 1987, p. 71-175.

Le matériau composite doit être le plus fin possible et avoir une certaine rigidité sur une très petite surface afin de compenser les mouvements de flexion de l'œuvre. Pour ces raisons, nous écartons les adhésifs thermoplastiques de notre choix de matrice pour se concentrer sur des résines aux propriétés structurales optimales. Nous allons donc sélectionner l'adhésif qui répond le mieux à notre cahier des charges parmi les trois grandes familles de résines thermodurcissables utilisées en conservation-restauration que sont les polyuréthanes, les polyesters et les époxydes.

Les polyuréthanes sont des résines peu étudiées à ce jour, si ce n'est du point de vue de leur stabilité chimique¹⁴⁴. Elles sont employées en céramique et en verre pour la retouche ou le vernissage de faïences ou de porcelaines et comme matériau de comblement pour le verre. Le film obtenu est lisse, brillant, homogène, et présente un excellent comportement au vieillissement artificiel. Cependant, la documentation sur ces résines est faible, et le seul adhésif testé, l'Araldite® 2026, a un temps de prise extrêmement court¹⁴⁵ qui ne permet pas de l'employer pour la stratification. Sa viscosité de 10 Pa.s est aussi largement supérieure à celle des époxydes optiques (0,15 Pa.s).

¹⁴⁴ GALL-ORTLIK (A.), 2002 et DUPONT (P.), 2002, p. 135-157.

¹⁴⁵ *Idem*, fiche technique de l'Araldite® 2026 : son temps de prise est réduit de l'ordre de 3 à 4 minutes ce qui ne permet pas d'effectuer des collages complexes.

Les polyesters sont presque exclusivement employés pour le comblement du verre¹⁴⁶, ce qui a amené les scientifiques à faire des recherches sur leur jaunissement à la lumière¹⁴⁷. Une étude comparative réalisée au British Muséum¹⁴⁸ a permis cependant de démontrer que les résines polyesters se rétractaient beaucoup plus que les époxydes. Dans l'industrie, ces produits sont couramment utilisés car leur prix de revient est faible et leur flexibilité intéressante¹⁴⁹. Le retrait chimique de l'ordre de 10% en volume est réduit, voire supprimé par l'introduction de charges thermoplastiques. Pour notre étude, ce phénomène est difficilement contrôlable et nous pensons qu'il pourrait introduire des contraintes dans le renfort. De plus, la résine contient du styrène¹⁵⁰, solvant considéré comme nocif et irritant, ce qui nous a conduit à l'éliminer de notre choix.

Les époxydes font l'objet de recherches approfondies dans le domaine de la conservation-restauration et demeurent les adhésifs thermodurcissables les plus employés. Ces résines sont constituées d'une base qui apporte les groupes époxydes, et d'un durcisseur qui permet la réticulation grâce à ses chaînes aliphatiques contenant des amines ou des amides. À ce mélange sont ajoutés des charges, plastifiants et diluants qui ont un effet non négligeable sur le vieillissement de l'adhésif¹⁵¹.

Trois catégories se distinguent : les époxydes à prise rapide ou à prise lente, et les époxydes optiques. Les premières ne peuvent être retenues en raison du temps nécessaire à la fabrication du composite, et les secondes sont difficiles à mettre en œuvre. Nous avons réalisé un pré-test d'imprégnation d'un tissu de fibre de verre avec une époxyde lente, l'Araldite® 2011¹⁵², mais sa viscosité élevée¹⁵³ rendait l'opération délicate : les fibres se sont distendues et le textile est devenu hétérogène. Devant ce résultat, nous avons orienté nos recherches sur les résines optiques, dont la transparence nous importe moins que la basse viscosité, le faible retrait¹⁵⁴ lors de la polymérisation et la facilité d'imprégnation des fibres.

¹⁴⁶ HORIE (C.V.), 1987, p. 165. Il explique que cette résine a été utilisée dans d'autres domaines: consolidation du bois et de la pierre, comblement des métaux et du bois.

¹⁴⁷ TENNENT (N.), TOWNSEND (J.H.), 1984.

¹⁴⁸ BRADLEY (S.M.), WILTHEW (S.E.), 1984.

¹⁴⁹ BATHIAS (C.), 2005, p. 36 à 45.

¹⁵⁰ Fiche de données de sécurité sur la résine polyester GTS de chez Soloplast-Vosscemie.

¹⁵¹ DOWN (J.L.), 1983, 55 époxydes ont été étudiées par l'ICC et leur stabilité chimique a été mise en relation avec leur composition. Les différents constituants ont alors été analysés, information qui n'est généralement pas donnée par le fournisseur.

¹⁵² Annexe 9. Fiche technique de l'Araldite® 2011 (Huntsmann), p. XXV: le temps de travail correspond à 100 mn à 25°C.

¹⁵³ *Idem* : la viscosité de la résine est de 20-30 Pa.s.

¹⁵⁴ DOWN (J.L.), 1983, p. 63, et HORIE (C.V.), 1987, p. 170.

- *La Hxtal NYL-1*[®] est la résine optique qui présente la plus grande stabilité aux agents photochimiques. Elle pose cependant un double inconvénient vis-à-vis de notre cahier des charges : son temps de prise est très long, de l'ordre d'une semaine, ce qui est trop important pour pouvoir fabriquer nos séries d'éprouvettes, et son fournisseur se trouve aux États-Unis.¹⁵⁵
- *L'Araldite*[®] 2020¹⁵⁶ est un adhésif optique, de faible viscosité (0,15 Pa), conçu par le fabricant pour le collage du verre, du métal, de la céramique et des plastiques rigides. Son temps de travail de 45 minutes correspond au temps de mise en œuvre dont nous avons besoin et la polymérisation se fait en 48 heures, ce qui est aussi acceptable. La résine est largement diffusée, notamment par CTS, et donc facilement accessible au restaurateur. Pour toutes ces raisons, ainsi que pour ses bonnes propriétés mécaniques, nous avons décidé de choisir l'Araldite 2020[®] comme matrice du composite.

Une époxyde optique, l'Araldite 2020[®], est choisie pour servir de matrice au stratifié.

3. Sélection du renfort

De nombreuses fibres naturelles ou synthétiques sont disponibles. A titre d'exemple nous ne citerons que celles de verre, de carbone, d'aramide (Kevlar[®]), de bore, de carbure de silicium ou de polyéthylène. Elles peuvent prendre des formes diverses et se présenter en tissus dont les armures varient ou en nappes unidirectionnelles. Par souci d'accessibilité et de stabilité nous avons choisi de tester des produits à disposition dans les ateliers de métal, peinture ou sculpture.

Des essais d'imprégnation ont été menés sur des tissus fibres de verre de quatre grammages différents ainsi que sur des non-tissés polyesters¹⁵⁷. L'époxyde optique a été coulée sur des carrés de fibres seules et sur des carrés de fibres disposés au-dessus d'une armature en laiton. Nous avons cherché à définir celle qui présentait les meilleurs résultats d'imprégnation, de mise en forme avec un bon rapport rigidité-souplesse.

¹⁵⁵ L'indice de réfraction de cet adhésif est très proche du verre et sa stabilité est telle qu'elle est considérée à l'heure actuelle comme la meilleure résine pour le comblement de verre. Ces résines sont chères, se périment en 3 mois après ouverture du pot, et nous pensons qu'un tel investissement par un atelier de restauration de métaux n'est pas justifié pour la fabrication d'un stratifié, situé au revers, dont la transparence est secondaire et puisqu'il sera retouché par la suite.

¹⁵⁶ Annexe 9. Fiche technique de l'Araldite[®] 2020 (Hunstman), p. XXVII.

¹⁵⁷ Annexe 5. Tests d'imprégnation et de mise en forme du renfort, p. VI.

Les tissus de fibres de verre de 80g/m² et 160g/m² ont présenté des qualités d'imprégnation, de mise en forme ainsi qu'une certaine rigidité. Nous les avons donc choisis comme matériau de renfort. En conservation-restauration d'objets métalliques, elle a été souvent utilisée comme doublage d'éléments nécessitant des soutiens structurels, comme des œuvres archéologiques fragmentaires ou des pièces d'armures. Dans les années 1960-1970¹⁵⁸, le tissu de verre était associé avec des matrices polyester puis, à partir des années 1980¹⁵⁹, les époxydes ont commencé à être plus largement employées grâce au développement de résines stables et translucides.

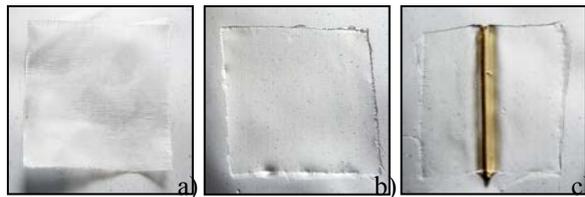


Fig. 105 : La fibre de verre 80g/m² épouse bien la forme de l'armature et son imprégnation par l'époxyde est homogène :

- a) fibre avant imprégnation ;
 b) fibre imprégnée ;
 c) fibre imprégnée sur une tige en alliage cuivreux.

Deux tissus de fibre de verre, de 80 g/m² 160g/m², sont choisis pour servir de renfort au stratifié.

B. Les adhésifs de liaison

1. Cahier des charges

Nous allons maintenant nous intéresser aux propriétés des adhésifs de liaison, qui assureront le maintien du stratifié sur l'œuvre.

- **Stabilité physico-chimique** - Comme pour les matériaux de stratification, nous avons préféré sélectionner des produits employés en conservation-restauration et dont la stabilité est étudiée. En effet nous consacrons cette étude à la caractérisation mécanique du système de renforcement et il ne nous est pas possible de mener une autre recherche sur son vieillissement.
- **Viscosité** - Les adhésifs thermoplastiques sont mis en solution. Il faut donc tenir compte de leur viscosité lors du choix de concentration afin de pouvoir appliquer la résine au pinceau. Il faut trouver une viscosité adaptée au poids moléculaire de la résine pour pouvoir former un film suffisamment épais.

¹⁵⁸ FRANCE-LANORD (A.), 1963 et LANE (H.), 1974.

¹⁵⁹ TUTTLE (P.), 1982, p. 12-2 et 12-3.

- **Retrait**

Pour passer d'une phase liquide à solide, les solutions d'adhésifs thermoplastiques s'évaporent et les résines thermodurcissables réticulent. En général, ce changement de phase entraîne l'apparition de tensions et de vides ce qui peut conduire à des lacunes de matière dans le joint de colle. Pour limiter ce retrait, les adhésifs thermoplastiques doivent être utilisés à des concentrations élevées, dans la limite de la mise en œuvre, afin de réduire les risques liés à cette évaporation de solvant. Pour les adhésifs thermodurcissables, un léger surplus de résine devrait pallier à cet inconvénient.
- **Réversibilité**

Le substrat est lisse et peu poreux. Il est d'usage d'utiliser des adhésifs formant des liaisons fortes, de type covalentes, ce qui abaisse considérablement les possibilités de réversibilité du montage. Nous allons donc nous employer à tester des systèmes qui pourraient augmenter la réversibilité de l'ensemble.

Les résines qui forment des liaisons faibles seront quand à elles renforcées par la présence de charges.
- **Mouillage**

Il faut que la mouillabilité de l'adhésif soit bonne, car si le produit ne s'étale pas bien, l'adhésion ne peut pas se faire. L'énergie de surface des solides doit donc être supérieure à celle de la résine, ce qui est le cas pour les métaux oxydés, ainsi que pour les matériaux composites à base de colle époxyde qui sont mouillés par la plupart des solvants organiques.
- **Toxicité**

Les résines thermoplastiques peuvent être mises en solution dans des solvants plus ou moins toxiques et les polymères thermodurcissables ont des durcisseurs qui contiennent des amines irritantes pour les yeux et la peau. Des protections adaptées seront utilisées pendant le temps de préparation des échantillons.
- **Accessibilité**

Nous considérons, comme précédemment, qu'il est important que les produits soient facilement accessibles au restaurateur, d'un point de vue financier et géographique.

2. Sélection des adhésifs thermoplastiques et de l'additif

a. Adhésifs : les Paraloïd® B72 et B44

Les résines acryliques en solution sont maintenant beaucoup employées dans le domaine de la restauration. Stables et relativement inertes pour le substrat, elles n'émettent que des esters et des composés résiduels du solvant sans libérer de produits acides comme le font certains adhésifs¹⁶⁰. Les acryliques ont tout d'abord été utilisées en film pour former des couches protectrices de vernis sur les objets du patrimoine avant de jouer le rôle de consolidant, d'adhésif, puis récemment d'adhésif structural. Une étude évaluant le pouvoir d'adhérence du Paraloïd® B72¹⁶¹ a indiqué que dans certains cas la résine pouvait résister à de fortes tensions et qu'il n'était pas forcément nécessaire d'utiliser des adhésifs thermodurcissables comme les époxydes. Nous pensons donc qu'il est indispensable de tester cette famille chimique, dont la qualité première demeure la réversibilité.

Deux Paraloïd® de la gamme B de Rohm and Haas, présentant une dureté moyenne, vont être testés en cisaillement afin de déterminer celui qui présente la meilleure adhésion¹⁶².

- *Le Paraloïd® B72*¹⁶³ est un copolymère de méthacrylate d'éthyle et d'acrylate de méthyle, de dureté moyenne (10-11 KHN) et dont la Tg est assez basse (40°C). Le film de résine formé est relativement souple ce qui peut lui permettre de supporter des contraintes de cisaillement sans se rompre : le matériau visco-élastique se déforme.
- *Le Paraloïd® B44*¹⁶⁴ est un copolymère d'acrylate d'éthyle et de méthacrylate de méthyle, présentant un poids moléculaire plus important, donc une dureté supérieure (15-16 KHN) et une Tg plus élevée (60°C). Le film de résine est plus cassant car plus rigide que celui de Paraloïd® B72.

Nous allons tester deux acryliques en solution, le Paraloïd® B72 et le Paraloïd® B44.

¹⁶⁰ DOWN (J.), 1996, p. 19 à 44. Les adhésifs au polyacétate de vinyle (PVA), qui sont encore parfois employés dans les pays anglo-saxons, émettent de l'acide acétique, ce qui peut être très préjudiciable pour un métal amphotère comme le zinc.

¹⁶¹ PODANY (J.), 2001, p. 15 à 33.

¹⁶² Le Paraloïd® B48 a été écarté de notre sélection en raison de son acidité considérée comme inacceptable (cf. DOWN (J.L.), 2001, p. 26), même si le fournisseur recommande son usage pour des substrats métalliques corrodés (cf. fiche technique de Rohm and Haas). Le Paraloïd® B67 est aussi peu flexible (cf. DOWN (J.L.), 2001, p. 34).

¹⁶³ Annexe 9. Fiche technique du Paraloïd® B72, p. XXIX.

¹⁶⁴ Annexe 9. Fiche technique du Paraloïd® B44, p. XXX.

b. Additif : l'Aérosil® 200

Depuis les années 1980, la silice colloïdale¹⁶⁵ est ajoutée dans la préparation d'adhésifs pour en modifier les propriétés rhéologiques mais aussi mécaniques : la résine devient thixotrope et voit ses forces d'adhésion et de cohésion augmenter.

La silice colloïdale, appelée aussi « en aérosol », « pyrogénée » ou « fumée » de par son mode de fabrication, se présente sous forme d'une poudre blanche volatile, dont la taille des particules est comprise entre 0,07 et 0,014 μm ¹⁶⁶. Elle est constituée de groupements tridimensionnels de dioxyde de silicium, les agrégats¹⁶⁷, qui sont des particules amorphes présentant une grande surface spécifique. Il en résulte une possibilité d'interaction importante de ces éléments avec le milieu dans lequel ils sont placés. La plupart des silices employées sont dites hydrophiles car des fonctions hydroxyles¹⁶⁸ sont fixées en surface de la particule. Elles forment alors des liaisons hydrogènes entre les agrégats ce qui permet d'augmenter fortement la viscosité d'un adhésif et de renforcer son pouvoir d'adhérence des adhésifs, résultant du réseau formé par la silice dans la résine. Koob¹⁶⁹ explique qu'il est souhaitable de ne pas dépasser 0,1% de silice en poids afin d'éviter de créer un joint cassant.

Nous allons tester les deux acryliques avec l'ajout de 0,1% de silice hydrophile en poids.

3. Sélection des adhésifs thermodurcissables

Les époxydes présentent des qualités mécaniques ainsi qu'une résistance chimique importante. Elles permettent de créer des joints sécurisants, souples et qui peuvent supporter de fortes contraintes de traction et de cisaillement¹⁷⁰. Étant données les caractéristiques du substrat à encoller, qui ne permet pas d'ancrage mécanique, ces adhésifs nous paraissent adaptés à nos besoins. Leur principal inconvénient réside dans leur faible réversibilité¹⁷¹, mais

¹⁶⁵ Annexe 9. Fiche technique de l'Aérosil®200 (Evonik-Degussa), p.XXXI.

¹⁶⁶ Afin de se prémunir des effets irritants de ces particules, il est préconisé de porter un masque à poussière, des gants et des lunettes de protection.

¹⁶⁷ BYRNE (G.S.), 1984, p. 80.

¹⁶⁸ BYRNE (G.S.), 1984, p. 80 : Il est aussi possible d'employer des silices hydrophobes en substituant des groupes fonctionnels.

¹⁶⁹ KOOB (S.P.), 1985, p. 9.

¹⁷⁰ PODANY (J.), 2001, p. 18.

¹⁷¹ HORIE (C.V.), 1982, p. 3-1 à 3-6 ; REMILLARD, 1989, p. 12 à 17 : Les résines époxydes ne sont plus solubles après réticulation. Il est possible de les faire gonfler dans des solvants lourds comme le chlorure de méthylène pour affaiblir leurs forces de cohésion intramoléculaire avant de les enlever mécaniquement. Mais ces méthodes présentent des risques pour la santé et sont parfois impossibles à mettre en œuvre sur certains substrats.

nous prévoyons de tester des systèmes de collage mixte pour tenter de répondre à ce problème.

- *L'Araldite[®] 2011¹⁷²* est une résine époxyde à prise lente, dont la durée d'utilisation est évaluée à 120 mn à 23°C, avec une résistance au cisaillement élevée (27 N/mm) et un emploi préconisé pour les métaux et les stratifiés thermodurcissables. Pour tous ces critères ainsi que pour son accessibilité et son usage fréquent en conservation-restauration des métaux nous avons sélectionné cet adhésif pour l'étude.
- *L'Araldite[®] 2020* est l'époxyde optique utilisée comme matrice du composite. Nous décidons de l'inclure aussi dans le choix des adhésifs de liaison pour étudier sa résistance au cisaillement, ce qui pourrait peut-être nous conduire à employer la même résine pour l'ensemble du système de renforcement.

Nous allons tester deux époxydes : l'Araldite[®] 2011 et l'Araldite[®] 2020.

C. Systèmes de tests envisagés

1. Flexion des stratifiés

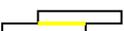
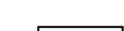
Nous avons choisi de tester 8 systèmes de stratification en faisant varier le grammage du renfort, le nombre de plis et le pourcentage massique de matrice. Les tests sont réalisés en 5 exemplaires ce qui représente 40 échantillons puis les composites sont comparés avec le module d'élasticité de 5 échantillons de zinc moderne.

1/ système testé	Description du système % de résine en masse/surface	2/ système testé	Description du système % de résine en masse/surface
a 	2 renforts de 80g/m ² 50% de résine	A 	2 renforts de 80g/m ² 70% de résine
b 	1 renfort de 160g/m ² 50% de résine	B 	1 renfort de 160g/m ² 70% de résine
c 	3 renforts de 80g/m ² 50% de résine	C 	3 renforts de 80g/m ² 70% de résine
d 	1 renfort de 80g/m ² 1 renfort de 160 g/m ² 50% de résine	D 	1 renfort de 80g/m ² 1 renfort de 160 g/m ² 70% de résine

¹⁷² Annexe 9. Fiche technique de l'Araldite 2011[®] (Hunstman), p. XXV.

2. Cisaillement des adhésifs de liaison sur une interface Zn patiné/Zn patiné.

Nous avons sélectionné douze systèmes que nous allons tester en cisaillement. Chaque test est effectué en cinq exemplaires¹⁷³, ce qui équivaut à la fabrication de soixante échantillons.

Système testé	Adhésifs testés	Justification
1 	PB72 [®] , en film	Les adhésifs thermoplastiques sont testés seuls et avec ajout de silice colloïdale. Ces résines sont réversibles dans des solvants mais ont une force de collage inférieure à celle des époxydes. Nous voulons donc déterminer si l'addition de charge peut augmenter leur adhérence et permettre leur emploi final.
2 	PB44 [®] , en film	
3 	PB72 [®] , avec 0,1% de silice colloïdale, en film	
4 	PB44 [®] , avec 0,1% de silice colloïdale, en film	
5 	Araldite [®] 2011 en plot	Nous avons vu que les résines thermodurcissables sont difficilement réversibles mais qu'elles ont aussi des propriétés mécaniques élevées. Si les acryliques ne peuvent résister aux sollicitations de l'œuvre, il faudra choisir une résine dans cette famille d'adhésif. Nous testons alors deux modes d'application des Araldite [®] : en plot ¹⁷⁴ ou en film. La mise en place de plots, qui ne recouvrent pas l'ensemble du joint de colle pourrait être un compromis vers la réversibilité (ils pourraient être retirés mécaniquement, de façon plus aisée).
6 	Araldite [®] 2011 en film	
7 	Araldite [®] 2020 en plot	
8 	Araldite [®] 2020 en film	
9 	PB72 [®] sur fibre de verre, Araldite [®] 2011 en plot	Une étude a été menée sur l'utilisation du Paraloid [®] B72 comme couche isolante entre des joints de résines époxydes ¹⁷⁵ . Les résultats montrent qu'il supporte bien les contraintes des collages structuraux tout en augmentant la réversibilité du système. Il faut cependant qu'il soit appliqué en épaisseur et qu'aucune lacune n'apparaisse dans le film. Nous avons choisi d'adapter ce procédé en imprégnant un tissu de fibre de verre de faible grammage d'une solution diluée de Paraloid [®] B72. Nous pensons que l'adhésif structural sera ainsi mieux isolé du substrat et donc plus réversible. Un essai de réversibilité concluant a été mené à l'aide de solvants mais il faudrait idéalement attendre plusieurs années pour réitérer le test.
10 	PB72 [®] sur fibre de verre, Araldite [®] 2011 en film	
11 	PB72 [®] sur fibre de verre, Araldite [®] 2020 en plot	
12 	PB72 [®] sur fibre de verre, Araldite [®] 2020 en film	

¹⁷³ Les normes sur les essais de résistance mécanique préconisent la réalisation de cinq éprouvettes au minimum par souci de reproductibilité (essai de flexion NF T 51-001, essai de traction NF T 51-034).

¹⁷⁴ De CORNEILLAN (H.), 2006, p. 70.

¹⁷⁵ PODANY (J.), 2001, p. 15 à 33.

III. PRÉPARATION DES ÉCHANTILLONS

A. Préparation des stratifiés

Les dimensions des éprouvettes n'ont pas pu être déterminées par la norme NF T 51-001 intitulée « *essai de flexion des matières plastiques rigides* », car l'épaisseur requise est dix fois supérieure à celle que nous souhaitons. Nous avons donc choisi des dimensions importantes de 100 mm de long par 30 mm de large, afin d'éviter la mesure d'efforts trop faibles, comme cela est indiqué. Les résultats obtenus seront ensuite adaptés pour correspondre à la surface de renfort nécessaire pour les œuvres.



Fig. 106 : Dimensions des échantillons de flexion.

1. Fabrication du moule

Des moules sur mesure ont été conçus pour pouvoir couler la matrice sur chacun des huit systèmes de composites. Nous avons décidé de fabriquer quatre moules pouvant contenir chacun un système complet avec ses six éprouvettes afin d'effectuer les deux séries de stratification dans un temps minimal.

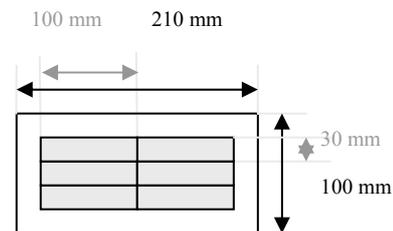


Fig. 107 : Dimensions du moule avec emplacement des échantillons.

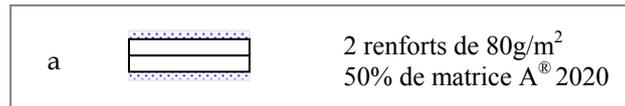
Les dimensions du moule sont déterminées par celles des échantillons. Nous comptons un rectangle de 210 mm de long par 100 mm de large pour pouvoir y découper six rectangles de 100 mm de long par 30 mm de large. Une plaque de verre lisse est taillée au diamant selon ces dimensions. Elle est ensuite superposée sur une autre plaque de verre et jointe à l'aide d'un biais en Plastiline[®] qui facilitera les opérations de démoulage. Le coffrage est effectué à l'aide de baguettes de bois fixées à la Plastiline[®] puis un silicone de polyaddition¹⁷⁶ est coulé sur les deux verres superposés : nous obtenons ainsi un moule silicone avec un rectangle en creux aux dimensions du verre (cf. planche XIII : Étapes de fabrication des stratifiés).

¹⁷⁶ Silicone de polyaddition Rhodorsil[®] RTV 3428 A et B, fournit par ABF distribution. Il présente l'avantage d'être mécaniquement résistant et connaît un faible retrait lors de sa réticulation.

2. Stratification

Comme le moule est ouvert, la méthode de fabrication des composites correspond à une stratification par contact. Cette opération nécessite l'emploi d'un ébulleur, outil métallique en forme de cylindre rainuré que l'on roule à la surface des renforts pour y faire pénétrer la matrice en écrasant les bulles d'air.

Nous donnons l'exemple de la fabrication du système a) :



- L'Araldite[®] 2020 est introduite dans le moule en silicone, après avoir calculé le poids de résine nécessaire pour obtenir 50% d'époxyde (pourcentage massique testé) pour 50% de renfort sur 0,0210 m² (surface du moule, donc du renfort)¹⁷⁷.
- Le premier rectangle de fibre de verre à 80g/m² est introduit dans le moule puis pressé contre la résine avec l'ébulleur : la fibre doit être complètement imprégnée et la résine doit remonter légèrement en surface. Une dizaine de passage du rouleau est nécessaire pour obtenir un matériau uniforme.
- Le second rectangle de fibre de verre à 80g/m² est à son tour placé dans le moule et stratifié.
- Il faut attendre la complète polymérisation de la résine, soit 48h, avant de pouvoir démouler le composite qui est ensuite découpé à la taille des échantillons.

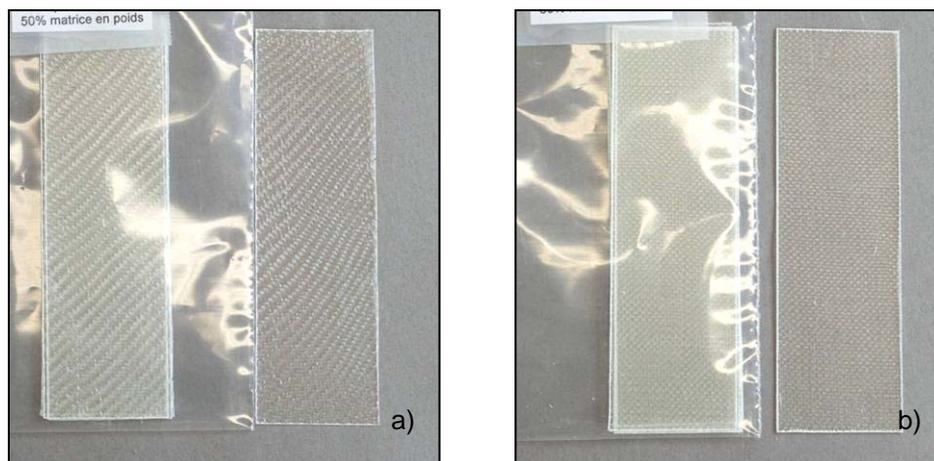


Fig. 108 : Exemple de stratifiés :

- a) Échantillons b) : un renfort de 160g/m² avec 50% de résine en poids.
b) Échantillons c) : trois renforts de 80/m² avec 50% de résine en poids.

¹⁷⁷, Cf. Annexe. Exemple de calcul entrant en compte dans la fabrication des composites.

PLANCHE XIII : Étapes de fabrication des stratifiés

A. Fabrication du moule en silicone



III. 15. Découpe des plaques de verre et pose d'un biais en plastiline® pour faciliter le démoulage.

III. 16. Réalisation de 4 moules : pose du coffrage en bois et des joints en plastiline®.

III. 17. Coulage du silicone.

B. Stratification



III. 18. Coulage de la résine époxyde optique dans le moule en silicone.

III. 19. Pose du premier renfort de fibre de verre sur la résine.

III. 20. Imprégnation du renfort dans la matrice à l'aide d'un ébulleur.



III. 21. Formation du premier pli : le textile est complètement imprégné.

III. 22. Pose du second renfort qui est stratifié par-dessus le premier pli, sans ajout de résine.

III. 23. Détail du matériau composite après stratification, en cours de polymérisation.

B. Préparation des échantillons avec adhésifs de liaison

Les dimensions de la surface de collage n'ont pu être déterminées par les normes¹⁷⁸ qui stipulent que la longueur de recouvrement doit être 10 à 20 fois supérieure à l'épaisseur de la tôle métallique, soit comprise entre 7 mm et 14 mm. Suite à des pré-tests de cisaillement visant à calibrer les appareils, les résultats obtenus avec les adhésifs thermoplastiques étaient très faibles. Nous avons donc choisi une surface de collage supérieure (20 mm x 25 mm) afin d'obtenir des résultats interprétables. Les autres dimensions sont conditionnées par l'espacement entre les mors de la machine de traction.

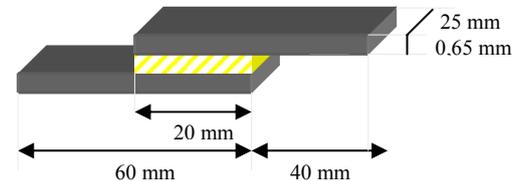


Fig. 109: Dimensions des échantillons de cisaillement.

1. Préparation des éprouvettes de zinc

a. Choix du métal

L'objectif est de trouver un matériau qui se rapproche le plus possible de l'œuvre afin de reproduire au mieux les conditions d'adhésion qui s'effectueront sur l'objet. Beaucoup de paramètres demeurent cependant inconnus et nous avons essayé de privilégier certains aspects qui nous paraissent primordiaux, comme le traitement de surface du métal.

Nous avons sélectionné une feuille de zinc chez « Weber métaux »¹⁷⁹ dont l'épaisseur est légèrement inférieure à celle de l'œuvre (65/100^e mm d'épaisseur au lieu des 7/10^e mm d'épaisseur des silhouettes) car les standards de fabrication ont changé depuis le XIX^{ème} siècle. Sa composition et son module d'élasticité ne nous ont pas été communiqués par le fournisseur mais nous considérons ces informations comme secondaires puisque nous allons traiter la surface du métal et qu'il n'est pas possible de connaître les propriétés élastiques de l'œuvre originale. Il est probable que le zinc moderne soit moins souple que le zinc ancien car les contraintes amenées par les bris ont dû écrouir et donc rigidifier localement les silhouettes.

¹⁷⁸ Les dimensions requises pour les échantillons en cisaillement sont décrites par DARCQUE-CERETTI, 2005, p. 158-159.

¹⁷⁹ Nous avons démarché des entreprises de zinguerie et des ferrailleurs afin de trouver une tôle ancienne, mais les critères de planéité, de dimensions ou d'état de surface n'étaient jamais requis.

b. Choix du traitement de surface

L'adhésion s'effectuera sur des carbonates et/ou des oxydes de zinc, qui ont une énergie de surface différente de celle du métal. Le traitement de surface apparaît alors comme une étape majeure qui conditionnera en grande partie nos résultats.

Nous avons cherché à obtenir des produits de corrosion identiques à ceux de l'objet en plaçant des plaquettes de zinc en immersion dans des oxydants forts (acide nitrique, bichromate de potassium, permanganate de potassium) parfois additionnés de carbonate de sodium¹⁸⁰. Le zinc est un métal réducteur qui s'oxyde facilement¹⁸¹. En choisissant l'acide nitrique, nous espérons former un film d'oxydes puisque les nitrates sont solubles. Par contre nous évitons d'employer les oxydants à base de phosphore ou de soufre car les composés obtenus avec le zinc sont insolubles et forment des phosphates ou des sulfures de zinc¹⁸².

L'essai qui a donné les meilleurs résultats d'adhérence et surtout d'homogénéité correspond à la solution d'acide nitrique à 1% additionnée de 0,2% de carbonate de sodium en poids. La plaquette a été placée pendant 1h30 dans cette solution à pH acide (1), continuellement mise en agitation, ce qui a permis d'obtenir une couche de carbonates de zinc¹⁸³. Il aurait peut-être été préférable d'utiliser des oxydes de zinc mais les produits formés étaient beaucoup trop fins et hétérogènes, ce qui ne permettait pas une reproduction à plus grande échelle.

b. Préparation des supports en zinc patiné

Chaque plaquette a été découpée, perforée, marquée, dégraissée et patinée avant d'être collée.

Les échantillons ont été découpés par « Weber métaux » avec une cisaille hydraulique car les traditionnelles cisailles à main déforment le métal. Les deux parties de zinc à mettre en contact sont donc planes, ce qui est très important pour pouvoir encoller les surfaces et avoir des essais reproductibles. Nous avons ainsi obtenu 120 rectangles de zinc (pour 60 tests) de 60 mm de long par 25 mm de large. Ils ont été perforés¹⁸⁴ au milieu de la largeur pour pouvoir être immergés dans le bain de patine puis ils ont été lavés avec une brosse en nylon et de l'eau déminéralisée additionnée d'un tensio-actif, rincés à l'eau déminéralisée, séchés à l'alcool

¹⁸⁰ Annexe 6. Tests de corrosion artificielle, p.VII. Le protocole a été réalisé avec l'aide de Régis Bertholon.

¹⁸¹ Son potentiel oxydation est -0.76 V.

¹⁸² POURBAIX (M.), 1963.

¹⁸³ Deux produits de corrosion ont été analysés par diffraction de rayon X en incidence rasante au C2RMF afin de vérifier que les produits formés correspondaient bien à ceux souhaités. Les échantillons immergés dans des solutions d'acides nitriques ont bien formé des oxydes de zinc, et les échantillons immergés dans des solutions d'acides nitriques additionnées de carbonate de sodium ont formé des carbonates de zinc

¹⁸⁴ Les trous n'ont pas d'influence sur les tests mécaniques puisqu'ils sont situés sur les côtés qui seront pris dans les mors de la machine de traction

puis à l'acétone. Comme nous pensons que l'œuvre n'a pas été polie puisque le mors-fil est encore présent, les surfaces sont laissées à l'état brut de laminage.

Les plaquettes peuvent alors être patinées selon le protocole déterminé précédemment et sont suspendues par dix dans la solution à l'aide d'un fil de téflon. Elles se recouvrent d'une couche gris-noire qui semble adhérente puisqu'elle ne part pas au nettoyage. Au cours de la réalisation des patines nous avons pris conscience qu'il était difficile de reproduire la même couche de corrosion sur chacune des éprouvettes. Les films ne sont donc pas toujours homogènes et nous pensons que cela peut avoir une influence sur l'adhérence de l'adhésif et donc provoquer une dispersion de résultats.

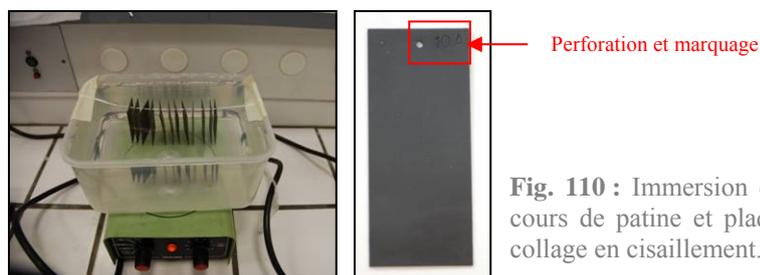


Fig. 110 : Immersion de 10 plaquettes en cours de patine et plaquette prête pour le collage en cisaillement.

2. Préparation des adhésifs de liaison

a. Choix des solvants des adhésifs thermoplastiques

Le choix du solvant détermine en grande partie l'homogénéité du film, son épaisseur ainsi que son temps de mise en œuvre. Le fabricant conseille d'utiliser un solvant lourd et pénétrant, le toluène qui a pour avantage de s'évaporer lentement et de réduire les mouvements browniens qui surviennent lors de la disparition du solvant dans le solide. Cependant la rétention du toluène est importante, sa toxicité élevée et nous ne jugeons pas nécessaire d'avoir un temps de mise en œuvre aussi long. Les restaurateurs d'art du feu utilisent donc fréquemment l'acétone qui est un solvant à évaporation plus rapide, avec un temps de rétention faible et une toxicité moindre. Nous l'avons pourtant écarté de nos choix du fait de sa volatilité qui est un inconvénient dans la réalisation d'éprouvettes en série.

Depuis quelques années, l'acétate d'éthyle est de plus en plus employé car il répond à beaucoup de conditions nécessaires au collage. Il s'agit d'un ester dont la volatilité est inférieure à celle de l'acétone¹⁸⁵ mais bien supérieure à celle du toluène. Il reste de plus

¹⁸⁵ MASSCHELEIN-KLEINER, 1994, p. 30.

compatible avec les résines de la gamme des Paraloid^{®186}. Nous choisissons donc l'acétate d'éthyle qui présente un double avantage pratique : son temps de mise en œuvre correspond à nos besoins et sa rétention faible permet de fabriquer des échantillons dans un temps raisonnable (il faut attendre au minimum deux semaines d'évaporation avant de pratiquer les essais mécaniques).

b. Choix des concentrations

Pour le collage des métaux et des surfaces peu poreuses, nous utilisons généralement des concentrations comprises entre 30% et 40% de résine en poids dans le solvant. Ces concentrations sont relativement visqueuses ce qui offre la possibilité de former un joint assez épais et aide à contrôler la répartition de l'adhésif sur le substrat. Nous avons choisi d'employer le Paraloid[®] B72 à 40% en poids dans l'acétate d'éthyle et de diminuer légèrement la concentration du Paraloid[®] B44 à 35% en poids dans l'acétate d'éthyle du fait de sa viscosité supérieure.

La fibre de verre qui sert d'interface réversible aux résines époxydes (groupes 9, 10, 11, 12) est imprégnée d'une solution de Paraloid[®] B72 à 5% de résine en poids dans l'acétate d'éthyle. Nous utilisons donc une concentration habituelle pour une imprégnation de fibres.

c. Préparation des adhésifs

- *Les résines acryliques en solution* : Afin de faciliter la dissolution de la résine dans l'acétate d'éthyle, les Paraloids[®] ont été placés dans une gaze à l'intérieur d'un flacon en verre contenant le solvant. Un agitateur magnétique a permis d'accélérer le processus.
- *Les résines acryliques en solution avec ajout de silice colloïdale* : Nous avons procédé selon les recommandations de Koob¹⁸⁷ pour tenter d'obtenir le mélange le plus homogène possible. L'additif est introduit dans le solvant et mis en agitation avant de recevoir la résine thermoplastique.
- *Les résines époxydes* : Les fiches techniques indiquent les mélanges à opérer entre la base et le durcisseur, 10 parts de base et 8 parts de durcisseur en poids pour l'époxyde 2011[®] ; ainsi que 10 parts de base et 3 parts de durcisseur en poids pour l'époxyde 2020[®].

¹⁸⁶ PARALOID[®], 1998, p.8.

¹⁸⁷ KOOB, 1986, p. 10.

3. Fabrication des échantillons pour les tests de cisaillement

Les surfaces des échantillons sont dégraissées à l'acétone puis l'ensemble des plaquettes est placé dans une étuve à 40°C pendant 3h00 afin d'éliminer au maximum la présence d'eau. L'assemblage des éléments se déroule dans les ateliers d'arts du feu où l'humidité relative est comprise entre 45% et 50% pour 19°C.



Fig. 111 : Séchage des échantillons après pose de la patine.

a. Adhésifs thermoplastiques (groupes 1, 2, 3, 4)

Une goutte de 0,2 ml de résine est introduite sur une des surfaces à encoller à l'aide d'une seringue. Elle est étalée avec un pinceau large puis les deux parties métalliques sont mises en contact avant d'être immédiatement séparées pour faciliter l'évaporation du solvant et vérifier la qualité du joint¹⁸⁸. Les deux parties sont alors rapprochées et maintenues en pression constante à l'aide de serre-joints. Au bout de 2h00, les débordements sont éliminés avec un coton-tige légèrement imprégné d'acétone. Un scotch repositionnable est placé autour de la zone d'assemblage puis les plaquettes sont disposées sur un support adapté épousant la forme des échantillons. Après sept jours le scotch est retiré et les éprouvettes sont remises sur le support de séchage pendant deux autres semaines. Il faut attendre trois semaines pour que le solvant s'évapore complètement de la résine¹⁸⁹. Les adhésifs thermoplastiques contenant l'additif ont été appliqués selon le même procédé et la solution a été agitée avant la mise en œuvre pour éviter que les particules ne tombent au fond du pot.

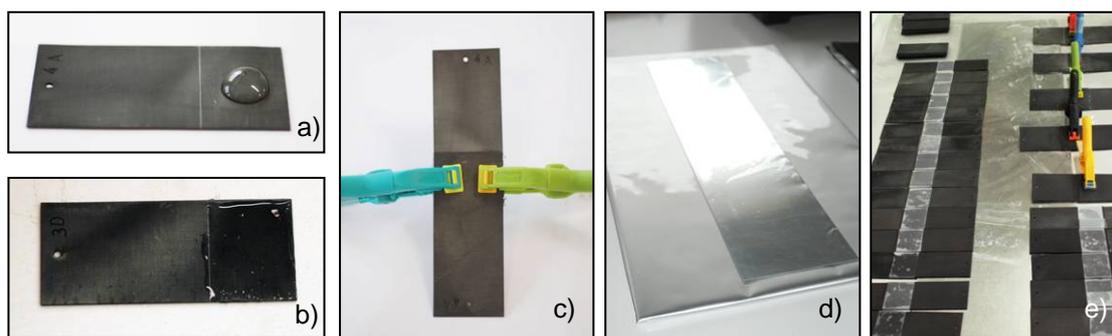


Fig. 112 : Fabrication des échantillons 1, 2, 3, 4 pour le cisaillement.

- Dépose de la goutte de 0,2ml à la seringue.
- Application au pinceau large.
- Mise en contact des deux éléments métalliques.
- Support de collage
- Échantillons en cours de séchage, des scotchs maintiennent en place les joints.

¹⁸⁸ KOOB, 1986, p. 11.

¹⁸⁹ Nous avons réalisé des tests préalables sur une vingtaine d'échantillons : il s'avère qu'au bout d'une semaine le solvant ne s'est pas encore évaporé. Comme le substrat n'est pas du tout poreux, nous avons décidé d'attendre trois semaines avant d'effectuer les essais de résistance à la rupture.

b. Adhésifs thermodurcissables (groupes 5, 6, 7, 8)

Les adhésifs thermodurcissables sont appliqués en plot ou en film. L'époxyde 2020[®] présente une faible viscosité qui peut se révéler être un inconvénient lors de sa mise en œuvre sur une surface lisse. Nous avons donc préparé la résine 2h00 avant utilisation de façon à former un gel.

En plot : Cinq gouttes de résine sont disposées à l'aide d'un cure-dent sur les quatre coins et au centre de la zone à encoller, sur un seul côté. La plaquette est placée sur une balance afin de pouvoir contrôler le poids de résine introduit (entre 0,4 et 0,5 g) et les points sont appliqués avec le plus de régularité possible. Les deux rectangles de zinc sont ensuite maintenus en contact de la même façon que pour les adhésifs thermoplastiques.

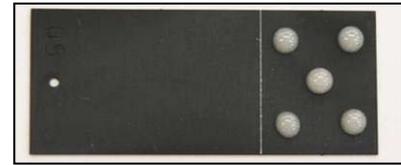


Fig. 113 : Fabrication des échantillons pour le cisaillement : disposition des plots d'époxyde 2011[®].

En film : Les adhésifs sont étalés à l'aide d'une spatule métallique sur une des surfaces des plaquettes. Les deux côtés sont rapprochés puis soumis à une pression régulière grâce à des serre-joints. Il faut 0,9 g de résine pour former un film et obtenir un léger bourrelet de matière qui est éliminé avant polymérisation à l'aide d'un coton sec.

c. Adhésifs thermodurcissables avec système réversible (groupes 9, 10, 11, 12)

Un rectangle de fibre de verre de 49 g/m² est découpé aux dimensions de la plaquette. Il est posé sur la surface de zinc patiné puis imprégné d'une solution de Paraloid[®] B72 à 5% en poids dans l'acétate d'éthyle. Deux passages successifs de résines sont nécessaires pour faire adhérer la fibre et faire disparaître les bulles d'air. Nous attendons trois jours pour que le solvant s'évapore. Les résines époxydes sont alors appliquées en plot et en film sur la surface de zinc patiné qui est ensuite mise en contact avec la surface recouverte de fibre de verre imprégnée.

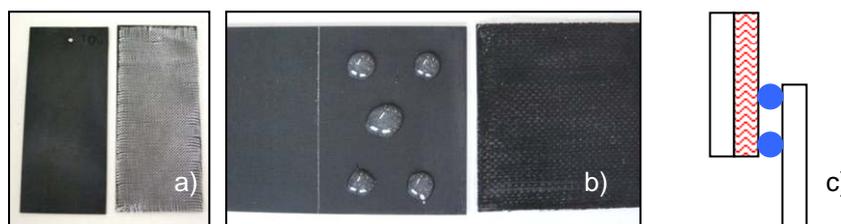


Fig. 114 : Fabrication des échantillons 9, 10, 11, 12 pour le cisaillement.

- Préparation de la fibre de verre de 49 g/m².
- Pose des plots d'un côté et imprégnation des fibres de l'autre.
- Schéma d'assemblage des plaquettes.

IV. RÉSULTATS

A. Tests de flexion des stratifiés

1. Essais de flexion

L'essai consiste à mesurer le module d'élasticité (module d'Young) et la déformation (déflexion) des différents stratifiés pour pouvoir les comparer entre eux et vérifier que leur rigidité est inférieure à celle du zinc mais suffisante pour réduire les sollicitations en flexion. Nous pourrions ainsi déterminer l'influence du pourcentage de matrice dans les fibres ainsi que celle du grammage en fonction du nombre de plis.

Les tests de flexion ont été menés à l'aide d'un appareillage volontairement simple dont le principe peut être reproduit en atelier. Le stratifié est introduit dans un bâti permettant l'encastrement puis des charges¹⁹⁰ sont suspendues à l'extrémité libre de l'échantillon pour le déformer. Dans ces conditions, la théorie nous indique que la flèche est proportionnelle à la charge appliquée :

$$f = \frac{4mgL^3}{Ebh^3} = \alpha m$$

Avec :

m : masse de la charge appliquée	(kg)
g : accélération de la pesanteur	(m/s)
L : longueur de l'échantillon	(m)
h : épaisseur de l'échantillon	(m)
b : largeur de l'échantillon	(m)
E : module d'Young (élasticité)	(Pa)
α : pente issue de la campagne expérimentale	(m/kg)

Nous pouvons alors calculer le module d'Young¹⁹¹ de chacun des groupes de composite, qui s'exprime par la relation suivante :

$$E = \frac{4L^3 g}{\alpha bh^3}$$

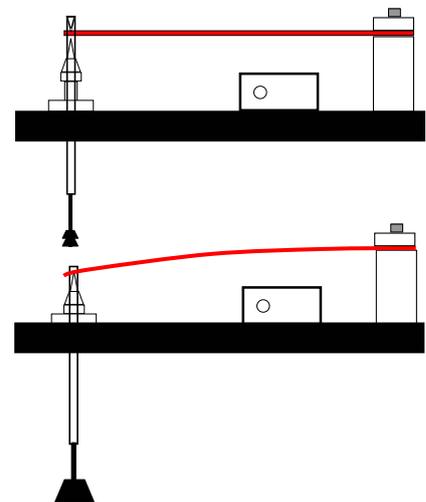


Fig. 115 : Schémas de flexion et photographie du montage.

¹⁹⁰ Les poids disponibles étant trop importants, nous avons fabriqué 12 sachets de 5 à 100 gr contenant des billes de plomb que nous avons maintenus à l'aide de fils de nylon.

¹⁹¹ Annexe 7. Résultats détaillés des essais de flexion des stratifiés, p. VIII. Les calculs ont été réalisés par Mme Le Moyne. Nous n'avons pas testé l'intégralité des échantillons lorsque les résultats étaient très proches d'un essai à l'autre.

Une fois le module d'élasticité connu, il est alors possible de calculer la déflexion relative des échantillons, c'est-à-dire la déformation que le composite subira lorsque l'œuvre sera en flexion, en comparaison avec la déformation que le zinc subirait s'il n'était pas brisé. La déflexion du zinc constitue le référent, elle est donc de 1. Les autres déflexions sont obtenues en fonction de la flèche et de la pente de chacun des échantillons qui sont X fois supérieures à celle du zinc.

Notons f_{ini} la déflexion que l'on constaterait sur l'œuvre en zinc sans cassure, et $f_{doublage}$ la déflexion supposée avec un doublage de composite : $f_{doublage}/f_{ini} = \alpha_{doublage}/\alpha_{ini}$

2. Résultats

Systèmes testés	Description du système % de résine en masse/surface	α min	α max	α moyen	h (mm) stratifié	E _{min} (10 ⁸ Pa)	E _{max} Module d'Young	Déflexion relative (calculé sur la valeur moyenne)
a	 2 renforts de 80g/m ² 50% de résine	0.8	0.92	0.875	0.25	6.58	7.57	132.5
b	 1 renfort de 160g/m ² 50% de résine	0.86	0.9	0.88	0.23	7.64	8	133
c	 3 renforts de 80g/m ² 50% de résine	0.32	0.34	0.33	0.31	8.26	8.78	50.5
d	 1 renfort de 80g/m ² 1 renfort de 160 g/m ² 50% de résine	0.35	0.37	0.36	0.3	8.38	8.86	54
A	 2 renforts de 80g/m ² 70% de résine	0.5	0.68	0.55	0.4	1.92	2.62	84
B	 1 renfort de 160g/m ² 70% de résine	0.76	0.84	0.81	0.4	1.56	1.72	122
C	 3 renforts de 80g/m ² 70% de résine	0.15	0.19	0.17	0.6	2.04	2.58	26
D	 1 renfort de 80g/m ² 1 renfort de 160 g/m ² 70% de résine	0.14	0.16	0.15	0.58	2.68	3.06	23
ZINC ¹⁹²		0.006	0.008	0.0066	0.65	38.1	50.8	1

¹⁹² Pour le zinc les valeurs trouvées dans la littérature vont de 78 à 130.10⁸ Pa.

3. Interprétation des résultats

Le module d'élasticité de chacun des échantillons se situe largement en-dessous de celui du zinc, ce qui permet d'affirmer que la pose de ces maintiens n'amènera pas de tensions supplémentaires dans l'œuvre. Au contraire, les contraintes seront mieux réparties sur de plus grandes surfaces. Nous constatons aussi que les stratifiés fabriqués avec 50% de matrice en poids ont un module d'élasticité 3 à 4 fois plus élevé que ceux fabriqués avec 70% de résine en poids, ce qui était prévisible.

En revanche le calcul de la déflexion relative a permis de définir des tendances principales:

- Les composites réalisés avec deux plis de 80g/m² sont plus rigides que ceux formés d'une seule couche de renfort à 160g/m². En revanche, pour les stratifiés constitués de trois plis de 80g/m² et d'une superposition de deux plis de 80g/m² et 160g/m² avec 70% de matrice (groupe C et D), nous obtenons le résultat inverse. Il est possible que des bulles d'air aient été emprisonnées dans les trois plis ou que la résine n'ait pas été répartie de façon homogène ce qui a pu influencer sur les résultats.
- Les échantillons avec 70% de matrice en poids sont plus rigides que ceux à 50% de résine en poids pour un même grammage.
- Enfin les meilleurs résultats sont obtenus avec les groupes c, d, C, D qui ont respectivement une déflexion de 50,5 - 54 - 26 et 23 fois supérieure à celle du zinc alors qu'elle peut-être de 133 pour l'échantillon b.

4. Sélection du stratifié

La solution la plus adaptée semble donc être l'échantillon D composé de deux renforts de grammage différent avec la plus grande quantité de résine. Son résultat en déflexion est le plus faible, avec 23, ce qui signifie qu'il est susceptible de se déformer 23 fois plus que le zinc. Cependant son épaisseur est très importante puisqu'elle est de 6/10^e mm ce qui équivaut presque à celle de l'œuvre. Après discussion avec Mme Brégeaud-Romand, nous avons donc porté notre choix sur un composite moins visible, à la déflexion intermédiaire : il s'agit du groupe c, qui est 50,5 fois plus déformable que le zinc mais qui comporte une épaisseur de 3,1/10^e mm. Nous pensons qu'il sera suffisant pour maintenir la structure au revers, le rôle des armatures en alliage ferreux étant prédominant pour assurer la tenue de l'ensemble.

L'œuvre sera renforcée par un matériau composite constitué de trois renforts de 80g/m² et de 50% de résine en poids.

B. Tests de résistance à la rupture par cisaillement

1. Essais de cisaillement

Les essais ont été pratiqués en une journée au laboratoire de mécanique physique de Jean le Rond d'Alembert à Saint Cyr, sur une machine de traction de type « Deltalab M3000 ».



Fig. 116 : Échantillon en cours de cisaillement.

L'éprouvette est maintenue entre deux mors qui se déplacent en sens contraire et à vitesse constante¹⁹³ jusqu'à rupture du joint adhésif. La contrainte exercée sur le matériau permet donc d'évaluer les propriétés mécaniques des résines et d'opérer des comparaisons entre différents systèmes réalisés dans des conditions similaires. Nous avons mesuré la charge en fonction du déplacement pour connaître la contrainte maximale à la rupture par unité de surface.

$$\sigma = \frac{F}{S}$$

σ = contrainte à la rupture en MégaPascals F = force ou charge maximale à la rupture en Newtons S = surface en mm ² de collage (20 mm x 25 mm)

Le faciès de rupture du joint de colle est aussi observé visuellement afin d'évaluer l'impact de l'adhésif sur le substrat.

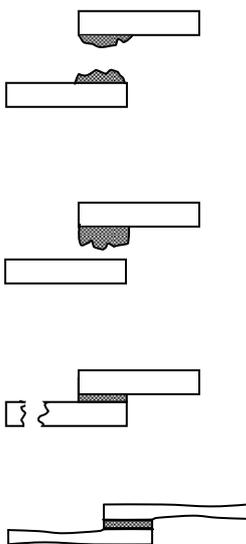
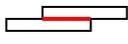
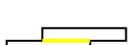
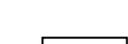


Fig. 117 : Faciès de rupture et de déformation.

- Une rupture cohésive du joint de colle est considérée comme un cas de figure idéal. L'adhésif n'entraîne pas de dommages sur le substrat.
- Une rupture adhésive du joint de colle est caractérisée par le décollement de l'adhésif à l'interface avec le substrat. La patine peut ainsi être arrachée.
- Une rupture cohésive du substrat survient lorsque le matériau métallique se rompt.
- le métal peut aussi se déformer, que la rupture soit adhésive du joint de colle ou cohésive du substrat.

¹⁹³ Nous avons choisi une vitesse d'essai d'1 mm/mn.

2. Résultats

Système testé	Adhésifs testés	N° des échantillons	Résistance à la rupture en Mpa	Moyenne en Mpa	Écart type	Mode de rupture
1 	PB72 [®] , en film	1A	1,495	2,93	1,4	Rupture cohésive du joint de colle pour les 20 échantillons
		1B	4,22			
		1C	4,55			
		1D	2,44			
		1E	1,95			
2 	PB44 [®] , en film	2A	5,2	5,08	0,6	
		2B	4,22			
		2C	5,85			
		2D	5,04			
		2E	5,1			
3 	PB72 [®] , avec 0,1% de silice colloïdale, en film	3A	3,41	2,88	0,8	
		3B	3,51			
		3C	2,83			
		3D	?			
		3E	1,79			
4 	PB44 [®] , avec 0,1% de silice colloïdale, en film	4A	1,69	2,88	1,8	
		4B	Pas interprétable			
		4C	2,53			
		4D	5,525			
		4E	1,79			
5 	Araldite [®] 2011 en plot	5A	5,04	5,08	0,6	5 ruptures adhésives entre la colle et le substrat.
		5B	Pas interprétable			
		5C	5,525			
		5D	4,225			
		5E	5,52			
6 	Araldite [®] 2011 en film	6A	5,04	5,27	0,7	5 ruptures adhésives entre la colle et le substrat.
		6B	5,59			
		6C	5,91			
		6D	4,22			
		6E	5,59			
7 	Araldite [®] 2020 en plot	7A	5,265	5,4	0,1	4 ruptures adhésives entre la colle et le substrat, 1 rupture cohésive du substrat.
		7B	5,525			
		7C	5,56			
		7D	5,46			
		7E	5,20			
8 	Araldite [®] 2020 en film	8A	5,59	5,65	0,2	3 ruptures adhésives entre la colle et le substrat, 2 ruptures cohésives du substrat.
		8B	5,59			
		8C	5,91			
		8D	5,525			
		8E	Pas interprétable			
9 	PB72 [®] sur fibre de verre, Araldite [®] 2011 en plot	9A	5,04	5,3	0,2	2 ruptures cohésives de la colle, 3 ruptures adhésives entre la colle et le substrat.
		9B	5,525			
		9C	5,20			
		9D	5,36			
		9E	5,36			
10 	PB72 [®] sur fibre de verre, Araldite [®] 2011 en film	10A	5,69	5,75	0,1	1 rupture cohésive de la colle, 3 ruptures adhésives entre la colle et le substrat, 1 rupture cohésive du substrat.
		10B	5,85			
		10C	5,69			
		10D	5,69			
		10E	5,85			
11 	PB72 [®] sur fibre de verre, Araldite [®] 2020 en plot	11A	Pas interprétable	3,09	1,3	2 ruptures cohésives de la colle, 3 ruptures adhésives entre la colle et le substrat.
		11B	5,04			
		11C	2,76			
		11D	1,95			
		11E	2,60			
12 	PB72 [®] sur fibre de verre, Araldite [®] 2020 en film	12A	5,69	5,72	0,04	2 ruptures cohésives de la colle, 3 ruptures adhésives entre la colle et le substrat
		12B	5,69			
		12C	5,69			
		12D	5,75			
		12E	5,785			

3. Interprétation des résultats

Les essais ont été menés sur des échantillons de zinc patiné, ce qui ne correspond pas réellement au traitement de renforcement qui sera mis en œuvre sur les objets. La surface de collage testée est aussi plus importante ce qui a permis d'obtenir des résultats interprétables. Nous pouvons donc caractériser les joints de colle sur ces surfaces métalliques en observant la résistance des assemblages ainsi que leur mode de rupture. Cette étape préliminaire permettra de sélectionner trois adhésifs appartenant chacun à un des systèmes testés puis de nouveaux essais seront conduits afin de valider définitivement la résine qui sera employée pour coller le stratifié sur l'œuvre.

a. Adhésifs thermoplastiques (groupes 1, 2, 3, 4)

La contrainte à la rupture de l'ensemble des adhésifs thermoplastiques se situe dans un même ordre de grandeur, d'environ 2,9 MPa, excepté pour le Paraloïd® B44 qui obtient des résultats supérieurs avec 5,08 MPa.

En revanche l'ajout de silice colloïdale dans la préparation ne semble pas renforcer le joint de colle comme nous le pensions puisque nous obtenons des résultats sensiblement identiques pour le Paraloïd® B72 avec ou sans silice et inférieurs pour le Paraloïd® B44 avec silice. Les données sont aussi plus dispersées, avec des écarts types de 0,8 pour le Paraloïd® B72 avec seulement quatre échantillons et 1,8 pour le Paraloïd® B44. Ces données nous laissent penser que les charges n'ont pas été appliquées de façon homogène sur la surface de l'échantillon. Au lieu d'augmenter la résistance à la rupture, l'additif l'a au contraire affaiblit.

Tous les groupes présentent des ruptures cohésives du joint de colle, sans arrachement de la patine superficielle et sans déformation plastique de l'éprouvette.

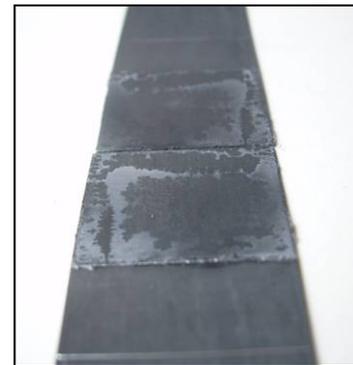


Fig. 118 : Groupe des thermoplastiques, rupture adhésive de la résine.

Dans ce groupe d'adhésifs thermoplastiques, nous sélectionnons **le Paraloïd® B44** pour effectuer les derniers tests proches des conditions réelles de collage. Sa résistance à la rupture est supérieure, et ses résultats sont moins dispersés puisque l'écart type est de 0,6.

b. Adhésifs thermodurcissables (groupes 5, 6, 7, 8)

Les assemblages réalisés à l'aide d'adhésifs thermodurcissables présentent des contraintes à la rupture supérieures à la plupart des groupes de Paraloids® excepté pour le B44.

Les systèmes de plots ont des résultats légèrement inférieurs à ceux obtenus avec des films mais les écarts types sont importants. Ainsi le joint d'Araldite® 2011 en plot se rompt pour une contrainte de 5,08 MPa pour 5,27 MPa en film et l'Araldite® 2020 en plot est séparée par une contrainte de 5,4 MPa pour 5,65 MPa en film. Cette différence est à mettre en relation avec la répartition de l'adhésif qui est plus importante dans le cas des films, ce qui favorise l'adhérence.

L'Araldite® 2020, quel que soit le système mis en œuvre, semble aussi donner des résultats légèrement plus importants que l'Araldite® 2011, avec des données moins dispersées. Cependant, le collage semble trop fort puisque nous avons observé trois ruptures cohésives du substrat sur les dix éprouvettes testées. Les échantillons réalisés avec des films, groupes 6 et 8, se sont aussi fortement allongés ou déformés sous l'effet de la contrainte.

Aucun des échantillons ne se rompt dans le joint de colle comme le font les résines thermoplastiques. La majorité des éprouvettes subit une rupture adhésive entraînant l'arrachement de la patine. Cela se traduirait par une perte du film de corrosion protecteur de l'œuvre, et donc par une disparition de la surface originale des silhouettes.

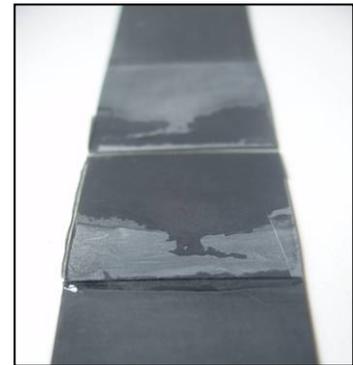


Fig. 119 : Rupture adhésive entre le joint d'époxy et la surface métallique pour la majorité des échantillons.



Fig. 120 : Rupture cohésive du substrat pour 3 essais réalisés avec l'Araldite® 2020.

Dans ce groupe d'adhésifs thermodurcissables, nous sélectionnons **l'Araldite® 2011 en plot** pour effectuer les derniers tests proches des conditions réelles de collage. Les résultats sont dispersés puisque l'écart type est de 0,6 et qu'une des éprouvettes n'a pas pu être étudiée. Mais sa résistance à la rupture est tout de même élevée et le clivage se fait de façon interfaciale sans entraîner de cassure au sein du métal ce que nous jugeons préférable.

c. Adhésifs thermodurcissables avec système réversible (groupes 9, 10, 11, 12)

Les systèmes réversibles composés de fibre de verre imprégnée de Paraloid® B72 et collés avec les mêmes systèmes thermodurcissables ont présenté des contraintes à la rupture légèrement supérieures aux échantillons précédents avec des écarts types réduits. Nous pensons qu'un ancrage mécanique dans les creux des fibres a peut-être renforcé le joint de colle.

Seul le groupe 11, fabriqué avec des plots d'Araldite 2020® présente des résultats étonnamment faibles puisque les éprouvettes se rompent pour une moyenne de 3,09 MPa, ce qui est très proche des adhésifs thermoplastiques. Les résultats sont aussi dispersés puisque l'écart type a la même valeur que celle de la contrainte, à savoir 3,09. Il est probable que ce soit le mode d'application en plots qui soit à l'origine de ces données : irrégularité dans la disposition des amas de colle ou erreur de pesage des adhésifs. Il se peut aussi que l'hétérogénéité de la patine ait joué un rôle.

Le dispositif en plots présente une adhérence inférieure à celle des films, ce qui avait déjà été observé avec les groupes 5, 6, 7, 8.

Le système réversible joue un rôle important dans le mode de rupture des échantillons puisque nous obtenons 8 ruptures cohésives du joint de colle dans la fibre de verre, faciès absent des échantillons des groupes précédents. En revanche, nous ne pouvons préconiser de façon certaine l'emploi de ces systèmes car plus d'une éprouvette sur deux se brise à l'interface métallique, entraînant un arrachement de la couverture. Un échantillon se rompt aussi dans le substrat, et les éprouvettes constituées majoritairement de films se sont allongées.

Dans ce groupe d'adhésifs thermodurcissables avec système réversible, nous sélectionnons l'**Araldite® 2011 en plot** pour effectuer les derniers tests proches des conditions réelles de collage. Les résultats sont peu dispersés puisque l'écart type est de 0,2 et nous jugeons sa résistance à la rupture bien supérieure à celle nécessaire pour l'œuvre, mais aussi inférieure aux autres systèmes. De plus ce groupe ne présente pas de rupture cohésive du substrat.

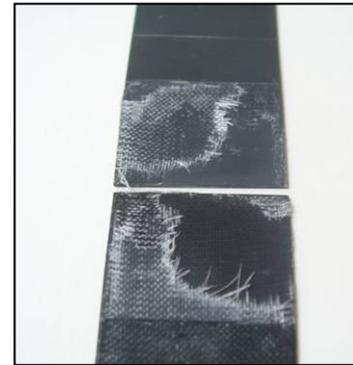


Fig. 121 : Rupture cohésive du joint de colle dans la fibre de verre pour 8 des 20 échantillons testés.



Fig. 122 : Rupture cohésive du métal pour 1 échantillon. Le zinc est complètement déformé.

C. Validation du système de renforcement

1. Fabrication des échantillons finaux et essais de cisaillement

Nous avons donc entrepris de fabriquer trois séries de sept échantillons afin de valider un système de doublage structurel de feuilles de zinc au moyen de stratifiés. Les deux plaquettes métalliques ont été préparées comme précédemment puis ont été assemblées à l'aide d'un rectangle de matériau composite que nous avons préalablement sélectionné en flexion¹⁹⁴. Les trois adhésifs retenus à la suite des essais de cisaillement zinc-zinc, à savoir le Paraloid® B44, l'Araldite® 2011 en plot et l'Araldite® 2011 en plot sur fibre de verre, ont ensuite été placés entre le support et le stratifié pour assurer la liaison des éléments entre eux¹⁹⁵.

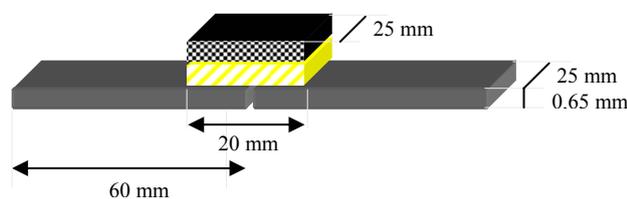
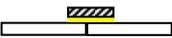


Fig. 123 : Dimensions des échantillons de cisaillement avec stratifié.

2. Résultats

Système testé	Adhésifs testés	N° des échantillons	Résistance à la rupture en Mpa	Moyenne en Mpa	Écart type	Mode de rupture
	PB44®, en film	13A	0,42	0,58	0,1	Rupture cohésive du joint de colle
		13B	0,68			
		13C	0,72			
		13D	Pas interprétable			
		13E	0,64			
		13F	0,52			
		13G	0,5			
	Araldite® 2011 en plot	14A	1	1,16	0,3	Rupture adhésive entre la colle et le substrat
		14B	0,7			
		14C	1,1			
		14D	1,2			
		14E	1,65			
		14F	1,2			
		14G	1,3			
	PB72® sur fibre de verre, Araldite® 2011 en plot	15A	1,5	2	0,4	Rupture adhésive entre la colle et la fibre de verre
		15B	2,2			
		15C	2			
		15D	2,6			
		15E	2,3			
		15F	1,75			
		15G	1,65			

¹⁹⁴ Il est constitué de trois renforts de fibre de verre de 80g/m² et imprégné de 50% d'Araldite® 2020 en poids.

¹⁹⁵ Les adhésifs ont été appliqués de la même façon, et dans les mêmes quantités que pour les premiers tests de cisaillement. Seuls les plots ont été positionnés différemment de part et d'autre de la zone de joint, en deux grands plots, au lieu de cinq.

2. Interprétation des résultats et comparaison des essais de cisaillement

Les résultats obtenus sont beaucoup plus faibles avec le stratifié que sur zinc patiné seul. Ainsi le Paraloïd® B44, pour une même surface de collage, obtient une moyenne à la rupture de 0,58 Mpa avec composite pour 5,08 Mpa sur zinc, ce qui est dix fois moins important. Pour l’Araldite® 2011 en plot, les résultats sont aussi similaires puisque sa résistance à la rupture est passée de 5,08 Mpa sur zinc à 1,16 Mpa avec composite. Le même adhésif sur fibre de verre voit sa résistance à la rupture augmentée à 2 Mpa même si ces données sont toujours plus faibles que sur métal. Nous en concluons donc que les adhésifs adhèrent moins bien sur le matériau composite constitué de fibre de verre et de résine que sur le métal patiné.

En revanche les faciès de rupture sont similaires à ceux déjà observés sur zinc même si aucune rupture cohésive du substrat ne se produit, les contraintes étant moins importantes. Le Paraloïd® B44 connaît une rupture cohésive du joint de colle considérée comme un cas de figure idéal, l’Araldite® 2011 en plot une rupture adhésive entre la colle et le substrat ce qui se traduit par un arrachement de la patine, et l’Araldite® 2011 en plot sur fibre se rompt entre la colle et la fibre de verre ce qui n’endommage pas le métal.

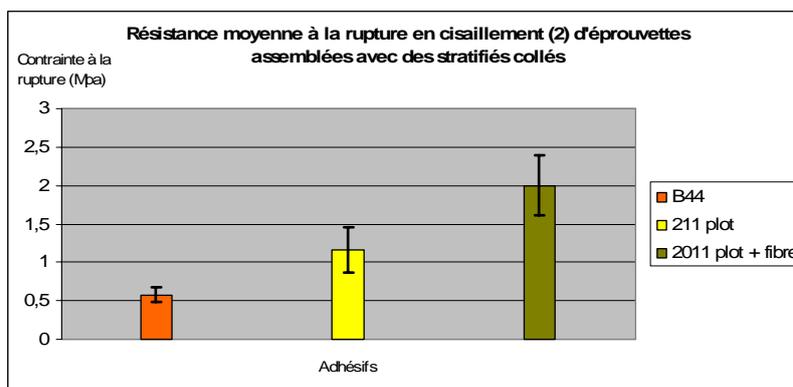
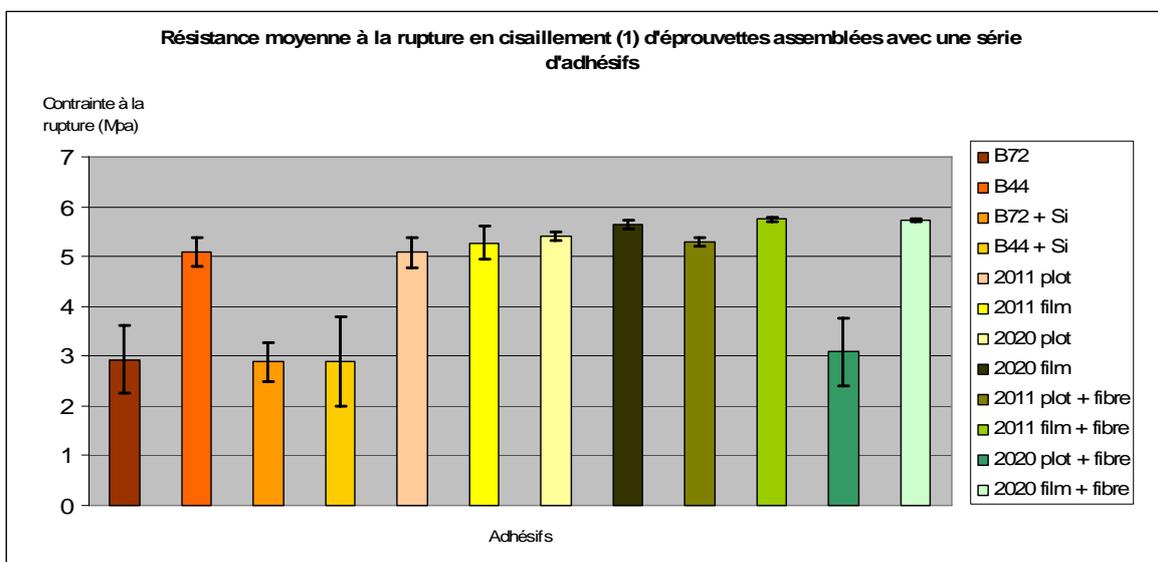


Fig. 125 : Résistance moyenne à la rupture des deux essais en cisaillement.

3. Critique du protocole

Au vu des résultats des essais de cisaillement proches des conditions réelles, les écarts types ne sont pas aussi importants que ce que nous pensions. Les tests préalables que nous avons menés afin d'établir ce protocole en trois étapes ont donné des écarts types importants qu'il faut certainement attribuer au temps de séchage trop court des films. Il aurait donc été possible d'effectuer les essais directement sur stratifié sans passer par des tests de cisaillement zinc-zinc. Cependant ces données interviennent après essais et il nous paraissait prudent d'opérer de la sorte afin d'obtenir des résultats interprétables. De plus, cela nous a permis de réaliser une étude sur le collage des métaux, ce que nous n'avons pas trouvé dans la littérature. Nous savons ainsi que le Paraloïd® B44 présente une très bonne adhérence sur zinc patiné avec des résultats similaires à des collages époxydes.

Les écarts types sont plus ou moins importants selon les systèmes testés ce que nous attribuons à notre mise en œuvre. Les paramètres sont multiples et les causes difficiles à discerner c'est pourquoi nous donnons l'ensemble des paramètres ayant pu influencer sur ces données :

- *Hétérogénéité de la patine.* Il nous a été très difficile d'obtenir une couche de corrosion uniforme de même épaisseur sur l'ensemble des éprouvettes. Des liaisons différentes ont donc pu se créer entre l'adhésif et le métal presque à nu et celui plus oxydé.
- *Évaporation du solvant des films.* Une fois le film sec, nous ne savions pas quelle quantité de résine était apportée en surface et comment elle s'était répartie (en fonction de la rétention du film et de l'évaporation du solvant du pot).
- *Répartition de la silice colloïdale.* Les résultats avec silice sont plus faibles que sans ajout de charge. Peut-être que le mélange n'était pas assez homogène ou que des amas localisés de particules se sont formés lors du séchage du film.
- *Nettoyage des surplus de résine.* Les débordements d'adhésifs thermoplastiques ont été retirés à l'aide d'un coton légèrement imbibé d'acétone. Cela a pu permettre des dissolutions ponctuelles et un affaiblissement du joint de colle sur les bords de l'éprouvette. En fonction du serrage des plaquettes, les adhésifs ont pu aussi migrer différemment sur les bords en créant des films d'épaisseurs variables.
- *Hétérogénéité du composite.* Lors de la fabrication du stratifié, la résine est placée au centre du moule puis les bandes de tissu sont compressées par-dessus. En fonction de

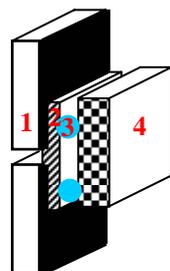
la pression exercée et du nombre de passage de l'ébulleur, la matrice se répartit de façon plus ou moins homogène. Les surfaces pouvaient donc être rugueuses ou lisses en fonction de l'imprégnation.

4. Sélection du système de collage

Les résultats des essais de cisaillement avec matériau composite permettent d'opérer un choix d'adhésif en fonction de sa résistance moyenne à la rupture et de son faciès de clivage. Nous avons vu que les bris des silhouettes doivent supporter une contrainte de cisaillement surestimée de 0,12 Mpa pour le cas de figure le plus défavorable. Or le Paraloid® B44 atteint une contrainte à la rupture de 0,58 Mpa, ce qui est cinq fois supérieur à la contrainte désirée mais qui nous semble tout de même trop faible pour résister à d'éventuels chocs mécaniques. Après discussion avec Mme Brégeaud, conservatrice des œuvres, nous avons décidé qu'il était plus sûr d'utiliser un système comprenant une résine époxyde. Le lot n°15, constitué d'une interface en fibre de verre imprégnée d'une résine thermoplastique nous semble être le meilleur compromis. Sa résistance moyenne à la rupture est dix-sept fois supérieure à celle de l'objet, le clivage s'opère dans la fibre de verre sans endommagement pour l'œuvre originale et la présence de cette fibre augmente la réversibilité chimique ou mécanique du matériau composite.

A l'issue de cette recherche, un matériau composite et un adhésif de liaison ont été choisis pour assurer le maintien structurel des fines feuilles de zinc servant de support aux silhouettes d'ombres. Le stratifié sélectionné est constitué de trois couches de fibres de verre de 80g/m² et il imprégné d'Araldite® 2020 à 50% en poids. Cet élément sera collé sur le métal corrodé à l'aide de plots d'Araldite® 2011 disposés sur une interface de fibre de verre encollée au Paraloid® B72.

Ce système devrait assurer un maximum de réversibilité aux adhésifs thermodurcissables tout en répondant aux sollicitations de flexion et de cisaillement des zones de bris.



1. Zinc corrodé
2. Fibre de verre imprégnée
3. Plots d'époxy
4. Stratifié

IV. CONCLUSION

Les résultats de cette étude sur l'assemblage de feuilles de zinc de faible épaisseur et présentant de petites surfaces de collages nous a permis de sélectionner un système de maintien par le revers des zones de bris. La recherche qui a été menée a permis de comparer la résistance à la rupture et le pouvoir adhésif de deux résines thermoplastiques et de deux résines thermodurcissables dont nous avons fait varier la mise en œuvre.

Nous espérons pouvoir utiliser un adhésif réversible mais seuls les époxydes assurent à la fois sécurité et efficacité dans notre cas de figure. L'étude a cependant permis de montrer qu'il était possible d'utiliser une interface de collage, constituée de fibre de verre, sans que cela n'abaisse les forces d'adhésion des matériaux en contact. Au lieu d'employer un adhésif époxyde irréversible sur une œuvre composite constituée de métaux malléables (zinc, étain, plomb), un film peut-être posé pour faciliter une intervention future. Le système permet aussi de répartir des tensions localisées sur une plus grande surface.

Nous pensons qu'il aurait été préférable d'effectuer tous les tests avec un stratifié pour obtenir la résistance à la rupture de chacun des adhésifs dans des conditions proches de celles des objets. Nous aurions ainsi pu observer s'il se créait des liaisons plus importantes entre un collage à l'Araldite® 2020 et le stratifié dont la matrice est de même nature, mais avec le temps qui nous était imparti nous n'avons pu mener toute cette série d'essais.

Certains points pourraient encore être développés afin de poursuivre cette recherche sur le collage des métaux. Un travail plus approfondi sur l'ajout de silice colloïdale dans les adhésifs thermoplastiques nous semble très important pour déterminer s'il est possible de les employer sur des surfaces lisses et peu poreuses. Des essais menés sur des pâtes céramiques avaient livré de très bons résultats et prouvé que le pouvoir adhésif des Paraloid® était augmenté par cette charge. Les conditions de mise en œuvre de la patine, de l'application des adhésifs peuvent aussi être améliorées et mieux quantifiées. Enfin il serait intéressant de continuer les tests sur les stratifiés, avec d'autres matrices ou renforts ou avec différentes techniques de fabrication.

Chapitre IV.

Conservation-
restauration:



Réintégration du casque manquant de la silhouette des Quatre cavaliers.

I. TRAITEMENTS DE CONSERVATION-RESTAURATION

Les interventions de conservation-restauration suivent les propositions établies à la suite du diagnostic et des valeurs culturelles attribuées aux œuvres. Certains traitements sont communs et d'autres plus spécifiques à une problématique rencontrée sur une œuvre. Cela nous a amené à présenter le document par étape de restauration en suivant l'ordre chronologique de son déroulement.

A. Traitements préalables à la manipulation de l'œuvre

1. Conditionnement provisoire

À leur arrivée à l'atelier, les œuvres étaient emballées dans du papier puis enveloppées dans un film plastique. Étant donné leur fragilité structurelle qui rendait toute manipulation délicate, un support provisoire a été conçu pour permettre leur étude tout en leur assurant un maximum de sécurité. Le système de conditionnement devait être à la fois rigide pour limiter les risques de déformation des métaux, léger pour faciliter les transports de ces silhouettes de grandes dimensions, et superposables afin d'optimiser l'espace de travail.

La plaque de fond a été découpée dans des chutes de polycarbonate alvéolé, puis des mousses de polyéthylène expansé couvertes d'un tissu de polyéthylène (Tyvek®) sont venues assurer le maintien et la stabilité de chacune des œuvres. Les parties qui avaient perdu leur planéité comme les hampes des Trois cavaliers ont été soutenues par de petits supports adaptés réalisés dans les mêmes matériaux.

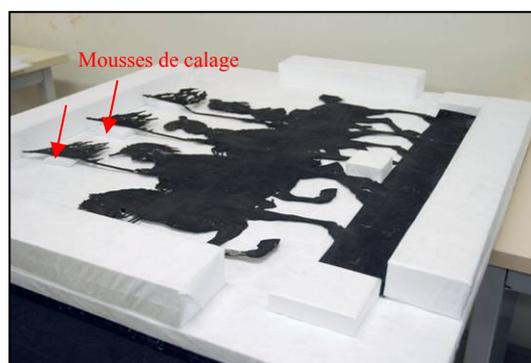


Fig. 125 : Conditionnement provisoire de la silhouette des Trois cavaliers.

2. Retrait du fragment de textile

a. Problématique

Avant toute manipulation, nous avons décidé de retirer le fragment de textile collé sur l'avers de la silhouette des Quatre cavaliers. Il est extrêmement fragile, ses fibres sont devenues cassantes et de larges zones sont soulevées laissant craindre des pertes d'éléments. Son

emplacement masque de plus un fragment de papier perforé et déchiré auquel il n'est plus possible d'avoir accès. Le retrait de la pièce de coton est une opération irréversible mais que nous jugeons nécessaire : il permettra de limiter l'évolution des dégradations et rendra possible des interventions de conservation sur l'ensemble des matériaux en contact.

b. Mise en œuvre

Après discussion avec Patricia Dal Pra, responsable de l'atelier textile de l'INP, il a été choisi de ne pas introduire de solvant lors du retrait du textile car les fibres sont totalement encollées et leur altération physico-chimique est avancée. L'intervention s'est donc opérée sous loupe binoculaire, à l'aide d'une spatule souple en inox et d'un film de polyester (Mélinex[®]) que nous avons glissé au fur et à mesure à l'interface textile-métal ou textile-papier. Les soulèvements étant déjà importants et l'adhérence faible, l'opération s'est déroulée sans difficulté.

Nous avons déposé la toile dans une boîte de conditionnement provisoire en polypropylène dotée d'un fond en Tyvek[®] pour faciliter la prise de l'élément.

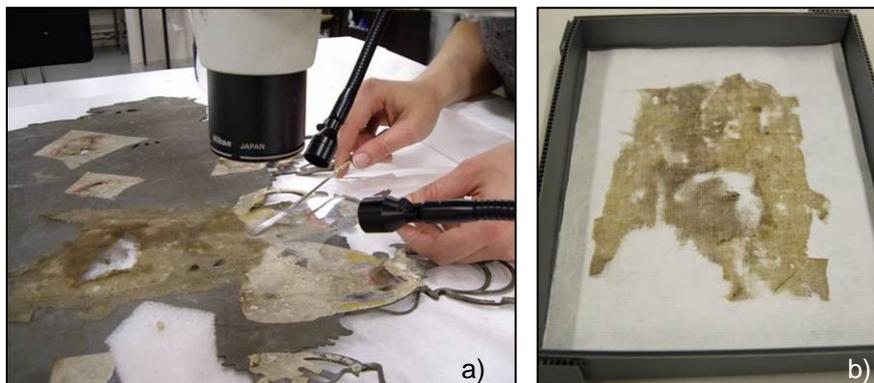


Fig.126 : Retrait du fragment de textile central, avers de la silhouette des Quatre cavaliers.

- a) Mise en œuvre sous loupe binoculaire.
- b) Conditionnement provisoire de l'élément.

3. Remise en forme des cavaliers

a. Problématique et évaluation des risques

Les deux silhouettes de cavaliers se sont brisées à des endroits qui présentaient dès l'origine des faiblesses structurelles. Suite aux chocs mécaniques de fortes tensions ont été introduites sur des éléments de petites surfaces et ces contraintes ont entraîné l'apparition de fissures le long des armatures. À chaque basculement des œuvres d'une position horizontale à verticale

les tiges en alliage ferreux ploient et des craquements métalliques se font entendre. Nous nous sommes donc questionné sur le choix d'une remise en forme des métaux afin d'évaluer les risques et les enjeux d'une telle intervention.



Fig. 127 : Rappel des déformations sur la silhouette des Trois cavaliers et des Quatre cavaliers.

- *Inconvénients* : Les opérations de remise en forme sont considérées comme irréversibles car elles peuvent modifier la structure cristallographique des métaux. Toutes les parties qui subissent ces traitements sont donc susceptibles de perdre des informations sur leurs étapes de fabrication. Si les plaques ont été laminées comme nous le pensons, les grains présentent une superposition et une forme caractéristique qu'il est possible d'observer en coupe métallographique¹⁹⁶. Les risques pour la matière sont aussi multiples car le zinc s'est écroui en se déformant, le rendant rigide et cassant. Lors du traitement il peut alors se produire des fissures cohésives du substrat, des décollements de brasures, voire des ruptures dans l'épaisseur de la feuille.

- *Avantages* : Le choix d'une remise en forme peut-être motivé par une obligation de conservation et de présentation. Il s'agit tout d'abord de réduire les sollicitations apportées par les déformations et de retrouver des points de contact permettant le collage des zones brisées. Les silhouettes pourraient ainsi être conditionnées en position horizontale sans que cela ne provoque de pression localisée. Les manipulations des œuvres seraient alors plus aisées, notamment de la plaque des Quatre cavaliers dont un des casques des soldats ne se maintient plus que sur une petite brasure au bout d'une armature. Il serait aussi possible de présenter à nouveau les œuvres dont les formes et la valeur esthétique ont été diminuées et qui ne traduisent plus l'image souhaitée par l'illustrateur. Nous estimons par exemple que la plaque des Quatre cavaliers ne peut qu'être difficilement exposée étant donné sa perte de lisibilité.

¹⁹⁶ SCOTT (D.), 1991, p. 8. Le laminage s'observe nettement sur une coupe métallographique car les grains de l'alliage se sont écrasés sous la contrainte.

• *Compromis* : Après concertation, nous avons donc entrepris de remettre en forme les parties indispensables à la compréhension de la silhouette. Comme le Guerrier n'a pas perdu son sens au travers des déformations légères de l'épée ou de l'écu, nous décidons de ne pas ne pas l'aplanir et de restreindre les interventions aux seuls cavaliers. Des essais doivent être menés sur des coupons de zinc ancien et moderne avant d'être adaptés aux différents éléments des silhouettes : hampes, casques et cuirasses des soldats. Toutes les opérations se déroulent à froid, ce qui limite les changements cristallographiques et la détérioration des matériaux organiques.

b. Tests et observations préalables

Deux coupons de zinc laminé, l'un provenant d'une gouttière et ayant vieilli naturellement, et l'autre récent et non corrodé, ont été soumis à des pliages au marteau pour évaluer leur résistance à la rupture et déterminer à quel moment l'altération produite par la remise en forme doit être jugée inacceptable¹⁹⁷. Les critères d'observation retenus sont :

- L'apparition de microfissures,
- La propagation des fissures,
- Le blanchiment de la matière,
- Le craquement sonore,
- La rupture cohésive de l'échantillon.

Déformations	Observations du zinc ancien	Observations du zinc récent
1 ^{ère} pliure	Blanchiment de la matière	Blanchiment de la matière
1 ^{ère} remise à plat	Microfissuration visible sous loupe binoculaire	Fissurations proches de la rupture
2 ^{nde} pliure	Fissuration visible à l'œil nu	Déchirure
2 ^{nde} remise à plat	Déchirure	

Les résultats obtenus à partir des coupons nous ont permis de mieux appréhender la matière et nous donne une vision globale de ses propriétés mécaniques. La méthode reste cependant empirique puisque les altérations présentes sur les œuvres sont toutes différentes en fonction du choc qu'elles ont subi et le zinc peut-être plus ou moins rigide suivant ces zones. Seuls des essais pratiqués directement sur les objets nous permettront de savoir si la remise en forme est envisageable.

¹⁹⁷ Toutes ces opérations délicates ont été menées avec Antoine Amarger, restaurateur de métaux. L'observation a été menée visuellement et sous loupe binoculaire.

c. Mise en œuvre

Après observation de zones critiques, nous envisageons de ne pas intervenir sur des parties déjà fragilisées ou pliées comme au niveau du talon des Quatre cavaliers ou sur un élément de cuirasse du soldat A de la même plaque. Sur les autres emplacements, nous essaieront d'exercer la pression au niveau des tiges en alliage ferreux qui supportent mieux les contraintes que le zinc pour limiter au maximum les interventions sur la feuille.

Un bâton de bois est placé entre les armatures et le zinc pour pouvoir les soulever légèrement puis une protection en cuir épais est positionnée à l'endroit où se déroule le traitement. La remise en forme s'effectue à l'aide d'une ou de deux pinces plates et un appui est pris pour pouvoir stopper le geste et éviter de fissurer les brasures¹⁹⁸. L'œuvre est travaillée en position verticale ou horizontale selon les besoins, mais toujours par le revers. Quelques essais concluants sont menés avant d'étendre la remise en forme à l'ensemble des parties déformées. Comme l'essentiel de l'intervention repose sur une torsion des tiges en alliage ferreux, le zinc s'altère peu.

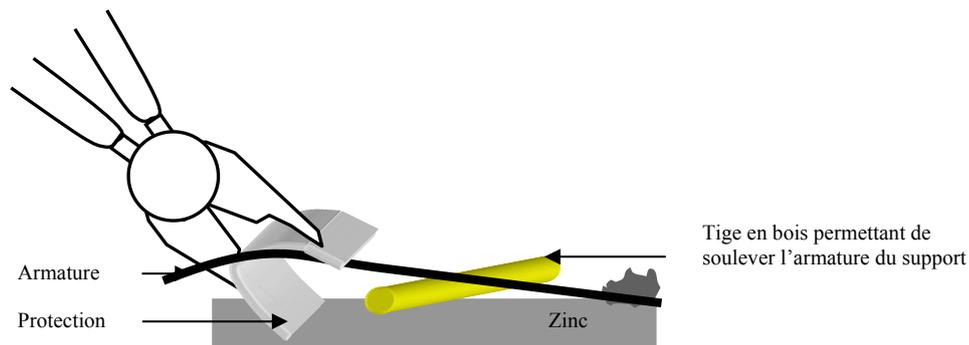


Fig. 128 : Schéma de remise en forme des armatures en alliage ferreux.

Nous considérons que l'opération la plus délicate a été effectuée sur une des jugulaires du soldat C de la silhouette des Quatre cavaliers puisque nous avons replacé dans l'alignement un élément plié à 40°. Des microfissures se sont propagées dans cette zone déjà blanchie mais nous pensions qu'il était indispensable de repositionner cette découpe en vue de la réintégration de la tête manquante et de la projection de l'ombre contre le drap d'un castelet. Certaines parties ne retrouveront plus jamais leur emplacement original après l'allongement de leur armature sous l'impact des bris.

¹⁹⁸ Afin d'avoir une meilleure prise sur l'œuvre et de sentir la matière nous n'avons pas porté de gants qui auraient pu gêner la manœuvre. Les zones ont ensuite été dégraissées à l'acétone.

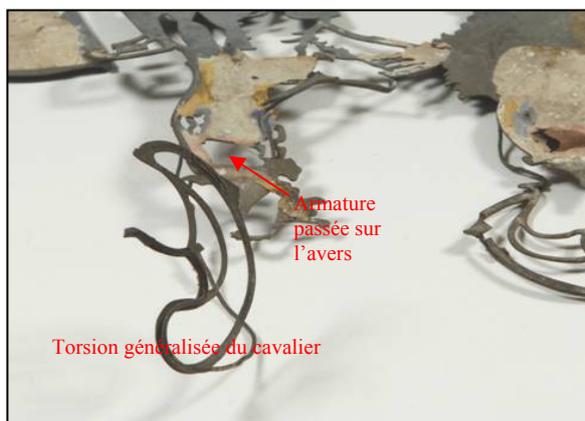
PLANCHE XIV : Remise en forme des silhouettes



III. 24. Réflexion autour du soldat A, Quatre cavaliers.
© C. Gonnier.



III. 25. Remise en forme, Quatre cavaliers. © C. Gonnier.



III. 26. Silhouette des Quatre cavaliers avant remise en forme, vue de profil. © G. Vanneste.



III. 27. Silhouette des Quatre cavaliers après remise en forme, vue de profil. © G. Vanneste.



III. 28. Silhouette des Quatre cavaliers après remise en forme.



III. 29. Silhouette des Trois cavaliers après remise en forme.

B. Traitements de nettoyage et de consolidation

Les silhouettes sont toutes recouvertes de papiers fragilisés par la présence de corrosion sous-jacente. Il n'est pas envisageable de les décoller du support de zinc pour nettoyer les matériaux séparément car l'opération est trop délicate et les risques encourus par les papiers sont importants. De plus, il faudrait les repositionner avec un adhésif ce qui serait de toute façon à l'origine de reprises de corrosion puisque les fibres hygroscopiques constituent une source d'altération pour le métal. Les traitements sont adaptés en fonction de chacune des œuvres dont les surfaces et les altérations présentent des singularités.

1. Nettoyage et consolidation des papiers

a. Dépoussiérage

Le traitement de dépoussiérage est avant tout une opération de conservation visant à éliminer des particules propices au développement de micro-organismes, susceptibles de créer des zones de rétention d'eau. Il permet aussi de retrouver une meilleure lisibilité des surfaces rehaussées par un lavis d'encre brune ou par des touches de couleurs. Comme le papier est devenu granuleux suite au développement sous-jacent de la corrosion du zinc et qu'un des objets est recouvert d'une couche mate légèrement pulvérulente, nous avons choisi d'éviter une intervention de nettoyage qui provoquerait l'arasement des parties supérieures des déformations ou entraînerait une perte de matière.

Sur la silhouette du Guerrier et des Trois cavaliers nous avons donc appliqué un pinceau souple antistatique sur l'avert pour retirer la poussière de surface sans exercer de pression mécanique. En revanche les papiers des Quatre cavaliers sont fortement encrassés et contaminés par des micro-organismes. Nous avons donc enlevé les particules de poussière non adhérentes à l'aide d'un micro aspirateur avec filtre absolu afin d'éviter de contaminer d'autres objets.



Fig. 129 : Dépoussiérage de la surface des Trois cavaliers avec un pinceau antistatique.

b. Gommage

Le gommage permet principalement de réduire l'impact visuel des salissures foncées sur des papiers de couleur claire. Il vise aussi à retirer les particules adhérentes qui n'ont pas été éliminées par le brossage ou par l'aspiration. Ce traitement n'est pas jugé nécessaire sur la silhouette du Guerrier dont le lavis recouvre toute la surface mais doit être envisagé sur les deux autres œuvres qui ont des poussières et des dépôts incrustés dans les fibres de papier.

- Tests de gommage sur la silhouette des Quatre cavaliers

Les morceaux de papier collés sur l'avert de la silhouette des Quatre cavaliers sont situés au-dessus de zones ajourées dans le zinc. Nous ne pouvons pourtant pas les traiter par le revers car ils présentent une grande fragilité mécanique provoquée par leurs multiples déchirures ainsi que par leur matière cassante. Il n'est donc pas possible de poser l'avert en contact avec un support car cela engendrerait de nombreuses dégradations, voire des pertes de papier. Il nous faut travailler par l'avert, au-dessus de vides ce qui nous a amené à concevoir des contre-formes qui faciliteront les opérations de nettoyage et de consolidation des déchirures. Elles sont constituées de trois couches de buvard épais et souple, encollées avec une émulsion acrylique (Plextol[®]), et sciées à la forme de la zone découpée dans le métal. Nous les avons ensuite placées par le revers à l'aide de scotchs repositionnables.

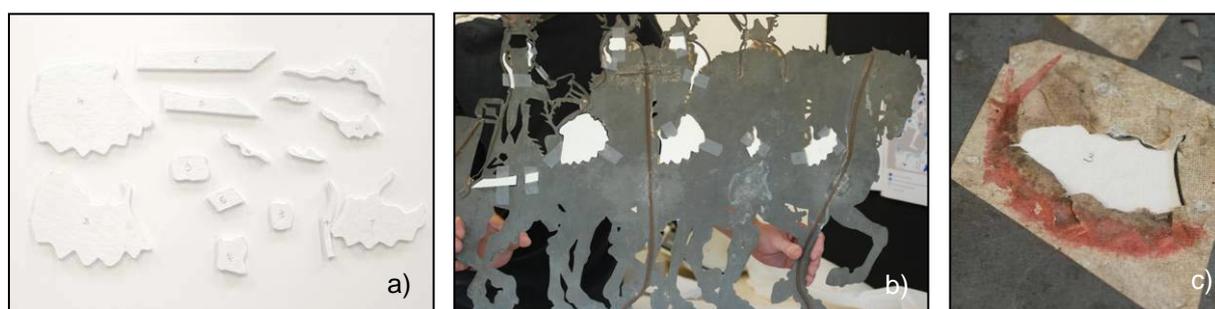


Fig. 130 : Renfort provisoire permettant de traiter les papiers des Quatre cavaliers :

- a) Contre-formes découpées selon la forme des parties ajourées du zinc,
- b) Après pose des contre-formes par le revers de la silhouette,
- c) Détail de la contre-forme située dans la zone ajourée du zinc, vue de l'avert.

Des tests de gommage ont ensuite été menés pour essayer d'ôter au maximum la couche brune qui a pénétré dans les fibres du papier. Comme le matériau présente des zones sensibles, épidermées et granuleuses, nous avons testé les méthodes les moins abrasives en vérifiant que

le nettoyage n'entraînait pas d'altération trop importante du support¹⁹⁹. Nous souhaitons simplement éclaircir et homogénéiser la couleur de ces fragments tout en sachant que certaines parties, fortement contaminées par des structures chromogènes, ne pourront jamais retrouver d'harmonie.

Nous avons proscrit l'utilisation des gommes compactes à base de polyvinyle chlorure (de type Mars Plastic[®]) car elles sont trop rigides et nécessitent une pression importante que nous ne pouvons apporter sur les parties situées au-dessus des ajours de zinc. La gomme en poudre présente aussi l'inconvénient de laisser des résidus en surface qu'il faut éliminer ce qui nous paraît très compliqué avant refixage et consolidation des déchirures. Nous avons donc décidé de tester deux éponges souples, une gomme à base de polyisoprène (*Wishab Sponge*[®]) et une autre aérée en latex (*Chemical Sponge*[®] aussi appelée *smoke sponge*) :

- La gomme Wishab[®] provoque une légère abrasion de surface et laisse de nombreux résidus orangés visible à l'œil nu. Une étude menée sur des gommes de nettoyage utilisées en restauration d'arts graphiques²⁰⁰ a démontré que ces particules pénètrent aussi en profondeur dans les fibres et qu'il est impossible de les retirer, même sous vide d'air.
- La gomme en latex²⁰¹ donne de meilleurs résultats ; les poussières sont décollées sans que la surface ne semble endommagée. D'après l'étude il semble aussi qu'elle laisse peu de résidus dans le papier et qu'elle soit la seule des gommes testées à ne pas modifier la morphologie de surface du matériau. En effet une goutte d'eau déposée sur des fibres de papier conserve le même angle de contact avant et après nettoyage.

La gomme en latex a été appliquée légèrement en trois ou quatre passages successifs sur l'ensemble des papiers situés à l'avant de l'œuvre. Nous n'avons pas insisté sur les zones peintes qui semblent plus particulièrement altérées.

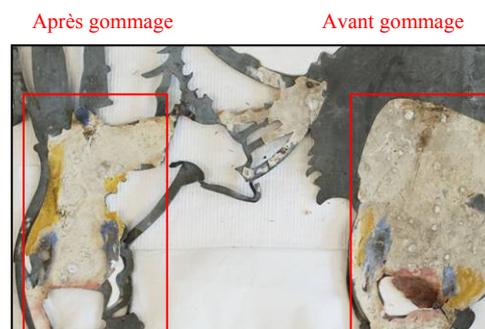


Fig. 131 : Gommage des papiers des Quatre cavaliers.

¹⁹⁹ STRELINI, 1995, p. 3. La seule méthode de vérification serait celle par MEB. Notre observation ce limite à un examen sous loup binoculaire de chacune des techniques de gommage. D'après l'ensemble des études consultées sur le nettoyage des papiers (GROSSO (E.), 1996 ; COWAN (J.), 1986 ; PEARLSTEIN (E.J.), 1982 ; ESTABROOK (E.), 1989) aucune technique n'est réellement inoffensive pour les papiers. Il se produit toujours une légère abrasion avec parfois incrustation de résidus chimiques ou de particules.

²⁰⁰ STERLINI (P.), 1995.

²⁰¹ Annexe 9. Fiches techniques, p. XXXI.

- Tests de gommage sur la silhouette des Trois cavaliers

L'avers de la silhouette des Trois cavaliers est recouvert d'un papier dont la couche picturale superficielle est pulvérulente. Nous avons pu ôter les poussières non incrustées à l'aide d'un pinceau antistatique mais il restait une grande quantité de particules adhérentes dans les irrégularités de la matière. Une gomme latex, adaptée pour les matériaux sensible a été frottée



Fig. 132 : Test de nettoyage à la gomme latex de la couche picturale des Trois cavaliers : le pigment noir est retiré avec la poussière.

sur une petite zone de l'œuvre. Nous pensions qu'elle pourrait convenir étant donné sa faible action mécanique qui permet généralement de retirer des résidus sans abraser la surface. Cependant la couche picturale est trop friable et après avoir effectué le test localisé nous avons abandonné l'idée de pousser le nettoyage qui provoquait un décollement des pigments. Il faudra donc consolider cette couche avant d'envisager éventuellement un nouveau nettoyage et un refixage du papier.

c. Traitement biocide

Une fois la surface nettoyée, nous avons décidé d'utiliser un traitement biocide pour éliminer les micro-organismes des papiers et du textile de la silhouette des Quatre cavaliers. La sélection du produit s'est effectuée en fonction des espèces biologiques présentes sur l'objet et de la sensibilité du métal aux solvants aqueux et aux pH acides ou basiques. D'après Faïçal Boustia, ingénieur scientifique au service microbiologique du LRMH, le Vitalub QC 50^{®202}



Fig. 133 : Traitement biocide d'une structure fongique punctiforme sur papier. © C. Gonnier.

allie ces deux avantages : il peut-être dilué dans l'éthanol et son pH est proche de la neutralité. En revanche nous n'avons pas trouvé d'article de référence permettant d'évaluer l'action de ce produit sur le zinc et le papier ce qui nous a amené à éviter une application par pulvérisation répétée et généralisée sur l'œuvre. Nous avons décidé d'utiliser une concentration légèrement

²⁰² Communication par téléphone et échange électronique (février 2008). Annexe 9. Fiches techniques, p.XXXII.

supérieure, à 0,5% en poids dans l'éthanol, et de poser la solution au pinceau localement sur les cratères punctiformes et les taches brunes contenant les espèces les plus actives²⁰³.

d. Consolidation de la couche mate

- Risques et influences des paramètres de mise en œuvre

Les couches mates pulvérulentes sont poreuses et fragiles mécaniquement ce qui explique leur sensibilité aux manipulations pouvant entraîner l'apparition de lustrages, de rayures, ou d'auréoles. Il est donc nécessaire de renforcer la cohésion de la peinture en introduisant un solvant ou un adhésif capable de régénérer le liant ou de consolider la matière. Lors de l'intervention, les risques de modification optique de l'état de surface sont multiples et peuvent se traduire par une brillance accrue, une augmentation de la rugosité, un assombrissement des couleurs ou l'apparition de zones hétérogènes liées à des migrations de pigments ou de liants²⁰⁴. Pour éviter ces effets indésirables il faut prendre en compte toutes les caractéristiques des matériaux, effectuer des essais sur une éprouvette puis sur l'objet et sélectionner la mise en œuvre adaptée qui soit la plus minime possible.

Les quatre paramètres influant sur l'intervention sont :

- *Le solvant.* Il peut provoquer un gonflement de la couche, des déplacements de matière ou des dégradations de zones sensibles.
- *L'adhésif.* Il doit être choisi en fonction de la nature du liant de la couche picturale. Des tests ont démontré que les colles naturelles fonctionnaient mieux sur les détrempe alors que les résines ou les émulsions acryliques étaient préférables sur une peinture à l'huile²⁰⁵.
- *La concentration.* Il est préférable d'utiliser de faibles concentrations et de multiplier les applications plutôt que d'opérer une seule pulvérisation avec une trop grande quantité d'adhésif qui se traduit souvent par un changement d'aspect optique.
- *Le mode d'application.* Il influe sur la brillance et l'homogénéité de l'adhésion des particules entre elles.

²⁰³ Annexe 8. Rapports d'analyse microbiologique, p. XXI.

²⁰⁴ ELIAS (M.), SINDACO (C.), 2006, p. 86-94.

²⁰⁵ *Idem*, p. 93.

- Tests de consolidation de la couche picturale

L'ensemble des essais a été mené avec la collaboration de Claudia Sindaco, enseignante à l'INP et spécialiste des peintures non vernies. Une éprouvette a été réalisée pour pouvoir tester des produits de régénération du liant ou de consolidation. Elle est constituée d'une plaquette de zinc sur laquelle a été collé un papier que nous avons ensuite recouvert d'une couche noire composée majoritairement de pigments (noir d'ivoire) et d'un peu de liant (colle de peau). Il s'avère que la peinture semble beaucoup plus pulvérulente que sur notre objet ce qui devra être pris en compte lors de l'application des essais sur la silhouette.

Nous décidons d'utiliser un nébuliseur à ultrasons plutôt qu'une méthode plus traditionnelle de pulvérisation car cette technique présente de nombreux avantages²⁰⁶. Elle permet notamment la projection de fines gouttelettes dont la taille est dix fois moins importante qu'avec un autre système. Il se produit alors une pénétration du consolidant à cœur, avec une bonne répartition de l'adhésif facilitée par une application fine et régulière. L'appareil ne peut-être utilisé qu'avec de l'eau, ce qui pourrait constituer un inconvénient pour nos métaux mais nous considérons que les particules sont tellement petites qu'il paraît peu probable qu'elles traversent l'épaisseur du papier jusqu'au zinc. D'autre part la présence d'eau ne facilite la corrosion que si la durée d'exposition en milieu humide est importante ; or le temps du traitement semble trop faible pour conduire à cette altération. Les risques encourus par les métaux nous paraissent donc moins importants que celui d'utiliser une technique plus radicale par pulvérisation pour la peinture qui présente de multiples auréoles et donc une grande fragilité.

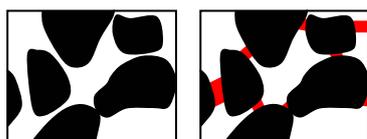


Fig. 134 : Schéma présentant les pigments avant et après consolidation à cœur, d'après Claudia Sindaco.

Le premier essai consiste à tenter de régénérer le liant de la peinture en utilisant le même solvant que celui de la mise en œuvre, c'est-à-dire l'eau. Nous préférons commencer par la technique la plus simple, sans adhésif, afin d'évaluer son action. L'aérosol est passé trois à quatre fois sur la couche afin de faire pénétrer l'eau déminéralisée à cœur puis la plaquette est mise à sécher à l'air libre avant de vérifier l'effet du traitement. Nous avons réalisé différents tests avec plus ou moins de passages conduisant à la détrempe du papier et de la peinture pour se familiariser avec le procédé et apprendre à reconnaître les limites de l'intervention.

²⁰⁶ DIGNARD (C.), MICHALSKI (S.), 1997.

Une application est ensuite faite sur une petite zone de l'œuvre et nous vérifions que le traitement est effectif en pressant légèrement un papier absorbant sur la surface avant le traitement puis après la régénération. La pulvérulence semble atténuée et l'opération nous paraît suffisante pour renforcer la cohésion de la couche picturale. Nous décidons d'appliquer cette opération à l'ensemble de l'objet. Au vu du test préalable la couleur s'assombrit légèrement et redonnera une certaine profondeur à l'objet.

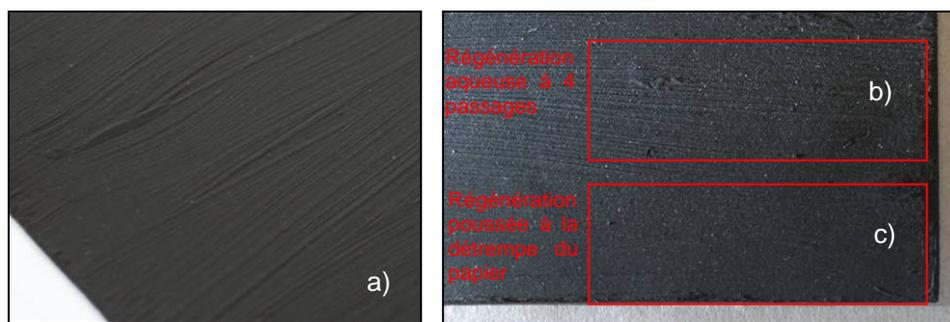


Fig. 135 : Essais de régénération du liant sur une éprouvette :

- a) Surface de l'éprouvette imitant la mise en œuvre de l'objet.
- b) Régénération à quatre passages dont l'effet est peu perceptible.
- c) Essai mené jusqu'à la détrempe provoquant un écrasement de la couche.

- Mise en œuvre de la consolidation

La silhouette est disposée au-dessus d'un fond gris foncé ce qui permet d'absorber la lumière environnante et de contrôler la régularité de l'application. Une première nébulisation d'eau déminéralisée est déposée à la surface que nous laissons sécher pendant vingt-quatre heures avant de renouveler une nouvelle fois l'opération. Les parties peintes placées directement au-dessus du zinc ne sont traitées qu'une seule fois pour limiter l'apport d'eau et éviter de créer des reprises de corrosion.



Fig. 136 : Régénération du liant de la silhouette des Trois cavaliers. © S. Luccheta.

Les déplacements de couche picturale, situées sur le talon et peintes directement sur le métal, sont refixées à l'aide de Klucel® G à 0,1% dans l'éthanol appliquée à la seringue. En revanche les coulures situées sur le revers de l'objet sont adhérentes et conservent une bonne cohésion. Elles ne nécessitent pas de traitement de consolidation mais des préconisations de manipulation pour limiter les frottements qui sont à l'origine des altérations.

e. Refixage des papiers

Sur les bords des découpes métalliques ainsi qu'autour des lacunes, le papier est soulevé. Cette altération peut-être accentuée en cas de manipulation inadaptée ce qui nous amène à sélectionner un adhésif pour repositionner les éléments ayant perdu leur adhérence. Il nous faut donc choisir une résine qui permette de refixer deux matériaux incompatibles entre eux sur une interface recouverte de produits de corrosion.

- Sélection de l'adhésif

L'adhésif doit répondre à plusieurs critères : il doit avoir de bonnes propriétés adhésives et cohésives, être stable et compatible avec l'ensemble des matériaux en présence et être réversible. D'autres facteurs interviennent comme sa flexibilité, sa facilité d'emploi et la toxicité des solvants employés. Les éléments à refixer ont aussi des particularités qu'il faut prendre en compte lors de la sélection de la colle:

- *Résistance biologique* : Comme nous souhaitons employer la même résine pour chacune des silhouettes d'ombres et que la plaque des Quatre cavaliers est infestée par des micro-organismes, nous pensons que le produit doit présenter une certaine résistance biologique.
- *Limitation d'apport d'eau* : Le zinc a un potentiel d'oxydation de $-0,76 \text{ V ESH}^{207}$ ce qui signifie qu'il est facilement corrodable : l'eau provoque la dissolution du métal en formant des produits blanc similaires à ceux présents sur les œuvres.
- *Souplesse* : Certains papiers sont déformés et sont devenus cassants et fragiles. Nous souhaitons éviter de créer des zones de trop grande rigidité qui pourraient affaiblir le matériau et propager les altérations.

En restauration de métal, les adhésifs couramment utilisés sont considérés comme irréversibles pour le papier. Nous avons donc opéré notre sélection en fonction des résines employées en arts graphiques :

- *Les résines naturelles* ont de bonnes propriétés adhésives, et l'amidon avait permis de fixer les gabarits et les fragments sur chacune des silhouettes. Elles n'en restent pas moins sensibles aux micro-organismes, solubles, et légèrement rigides ce qui nous a conduit à les éliminer de notre choix.

²⁰⁷ V ESH = volt par rapport à l'électrode standard d'hydrogène.

➤ *Les éthers de cellulose* sont bien connus en conservation-restauration. Ils forment des films fins, élastiques et souples, sont peu sensibles aux infestations²⁰⁸, et présentent le très grand avantage d'être solubles ou partiellement solubles dans des solvants organiques. Ce dernier critère nous a amené à sélectionner un éther de cellulose non-ionique, de pH neutre et entièrement soluble dans l'éthanol : la Klucel[®]G²⁰⁹ ou hydroxypropylcellulose (HPC). Ce produit a été évalué en 1990 par Feller et de Wilt²¹⁰ au cours d'une étude visant à classer huit éthers de cellulose en fonction de leur stabilité dans le temps et donc de leur comportement au vieillissement. Il a été démontré que les HPC étaient stables à la lumière visible et aux radiations ultraviolettes mais qu'elles avaient une disposition au jaunissement à la chaleur, et pouvaient subir une perte du degré de polymérisation²¹¹. Cependant la Klucel[®]G n'a pas pu être entièrement testée et la conclusion suggère de mener des essais sur ce type d'HPC de poids moléculaire moyen, dont la stabilité doit être meilleure. D'autres recherches²¹² ont aussi souligné le bon vieillissement de la résine. Nous allons donc l'employer comme produit de refixage après avoir évalué son adhérence sur du zinc corrodé.

- Test d'adhérence de la Klucel[®]G

Avant de refixer les papiers sur le support métallique corrodé, il fallait tester l'adhérence de la Klucel[®]G sur ce substrat et définir la concentration à laquelle l'utiliser. Nous avons donc mené un test de pelage reproduisant au plus près les conditions des silhouettes d'ombres.

Un rectangle de métal a été exposé en extérieur puis dégraissé à l'acétone. Nous avons ensuite découpé six bandes de papier²¹³ que nous avons encollé à l'aide de Klucel[®]G à 3%, 5% ou 7% en poids dans de l'éthanol (96% dans l'eau) sur le métal, obtenant ainsi deux essais par concentration pour plus de reproductibilité. La plaquette métallique est fixée à un support en bois puis l'ensemble est retourné après séchage du film de colle pour effectuer le test. Des sachets sont suspendus à l'aide de petits anneaux en laiton à l'extrémité du papier renforcé par

²⁰⁸ STRNADOVA (J.), DUROVIC (M.), 1994. p. 223 et 237 ; FELLER (R.L.), WILT (M.), 1990, p. 26 et 39.

²⁰⁹ La Klucel[®]G est commercialisée en France par Souls ou Atlantis. Il existe différentes HPC classifiées en fonction de leur poids moléculaire E (faible), H et M (haut), G et L (moyen), ce qui a des répercussions sur les propriétés des adhésifs.

²¹⁰ FELLER (R.L.), WILT (M.), 1990.

²¹¹ Ces tests, qui font aujourd'hui figure de référence, ont permis de comparer les différents éthers de cellulose. Les conditions expérimentales sont cependant extrêmes puisque les échantillons sont chauffés à 95°C pendant des centaines d'heures.

²¹² STRNADOVA (J.), DUROVIC (M.), 1994 ; SHASHOUA (Y.), RUGHEIMER (A.), 1998.

²¹³ Selon Marie Christine Enshaian, responsable de l'atelier arts graphiques, les bandes datent de la fin du XIX^{ème} siècle et présentent des caractéristiques physico-chimiques similaires à celui du papier du Guerrier. Les bandes de papier mesurent 10 cm de long par 1,2 cm de large et sont encollées sur 2,4 cm².

un scotch, et nous introduisons régulièrement 5 gr de billes de plomb toutes les 3 heures jusqu'à détachement ou rupture du matériau.

Les essais ont démontré qu'à 7% en poids l'adhésif semble trop fort puisque le papier se rompt alors qu'aux deux autres concentrations se produit une rupture du joint de colle sans endommagement du matériau. Pour refixer les papiers du Guerrier et des Quatre cavaliers nous décidons d'utiliser la Klucel G[®] à 5% en poids dans l'éthanol, qui donne de bons résultats d'adhérence.

Tableau 6. Résultats des tests de pelage.

Échantillons	3%	3%	5%	5%	7%	7%
Poids introduit	20 gr	25 gr	35 gr	35 gr	60 gr	65 gr
Rupture	Rupture adhésive de la colle		Rupture adhésive de la colle		Rupture adhésive du papier	

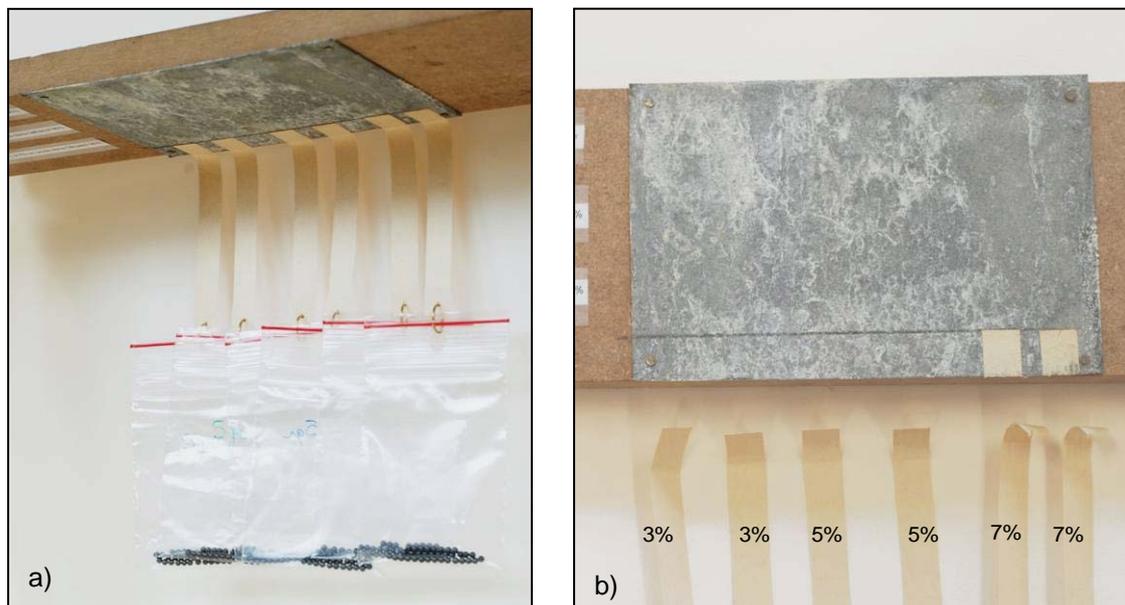


Fig. 137 : Test d'adhérence par pelage de la Klucel G[®] à différentes concentrations dans l'éthanol (96%).

- a) Test de pelage en cours,
- b) Bandes de papier après test de pelage.

- Refixage des papiers du Guerrier et des Quatre cavaliers

Un film de polyester (Mélinox[®]) est taillé à la forme souhaitée puis poncé pour diminuer son épaisseur et limiter son action tranchante²¹⁴. Il est introduit sous le papier à l'aide d'une spatule en inox, puis l'adhésif est déposé au pinceau à l'interface métal-papier. La feuille plastique qui servait à isoler le zinc et à conduire la résine est retirée, puis l'ensemble est mis à sécher sous poids au-dessus d'un morceau de non-tissé polyester qui permet d'éviter des adhérences entre la surface de l'œuvre et celle du sachet de plomb.

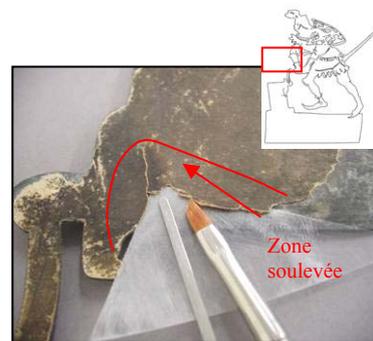


Fig. 138: Application de l'adhésif sur le bord supérieur de la baratte du Guerrier.

- Refixage du papier monochrome des Trois cavaliers

La couche pulvérulente a été régénérée mais il faut encore refixer localement les papiers soulevés afin d'éviter des pertes d'éléments lors de la manipulation des silhouettes. L'adhésif utilisé doit être compatible avec l'ensemble des éléments en contact, à savoir le zinc, le papier et la peinture, et doit éviter de créer des zones de brillance provoquées par la remontée de la colle au travers du papier. Nous avons donc décidé de tester la Klucel G[®] dans l'éthanol qui donnait de bons résultats d'adhérence sur métal corrodé mais à des concentrations plus basses pour vérifier les changements optiques survenus pendant et après son application.

Une plaque de zinc corrodée a été dégraissée, puis trois rectangles de papier peint en noir avec une couche friable ont été collés sur la surface du métal. Nous avons ensuite regardé les résultats :

- Klucel G[®] 1% en poids dans éthanol (96% dans l'eau): mouvement du pigment et remontée de solvant en surface. La couche de vient hétérogène et semble plus écrasée.
- Klucel G[®] 3% en poids dans éthanol (96% dans l'eau): peu de changements.
- Klucel G[®] 5% en poids dans éthanol (96% dans l'eau): migration de la colle au travers du papier avec apparition d'auréoles brillantes.

Nous décidons d'employer la résine à 3% en poids qui semble mieux correspondre à nos besoins, les tests préalables nous ayant déjà montré que l'adhérence était suffisante à cette concentration même si elle restait inférieure à celle à 5% en poids.

²¹⁴ Les étapes de mise en œuvre du refixage nous ont été expliquées par Marie Christine Enshaian.

Le refixage a été effectué comme précédemment sur l'œuvre du Guerrier, à l'aide d'un Mélinex[®] et d'une petite spatule pour permettre de faire pénétrer l'adhésif sur l'ensemble du soulèvement. Un poids est ensuite placé en surface au-dessus d'un non-tissé de polyester (Bondina[®]) qui présente l'avantage de ne pas lustrer la surface comme pourrait le faire un matériau plus lisse.

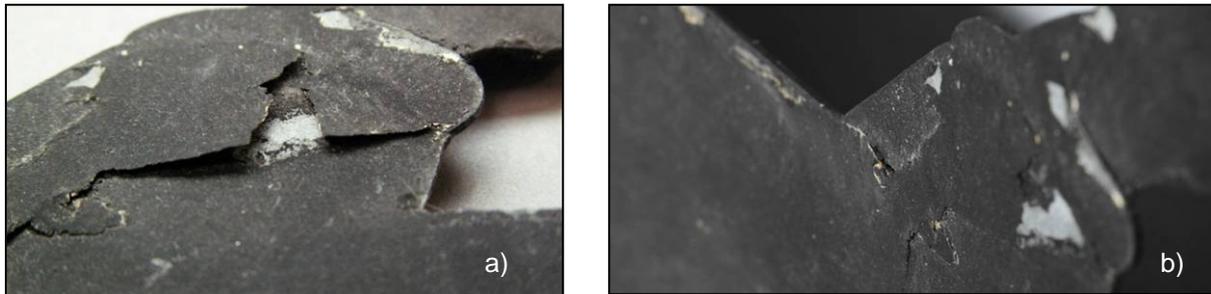


Fig. 139 : Refixage du papier des Trois cavaliers : a) avant et b) après intervention.

f. Consolidation des déchirures

Après refixage des papiers, les déchirures des papiers placés sur les Quatre cavaliers ont été traitées par la face, au-dessus des supports découpés à la forme des percements de zinc. Les consolidations permettent de redonner une certaine cohésion à un matériau fragilisé mais ne doivent pas être trop visibles afin de ne pas gêner la lecture des parties colorées sur l'avant de la silhouette. Nous avons donc choisi un papier japonais de faible grammage²¹⁵ qui a été défibré en forme de bandelettes puis appliqué sur l'œuvre à l'aide de Klucel[®] G à 5% dans l'éthanol. Ces opérations ont été effectuées conjointement avec deux élèves d'arts graphiques.

Après consolidation l'œuvre est plus facilement manipulable puisque les risques de perte de matière sont limités. Cette intervention nous permet désormais d'avoir accès au revers ce qui rend possible le nettoyage et le collage des parties métalliques.



Fig. 140: Consolidation des déchirures du soldat B de la silhouette des Quatre cavaliers : a) avant intervention, b) en cours d'imprégnation de la bande de papier japonais, et c) après remise à plat et consolidation.

²¹⁵ Papier japonais RK1, 8g/m². Il est fourni par Atlantis dans la gamme Nao.

2. Nettoyage des métaux

Au revers des silhouettes du Guerrier et des Trois cavaliers et sur les deux faces de la silhouette des Quatre cavaliers, se trouvent des produits de corrosion du zinc ou du fer, plus ou moins épais et localisés. Ces sels métalliques étant hygroscopiques, nous décidons de les retirer. Ils gênent aussi la lisibilité des œuvres puisque les taches blanches hétérogènes sont très présentes au-dessus du fond gris sombre du métal oxydé. Chaque produit de corrosion est traité en fonction de sa nature et de la surface sur laquelle il se trouve.

a. Retrait des produits de corrosion du zinc

- Retrait des chlorures de zinc

Les chlorures de zinc sont considérés comme peu stables et doivent être enlevés pour des raisons de conservation car ils peuvent se dissocier en présence d'eau et produire de l'acide chlorhydrique qui susceptible de pénétrer dans les microfissures du métal.

Ces produits sont toujours situés près des brasures étain-plomb car leur présence est liée à une étape de fabrication des silhouettes consistant à poser un flux pour assembler les armatures sur le support. Le produit utilisé devait probablement contenir des chlorures qui n'ont pas été rincés après l'opération ce qui a entraîné une attaque du métal autour de ces zones constituées de volumes irréguliers. Comme les brasures sont constituées d'un alliage étain-plomb, particulièrement malléable et sensible au moindre choc mécanique, il nous faut trouver une méthode de nettoyage qui n'engendre pas de rayures. Il est aussi souhaitable de conserver la fine couche d'oxyde recouvrant la brasure qui correspond à un film stable et homogène. Pour toutes ces raisons, les traitements mécaniques ont tout d'abord été écartés afin de privilégier une action chimique qui limite les risques d'abrasion.

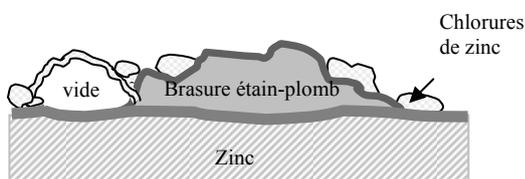


Fig. 141 : Coupe stratigraphique d'une zone de brasure avant nettoyage des chlorures de zinc

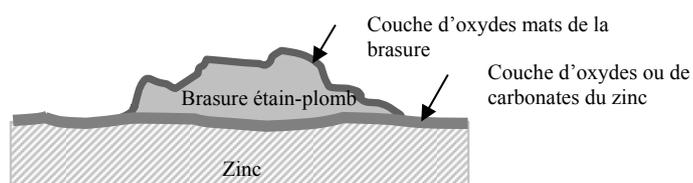


Fig. 142 : Coupe stratigraphique d'une zone de brasure présentant les objectifs du nettoyage : retrait des chlorures et conservation des couches oxydées du zinc et de l'alliage.

D'après les constantes de solubilité des sels²¹⁶, les chlorures sont solubles et peuvent donc être enlevés avec de l'eau, sans ajout d'agent chélatant, d'acide ou de base. L'eau est un facteur de corrosion déterminant pour le zinc, mais lorsque son apport est contrôlé, et lorsque le solvant ne sèche pas à l'air libre, il est possible de l'employer sans développer de corrosion.

Anions	Cations																
	NH ₄ ⁺	Li ⁺	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Ba ²⁺	Al ³⁺	Cu ²⁺	Fe ²⁺	Fe ³⁺	Ni ²⁺	Zn ²⁺	Hg ²⁺	Ag ⁺	Sr ²⁺	Pb ²⁺
Acétate	CH ₃ COO ⁻	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Nitrate	NO ₃ ⁻	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Chlorure	Cl ⁻	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Bromure	Br ⁻	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Iodure	I ⁻	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Sulfate	SO ₄ ²⁻	○	○	○	○	○	●	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Sulfite	SO ₃ ²⁻	○	○	○	○	○	●	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Sulfure	S ²⁻	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Carbonate	CO ₃ ²⁻	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Hydroxyde	OH ⁻	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Phosphate	PO ₄ ³⁻	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Chromate	CrO ₄ ²⁻	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

○ = soluble ● = insoluble (peu soluble) — = n'existe pas ou se décompose dans l'eau

Fig. 143 : Constantes de solubilité des sels métalliques : les chlorures de zinc sont solubles. © TONNEAU (J.), 2000.

Nous avons réalisé un test localisé en employant un gel d'agar-agar²¹⁷ à 3% en poids pour pouvoir maîtriser l'apport d'eau sur les métaux. Ce gel présente l'avantage d'être rigide ce qui permet de le découper en fine bande et de le disposer aux endroits exacts nécessitant un traitement. Après cinq minutes de pose, les sels de zinc adhérents et compacts se solubilisent légèrement ce qui permet de les ôter avec un scalpel sur le zinc et une pointe en buis sur les brasures. La surface est ensuite rincée avec un coton tige légèrement imprégné d'eau déminéralisée puis elle est séchée à l'acétone. Le traitement semble suffisant pour enlever la grande majorité des chlorures de zinc et nous décidons de l'appliquer à l'ensemble des silhouettes. Quelques brasures épaisses et granuleuses, comme sur le revers des Quatre cavaliers, conserveront des résidus blancs dans les creux peu accessibles de la matière puisqu'un nettoyage trop poussé et trop fréquent sensibilise la couche d'oxyde mate recouvrant les alliages d'étain-plomb.

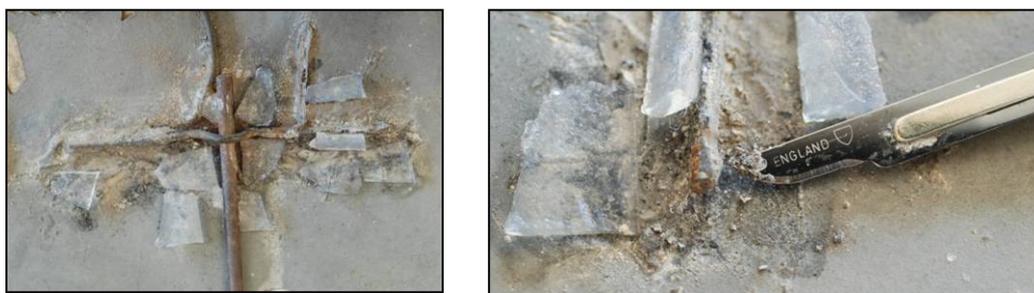


Fig. 144 : Nettoyage des chlorures de zinc en cours de traitement : pose du gel d'eau puis retrait des produits au scalpel sur le support en zinc ; revers de la silhouette des Quatre cavaliers.

²¹⁶ TONNEAU (J.), 2000.

²¹⁷ L'agar agar est un gélifiant végétal obtenu à partir d'une algue rouge et servant d'additif alimentaire.

- Retrait des hydroxydes (?) de zinc

Des produits de corrosion blancs sont répartis sur l'ensemble des surfaces métalliques. Les analyses par diffraction de rayons X n'ont pas donné de résultats puisque les sels étaient amorphes mais nous pensons qu'il s'agit d'hydroxydes de zinc qui se sont développés au contact de l'humidité. Il n'est pas possible de les enlever sous les éléments de papiers mais nous pouvons en revanche intervenir sur les surfaces métalliques non recouvertes de matériaux organiques.

Les hydroxydes de zinc sont des sels non solubles, dans la constante de solubilité est supérieure à celle de oxydes et des carbonates. Si nous décidons de faire un traitement chimique par complexation il s'en suivra une dissolution préférentielle de la patine grise et mate que nous souhaitons conserver. Il nous paraît donc préférable d'employer une méthode mécanique.

Méthode	Discussion et efficacité
❖ <i>Sablage</i>	Cette technique ne peut pas être employée sur les silhouettes car il existe un risque de pénétration des particules sous les papiers et une possibilité d'abrasion des matériaux organiques. Les seuls articles que nous avons trouvés sur le traitement de la corrosion du zinc concernent les sculptures en extérieur et le sablage semble une méthode particulièrement adaptée aux œuvres de grandes dimensions. Nous pensons néanmoins que cette intervention n'est pas transposable sur les plaques que nous avons à l'étude.
❖ <i>Fibres de verre</i>	Le pinceau de verre raye le métal.
❖ <i>Meulettes</i>	Les fibres de nylon et les gommes souples montées sur micro-moteur lustrent la surface sans ôter les produits de corrosion et les meulettes dures chargées de corindon ne permettent pas de travailler de manière suffisamment sélective.
❖ <i>Cavitron</i>	Les ultrasons sont souvent utilisés en restauration de métaux archéologiques car ils permettent de cliver la corrosion à l'interface avec le métal. Après avoir réalisé un test localisé sur la silhouette du Guerrier nous avons abandonné cette technique : les produits de corrosions sont très adhérents et ne se détachent pas de leur support.
❖ <i>Scalpel</i>	Nous choisissons finalement cette méthode d'abrasion qui allie précision et efficacité. En utilisant une lame neuve, les produits sont facilement coupés.

L'ensemble des produits de corrosion du zinc situés en-dehors des zones de brasure est donc retiré à l'aide d'une lame de scalpel affûtée. Le traitement est mené sous lunettes loupe et l'outil est maintenu parallèle à la surface pour ne pas occasionner de rayures. Après

intervention la grande majorité des sels ont été ôtés et l'objet retrouve une plus grande homogénéité même si l'empreinte gris bleuté de la corrosion est toujours perceptible sur l'objet.

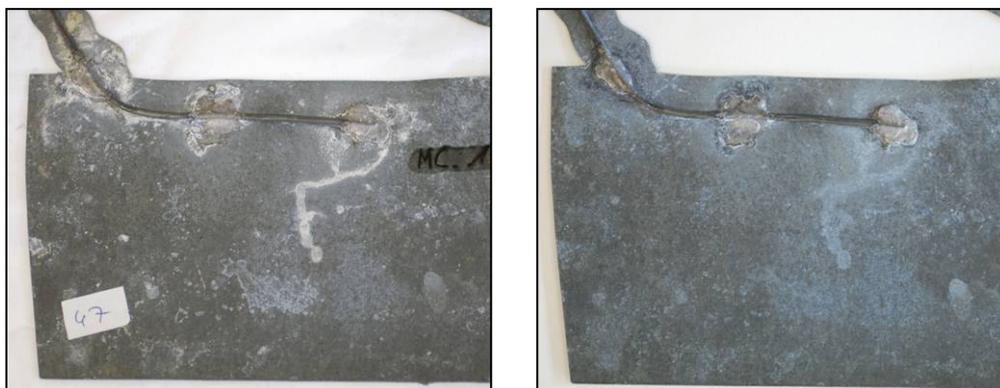


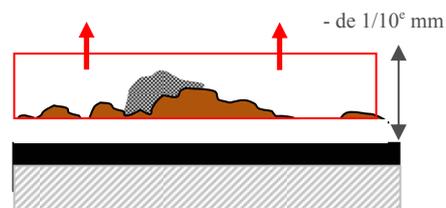
Fig. 145 : Revers du Guerrier avant et après nettoyage des produits de corrosion du zinc.

b. Nettoyage des produits de corrosion du fer

- Retrait des produits de corrosion des armatures et des vis en alliage ferreux

Les armatures et les vis en alliage ferreux sont recouvertes d'une couche de corrosion brun-orangé sous laquelle se trouve une autre forme de corrosion du fer qui prend l'aspect d'un film tendu, noir et satiné. Cette dernière est conservée pendant le nettoyage car elle est stable et constitue la surface d'origine du métal.

Nous avons utilisé un pinceau de fibres de verre, très souvent employé pour enlever les concrétions des alliages ferreux. Il présente de nombreux avantages dont ceux d'épouser les formes arrondies des tiges, de se glisser dans les anfractuosités, d'appliquer une action localisée de pression désirée et de limiter l'apport d'eau ou de produit chimique sur l'œuvre. Comme le métal a une dureté supérieure à celle du zinc, cette technique qui était



- Poussière (D1e)
- Produits de corrosion du Fe (CP1e)
- Produits de corrosion du Fe (CP2e)
- Alliage Fe (M1i)

Fig. 146 : Stratigraphie de corrosion de l'alliage ferreux présentant les objectifs de nettoyage : les produits bruns (CP1e) sont retirés et le film noir est conservé (CP2e).

trop abrasive pour le métal de support est en revanche adaptée pour les armatures et les vis.

Un mélinex[®] est positionné sous chacune des tiges et autour des vis pour protéger le zinc et le patin des résidus de corrosion du fer puis les éléments sont brossés régulièrement avec un pinceau fin de fibres de verre. Leur surface est ensuite nettoyée à l'alcool ce qui permet de retrouver la forme régulière de ces parties qui avaient perdu la netteté de leur contour.



Fig. 147 : Nettoyage des produits de corrosion du fer, en cours et après traitement des armatures des Quatre cavaliers.

- Retrait des coulures de produits de corrosion du fer sur les brasures et le zinc

Sur le revers des Quatre cavaliers des produits de corrosion provenant des armatures en alliage ferreux se sont déposés sur les brasures. Il est très probable que le flux utilisé pour l'assemblage se soit conduit en électrolyte ce qui a facilité la corrosion du métal et permis que les sels migrent sur les alliages d'étain-plomb. Comme précédemment pour les chlorures de zinc, les produits de corrosion du fer se trouvent au-dessus d'un métal malléable qui ne peut pas être nettoyé selon la méthode utilisée pour les armatures et les vis. Nous avons donc cherché à solubiliser ces sels sans provoquer la disparition des fines couches d'oxydes présentes sur les autres matériaux.

Deux types de produits sont susceptibles d'exercer une action chimique sur ces sels insolubles :

- *Les acides et les bases.* D'après les diagrammes de Pourbaix²¹⁸ (ou diagrammes potentiel-pH) les produits de corrosion du fer se dissocient plutôt à un pH acide alors que le domaine de stabilité des oxydes et carbonates des métaux amphotères est à un pH 9 légèrement basique. Il faudrait donc utiliser un acide faible pour ôter les coulures de corrosion ce qui provoquerait une attaque des couches d'oxydes que l'on veut garder sur

²¹⁸ POURBAIX, 1963, p. 408-410.

le zinc et la brasure. L'action de ces produits n'étant pas suffisamment ciblée, nous préférons privilégier une autre technique de nettoyage chimique.

- *Les agents chélatants* nous paraissent être une alternative intéressante pour enlever les produits de corrosion insolubles du fer. Ils contiennent des molécules polaires avec au moins deux groupes fonctionnels chargés négativement qui agissent par liaison électrostatique sur des ions métalliques spécifiques²¹⁹. Ces agents se lient avec les cations des produits de corrosion pour former un complexe stable et soluble qui pourra être éliminé par un rinçage. L'avantage du chélatant sur un acide ou une base seuls est sa sélectivité. En effet, en se référant aux constantes de formation des complexes, il est possible de choisir un composé qui agit seulement sur un ion métallique précis sans éliminer d'autres ions que l'on souhaite conserver. Cette méthode devrait nous permettre de retirer les coulures des produits de corrosion du fer sans faire apparaître l'éclat métallique du zinc et de l'étain-plomb.

Le choix du produit doit se faire selon plusieurs critères :

- *pH* : Le fer est soluble dans un domaine de pH acide alors que les oxydes et carbonates des métaux amphotères que nous voulons garder sont stables à pH 9. Nous allons donc tester un complexant à pH neutre et l'autre à pH 9 afin d'opérer un compromis entre le retrait des sels de fer et la conservation des sels de zinc, d'étain et de plomb.
- *Chélatant* : L'EDTA²²⁰ est un acide aminocarboxylique qui forme des chélates très stables et dont l'action est reconnue sur les produits de corrosion du fer. À pH 7 et 9, les coefficients de complexation du Fe (III) sont supérieurs à ceux des autres sels, ce qui nous est favorable, en revanche pour le Fe (II) les coefficients de complexation sont similaires aux autres sels.
- *Ajout d'un réducteur* : Pour solubiliser le Fe (II) nous décidons d'utiliser un réducteur, le dithionite²²¹, comme nous l'avons déjà testé en stage au *Conservation Centre* de Liverpool. Il semble qu'il agit sur les produits de corrosion du fer en transformant les ions ferriques en ions ferreux plus solubles et qu'il a une action préférentielle sur le fer qui est un meilleur oxydant que le zinc.
- *Concentration molaire* : Nous allons utiliser une concentration faible, de 0,1 mole/l.

²¹⁹ BURGESS, 1991, p. 36 et BERTHOLON, 2004, p. 1.

²²⁰ Annexe 9. Fiche toxicologique, p. XL.

²²¹ Annexe 9. Fiche toxicologique, p. XXXIX.

Quatre solutions sont testées sur une brasure du revers de la silhouette des Quatre cavaliers. Nous n'avons pas pu former de gel à cause du dithionite qui a empêché sa formation.

Principe actif	Produit	Mise en œuvre	Efficacité	Remarques
❖ <i>Chélatant en solution aqueuse</i>	EDTA (pH7) à 0,1 mole/l dans eau déminéralisée	compresse de coton, 10 minutes	+/-	Retrait partiel de la corrosion du fer et altération légère de la couche de corrosion homogène de la brasure
	EDTA (pH7) à 0,1 mole/l dans eau déminéralisée + dithionite alcalin à 0,01 mole /l	compresse de coton, 10 minutes	+/-	Retrait partiel de la corrosion du fer et altération légère de la couche de corrosion homogène de la brasure
	EDTA (pH9) à 0,1 mole/l dans eau déminéralisée	compresse de coton, 13 minutes	+	Retrait partiel de la corrosion du fer sans altération de la couche de corrosion homogène de la brasure
	EDTA (pH9) à 0,1 mole/l dans eau déminéralisée dithionite alcalin à 0,01 mole/l	compresse de coton, 13 minutes	++	Bon retrait de la corrosion du fer sans altération de la couche de corrosion homogène de la brasure

Au vu des résultats nous avons appliqué des compresses de coton, sur chacune des brasures situées au revers de la silhouette, imbibées de quelques gouttes d'EDTA à 0,1 mole/l dans l'eau déminéralisée additionné de dithionite alcalin à 0,01 mole/l. Après une dizaine de minutes le coton est ôté avec une pince puis la surface est rincée au moins quatre fois avec de l'eau déminéralisée sur de larges compresses que nous avons renouvelées à chaque fois. L'ensemble a été séché au papier absorbant puis à l'acétone.



Fig. 148 : Détail d'une brasure présentant des coulures de produits de corrosion du fer : avant et après nettoyage.

c. Retrait des dépôts-corrosion de la silhouette des Quatre cavaliers

- Problématique et objectif

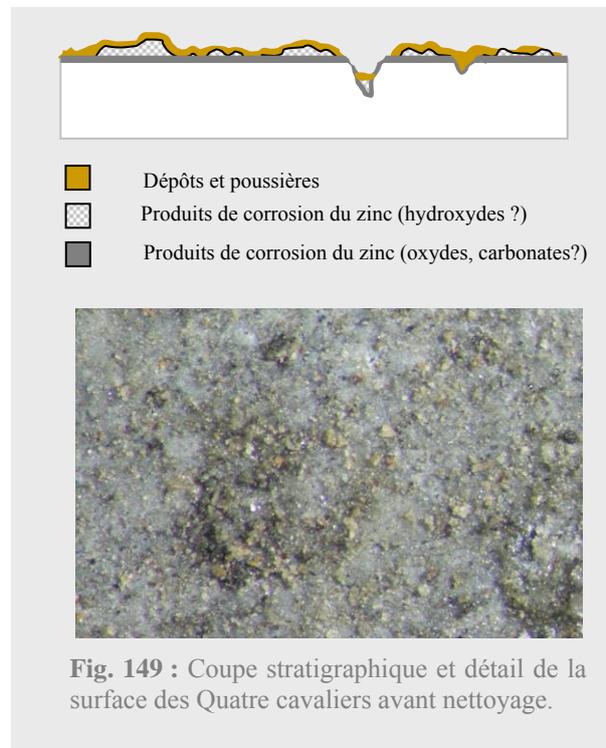
La silhouette des Quatre cavaliers n'est pas entièrement recouverte de papier et sa surface métallique est fortement encrassée. Les dépôts superficiels sont mélangés à une fine couche de produits de corrosion du zinc, peut-être des hydroxydes qui se sont développés au contact de l'humidité atmosphérique. Certaines parties sont plus particulièrement perturbées et présentent une forme de corrosion perforante similaire à celle observée sur le talon de la plaque des Trois cavaliers.

L'épaisse couche de poussière ainsi que les produits de corrosion blancs sont des

éléments hygroscopiques qu'il convient d'enlever pour assurer la conservation à long terme de l'œuvre. En revanche, nous avons vu dans le diagnostic que les produits de corrosion gris et homogènes (oxydes ou carbonates ?) correspondent à une couche protectrice qu'il convient de préserver pour éviter de rendre le métal apparent, ce qui conduirait à la formation d'une nouvelle corrosion de même nature. Ces produits protègent donc le métal en agissant comme une barrière aux polluants et à l'humidité, ce qui fait chuter la cinétique de corrosion du zinc. Il s'agit en quelque sorte d'une couche de passivation du métal. Nous allons donc tester une série de produits de nettoyage pour retirer le mélange dépôt-poussière-corrosion sans altérer la couche homogène gris foncé située en dessous.

- Tests de nettoyage

Nous avons testé différents produits ayant des actions chimiques ou mécaniques afin de vérifier l'efficacité de solvants et mélanges de solvants, d'un chélatant utilisé pour le dégraisage, d'un tensio-actif non-ionique, d'une émulsion grasse et d'une série de méthodes d'abrasion.



Les résultats de ces essais sont synthétisés dans un tableau ; les observations ont été menées visuellement et sous loupe binoculaire.

Principe actif	Produit	Remarques	Efficacité
❖ <i>Solvants</i>	Tests de Feller adaptés par Crémonési, compresse et coton.	Tests de solvants non toxiques. Large éventail de polarité.	LE3 (70% ligroïne, 30% éthanol) et LE4 (60% ligroïne, 40% éthanol) : solubilise les dépôts.
❖ <i>Chélatant en solution aqueuse</i>	Tri ammonium citrate à 1% dans eau déminéralisée (pH7), compresse (10 mn).	Cremonesi ²²² explique que le citrate peut agir comme un agent antistatique qui neutralise les charges de la surface pour faciliter le détachement des salissures.	Pas d'efficacité
❖ <i>Tensio-actif</i>	Triton X 100, dans eau déminéralisée (10 mn).	Tensio-actif non ionique, HLB 13,5.	Pas d'efficacité
❖ <i>Tensio-actif en émulsion</i>	Émulsion grasse, Ligroïne, Tween 20 [®] , eau déminéralisée (10 mn).	Recette de Cremonesi ²²³ . Tween [®] 20 : tension actif non ionique, HLB de 16,7, fourni par CTS.	Retire la couche superficielle de poussière, comme le font les solvants sur coton.
❖ <i>Nettoyage mécanique</i>	Scalpel		Retire les dépôts adhérents sur le zinc
	Gomme abrasive sur micromoteur		Lustre la surface sans retirer les dépôts
	Gommes abrasives	Produit industriel servant à ôter des produits de corrosion ou à polir des métaux. Schleiffix [®] 240 et 120 (grains fins et moyens), fourni par le Centre des abrasifs.	240 : Lustre la surface et dépose des particules ; 120 : raye la surface.
	Carbonate de calcium dans éthanol	Abrasif de dureté intermédiaire employé principalement en métal pour retirer des sulfures d'argent.	Pas d'efficacité
	Coquille dans éthanol	Abrasif à base de coquille d'œuf utilisé en sculpture pour retirer des dépôts adhérents, parfois au-dessus de polychromies.	Pas d'efficacité
	Non-tissé de nylon chargé de particules abrasives ²²⁴	Employé pour la finition dans l'industrie métallique, fourni par 3M ou Weber métaux, grain « super fin » et « fin ».	Enlève les résidus incrustés, la corrosion et les dépôts sans ôter la patine et sans rayer la surface.

Nous allons donc utiliser conjointement les solvants et le non-tissé de nylon chargé d'abrasifs pour enlever les poussières superficielles puis les particules adhérentes.

²²² CREMONESI (P.), 2004, p.58.

²²³ Émulsion grasse : 10 ml d'eau + 4ml de Tween 20 + 90 ml de ligroïne.

²²⁴ Annexe 9. Fiches techniques, p. XXXIV.

- Mise en œuvre

Nettoyage au solvant

Suite aux essais de solubilisation des dépôts, nous avons choisi d'utiliser le mélange LE3 contenant 70% de ligroïne (solvant aliphatique contenant moins de 0,1% d'aromatiques) et 30% d'éthanol. Nous avons remplacé le solvant polaire par de l'isopropanol afin d'obtenir un produit moins volatile mais situé dans la même zone de solubilité²²⁵. Des compresses imprégnées de solvant sont déposées à la surface du métal pendant quelques minutes, puis un coton tige est passé sur la zone pour retirer le maximum de résidus. Une première couche peu adhérente est supprimée avec cette méthode mais de nombreuses particules restent inaccessibles dans les grains de corrosion, ce qui est illustré par la coupe stratigraphique dessinée ci-dessus.

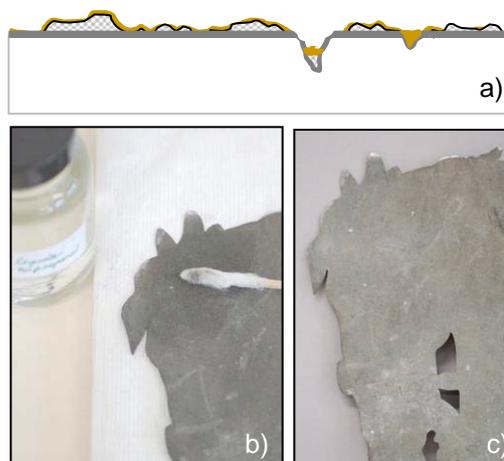


Fig.150 : Coupe stratigraphique après nettoyage au solvant (a) et détail de la silhouette pendant (b) et après (c) nettoyage au solvant.

Nettoyage mécanique

Nous avons donc complété ce premier nettoyage en effectuant un passage avec un non-tissé de nylon chargé de particules abrasives, de catégorie « super fin ». Le matériau a été appliqué sur l'ensemble de la surface dans un mouvement circulaire et les résidus de corrosion et de poussière ont été enlevés avec un coton imprégné du mélange de solvants polaire et apolaire. La couche de corrosion grise et relativement homogène a été conservée, même si elle se trouve parfois altérée sous certains dépôts (notamment de colle).

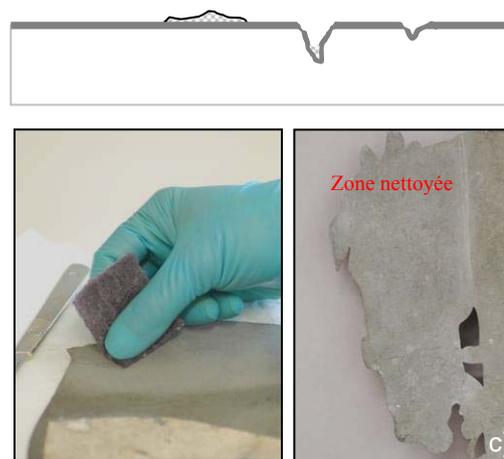


Fig.151 : Coupe stratigraphique après nettoyage mécanique (a) et détail de la silhouette pendant (b) et après (c) nettoyage mécanique.

²²⁵ Paramètres de solubilité du mélange LE3: Fd 79, Fp 7, Fh 14. L'éthanol a des paramètres de solubilité similaires à l'isopropanol (éthanol : Fd 36, Fp 18 Fh 46 et isopropanol : Fd 38, Fp 17 Fh 45).

Après nettoyage

La grande majorité des dépôts ont été enlevés et la surface légèrement lustrée est devenue moins perméable aux échanges extérieurs. Les traces de colle liées à la fabrication sont toujours visibles et la couleur bleu-gris du zinc patiné est à nouveau perceptible.



Fig. 152 : Détail de la silhouette des Quatre cavaliers avant et après nettoyage.

3. Nettoyage et consolidation du patin en bois

a. Problématique

Le patin en bois des Quatre cavaliers est recouvert de poussière, d'un dépôt blanc épais et hétérogène qui ne correspond pas à des micro-organismes²²⁶ et sa surface est marquée par de nombreuses auréoles d'eau. Il est fixé au zinc par une série de vis en alliage ferreux dont les têtes sont corrodées. Nous avons donc entrepris de dévisser un élément pour savoir s'il nous était possible de démonter l'ensemble et de traiter les parties bois-métal séparément. Il s'avère que les vis de maintien ont des filetages altérés et qu'il nous sera difficile de les repositionner selon le même système. Après concertation, nous avons décidé qu'il était plus risqué pour l'œuvre de démonter ces pièces et de trouver un système de refixage (par collage, cale, percement) que de les conserver en place et de nettoyer ce qui était apparent sans avoir accès à certaines parties (le pas de vis, la zone de bois en contact avec le talon). La silhouette n'a jamais été démontée, et nous jugeons son état de conservation relativement bon par rapport aux conditions climatiques que l'objet a subi. Le traitement s'effectuera donc sans dissociation des éléments.

²²⁶ Annexe 8. Rapports d'analyses, p.XXI.

b. Nettoyage

Les particules pulvérulentes sont retirées à l'aide d'un micro-aspirateur puis les dépôts adhérents et épais de couleur blanche sont enlevés au scalpel. Les résidus incrustés dans les fibres de bois ont ensuite été partiellement ôtés par gommage avec une éponge de latex. Cette méthode de nettoyage mécanique a été privilégiée pour éviter l'apport d'eau sur ce matériau en contact avec du fer et du zinc. Sa faible action abrasive a aussi permis de limiter l'augmentation des altérations liées aux anciennes attaques d'insectes xylophages.

Le patin retrouve ainsi une plus grande homogénéité et les inscriptions situées au revers, indiquant peut-être un ordre de passage dans un acte de *L'Épopée* et ayant une forte valeur historique et d'usage, ont été conservées.



Fig. 153 : Patin en bois en cours de nettoyage.

c. Consolidation

La partie inférieure droite du patin est fragilisée structurellement par des galeries et des trous d'envol résultant de l'action d'insectes. De petites fibres de bois se détachent du support, entraînant une perte progressive de matière. Nous avons donc décidé de consolider cette zone pour stopper la dégradation et faciliter la manipulation de l'objet qui repose sur ce patin lorsqu'il est placé en position verticale.

Nous avons suivi les conseils de Benoit Genn, restaurateur mobilier et enseignant à l'INP, en appliquant au pinceau une solution de Paraloïd® B72 à 5% en poids dans de l'acétate d'éthyle sur les parties dégradées. Après intervention, aucune brillance n'est apparue et le bois a retrouvé une meilleure cohésion.

C. Traitement de doublage

1. Rappel de l'étude scientifique

Les deux silhouettes des Trois cavaliers et des Quatre cavaliers nécessitent des traitements de doublage structurel des zones de bris du métal. Comme l'intervention se déroule par le revers des objets, elle ne pouvait intervenir qu'après consolidation de la couche picturale mate, refixage des papiers de l'avant et nettoyage des surfaces métalliques sur lesquelles nous allons coller.

Les conclusions de notre recherche scientifique nous ont amené à choisir un système de maintien constitué de trois niveaux : une fibre de verre imprégnée de Paraloid® B72 à 5% en poids dans de l'acétate d'éthyle disposée au-dessus du métal oxydé, puis des plots d'Araldite® 2011 servant d'adhésif de liaison entre la fibre et le renfort, et enfin un stratifié composé de trois couches de fibres de verre de 80g/m² et imprégné d'Araldite® 2020 à 50% en poids.

2. Interventions préalables au doublage

Les parties métalliques brisées ou déformées avaient été remises en forme pour retrouver les points de contact permettant l'assemblage des éléments. Cependant cette opération avait été menée préalablement au refixage et à la consolidation des matériaux organiques ce qui avait limité notre action au minimum. Nous avons donc entrepris de finir l'intervention en essayant de détordre méticuleusement les armatures qui créaient encore quelques tensions dans les objets. Elles ont été mises en contact contre des formes planes et rigides enveloppées de mousse puis ont été serrées avec des pinces pour réduire la présence de bosses et de creux. Il a ainsi été possible de replacer la majorité des tiges en alliage ferreux galvanisé dans leurs anciennes empreintes de brasure.

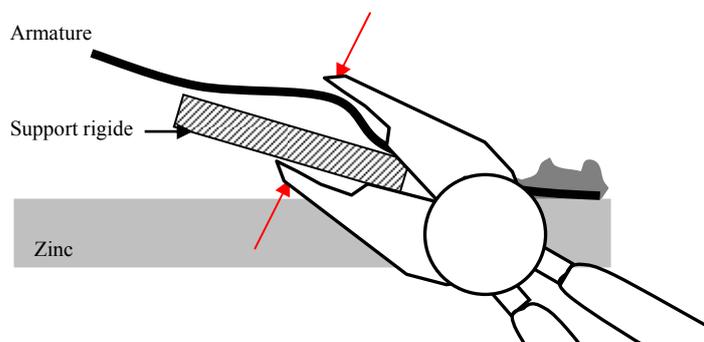


Fig. 154 : Schéma de l'emplacement de la pince sur l'armature pour réduire les déformations de la tige en alliage ferreux.

3. Mise en œuvre du doublage

Les surfaces métalliques situées près des zones de bris ont été préalablement dégraissées à l'acétone.

a. Pose de l'interface réversible

Un rectangle de fibre de verre de 49g/m² a été imprégné avec un pinceau souple d'une solution de Paraloïd® B72 à 10% en poids dans l'acétate d'éthyle. Après séchage, le tissu a été découpé sur mesure à la forme des endroits qu'il fallait doubler par un renfort, puis les pièces ont été mises en place sur le zinc. Une solution de Paraloïd B72® à 5% en poids dans l'acétate d'éthyle a ensuite été déposée au pinceau par-dessus la fibre afin de la faire adhérer sur le zinc. Les surplus d'adhésifs ont été nettoyés à l'aide d'un coton imbibé d'acétone puis nous avons attendu 48 heures que le solvant s'évapore avant de continuer le doublage.

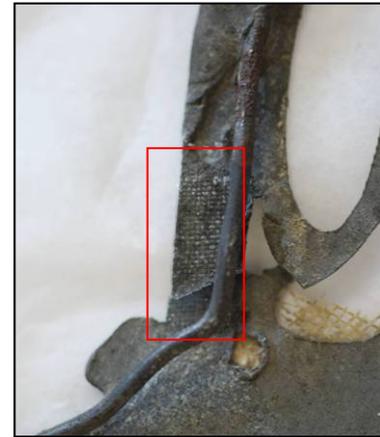


Fig. 155 : Doublage des zones de bris, revers des quatre cavaliers : la fibre de verre imprégnée de Paraloïd® B72 est collée sur le zinc.

b. Pose du renfort

Des bandes de matériau composite ont été préparées selon la technique employée dans la partie scientifique. Après polymérisation, les renforts ont été découpés avec de petits ciseaux en suivant méticuleusement les contours des figures de zinc pour ne pas être visible lors de la projection lumineuse des œuvres. Lorsque les zones de bris ne sont plus jointives, le doublage permet d'assurer le maintien des éléments entre eux et joue alors un rôle de continuité dans la forme de l'objet.

Les dimensions des stratifiés sont donc déterminées par celles des zones à doubler mais sont aussi estimées en fonction des sollicitations (poids et tensions résiduelles) se trouvant à ces emplacements.

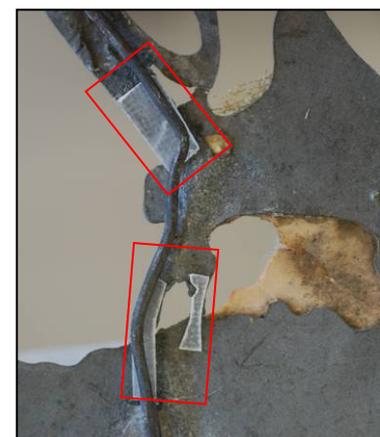


Fig. 156: Doublage des zones de bris, revers des quatre cavaliers : Les renforts en stratifiés sont ajustés aux zones de bris avant collage.

Une fois que toutes les pièces ont été découpées, nous avons entrepris de les coller sur l'interface réversible. Des plots d'Araldite® 2011 ont été déposés sur la fibre de verre imprégnée de résine acrylique puis les renforts ont été déposés par-dessus et maintenus par des serre-joints pendant 48 heures. Lorsque cette technique de mise sous presse était inadaptée, les stratifiés ont été attachés avec des liens souples en téflon. Les surplus de résines ont été retirés à l'aide d'un coton sec avant polymérisation puis un coton légèrement imbibé d'acétone a été passé sur ces zones. L'intervention s'est déroulée en plusieurs étapes ce qui nous a permis de retrouver progressivement la forme de la silhouette et de résorber les tensions au fur et à mesure.

Après traitement, l'œuvre peut être manipulée sans risques pour les matériaux. Le renfort semble jouer son rôle structurel en répartissant les tensions et en limitant les sollicitations en flexion. Certains ressauts n'ont pu être atténués (comme au niveau des bris du porte manteau du soldat A) mais la majorité des fragments a retrouvé son emplacement d'origine.

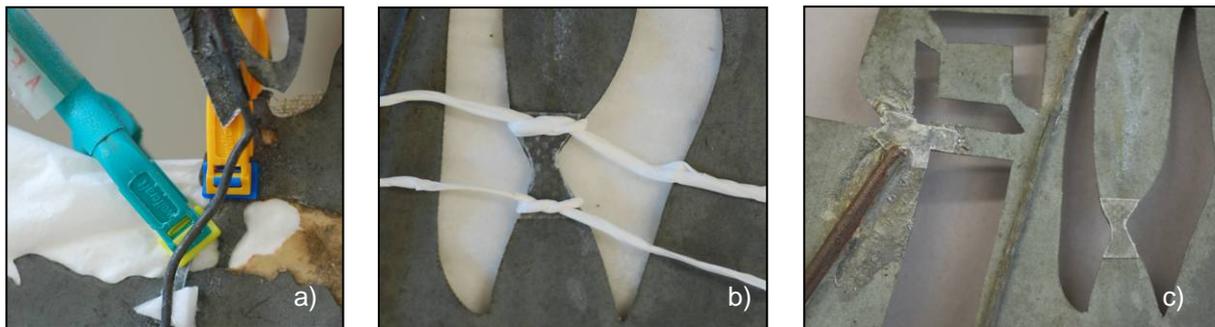


Fig. 157 : Doublage structurel des feuilles de zinc brisées :

- a) et b) Maintien du stratifié en cours de collage à l'aide de serre-joints ou de fils de téflon.
- c) Détail d'une zone après polymérisation de la résine et retrait des éléments de serrage.

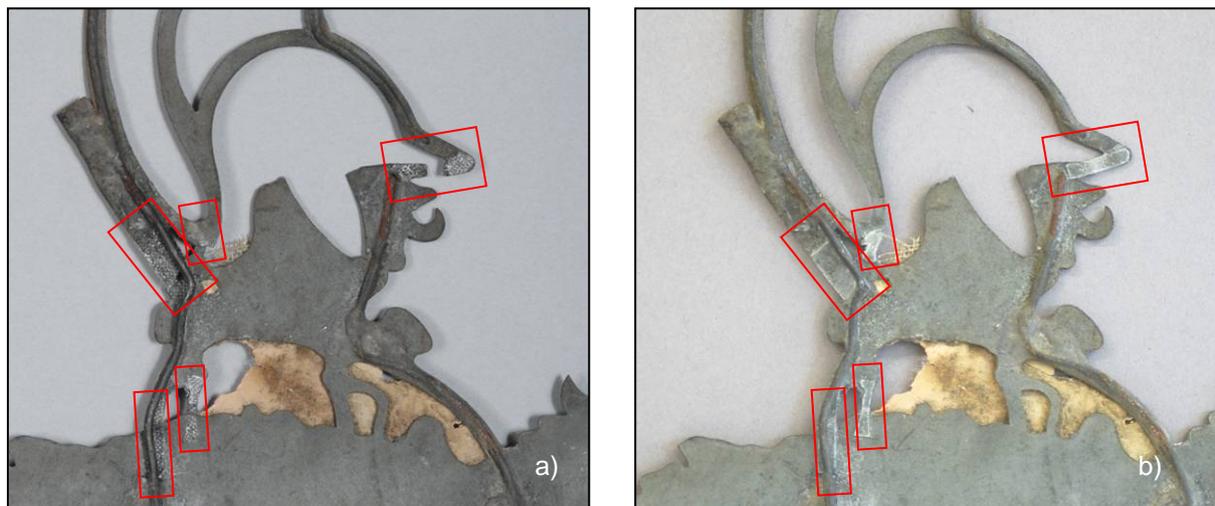


Fig.158: Doublage structurel des feuilles de zinc brisées, détail du soldat D de la silhouette des Quatre cavaliers :

- a) Pose de l'interface réversible en fibre de verre imprégnée de Paraloid® B72.
- b) Après collage à l'Araldite® 2011 des renforts en matériau composite.

D. Traitements de réintégration

1. Objectifs de restauration

La silhouette du Guerrier ne présente aucune perte d'élément métallique ce qui rend possible sa projection lumineuse puisque la valeur esthétique de la figure est conservée. Nous pensons aussi que la disparition de certains fragments de papiers ne gêne pas la lisibilité de l'œuvre et qu'une réintégration sur le talon masquerait des traces de fabrication qu'il semble être intéressant de présenter au public. Les traitements effectués ont permis d'assurer la conservation de l'objet et nous ne jugeons pas nécessaire de réaliser des interventions de restauration.

La silhouette des Trois cavaliers a retrouvé sa valeur esthétique après remise en forme et doublage structurel des étendards. Les lacunes de couche picturale ou de papier ne seront pas comblées ou retouchées puisqu'elles ne nuisent pas à l'unité de l'œuvre. En revanche les matériaux composites servant de renfort seront réintégrés afin de faire reculer la présence de ces ajouts par rapport à la surface de l'œuvre.

La silhouette des Quatre cavaliers est plus fortement lacunaire que les deux autres plaques d'ombres.

- *Lacunes de métal.* Il manque la queue du cheval du premier soldat, le casque du soldat C et les jugulaires des personnages C et D (représentés en rouge sur la figure suivante). Comme cette œuvre est unique, il ne nous est pas possible de réintégrer la queue du cheval, qui déséquilibre pourtant l'œuvre, sans créer de « faux historique »²²⁷. Nous avons donc décidé de combler les autres parties manquantes en prenant modèle sur les éléments répétitifs de l'objet. Cette intervention est jugée indispensable à la compréhension de l'œuvre sur laquelle se suivent quatre chevaux et quatre personnages alors que nous n'en percevons que trois. Il s'agit aussi de la tête d'une figure humaine, partie fondamentale, dont la silhouette peut difficilement se dispenser.
- *Lacunes de papier.* Les lacunes de papier sont tellement présentes qu'elles font apparaître de nouvelles formes et de nouvelles couleurs sur l'objet. Aux endroits de manque, les découpes de zinc qui devraient être uniquement visibles par le revers sont aussi visibles ponctuellement par l'avant, en fonction des aléas des altérations. Ces

²²⁷ Pour toutes les questions éthiques sur la réintégration, voir l'édition traduite : BRANDI (C.), éd. 2001.

zones deviennent alors des figures qui s'insèrent dans le tissu figuratif de l'œuvre en altérant sa lecture. Ces considérations issues des théories de Cesare Brandi sont particulièrement adaptées à cet objet : un grand nombre de personnes ayant vu l'œuvre avant restauration n'ont pas compris le fonctionnement de l'objet et ont eu des difficultés à percevoir l'avert du revers. Il est donc nécessaire de faire reculer la présence de ces formes pour pouvoir retrouver la lecture des fragments originaux et redonner un sens à la silhouette. Les papiers ont aussi un rôle fonctionnel que nous pourrions apprécier lors des projections de lumière.

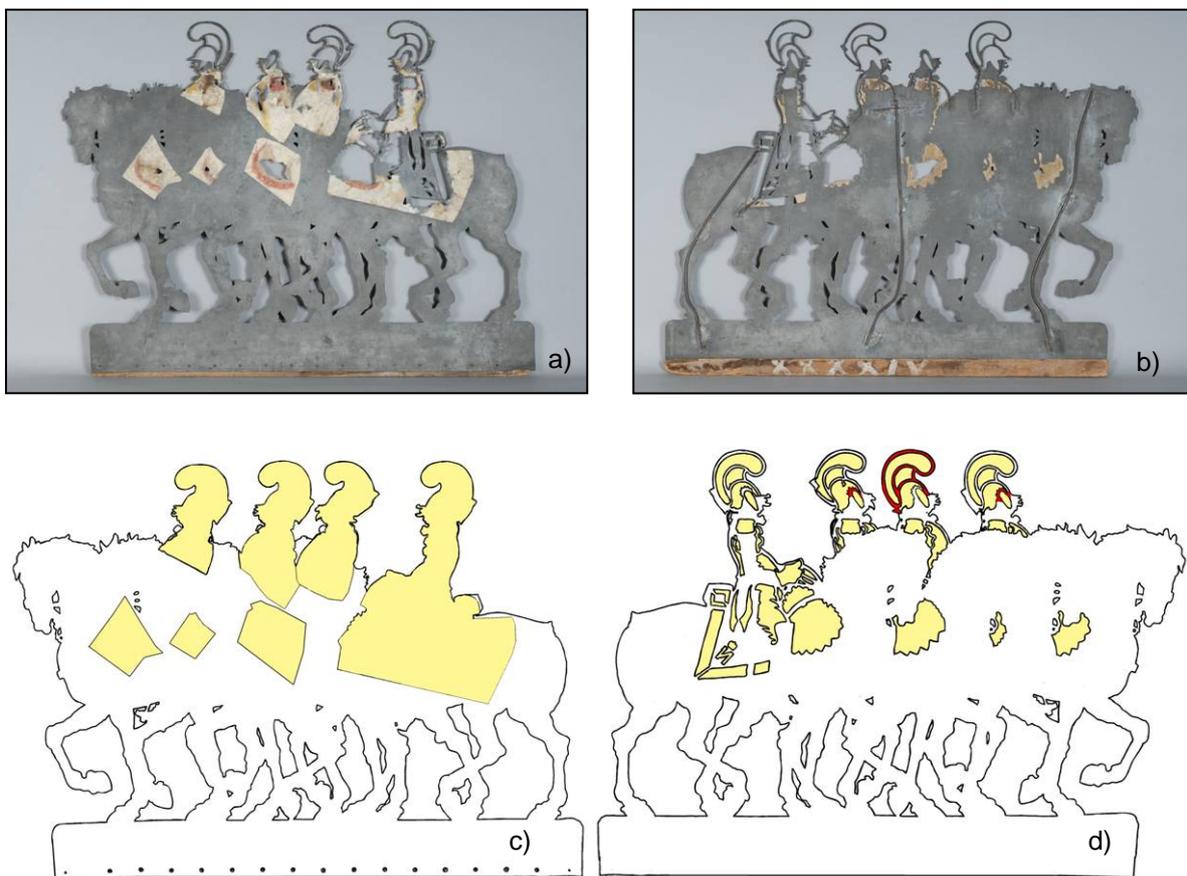


Fig. 159 : Comparaison de l'état actuel de la silhouette et hypothèse de l'état dans lequel se trouvait l'objet lors de sa période de création :

- a) et b) Silhouette des Quatre cavaliers (avers et revers) après conservation et avant restauration.
- c) et d) Schéma de la silhouette des Quatre cavaliers telle qu'elle devait être visible au Chat Noir (en jaune les papiers et en rouge les métaux manquants).

2. Réintégration des métaux

a. Choix de la méthode et du matériau de comblement

Nous avons donc décidé de réintégrer trois éléments métalliques manquants : deux jugulaires de casque et la tête d'un personnage dont les formes sont conditionnées par celle des parties toujours présentes sur la silhouette. Nous avons tout d'abord imaginé de fabriquer des moules sur l'objet afin de reproduire les pièces le plus fidèlement possible mais cette technique est peu adaptée. Il paraît difficile de prendre l'empreinte, d'ouvrir le moule sur la feuille de zinc qui mesure moins d'un millimètre d'épaisseur et d'y placer la résine sans créer de bulles. De plus les lignes de casses des zones de lacunes ne correspondent pas exactement aux éléments originaux qui se ressemblent mais ne sont pas identiques, ce qui demande une légère adaptation de la forme.

Une autre technique s'est donc imposée à nous : celle déjà employée au Chat Noir, consistant à découper à la scie une pièce dans un matériau rigide.

- *Zinc*. Nous avons proscrit l'utilisation de zinc comme produit de comblement car le métal a une composition différente de celui de l'œuvre et pourrait générer des phénomènes de corrosion. Lorsque le même matériau est utilisé, il convient aussi de le marquer pour pouvoir identifier l'ajout de l'original ce qui est impossible sur cet objet dont toutes les faces sont visibles.
- *Stratifié*. Le composite servant à maintenir les zones de bris aurait pu être utilisé mais sa souplesse est un inconvénient sur une grande surface.
- *PMMA*²²⁸. Nous avons finalement choisi une feuille de PMMA (Plexiglas®) qui est à la fois rigide, stable dans le temps et qui n'interagit pas avec les matériaux de la silhouette. Le comblement sera aussi facilement discernable de l'objet original.

b. Choix du matériau de retouche

Les renforts et les réintégrations des métaux, dont l'aspect est satiné, transparent et blanc vont être retouchés pour rester en retrait par rapport au fond gris du métal patiné. Il faut donc sélectionner un produit qui réponde à quelques critères : stabilité et innocuité vis à vis du substrat, opacité pour retrouver la lecture du contour de l'objet lors de la projection et adhérence sur des matériaux plastiques.

²²⁸ Polyméthacrylate de méthyle : résistant à la rupture, aux chocs mécaniques et stable dans le temps. Produit par Degussa et fourni par Weber métaux et plastiques.

Deux plaquettes de PMMA et de stratifié ont été découpées puis recouvertes de quatre rectangles de peinture. Le mode d'application de la couche picturale a été déterminé par celui que nous comptons utiliser pour la mise en œuvre finale. Ainsi pour les essais sur Plexiglas[®] nous avons projeté les peintures gris-bleutées à l'aérographe alors qu'elles ont été déposées au putois et reprises à l'éponge sur le matériau de renfort. Nous avons voulu tester quatre produits couramment utilisés dans les ateliers d'arts du feu, de peinture ou de sculpture :

- *Acrylique Liquitex[®]* dans eau,
- *Gamblin^{®229}* dans cyclohexane/ white spirit D40 (70/30),
- *Maimeri[®] cétonique* dans acétate d'éthyle/diacétone alcool (70/30),
- *Pigments dans Paraloid[®] B72* à 3% dans acétate d'éthyle/diacétone alcool (70/30).

Après séchages des films, les plaquettes ont été scotchées sur une fenêtre pour regarder si la lumière transmise pouvait les traverser. Il s'avère que tous les échantillons sont opaques ce qui permettra de donner l'illusion d'un matériau non transparent tel que le zinc. Nous avons ensuite quadrillé les revêtements à l'aide d'une lame de scalpel sur lesquels nous avons placé un scotch. Le film adhésif est arraché et nous observons les résidus de matière picturale qui se sont détachés du support. Les acryliques de marque Liquitex[®], beaucoup utilisées en restauration d'arts du feu, dont la stabilité à la lumière et à l'humidité est bonne²³⁰, donnent les meilleurs résultats d'adhérence. Nous allons donc les utiliser pour retoucher les renforts et les complements.

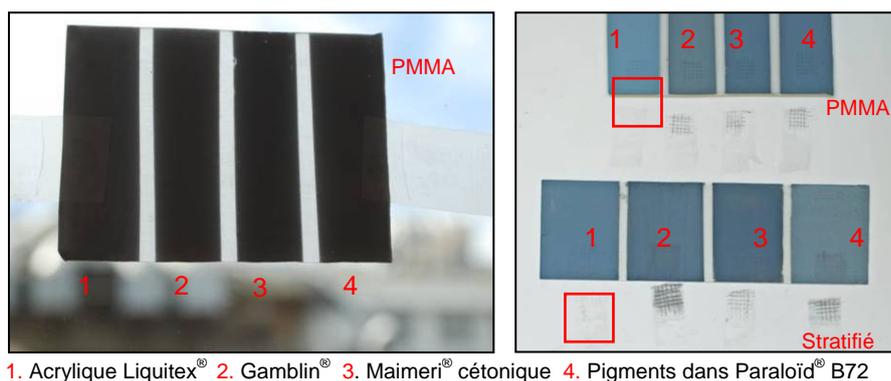


Fig. 160 : Essais de retouche sur matériaux plastique :

- Test d'opacité des peintures sur PMMA.
- Test d'adhérence des peintures sur PMMA et stratifié.

²²⁹ Les Gamblin[®] sont des peintures solubles dans les hydrocarbures et comportent un liant urée aldéhyde (Laropal[®] A-81).

²³⁰ WHITMORE (P.), COLALUCA (V.), p. 60 et SODONA (N.), RIOUX (J.P.), p. 203. Ces études attribuent une très bonne stabilité photochimique au liant acrylique Liquitex[®] composé d'un copolymère de méthacrylate de méthyle (MMA) et d'acrylate d'éthyle (EA).

c. Choix du niveau de retouche

Deux niveaux de réintégration colorée peuvent être envisagés :

- Une réintégration non débordante sur la surface de l'œuvre originale avec un ton de fond qui ne reproduit pas toutes les aspérités et les détails de la matière. Ce ton peut être proche de l'objet ou se situer en-dessous ce qui permet de discerner la lacune de loin comme de près. Ce mode de réintégration est parfois suffisant lorsque l'objet est uniforme mais comme le revers est ponctué de taches de corrosion blanche et de lignes plus foncées liées aux armatures en relief, le résultat peut être très voyant et ajouter encore à l'hétérogénéité de l'œuvre.
- Une réintégration non débordante sur la surface de l'œuvre originale retranscrivant les effets de matière de l'objet. La retouche est alors moins visible mais elle sera de toute façon perceptible puisque le comblement est plat et régulier, sans armatures, ce qui contraste légèrement avec les autres casques de cavaliers. En accord avec la responsable des œuvres, nous choisissons cette intervention qui reste respectueuse de l'objet et permet de retrouver un niveau de lecture satisfaisant des formes.

Les renforts structuraux et les comblements en PMMA seront ainsi peu visibles de loin mais discernables de près, par le relief qu'ils créent sur l'objet pour les premiers, et par la planéité de la forme pour les seconds.

d. Comblement et retouche des réintégrations

Le dessin de la forme du casque manquant a été repris sur la tête du soldat D dont les courbes sont harmonieuses et l'une des extrémités de la réintégration a été copiée sur celle du soldat A pour correspondre aux lignes de casse de l'œuvre originale. Le modèle a ensuite été reporté sur une plaque de PMMA de 10/10^e de mm d'épaisseur puis le comblement a été découpé à l'aide d'une scie Bocfil, alliant précision et régularité.

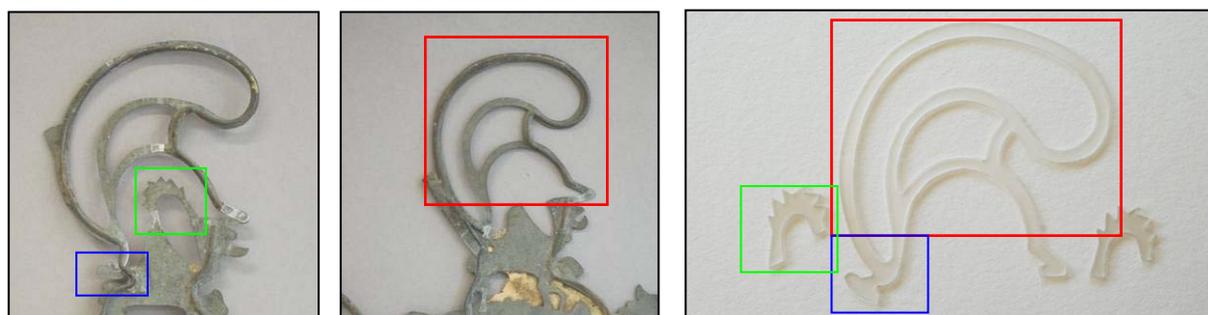


Fig. 161 : Découpe des comblements : leur forme est reprise sur deux autres casques de la même silhouette.

Après découpe, le Plexiglas® est poncé pour diminuer légèrement son épaisseur et rendre sa surface rugueuse, ce qui augmentera l'accroche de la retouche. Nous l'avons gardé volontairement plus épais que le support en zinc car ces parties sont situées aux extrémités, elles sont donc plus fragiles mécaniquement, et le zinc paraît plus épais puisqu'il est renforcé par des armatures tout le long de la courbe extérieure du casque.

Un premier ton de fond à l'acrylique a été appliqué en plusieurs couches à l'aérographe puis des retouches ponctuelles à l'éponge sont venues atténuer l'homogénéité de la teinte. Une fois l'aspect souhaité obtenu, les comblements ont été fixés sur l'œuvre avec des stratifiés, comme nous l'avons fait pour les zones de bris, puis tous les composites ont été réintégrés avec de l'acrylique déposé au pinceau et à l'éponge.

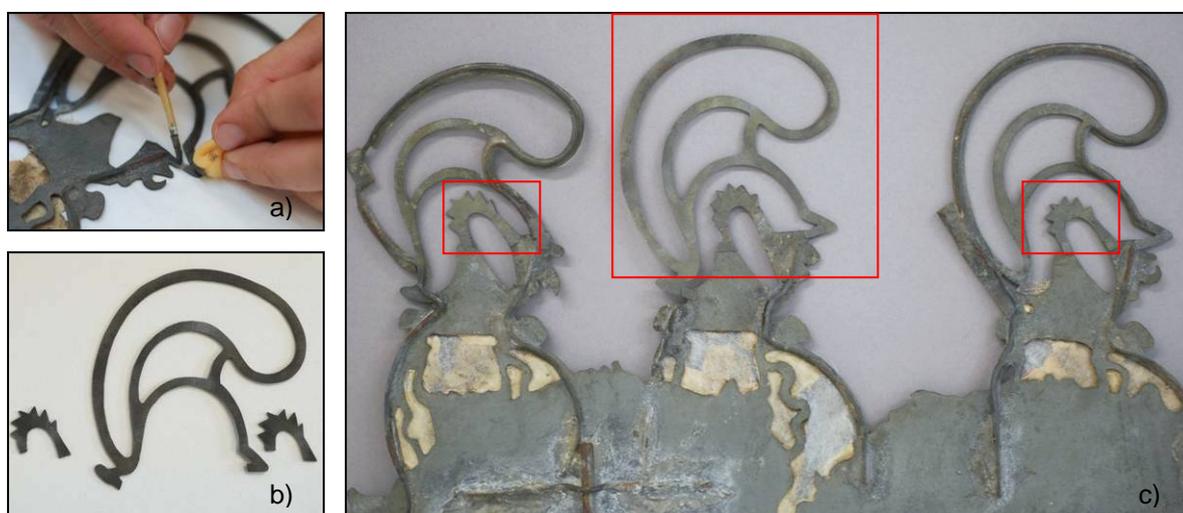


Fig. 162 : Réintégration des parties métalliques de la silhouette des Quatre cavaliers:

- a) Retouche à l'acrylique Liquitex® d'un élément de renfort en stratifié.
- b) Après retouche du casque du soldat C.
- c) Après réintégration des éléments en PMMA.

3. Réintégration des papiers

a. Choix du matériau de comblement

Le matériau de comblement servant de support de réintégration sera placé sur des fragments de papier situés au-dessus de zones ajourées dans le zinc mais devra aussi être positionné sur les parties métalliques du harnachement et des casques.

En arts graphiques, un papier japonais de grammage moyen remplit très souvent la fonction de matériau de comblement. Nous avons pourtant souhaité limiter les apports de fibres hygroscopiques sur le zinc, ce qui nous a conduit à tester des tissus synthétiques présentant

une bonne inertie vis-à-vis du métal de support. Sept matériaux utilisés pour le doublage ou le comblement en arts graphiques et en peinture²³¹ ont été observés et comparés à un papier japonais selon certains critères qui nous paraissaient essentiels en vue d'une réintégration sur l'œuvre. Les tissus ont été teintés à l'acrylique diluée²³² puis ils ont été tendus au-dessus d'un carton préalablement découpé pour pouvoir laisser passer la lumière au travers.

Matériaux	Possibilité de mise en teinte	Aspect de surface en lumière directe et en lumière transmise	Transparence et opacité
1. Hollytex® <i>Non-tissé ployester (17g/m²)</i>	non	Brillant Fibres hétérogènes	Très grande transparence
2. Bondina® <i>Non-tissé ployester (30g/m²)</i>	non	Nacré Aspect strié	Translucide vers opaque
3. Bondina® <i>Non-tissé ployester (100g/m²)</i>	faible	Nacré Aspect strié par la teinte	Translucide vers opaque
4. Reemay® <i>Non-tissé ployester (17g/m²)</i>	faible	Brillant Fibres hétérogènes	Très grande transparence
5. Reemay® <i>Non-tissé ployester (30g/m²)</i>	faible	Brillant Fibres hétérogènes	Très grande transparence
6. Cokon® <i>Non-tissé polyester/viscose/cellulose (35g/m²)</i>	bonne	Mat et cotonneux Aspect homogène	Translucide vers opaque
7. Papier japonais, RK17 <i>Fibres de mûrier (19 g/m²)</i>	bonne	Mat Aspect homogène	Translucide



Fig. 163 : Sélection du matériau de comblement des papiers sur zinc. Observation de matériaux synthétiques teintés en lumière transmise et directe.

²³¹ Les tissus testés sont fournis par Stouls.

²³² Acrylique Liquitex®, le choix du produit est expliqué par la suite.

L'aspect de l'ensemble des matériaux synthétique ne semble pas convenir esthétiquement comme support de réintégration pour la silhouette des Quatre cavaliers²³³. Nous avons donc décidé d'utiliser un papier japonais de fibres de mûrier²³⁴, après avoir pris connaissance des autres tissus en fibres naturelles à disposition à l'INP. Il présente certains avantages et quelques inconvénients qui nous ont amené à sélectionner une mise en œuvre particulière, spécifique à l'objet.

Avantages du papier japonais :

- *Fibres longues* : Le papier est constitué de fibres particulièrement longues ce qui permettra de le mettre en forme assez facilement sur le support de zinc dont les différences de niveaux peuvent atteindre cinq millimètres sur une même zone de réintégration.
- *Aspect homogène de l'épaisseur sans vergeurs* : Les papiers vergés que nous avons observés à l'INP présentent une surface marquée par le tamis de fabrication et des vergeurs qui ne sont pas souhaitables de voir apparaître en lumière directe ou transmise. Bien qu'ils soient de la même opacité que le papier des Quatre cavaliers, les fibres de mûrier sont plus homogènes et leur densité permet d'obtenir une certaine opacité que nous avons jugée acceptable.
- *Peu de déformations dimensionnelles* : Nous avons tout de même essayé de teinter un papier vergé mais la surface des comblements étant très importante, le matériau s'est déformé après détrempe. Le papier japonais se déforme moins, ce qui facilitera sa mise en œuvre.
- *Mise en teinte aisée* : Les fibres de mûrier se sont très facilement teintées à l'acrylique, ce qui n'était pas le cas pour la majorité des tissus synthétiques.

Inconvénients du papier japonais :

- *Matériau hygroscopique* : L'introduction de larges feuilles de fibres naturelles est un inconvénient majeur pour le support qui se corrode au contact de l'humidité. Cette donnée sera prise en compte lors de la mise en œuvre du matériau sur lequel nous

²³³ Après consultation des responsables des ateliers arts graphiques et textile de l'INP, aucune teinture stable à leur connaissance n'a encore été testée sur ces produits. Ne pouvant les mettre en teinte, nous avons décidé de les écarter de notre choix.

²³⁴ Papier japonais RK17, 19g/m². Il est fourni par Atlantis dans la gamme Nao.

comptons apposer un film barrière. Nous pensons aussi que le contrôle du climat environnant est un facteur déterminant pour la future stabilité de l'objet²³⁵.

- *Transparence* : Nous avons effectué un test de collage d'une feuille sur un morceau de zinc et le papier est apparu trop transparent. Nous allons donc le doubler.

Mise en œuvre spécifique :

- *Test d'un film barrière papier-zinc* : Afin de créer une interface qui limite les échanges hydriques entre le papier de réintégration et le métal, nous avons effectué un test sur papier japonais. Une résine acrylique teintée avec des pigments bleus, le Paraloid® B67²³⁶ à 5% en poids dans du cyclohexane, a été projeté à l'aérographe sur une des faces du matériau. Il est resté souple car le produit ne semble pas avoir traversé toute l'épaisseur des fibres. Nous avons aussi collé un papier japonais à la Klucel® G dans de l'éthanol sur l'échantillon recouvert du film barrière pour vérifier que la résine acrylique ne migre pas sur le papier de l'œuvre après doublage. Les pigments ne se sont pas transférés ce qui indique que l'acrylique ne sera pas sensible au solvant de doublage, restera sur l'interface souhaitée et ne viendra pas imprégner irréversiblement les fibres de l'œuvre. Dans le temps qui nous était imparti, nous n'avons pas pu faire de vieillissement accéléré pour vérifier l'action effective du traitement préventif. Nous pensons cependant qu'il limitera tout de même le contact direct du papier sur le zinc.

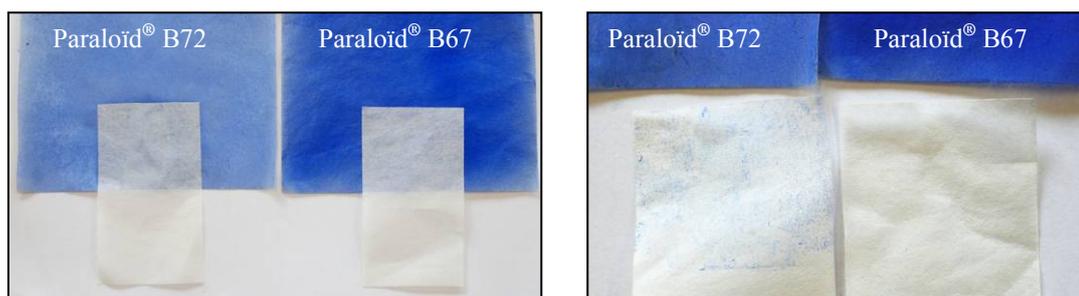


Fig. 164 : Simulation de la migration du film barrière dans le papier de l'œuvre.

- Deux rectangles de papier sont collés à la Klucel® G sur des films de Paraloid® B72 et B67 ;
- Les pigments contenus dans le Paraloid® B72 ont migré sur le papier japonais non teinté.

²³⁵ Nous avons vu que les conditions climatiques des réserves Reibel sont inadaptées pour l'ensemble des matériaux. Après discussion avec la responsable des œuvres il a été prévu de placer les silhouettes restaurées dans une salle de l'ancien musée Sully dont l'environnement est contrôlé.

²³⁶ Annexe 9. Fiches techniques, p. XXXV. Cette résine a été choisie pour son insolubilité dans les alcools. Comme nous allons doubler préalablement certains papiers de l'œuvre avec de la Klucel® G dans de l'éthanol, nous ne souhaitons pas solubiliser le film d'acrylique qui est considéré comme irréversible pour le papier.

- *Tests d'opacification* : L'opacité du papier japonais est accrue par la superposition de deux feuilles. Le comblement gardera cependant une certaine transparence car il faudrait trois couches pour obtenir une réelle opacité mais le matériau serait alors deux fois plus épais que le papier de l'objet. Les feuilles de grammage supérieures sont aussi vergées. Nous nous limiterons donc à cette double feuille et nous introduirons une certaine quantité d'acrylique blanche pour fermer les fibres à la lumière.

b. Choix du niveau de retouche

Les papiers sont forgement dégradés par des micro-organismes qui ont modifié leur couleur et leur homogénéité : ils présentent désormais des teintes claires, des taches blanches et des parties brunes presque noires. Le matériau est aussi très lacunaire ce qui implique l'ajout de comblements sur de grandes surfaces. Pour toutes ces raisons, nous pensons qu'une réintégration illusionniste, consistant à reproduire la présence de micro-organismes et de zones de transitions colorées aléatoires, serait difficile à mettre en œuvre dans l'état de nos compétences techniques en arts graphiques et supposerait une grande part d'interprétation.

Après discussion avec Marie-Christine Enshaian, responsable de l'atelier arts graphiques de l'INP et avec la responsable des objets, nous avons décidé de choisir une réintégration de type archéologique. Elle consiste à sélectionner une teinte unique résultant de la moyenne des couleurs des papiers de l'œuvre qui sera appliquée à l'ensemble des matériaux de comblement. La réintégration sera donc visible de près comme de loin.

Discussion :

Sur la même silhouette les traitements colorés seront donc abordés différemment en fonction du matériau, de sa fonction dans l'objet et de son état de conservation.

- Les renforts ne doivent pas être trop visibles car ils pourraient introduire une nouvelle forme qui n'a jamais été présente sur l'œuvre ce qui nous a conduit à opérer une retouche proche de l'état de surface du zinc.
- De même les éléments en PMMA sont liés à la structure de l'objet et au support, ils seront situés sur le revers, face qui a été déterminée pour la présentation. Nous avons donc choisi de les retoucher de façon similaire aux renforts en évitant d'introduire une nouvelle teinte qui pourrait être préjudiciable à la compréhension de l'objet.

- En revanche, les comblements de papier n'ont pas le même rôle que ceux de structure métallique. Ils serviront de fond neutre qui devra mettre en avant les fragments encore présents.

c. Mise en teinte du comblement et réintégration

Les feuilles de papier japonais ont été teintées avec de l'acrylique Liquitex[®] diluée. Nous avons évité d'employer de l'aquarelle qui reste soluble à l'eau après séchage et pourrait éventuellement dégorger dans le papier d'œuvre en cas d'humidité relative élevée. Pour améliorer l'opacité du comblement, deux morceaux de papier vont être encollés ensemble ce qui nous a permis de choisir deux couleurs différentes en fonction de l'état de conservation de l'objet, l'une claire et un peu froide qui sera en contact avec l'avant, et l'autre plus chaude qui sera visible depuis le revers. La peinture a été appliquée avec un pinceau large et souple sur les feuilles disposées au-dessus d'un support lisse. Une fois sèches, elles ont été encollées à l'aide de méthylcellulose : cela permet d'obtenir une bonne adhésion entre les deux pièces et son solvant aqueux évite la désolidarisation des feuilles lors du collage à l'éthanol. Enfin, après séchage, le film barrière de Paraloid[®] B67 a été déposé à l'aérographe.

Les comblements qui se trouveront sur le harnachement et les casques seront collés directement sur le métal mais ceux qui doivent être réintégrés dans les parties lacunaires centrales devront être maintenus par le revers. Nous avons donc doublé les papiers qui doivent recevoir les comblements par un papier japonais de faible grammage, au travers duquel nous avons appliqué au pinceau de la Klucel[®]G à 5% dans l'éthanol.



Fig. 165 : Doublage au papier japonais des parties lacunaires. Revers de la silhouette des Quatre cavaliers.

Pendant toute la durée du traitement l'œuvre a été disposée sur une table lumineuse ce qui a permis de contrôler la mise en place des réintégrations. Les opérations ont été effectuées avec l'aide précieuse de deux élèves de la section Livres et Arts graphiques qui nous ont apporté leurs compétences techniques. Les formes des lacunes ont été reportées sur des Mélinex[®], puis les feuilles de papier japonais encollées ont été découpées selon ces contours. Les bords du papier ont ensuite été légèrement humidifiés puis défibrés avec une pince ou un scalpel, ce qui assurera une meilleure transition entre la réintégration et le papier original. Les éléments étaient alors prêts à être placés sur l'œuvre : ils ont été encollés avec de la Klucel[®]G à 5%

dans l'éthanol, appliqués sur les surfaces métalliques ou au-dessus des doublages en RK1 et mis à sécher sous des poids adaptés à l'emplacement de la réintégration. Une fois les comblements mis en place nous avons décidé de consolider certains papiers de l'œuvre qui restaient fragiles en collant par le revers des fines bandes de RK1 selon les méthodes déjà utilisées pour le doublage.

L'opération de réintégration s'est avérée longue et complexe en raison des déformations des métaux qui ont rendu la découpe et la pose des comblements difficile. Après intervention l'œuvre a retrouvé sa fonction esthétique : elle pourra être projetée sur le drap d'un castelet et les papiers recréeront un effet de matière, comme cela devait être visible au Chat Noir. Dans le cadre d'une présentation muséale sur un socle, la lecture de l'avvers est intéressante d'un point de vue technique mais reste peu lisible. Il est donc préférable de montrer le revers qui permet de comprendre les découpes métalliques et de percevoir la présence des papiers.

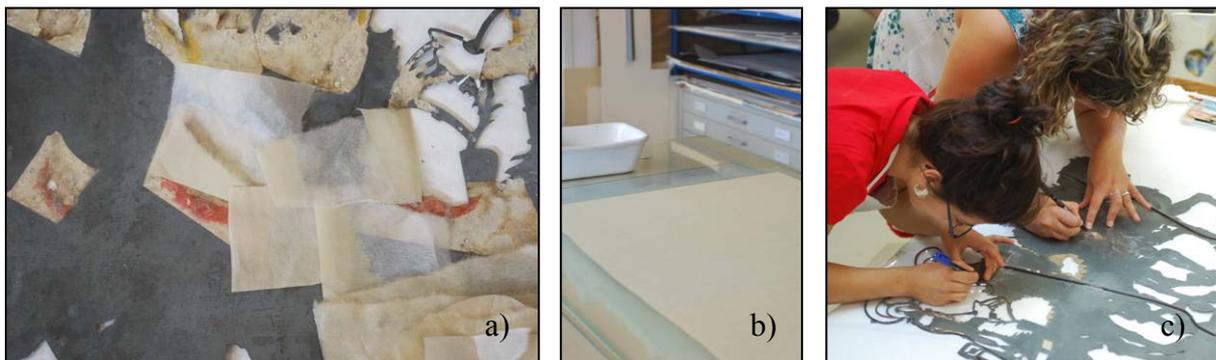


Fig. 166 : Réintégration des papiers des Quatre cavaliers :

- a) Recherche colorée
- b) Préparation d'une des feuilles de papier japonais teinté à l'acrylique
- c) Report des lacunes de papier sur Mélinex[®] par Marie et Annaé, élèves de deuxième année à l'INP.



Fig. 167 : Après comblement des papiers : l'avvers est plus difficilement lisible que le revers qui est choisi comme face pour l'exposition muséale.

E. Traitement du textile

1. Problématique et objectif

Le fragment de toile de coton qui se trouvait sur l'avant de la silhouette des Quatre cavaliers avait été retiré de son support pour pouvoir intervenir sur l'ensemble des matériaux qui se trouvaient en-dessous. Étant donné sa fragilité une opération de conservation du textile consistant à doubler le matériau sur toute sa surface s'est aussi avérée indispensable.

Après consultation de l'atelier textile de l'INP et des travaux effectués par les élèves sur la consolidation ou le contre-collage²³⁷, nous avons décidé d'utiliser une méthode déjà expérimentée utilisant une technique par collage et par réactivation de solvant²³⁸. Au lieu de placer l'adhésif directement sur les fibres, ce qui est irréversible pour le matériau, la colle est appliquée sur le doublage qui sèche à l'air libre avant d'être déposé sur le tissu à traiter. Il est ensuite recouvert d'une membrane de Goretex[®] sur laquelle est placé un buvard imprégné de solvant et mis sous poids. Les vapeurs traversent la membrane et viennent partiellement solubiliser la colle du support pour permettre l'adhésion du fragment original sur le matériau de doublage. Les feuilles de Mélinex[®] siliconé ferment le dispositif et évitent une évaporation trop rapide du solvant.

Une fois le fragment doublé et sécurisé, nous pourrions procéder d'une façon similaire pour le replacer sur son support métallique.

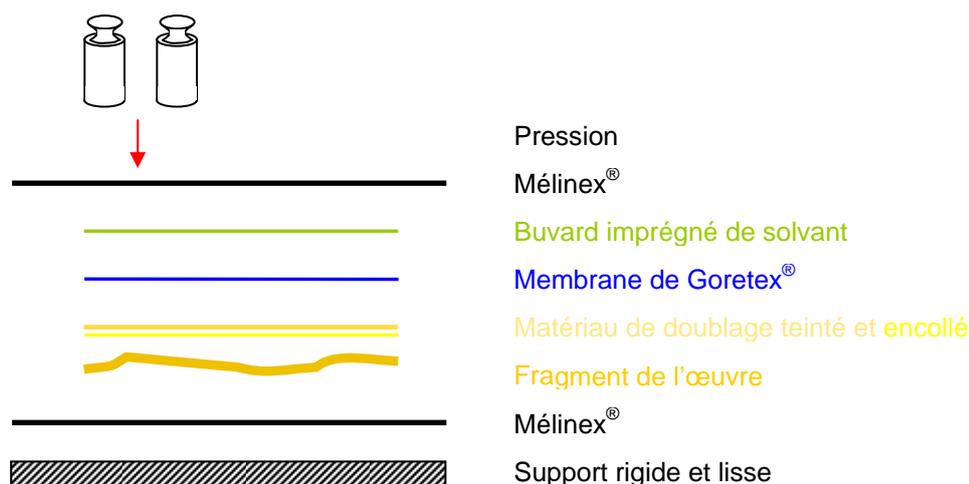


Fig. 168 : Dispositif de doublage par collage et réactivation de solvant.

²³⁷ DAVID (A.), 2007, p. 95. Voir l'étude scientifique sur le contre-collage de textile.

²³⁸ Le collage est la seule technique possible de doublage du fragment. Le tissu est en effet trop fragile et trop fin pour être cousu. Nous utilisons de plus la même méthode que celle utilisée lors de la fabrication de l'œuvre.

2. Matériaux disponibles et tests préalables

- Matériau de doublage :

Le support sera appliqué par le revers du fragment et servira à renforcer les zones de faiblesse du matériau, soutiendra les lacunes et sécurisera les bords effilochés pour éviter que l'altération ne se propage. Une fois mis en place, il viendra se coller sur l'avvers de l'œuvre et restera donc visible. Pour toutes ces raisons le choix du support de doublage réside dans plusieurs critères²³⁹:

- *Souplesse* du renfort qui doit introduire le minimum de tensions.
- *Compatibilité et inertie des matériaux entre eux.*
- *Discrétion visuelle.* Le doublage sera visible au travers du fragment ; il faut donc qu'il soit de faible épaisseur et que l'on puisse le teinter.

Le tissu de l'œuvre est constitué de 12 fils au cm. Il aurait été souhaitable de trouver un matériau de doublage présentant la même configuration de chaîne et de trame pour qu'il soit le moins discernable possible mais aucun support ne correspondait à nos attentes. Nous avons finalement placé quelques coupons à côté du fragment pour observer leur impact visuel et nous avons sélectionné une crêpeline de soie. Elle se présente sous forme de toile transparente, de très faible épaisseur et comprend une trentaine de fils au cm. La crêpeline est très couramment utilisée dans le domaine de la restauration de textile et a été employée spécifiquement avec des adhésifs de doublage réactivés par des solvants²⁴⁰.

- Adhésifs :

Nous avons sélectionné deux adhésifs déjà testés pour cette mise en œuvre : la Klucel G[®] à 6% dans de l'eau déminéralisée et un mélange de résines acryliques composé d'une part de Lascaux[®] 360 HV pour deux parts de Lascaux 498[®] HV à 20% en poids dans de l'eau déminéralisée ce qui équivaut à une concentration en extrait sec de 8,5%²⁴¹. Les Lascaux[®] sont des émulsions aqueuses qui peuvent après séchage être réactivées avec de l'éthanol ou de l'acétone et qui peuvent se mélanger pour produire un film à la fois souple, élastique (360HV) et résistant (498HV). Deux études visant à évaluer une série d'adhésifs²⁴² utilisés en

²³⁹ BROOKS (M), 1995, p. 6-7.

²⁴⁰ HILLYER, 1997, p. 41 et PRETZEL, 1997, p. 54 : le pH de la crêpeline de soie a été analysé par le Victorian and Albert Museum et les résultats ont indiqué qu'il était proche de la neutralité. Fournisseur : Stafe et Combier.

²⁴¹ DAVID (A.), 2007, p. 93.

²⁴² PRETZEL, 1997 et DOWN, 1996.

conservation-restauration ont conclu que ces résines ont une bonne stabilité à la lumière, ont un pH proche de la neutralité au bout de 283 heures, sont réversibles en mélange et flexibles.

Des supports visant à simuler les conditions de mise en œuvre sur la silhouette ont donc été préparés pour comparer le pouvoir adhésif des ces deux résines. Deux rectangles de zinc ont été découpés et perforés selon une forme présente sur l'objet et un morceau de papier japonais a été collé à l'amidon puis perforé. Une tissu de tarlatane²⁴³, utilisé dans la confection de chapeaux, et imitant ici la toile rigide et lâche de l'œuvre, a été doublé par une crêpeline de soie selon le dispositif décrit ci-dessus. Les résines ont été appliquées en deux couches au pinceau, mises à séchées, puis réactivées par des vapeurs d'éthanol pour l'éther de cellulose et d'acétone pour l'acrylique. Une fois l'adhésion réalisée, le doublage a été découpé en suivant les bords du fragment de tarlatane puis l'ensemble a été positionné sur le support en zinc et réactivé selon le même procédé. A l'issu du test, une spatule métallique a été glissée sous un angle du textile encollé pour connaître l'adhérence de chacun des adhésifs : le mélange de Lascaux donne de bons résultats d'adhérence et sera utilisé en conditions réelles.

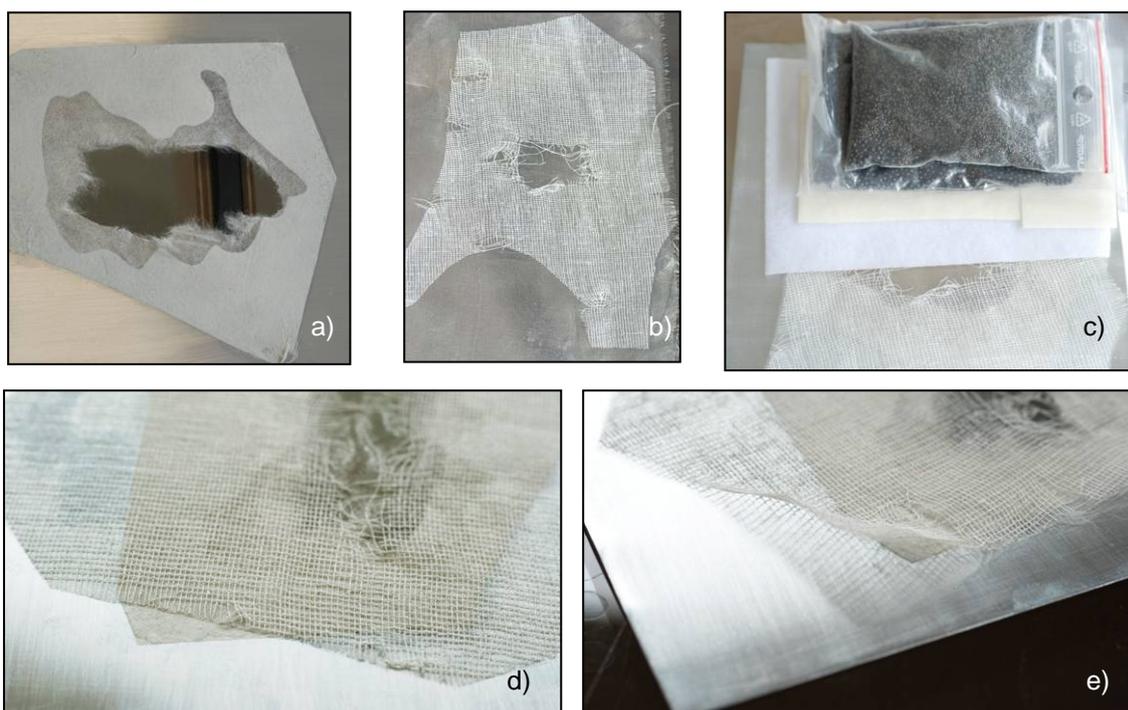


Fig. 169 : Essais de doublage du textile et de collage sur zinc par réactivation de solvant :

- a) Support en zinc découpé et recouvert partiellement d'un papier perforé.
- b) Fragment de textile doublé d'une crêpeline, avant découpe du renfort.
- c) En cours de collage sur le support métallique.
- d) Essai de doublage et de collage à la Lascaux[®] : bonne adhérence sur métal.
- e) Essai de doublage et de collage à la Klucel[®] G : manque d'adhérence.

²⁴³ Nous ne connaissons pas la composition exacte de ce tissu, ni celle de son apprêt. Les conditions expérimentales sont donc approximatives mais la sélection finale correspond finalement aux données bibliographiques.

3. Mise en œuvre

La crêpeline de soie a été préparée et teintée par l'atelier textile²⁴⁴. Nous l'avons ensuite remise à plat pour aligner perpendiculairement les fils de chaîne et de trame et obtenir ainsi une plus grande stabilité du support. Le tissu n'a pas été repassé à chaud car cela altère la couleur et écrase les fibres, mais il a été mouillé puis tendu sur une table en verre à l'aide de poids. Une fois sec, nous l'avons déposé au-dessus d'une feuille de téflon anti-adhésive pour l'encoller : une première couche du mélange d'acrylique a été déposée au pinceau large et souple, puis après séchage à l'air libre, une deuxième application de colle est venue recouvrir les fibres. Cela permet d'obtenir une certaine épaisseur d'adhésif ce qui est nécessaire pour une double réactivation permettant de faire adhérer le doublage au textile puis l'ensemble au métal de l'œuvre. Lorsque nous avons déposé la Lascaux, la colle a traversé les fibres par gravité et est venue former un film à l'interface textile-téflon. Il était donc nécessaire de former une autre couche par-dessus la première pour venir fermer les interstices de la crêpeline et faciliter l'adhésion finale.

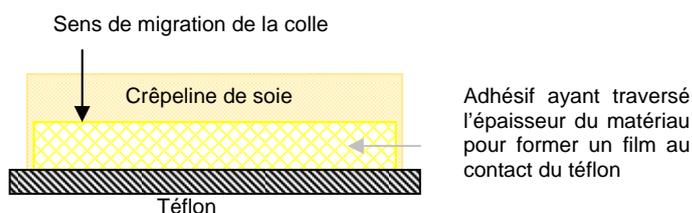


Fig. 170 : Migration de la colle au travers du matériau de doublage. Une seconde couche de colle est nécessaire.

L'avant du fragment de l'œuvre a ensuite été placé en contact avec un Mélinex[®] siliconé puis le doublage a été placé au-dessus et réactivé avec de l'acétone selon le dispositif déjà expérimenté. Le contact est effectué localement, de la zone la plus stable de la pièce à la partie la plus fragile, pendant une à deux minutes.



Fig. 171 : En cours de remise à plat ; après séchage de la crêpeline teintée, puis en cours de contre-collage du textile par réactivation de solvant.

²⁴⁴ Annexe 10. Recette de teinture de la crêpeline de doublage, p. XLII.

Le fragment a été laissé sécher à l'air libre puis le surplus de doublage a été découpé au scalpel selon la forme de la toile de coton. Il a ensuite été placé sur l'œuvre, à l'endroit exact où il avait été retiré²⁴⁵, puis l'adhésif a été réactivé une seconde fois, par-dessus la pièce originale. Nous avons limité le temps de pose du solvant lorsque le tissu était en contact avec le papier pour ne pas imprégner ses fibres et nous avons plus légèrement insisté sur les parties situées directement sur le zinc. L'adhésion du fragment est jugée satisfaisante. Par cette intervention l'œuvre retrouve son intégrité matérielle puisque tous les éléments qui étaient présents ont été conservés sur la silhouette.

II. EXPOSITION ET CONSERVATION PREVENTIVE

A. Conditionnement

1. Étiquettes et numéro d'inventaire

Les étiquettes diverses qui avaient été collées sur l'objet, peu lisibles et considérées comme une source d'information très relative, ont été retirées à sec avant le nettoyage des surfaces métalliques. Elles ont ensuite été mises en contact avec un non-tissé de polyester de faible grammage (Hollytex[®] 17g/m²) et placées dans un sachet de polyéthylène. Désormais elles accompagneront le dossier d'œuvre de chacune des silhouettes mais ne constitueront plus de source d'altération pour le zinc²⁴⁶.

Les numéros d'inventaires inscrits sur les objets étaient très présents et disgracieux puisqu'ils pouvaient se trouver en double exemplaire à quelques centimètres l'un de l'autre et que l'encre avait diffusé dans la couche de vernis. En accord avec la responsable des œuvres, nous les avons ôtés avec de l'acétone pour les réécrire de façon plus discrète sur le revers. Le protocole classique de marquage a été suivi :

- Nettoyage de la surface au solvant.
- Pose d'un film de Paraloïd[®] B72 à 10% en poids dans de l'acétone.
- Réinscription des anciens numéros à l'encre de Chine sur le revers.
- Protection du marquage par une seconde couche de Paraloïd[®] B72.

²⁴⁵ Les résidus de colle sont toujours visibles en surface puisque la corrosion du métal s'est opérée différemment entre les zones qui avaient été encollées de celles laissées à l'air libre.

²⁴⁶ Sous l'étiquette du Guerrier « Photo faite le 23. 02. 89 » se trouvaient de nombreux produits de corrosion blancs.

2. Boîte de conditionnement et de transport

Les conditionnements ont été pensés pour l'ensemble de la collection et serviront à la fois au stockage et au transport. Ils doivent permettre la superposition des silhouettes sur une armoire métallique et doivent allier légèreté et rigidité. Nous avons donc conçu des boîtes en polypropylène cannelé pour les trois silhouettes de cette étude mais le modèle pourra être commandé auprès de Stouls dans le cadre du réaménagement global des réserves.

Les boîtes ont été assemblées mécaniquement, sans ajout d'adhésif, puis l'habillage a été réalisé avec des mousses de polyéthylène haute densité, chimiquement inerte et neutre, (Plastazote[®])²⁴⁷ recouvert d'un tissu de fibres de polyéthylène non traité et résistant (Tyvek[®]) pour limiter les phénomènes d'abrasion. Le polypropylène est une matière électrostatique qui peut aussi créer des confinements ce qui nous a amené à pratiquer des percements pour créer un flux d'air²⁴⁸. Il est alors préférable de placer les objets dans une atmosphère contrôlée. Il aurait été possible de fabriquer ces boites dans du carton neutre enveloppé de toile Buchram[®] mais cette solution réalisable pour trois silhouettes nous paraissait en revanche inadaptée à l'ensemble de la collection.

Les œuvres seront ainsi protégées de la poussière et surtout des chocs mécaniques.

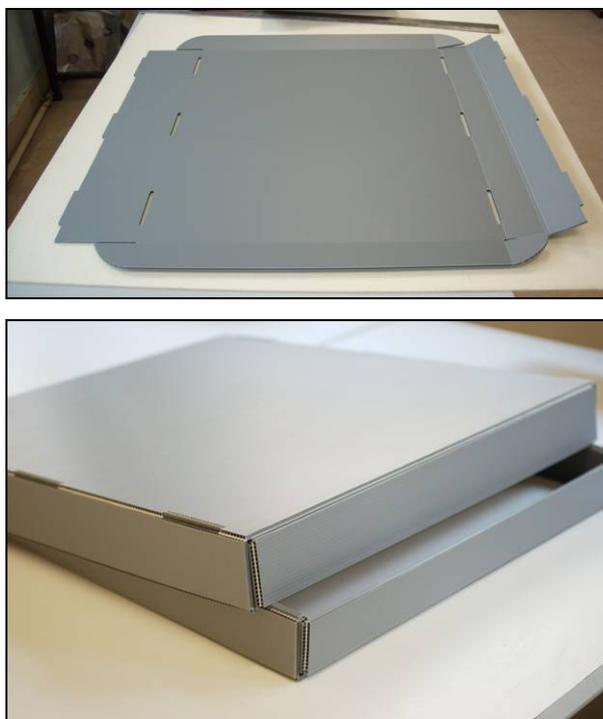


Fig. 172 : Boîte de conditionnement et de transport du Guerrier.

© G. Vanneste

²⁴⁷ Les matériaux sont fournis par Stouls.

²⁴⁸ Aucun système de contrôle du climat n'a été placé à l'intérieur du conditionnement, car ce dispositif contraignant peut s'avérer plus dangereux que bénéfique s'il n'est pas suivi régulièrement.

B. Préconisations

1. Manipulations

Les préconisations de manipulation découlent des observations que nous avons faites sur les silhouettes.

- *Port de gants* : De nombreuses empreintes digitales ont été retrouvées sur l'ensemble des surfaces métalliques. Ces marques sont indélébiles puisque l'acidité des mains entraîne l'apparition de corrosion qui se développe en suivant les lignes de ces empreintes. Le port de gants ajustés est donc obligatoire pour manipuler ces œuvres constituées de métaux réactifs.
- *Transport des œuvres* : Les silhouettes doivent être saisies à deux mains, par leur partie centrale, et ne peuvent pas être soulevées de leur boîte de conditionnement par leur talon ou par leurs extrémités trop fragiles. Il est important que les œuvres ne soient pas transportées hors de leur support sur de longs trajets.

2. Conditions de conservation

Les capteurs qui avaient placés à l'intérieur et à l'extérieur des réserves dans lesquelles sont conservées les œuvres ont révélé une humidité relative très élevée et un manque d'inertie du bâtiment. Le climat n'est pas du tout contrôlé et semble particulièrement inadapté pour la conservation d'objets composites. La conservatrice a donc proposé de replacer les trois silhouettes restaurées au sein du musée Sully, dans une salle chauffée à l'atmosphère surveillée.

Par manque de place, les autres silhouettes de la collection resteront à Reibel dans l'attente d'un nouveau lieu de réserve. Il serait tout de même souhaitable de les disposer sur des armoires métalliques en évitant un contact direct avec le sol pour permettre à l'air de circuler autour des œuvres et limiter les risques en cas d'infiltration d'eau. Les silhouettes pourraient être placées sur des cartons neutres et recouvertes d'un papier non acide.

Préconisations :

- *Température et humidité relative* : la variété des matériaux présents dans l'œuvre introduit une incompatibilité entre les valeurs idéales de conservation des matériaux organiques et inorganiques. Trop basse, l'humidité relative serait un facteur

d'altération des matériaux organiques et trop haute elle le serait pour les métaux. Nous pensons donc que l'œuvre est peu exposée à des risques de dégradation lorsque la température est comprise entre 18°C et 22°C pour une humidité relative située entre 40% et 55%²⁴⁹. Il est surtout primordial d'éviter des variations brusques de climats sur de courtes périodes et de privilégier des conditions strictes et stables. Les réserves actuelles constituent donc un danger pour les objets qui sont presque tous composites et qui contiennent certainement des micro-organismes, susceptibles de se développer dans ces conditions. Le transfert des œuvres dans un autre espace est donc une priorité.

- *Exposition lumineuse* : Les effets de la lumière sont cumulatifs, il convient donc de prendre en compte un niveau d'éclairage lié à un facteur temps²⁵⁰. Pour des matériaux très sensibles comme les papiers et les textiles, il est conseillé de ne pas dépasser 50 lux pour une exposition annuelle de 3000 heures. Dans le cadre d'une projection lumineuse mettant en valeur la fonction des silhouettes d'ombres, ce niveau d'éclairage se révélerait beaucoup trop faible. Il serait alors possible d'augmenter le niveau d'éclairage en diminuant la durée d'exposition sans dépasser la limite des 200 lux. Des systèmes d'éclairage dynamique²⁵¹ ont déjà été mis au point mais ils demandent un entretien et un savoir-faire particulier que nous pensons difficiles à mettre en œuvre. Nous préconisons donc de limiter le temps d'exposition lumineuse à des occasions particulières, des expositions temporaires et de présenter de façon permanente soit une copie de l'œuvre, soit une vidéo de l'effet produit.
- *Polluants* : Les métaux amphotères sont sensibles aux acides organiques (l'acide acétique, formique) et le papier aux acides et au dioxyde de soufre et d'azote. Si le musée ne peut intervenir sur le climat général, il peut en revanche éviter de mettre en contact des matériaux pouvant dégager ce type de polluants (contre-plaqué, matériaux d'exposition).
- *Poussière* : Nous avons vu l'importance de la poussière dans la cinétique de corrosion et de dégradation de tous les matériaux. Par la boîte de conditionnement, ce facteur devrait être limité.

²⁴⁹ SFIIC, 2001 et BERDUCOU (M.), 1990, p. 368-406.

²⁵⁰ EZRATI (J.J.), 1995, p.13.

²⁵¹ EZRATI (J.J.), 1996.

C. Propositions de présentation

En accord avec la responsable des œuvres, des choix de présentation ont été opérés en fonction de la valeur esthétique, de l'état de conservation, de la lisibilité des formes et de la valeur d'usage de chacune des silhouettes. Ces propositions pourront être prises en compte lors de la future réouverture du musée et pourront constituer une base pour l'ensemble de la collection.

Des socles adaptés ont été réalisés pour les objets selon le modèle utilisé par le musée du Louvre pour présenter quatre œuvres de la pièce d'ombres *Phrynée* lors de l'exposition sur Praxitèle²⁵². Ils ont été confectionnés à partir de tubes ou de carrés en laiton, découpés et brasés à l'argent, puis patiné et recouverts d'une couche de Paraloid® B72 servant d'interface et de protection. Les crochets maintenant les objets ont été isolés par des gaines thermorétractables en polyéthylène. Ces pièces permettent d'exposer les silhouettes verticalement, à 20 cm du mur, ce qui rend possible une projection de lumière et donc un report de l'ombre avec un minimum de moyens.

Un castelet sera certainement présent dans la future salle consacrée au Chat Noir. Il sera alors essentiel d'y montrer la silhouette des Quatre cavaliers pour retrouver la fonction des papiers colorés et du fragment de tissu. Nous avons donc confectionné un support en bois tendu d'un drap pour pouvoir éclairer les œuvres. Il a été conçu aux dimensions de l'écran d'origine ce qui permet de se rendre compte de l'espace que la figure occupait dans la pièce.

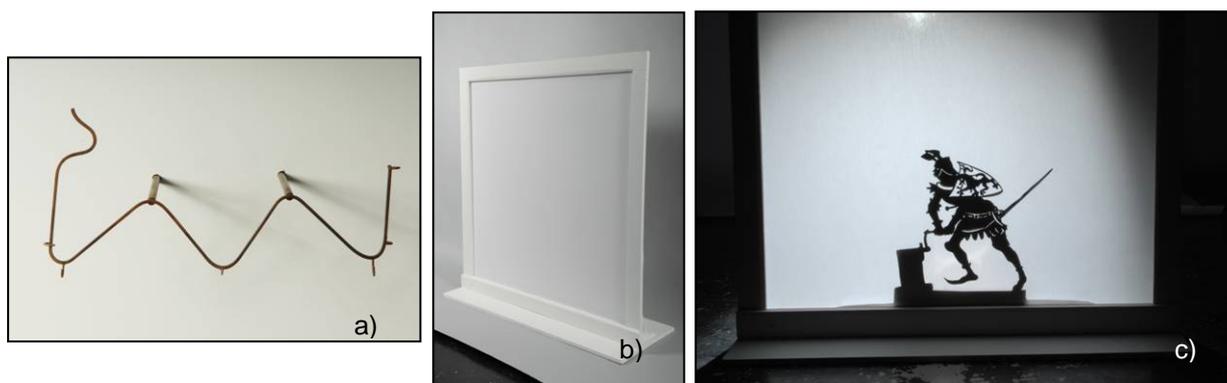


Fig. 173 : Propositions d'exposition :

- a) Socle en laiton du Guerrier en vue de la projection de l'ombre sur le mur
- b) et c) Castelet en bois et drap de coton puis projection de l'ombre du Guerrier. © G. Vanneste.

²⁵² Exposition du Louvre en 2007. Les socles nous ont été transmis pour modèle par Mme Brégeaud-Romand.

PLANCHE XV : Silhouettes du Guerrier après restauration



III. 30. Guerrier après restauration :

- a) Avers
- b) Revers.
- c) Ombre projetée sur le mur. © G. Vanneste.

PLANCHE XVI : Silhouettes des Trois cavaliers après restauration

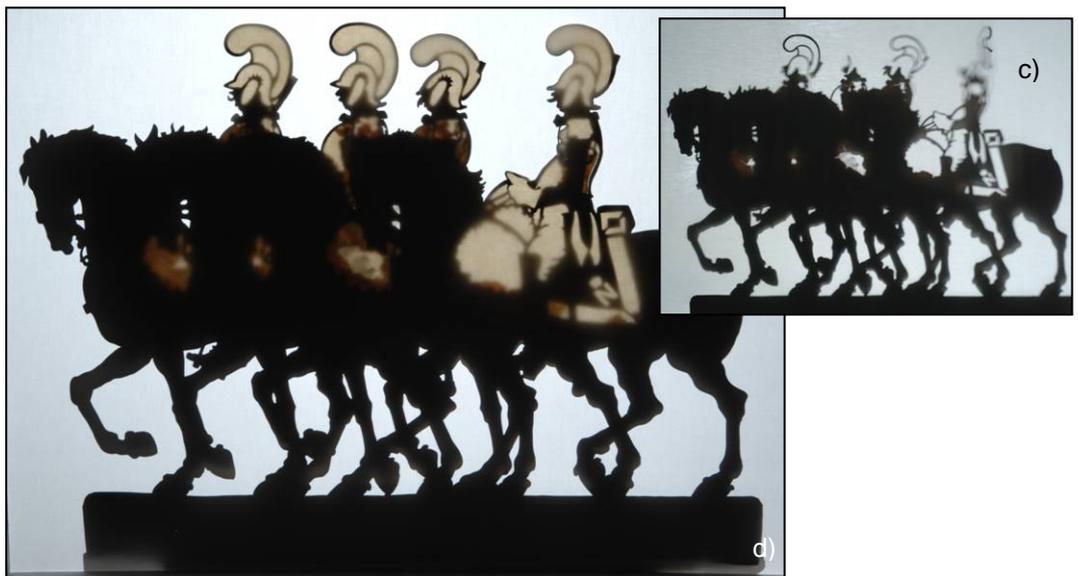
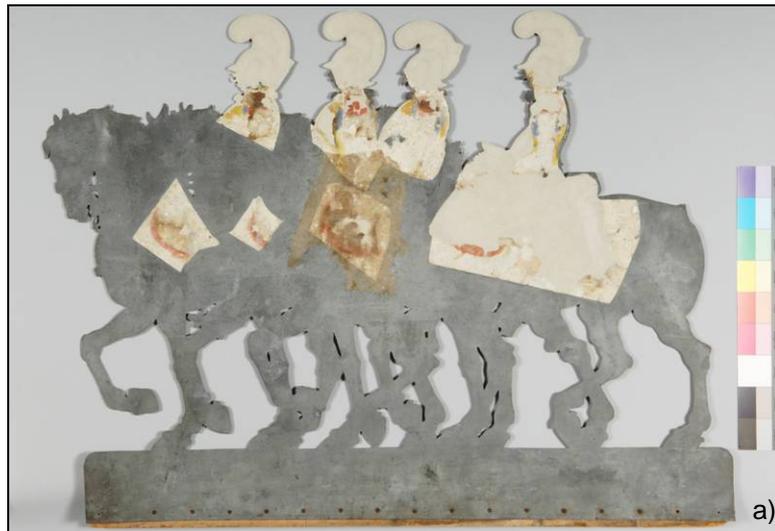


III. 31. Trois cavaliers après restauration :

a) et b) Avers et Revers.

c) et d) Silhouette avant et après projection. © G. Vanneste.

PLANCHE XVII : Silhouettes des Quatre cavaliers après restauration



III. 32. Quatre cavaliers après restauration :

b) et b) Avers et Revers.

c) et d) Silhouette avant et après projection. © G. Vanneste.

SILHOUETTES D'OMBRES DU CABARET DU CHAT NOIR - MUSEES DE CHATELLERAULT
BENEDICTE MASSIOT - MEMOIRE INP DEPARTEMENT DES RESTAURATEURS, 2008

Conclusion

Les trois silhouettes d'ombres du cabaret du Chat Noir sont des œuvres représentatives d'un ensemble artistique qui a connu un succès phénoménal à la fin du XIX^{ème} siècle. Des illustrateurs de renom et des techniciens ingénieux nous ont laissé des images poétiques qui constituent des témoins de l'activité montmartroise, peu avant l'apparition du cinéma. L'étude du contexte historique puis de l'histoire patrimoniale et technologique de ces objets a permis de mettre en évidence la distorsion existante entre l'abondante documentation sur le cabaret du Chat Noir et la faible connaissance matérielle des silhouettes. Une recherche a été amorcée sur les techniques utilisées pour fabriquer ces images de métal et de papier, selon la logique que pourrait employer un artisan en collaboration étroite avec ses commanditaires, mais de nombreux sujets restent à approfondir. Il faudrait envisager une étude plus globale sur l'ensemble des collections muséales afin de pouvoir confronter les hypothèses.

Les altérations relevées sur les silhouettes ont pu être mises en relation avec les informations recueillies au cours de l'étude historique. Nous avons ainsi pu établir un diagnostic qui a démontré l'interaction des matériaux entre eux pouvant agir comme des catalyseurs dans des processus de dégradation chimique. Cette réflexion autour d'objets complexes a été particulièrement enrichissante et nous a permis de comprendre certains phénomènes de corrosion.

Nous avons aussi tenté de répondre aux problèmes structuraux rencontrés sur ces fines feuilles de zinc brisées et dont les surfaces de collage sont infimes. Par des stratifiés posés sur des interfaces, nous pensons avoir réalisé un bon compromis situé entre la rigidité et la souplesse, la réversibilité et l'adhérence. Au vu des résultats après restauration, les œuvres sont à nouveau manipulables et les renforts discrets, ce qui permet même d'exposer la silhouette des Quatre cavaliers par le revers où se situent tous les doublages.

Les interventions de conservation-restauration ont été menées au cas par cas en fonction des valeurs culturelles attribuées aux œuvres et à leur état de conservation dans la collection. L'essentiel de ce travail a consisté à retrouver la lecture des formes en projection. Des socles adaptés ont alors été conçus pour présenter les objets de façon didactique : ils pourront servir de support lors de la réouverture du musée au public dans quelques années.

Bibliographie

Étude historique et technologique

Catalogues

PARIS, 1999

Napoléon au Chat Noir, L'Épopée vue par Caran d'Ache, Paris, 1999.

PARIS, 1981

Centenaire du cabaret du Chat Noir, Musée du Vieux Montmartre, Paris, 1981, 32 pages.

Monographies

BELAKHOWSKY (S.), 1983

BELAKHOWSKY (S.), *Soudage collage*, Paris, Pyc éditions, 1983, 392 p.

BRUN (P.), 1984

BRUN (P.), *Albert Robida (1848-1926) : sa vie, son œuvre suivi d'une bibliographie complète de ses écrits et dessins*, Paris, Promodis, 1984, 250 p.

DONNAY (M.), 1926

DONNAY (M.), *Autour du Chat Noir*, Paris, Grasset, 1926, 196 p.

DUCHAUSSOY (J.), 1965

DUCHAUSSOY (J.), *Le zinc*, Paris, Presses Universitaires de France, collection : Que-Sais-Je ?, 1965, 28 p.

Emploi du zinc laminé. [s.d.]

Emploi du zinc laminé pour les bâtiments, ses avantages pour toitures, terrasses, chéneaux, tuyaux de cheminées, réservoirs ; son application sur les murs humides etc., Société Anonyme de la Vieille Montagne, Liège, [s.d.], [s.e.], 23 p.

GADEAU (R.), 1959

GADEAU (R.), *Métaux non ferreux, cuivre, zinc, plomb, étain, nickel*, Paris, Aramnd Colin, 1959, 178 p.

GOUDEAU (E.), 1888

GOUDEAU (E.), *Dix ans de Bohême*, Paris librairie illustrée, 1888 (réed. 2000), 444 p.

GRAND-CARTERET (J.), 1886

GRAND-CARTERET (J.), « Le Chat Noir », in *Raphaël et Gambrinus ou l'Art dans la brasserie*, Paris-Genève, Champion-Slatkine, 1886 (réed 1984), p 77-98.

JEANNE (P.), 1937

JEANNE (P.), *Les Théâtres d'ombres à Montmartre de 1887 à 1923 : Chat noir, Quat'z'Arts, Lune Rousse, étude historique et analytique, avec la liste de pièces représentées, la bibliographie des ombres françaises et un appendice sur le montage du théâtre* ; Préface de Dominique Bonnaud, Paris, Les Presses Modernes, 1937, 173 p.

LACOMBE (M.S.), 1929

LACOMBE (M.S.), *Nouveau manuel complet de la Sculpture sur bois contenant la description des outils les plus usités et des bois les plus convenables pour ce travail ainsi que les moyens pratiques de la sculpture et l'exposition détaillée des styles d'ornementation suivi du découpages des bois, de l'ivoire, de l'os, de l'écaille et des métaux*, Encyclopédie Roret, Paris, Edgar Malfère, 1929, 468 p.

LE GOUIC (R.), 1978

LE GOUIC (R.), *Précis de soudage-brasure et techniques connexes*, Paris, Eyrolles, 1978, 158 p.

MAINDRON (E.), [1900 ?]

MAINDRON (E.), « Le théâtre du Chat Noir », in *Marionnettes et Guignols, les poupées agissantes et parlantes à travers les âges*, Paris, Félix Juven, [1900 ?], p. 338-355.

MONTORGUEIL (G.), 1930

MONTORGUEIL (G.), « Caran d'Ache », in *Les Annales*, Paris, Les Annales, 1er août 1930, p. 105-110.

OBERTHÜR (M.), 2007

OBERTHÜR (M.), *Le cabaret du Chat Noir à Montmartre (1881-1897)*, Genève, Slatkine, 2007, 284 p.

OBERTHÜR (M.), 2004

OBERTHÜR (M.), *Henri Rivière, connu, méconnu*, Semur en Auxois, Spiralithe, 2004, 255 p.

RAMOND (P.), 1977

RAMOND (P.), *La Marqueterie*, Dourdan, H. Vial, 1977, 132 p.

REMISE (J.), 1979

REMISE (J.), *Magie lumineuse : du théâtre d'ombres à la lanterne magique*, Paris, Balland, 1979, 345 p.

RIVIÈRE (H.), 2004

RIVIÈRE (H.), LE STUM (P.), *Les détours du chemin souvenirs, notes & croquis : 1864-1951*, Saint-Rémy-de-Provence, Équinoxe, 2004, 191 p.

ROMAIN (A.), 1919

ROMAIN (A.), *Plombier, zingueur, couvreur et appareilleur à gaz contenant la fabrication et le travail du plomb, du zinc et de l'étain, les procédés d'assemblage des tuyaux, la soudure des divers métaux, la couverture des constructions en plomb, en zinc, en tuiles, en ardoises, etc... et le travail d'installation de gaz*, Encyclopédie Roret, Paris, L. Mulo, 1919, 600 p.

SALIS (R.), [1888]

SALIS (R.), *Chat Noir Guide*, Paris, [1888], [s.e.], 64 p.

Périodiques

ABBÉ LONGER, 1951

ABBÉ LONGER, « Le donjon de Rodolphe Salis », in *Le glaneur châtelleraudais*, organe du syndicat d'initiative de Châtellerauld, n°spécial *Salis*, juin 1951, 16 p.

BABIN (G.), 1909

BABIN (G.), « Caran d'Ache », in *L'Illustration*, [Paris], [s.e.], n°3445, 6 mars 1909, p. 157.

CLARETIE (L.), 1894

CLARETIE (L.), « L'Envers du Chat Noir », in *Le Temps*, Paris, [s.e.], 25 janvier 1894, 3 p.

DE WEINDER (H.), 1894DE WEINDER (H.), « Le Chat Noir », in *L'Illustration*, [Paris], [s.e.], 20 janvier 1894, 2 p.DONNAY (M.), 1936DONNAY (M.), « Le théâtre d'ombres », in *L'Esprit Montmartrois interviews et souvenirs*, Joinville-le-Pont, Laboratoires Carlier, 1936, chap. III, 11 p.EUDEL (P.), 1896EUDEL (P.), « Théâtre du Chat Noir », in *Le Monde Moderne*, [Paris], [s.e.], 1896, p. 563- 579.GOUDEAU, 1886GOUDEAU (E.), « Les cabarets artistiques », in *La Revue illustrée*, [s.l.s.e.], 15 juin 1886.LEMAITRE (J.), 1889LEMAITRE (J.), « La semaine dramatique », in *Le journal des débats*, [Paris ?], [s.e.], 29 avril 1889.5 p.VICHE (J.C.), 2005VICHE (J.C.), « Robida et le patrimoine parisien », in *Le Téléphonoscope*, Compiègne, Centre National du Livre, septembre 2005, n°12, p. 31-33.

Sources

À CHÂTELLERAULT

ABBÉ LONGER, « Le Donjon de Rodolphe Salis », in *Le Glaneur châtelleraudais*.BREGAUD-ROMAND (S.), *Document de travail, pré-projet scientifique et culturel*, Musées de Châtellerault, janvier 2006.*Catalogue général dit inventaire du Musée Paul Chéron de la Martinière*, Archives Municipales de Châtellerault, [s.d.], n° de versement 235 PR 1.DUVAU (R.), *Guide du Musée*, Archives Municipales de Châtellerault, 1953, n° de versement 235 PR 6, 7 p.*Registre d'enregistrement des dépôts*, Archives Municipales de Châtellerault, à partir de 1950, n° de versement 235 PR 1.*Registre des délibérations de la commission du Musée*, Archives Municipales de Châtellerault, 1899-1941, n° de versement 235 PR 4.*Registre d'enregistrement des dons*, Archives Municipales de Châtellerault, 1901-1959, n° de versement 235 PR 5.*Registres des délibérations du conseil municipal*, Archives Municipales de Châtellerault, n° de versement du 9 juillet 1952. XI C.8.*Rapport sur les musées de Châtellerault*, Archives Municipales de Châtellerault, janvier 1984, n° de versement 4 PR 14.

À COMPIÈGNE

Lettre de Mme Vila, conservatrice des musées de Châtellerault à Mr le Directeur des Musées de France. Le 31 juillet 1984. n° de versement 4 PR 14.

Rationnement de l'électricité dans les services municipaux, Archives Municipales de Châtellerault, 1941 ou 1942, n° de versement 2 W 7.

ROBIDA (A.), *La Nuit des Temps ou l'Élixir de Rajeunissement*, programme du théâtre du Chat Noir (s.d. s.l.). Documentation du Musée Antoine Vivenel, Compiègne, [1886 ?], 8 p.

ROBIDA (A.), *L'Élixir de Rajeunissement*, manuscrit original non publié, Documentation du Musée Antoine Vivenel, Compiègne [1875 ?], 124 p.

À PARIS

Bottin du commerce, Archives de la Seine, Paris, consultation des microfilms de 1877 à 1899, série 2MI 3/71 à 2MI 3/121.

Patentes du quartier des Grandes Carrières, Archives de la Seine, Paris, 1895, série D9P² 0138.

[sn] « Chronique », in *Le temps*, [Paris ?], 23 décembre 1886. Documentation du musée d'Orsay.

Diagnostic, étude technico-scientifique et conservation-restauration

Monographies

APPELBAUM (B.), 2007

APPELBAUM (B.), *Conservation Treatment Methodology*, Paris, Butterworth-Heinemann, 2007, 437 p.

BATHIAS (C.), 2005

BATHIAS (C.), *Matériaux composites*, Paris, Dunod : L'Usine nouvelle, 417 p.

BRANDI (C.), éd. 2001

BRANDI (C.), *Théorie de la restauration*, Paris, MONUM, Éditions du patrimoine, 2001, 207 p.

BERDUCOU (M.), 1990,

BERDUCOU (M.), *La conservation en archéologie : Méthodes et pratiques de la conservation-restauration des vestiges archéologiques*, Paris, Masson, 1990, 469 p.

DARQUE-CERETTI (E.), 2003

DARQUE-CERETTI (E.), FELDER (E.), *Adhésion et adhérence*, Paris, CNRS, 2003, 388 p.

EZRATI (J.J.), 1996

EZRATI (J.J.), *Manuel d'éclairage muséographique*, Dijon, OCIM, 1996, 68 p.

FELLER (R.L.), WILT (M.), 1990

FELLER (R.L.), WILT (M.), *Evaluation of cellulose ethers for conservation*, Research in conservation, California, The Getty Conservation Institute, 1990, 161 p.

GAY (D.), 2005

GAY (D.), *Matériaux composites*, Paris, Hermès sciences publications: Lavoisier, 2005, 670 p.

GIOVANNINI (A.), 2004

GIOVANNINI (A.), *De tutela librorum, La conservation des livres et des documents d'archives*, Genève, les éditions, 2004, 607 p.

HORIE (C.V.), 1987

HORIE (C.V.), *Materials for conservation : organic consolidants, adhesives and coatings*, Oxford, Butterworth, 1987, 281 p.

LIENARDY (A), VAN DAMME (P.) 1989

LIENARDY (A), VAN DAMME (P.), *Inter folia*, Manuel de conservation et de restauration du papier, Bruxelles, Institut royal du Patrimoine artistique, 1989, 247 p.

MASSCHELEIN-KLEINER (L.), 1994

MASSCHELEIN-KLEINER (L.), *Les solvants*, Bruxelles : Institut Royal du Patrimoine Artistique, 1994, 131 p.

OAKLEY (V.), 1993

OAKLEY (V.), BUYS (S.), *The conservation and restoration of ceramics*, Oxford, Butterworth-Heinemann, , 1993, 243 p.

POURBAIX (M.), 1963

POURBAIX (M.), *Atlas d'équilibres électrochimiques*, Paris, Gauthier-Villars et Cie, 1963, 645 p.

SCOTT (D.), 1991

SCOTT (D.), *Metallography and microstructure of ancient and historic metals*, Londres, Jean Paul Getty Trust publications, 1991, 155 p.

SFIIC, 2001

Préserver les objets de son patrimoine: Précis de conservation préventive, SFIIC, Sprimont, Mardaga, 2001, 264 p.

TONNEAU (J.), 2000

TONNEAU (J.), *Tables de chimie. Un mémento pour le laboratoire*, Bruxelles, De Boeck & Larcier, 2000, 168 p.

VOLFOVSKY (C.), 2001

VOLFOVSKY (C.), *La conservation des métaux*, Paris, CNRS, 2001, 296 p.

Périodiques

ALLEN (K.W.), 1984

ALLEN (K.W.), « Adhésion et adhésifs : principe de base », *Adhésifs et consolidants. Edition française des communications du Xe Congrès international de l'IIC (Paris, 2-7 septembre 1984)*, Paris, 1984, p. 18 à 22.

BERTHOLON (R.), 2002

BERTHOLON (R.), « Proposition d'une méthode de description de la corrosion des objets métalliques archéologiques : schéma général », in *Conservation-Restauration des Biens culturels*, Cahier technique, Paris, ARAAFU, n°9, 2002, p.56-65.

BLACKSHAW (S.M.), 1983

BLACKSHAW (S.M.), WARD (S.E.), « Simple tests for assessing materials for use in conservation », in *Resins in conservation*,

- Proceedings of the Symposium. Edimburgh 1982*, Edimbourg, Scottish society for conservation and conservation, 1983, article 2, p. 1-15.
- BRADLEY (S.), 1984
BRADLEY (S.), « Essais de résistance des colles et des matériaux de renforcement pour la conservation », *Adhésifs et consolidants. Edition française des communications du Xe Congrès international de l'IIC (Paris, 2-7 septembre 1984)*, Paris, 1984, p. 18-22.
- BRADLEY (M.), 1984
BRADLEY (M.), WILTHEW (S.E.), « The evaluation of some polyester and epoxy resins used in the conservation of glass », in *Preprints, ICOM Committee for conservation 7th triennial meeting, (Copenhague, 10-14 septembre 1984)*, Copenhague, 1984, p. 84.20-5 à 84.20-9.
- BRADLEY (S.M.), 1990
BRADLEY (S.M.), « Evaluation of Hxtal NYL-1 and loctite 350 for glass conservation », in *Preprints, ICOM Committee for conservation 9th triennial meeting (Dresde 26-31 août 1990)*, Dresde, 1990, p. 669-674.
- BROOKS (M.), 1995
BROOKS (M), EASTOP (D.), HILLYER (L.), LISTER (A.), « Supporting fragile textiles: the evolution of choice », in *Lining and Backing: The support of paintings, paper and textiles (Londres, 7-8 November 1995)*, UKIC Conference, Londres, 1995, p. 5-13.
- BURGESS (H.), 1991
BURGESS (H.), « The use of chelating agents in conservation treatments, in *The Paper Conservator*, Londres, ICON, vol. 15, 1991, p. 36-44.
- BYRNE (G.S.), 1984
BYRNE (G.S.), « Formulation d'adhésifs par addition « d'aérosols » de silice colloïdale », *Adhésifs et consolidants. Edition française des communications du Xe Congrès international de l'IIC (Paris, 2-7 septembre 1984)*, Paris, 1984, p. 80-82.
- COWAN (J.), 1986
COWAN (J.), « Techniques de nettoyage à sec du papier », in *Bulletin Technique de l'ICC*, Ottawa, Institut canadien de conservation, n°11, 1986, 10 p.
- DE WITTE (E.), 1983
DE WITTE (E.), « Resins in conservation: introduction to their properties and application », in *Resins in conservation, Proceedings of the Symposium. Edimburgh 1982*, Edimbourg, Scottish society for conservation and conservation, 1983, article 1, p. 1-6.
- DIGNARD (C.), MICHALSKI (S.), 1997
DIGNARD (C.), MICHALSKI (S.), « Ultrasonic misting. Part.1, experiments on appearance change and improvement in bonding », in *Journal of the American Institute for conservation*, Washington, vol. 36, n°2, 2007, p. 109-126.
- DOWN (J.L.), 1984
DOWN (J.L.), « The yellowing of epoxy resin adhesives: report on natural dark aging », in *Studies in Conservation*, Londres, IIC, vol. 29, n°2, 1984, p.63-76.
- DOWN (J.L.), 1996
DOWN (J.L.), MACDONALD (M.A.), TETREAULT (J.), WILLIAMS (R.S.), « Adhesive testing at the Canadian Conservation Institute. An evaluation of selected poly(vinyl acetate) and acrylic

- adhesives », in *Studies in Conservation*, Londres, IIC, vol. 41, n°1, 1996, p. 19-44.
- EASTBROOK (E.), 1989 EASTBROOK (E.), « Considerations of the effect of erasers on cotton fabric », in *Journal of the American Institute for Conservation*, Washington, vol. 28, n°2, 1989, p. 79-96.
- ELIAS (M.),SINDACO (C.),2007 ELIAS (M.), SINDACO (C.), « Le refixage et la consolidation des peintures non vernies. Une collaboration entre scientifique et restaurateur », in *Support-Tracé*, Paris, ARSAG, n°6, 2007, p. 86-94.
- EZRATI (J.J.), 1994 EZRATI (J.J.), « L'éclairage dynamique : une solution à l'antagonisme conservation/présentation », in *La conservation des textiles anciens, journées d'études de la SFIIC, Angers 20-22 octobre 1994*, Champs sur Marne, 1994, p. 127-130.
- FELLER (R.L.), 1978 FELLER (R.L.), « Standards in the evaluation of thermoplastic resins », in *ICOM Committee for conservation 5th triennial meeting*, Zagreb, 1978, p. 16/4. 1-11.
- FRANCE –LANORD (A.) FRANCE –LANORD (A.), « La restauration et la conservation de grands objets de bronze », in *Recent advances in Conservation*, Londres, Butterworth, 1963, p. 97-100.
- GRISSOM (C.A.), 1994 GRISSOM (C.A.), « The conservation of outdoor zinc sculpture », in *Ancient and historic metals (conservation and scientific research)*, Symposium, J.Paul Getty museum, The J. Paul Getty trust, 1994, p. 279-304.
- GROSSO (E.), 1996 GROSSO (E.), « Les gommes à effacer utilisées en conservation-restauration des photographies », in *Nouvelles de l'ARSAG*, Paris, n°12, 1996, 3p.
- HILLYER (L.), 1998 HILLYER (L.), TINKER (Z.), SINGER (P.), « Evaluating the use of adhesives in textile conservation. Part.1. An overview and survey current use », in *The Conservator*, Londres, UKIC, n°21, 1997, p. 37-47.
- HORIE (C.V.), 1983 HORIE (C.V.), « Reversibility of polymer treatments », in *Resins in conservation, Proceedings of the Symposium. Edimburgh 1982*, Edimbourg, Scottish society for conservation and conservation, 1983, article 3, p. 1-6.
- KOOB (S.P.), 1986 KOOB (S.P.), « The use of Paraloid B-72 as an adhesive: its application for archeological ceramics and other materials », in *Studies in Conservation*, Londres, IIC, vol. 31, n°1, 1986, p. 7-14.
- KRAWCZAK (P.), 2007 KRAWCZAK (P.), « Essais mécaniques de plastiques. Caractéristiques instantanées », in *Techniques de l'ingénieur*, 2007, AM 3 510.
- LANE (H.) LANE (H.), « The restoration of thin metal vessels using glass-fibre and polyester resin », in *Studies in Conservation*, Londres, IIC, n°19, 1974, p. 227-232.

MOTTNER (P.), ASSFALG (E.), FREITAG (E.), 1998

MOTTNER (P.), ASSFALG (E.), FREITAG (E.), "Investigations into intercrystalline corrosion and conservation of zinc", in *Actes de la conférence internationale sur la conservation des métaux (Métal 98)*, James and James, London, 1998, p. 329-340.

MOTTNER (P.), FREITAG (J.), KAISER (W.D.), 1997

MOTTNER (P.), FREITAG (J.), KAISER (W.D.), « Denkmäler aus Zingkuss », in *Restauero*, Callwey, München, partie 1, n°2, mars avril 1997, p.104-107, partie 2 n°3, mai 1997, 166-171.

PEARLSTEIN (E.J.), 1982

PEARLSTEIN (E.J.), CABELLI (D.), KING (A.), INDICTOR (N.), « Effects of eraser treatment on paper », in *Journal of the American Institute for Conservation*, Washington, vol. 22, n°1, 1982, p. 1-12.

PODANY (J.), 2001

PODANY (J.), GARLAND (K.M.), FREEMAN (W.R.), ROGERS (J.), « Paraloïd B-72 as a structural adhesive and as a barrier. Structural adhesive bonds: Evaluations of strength and reversibility », in *Journal of the American Institute for conservation*, Washington, vol. 40, n°1, 2001, p. 15-31.

PRETZEL (B.), 1997

PRETZEL (B.), « Evaluating the use of adhesives in textile conservation, part II. Tests and evaluation matrix. », in *The Conservator*, n°21, 1997, p.48-58.

REIDERER (J.), 1993

REIDERER (J.), "Corrosion damage to zinc sculptures in Germany", in *European cultural heritage newsletter on research*, volume VII, n°1-4, décembre 1993, p. 75-81.

REMILLARD (F.), 1989

REMILLARD (F.), « Adhésifs à base de résines époxy: étude de solubilisation », *Journal de l'Institut international pour la conservation, Groupe canadien*, Ottawa, International Institute for conservation of historic and artistic works, 1989, vol.14, p. 12-17.

SHASHOUA (Y.), RUGHEIMER (A.), 1998

SHASHOUA (Y.), RUGHEIMER (A.), « An evaluation of the use of cellulose ethers in paper conservation at the British Museum », in *Proceeding of the fourth international conference of the IPC, 6-7 april 1997*, Londres, The Institute of Paper Conservation, 1998, p. 150-159.

SODONA(N.),RIOUX (J.P.),1990

SODONA (N.), RIOUX (J.P.), « Identification des matériaux synthétiques dans les peintures modernes. I. Vernis et liants polymères », in *Studies in Conservation*, Londres, IIC, vol. 35, 1990, p. 189-204.

STERLINI (P.), 1995

STERLINI (P.), « Surface cleaning products and their effects on paper », in *Paper conservation news*, Londres, The Institute of Paper Conservation, n°76, 1995, 5 p.

STRNADOVA (J.), DUROVIC (M.), 1994

STRNADOVA (J.), DUROVIC (M.), « The cellulose ethers in paper conservation », in *Restauero*, vol. 15, n°4, Copenhagen, Munksgaard, 1994, p. 220-241.

TENNENT (N.H.), 1984

TENNENT (N.H.), TOWNSEND (J.H.), « The photofading of dyestuffs in epoxy, polyester and acrylic resins », in *Preprints, ICOM Committee for conservation 7th triennial meeting, (Copenhagen, 10-14 septembre 1984)*, Copenhagen, 1984, p 84.16-8 à 84.16-11.

TUTTLE (P.H.), 1983

TUTTLE (P.H.), « The conservation of a 4th century greek cuirass and helmet », in *Resins in conservation, Proceedings of the Symposium. Edimburgh 1982*, Edimbourg, Scottish society for conservation and conservation, 1983, article 12, p. 1-8.

WHITMORE (P.),
COLALUCA (V.), 1990

WHITMORE (P.), COLALUCA (V.), « The natural an accelerated aging of an acrylic artists' medium, in *Studies in conservation*, Londres, IIC vol. 40, n°1, 1995, p. 51-64

Sources

CREMONESI (P.), 2004

CREMONESI (P.), *Les solvants organiques et aqueux*, Cours donné les 15-16-17 novembre et les 6-7 décembre 2004 à l'INP : Materials and methods for the cleaning of paintings, 86 p. 2004

DAVID (A.), 2007

DAVID (A.), *Quand les plis doivent garder leur secret. Conservation-restauration d'un éventail à système du XIXe siècle (Palais Galliera, musée de la Mode et du costume de la ville de Paris) : Recherche d'un contre-collage adapté à la tri-dimensionnalité d'un textile plissé*, mémoire soutenu à l'INP, département des restaurateurs, 2007.

DE CORNEILLAN (H.), 2007

DE CORNEILLAN (H.), *Des corps oubliés. Étude d'un ensemble de grès ornementaux 1900 conservés en extérieur : quatre vases grand format d'Alfred Finot édités par Émile Müller (Musée de l'École de Nancy) : Recherche appliquée au collage d'une céramique lourde et poreuse, restauration de l'une des œuvres*, mémoire soutenu à l'INP, département des restaurateurs, 2007.

DE WITTE (E.), 1983-1984

DE WITTE, *Les polymères synthétiques*, Notes de cours, 1983-1984, 16 p.

DUPONT (P.), 2002

DUPONT (P.), *Étude et conservation-restauration de statuaire de biscuit de porcelaine et de verre : "Jean de La Fontaine" (biscuit de porcelaine de Sèvres) d'après Pierre Julien, musée Crozatier, Le Puy-en-Velay : "Les enfants enlacés" (verre) de René Lalique, musée des Arts et Métiers, Paris : Étude comparative du comportement au vieillissement artificiel de trois résines : Hxtal NYL-1 (époxyde), Araldite 2020 (époxyde), Araldite 2026 (polyuréthane), utilisées pour le collage et le comblement des matériaux vitrifiés*, mémoire soutenu à l'INP, département des restaurateurs, 2002.

GALL-ORTLIK (A.), 2000

GALL-ORTLIK (A.), *Étude et traitement de deux émaux peints de Limoges du musée des Arts décoratifs, Paris (Bénitier avec plaque et "Le pianiste" de Louis-Léon Jouhaud) : Recherche technico-scientifique : Le comportement du polyuréthane au vieillissement*, mémoire soutenu à l'ENP-IFROA, département des restaurateurs, 2000.

Crédit photographique

Toutes les illustrations dont l'origine n'est pas mentionnée dans le corps de texte ont été réalisées par l'auteur.

Annexes

Annexe 1. Apport des analyses	I
Annexe 2. Tableau récapitulatif des étapes de fabrication	II
Annexe 3. Valeurs culturelles des cavaliers en fonction de leur histoire matérielle.	III
Annexe 3. Valeurs culturelles du Guerrier en fonction de son histoire matérielle.....	IV
Annexe 4. Calcul de la contrainte maximale : Trois cavaliers.	V
Annexe 5. Tests d'imprégnation et de mise en forme du renfort.	VI
Annexe 6. Tests de corrosion artificielle.....	VII
Annexe 7. Résultats détaillés des essais de flexion des stratifiés.....	VIII
Annexe 8. Rapports d'analyses	IX
Annexe 9. Fiches techniques.	XXIV
Annexe 10. Recette de teinture de la crêpeline de doublage	XLII
Annexe 11. Récapitulatif des interventions menées sur les oeuvres	XLII

Annexe 1. Apport des analyses

Étude technologique/ État de conservation des œuvres

Matériaux observés/analysés	Méthode d'examen/d'analyse	Résultats
Métaux	Loupe binoculaire	Les silhouettes sont découpées depuis la face vers le revers, la lame est insérée suite à un percement au burin ou à l'aide d'un outil coupant et les contours ne sont pas repris à la lime
Armatures	Test à l'aimant	Les armatures sont effectuées dans des tiges en alliage ferreux
Supports en Zinc		Zinc presque pur avec 1% de plomb et des traces de cadmium, probablement des éléments contenus dans le minerai (impuretés). Les silhouettes ont toutes la même composition.
Armatures	Pixe	Les armatures sont galvanisées, ce qui explique leur bon état de conservation en surface.
Brasures		Les brasures sont composées d'un alliage d'étain à forte teneur en plomb. Les silhouettes présentent toutes des brasures de composition similaire, même pour ce qui est des réparations sur les 3 cavaliers.
Papier : 3 cavaliers		Le papier de la silhouette des 3 cavaliers est constitué d'un mélange de pâte chiffon et de pâte chimique blanchie de fibres de bois
Papier : 4 cavaliers	Hertzberg / Lofton Meritt	Fibres textiles, pâte chimique blanchie
Papier : Guerrier		Le papier de la silhouette du Guerrier est composé majoritairement de fibres de bois (résineux) et résulte de l'utilisation d'une pâte chimique ayant subi une opération de cuisson bisulfite et sulfate blanchie.
Colle/encollage	Chromatographie en phase gazeuse/spectromètre de masse et réactif coloré	Les colles de chacune des silhouettes sont à base d'amidon et non de protéines, comme nous le supposions.
Repeints éventuels	Observation MEB d'une coupe stratigraphique	La silhouette des Trois cavaliers n'aurait pas été repeinte puisqu'une seule couche picturale est observée sur l'échantillon.
Couche picturale noire	Observation visuelle	La couche présente toutes les caractéristiques d'une peinture à la colle.
Textile	Microscope	Fibres de coton.
Textile	Loupe binoculaire	Présence d'une toile et non d'une gaze comme cela était supposé.
Bois	Observation visuelle	Patin en résineux avec découpe sur quartier.
Identification corrosion	Diffraction de rayons X	Chlorures de zinc près des brasures ; oxyde de zinc et produits amorphes.
Micro-organismes	Microscope et mise en culture	Identification de structures fongiques actives sur la silhouette des Quatre cavaliers.

Annexe 2. Tableau récapitulatif des étapes de fabrication

Grandes étapes de fabrication	Interventions	3 cavaliers	4 cavaliers	Guerrier
Conception de la silhouette	<i>Dessin préparatoire</i>	x		x
	<i>Copie de forme</i>		x	
Fixation du papier	<i>Collage</i>	x		x
Mise en forme du Zn	<i>Laminage</i>	x	x	x
Découpage	<i>Sciage</i>	x	x	x
	<i>Percement</i>	x	x	x
Mise en forme des armatures	<i>Torsion</i>	x	x	
Fixation des armatures	<i>Soudure des armatures</i>	x	x	
	<i>Soudure des étendards</i>	x		
Réparations	<i>Soudures</i>	x		
Mise en place du patin	<i>Vissage du bois</i>		x	
	<i>Clouage et/ou vissage</i>	x		
Anciennes interventions	<i>Clouage, perte du patin</i>	x		
Finitions	<i>Couche monochrome noire</i>	x		
	<i>Lavis d'encre brune</i>			x
Ajouts de matériaux	<i>Papier</i>		x	
	<i>Textile</i>		x	
Fixation des ajouts	<i>Collage</i>		x	
Réparations	<i>Soudures</i>		x	
	<i>Ajout d'armature</i>			x

Annexe 3. Valeurs culturelles des cavaliers en fonction de leur histoire matérielle.

Périodes Valeurs	Création	1ère utilisation manipulation	2ème utilisation décoration	Entrée en collection ou Patrimonialisation	Patrimonialisation connue	Aujourd'hui
	1886-1897	1886 et 1897	1892-1897 à 1905	1905-1952	1952-2008	2008
Artistique	Considérable mais prendre en compte la pièce de théâtre dans sa globalité					
Esthétique	Important					
Historique	Non	Décor de la Tour ?		Très important, Chat Noir		
Usage	Considérable		Non			
Recherche	Faible				Important	
Éducation	Non					Important
Ancienneté	Non			Importance de l'aspect ancien s'accroît avec le temps		
Nouveauté	Important, peinture noire	Non		Non		Non
Sentimentale	Moyen		Important ?		Moyen ?	
Monétaire	Non, sauf vente de 1905					Peu
Associative	Considérable, silhouettes associées dès leur création à leur auteur, Caran d'Ache					
Commémorative	Moyen, son sens évolue selon les périodes			Non		
Rareté	Faible					Moyen

DATES	1886, 1 ^{ère} représentation de l'Épopée, 1897, mort de Salis	1886, 1 ^{ère} représentation de l'Épopée, 1897, mort de Salis	1892, achat de Naintré par Salis 1897, mort de Salis, 1905, vente de la Tour	1905, achat de l'Épopée Collection privée ? Mise en réserve ? Exposition ? 1952, inscription dans l'inventaire	1952, inscription dans l'inventaire 1952-1986, musée Paul Chéron de la Martinière 1986-2006, musée Sully 2006-2007, réserves	2007-2008, étude
-------	------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------

Annexe 3. Valeurs culturelles du Guerrier en fonction de son histoire matérielle.

Périodes Valeurs	Création	1ère utilisation	2ème utilisation	Entrée en collection ou Patrimonialisation	Patrimonialisation connue	Aujourd'hui
	1889	1889 et 1897	1892-1897 à 1905	1905-1950-1952	1952-2008	2008
Artistique	Considérable mais prendre en compte la pièce de théâtre dans sa globalité					
Esthétique	Important					
Historique	Non		Décor de la Tour ?	Très important, Chat Noir		
Usage	Considérable		Non			Moyen
Recherche	Non					Important
Éducation	Non					Important
Ancienneté	Non			Important, l'aspect ancien s'accroît avec le temps		
Nouveauté	Non					
Sentimentale	Non		Important ?	Important		
Monétaire	Non, sauf une possible vente en 1905, mais peut aussi être un don					Faible
Associative	Considérable, silhouettes associées dès leur création à leur auteur, Albert Robida					
Commémorative	Faible, son sens évolue selon les périodes			Non		
Rareté	Important					Considérable

DATES	1886, 1 ^{ère} représentation de <i>la Nuit des temps</i>	1889, 1 ^{ère} représentation de <i>la Nuit des temps</i> 1897, mort de Salis	1892, achat de Naintré par Salis 1897, mort de Salis, 1905, vente de la Tour	1905, achat de l' <i>Épopée et de la nuit des temps</i> ? Collection privée ? Mise en réserve ? Exposition ? 1952, inventaire	1952, inscription dans l'inventaire 1952-1986, musée Paul Chéron de la Martinière 1986-2006, musée Sully	2007-2008, étude
-------	-------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------

Annexe 4. Calcul de la contrainte maximale : Trois cavaliers.

Calcul du poids du drapeau support par la zone de bris la plus sollicitée :

Pour chaque drapeau le poids considéré est une surestimation du poids réel : c'est celui d'un drapeau plein, de géométrie simplifiée dans lequel est contenu le drapeau réel. Le poids des armatures est également pris en compte.

Principe du calcul :

Surface du drapeau virtuel : A

Masse volumique du drapeau (zinc) : $\rho_z=7140 \text{ kg/m}^3$

Épaisseur du drapeau : $h=0,7 \text{ mm}$

Longueur des armatures de petite section : l_1

Longueur des armatures de grande section : l_2

Section des petites armatures : $s_1 = \pi d_1^4 / 4$

Section des grandes armatures : $s_2 = \pi d_2^4 / 4$

Masse volumique des armatures (acier) : $\rho_a=7800 \text{ kg/m}^3$

Masse du drapeau : $M = \rho_z hA + \rho_a (l_1 s_1 + l_2 s_2)$

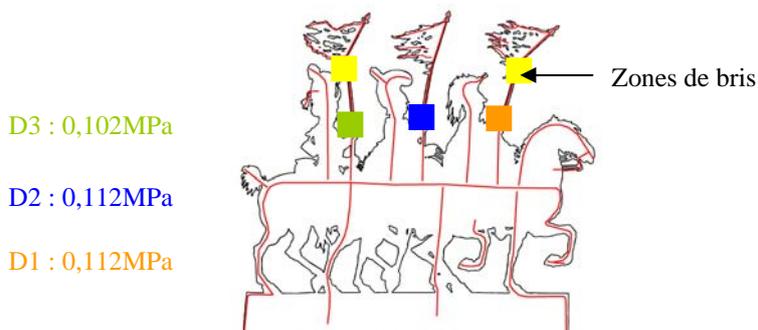
Contrainte correspondante sur la hampe au niveau de la cassure : $\sigma = \frac{Mg}{S}$

Avec : $g \approx 10 \text{ m/s}^2$

S : section de la hampe = $0,6 \cdot 10^{-2} * 0,7 \cdot 10^{-3} = 4,2 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$

Application aux trois drapeaux :

	D1	D2	D3
A	0,0094 m ²	0,0094 m ²	0,0086 m ²
l_1	29,3 cm	25,8 cm	24 cm
l_2	13,2 cm	22 cm	11 cm
d_1	0,1 cm	0,1 cm	0,1 cm
d_2	0,2 cm	0,2 cm	0,2 cm
M	0,047 kg	0,047 kg	0,043 kg
σ	0,112 MPa	0,112 MPa	0,102 MPa



Annexe 5. Tests d'imprégnation et de mise en forme du renfort.

Critères :

Facilité d'imprégnation par l'Araldite 2020®

Bon rapport rigidité-souplesse

Transparence

Mise en forme sur une surface accidentée (armature en laiton)

Fibres	Grammage	Adhésif	Observations
Fibres de verre	49		Bonne imprégnation Trop grande souplesse Très bonne transparence Très bonne mise en forme
Fibres de verre	80		Bonne imprégnation Moyenne souplesse Très bonne transparence Très bonne mise en forme
Fibres de verre	163		Bonne imprégnation Moyenne souplesse Bonne transparence Très bonne mise en forme
Fibres de verre	280		Bonne imprégnation Rigide Moyenne transparence Moyenne mise en forme
Polyester intissé	25		Bonne imprégnation Trop grande souplesse Très bonne transparence Mise ne forme moins bonne que pour la fibre de verre
Polyester intissé	46		Bonne imprégnation Rigide Très bonne transparence Mise ne forme moins bonne que pour la fibre de verre
Polyester/viscose intissé	45		Bonne imprégnation Rigide Très bonne transparence Mise ne forme moins bonne que pour la fibre de verre

Annexe 6. Tests de corrosion artificielle.

Pour la fabrication de la patine nous avons fait varier différents paramètres :

- *La concentration de l'acide et le temps d'immersion de l'échantillon.*
- *Le pH* : d'après les tables de thermodynamique l'oxyde de zinc est stable dans un domaine de pH limité compris entre 8 et 10. Il faut donc déterminer s'il est préférable d'atteindre ces pH ou s'il est possible de former des produits de corrosion stables en milieu acide.
- *L'agitation* est importante car elle permet d'éviter la formation de corrosion localisée, caractérisée par l'apparition de cratères, ce qui rompt le film stable.
- Deux *produits de corrosion* ont été analysés par diffraction de rayon x en incidence rasante au C2RMF afin de vérifier que les produits formés correspondent bien à ceux souhaités. Les échantillons immergés dans des solutions d'acides nitriques ont bien formé des oxydes de zinc, et les échantillons immergés dans des solutions d'acides nitriques additionnées de carbonate de sodium ont formé des carbonates de zinc.

À l'issu de ces essais nous avons mis en place des critères d'observation:

- *Le film doit être le plus homogène possible afin de limiter l'interaction de la colle avec le métal et pour pouvoir reproduire au mieux le patine sur l'ensemble des échantillons.*
- *L'épaisseur du film* doit être suffisamment importante pour masquer l'éclat métallique du zinc.
- *L'adhérence du film* en sortie d'immersion ne doit pas être trop faible car cela pourrait fausser les résultats d'adhérence des résines.

Tests effectués:

Produit oxydant	Sel	pH	temps	Observations
HNO ₃ , 0,5%	sans	0-1	1h30	Eclat métallique, gris hétérogène, peu adhérent
HNO ₃ , 0,5%	sans	0-1	3h00	Noir, mat, hétérogène
HNO ₃ , 1%	sans	5-6 (NaOH)	1h00	Éclat métallique visible, corrosion se développe le long des traits de laminage
HNO ₃ 2%	sans	0-1	1h00	Mat, noir, non homogène et peu adhérent
HNO ₃ 2%	sans	0-1	2h00	Surface non homogène, piqures blanches, perte de masse
Bichromate de potassium 1%	sans	5	5 jours	Aucune corrosion, pas de changement d'aspect ni de perte de masse
Bichromate de potassium 1%	sans	7-8	5 jours	Aucune corrosion, pas de changement d'aspect ni de perte de masse
Permanganate de potassium	sans	indéterminable	5 jours	Dépôt jaune très hétérogène et de très faible épaisseur
HNO ₃ , 1%	0,2 % NaCO ₃	1	10 mn	Éclat métallique, produits corrosion gris, uniforme, éclat métallique visible
HNO ₃ , 2%	0,3 g NaCO ₃	1	10 mn	Mat homogène, noir peu adhérent
HNO ₃ , 2%	0,3 g NaCO ₃	5,5	10 mn	Aucune corrosion, pas de changement d'aspect ni de perte de masse
HNO ₃ , 2%	0,5% NaCO ₃	1	10 mn	Mat homogène, noir peu adhérent
HNO ₃ , 2%	1% NaCO ₃	1	40 mn	Mat homogène, couleur noire peu adhérent
HNO ₃ , 1%	0,2 % NaCO ₃	1	1h30 mn	Éclat métallique, produits corrosion gris, uniforme, adhérent

Annexe 7. Résultats détaillés des essais de flexion des stratifiés

Échantillon	Poids en gr	Flèche en mm				
		1	2	3	4	5
a	5	5	5	5	5	/
	10	11	10	10	10	
	15	15	14	15	15	
	20	20	18	20	20	
	25	23	21	23	22	
b	5	8	8	9	/	
	10	16	15	18		
	15	22	20	22		
	20	24	24	25		
	25	26	26	27		
c	5	1	1	1	/	
	10	3	3	3		
	15	5	5	5		
	20	6	7	7		
	25	8	9	9		
	30	10	11	11		
	40	13	14	14		
50	15	16	16			
d	5	1	1	2	1	/
	10	3	4	4	4	
	15	5	6	7	7	
	20	7	8	9	9	
	25	10	10	10	11	
	30	11	11	12	12	
	40	15	15	16	15	
50	17	17	18	17		
A	5	3	3	3	3	3
	10	6	8	5	5	7
	15	9	11	8	8	10
	20	11	15	11	11	12
	25	14	18	13	13	14
	30	17	20	15	16	17
B	5	7	7	6	/	
	10	11	12	12		
	15	17	17	17		
	20	20	20	20		
	25	23	22	23		
C	20	3	3	2	/	
	30	5	5	5		
	40	7	8	6		
	50	9	9	8		
	60	11	11	10		
	100	18	17	16		
D	20	3	3	3	/	
	30	5	5	5		
	40	6	7	6		
	50	8	9	7		
	60	9	11	8		
	100	15	16	15		
Zinc	0	3,79	2,79	2,86	/	
	150	4,46	3,46	3,43		
	300	5,18	4,14	4,24		
	450	6,2	4,95	5,02		
	600	7,8	5,87	6,09		
	750	9,82	7,46	7,42		

Annexe 8. Rapports d'analyses

Rapport d'étude INP-DR. 08-03 du laboratoire de l'INP p. X

- *Identification de la colle des Trois cavaliers.*
- *Observation d'une coupe stratigraphique du papier.*

Rapport d'étude INP-DR. 08-36 du laboratoire de l'INP p. XIV

- *Identification de la colle des Quatre cavaliers.*

Rapport d'étude INP-DR. 08-35 du laboratoire de l'INP. P. XVI

- *Identification de la colle du Guerrier.*

Compte-rendu d'étude C2RMF/R 14371 effectuée par David Bourgarit. P.XVIII

- *Identification des alliages et des techniques de fabrication.*

Étude biologique effectuée par Michaela Berner. P. XXI

- *Identification des espèces fongiques.*
- *Mise en culture.*

Compte-rendu d'étude C2RMF effectuée par Michel Dubus. P. XXIII

- *Identification des produits de corrosion du zinc.*

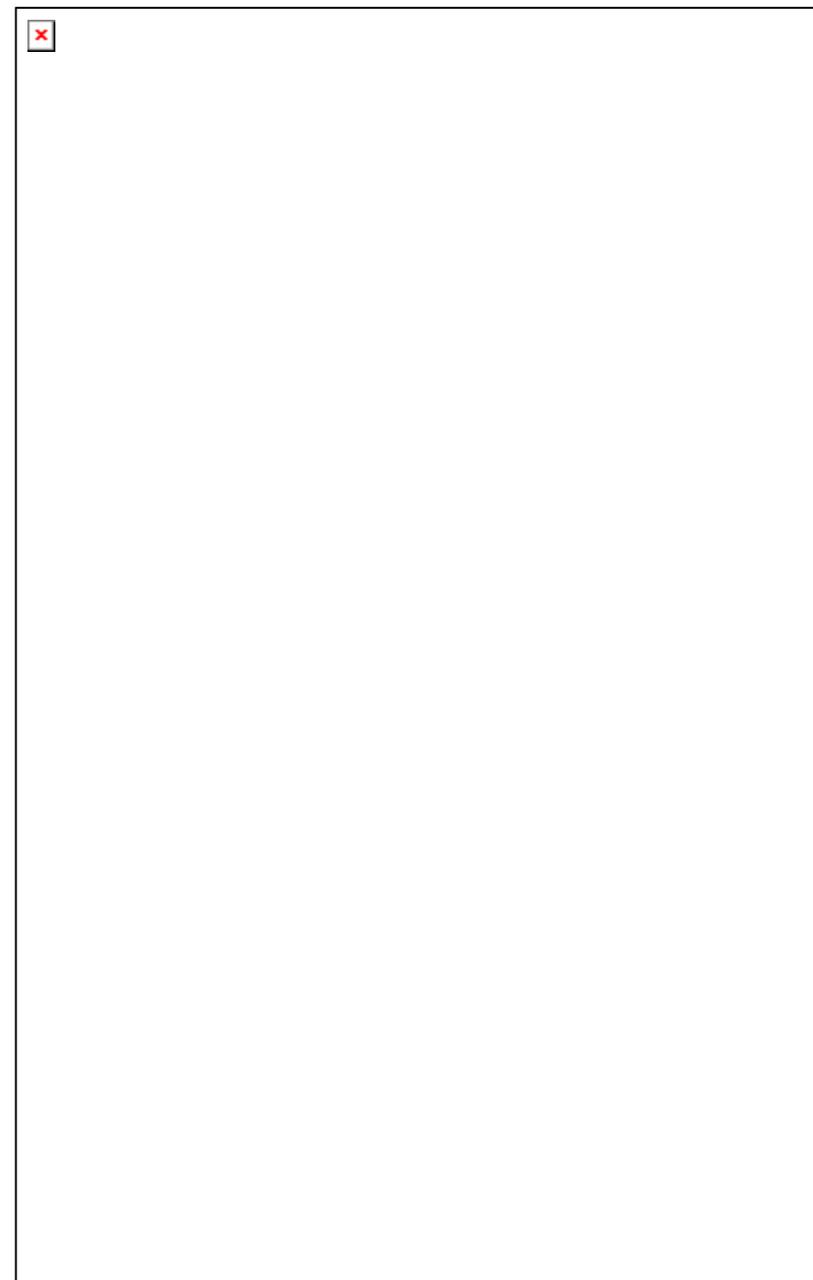
 Institut national du patrimoine
150, avenue du Président Wilson, 93210 Saint-Denis La Plaine
Tél. 01 49 46 57 00, Fax 01 49 46 57 01
Internet : www.inp.fr

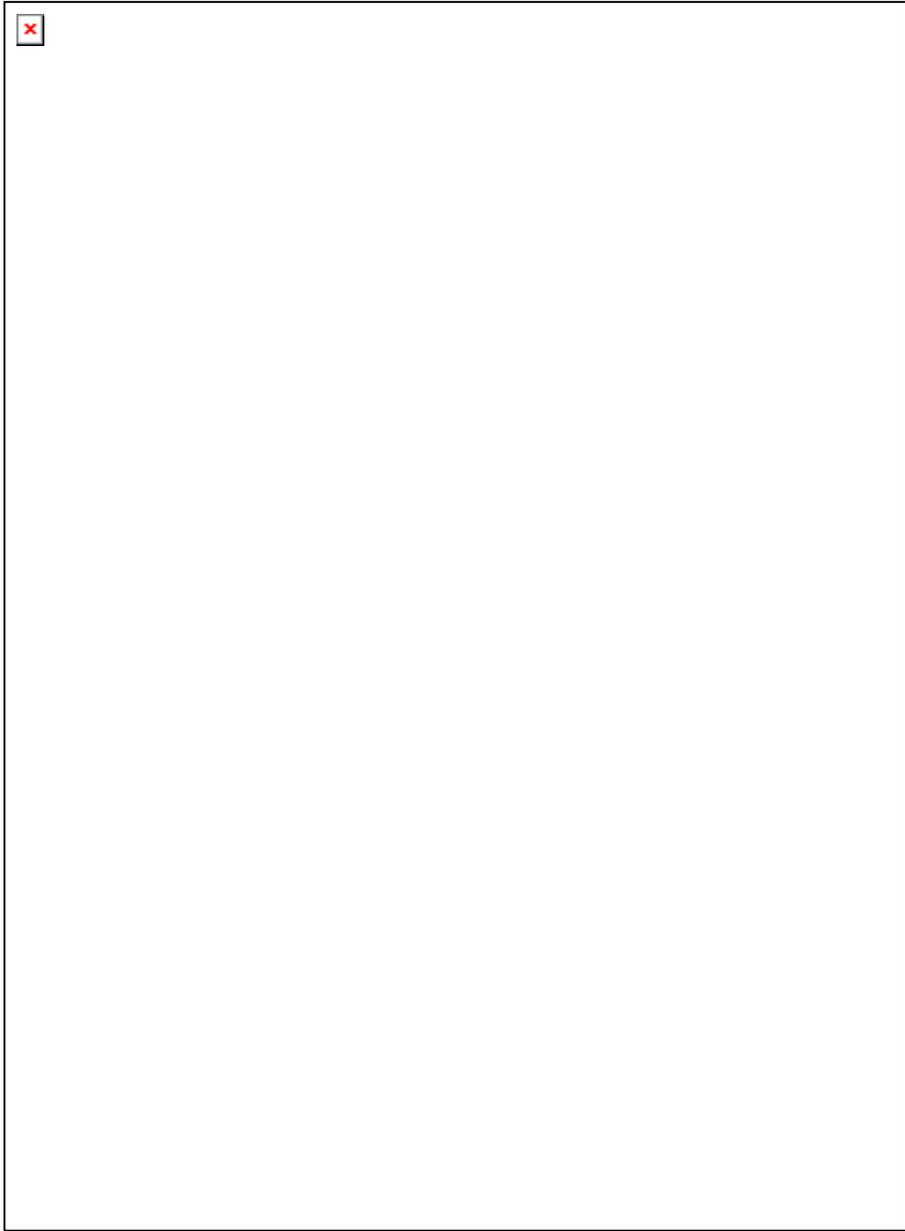
Département
des restaurateurs

Institut national du patrimoine
Département des restaurateurs
Laboratoire
Rapport d'étude INP-DR.08-03
15 juillet 2008

Spécialité Arts du feu
Silhouette d'ombres des Trois cavaliers, cabaret du Chat Noir de Montmartre
Caran d'Ache [1886-1897]
Châtellerault (Vienne), musée Sully
N° d'inventaire : 13 838-26
N° d'enregistrement INP : 2007.084

Ce rapport comporte 6 pages et 1 planche hors-texte
16 images numériques sur CR-ROM sont jointes à ce rapport (liste en annexe 1).
Sa reproduction totale ou partielle est soumise à l'accord de l'Institut national du patrimoine.





Rapport d'étude INP-DR.08-03, page 4 sur 6

2. METHODES ANALYTIQUES ET CONDITIONS OPERATOIRES

2.1. Analyses des composés inorganiques

Le prélèvement 07-AF-084/01, destiné à l'étude stratigraphique, a été enrobé dans une résine polyester (ESCIL SODY33), abrasé au carbure de silicium et poli à la poudre diamantée (1 µm).

L'échantillon a d'abord été observé au microscope photonique polarisant (MP) - en lumière polarisée et en lumière analysée/non polarisée (dite « lumière naturelle », MPLN) – puis en microscopie à fluorescence (MF)². Il a ensuite été examiné en microscopie électronique à balayage (MEB), à 20 kV, sous vide partiel.

Les pigments et matières de charge présents ont été identifiés par microanalyse X : un spectromètre à sélection en énergie des rayons X émis par l'échantillon (EDS), couplé au MEB, permet d'obtenir une analyse chimique élémentaire qualitative. Ce type de microanalyse ne permet pas la caractérisation des composés organiques (colorants, liants, vernis, etc.) et n'autorise que difficilement la localisation et l'identification des constituants carbonés comme les noirs végétaux.

2.2. Analyses des composés organiques

Les prélèvements 07-AF-084/02 et 07-AF-084/03 correspondent chacun à un fragment de papier recouvert d'une couche picturale de couleur noire.

Une partie du prélèvement 07-AF-084/02 a été traitée avec le solvant d'extraction dichlorométhane/méthanol (CH₂Cl₂/CH₃OH, 95/5 v/v) et laissée une heure dans une cuve à ultrasons. La solution a ensuite été filtrée et évaporée à sec sous argon. L'extrait sec a été directement transméthylé par addition de trifluorure de bore dans le méthanol (BF₃/CH₃OH, 20% v/v) pendant 1 heure à 70°C afin de rechercher l'éventuelle présence de marqueurs moléculaires caractéristiques de la résine diterpénique colophane.

La phase organique recueillie après extraction à l'hexane a été analysée par chromatographie en phase gazeuse munie d'un détecteur à ionisation de flamme (CG/DIF) puis par chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (CG/SM) avec un mode d'ionisation par impact électronique (IE) sous 70 eV et un système dispersif de type trappe ionique. L'acquisition est réalisée en mode *full scan* avec un balayage en masse compris entre 25 et 650 uma. Ce type d'analyse ne permet pas la caractérisation de composés inorganiques.

La seconde partie du prélèvement 07-AF-084/02 a été soumise à une hydrolyse acide (acide chlorhydrique, 6 M) pendant 24 heures à 110°C, neutralisée puis dérivée au chloroformiate d'éthyle afin de mettre en évidence d'éventuels composés protéiques. L'échantillon dérivatisé a été caractérisé par chromatographie en phase gazeuse munie d'un détecteur à ionisation de flamme (CG/DIF) puis par chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (CG/SM).

L'échantillon 07-AF-084/03 a été disposé dans 300 µl d'eau distillée tempérée à 70°C puis passé 1 heure aux ultrasons. La solution obtenue a été filtrée à chaud à l'aide d'un filtre seringue en PVDF (PolyVinylidène Fluoride) de porosité 0,22 µm et de diamètre 13 mm, ce qui permet d'éliminer toute fibre désolidarisée du prélèvement.

Le filtrat obtenu a été évaporé à sec et traité par méthanolyse (chlorure d'acétyle/méthanol, 1/25 v/v, 80°C/24h) et silylation (Sylon™ HTP Sigma-Aldrich, 80°C/2h) afin d'y rechercher l'éventuelle présence de composés polysaccharidiques. L'échantillon dérivatisé a été caractérisé par chromatographie en phase gazeuse munie d'un détecteur à ionisation de flamme (CG/DIF) et chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (CG/SM).

²Filtres utilisés : excitation 330-380 nm, émission ≥ 420 nm (MFUV) ; excitation 450-490 nm, émission ≥ 520 nm (MFBL).

3. RESULTATS

Les résultats sont présentés suivant la nature de l'analyse, inorganique ou organique. Les illustrations des échantillons sont placées dans des planches hors-texte.

3.1. Analyses des composés inorganiques

Prélèvement 07-AF-084/01, papier peint en noir

Planche I

4	Couche picturale noire, aspect hétérogène et granuleux - Epaisseur : 4,8-21,1 µm - Fluorescence : - Terre noire : fer, aluminium, silicium et potassium. Présence en faible quantité de calcium.
3	Papier, aspect fibreux - Epaisseur : 24-46 µm - Fluorescence : +++ Couche organique. Corrosion du zinc : produits chlorés et soufrés.
2	Blanc : colle, sels métalliques, strate fissurée et craquelée - Epaisseur : 22-50 µm - Fluorescence : +++ Couche organique avec la présence de corrosion du zinc soufrée et de chlorée.
1	Blanc, sous forme d'un grain ovoïde de densité hétérogène - Epaisseur : 15-22 µm - Fluorescence : +++ Corrosion du zinc avec présence de chlore, de soufre et en moindre quantité de silicium et d'aluminium.

Interprétations

L'observation des strates démontre l'absence de repeints (Planche I.f). Nous émettons donc l'hypothèse que la couche picturale a été posée à l'époque du Chat Noir, avant la dispersion des œuvres dans les différentes collections, puisque la majorité des silhouettes de *L'Épopée* est recouverte d'une peinture qui semble similaire.

L'épaisseur de la couche picturale est irrégulière. Elle apparaît particulièrement fine par endroits, ce qui nous permet de penser qu'elle a été dégradée (le prélèvement a été effectuée aux abords d'une zone lacunaire, donc déjà altérée).

Des grains de corrosion sont situés juste en dessous de la couche picturale. Ils ont donc migré au travers de la strate de papier, phénomène qui a peut-être été facilité par le matériau hygroscopique placé dans une atmosphère humide et instable. La corrosion est aussi présente sur toute la partie inférieure de la strate C2 ce qui a pu entraîner des pertes d'adhérence du papier sur le support en zinc ; altération que nous avons observée sur chacune des silhouettes d'ombres.

La présence de chlore est de soufre est extrêmement réduite dans la strate C2 ce qui suggère l'absence de chlorures ou de sulfures de zinc. Les quelques éléments présents sont peut-être à mettre en relation avec la présence de polluants atmosphériques.

Nous voulions confronter ces résultats avec ceux de l'analyse par diffraction de rayons X mais les produits de corrosion n'ont pas pu diffracter en raison de leur structure amorphe. Ce cas est relativement particulier car il suggère que des cristaux n'ont pas pu se développer. D'après les tables présentant les constantes de solubilité des sels, il s'avère que l'hydroxyde de zinc est un des éléments qui peut se présenter sous forme amorphe. Cette altération plus communément appelée « rouille blanche » ou « tache de réserve humide », se développe lorsque l'eau se condense sur le métal, empêchant le dioxyde de carbone de se déposer en surface pour former des carbonates ou des oxydes stables³. Il est probable que les sels observés sous le papier soient donc des hydroxydes qui se sont formés en relation avec les fibres hygroscopiques du papier.

3.2. Analyses des composés organiques

3.2.1. Prélèvement 07-AF-084/02, encollage et colle du papier peint en noir

L'étude réalisée en CG/DIF et CG/SM sur le prélèvement 07-AF-084/02 a mis en évidence la présence de composés huileux en très faible quantité, principalement l'acide palmitique et l'acide stéarique. L'acide azélaïque, produit par l'oxydation d'acides gras insaturés, a aussi été détecté mais seulement à l'état de trace.

Par ailleurs, il n'a pas été mis en évidence la présence de marqueurs moléculaires indiquant la présence de la résine diterpénique colophane. Enfin, il n'a pas non plus été mis en évidence la présence de composés protéiques.

3.2.2. Prélèvement 07-AF-084/03, colle du papier peint en noir

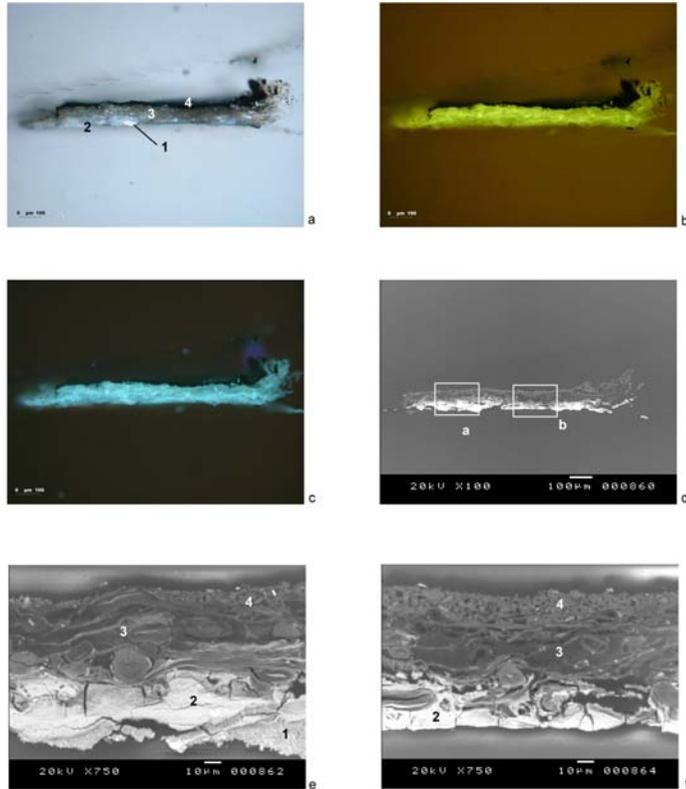
L'étude réalisée en CG/DIF et CG/SM sur le prélèvement 07-AF-084/03 a mis en évidence la présence de polysaccharides. L'unique présence du monosaccharide glucose laisse supposer qu'il s'agit d'amidon.

Afin de vérifier de manière rapide cette hypothèse, un test microchimique à l'aide d'une solution iodo-iodurée (Iugol) a été réalisé par l'étudiante en charge de la restauration. La coloration bleue observée sur le prélèvement par la précipitation d'iode indique la présence d'amidon.

Etude stratigraphique, analyse des composés inorganiques et rédaction.....	Bénédicte Massiot sous la direction de Anne Genachte-Le Bail
Réalisation du test microchimique concernant l'échantillon 07-AF-084/03.....	Bénédicte Massiot sous la direction de Gaël-François Jeannel
Etude des composés organiques et rédaction.....	Gaël-François Jeannel

³ C.A. GRISSOM, The conservation of outdoor zinc sculpture, In *Ancient and Historic Metals*, David A. Scott, Jerry Podany et Brian B. Considine, The Getty Conservation Institute (Los Angeles), 1994, pp. 279-304.

PLANCHE I
PRÉLÈVEMENT 07-AF-084/01
MICROPHOTOGRAPHIES



Légende :
a. microscope photonique, lumière polarisée, obj. x10 ;
b. microscope à fluorescence, λ_{exc} Obj. x10 ;
c. microscope à fluorescence, λ_{exc} Obj. x10 ;
d. microscope électronique à balayage, électrons rétrodiffusés, mode composition, x100 ;
e. microscope électronique à balayage, électrons rétrodiffusés, mode composition, détail a, x750 ;
f. microscope électronique à balayage, électrons rétrodiffusés, mode composition, détail b, x750.
 Photographies : © INP / clichés A. Genachte-Le Bail

Rapport d'étude INP-DR 08-03 - ANNEXE 1

DOSSIER PHOTOGRAPHIQUE

16 images numériques

Spécialité :	ARTS DU FEU	N° INP : 2007.084
Intervenants :	A. Genachte-Le Bail B. Massiot	Auteur / provenance : Caran d'Ache Titre/désignation : Silhouette d'ombres des Trois cavaliers Lieu de conservation : Châtellerault - Musée Sully

Institut national du patrimoine
Département des restaurateurs du patrimoine

Auteur	Date	Stade de l'intervention	Commentaires sur le stade	Emplacement	Référence*
A. Genachte-Le Bail	-	-	-	Voir rapport d'étude	07-AF-084-01 loupe bino (1).JPG
A. Genachte-Le Bail	-	-	-	Voir rapport d'étude	07-AF-084-01 loupe bino (2).JPG
A. Genachte-Le Bail	-	-	-	Voir rapport d'étude	0708401-MP-obj x10 1352 échelle.jpg
A. Genachte-Le Bail	-	-	-	Voir rapport d'étude	0708401-MP-obj x10 1352.JPG
A. Genachte-Le Bail	-	-	-	Voir rapport d'étude	0708401-MF-filtre3-obj x10 1354 échelle.jpg
A. Genachte-Le Bail	-	-	-	Voir rapport d'étude	0708401-MF-filtre3-obj x10 1354.JPG
A. Genachte-Le Bail	-	-	-	Voir rapport d'étude	0708401-MF-filtre4-obj x10 1355 échelle.jpg
A. Genachte-Le Bail	-	-	-	Voir rapport d'étude	0708401-MF-filtre4-obj x10 1355.JPG
A. Genachte-Le Bail	-	-	-	Voir rapport d'étude	0708401-Nv1-meb-x100-LV-ER-000860.bmp
A. Genachte-Le Bail	-	-	-	Voir rapport d'étude	0708401-Nv1-meb-x750-LV-ER-000861.bmp
A. Genachte-Le Bail	-	-	-	Voir rapport d'étude	0708401-Nv1-meb-x750-LV-ER-000862.bmp
A. Genachte-Le Bail	-	-	-	Voir rapport d'étude	0708401-Nv1-meb-x750-LV-ER-000863.bmp
A. Genachte-Le Bail	-	-	-	Voir rapport d'étude	0708401-Nv1-meb-x750-LV-ER-000864.bmp

Rapport d'étude INP-DR 08-03 - ANNEXE 1

DOSSIER PHOTOGRAPHIQUE

16 images numériques

Spécialité :	ARTS DU FEU	N° INP : 2007.084
Intervenants :	A. Genachte-Le Bail B. Massiot	Auteur / provenance : Caran d'Ache Titre/désignation : Silhouette d'ombres des Trois cavaliers Lieu de conservation : Châtellerault - Musée Sully

Institut national du patrimoine
Département des restaurateurs du patrimoine

Auteur	Date	Stade de l'intervention	Commentaires sur le stade	Emplacement	Référence*
A. Genachte-Le Bail	-	-	-	Voir rapport d'étude	0708401-Nv1-meb-x750-LV-ER-000865.bmp
A. Genachte-Le Bail	-	-	-	Voir rapport d'étude	0708401-Nv1-meb-x350-LV-ER-000866.bmp
A. Genachte-Le Bail	-	-	-	Voir rapport d'étude	0708401-Nv1-meb-x2000-LV-ER-000867.bmp

Légende des images

Code	Légende
Sept premiers chiffres	référence de l'échantillon
Niv. I, II, III, etc	niveaux stratigraphiques
CartoX	images de répartition des éléments (images X)
• Quanti	images traitées : contraste de quantification
MEB	microscope électronique à balayage
• HV	vide poussé
• LV	vide partiel
• ES	électrons secondaires
• ER	électrons rétrodiffusés
• Topo	électrons rétrodiffusés, mode topographie
• Compo	électrons rétrodiffusés, mode composition
• Shadow (SH)	électrons rétrodiffusés, ombre
• Tit	angle d'inclinaison de l'échantillon
MPFC	microscope photonique à fond clair, lumière visible
MPFN	microscope photonique à fond noir
MPLD / MPLP1/2	microscope photonique, lumière visible polarisée / semi-polarisée
MPLN	microscope photonique, lumière visible naturelle
MF	microscope à fluorescence (épi-fluorescence)
STM	stéréomicroscopie
X50, X100, etc.	grossissement total du microscope
objX10, X25, etc.	grossissement de l'objectif
X2, X3, etc.	zoom numérique
UV	filtre de microscope à fluorescence : excitation 330-380 nm – émission 400 nm
BL	filtre de microscope à fluorescence : excitation 450-490 nm – émission 500 nm
EG	extrémité gauche
C	zone centrale
ED	extrémité droite
Inf	zone inférieure
Med	zone médiane
Sup	zone supérieure
Fu	coloration par la fuschine acide : Fu1 = après coloration
BM	coloration par le bleu de méthylène : BM1 = après coloration
Leg	indique une image légendée

inp Institut national du patrimoine
150, avenue du Président Wilson, 93210 Saint-Denis La Plaine
Tél. 01 49 46 57 00, Fax 01 49 46 57 01
Internet : www.inp.fr

Département
des restaurateurs

Institut national du patrimoine
Département des restaurateurs
Laboratoire
Rapport d'étude INP-DR.08-36
21 juillet 2008

Spécialité Arts du feu
Silhouette d'ombres des Quatre cavaliers, cabaret du Chat Noir de Montmartre
Caran d'Ache [1880-1890]
Châtelleraut (Vienne), musée Sully
N° d'inventaire: 13838.25
N° d'enregistrement INP : 2007.083

Ce rapport comporte 4 pages.
Sa reproduction totale ou partielle est soumise à l'accord de l'Institut national du patrimoine.





Rapport d'étude INP-DR.08-36, page 4 sur 4

2. METHODES ANALYTIQUES ET CONDITIONS OPERATOIRES

Le prélèvement 07-AF-083/01 a été séparé en deux fragments afin d'y effectuer les recherches demandées mettant en jeu deux protocoles distincts.

Un fragment du prélèvement 07-AF-083/01 a été traité avec le solvant d'extraction dichlorométhane/méthanol ($\text{CH}_2\text{Cl}_2/\text{CH}_3\text{OH}$, 95/5 v/v) et laissé une heure dans une cuve à ultrasons. La solution a ensuite été filtrée et évaporée à sec sous argon. L'extrait sec a été directement transméthylé par addition de trifluorure de bore dans le méthanol ($\text{BF}_3/\text{CH}_3\text{OH}$, 20% v/v) pendant 1 heure à 70°C afin de rechercher l'éventuelle présence de marqueurs moléculaires caractéristiques de la résine diterpénique colophane.

La phase organique recueillie après extraction à l'hexane a été analysée par chromatographie en phase gazeuse munie d'un détecteur à ionisation de flamme (CG/DIF) puis par chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (CG/SM) avec un mode d'ionisation par impact électronique (IE) sous 70 eV et un système dispersif de type trappe ionique. L'acquisition est réalisée en mode *full scan* avec un balayage en masse compris entre 25 et 650 uma. Ce type d'analyse ne permet pas la caractérisation de composés inorganiques.

Le second fragment du prélèvement 07-AF-083/01 a été disposé dans 500 µl d'eau tempérée à 70°C et placé pendant 1 heure aux ultrasons afin d'y extraire les composés hydrosolubles. La solution obtenue a été filtrée à chaud à l'aide d'un filtre seringue en PVDF (PolyVinylidèneDiFluoride) de porosité 0,22 µm et de diamètre 13 mm, ce qui permet d'éliminer toute fibre désolidarisée du prélèvement.

Le filtrat obtenu a été évaporé à sec et soumis à une hydrolyse acide (acide chlorhydrique, 6 M), pendant 24 heures à 110°C, neutralisé puis dérivé au chloroformiate d'éthyle afin de mettre en évidence d'éventuels composés protéiques. L'échantillon dérivatisé a été caractérisé par chromatographie en phase gazeuse (CG/DIF) et chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (CG/SM).

3. RESULTATS

Le prélèvement 07-AF-083/01 correspond à un fragment de papier. L'étude réalisée en CG/DIF et CG/SM n'a pas mis en évidence la présence de marqueurs moléculaires indiquant la présence de la résine diterpénique colophane. Par ailleurs, il n'a pas non plus été mis en évidence la présence de composés protéiques.

Si la colle n'est pas de nature protéique, une autre hypothèse est qu'elle soit de nature polysaccharidique, à savoir à base d'amidon.

Afin de vérifier de manière rapide cette hypothèse, les prélèvements 07-AF-083/02 (fibre textile) et 07-AF-083/03 (papier) ont été effectués par l'étudiante en charge de la restauration afin de réaliser un test microchimique à l'aide d'une solution iodo-iodurée (Iugol). Pour ces deux prélèvements, la coloration bleue observée par la précipitation d'iode indique la présence d'amidon.

Réalisation des tests microchimiques concernant les échantillons 07-AF-083/02 et /03	Bénédictte Massiot sous la direction de Gaël-François Jeannel
Etude des composés organiques et rédaction.....	Gaël-François Jeannel



Institut national du patrimoine
150, avenue du Président Wilson, 93210 Saint-Denis La Plaine
Tél. 01 49 46 57 00, Fax 01 49 46 57 01
Internet : www.inp.fr

Institut national du patrimoine
Département des restaurateurs
Laboratoire

Rapport d'étude INP-DR.08-35

21 juillet 2008

Département
des restaurateurs

Spécialité Arts du feu
Silhouette d'ombres du Guerrier, cabaret du Chat Noir de Montmartre
Robida [1880-1890]
Châtellerault (Vienne), musée Sully
N° d'inventaire: 13839.2
N° d'enregistrement INP : 2007.081

Ce rapport comporte 4 pages.

Sa reproduction totale ou partielle est soumise à l'accord de l'Institut national du patrimoine.

Rapport d'étude INP-DR.08-35, page 2 sur 4



Figure 1 : INP.2007.081, Silhouette d'ombres du Guerrier, vue d'ensemble.
Légende : Le cadre rouge représente la zone d'agrandissements des prélèvements située en figure 2. © INP / Cliché G. Vanneste.

L'étude porte sur une plaque de zinc recouverte partiellement d'un papier peint et représentant la silhouette d'un guerrier. Cet objet, référencé INP.2007.081, fait partie d'un ensemble de silhouettes issues de la pièce d'ombres de *La Nuit des Temps*, utilisées à la fin du XIX^e siècle dans le cabaret du Chat Noir à Paris. Cette œuvre est conservée au musée Sully à Châtellerault.

Le laboratoire a été sollicité afin de déterminer la nature de l'encollage du papier et de la colle ayant servi à appliquer ce dernier sur la plaque de zinc. D'après les données fournies par l'étudiante en charge de la restauration, cette plaque a été réalisée par un artisan qualifié de découpeur en bois, requalifié de découpeur en bois et en métal lors de la réalisation de son travail pour le cabaret du Chat Noir. L'hypothèse de l'utilisation d'une colle animale pour l'application du papier semble alors la plus probable dans la mesure où ce type de colle est alors fréquemment employé en ébénisterie.

1. PRELEVEMENTS

Quatre prélèvements référencés 07-AF-081/01 à 07-AF-081/04 ont été effectués, les prélèvements 07-AF-081/01 et 07-AF-081/02 ont été réalisés par le laboratoire en vue d'une analyse chromatographique, les prélèvements 07-AF-081/03 et 07-AF-081/04 ont été réalisés par l'atelier Arts du feu afin de réaliser un test microchimique.

La demande formulée ainsi que le type d'analyse réalisés sont rapportés dans le tableau 1 ci-après. Les localisations sont indiquées sur la figure 2.

Tableau 1 : INP.2007.081, Silhouette d'ombres du Guerrier, : références des prélèvements et récapitulatif des demandes d'analyses.

Référence	Localisation Description	Demande Méthodes analytiques
07-AF-081/01	Lacune au niveau de la baratte, ← 1,5 cm – 5,4 cm ↑ depuis l'angle supérieur gauche de la baratte. Prélèvement mécanique de papier.	Identification de l'encollage du papier : recherche de colophane CG/DIF + CG/SM
07-AF-081/02	Sur le talon, en bordure du papier, zone non recouverte de papier. ← 0,3 cm – 2,5 cm ↑ depuis l'angle supérieur gauche du talon Prélèvement mécanique au scalpel de résidu.	Identification de la colle du papier : recherche de colophane CG/DIF + CG/SM
07-AF-081/03	Lacune au niveau de la baratte. Prélèvement mécanique de papier.	Identification de la fraction organique : recherche de l'amidon Test microchimique
07-AF-081/04	Sur le talon, en bordure du papier, zone non recouverte de papier. En dessous de /02. Prélèvement mécanique au scalpel de résidu.	Identification de la fraction organique : recherche de l'amidon Test microchimique

Méthodes analytiques : CG/DIF = chromatographie en phase gazeuse munie d'un détecteur à ionisation de flamme, CG/SM = chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse.

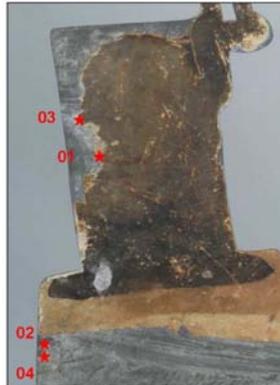


Figure 2: localisation des prélèvements 07-AF-081/01 à 07-AF-081/04, détail.
© INP / Cliché G. Vanneste.

2. METHODES ANALYTIQUES ET CONDITIONS OPERATOIRES

Le prélèvement 07-AF-081/01 correspond à un fragment de papier recouvrant l'objet métallique.

Le prélèvement 07-AF-081/01 a été traité avec le solvant d'extraction dichlorométhane/méthanol ($\text{CH}_2\text{Cl}_2/\text{CH}_3\text{OH}$, 95/5 v/v) et laissé une heure dans une cuve à ultrasons. La solution a ensuite été filtrée et évaporée à sec sous argon. L'extrait sec a été directement transméthylé par addition de trifluorure de bore dans le méthanol ($\text{BF}_3/\text{CH}_3\text{OH}$, 20% v/v) pendant 1 heure à 70°C afin de rechercher l'éventuelle présence de marqueurs moléculaires caractéristiques de la résine diterpénique colophane.

La phase organique recueillie après extraction à l'hexane a été analysée par chromatographie en phase gazeuse munie d'un détecteur à ionisation de flamme (CG/DIF) puis par chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (CG/SM) avec un mode d'ionisation par impact électronique (IE) sous 70 eV et un système dispersif de type trappe ionique. L'acquisition est réalisée en mode *full scan* avec un balayage en masse compris entre 25 et 650 uma. Ce type d'analyse ne permet pas la caractérisation de composés inorganiques.

Le prélèvement 07-AF-081/02 correspond à un résidu de colle probablement mélangé à des produits de corrosion du zinc.

Le prélèvement 07-AF-081/02 a été soumis à une hydrolyse acide (acide chlorhydrique, 6 M) pendant 24 heures à 110°C, neutralisé puis dérivé au chloroformiate d'éthyle afin de mettre en évidence d'éventuels composés protéiques. L'échantillon dérivatisé a été caractérisé par chromatographie en phase gazeuse munie d'un détecteur à ionisation de flamme (CG/DIF) puis par chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (CG/SM).

3. RESULTATS

3.1 Prélèvement 07-AF-081/01, encollage du papier

L'étude réalisée en CG/DIF et CG/SM sur le prélèvement 07-AF-081/01 n'a pas mis en évidence la présence de marqueurs moléculaires indiquant la présence de la résine diterpénique colophane.

3.2 Prélèvement 07-AF-081/02, colle du papier

L'étude réalisée en CG/DIF et CG/SM sur le prélèvement 07-AF-081/02 n'a pas mis en évidence la présence de composés protéiques. Si la colle n'est pas de nature protéique, une autre hypothèse est qu'elle soit de nature polysaccharidique, à savoir à base d'amidon.

Afin de vérifier de manière rapide cette hypothèse, les prélèvements 07-AF-081/03 (papier) et 07-AF-081/04 (résidu de colle) ont été effectués par l'étudiante en charge de la restauration afin de réaliser un test microchimique à l'aide d'une solution iodo-iodurée (Iugol). Concernant le prélèvement de papier 07-AF-081/03, la coloration bleue observée par la précipitation d'iode indique la présence d'amidon. Le résultat est négatif concernant le prélèvement de résidu de colle 07-AF-081/04.

Réalisation des tests microchimiques concernant les échantillons 07-AF-081/03 et /04	Bénédicte Massiot sous la direction de Gaël-François Jeannel
Etude des composés organiques et rédaction.....	Gaël-François Jeannel

Paris, le 15 avril 2008

CENTRE DE
RECHERCHE
ET DE
RESTAURATION
DES MUSÉES
DE FRANCE

COMPTE-RENDU D'ETUDE C2RMF/R 14371

Centre de Recherche et de Restauration
Des musées de France - C2RMF
UMR 171 du CNRS
Adresse postale :
14, quai François Mitterrand
75001 PARIS
Tél : 01 40 20 56 52
Fax : 01 47 03 32 46

Etude de 3 silhouettes d'ombre du cabaret du Chat Noir
Alliages base zinc
1886-1897
Musée Sully de Châtellerauld

Désignation des œuvres :	n ° inventaire :	n ° laboratoire :
Silhouette d'ombres, 3 cavaliers	13838.26	66461
Silhouette d'ombres, 4 cavaliers	13838.25	66462
Silhouette d'ombres, guerrier du XIV ^e siècle	13839.2	66463

Examens et analyses pratiqués au C2RMF : *PIXE métal: D. Bourgarit
Etude demandée par : Geneviève Gallot, directrice INP

Date de la demande : 21/01/2008

Rédacteurs :
David Bourgarit
01 40 20 56 39 ou david.bourgarit@culture.gouv.fr

I-Problématique

Dans le cadre de son diplôme de conservation-restauration à l'INP-restaurateurs, Bénédicte Massiot a en charge la restauration de trois silhouettes d'ombre du Cabaret du Chat Noir (voir clichés de B. Massiot en annexe). Deux d'entre elles (les cavaliers) ont été dessinées par l'illustrateur Caran d'Ache. Ces personnages apparaissent dans la pièce *L'Epopée*. Le guerrier a été conçu par Albert Robida en 1889, pour figurer le personnage principal dans *La Nuit des Temps*.

Les silhouettes ont été découpées dans des tôles laminées de 7/10^e d'épaisseur (mm), et sont visiblement constituées de zinc. Des armatures en fer ou acier recouvertes d'un métal blanc et fixées par brasure sur les tôles assurent la rigidité de l'ensemble. Plus de détails sur la fabrication nous sont donnés par Bénédicte Massiot dans son mémoire (en cours de rédaction à l'heure de la publication de ce rapport), dont des extraits sont reproduits en annexe.

Pour documenter les œuvres et aider à leur restauration, il est demandé au C2RMF de déterminer la nature des métaux constitutifs de ces trois types d'éléments (tôle, armature, brasure).

II-Conditions expérimentales

La composition du métal constitutif des plaques des silhouettes, des armatures, ainsi que des soudures a été déterminée par la méthode PIXE sur l'accélérateur AGLAE (faisceau de protons de 3 MeV d'environ 0,5 mm de diamètre avec un balayage de la surface allant jusqu'à 2x2 mm suivant les cas, la profondeur analysée est d'environ 20 µm pour du zinc, voir Calligaro *et al.*, 1998 et Dran *et al.*, 2000). Un filtre de 30µm de Co a été placé devant le détecteur haute énergie. Le suivi en simultané par RBS permet de contrôler qu'aucune altération de surface ne vient perturber la mesure. Cette technique nous a également permis, dans les conditions expérimentales de la présente étude, d'estimer de façon qualitative l'homogénéité en composition des couches de surface sur 15 µm, en particulier sur les armatures.

III- Résultats

Les résultats apparaissent dans le tableau en annexe. La localisation des analyses est reportée sur la vue de revers des silhouettes.

Les plaques :

Les trois silhouettes sont constituées du même métal, **un zinc pur à environ 99%**, avec comme éléments chimiques autres que le zinc principalement le plomb (1%), le fer et le cadmium (autour de 0,05%).

Les armatures :

L'élément principal qui ressort de l'analyse de surface est le zinc, avec parfois des teneurs importantes en plomb et étain, et plus rarement en fer. Ceci montre que les armatures – visiblement en fer ou acier eu égard aux zones de couleur rouille qui apparaissent çà et là – ont été recouvertes d'une couche de zinc. Le fait que dans la plupart des cas le fer sous-jacent n'est pas détecté montre que la couche de zinc a une épaisseur supérieure à 20 µm ; il n'est malheureusement pas possible d'estimer les épaisseurs maximales avec les techniques

employées ici. Le plomb et l'étain proviennent des brasures servant à fixer les armatures sur les plaques (voir ci-après).

Les brasures :

Sur les trois œuvres on observe les mêmes types de brasure pour la fixation des armatures, à savoir une brasure tendre dite « de plombier » utilisant **un alliage Pb-Sn à environ 30% en masse d'étain**.

IV- Discussion

Les trois plaques sont constituées du même métal. Il est tentant d'appeler ce métal presque pur du zinc *non allié*, cependant le zinc en question est plus allié que ce que la norme américaine moderne ASTM B69 (Davis 1998) range sous la dénomination « alliages Zn-Pb-Cd », réservés au laminage (voir tableau ci-dessous). La composition qui se rapproche le plus de ce zinc est celle d'un autre alliage, le zinc dit « thermique » (par opposition à électrolytique) Z6 dans la norme française moderne AFNOR A-55-101 (voir tableau ci-dessous), utilisé principalement dans les plaques ou les feuilles (Duchaussoy 1965 p 45). Seule différence visible dans notre cas, la présence de nickel à hauteur de 0,02%, alors que non dosé pour la norme (vraisemblablement inférieur à 0,001%).

norme	alliage	Pb	Cd	Fe	Sn	Cu
ASTM B69	Z21310	0,05-0,12	0,005 max	0,012	?	0,001 max
AFNOR A-55-101	Z6	1,25	0,10	0,08	0,05	0,02

Composition d'alliages Zn-Pb-Cd dans les normes américaine et française

Il eut été intéressant de comparer la composition trouvée à celle des productions de la fin du XIXe, notamment celles réservées aux laminés de l'ordre de 7/10° d'épaisseur ou approchant (notamment le n°12 de la Vieille Montagne, voir annexe Bénédicte Massiot). Malheureusement nous n'avons pas eu accès aux compositions.

La similarité de composition du métal des trois plaques n'est que peu étonnante eu égard aux informations recueillies par Bénédicte Massiot, qui montrent qu'un seul atelier a pris en charge l'essentiel des découpes des silhouettes (voir annexe). D'ailleurs, il est probable que même si plusieurs ateliers parisiens s'étaient partagés le travail, ils auraient de toute façon eu accès à des laminés de même origine.

Concernant les armatures, différents procédés de dépôt de zinc sur fer ou acier existent au XXe siècle (Duchaussoy 1965 p 69). Les deux procédés susceptibles d'avoir été utilisés au XIXe sont la « galvanisation à chaud » ou immersion dans du zinc fondu et le zingage électrolytique. A noter qu'en toute rigueur, le terme « galvanisation à chaud » est impropre car il sous entend un procédé galvanique, c'est-à-dire électrolytique. C'est cependant le terme d'usage.

Le plus ancien procédé est la « galvanisation à chaud ». Au milieu du XXe siècle, la galvanisation à chaud est pratiquée systématiquement dans toutes les usines de tréfilage de l'acier (Centre technique du zinc 1967) ; concernant le XIXe siècle, nous n'avons pas pu rassembler suffisamment d'information sur le sujet, hormis une référence à la galvanisation à

chaud des fils et tôles de fer par l'Usine de La Vieille Montagne (Ministère 1903). C'est probablement la technique utilisée dans le cas présent, d'autant qu'un gradient de concentration en zinc est observé sur les silhouettes par RBS en fonction de la profondeur (voir spectres RBS en annexe), qui pourrait rendre compte de la diffusion entre le fer et le zinc induite par ce procédé (Quantin 1993).

Le zingage électrolytique est, semble-t-il (Galvazinc association), apparu vers 1837-1842, période durant laquelle l'ingénieur français Sorel a déposé plusieurs brevets sur différents procédés de zingage (dont d'ailleurs la galvanisation à chaud sur acier). Contrairement à la galvanisation à chaud, il n'induit pas de gradient de concentration. Cependant, seuls des examens sur coupes permettraient d'être catégorique quant au procédé employé.

Bibliographie

Calligaro, T., Dran, J.C., Hamon, H., Moignard, B. et Salomon, J., 1998 - An external milli-beam for archaeometric applications on the AGLAE IBA facility of the Louvre museum, *Nucl. Instr. and Meth. B* 136-138, 339-343

Centre technique du zinc, 1967 - *Le Zinc, sa métallurgie, ses applications*, Paris, Publimag,

Davies, J. R. e. 1998. *Metals Handbook* -, ASM, 2nd edition 2006, p594

Dran, J.-C., Calligaro, T. et Salomon, J., 2000 - Particle-induced X-ray emission, in *Modern Analytical Methods in Art and Archaeology*, ed. by E. Ciliberto, G. Spoto, John Wiley, Chichester, p. 135-166

J. Duchaussoy (1965). *Le zinc*. Paris, Presses Universitaires de France.

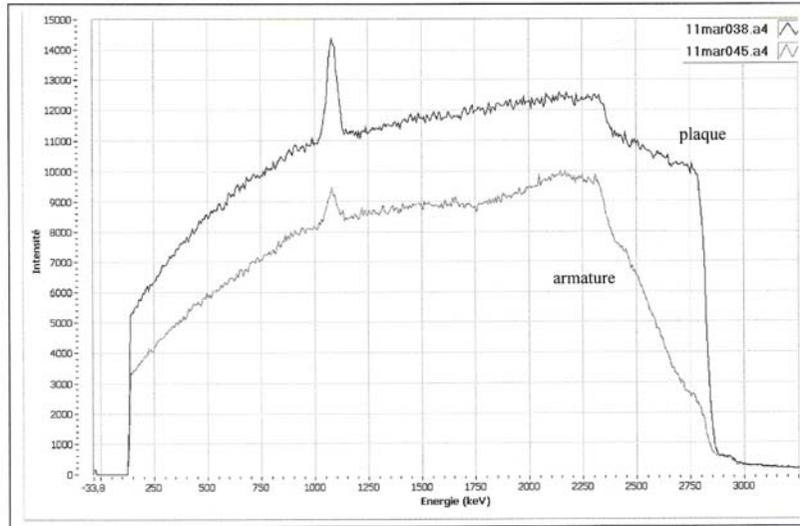
Galvazinc association, fiches d'informations, voir pagesperso-orange.fr/bernard.pironin/aquatech/acier-galva.htm et www.galvazinc.com

Ministère du commerce, d. l. i., des postes et des télégraphes 1903. *Exposition universelle internationale de 1900 à Paris. Rapports du jury international*, p 402

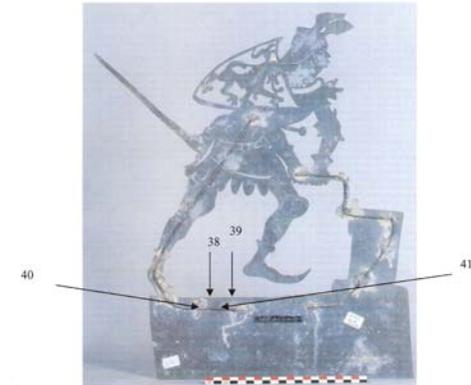
Quantin, D. 1993 - Galvanisation à chaud, In *Techniques de l'ingénieur*, M1530-1531

désignation	n° labo	localisation	Zn	Fe	Cu	Sn	Pb	Ni	Cd	Sb	Mn	Co	As	Ag	Au	Bi	n° analyse
Guerrier nuit	66463	plaque Zinc	99,0	0,02	< 0,01	< 0,004	1	0,02	0,04	< 0,007	< 0,002	< 0,02	< 0,04	< 0,004	< 0,02	< 0,04	PIXE08-11mar038
Guerrier nuit	66463	plaque Zinc	99,1	0,05	< 0,02	< 0,009	0,8	0,03	0,05	< 0,02	< 0,002	< 0,03	< 0,05	< 0,006	< 0,05	< 0,05	PIXE08-11mar039
3 cavaliers	66461	plaque Zinc	98,9	0,02	< 0,02	< 0,006	1,1	< 0,01	0,10	< 0,01	< 0,003	< 0,01	< 0,04	< 0,003	< 0,03	< 0,04	PIXE08-11mar042
4 cavaliers	66462	plaque Zinc	98,8	0,06	< 0,04	< 0,004	1,1	< 0,01	0,05	< 0,02	< 0,003	< 0,03	< 0,05	< 0,006	< 0,05	< 0,05	PIXE08-11mar048
Guerrier nuit	66463	soudure	1,5	0,02	< 3,3	26,5	72,0	nm	0,2	0,5	< 0,01		< 0,1	< 0,02	< 0,1	< 0,5	PIXE08-11mar040
3 cavaliers	66461	soudure	3,4	0,03	3,7	29,9	63,0	nm	< 0,04	0,09	< 0,02		< 0,10	< 0,010	< 0,1	< 0,4	PIXE08-11mar043
3 cavaliers	66461	patch	14,4	0,07	4,2	26,5	54,9	nm	< 0,04	< 0,06	< 0,006		< 0,1	< 0,01	< 0,2	< 0,4	PIXE08-11mar044
4 cavaliers	66462	soudure	6,0	0,3	3,3	25,7	64,7	nm	< 0,02	< 0,02	< 0,008		< 0,08	< 0,02	< 0,2	< 0,5	PIXE08-11mar047
Guerrier nuit	66463	armature Fe	88,5	9,7	0,3	0,1	1,4	0,04	0,1	< 0,01	< 0,003	< 0,09	< 0,10	< 0,004	< 0,1	< 0,1	PIXE08-11mar041
3 cavaliers	66461	armature Fe	75,9	0,4	< 0,3	10,5	13,4	< 0,2	0,07	< 0,02	< 0,006	< 0,4	< 0,1	< 0,01	< 0,1	< 0,4	PIXE08-11mar045
3 cavaliers	66461	armature Fe (avec soudure)	20,6	0,1	< 0,1	29,4	49,8	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,007	< 0,04	< 0,09	< 0,02	< 0,2	< 0,5	PIXE08-11mar048
4 cavaliers	66462	armature Fe	96,5	1,2	0,2	0,5	1,6	0,03	0,03	< 0,01	< 0,007	< 0,04	< 0,03	< 0,005	< 0,07	< 0,06	PIXE08-11mar049

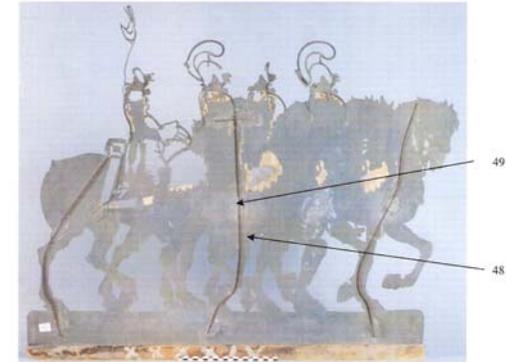
composition élémentaire de différentes parties des trois silhouettes d'ombre du cabaret du Chat noir (analyse de surface par PIXE, résultats en % massique)



spectres RBS obtenus sur différents éléments des silhouettes, plaque et armature, montrant le gradient continu de concentration en zinc dans les 20 premiers µm en surface des armatures (les numéros des spectres (38 et 45) renvoient aux analyses PIXE, voir tableau en annexe et photographies pour les localisations)



vues de l'avant et de l'arrière de la silhouette d'ombres du guerrier (inv. 13839.2, n° C2RMF 66463). Dimensions : H x L = 47 x 39 cm. Photos Bénédicte Massiot
Les points d'analyse PIXE et RBS sont reportés sur la vue de revers



vues de l'avant et de l'arrière de la silhouette d'ombres des 4 cavaliers (inv. 13838.25, n° C2RMF 66462). Dimensions : H x L = 71 x 88 cm. Photos Bénédicte Massiot
Les points d'analyse PIXE et RBS sont reportés sur la vue de revers



vues de l'avant et de l'arrière de la silhouette d'ombres des 3 cavaliers (inv. 13838.26, n° C2RMF 66461). Dimensions : H x L = 71 x 75 cm. Photos Bénédicte Massiot
Les points d'analyse PIXE et RBS sont reportés sur la vue de revers

Michaela Berner
 Biologiste
 Consultante, spécialisée en conservation-restauration
 14, rue Mayet
 75006 Paris
 n°siret : 421 981 390 00022

Etude biologique
 N° d'inventaire INP : 2007. 083
4 cavaliers, silhouette d'ombres du cabaret du Chat Noir à Montmartre
 Auteur : Caran d'Ache
 Musée Sully de Châtellerauld (N° d'inventaire : 13838. 25)

PREAMBULE

La face d'une plaque de zinc renforcée par des armatures en alliage ferreux est couverte d'éléments de papier coloré et d'une pièce de toile de coton. La plaque a été conservée dans le passé dans des conditions environnementales favorables à la croissance fongique. Les restes de papier et de coton présentent des taches suspectes pouvant être d'origine fongique ainsi que des altérations pouvant être dues plus particulièrement à la présence de champignons cellulolytiques. Des dépôts suspects ont également été observés sur le support bois.

Il a été demandé de repérer des micro-organismes éventuellement présent, de les caractériser et de donner des informations sur leur état de viabilité afin de pouvoir prendre des mesures curatives ou préventives appropriées, compatibles avec les interventions de restauration prévues (doublage et consolidation avec apport de colle cellulosique).

METHODES D'ANALYSES

- Diagnostic in situ des altérations (examen au stéréomicroscope) et élaboration de la stratégie d'échantillonnage.
- Prélèvements de microéchantillons : fibre textile, papier, bois du patin original avec dépôts blanchâtres.
- Contrôle de la viabilité et identification des organismes par méthodes complémentaires :
 - ensemencement direct sur milieux de culture gélosés (Sabouraud Agar, gélose DG 18 ; références Merck) ; incubation en étuve à 25° C sur 15 jours.
 - examen au stéréomicroscope et microscope photonique (en lumière transmise et épifluorescence sous UV) avec utilisation de colorants et d'indicateurs fluorescents.

RESULTATS DES OBSERVATIONS ET ANALYSES EFFECTUEES

Localisation et type de prélèvements	Résultats des examens et mises en culture
1. textile - zone foncée centrale ensemencement direct (prélèvement par empreinte au coton-tige stérile)	<u>Mise en culture :</u> (espèces fongiques isolées) - <i>Fusarium</i> sp. + - levures filamenteuses blanches +
2. textile - zone foncée centrale microéchantillon de fibre	<u>Examen après coloration aux fluorochromes/colorations vitales :</u> Présence de structures fongiques autour des fibres textiles : filaments pigmentés et non pigmentés ; amas de spores foncés (types sclérotés) Viabilité : partielle
3. ligne de cassure du papier coloré prélèvement d'une structure sphérique foncée	<u>Examen microscopique :</u> Structure de reproduction fongique (cléistothèce avec appendices ; Ascomycète).
4. taches foncées sur papier	<u>Mise en culture :</u> (espèces fongiques isolées) - <i>Fusarium</i> sp. + - <i>Cladosporium</i> sp +
5. taches foncées sur papier coloré (bleu) ensemencement direct (prélèvement par empreinte au coton-tige stérile)	<u>Mise en culture</u> - <i>Cladosporium herbarum</i> ++ - <i>Penicillium</i> sp. (colonie blanche) +
6. bois (patin) avec dépôt blanc	<u>Examen microscopique :</u> Absence de micro-organismes au niveau des fibres du bois.
7. dépôt blanc provenant de la surface du bois (patin)	<u>Examen microscopique :</u> Absence de structures biologiques dans les amas poudreux blancs
8. plaque de zinc n°2 : voile blanchâtre sur couche noire	<u>Examen microscopique :</u> Absence de structures biologiques

Quantité de structures fongiques, spores, conidiophores ou UFC (unités formant colonies) : + : faible ; ++ : importante ; +++ : très importante.

Illustrations

1. Aspects des altérations du papier et de la toile dans la zone échantillonnée :

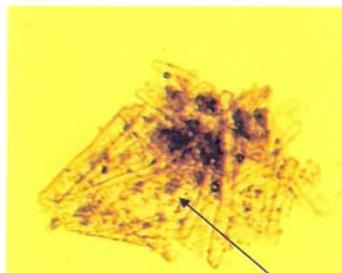


Taches brunes diffuses sur les supports textiles et papier

2. Altération caractéristique du papier dans la zone échantillonnée

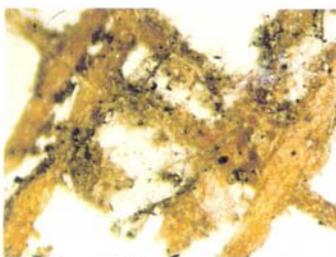


Tache blanche : formation d'un « cratère » sur le papier avec particule foncée au centre

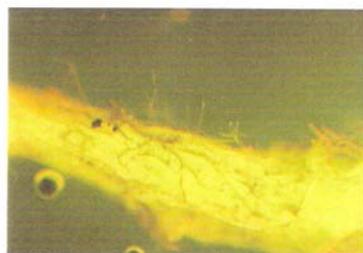


(40x) détail de la zone centrale foncée : amas de spores fongiques brunes autour des fibres de papier

3. Aspect de la toile dans la zone échantillonnée



(stéréomicroscope) fibres avec salissures



(10x) filaments fongiques pigmentés et filaments fins blancs autour d'une fibre de coton

RESUME ET CONCLUSIONS GENERALES

Les observations directes et les analyses ont permis de confirmer une contamination fongique active du papier et de la pièce de toile de coton collés sur la plaque de zinc. Le patin en bois de la plaque n'est pas manifestement infesté.

L'examen au microscope met en évidence de nombreuses structures fongiques : des filaments de diamètres variés et des résidus d'organes de reproduction pigmentés (type sclérotés, cléistothèce), bien ancrés autour des fibres de cellulose. Plusieurs espèces fongiques ont été identifiées sur les milieux de culture. Il s'agit de d'espèces fréquemment isolées sur le papier et les textiles d'origine végétale, dont certaines sont capables de dégrader la cellulose par voie enzymatique.

De par leur développement et leur métabolisme les champignons peuvent provoquer des altérations telles que celles observées : formation de taches blanches avec modification des propriétés mécaniques des matériaux cellulosiques et formation de taches foncées dues à des endopigments. Certaines espèces fongiques parmi celles isolées et observées autour des fibres textiles (*Cladosporium herbarum* ; *Cladosporium* sp.) contiennent des pigments foncés (mélanine) à l'origine de colorations brunes.

Il convient de prévoir un traitement fongicide des matériaux contaminés afin d'éviter une reprise de la croissance fongique lors du doublage ou lors de la consolidation des lacunes et de l'introduction d'une colle cellullosique.

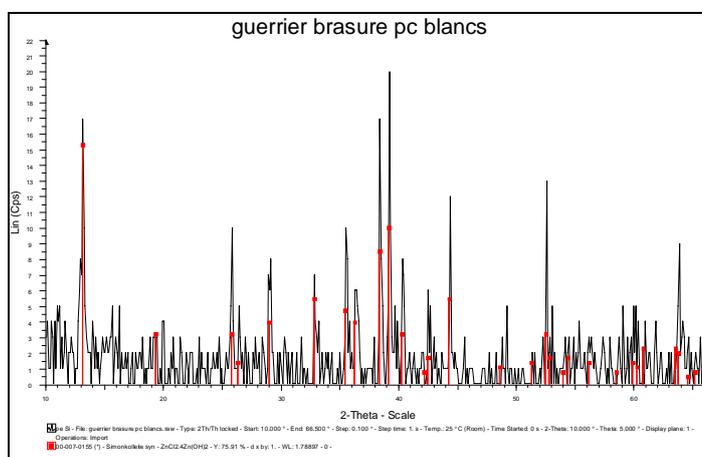
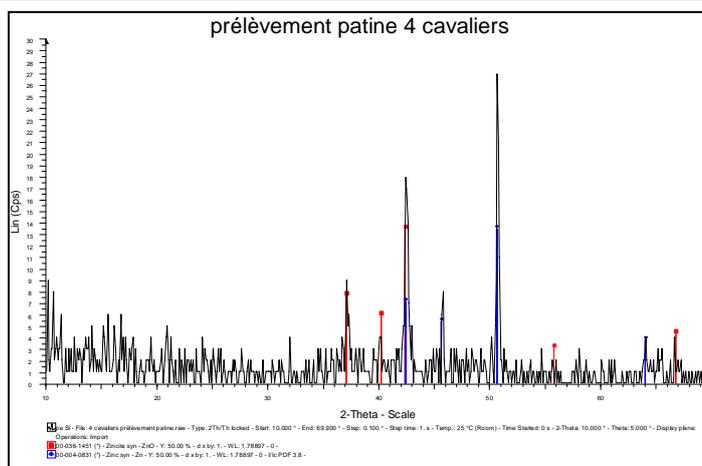
Paris, le 06.02. 2008

Michaela Berner

Compte-rendu d'étude de l'analyse par diffraction de rayons X effectuée par Michel Dubus au C2RMF¹.

Silhouette	Forme de corrosion prélevée	Identification des composés
Guerrier	Produits blancs situés sur le revers du talon	Pic amorphe, diffracte peu, donc peu identifié. Hydroxyde de zinc ?
	Produits blancs situés près des brasures	Chlorure de zinc, Zn CL ₂ . 4 Zn (OH) ₂ , Simonkoléite 7 155
Trois cavaliers	Produits blancs situés près des brasures	Chlorure de zinc, Zn CL ₂ . 4 Zn (OH) ₂ , Simonkoléite 7 155
	Produits blancs situés sous une lacune de papier	Pic amorphe, diffracte peu, donc peu identifié. Hydroxyde de zinc ?
Quatre cavaliers	Produits gris généralisés situés sous le patin (pour prélèvement)	Oxyde de zinc, ZnO, zincite.

Échantillon patiné	Identification des composés
HNO ₃ , 0,5%	Couche de patine trop mince pour être détectée : donc moins d'un % de l'ensemble. Peut-être de l'oxyde de zinc.
HNO ₃ , 1% + 0,2 % NaCO ₃	Carbonate de zinc



¹ Rapport en attente.

Annexe 9. Fiches techniques.

Produits utilisés pour la partie scientifique :

- *Araldite® 2011* p. XXV
- *Araldite® 2020* p. XXVII
- *Paraloïd® B72* p. XXIX
- *Paraloïd® B44* p. XXX
- *Aérosil 200* p. XXXI
- *La fiche technique de la fibre de verre ne nous a pas été transmise par le fournisseur, Jamara®, situé en Allemagne. Le revendeur, Radio modèle-47 ne la possède pas non plus.*

Produits utilisés pour la restauration :

- *Smoke sponge* p. XXXI
- *Vitalub QC 50* p. XXXII
- *Klucel G®* p. XXXIII
- *Intissé de nylon (Scotch brite®)* p. XXXIV
- *Paraloïd B®67* p. XXXV
- *Acryliques Lascaux®* p. XXXVI

Fiches toxicologiques :

- *Acétate d'éthyle* p. XXXVII
- *Dithionite alcalin* p. XXXIX
- *EDTA* p. XL

Advanced Materials

Araldite® 2011

Colles structurales

Araldite® 2011 Adhésif époxyde bicomposant

Propriétés essentielles

- Multi-usages
- Longue durée de vie
- Faible retrait
- Bonne résistance aux sollicitations dynamiques
- Collage d'une grande variété de matériaux d'usage courant

Description

L'Araldite 2011 est un adhésif pâteux, bicomposant, multi-usages, très résistant aux chocs, qui durcit à température ambiante.

Il est adapté au collage d'une grande variété de métaux, des céramiques, du verre, du caoutchouc, des plastiques rigides et de la plupart des matériaux d'usage courant. Il constitue un adhésif polyvalent pour la plupart des applications industrielles et artisanales.

Données concernant le produit

	2011/A	2011/B	2011 (mélange)
Couleur (visuelle)	Neutre	Jaune pâle	Jaune pâle
Densité	env. 1,15	env. 0,95	env. 1,05
Viscosité à 25°C (Pas)	30-50	20-35	30-45
Durée d'utilisation (100 g à 25°C)	-	-	env. 100 minutes

Mise en œuvre

Prétraitement

La résistance et la durée de vie d'un joint collé dépendent de la qualité du prétraitement des surfaces à assembler. Les surfaces à encoller doivent au minimum être nettoyées au moyen d'un bon agent dégraissant tel que l'acétone ou le méthoxy-propanol ou autres dégraissants de marque déposée afin d'éliminer toute trace d'huile, de graisse ou de poussière. Alcool, essence ou diluants pour peintures ne doivent jamais être utilisés.

Les joints les plus solides et durables sont obtenus par abrasion mécanique ou attaque chimique (« décapage ») des surfaces dégraissées. Une abrasion doit être suivie d'un second dégraissage.

Rapport de mélange	Parties pondérales	Parties volumiques
Araldite 2011/A	100	100
Araldite 2011/B	80	100

L'Araldite 2011 est disponible en cartouches munies de mélangeurs et peut être appliquée comme un adhésif monocomposant à l'aide de l'équipement recommandé par Huntsman Advanced Materials.

Application de l'adhésif

Le mélange résine / durcisseur est appliqué directement ou de manière robotisée sur les surfaces à assembler. Le service d'assistance technique de Huntsman sera heureux d'aider l'utilisateur dans le choix de la méthode d'application appropriée et de suggérer une série de sociétés de renom qui fabriquent et distribuent des équipements pour l'application d'adhésif.

Une épaisseur de 0,05 à 0,10 mm d'adhésif procurera normalement au joint une résistance optimale au cisaillement. Huntsman précise que la conception correcte du joint adhésif est également critique pour un collage durable. Les pièces à assembler doivent être accostées et sécurisées dans une position fixe immédiatement après l'application de l'adhésif.

Pour de plus amples explications sur la préparation et le prétraitement de la surface, la conception du joint adhésif et le système de dispersion à seringue double, consultez notre site www.araldite2000plus.com.

Entretien de l'équipement

Tous les outils doivent être nettoyés à l'eau chaude et au savon avant que les résidus d'adhésif ne durcissent. Enlever des résidus durcis est une opération longue et difficile.

Si des solvants tels que l'acétone sont utilisés pour le nettoyage, les personnes chargées de cette opération doivent prendre les précautions nécessaires et éviter tout contact avec la peau et les yeux.

Temps nécessaires pour obtenir une résistance au cisaillement minimale

Température	°C	10	15	23	40	60	100
Temps de durcissement pour atteindre RC > 1MPa	heures	24	12	7	2	-	-
	minutes	-	-	-	-	30	6
Temps de durcissement pour atteindre RC > 10MPa	heures	36	18	10	3	-	-
	minutes	-	-	-	-	45	7

RC = Résistance au cisaillement.

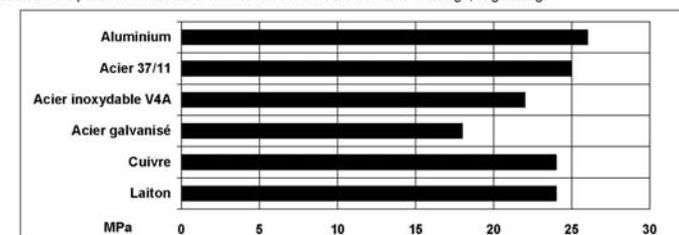
Propriétés types résistance au cisaillement

Sauf indication contraire, les chiffres indiqués ci-dessous ont tous été obtenus à partir de coupes de test standard constitués par collage de pièces en alliage d'aluminium de 114 x 25 x 1,6 mm, le recouvrement étant dans tous les cas 12,5 x 25 mm. Ces résultats ont été déterminés à partir de lots de production types en utilisant des méthodes de test standard. Ils ne constituent qu'une information technique et ne doivent être en aucun cas considérés comme une spécification du produit.

Note : les données indiquées dans cette édition sont fondées sur des tests récents du produit.

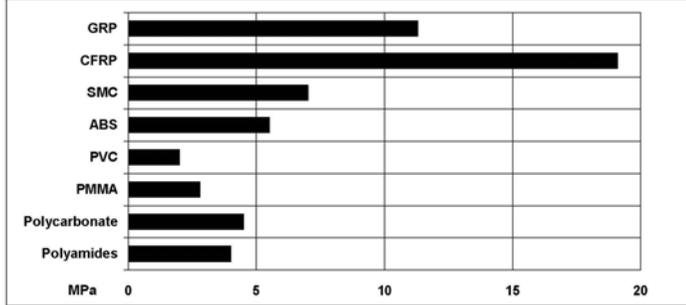
Résistances moyennes au cisaillement des collages types métal-métal (ISO 4587)

Durcissement pendant 16 heures à 40°C et test à 23°C Prétraitement – sablage, dégraissage



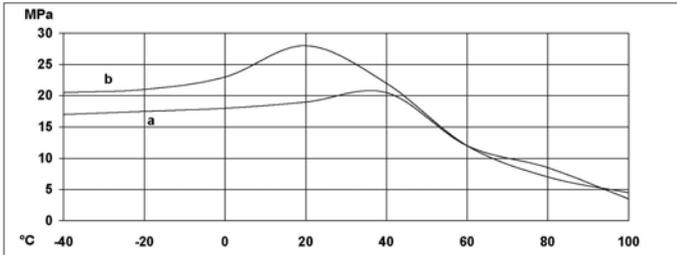
Résistances moyennes au cisaillement des collages types plastique-plastique (ISO 4587)

Durcissement pendant 16 heures à 40°C et test à 23°C Prétraitement – légère abrasion et dégraissage à l'alcool.



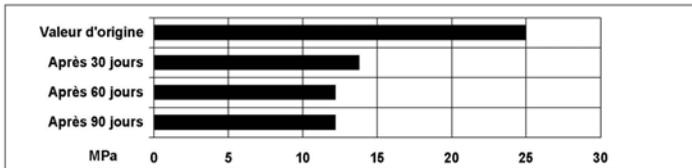
Résistance au cisaillement en fonction de la température (ISO 4587) (valeurs moyennes types)

Durcissement : (a) = 7 jours à 23°C ; (b) = 24 heures à 23°C + 30 minutes à 80°C



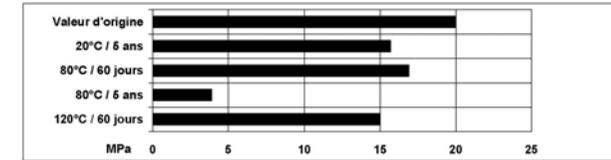
Résistance au cisaillement en conditions tropicales (40°C/ 92% HR, DIN 50017 ; valeurs moyennes types)

Durcissement : 16 heures / 40°C . Test à 23°C.



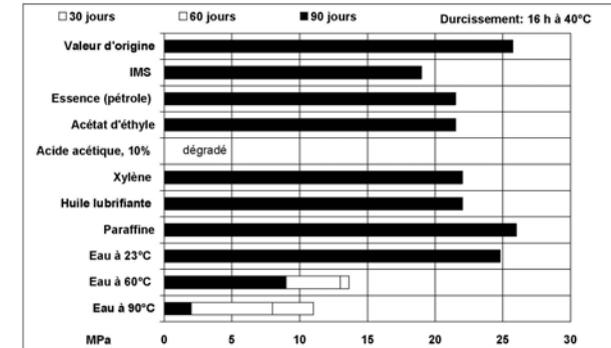
Résistance au cisaillement après un vieillissement en température

Durcissement : 16 heures / 40°C. Test : à 23°C, 50% HR



Résistance au cisaillement après une immersion dans différents milieux (valeurs moyennes types)

Sauf indication contraire, la résistance au cisaillement est déterminée après une immersion jusqu'à 90 jours à 23°C dans le milieu indiqué. Test à 23°C



Stockage

Les Araldite 2011/A et Araldite 2011/B peuvent être stockées jusqu'à 3 ans à température ambiante si les composants sont conservés dans des emballages scellés. La date de péremption figure sur l'étiquette.

Précautions d'emploi

Attention

Les produits Huntsman Advanced Materials peuvent généralement être manipulés sans risque à condition de respecter certaines précautions prises normalement lorsque l'on manipule des produits chimiques. Les matériaux non durcis ne doivent pas par exemple entrer en contact avec des produits alimentaires ou des ustensiles de cuisine, et des mesures doivent également être prises pour empêcher tout contact de la peau avec ces matériaux non durcis, car cela peut avoir un effet néfaste sur les personnes à la peau particulièrement sensible. Le port de gants imperméables en plastique ou en caoutchouc est normalement nécessaire, ainsi que l'utilisation de protections pour les yeux. Les personnes doivent se nettoyer soigneusement la peau à la fin de chaque période de travail avec de l'eau chaude et du savon. L'utilisation de solvants doit être évitée. Elles devront utiliser des serviettes en papier jetables – et non en tissu – pour se sécher la peau. Une ventilation adéquate du lieu de travail est recommandée. Les précautions d'emploi sont décrites plus en détail dans nos fiches de données de sécurité pour les produits individuels. Ces fiches sont disponibles sur demande et doivent être consultées pour de plus amples informations.

Huntsman Advanced Materials

Nos recommandations et l'assistance technique que nous apportons, fondées sur le niveau actuel de nos connaissances, ont été déterminées en fonction des applications que nous préconisons. Toute utilisation de notre produit à des fins ou conditions autres que celles-ci relèverait de votre seule responsabilité. Il vous incombe de vérifier la compatibilité de l'utilisation et des processus que vous mettez en œuvre avec notre produit, de respecter les bonnes pratiques professionnelles, et de tenir compte, sous votre responsabilité, des facteurs spécifiques à votre activité. Il vous appartient en outre de respecter les droits de propriété industrielle des tiers. Nous garantissons la parfaite qualité de nos produits en conformité avec leurs spécifications.

HUNTSMAN

Enriching lives through innovation

HUNTSMAN

Enriching lives through innovation

Advanced Materials**Araldite® 2020 (XW 396 / XW 397)**

Colles structurales

Araldite® 2020 (XW 396/XW 397)
Système époxy bicomposant transparent**Propriétés essentielles**

- Adhésif transparent, à basse viscosité
- Spécialement adapté pour le collage du verre et de la céramique
- Convient pour les matériaux transparents
- Indice de réfraction proche de celui du verre

Description

L'Araldite 2020 est un adhésif bicomposant à basse viscosité durcissant à température ambiante, particulièrement adapté au collage du verre. Il convient pour coller une large gamme de matériaux : le métal, la céramique, le verre, le caoutchouc, les plastiques rigides et d'autres matériaux d'usage courant.

Données concernant le produit

	2020 A	2020 B	Mélange
Couleur (visuelle)	Liquide transparent fluide	Liquide transparent fluide	Liquide transparent fluide
Densité	1.12	0.95	1.1
Viscosité (mPas)	150	150	150
Durée de vie (100 grs à 25°C) mins	-	-	40 - 50
Indice de réfraction	-	-	1.553
Point éclair (°C)	>140	>120	-

Mise en œuvre**Prétraitement**

La résistance et la durée de vie d'un joint collé dépendent de la qualité du prétraitement des surfaces à assembler. Les surfaces à encoller doivent au minimum être nettoyées au moyen d'un bon agent dégraissant tel que l'acétone ou le méthoxy-propanol ou autres dégraissants de marque déposée afin d'éliminer toute trace d'huile, de graisse ou de poussière. Alcool, essence ou diluants pour peintures ne doivent jamais être utilisés. Les joints les plus solides et durables sont obtenus par abrasion mécanique ou attaque chimique (« décapage ») des surfaces dégraissées. Une abrasion doit être suivie d'un second dégraissage.

Rapport de mélange	Parties en poids	Parties en volume
2020 A	100	100
2020 B	30	35

La résine et le durcisseur devront être mélangés jusqu'à ce qu'ils forment un ensemble homogène

Application de l'adhésif

Le mélange résine / durcisseur est appliqué directement ou de manière robotisée sur les surfaces à assembler. Le service d'assistance technique de Huntsman sera heureux d'aider l'utilisateur dans le choix de la méthode d'application appropriée et de suggérer une série de sociétés de renom qui fabriquent et distribuent des équipements pour l'application d'adhésif.

Une épaisseur de 0,05 à 0,10 mm d'adhésif procurera normalement au joint une résistance optimale au cisaillement. Huntsman précise que la conception correcte du joint adhésif est également critique pour un collage durable. Les pièces à assembler doivent être accostées et sécurisées dans une position fixe immédiatement après l'application de l'adhésif.

Pour de plus amples explications sur la préparation et le prétraitement de la surface, la conception du joint adhésif et le système de dispersion à seringue double, consultez notre site www.araldite2000plus.com.

Entretien de l'équipement

Tous les outils doivent être nettoyés à l'eau chaude et au savon avant que les résidus d'adhésif ne durcissent. Enlever des résidus durcis est une opération longue et difficile.

Si des solvants tels que l'acétone sont utilisés pour le nettoyage, les personnes chargées de cette opération doivent prendre les précautions nécessaires et éviter tout contact avec la peau et les yeux.

Temps nécessaires pour obtenir une résistance au cisaillement minimale

Température	°C	10	15	23	40	60	100
Temps de durcissement pour atteindre RC> 1N/mm ²	heures	24	20	16	3	-	-
	minutes	-	-	-	-	90	15
Temps de durcissement pour atteindre RC> 10N/mm ²	heures	60	48	25	7	2.5	-
	minutes	-	-	-	-	-	20

RC = Résistance au cisaillement.

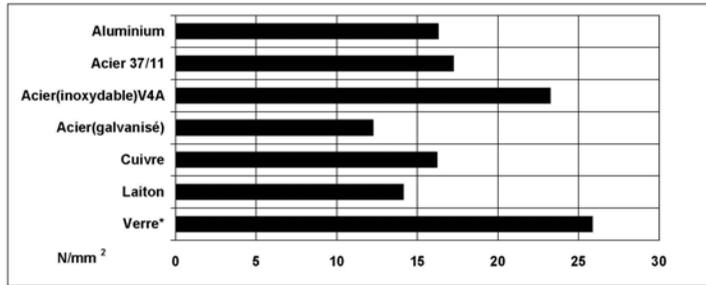
Propriétés types après durcissement

Sauf indication contraire, les chiffres indiqués ci-dessous ont tous été obtenus à partir de coupes de test standard constitués par collage de pièces en alliage d'aluminium de 114 x 25 x 1,6 mm, le recouvrement étant dans tous les cas 12,5 x 25 mm. Ces résultats ont été déterminés à partir de lots de production types en utilisant des méthodes de test standard. Ils ne constituent qu'une information technique et ne doivent être en aucun cas considérés comme une spécification du produit.

Note : les données indiquées dans cette édition sont fondées sur des tests récents du produit.

Résistances moyennes au cisaillement des collages types métal-métal (ISO 4587)

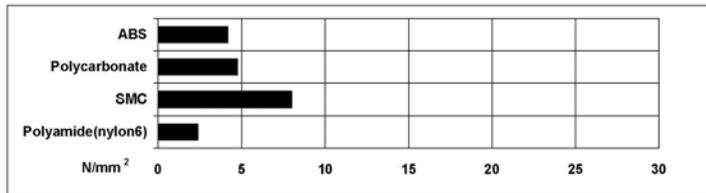
Durcissement pendant 16 heures à 40°C et test à 23°C Prétraitement – sablage, dégraissage



* : cisaillement en compression

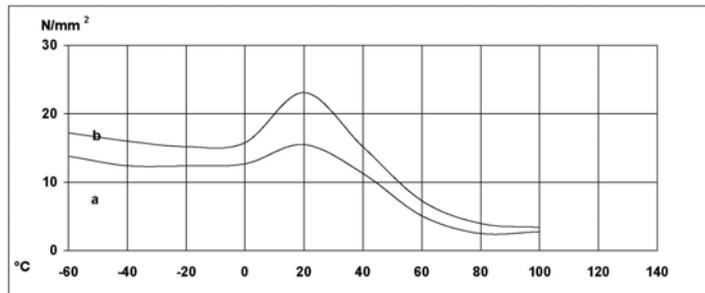
Résistances moyennes au cisaillement des collages types plastique-plastique (ISO 4587)

Durcissement pendant 16 heures à 40°C et test à 23°C Prétraitement – légère abrasion et dégraissage à l'alcool.



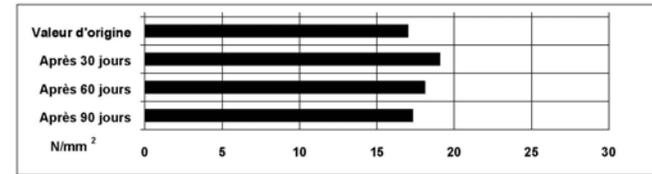
Résistance au cisaillement en fonction de la température (ISO 4587) (valeurs moyennes types)

Durcissement : (a) = 7 jours à 23°C ; (b) = 24 heures à 23°C + 30 minutes à 80°C



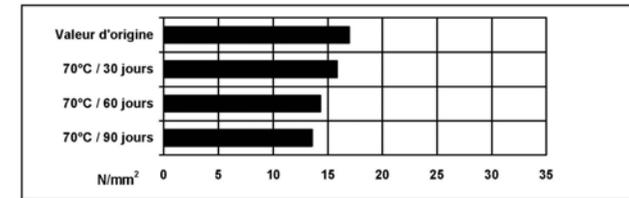
Résistance au cisaillement en conditions tropicales (40°C/ 92% HR, DIN 50017 ; valeurs moyennes types)

Durcissement : 16 heures / 40°C . Test : à 23°C.



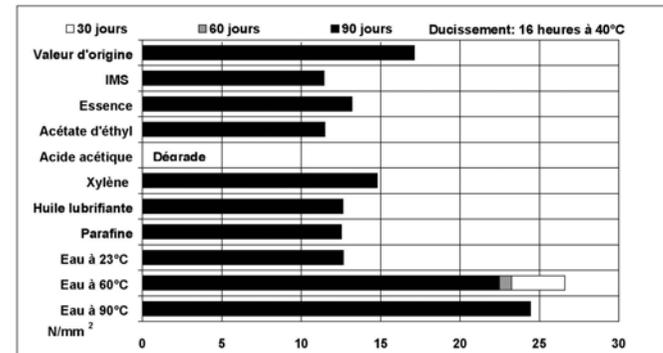
Résistance au cisaillement après un vieillissement en température

Durcissement : 16 heures / 40°C . Test : à 23°C, 50% HR



Résistance au cisaillement après une immersion dans différents milieux (valeurs moyennes types)

Sauf indication contraire, la résistance au cisaillement est déterminée après une immersion jusqu'à 90 jours à 23°C dans le milieu indiqué. Test à 23°C



ROHM HAAS

PARALOID™ B-72 100%

Solid Grade Thermoplastic Acrylic Resin

Description

PARALOID B-72 general-purpose thermoplastic acrylic resin is similar to PARALOID B-66 acrylic resin but capable of forming softer films. The approximate hardness (KHN) is 10-11 compared to 12-13 for PARALOID B-66 resin.

PARALOID B-72 acrylic resin is unique in possessing a high tolerance for ethanol. The property allows its use in applications not tolerant of strong solvents. The alcohol dispersions may be cloudy or milky. However, they form clear, coherent films.

PARALOID B-72 has low reactivity with sensitive phosphorescent and luminescent pigments to produce stable, durable, non-yellowing coatings. It is compatible with vinyls, cellulose, chlorinated rubbers, and silicones. It is well suited for white and metallic aerosols, clear coatings for wood, nitrocellulose modified coatings for general product finishing, pigment dispersion (fluorescent), flexographic printing inks, and gravure plastic coatings.

Solubility

Information about the solvent compatibility of PARALOID B-72 acrylic resin can be found in Rohm and Haas brochure B2A114—PARALOID Solid Grade Resins, Solvent Selection Chart.

Typical Properties

These properties are typical but do not constitute specifications.

Physical Form	Pellets
Bulk Density, 25°C, lb/gal	9.6
Solubility Parameter	9.3
Tg (°C)	40
Ultimate Hardness of Clear Films, KHN	10 to 11
Chemical Composition	EMA Copolymer

Properties in White Lacquers¹

Tukon Hardness	30 min. at 180°F 2.9 30 min. at 300°F 12.1	Whiteness (K color low numbers best)	30 min. at 180°F 0 30 min. at 300°F 0	Cross Hatch ³	30 min. at 180°F 0 30 min. at 300°F 0	
						30 min. at 300°F 7.7
						16 hrs. at 350°F 11.8
Pencil Hardness	30 min. at 180°F H 30 min. at 300°F H	Flexibility ² , 1/8, 1/4, 1/2 inch mandrels	0, 0, 0 4, 3, 2	Mustard Staining (30 minute exposure)	30 min. at 180°F Light 30 min. at 300°F Light	
						30 min. at 180°F
						30 min. at 300°F
Gloss, 20°	30 min. at 180°F 77 30 min. at 300°F 76	Printing, 2 psi for 1 hour at 140°F	V. Heavy Moderate	Gasoline Resistance (15 minute exposure)	30 min. at 180°F Wipes Off 30 min. at 300°F Wipes Off	
						30 min. at 180°F
						30 min. at 300°F
Gloss, 60°	30 min. at 180°F 93 30 min. at 300°F 92	Knife Adhesion	30 min. at 180°F Very Good 30 min. at 300°F Very Good	Spray Conditions	Viscosity, No. 4 Ford Cup, sec. 15 Solids Content, % 25.0	
						30 min. at 180°F
						30 min. at 300°F

Note: Drying the coatings at 300°F for 30 minutes simulates final properties of the resin.

¹The white lacquers were formulated at a titanium dioxide/binder ratio (solids basis) of 30/70. The properties were determined after coatings were sprayed on Bonderite 1000.

²The degree of cracking at the bend over each mandrel is rated on a 0 (no failure) to 10 (complete flaking) scale.

³The degree of flaking at the scribed cross hatch is rated on a 0 (no failure) to 5 (complete lift off) scale.

Additional Information

PARALOID B-65 is supplied in a powder form that is easily dissolved in aromatic hydrocarbons as well as a variety of esters and ketones.

The product detailed in this bulletin is supplied from our manufacturing facility in Louisville, Kentucky, USA with conformance to the requirements of ISO 9002 or to local equivalent quality protocols ensures consistently high standards, immaterial of the source, although the pack size and method of packaging may differ.

This product is available in Asia Pacific through Wilbur Ellis Co./Connell Bros. Co.

Safe Handling Information

Rohm and Haas Material Safety Data Sheets (MSDS) contain pertinent information that you may need to protect your employees and customers against any known health or safety hazards associated with our products. Rohm and Haas Company recommends that you have your local Rohm and Haas technical representatives supply you with MSDS on all our products before using them in your facilities. We also suggest that you contact the suppliers of other materials recommended for use with our products for appropriate health and safety regulations before use.

Chemical Registration

Many countries within the Asia-Pacific region require the registration of chemicals, either imported or produced locally, prior to their commercial use. Violation of these regulations may lead to substantial penalties imposed upon the user, the importer or manufacturer, and/or cessation of supply. It is in your interests to ensure that all chemicals used by you are registered. Rohm and Haas Company does not supply unregistered products unless permitted under limited sampling procedures as a precursor to registration.

Rohm and Haas Company makes no warranties, either expressed or implied, as to the accuracy or appropriateness of this data and expressly excludes any liability upon Rohm and Haas arising out of its use. We recommend that the prospective users determine for themselves the suitability of Rohm and Haas materials and suggestions for any use prior to their adoption.

Suggestions for use of our products or the inclusion of descriptive material from patents and the citation of specific patents in this publication should not be understood as recommending the use of our products in violation of any patent or as permission or license to use any patents of the Rohm and Haas Company. Material Safety Data Sheets outlining the hazards and handling methods for our products are available on request.

ACRYSOL, AVANSE, ELASTENE, FASTRACK, KATHON, LUCIDENE, MAINCOTE, OROTAN, PARALOID, PRIMAL, ROCIMA, ROPAQUE, ROSHIELD and WIKOLITH are trademarks of Rohm and Haas Company, or of its subsidiaries or affiliates. RHOPLEX and TAMOL are intended to designate goods sold in North and South America; the same goods may be sold in other countries generally under other company trademark designations.

All other trademarks shown in this bulletin are the property of the respective manufacturers or agents.

ROHM&HAAS

PARALOID™ B-44 100% Solid Grade Thermoplastic Acrylic Resin

Description

PARALOID B-44 solid grade acrylic resin provides an outstanding combination of hardness, flexibility, and adhesion to various substrates. It also permits wider latitude in formulating in solvents that are suitable for specific applications. The resin is slightly softer and more flexible than PARALOID A-21 acrylic resin and has excellent adhesion to various substrates.

PARALOID B-44 acrylic resin can be dissolved in toluene, xylene, selected esters, acetone, and methyl ethyl ketone. PARALOID B-44 is not soluble in most alcohols and aliphatic hydrocarbons as the sole solvent. It is well suited for a variety of applications, including treated metal, copper, zinc, brass, treated aluminum, concrete floors, and certain plastics.

Solubility

Information about the solvent compatibility of PARALOID B-44 acrylic resin can be found in Rohm and Haas brochure B2A114—*Paraloid Solid Grade Resins, Solvent Selection Chart*.

Typical Properties

These properties are typical but do not constitute specifications.

Physical Form	Pellets
Chemical Composition	MMA Copolymer
Tg, °C	60
Bulk Density, 25°C, lb/gal	9.8
Solubility Parameter	9.4
Ultimate Hardness of Clear Films, KHN	15 to 16

Properties in White Lacquers¹

		Whiteness (K color low numbers best)		Cross Hatch ³		
Tukon Hardness	30 min. at 180°F	6.5	30 min. at 300°F	7.6	30 min. at 180°F	0
	30 min. at 300°F	18.2	16 hrs. at 350°F	9.0	30 min. at 300°F	0
Pencil Hardness	Flexibility ² , 1/8, 1/4, 1/2 inch mandrels		Mustard Staining (30 minute exposure)			
	30 min. at 180°F	2H	30 min. at 180°F	2, 2, 1	30 min. at 180°F	None
30 min. at 300°F	5H	30 min. at 300°F	3, 3, 2	30 min. at 300°F	Trace	
Gloss, 20°	Printing, 2 psi for 1 hour at 140°F		Gasoline Resistance (15 minute exposure)			
	30 min. at 180°F	71	30 min. at 180°F	Moderate	30 min. at 180°F	OK
30 min. at 300°F	78	30 min. at 300°F	Trace	30 min. at 300°F	OK	
Gloss, 60°	Knife Adhesion		Spray Conditions			
	30 min. at 180°F	92	30 min. at 180°F	Excellent	Viscosity, No. 4 Ford Cup, sec.	15
30 min. at 300°F	93	30 min. at 300°F	Excellent	Solids Content, %	24.0	

Notes: Drying the coatings at 300°F for 30 minutes simulates final properties of the resin.

¹ The white lacquers were formulated at a titanium dioxide/binder ratio (solids basis) of 30/70. The properties were determined after coatings were sprayed on Bondrite 1000.

² The degree of cracking at the bend over each mandrel is rated on a 0 (no failure) to 10 (complete flaking) scale.

³ The degree of flaking at the scribed cross hatch is rated on a 0 (no failure) to 5 (complete lift off) scale.

Safe Handling Information

Rohm and Haas Material Safety Data Sheets (MSDS) contain pertinent information that you may need to protect your employees and customers against any known health or safety hazards associated with our products. Under the OSHA Hazard Communication Standard, workers must have access to and understand MSDS on all hazardous substances to which they are exposed. Thus, it is important that you provide appropriate training and information to your employees and make sure they have available to them MSDS on any hazardous products in their workplace. Rohm and Haas Company sends MSDS on non-OSHA-hazardous as well as OSHA-hazardous products to its customers upon initial shipment (including samples) of all its products (whether or not they are considered OSHA-hazardous). If you do not have access to one of these MSDS, please contact your local Rohm and Haas representative for an additional copy. Updated MSDS are sent upon revision to all customers of record. MSDS should be obtained from your suppliers of other materials recommended in this bulletin.

Rohm and Haas Company is a member of the American Chemistry Council (ACC) and is committed to ACC's Responsible Care® Program.

PARALOID is a trademark of Rohm and Haas Company or of its subsidiaries or affiliates.

These suggestions and data are based on information we believe to be reliable. They are offered in good faith, but without guarantee, as conditions and methods of use of our products are beyond our control. We recommend that the prospective user determine the suitability of our materials and suggestions before adopting them on a commercial scale.

Suggestions for uses of our products or the inclusion of descriptive material from patents and the citation of specific patents in this publication should not be understood as recommending the use of our products in violation of any patent or as permission or license to use any patents of the Rohm and Haas Company.

AEROSIL[®] Fumed Silica fourni par EVONIK-DEGUSSA

The products offered include hydrophilic and hydrophobic fumed silicas, fumed mixed oxides and hydrophilic fumed mixed oxides, special hydrophobic silicas, hydrophobic metal oxides, and dispersions.

AEROSIL[®] 200

Detailed product information

Business Unit: Aerosil & Silanes
Information:

Applications

Paints and coatings
Unsaturated polyester resins, laminating resins
and gel coats
HTV- and RTV-2K-silicone rubber
Adhesives and sealants
Printing inks
Cable compounds and cable gels
Plant protection
Food and cosmetics

Application:

Properties

Rheology and thixotropy control of liquid systems, binders, polymers, etc.
Used as anti-settling, thickening and anti-sagging agent.
Reinforcement of HTV- and RTV-2K silicone rubber.
Improvement of free flow and anticaking characteristics of powders.

Description: AEROSIL[®] 200 is a hydrophilic fumed silica with a specific surface area of 200 m²/g.





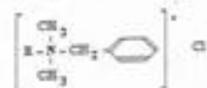
France Organo Chimique

Microbiologie Industrielle

VITALUB QC 50

**Bactéricide - Fongicide
à base d'ammonium quaternaire**

Le VITALUB QC 50 est une solution aqueuse à 50% de chlorure d'alkyldiméthylbenzyl ammonium compatible avec les produits cationiques et non ioniques et qui entre dans le cadre de la réglementation sur les produits de nettoyage du matériel pouvant se trouver au contact des denrées alimentaires.



Caractéristiques

Aspect physique	Liquide jaune pâle
pH de la solution à 1%	7,6 (+/- 0,2)
Densité à 20°C	0,985
Indice de réfraction n _D ²⁰	1,413
Solubilité	Soluble dans l'eau en toute proportion

Dosage

Détergents ménagers	3 à 5%	Assouplissants textiles	5 à 10%
Produits désinfectants	5 à 20%	Colles	2%

Efficacité contre les micro-organismes

Suivant la norme AFNOR T 72-150, baisse de la pollution bactérienne de 10⁵ en 5 minutes de contact sur des souches définies.

Souches	Concentration inhibitrice
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> CNCM A22	0,0125%
<i>Escherichia coli</i> CNCM 54127	0,0125%
<i>Staphylococcus aureus</i> CNCM 53154	0,0125%
<i>Streptococcus faecalis</i> CNCM 5855	0,0125%
<i>Mycobacterium scrofulaceus</i> CNCM 7326	0,25%

52, rue Bichat, 75010 PARIS - Tél : (1) 42 40 03 62 - Télécopie : (1) 42 40 96 47

FICHE TECHNIQUE



Ash Content: (calculated as Na ₂ SO ₄):	0.5% Max, Silica Free
Particle Size:	85% Min. through 30 Mesh (0.595 MM) 99% Min. through 20 Mesh (0.841 MM)

Instructions for Use

To dissolve KLUCEL in either water or one of the polar organic solvents the following method must be used in order to avoid lumping during the preparation of solution.

The Klucel must be pre - slurried in a non - solvent such as hot water (50 - 60°C) or glycerin, prior to the addition of the main volume of water.

Prepare a high solids slurry by adding dry Klucel powder to 6 times 9 or more) its weight of well agitated hot water. N.B. Do not allow the temperature to exceed 60° C.

Stir the slurry for a few minutes before adding to the main body of cold water. This pre - soak results in a faster dissolving of the particles in the second step. Ensure that the slurry temperature does not fall below 50° C as this would result in the formulation of a gelatinous mass.

In the second step the hot slurry is diluted with cold water (room temperature or lower). Agitation is continued until all particles are dissolved and solution is completely free of gels. Do not agitate too briskly as this causes foaming and air entrainment. Dissolving periods of 10 minutes or more may be required depending on solution concentration and viscosity type being used. The lower viscosity (E) dissolves faster than the higher viscosity (G) grade.

Application tips from users

Used as a 4% solution in ethanol for leather consolidation, Klucel has been successfully used as an adhesive for paper repair and as a consolidant for parchment material. Badly stained wooden artifacts have been cleansed by using a 1:9 water to industrial methylated spirit (95% ethanol, 5% methanol) mix in Klucel G to produce a gel. The gel is applied locally to the damaged area and covered with a protective polythene layer. After 2 - 3 hours the gel is carefully removed manually. Reapplication may be necessary before the area is washed down using industrial methylated spirits. Increasing the water content may well effect the wood grain.

Health and Safety Information

No permanent effects on humans known from discontinuous short or long term exposure when used as directed. Wet floors on which this powder is spilt may become very slippery. This powder when dispersed in air represents an explosion hazard. Handle in a well ventilated, dry area. Earth all equipment. Keep away from heat, sparks and all sources of ignition. See main material safety data sheet leaflet.

- When dispersed in air this powder represents an explosion hazard.
- Handle in a well ventilated, dry area.
- Earth all equipment.
- Keep away from heat, sparks and all sources of ignition.
- See Main MSDS leaflet.

Order Details

- Product Code: SY26 = G • SY26E = E
- Pack size available: 1 & 5 kilo pots
- For further information call + 44 (0) 1234 853 555 or fax + 44 (0) 1234 852 334

Nappes Abrasives Scotch-Brite™

La nouvelle génération de produits de nettoyage et de finition pour l'industrie métallurgique



3M Innovation



Une nappe Scotch-Brite™ pour chaque application

Disponibles en différents grains et qualités de minéraux, il y a toujours une nappe abrasive Scotch-Brite™ qui convient parfaitement à votre application.

Coupes pré-perforées

Scotch-Brite™
Spécialement conçues pour les applications manuelles, ces coupes se caractérisent par leur grande flexibilité. Présentées en rouleau-dévidoir, leur agressivité vous garantit une qualité de coupe et d'abrasion plus précise, ainsi qu'un fini uniforme sur l'ensemble de la pièce travaillée.

Scotch-Brite™ Pre-Cut handpads en rouleau-dévidoir - 115 x 150 mm

Code produit	Description	Forme	Grain	Couleur	Dim. en mm	Emballage	
						Petit	Bte.
07903	CF-SR Pre-Cut Purple™ Cleaning and Finishing	35 Pads/RL	A VFN	Violet	115 x 150	1	4
61092	CF-SR Pre-Cut General Purpose	35 Pads/RL	A VFN	Vert	115 x 150	1	4
07904	CF-SR Pre-Cut Finishing	35 Pads/RL	A LFN	Gris	115 x 150	1	4



Coupes individuelles

Scotch-Brite™
La nappe abrasive Scotch-Brite™ est également disponible en coupes et feuilles individuelles. Présentées en lot de 20 unités, avec les mêmes propriétés de coupe et de finition que les rouleaux.

Scotch-Brite™ Handpads - 115 x 150 mm

Code produit	Description	Forme	Grain	Couleur	Dim. en mm	Emballage	
						Petit	Bte.
61135	CP-HP Heavy Duty Cleaning	Handpad	A MED	Bran	115 x 150	20	80
61156	CF-HP Finishing and Finishing	Handpad	S MED	Gris fonc.	115 x 150	20	80
61149	WR-HP Heavy Duty WR Cleaning and Finishing	Handpad	A VFN	Rouge	115 x 150	20	80



Coupes pré-perforées

Scotch-Brite™ Multi-flex
Très minces et ultra flexibles, ces coupes sont proposées pour une utilisation manuelle. Pour travailler dans les contours et les coins difficiles d'accès. Présentées en rouleau-dévidoir. Modelable selon vos besoins.

Scotch-Brite™ Multi-flex handpads en rouleau-dévidoir - 100 x 200 mm

Code produit	Description	Forme	Grain	Couleur	Dim. en mm	Emballage	
						Petit	Bte.
07521	MX-SR Finishing	60 Pads/RL	A VFN	Violet	100 x 200	20	80
07522	MX-SR Finishing	60 Pads/RL	A LFN	Gris	100 x 200	20	80



La nappe abrasive Scotch-Brite™ WR - Wear Resistant (à deux faces imprégnées)

La nouvelle nappe Scotch-Brite WR offre une résistance à l'usure élevée et est revêtue de minéral abrasif sur les deux faces. Spécialement conçue pour une application mécanique, cette nappe est disponible sous différentes formes: rouleau, feuille ou disque. Convient également pour des applications manuelles difficiles.

Scotch-Brite™ Wear Resistant Cleaning and Finishing en rouleaux

Code produit	Description	Forme	Grain	Couleur	Dim. en mm	Emballage	
						Petit	Bte.
61139	WR-RL Cleaning and Finishing	Rouleau	A VFN	Rouge	100 x 10.000	1	4
61140	WR-RL Cleaning and Finishing	Rouleau	A VFN	Rouge	115 x 10.000	1	4
61141	WR-RL Cleaning and Finishing	Rouleau	A VFN	Rouge	125 x 10.000	1	4
61142	WR-RL Cleaning and Finishing	Rouleau	A VFN	Rouge	150 x 10.000	1	4
61143	WR-RL Cleaning and Finishing	Rouleau	A MED	Rouge	100 x 10.000	1	4
61144	WR-RL Cleaning and Finishing	Rouleau	A MED	Rouge	125 x 10.000	1	4

Scotch-Brite™ Wear Resistant Cleaning and Finishing - Coupes de 120 x 280 mm

Code produit	Description	Forme	Grain	Couleur	Dim. en mm	Emballage	
						Petit	Bte.
61157	WR-SH Cleaning and Finishing	Coupe	A MED	Rouge	120 x 280	10	40
61158	WR-SH Cleaning and Finishing	Coupe	A VFN	Rouge	120 x 280	10	40



Disques en nappe abrasive Scotch-Brite™ WR - Wear Resistant (à une face imprégnée)

Ces disques très résistants sont imprégnés de minéral abrasif sur une seule face. Ils se fixent en toute sécurité, sans risque de détachement, sur les plateaux 3M™ Hookit™.

Scotch-Brite™ Wear Resistant Cleaning and Finishing - Disques

Code produit	Description	Forme	Grain	Couleur	Ø x Alésage	Emballage	
						Petit	Bte.
61131	WR-DC Cleaning and Finishing	Disque	A VFN	Rouge	150 x 8	10	40
61132	WR-DC Cleaning and Finishing	Disque	A VFN	Rouge	200 x 8	10	40

Scotch-Brite™ Wear Resistant Cleaning and Finishing - Disques

Code produit	Description	Forme	Grain	Couleur	Ø x Alésage	Emballage	
						Petit	Bte.
61127	WR-DH Cleaning and Finishing	Disque	A VFN	Rouge	150	10	40
61129	WR-DH Cleaning and Finishing	Disque	A VFN	Rouge	200	20	20



ROHM&HAAS

PARALOID™ B-67 100% Solid Grade Thermoplastic Acrylic Resin

Description

PARALOID B-67 solid grade acrylic resin is a very hydrophobic polymer providing excellent water resistance. It is also a very good pigment dispersant.

PARALOID B-67 acrylic resin is particularly compatible with medium and long-oil alkyds, drying oils, and oleoresinous varnishes. When used to modify these materials, coatings with improved hardness, faster drying speed, and better retention of color and gloss result. Hold out and brushing characteristics are also improved.

PARALOID B-67 acrylic resin is recommended for general product finishing and as a topcoat in vacuum metallizing applications.

Solubility

Information about the solvent compatibility of PARALOID B-67 acrylic resin can be found in Rohm and Haas brochure B2A114--*Paraloid Solid Grade Resins, Solvent Selection Chart*.

Typical Properties

These properties are typical but do not constitute specifications.

Physical Form	Pellets
Chemical Composition	IBMA Polymer
Tg, °C	50
Bulk Density, 25°C, lb./gal.	8.6
Solubility Parameter	8.6
Ultimate Hardness of Clear Films, KHN	11 to 12

Properties in White Lacquers¹

Tukon Hardness	Whiteness (K color low numbers best)		Cross Hatch ³		
	30 min. at 180°F	13.2	30 min. at 300°F	8.4	30 min. at 180°F
30 min. at 300°F	14.0	16 hrs. at 350°F	10.5	30 min. at 300°F	3
Pencil Hardness	Flexibility ² , 1/8, 1/4, 1/2 inch mandrels		Mustard Staining (30 minute exposure)		
	30 min. at 180°F	HB	30 min. at 180°F	6, 5, 3	30 min. at 180°F
30 min. at 300°F	HB	30 min. at 300°F	6, 5, 4	30 min. at 300°F	None
Gloss, 20°	Printing, 2 psi for 1 hour at 140°F		Gasoline Resistance (15 minute exposure)		
	30 min. at 180°F	69	30 min. at 180°F	Moderate	30 min. at 180°F
30 min. at 300°F	76	30 min. at 300°F	Light	30 min. at 300°F	Dissolves
Gloss, 60°	Knife Adhesion		Spray Conditions		
	30 min. at 180°F	89	30 min. at 180°F	Very Poor	Viscosity, No. 4 Ford Cup, sec.
30 min. at 300°F	90	30 min. at 300°F	Poor	Solids Content, %	35.0

Note: Drying the coatings at 300°F for 30 minutes simulates final properties of the resin.

¹The white lacquers were formulated at a titanium dioxide/binder ratio (solids basis) of 30/70. The properties were determined after coatings were sprayed on BONDERITE 1000.

²The degree of cracking at the bend over each mandrel is rated on a 0 (no failure) to 10 (complete flaking) scale.

³The degree of flaking at the scribed cross hatch is rated on a 0 (no failure) to 5 (complete lift off) scale.

Safe Handling Information

Rohm and Haas Material Safety Data Sheets (MSDS) contain pertinent information that you may need to protect your employees and customers against any known health or safety hazards associated with our products. Under the OSHA Hazard Communication Standard, workers must have access to and understand MSDS on all hazardous substances to which they are exposed. Thus, it is important that you provide appropriate training and information to your employees and make sure they have available to them MSDS on any hazardous products in their workplace. Rohm and Haas Company sends MSDS on non-OSHA-hazardous as well as OSHA-hazardous products to its customers upon initial shipment (including samples) of all its products (whether or not they are considered OSHA-hazardous). If you do not have access to one of these MSDS, please contact your local Rohm and Haas representative for an additional copy. Updated MSDS are sent upon revision to all customers of record. MSDS should be obtained from your suppliers of other materials recommended in this bulletin.

Rohm and Haas Company is a member of the American Chemistry Council and is committed to ACC's Responsible Care® Program.

PARALOID is a registered trademark of Rohm and Haas Company or of its subsidiaries or affiliates.

Suggestions for use of our products are based on information we believe to be reliable. They are offered in good faith, but without guarantee, as conditions and methods of use of our products are beyond our control. We recommend that the prospective user determine the suitability of our materials and suggestions before adopting them on a commercial scale. None of these suggestions should be construed as recommending use of our products in violation of any patent or as permission or license to use any patents of Rohm and Haas Company.

Rohm and Haas Company maintains Material Safety Data Sheets (MSDS) on all of its products described in this publication. As the MSDS contain pertinent information that you may need to protect your employees and customers against any known health or safety hazards associated with our products, we recommend that you obtain copies of these documents for each product before its use in your facilities. We also suggest that you contact your suppliers of other materials recommended for use with our products for appropriate health and safety precautions prior to their use.

ROHM&HAAS

©Rohm and Haas, 2007 All rights reserved.

December 1996
82A122

Lascaux Water - Soluble Acrylic Adhesives 360 HV, 498 HV, 498-20X

Technical Data

Dispersion of a thermoplastic acrylic polymer on the basis of methyl methacrylate and butyl acrylate. The two types 360 HV and 498 HV are thickened with acrylic butylester. Type 498-20X contains 20% Thinner X. All types have a pH 8 - 9 and are biocide stabilized.

Solubility

Water-thinnable, insoluble in water after drying.
Permanently soluble in Acetone, Toluene, Thinner X etc.
Insoluble in White Spirit etc.

Application

For light- and ageresistant, non-crosslinking linings, marouflages, laminations, collages etc. For wet application or reactivation of dry film, on absorbent and non-absorbent supports such as paper and cardboard, textiles, wood- and fibreplates, polyesterplates, plaster and concrete, glass and acrylic glass, aluminium etc.

Lascaux Acrylic Adhesive 360 HV is extremely elastic; the dry film remains permanently tacky. Can be used as a contact adhesive when doing hot-sealing linings.

Lascaux Acrylic Adhesive 498 HV has a strong elongation at break, and is suitable for wet and dry applications (reactivation with solvents). Standard type for linings and marouflages.

Lascaux Acrylic Adhesive 498-20X is especially suited for strip-lining, fabric marouflages and mounting.

The base dispersions are also available as Plectol D-360 and Plectol D-498 without a thickening agent. More information about the Lascaux Acrylic Adhesives can be found in the documentation „Lining of paintings with Lascaux Acrylic Adhesives“.

Size

Jars in 1 lt
Buckets in 5 lt

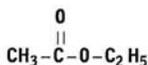
Filmproperties

	360 HV	498 HV	498-20X
Minimum film formation temp. (MFT):	approx. 0° C	approx. + 5° C	approx. 0° C
Glass transition temperature:	approx. - 8° C	approx. + 13° C	approx. + 13° C
Elongation at break:	approx. 1000%	approx. 400%	approx. 400 %
Minimum sealing temperature:	approx. + 50° C	approx. + 68-76° C	approx. + 68-76° C
Dry film:	sticky	elastic hard	elastic hard

7050.02 - 99
Published by: Alois K. Diethelm AG, Lascaux Farbenfabrik
Zürichstrasse 42, CH-8306 Brüttisellen
Tel. +41-1-807 41 41, Fax +41-1-807 41 40
www.lascaux.ch, info@lascaux.ch

Acétate d'éthyle

Fiche établie par les services techniques et médicaux de l'INRS



Nombres CAS
N° 141-78-6

Número CE (EINECS)
N° 205-500-4

Número INDEX
N° 607-022-00-5



ACÉTATE D'ÉTHYLE

- R 11 Facilement inflammable.
- R 36 Irritant pour les yeux.
- R 66 L'exposition répétée peut provoquer dessèchement ou gerçures de la peau.
- R 67 L'inhalation de vapeurs peut provoquer somnolence et vertiges.
- S 16 Conserver à l'écart de haute flamme ou source d'étincelles - No pas fumer.
- S 26 En cas de contact avec les yeux, laver immédiatement et abondamment avec de l'eau et consulter un spécialiste
- S 33 Éviter l'accumulation de charges électrostatiques

205-500-4 - Etiquetage CE.

Caractéristiques

Indice d'évaporation (oxyde de diéthyle = 1) : 2,9
Points d'éclair :
- 4,4 °C en coupelle fermée
- 7,2 °C en coupelle ouverte :
Température d'auto-inflammation : 427 °C
Limites d'explosivité en volume % dans l'air :
limite inférieure : 2,0
limite supérieure : 11,5

Utilisations

L'acétate d'éthyle est un solvant utilisé dans de nombreuses applications, notamment :
- solvant de la nitrocellulose,
- préparation de vernis, laques, encres et diluants,
- fabrication de poudre sans fumée, de cuirs artificiels, de films photographiques,
- industrie des arômes et des parfums,
- synthèse organique.

Propriétés physiques [1 à 4]

L'acétate d'éthyle est un liquide incolore et volatil, d'odeur agréable fruitée, perceptible à l'odorat à des concentrations de l'ordre de 3,9 ppm. Il est modérément soluble dans l'eau (8,7 g/100 g d'eau à 20 °C) ; son hydrosolubilité diminue lorsque la température augmente. L'eau et l'acétate d'éthyle forment un azéotrope qui bout à 70,4 °C et contient 8,5 % en poids d'eau. L'acétate d'éthyle est miscible à de nombreux solvants organiques (éthanol, acétone, oxyde de diéthyle...). Il forme avec l'éthanol un azéotrope qui bout à 71,8 °C et contient 30,8 % en poids d'alcool.

Ses principales caractéristiques physiques sont les suivantes :
Masse molaire : 88,12
Point de fusion : - 83 °C
Point d'ébullition : 77 °C à la pression atmosphérique
Densité (D₄²⁰) : 0,902
Densité de vapeur (air = 1) : 3,04
Tensions de vapeur : 5,6 kPa à 10 °C
15,5 kPa à 30 °C
37,3 kPa à 50 °C

Propriétés chimiques [1 à 4]

Dans les conditions normales d'emploi, l'acétate d'éthyle est un produit stable. Toutefois, il s'hydrolyse assez facilement au contact de l'eau, y compris l'humidité atmosphérique, en formant de l'acide acétique et de l'éthanol. Cette réaction est plus rapide à température élevée ou en présence de catalyseurs, en particulier les acides et les bases. L'acétate d'éthyle peut réagir vivement avec les agents oxydants puissants. Les métaux usuels sont sensibles à l'action de l'acétate d'éthyle. Toutefois, en présence d'acide acétique libéré par hydrolyse, celui-ci peut provoquer une corrosion de certains métaux, notamment du cuivre. Par ailleurs, certains caoutchoucs et matières plastiques ne sont pas appropriés au contact de l'acétate d'éthyle.

Réceptacles de stockage

Le stockage de l'acétate d'éthyle peut s'effectuer dans des récipients en acier ou en aluminium.
Le verre est également utilisable pour de petites quantités ; dans ce cas, les bonbonnes seront protégées par une enveloppe métallique plus résistante, convenablement ajustée.
Le cuivre n'est pas recommandé.

(* Mise à jour partielle de l'édition 1997*.)

Valeurs limites d'exposition professionnelle

Des valeurs limites indicatives de moyenne d'exposition pondérée (8 h/jour ; 40 h/semaine) dans l'air des locaux de travail ont été établies pour l'acétate d'éthyle.

- France :
400 ppm, soit 1 400 mg/m³ (VME).
- Etats-Unis (ACGIH) :
400 ppm (TLV-TWA).
- Allemagne (valeurs MAK) :
400 ppm, soit 1 500 mg/m³

Méthodes de détection et de détermination dans l'air [5, 6, 28]

- Tubes réactifs à réponse instantanée : Dräger acétate d'éthyle 200/a ; Gastec acétate d'éthyle 141 - 141 L ;
- Prélèvement par diffusion passive (badge) ou par pompage de l'atmosphère sur tube de charbon actif. Désorption par le sulfure de carbone. Dosage par chromatographie en phase gazeuse, détection par ionisation de flamme.

Risques

Risques d'incendie [2 à 4]

L'acétate d'éthyle est un liquide très inflammable (point d'éclair = - 4,4 °C en coupelle fermée) dont les vapeurs peuvent former des mélanges explosifs avec l'air dans les limites de 2 à 11,5 % en volume. Les agents d'extinction préconisés sont les suivants : dioxyde de carbone, poudres chimiques, mousses spéciales pour liquide poilaire. En général, l'eau n'est pas recommandée car elle peut favoriser la propagation de l'incendie. On pourra toutefois l'utiliser sous forme pulvérisée pour éteindre un feu peu important ou pour refroidir les récipients exposés au feu.

Pathologie - Toxicologie

Toxicité expérimentale

Aiguë [2, 7 à 15]

La DL₅₀ par voie orale chez le rat varie selon les auteurs de 5 620 à 10 200 mg/kg. Elle est de 4 935 mg/kg chez le lapin, 4 100 à 4 400 mg/kg chez la souris et 5 500 mg/kg chez le cobaye. Chez ces deux dernières espèces, on observe un effet dépressif du système nerveux central se traduisant par une somnolence, des troubles moteurs et un coma.

La DL₅₀ par voie cutanée est supérieure à 18 000 mg/kg chez le lapin.
La CL₅₀ chez le rat est de 16 000 ppm, pour

une exposition de 6 heures. Elle est de 44 000 mg/m³ (12 200 ppm) chez la souris, pour une exposition de 3 heures. Il n'a pas été déterminé de CL₅₀ chez les autres espèces animales étudiées lors d'expositions par inhalation ; la sensibilité des chats semble cependant équivalente, celle des souris plus importante.

L'importance des effets observés et leur évolution sont fonction des concentrations auxquelles les animaux sont exposés.

À fortes concentrations, à partir de 12 000 ppm, pendant 5 heures, chez le chat et de 5 000 ppm, pendant 4 heures, chez la souris, l'acétate d'éthyle exerce une toxicité neurologique centrale, marquée par des troubles de coordination, une somnolence puis un coma. Aux doses les plus élevées, les animaux morts présentent un œdème pulmonaire hémorragique avec hyperhémie du tractus respiratoire. Une anémie et une atteinte hépatique sont également observées chez le chat exposé à 43 000 ppm, pendant 14 à 16 min. L'exposition à de plus faibles concentrations est davantage marquée par la survenue de troubles en rapport avec une irritation primaire des muqueuses. Une atteinte oculaire avec irritation nasale et dyspnée apparaissent chez la souris après une exposition de 17 heures à une concentration atmosphérique de 2 000 ppm. Une atteinte de la cornée est constatée pour des concentrations plus élevées (5 000 ppm, pendant 3 à 4 heures et 10 000 ppm, pendant 45 min, chez la souris).

L'instillation oculaire de 2 gouttes d'acétate d'éthyle chez le lapin, suivie, 2 min plus tard, d'un rinçage à l'eau, entraîne immédiatement une rougeur et un discret œdème conjonctival ainsi qu'une atteinte microscopique de l'épithélium cornéen ; l'évolution spontanée vers la guérison est obtenue en 1 à 2 jours. Dans une étude portant sur plus de 300 composés chimiques, l'indice d'irritation oculaire de l'acétate d'éthyle chez le lapin a été déterminé à 2 sur une échelle de 10. L'irritation cutanée est faible : indice 1 sur une échelle de 10.

Subaiguë, chronique [2, 7 à 9, 11, 16]

Les études disponibles dans ce domaine ne sont pas toujours suffisamment documentées et leur interprétation est parfois délicate.

L'exposition répétée de 3 cobayes à 2 000 ppm, 4 heures/jour, 6 jours/semaine, n'entraîne pas de symptomatologie après 65 expositions. Le poids corporel et le nombre d'hématies et de leucocytes ne sont pas modifiés.

Des effets cardiovasculaires ont été observés dans 2 études. Chez le chien, l'administration d'acétate d'éthyle, à des doses telles que l'éthanolémie reste inférieure à 3 mg/ml, provoque une augmentation progressive du rythme cardiaque, de la pression artérielle et de la contractilité myocardique. À plus fortes doses, il y a au contraire une diminution de ces critères, avec une augmentation de la pression artérielle pulmonaire. Chez le cobaye, l'action dépressive myocardique est 10 fois plus élevée que celle provoquée avec l'éthanol.

Une atteinte hématologique marquée par une anémie avec hyperleucocytose (accompagnant une hyperthémie, un œdème diffus, une dégénération graisseuse de divers organes et

une augmentation du volume de la rate) a été observée chez le lapin, secondairement après exposition répétée à 4 450 ppm, 1 heure/jour, pendant 40 jours.

Génotoxicité [17, 18]

L'acétate d'éthyle n'est pas mutagène dans le test d'Ames sur 6 souches de Salmonella typhimurium, avec ou sans activation métabolique. Le produit est responsable d'aberrations chromosomiques sur cultures de fibroblastes de hamsters chinois sans activation métabolique (résultats douteux à 24 heures, positifs à 48 heures). Le test du micronoyau est négatif chez la souris.

Dans un essai sur une souche de Saccharomyces cerevisiae, l'acétate d'éthyle s'est révélé inducteur d'anéuploidie mitotique (maiségrégation chromosomique) mais n'a pas entraîné de recombinaison mitotique ou de mutation ponctuelle.

Cancérogénèse [19]

L'administration intrapéritonéale d'acétate d'éthyle chez des souris (74 injections réparties sur 8 semaines, avec une dose totale de 3 600 mg/kg sur 2 lots et de 18 000 mg/kg sur 2 autres lots) n'entraîne pas d'excès de tumeurs pulmonaires après 24 semaines d'observation.

Toxicocinétique - Métabolisme [7, 11, 16, 20 à 22]

Du fait de sa bonne solubilité dans le plasma, l'acétate d'éthyle traverse facilement la barrière alvéolo-capillaire. Son absorption par voie pulmonaire est donc rapide et importante, supérieure à celle de la plupart des solvants des autres familles. Le produit est également bien absorbé par voie digestive. L'absorption percutanée n'est pas déterminée.

L'acétate d'éthyle est ensuite rapidement hydrolysé, soit spontanément, soit par l'action d'estérases non spécifiques plasmatiques et hépatiques, en éthanol et en acide acétique. Ces deux produits se transforment principalement en acétyl-coenzyme A, qui est normalement oxydé dans le cycle tricarboxylique et accessoirement dégradé par la voie de céto-génèse qui conduit à la formation d'acide acétylacétique, d'acide β-hydroxybutyrique et d'acétone. L'exposition industrielle à l'acétate d'éthyle doit alors se traduire par une augmentation de la concentration de l'ester, d'éthanol et éventuellement d'acétone dans le sang.

À doses élevées, le taux d'hydrolyse de l'acétate d'éthyle semble dépasser l'oxydation de l'éthanol, entraînant son accumulation dans le système vasculaire.

Par ailleurs, des injections intrapéritonéales de 1 ml/kg, à des rats mâles, pendant 8 jours augmentent considérablement les taux sanguins d'acides lactique et pyruvique et entraînent également l'activité glycolytique enzymatique.

L'élimination est rénale et pulmonaire. Des études ont été menées chez des volontaires exposés en chambre d'inhalation à des

concentrations comprises entre 217 et 770 ppm, pendant des durées variables de 0,7 à 5 heures. La concentration d'acétate d'éthyle dans l'air alvéolaire pendant et après l'expérimentation est directement proportionnelle à l'exposition, alors qu'elle n'est pas influencée par le niveau de celle-ci. En raison de la transformation rapide de l'acétate d'éthyle dans l'organisme, la concentration d'éthanol dans l'air alvéolaire augmente fortement durant l'expérimentation et proportionnellement à la concentration de l'exposition. D'autre part, le niveau d'acétone dans l'air alvéolaire n'est pas influencé de façon significative par l'absorption d'acétate d'éthyle. Après arrêt de l'exposition, les concentrations alvéolaires en acétate d'éthyle et en éthanol diminuent rapidement; la courbe d'élimination pulmonaire n'est en rapport qu'avec les derniers instants de l'exposition et varie d'un individu à l'autre; elle ne représente donc pas une bonne estimation de l'importance d'une longue exposition.

D'autres auteurs ont montré qu'une exposition de 400 ppm (1 400 mg/m³) d'acétate d'éthyle engendrait en fin de période de travail une concentration alvéolaire de solvant de 168 mg/m³. La rétention respiratoire de l'acétate d'éthyle est plus élevée que celle d'autres solvants tels que le toluène, le trichloroéthylène, le benzène, l'acétone, l'éthanol et l'hexane; l'élimination pulmonaire est pratiquement négligeable en comparaison avec celle de ces autres solvants.

La toxicité de l'acétate d'éthyle diminue s'il est mélangé à du toluène, la toxicité du mélange est moindre que celle de chacun des deux composants pris isolément. L'acétate d'éthyle a une DL₅₀ diminuée s'il est mélangé à de l'oxyde de propylène, du propylène glycol ou du formol, augmentée s'il est associé à de la morpholine, de l'éthylène glycol ou de l'éthanol.

Toxicité sur l'homme

Peu de données sont disponibles sur la toxicité humaine de l'acétate d'éthyle utilisé isolément (ce solvant se présentant le plus souvent associé à d'autres produits chimiques). À faibles concentrations, sa toxicité semble peu importante comparativement à celle de beaucoup de solvants industriels. Par contre, à fortes doses, particulièrement à température ambiante élevée, les vapeurs émis sont susceptibles de provoquer des atteintes en rapport avec un pouvoir fortement irritant pour les muqueuses ainsi que des effets sur le système nerveux central.

Aiguë [2, 7 à 14, 16, 20, 22, 23]

Les esters aliphatiques simples sont anesthésiques lorsqu'ils sont inhalés à de très fortes concentrations (supérieure à 6000 ppm pendant plus de 2 heures, pour l'acétate d'éthyle), provoquant céphalées, vertiges, asthénie et troubles de conscience. Le pouvoir anesthésique de l'acétate d'éthyle est moindre que celui des acétates de butyle et de pentyle

et des éthers, mais il est supérieur à celui de l'éthanol, de l'acétone ou d'alcanes comme le pentane.

À concentrations plus faibles, l'acétate d'éthyle a des effets irritants pour les muqueuses: une irritation nasale, pharyngolaryngée et oculaire (conjonctivite aiguë et parfois kératite) se manifeste à 400 ppm pour une exposition très brève (3 min), ce qui préserve généralement des inhalations en plus grandes quantités. À cette concentration, il n'existe pas de symptôme en relation avec une action anesthésiante. L'acétate d'éthyle est moins irritant que les acétates de propyle et de butyle.

Une toux avec rhinite et dyspnée a été rapportée chez des sujets pratiquant une activité physique sportive importante dans des locaux pollués par de l'acétate d'éthyle et du toluène à des concentrations inférieures à la valeur admissible.

Une atteinte collective a été rapportée en France dans un atelier de montage et de finition d'une fabrique de chaussures. Vingt-trois ouvriers sur 24 présentaient des lésions oculaires se manifestant soit par de simples irritations conjonctivales, soit dans la plupart des cas par une inflammation nettement caractérisée avec rougeur, larmoiement et œdème palpébral, réalisant une conjonctivite aiguë; quelques-uns des sujets présentaient également de légères ulcérations de la cornée. L'évolution a été favorable en quelques jours et il n'a pas été noté de symptômes cutanés ou respiratoires. L'enquête a pu éliminer différentes causes possibles et mettre en évidence la responsabilité d'un mélange 2:1 d'acétate d'éthyle/acétate de n-butyle utilisé au-dessous d'une buse de chauffage à air pulsé.

Des céphalées, des vertiges et une sensation d'ébriété peuvent survenir à concentrations plus importantes, suivis d'un collapsus cardio-vasculaire et d'un coma au-delà de 10 000 ppm. Un cas d'intoxication avec décès secondaire à un coma anoxique a été rapporté en 1931 chez un sujet effectuant de la peinture avec une laque contenant 80 % d'acétate d'éthyle dans un espace confiné (intérieur de camion); l'autopsie révélait une atteinte congestive des voies aériennes supérieures, des pétéchies épicaudiques et pleurales, une hyperémie de la rate et de la foie, une hémorragie gastrique, avec une odeur caractéristique du produit au niveau de l'ensemble des organes examinés.

Les projections oculaires d'acétate d'éthyle entraînent une conjonctivite et parfois une kératite. Le contact cutané prolongé avec l'acétate d'éthyle peut être responsable d'une dermatose irritative avec dessiccation de la peau. L'application cutanée d'une solution à 10 % sous pansement occlusif, pendant 48 heures, chez 25 sujets volontaires, n'a entraîné aucune irritation.

Chronique [2, 11, 16, 20, 23, 24]

À l'exception des effets irritants sur les muqueuses, les esters aliphatiques saturés ne semblent pas exercer de toxicité cumulative. Mais il existe peu de données épidémiologiques sur la toxicité chronique de l'acétate d'éthyle.

Dans une étude menée chez des travailleurs exposés conjointement à de l'acétate d'éthyle (34 à 78 ppm) et à du toluène (2 à 68 ppm), il a été montré une diminution du nombre de plaquettes sanguines, ainsi qu'une élévation significative du taux maximum d'incorporation de la sérotonine dans les plaquettes par rapport au groupe témoin non exposé. Le bilan ionique et le pH sérique étaient normaux. Cependant, la signification physiopathologique de ce phénomène reste obscure; cette anomalie pourrait refléter certaines modifications au niveau du système nerveux central.

La survenue d'une anémie lors d'exposition chronique à faibles concentrations est discutée; on ne dispose pas d'arguments suffisants pour pouvoir imputer cette atteinte à l'acétate d'éthyle.

L'acétate d'éthyle participe probablement à la survenue du psychosyndrome organique dû aux solvants: irritabilité, troubles de la concentration, troubles du sommeil, troubles de la mémoire et baisse de l'efficacité intellectuelle.

Une irritation chronique des yeux a été rapportée chez des ouvriers exposés à l'acétate d'éthyle.

Une dermatite d'irritation (avec desquamation, rougeur et prurit) peut survenir après contact répété ou prolongé avec l'acétate d'éthyle. L'éventuelle survenue d'une sensibilisation, décrite en 1928 et 1933, marquée par une inflammation des muqueuses et une éruption eczématiforme, n'a pas été confirmée par les publications ultérieures; des tests de sensibilisation effectués sur 25 sujets volontaires à une concentration de 10 % se sont révélés négatifs.

Génotoxicité [25]

Une étude effectuée dans plusieurs industries de la peinture, portant sur des groupes de travailleurs exposés à différents solvants organiques parmi lesquels se trouvait l'acétate d'éthyle (concentration de 1 à 129 mg/m³, avec une valeur moyenne de 20 mg/m³) n'a pas mis en évidence d'augmentation de la fréquence des échanges de chromatides sœurs dans les lymphocytes circulants.

>>>

Réglementation

Hygiène et sécurité du travail

1° Règles générales de prévention des risques chimiques

- Articles R. 231-54 à R. 231-54-8 du Code du Travail.

2° Aération et assainissement des locaux

- Articles R. 232-5 à R. 232-5-14 du Code du Travail.

- Circulaire du ministère du Travail du 9 mai 1985 (non parue au J.O.).

- Arrêtés des 8 et 9 octobre 1987 (J.O. du 22 octobre 1987) et du 24 décembre 1993 (J.O. du 29 décembre 1993) relatifs aux contrôles des installations.

3° Prévention des incendies et des explosions

- Articles R. 232-12 à R. 232-12-22 du Code du Travail.

- Articles R. 232-12-23 à R. 232-12-29 du Code du Travail (décret n° 2002-1553 du 24 décembre 2002 - J.O. du 29 décembre 2002).

- Décret 96-1010 modifié du 19 novembre 1996 (J.O. du 24 novembre 1996) relatif aux appareils destinés à être utilisés en atmosphère explosible.

4° Valeurs limites d'exposition professionnelle

- Circulaire du ministère du Travail du 21 mars 1983 modifiant et complétant la circulaire du ministère du travail du 19 juillet 1982 (non parues au J.O.).

5° Maladies de caractère professionnel

- Articles L. 461-6 et D. 461-1 et annexe du Code de la Sécurité sociale: déclaration médicale de ces affections.

6° Maladies professionnelles

- Article L. 461-4 du Code de la sécurité sociale: déclaration obligatoire d'emploi à la Caisse primaire d'assurance maladie et à l'inspecteur du travail; tableau n° 84.

7° Classification et étiquetage

a) de l'acétate d'éthyle pur:
- Arrêté du 27 juin 2000 (J.O. du 25 juillet 2000) modifiant l'arrêté du 20 avril 1994 (J.O. du 8 mai 1994) qui prévoit la classification suivante:
Facilement inflammable, R 11
Irritant, R 36
R 66 - R 67

b) des préparations contenant de l'acétate d'éthyle:
- Arrêté du 21 février 1990 modifié (J.O. du 24 mars 1990).

8° Entreprises extérieures

- Arrêté du 19 mars 1993 (J.O. du 27 mars 1993) fixant en application de l'article R. 237-8 du Code du Travail la liste des travaux dangereux pour lesquels il est établi par écrit un plan de prévention.

Protection de l'environnement

Installations classées pour la protection de l'environnement, Paris, imprimerie des Journaux Officiels, brochure n° 1001:

- n° 1431, liquides inflammables (fabrication industrielle)

- n° 1432, liquides inflammables (stockage en réservoirs manufacturés)

- n° 1433, liquides inflammables (installations de mélange ou d'emploi)

- n° 1434, liquides inflammables (installations de remplissage ou de distribution).

Protection de la population

- Décret du 29 décembre 1988 relatif à certaines substances et préparations vénéneuses (articles R. 5149 à R. 5170 du Code de la Santé publique), décret du 29 décembre 1988 relatif à certaines substances et préparations dangereuses (J.O. du 31 décembre 1988) et circulaire du 2 septembre 1990 (J.O. du 13 octobre 1990):
- étiquetage (cf. 77).

Transport

Se reporter éventuellement aux règlements suivants:

1° Transport terrestre national et international (route, chemin de fer, voie de navigation intérieure)

- ADR, RID, ADN: Acétate de butyle
N° ONU: 1123
Classe: 3
Groupe d'emballage: II ou III

2° Transport par air

- IATA.

3° Transport par mer

- IMDG.

Recommandations

I - Au point de vue technique

Stockage

■ Stocker l'acétate d'éthyle à l'air libre ou dans des locaux spéciaux, frais, munis d'une ventilation, à l'abri de toute source d'ignition ou de chaleur (rayons solaires, flammes, étincelles...) et à l'écart des produits oxydants, des bases ou acides forts. Le sol de ces locaux sera incombustible, imperméable et formera cuvette de rétention afin qu'en cas d'écoulement accidentel le liquide ne puisse se répandre au-dehors.

■ Mettre le matériel électrique, y compris l'éclairage, en conformité avec la réglementation en vigueur.

■ Interdire de fumer.

■ Prendre toutes dispositions pour éviter l'accumulation d'électricité statique.

■ Fermer soigneusement les récipients et les étiqueter correctement. Reproduire l'étiquetage en cas de fractionnement des emballages.

Manipulation

Les prescriptions relatives aux locaux de stockage sont applicables aux ateliers où est manipulé l'acétate d'éthyle. En outre:

■ Instruire le personnel des risques présentés par l'acétate d'éthyle, des précautions à observer et des mesures à prendre en cas d'accident.

■ Entreposer dans les locaux de travail des quantités relativement faibles de produit et, de toute manière, ne dépassant pas celles nécessaires au travail d'une journée.

■ Éviter l'inhalation de vapeurs. Effectuer en appareil clos toute opération industrielle qui s'y prête. Prévoir une aspiration des vapeurs à leur source d'émission, ainsi qu'une ventilation générale des locaux. Prévoir également des appareils de protection respiratoire pour certains travaux de courte durée, à caractère exceptionnel ou pour des interventions d'urgence.

■ Contrôler fréquemment et régulièrement la teneur de l'atmosphère en acétate d'éthyle.

■ Éviter le contact du produit avec la peau et les yeux. Mettre à la disposition du personnel des vêtements de protection, des gants (par exemple en polychloroprène) [2, 26], des lunettes de sécurité. Ces effets seront maintenus en bon état et nettoyés après usage.

■ Interdire l'emploi d'air ou d'oxygène comprimés pour effectuer le transvasement ou la circulation du liquide.

Dithionite de sodium

Note établie par les services techniques et médicaux de l'INRS (M. Falcy, D. Jargot, M. Reynier)

Na₂S₂O₄

Numéro CAS

N° 7775-14-6

Numéros CEE

Index N° 016-028-00-1
EINECS N° 231-890-0

Synonyme

Hydrosulfite de sodium



Xn - toxic

DITHIONITE DE SODIUM

- R 7 - Peut provoquer un incendie.
R 22 - Nocif par ingestion.
R 31 - Au contact d'un acide, dégage un gaz toxique.
S 7/8 - Conserver le récipient bien fermé et à l'abri de l'humidité.
S 26 - En cas de contact avec les yeux, laver immédiatement et abondamment avec de l'eau.
S 28 - Après contact avec la peau, se laver immédiatement et abondamment avec de l'eau.
S 43 - En cas d'incendie, utiliser du sable sec, du dioxyde de carbone, une poudre sèche ou de l'eau en très grande quantité.

Étiquetage CEE - 231-890-0

CARACTERISTIQUES

Utilisation

- Réducteur de colorants pour l'impression des textiles.
- Agent de blanchiment, notamment dans l'industrie du papier.
- Absorbant d'oxygène dans la fabrication du caoutchouc synthétique.
- Réactif de laboratoire.

Propriétés physiques [1 à 6]

Le dithionite de sodium anhydre se présente sous la forme d'une poudre cristalline blanche ou grisâtre, d'odeur faible caractéristique. À l'état de dihydrate, c'est un solide jaune pâle, très hygroscopique.

Il est soluble dans l'eau à raison de 220 g/l à 20 °C.

Ses principales caractéristiques physiques sont les suivantes :

Masse molaire : 174,13

Point de fusion : 52 °C (dihydrate, perte de l'eau de cristallisation)

Densité (eau = 1) : 2,38 (anhydre), 1,58 (dihydrate)

Propriétés chimiques [1 à 6]

Le dithionite de sodium anhydre est un produit stable quand il est maintenu dans une atmosphère sèche. En présence d'une petite quantité d'eau (par exemple, lorsqu'il est exposé à l'air humide), il se décompose rapidement : la réaction est exothermique, avec un risque d'inflammation spontanée (formation de soufre), en particulier si le produit se présente sous la forme d'une poudre finement dispersée.

Le dithionite de sodium se décompose lorsqu'il est chauffé au-dessus de 100 °C avec dégagement de dioxyde de soufre. La réaction devient violente lorsque la température augmente ; on a observé une inflammation spontanée à 130 °C, une explosion à 190 °C.

Le dithionite de sodium est un réducteur puissant qui peut réagir vivement avec les agents oxydants. Il réagit avec les acides avec dégagement de dioxyde de soufre.

Les solutions aqueuses de dithionite de sodium sont d'autant moins stables que la solution est concentrée. Elles peuvent être conservées plusieurs jours à température ambiante, en milieu légèrement alcalin (pH 8-9) et à l'abri de l'air. Les solutions se décomposent au-dessus de 50 °C.

Les métaux sont insensibles à l'action du dithionite de sodium.

Récipients de stockage

Le stockage du dithionite de sodium s'effectue généralement dans des récipients en acier, parfaitement hermétiques.

RISQUES

Risques d'incendie [4, 5]

Le dithionite de sodium est un solide inflammable qui peut s'enflammer spontanément au contact de l'air humide et sous l'effet de la chaleur.

En cas d'incendie où le produit est impliqué, les agents d'extinction préconisés sont le sable sec, le dioxyde de carbone, les poudres chimiques sèches et l'eau en très grande quantité, sous forme de jet (l'eau en quantité insuffisante aggraverait l'incendie).

En raison de la toxicité des fumées émises (dégagement important de dioxyde de soufre), les intervenants seront équipés d'appareils de protection respiratoire autonome isolants.

Les récipients exposés à la chaleur peuvent exploser par suite du dégagement de dioxyde de soufre. Toutes précautions seront prises pour les refroidir et les ouvrir.

Pathologie - toxicologie [6 à 9]

Les données toxicologiques publiées relatives à cette substance sont pratiquement inexistantes.

Expérimentalement, le seul élément pertinent concerne l'irritation oculaire : chez le lapin, l'irrigation d'un œil pendant 10 minutes avec une solution aqueuse à 2 %, dont le pH a été ajusté à 7 par addition de bicarbonate de sodium, provoque un léger œdème cornéen et une cicatrisation retardée [7].

Chez l'homme, les seules informations concernent la toxicité aiguë et proviennent de fiches de données de sécurité de fournisseurs [9] : en cas d'ingestion, peuvent survenir des nausées, vomissements et diarrhées accompagnés de dépression du système nerveux central, de cyanose et d'un collapsus.

Le dithionite de sodium est irritant pour la peau et les muqueuses oculaires et respiratoires.

REGLEMENTATION

Hygiène et sécurité du travail

1° Règles générales de prévention des risques chimiques

- Articles R. 231-54 à R. 231-54-8 du Code du travail.

2° Aération et assainissement des locaux

- Articles R. 232-5 à R. 232-5-14 du Code du travail.

- Circulaire du ministère du Travail du 9 mai 1985 (non parue au J.O.).

- Arrêtés des 8 et 9 octobre 1987 (J.O. du 22 octobre 1987) et du 24 décembre 1993 (J.O. du 29 décembre 1993) relatifs aux contrôles des installations.

3° Prévention des incendies

- Articles R. 232-12 à R. 232-12-22 du Code du travail.

4° Maladies de caractère professionnel

- Articles L. 461-6 et D. 461-1 et annexe du Code de la Sécurité sociale : déclaration médicale de ces affections.

5° Classification et étiquetage

a) du dithionite de sodium pur :

• arrêté du 20 avril 1994 (J.O. du 8 mai 1994) qui prévoit la classification suivante :

Nocif, R 22

b) des préparations contenant du dithionite de sodium :

• arrêté du 21 février 1990 modifié (J.O. du 24 mars 1990).

Protection de la population

Décret du 29 décembre 1988 relatif à certaines substances et préparations vétérinaires (articles R. 5149 à R. 5170 du Code de la Santé publique) et circulaire du 2 septembre 1990 (J.O. du 13 octobre 1990) :

- détection dans des conditions déterminées ;
- étiquetage (cf. 5°).

Transport

Se reporter éventuellement aux règlements suivants.

1° Transport national et international (route, chemin de fer)

- RTMDR et F, ADR et RID : cette substance doit être déclarée :

1384 - dithionite de sodium

- Classe : 4.2
- Code danger : 40
- Chiffre/lettre : 13°b
- Code matière : 1384
- Étiquette : 4.2

2° Transport par air

- IATA.

3° Transport par mer

- IMDG.

RECOMMANDATIONS

I. Au point de vue technique

Stockage

• Stocker le dithionite de sodium dans des locaux spacieux, secs et frais, bien ventilés, à l'abri de toute source de chaleur ou d'ignition (rayons solaires, flammes, étincelles...) et à l'écart des produits oxydants, des acides et des matières inflammables. Le sol de ces locaux sera incombustible.

• Conserver le dithionite de sodium à l'abri de l'air et de l'humidité, dans des récipients bien pleins et hermétiquement clos. Étiqueter correctement les emballages ; reproduire l'étiquetage en cas de fractionnement.

• Interdiction de fumer.

• Pourvoir les locaux de moyens de secours contre l'incendie appropriés aux risques ; prévoir, à proximité, des appareils de protection respiratoire autonomes pour les interventions d'urgence.

Manipulation

Les prescriptions relatives aux locaux de stockage sont applicables aux ateliers où est manipulé le dithionite de sodium. En outre :

• Instruire le personnel des risques présentés par le produit, des précautions à observer et des mesures à prendre en cas d'accident.

• Éviter l'inhalation de poussières. Prévoir une aspiration par captage localisé ainsi qu'une ventilation générale des locaux. Prévoir également des appareils de protection respiratoire pour certains travaux de courte durée, à caractère exceptionnel, ou pour des interventions d'urgence.

• Éviter le contact du produit avec la peau et les yeux. Mettre à la disposition du personnel des vêtements de protection, des gants et des lunettes de sécurité. Ces effets seront maintenus en bon état et nettoyés après usage.

• Pour effectuer la dissolution du dithionite de sodium dans l'eau, ajouter toujours le produit à l'eau et non l'inverse, en raison du risque de réaction violente.

• Ne jamais procéder à des travaux sur ou dans des cuves et réservoirs contenant ou ayant contenu du dithionite de sodium sans prendre les précautions d'usage [10].

• Ne pas rejeter les résidus à l'égout ou dans le milieu naturel.

• En cas de déversement accidentel, récupérer immédiatement les déchets dans des récipients propres et secs, prévus à cet effet. Les fermer, les déplacer dans un endroit isolé et dissoudre le produit, avec précaution, dans une grande quantité d'eau. Si le déversement est important, évacuer le personnel et ne faisant intervenir que des opérateurs entraînés, munis d'un équipement de protection.

• Éliminer les déchets dans les conditions autorisées par la réglementation.

EDTA

MERCK
eurolab
division PROLABO

Fiche de données de sécurité MERCK Eurolab
selon la Directive Européenne 91/155/CEE

1. Identification du produit et de la société

- * Identification du produit
Code produit: 20309
Nom du produit: ACIDE ETHYLENEDIAMINETETRAACETIQUE, SEL DISODIQUE A 2 H2O, PH
. EUR.
- * Identification du fabricant/distributeur
MERCK Eurolab S.A. - 54, rue Roger Salengro - 94126 Fontenay-sous-Bois Cedex
Téléphone : 01 45 14 85 00
- Service à contacter : UDM Sécurité-Env. - Tél. : 01 45 14 85 94
Fax : 01 45 14 85 18
- No d'appel d'urgence : ORFILA - Téléphone : 01 45 42 59 59

2. Composition/information sur les composants

Synonymes
acide éthylènediaminotétraacétique sel disodique; acide
éthylènedinitrilotétraacétique sel disodique; disodium
dihydrogènoéthylènediamine tétraacétate; acide édétinique sel disodique
Numéro CAS:6381-92-6
Masse moléculaire: 372.24 Numéro EINECS: 205-358-3
Formule brute: C10H14N2Na2O8, 2H2O

3. Identification des dangers

Nocif en cas d'ingestion.

4. Premiers secours

En cas de contact avec les yeux : rincer à l'eau.
En cas d'ingestion (en grande quantité) : en cas de malaise, consulter
un médecin.

5. Mesures de lutte contre l'incendie

- * Moyens d'extinction appropriés:
Eau, CO2, mousse, poudre.

- * Dangers spécifiques:
combustible

6. Mesures en cas de dispersion accidentelle

Mesures de protection individuelle :
éviter le contact avec la substance

Mesures de protection de l'environnement :
Ne pas rejeter à l'égout.
Procédure de nettoyage / d'absorption :
Récupérer à l'état sec. Evacuer pour élimination. Nettoyer.

7. Manipulation et stockage

- * Manipulation:
Pas d'autres spécifications
- * Stockage:
bien fermé à l'abri de l'humidité à température ambiante (+15 à +25°C)

8. Contrôle de l'exposition/protection individuelle

- * Equipement de protection individuelle:
Protection respiratoire: nécessaire en cas de formation de poussières.
Protection des mains: nécessaire
Protection des yeux: nécessaire
Mesures d'hygiène industrielle:
Se laver les mains après le travail.

9. Propriétés physiques et chimiques

Aspect:
Couleur: blanc
Odeur:
pH: 50 g/l eau (20°C) 4 - 5
Température de fusion: 244 - 246°C (perte d'eau de cristallisation)
Température d'ébullition: non applicable
Température d'auto-inflammation: non applicable
Point d'éclair: non applicable
Limites d'explosivité dans l'air
Inférieure: non applicable
Supérieure: non applicable
Masse volumique: non applicable
Densité apparente: environ 400 - 500 kg/m³
Solubilité dans: eau (20°C) 100 g/l
Décomposition thermique: > 246°C

10. Stabilité et réactivité

- * Conditions à éviter:
Fort réchauffement
- * Matières à éviter:
Aucune.
- * Produits de décomposition dangereux:
Aucune.
- * Autres informations
perte d'eau de cristallisation en cas de chauffage

11. Informations toxicologiques

- * Toxicité aiguë:
DL50 (voie orale , rat) = 2000 mg/kg
- * Autres informations toxicologiques

XL

En cas d'ingestion : faiblement nocif; résorption lente. troubles de l'équilibre électrolytique
D'autres propriétés dangereuses ne peuvent être exclues.

- * Autres données
Manipuler ce produit en prenant les précautions d'usage pour un produit chimique.

12. Informations écologiques

Effets écotoxiques :
Effets biologiques : poissons : L. macrochirus CL50 : 159 mg/l / 96 h
Autres indications concernant l'écologie :
Dégradabilité :
DBO5: 0.01 g/g .
Ne pas évacuer dans les eaux naturelles, les eaux d'égout ou le sol !

13. Considérations relatives à l'élimination

- * Produit:
Il n'existe pas encore de réglementation uniforme concernant l'élimination des produits chimiques et de leurs résidus au sein de la Communauté Européenne. Les produits chimiques et leurs résidus doivent être considérés comme des déchets spéciaux. Leur élimination est réglementée par chaque état membre de la CEE. Nous vous recommandons de prendre contact avec les autorités compétentes (administration ou sociétés spécialisées dans l'élimination des déchets) qui vous informeront des mesures à prendre en matière d'élimination.
- * Emballage:
Élimination selon les réglementations officielles en vigueur.

14. Informations relatives au transport

- * Transport rail/route RID/ADR:
Classe RID/ADR: Énumération et lettre:
Designation internationale de la matière:
TITRIPLEX III X
- * Transport fluvial ADN/ADN:
- * Transport maritime OMI/IMDG:
Classe OMI/IMDG: Numéro ONU/UN: Groupe d'emballage:
No fiche sécurité: No table GSMU:
Designation technique internationale de la matière:
- * Transport aérien IATA/OACI:
Classe IATA/OACI: Numéro UN/ID: Groupe d'emballage:
Designation exacte d'expédition:
- * Transport route RTMDR:
Non soumis aux prescriptions de transports.

15. Informations réglementaires

- * Etiquetage selon les Directives CEE
Symbole(s): Xn
Type de danger(s) : Nocif
Phrase(s)-R: 22 Nocif en cas d'ingestion.
Phrase(s)-S: ---
Numéro CEE: 205-358-3

* Réglementations Françaises

16. Autres informations

- * Motif de la révision:
Modification(s) au chapitre toxicologie.
Date de mise à jour: 23.03.1994 Annule l'édition du: 24.02.1994

(R) : MARQUE DEPOSEE

Les renseignements contenus dans cette fiche sont basés sur l'état actuel de nos connaissances relatives au produit concerné, à la date de mise à jour. Ils sont donnés de bonne foi. Cette fiche ne représente pas une garantie sur les propriétés du produit. Elle ne dispense pas son utilisateur de se conformer à l'ensemble des textes réglementant son activité.

Annexe 10. Recette de teinture de la crêpeline de doublage

Rapport de bain : 1/50	Nombre de parts : 6
------------------------	---------------------

Colorants	Conc. sol. Mère	poudre
Bordeaux EL	1/100	200
Jaune 2G KWL	1/100	250
Gris BL	1/100	200
Adjuvants	Conc. sol. Mère	
Albégal	1/10	
Sulfate de Na NH4	1/10	
Type de colorant	Irgalane	

Code pyramide	1 4 1
Profondeur de ton	0,75%
Poids du tissu	1,78
Volume total du bain	89,00

Colorants	%	mL
Bordeaux EL	0,125	0,11
Jaune 2G KWL	0,500	0,36
Gris BL	0,125	0,11
Adjuvants	%	mL
Albégal	0,50	0,09
Sulfate de Na NH4	4,00	0,71
Eau à ajouter	87,62	

Annexe 11. Récapitulatif des interventions menées sur les œuvres

Nature de l'intervention	Mode d'intervention	Silhouettes	Durée de l'intervention
Retrait du textile	À sec (spatule)	Quatre cavaliers	4 h00
1 ^{ère} remise en forme des métaux	Pince plate, protection de cuir, support en bois	Quatre cavaliers Trois cavaliers	10 h00
Dépoussiérage	Pinceau antistatique et micro aspiration	Guerrier Quatre cavaliers Trois cavaliers	5 h00
Gommage + contre-forme	Éponge vulcanisée (<i>smoke sponge</i>)	Quatre cavaliers	15 h00
Traitement biocide	Vitalub® à 0,5% (p/v) dans éthanol	Quatre cavaliers	1 h00
Consolidation de la couche mate	Deux applications d'eau déminéralisée au nébuliseur à ultrasons et Klucel G® à 0,1% en poids dans l'éthanol	Trois cavaliers	3 h00
Refixage des papiers	Klucel G® à 5% en poids dans l'éthanol pour le Guerrier et les Quatre cavaliers et à 3% en poids dans l'éthanol pour les Trois cavaliers	Guerrier Quatre cavaliers Trois cavaliers	17 h00
Consolidation des déchirures	Klucel G® à 5% en poids dans l'éthanol à travers des bandes de papiers japonais (RK1).	Quatre cavaliers	16 h00
Nettoyage des surfaces métalliques	Dégraissage (70% d'éther de pétrole et 30% d'éthanol), non-tissé de nylon avec particules abrasives ; eau déminéralisée en gel d'agar agar ; pinceau fibres de verre, solution d'EDTA (pH9) à 0,1 mole/l dans eau déminéralisée+ dithionite alcalin à 0,01 mole/l	Guerrier Quatre cavaliers Trois cavaliers	36 h00
Traitement du bois	Éponge vulcanisée (<i>smoke sponge</i>) et consolidation au Paraloid B72 à 5% dans acétate d'éthyle.	Quatre cavaliers	3 h00
2 ^{nde} remise en forme des métaux	Pince plate, support rigide protégé par une mousse.	Quatre cavaliers Trois cavaliers	8 h00
Doublage	une fibre de verre 49g/m ² imprégnée de Paraloid® B72 à 5% en poids dans de l'acétate d'éthyle, puis plots d'Araldite® 2011 et enfin un stratifié composé de trois couches de fibres de verre de 80g/m ² et imprégné d'Araldite® 2020 à 50% en poids	Quatre cavaliers Trois cavaliers	25 h00
Réintégration des métaux	PMMA découpé à la scie, retouché à l'acrylique Liquitex®, et collé avec un stratifié sur l'œuvre.	Quatre cavaliers	22 h00
Réintégration des papiers + recherche colorée	Deux feuilles de papier japonais (RK17) teintées à l'acrylique Liquitex®, collées à la méthylcellulose. Film barrière de Paraloid B72 à 5% en poids dans du cyclohexane. Encollage à la Klucel G® à 5% en poids dans l'éthanol	Quatre cavaliers	40 h00
Traitement du textile	Crêpeline teintée à l'irgalane, encollée avec deux couches d'un mélange d'acryliques Lascaux®, double réactivation du film à l'acétone.	Quatre cavaliers	15 h00
<i>Temps de restauration</i>			230 h00
<i>Tests et sélection des méthodes</i>			130 h00 environ