

DIPLOME DE RESTAURATEUR DU PATRIMOINE  
Spécialité : Arts Textiles

TAPIS ROUGE POUR L'IMPRESSION :  
ÉTUDE ET CONSERVATION-RESTAURATION D'UN TAPIS TURC DU XIX<sup>ÈME</sup> SIÈCLE  
CONSERVÉ AU MUSÉE DU QUAI BRANLY. (PARIS, MUSÉE DU QUAI BRANLY)

RÉINTÉGRATION DES MOTIFS DE LA ZONE LACUNAIRE PAR IMPRESSION JET D'ENCRE  
SUR TEXTILE : CHOIX DES ENCRE, DU SUPPORT ET GESTION DES COULEURS.

Lisa METATLA



PRÉSIDENT DU JURY :

MME LORRAINE MAILHO

MEMBRES DU JURY :

M. XAVIER BEUGNOT

MME EMILIE LEBOURG

M. PIERRE MACHU

M. BERTRAND SAINTE-MARTHE

MME MYRIAM SERCK-DEWAIDE

DIRECTEUR DE MÉMOIRE :

Mme Patricia DAL PRÀ

RAPPORTEURS :

HISTORIQUE : Mme Daria CEVOLI

SCIENTIFIQUES : Mme Christine SCHWEIZER-SIMAC  
Mme Carole COUTAND

**Tapis rouge pour l'impression : étude et conservation-restauration d'un tapis turc du XIXe siècle conservé au musée du quai Branly-Jacques Chirac**

**Réintégration des motifs de la zone lacunaire par impression jet d'encre sur textile : choix des encres, du support et gestion des couleurs**

Mémoire de fin d'études soutenu par Lisa METATLA  
En vue de l'obtention du diplôme de restaurateur du patrimoine  
Dans la spécialité arts textiles  
Septembre 2016

Présidente du jury :

Mme Lorraine MAILHO, Conservateur général du patrimoine, Chef du département restauration du Centre de recherche et de restauration des Musées de France (C2RMF)

Membres du jury :

M. Xavier BEUGNOT, Restaurateur de peintures

Mme Émilie LEBOURG, Ingénieur d'études en physique-chimie, Laboratoire scientifique et technique de la Bibliothèque nationale de France

M. Pierre MACHU, Conservateur en chef du patrimoine, chef du bureau des réseaux territoriaux, Service des musées de France

M. Bertrand SAINTE-MARTHE, Restaurateur de photographies, Atelier de restauration, reliure et dorure des Archives nationales

Mme Myriam SERCK-DEWAIDE, Conservateur-restaurateur de sculptures, Directeur général honoraire de l'Institut royal du Patrimoine artistique (IRPA, Bruxelles)

Directeur de mémoire :

Mme Patricia DAL-PRA, restauratrice du patrimoine, responsable d'enseignement, spécialité arts textiles, Inp

Rapporteur historique :

Mme Daria CEVOLI, chargée des collections Asie, musée du quai Branly-Jacques Chirac

Rapporteurs scientifiques :

Mme Christine SCHWEIZER-SIMAC, docteur en Génie des Procédés, designer infographe, spécialiste de l'impression numérique textile

Mme Carole COUTAND, ingénieur textile, directrice, plateforme eMODE (Cholet)



## REMERCIEMENTS

Je souhaite remercier chaleureusement ma directrice de mémoire et mes rapporteurs, qui ont suivi attentivement le travail de cette année de mémoire :

- Patricia Dal-Prà, responsable de la spécialité arts textiles de l'Inp ;
- Daria Cevoli, chargée des collections Asie au musée du quai Branly-Jacques Chirac ;
- Christine Schweizer-Simac, docteur en Génie des Procédés, spécialiste de l'impression numérique à jet d'encre sur textile ;
- Carole Coutand, ingénieur textile et directrice de la Plateforme eMODE, où j'ai pu réaliser tous les tests d'impression.

Ainsi que toutes les personnes qui ont contribué à ce travail en partageant leurs connaissances et leur expérience :

- Roland Gilles, spécialiste des tapis, ancien chargé de collections à l'Institut du monde arabe ;
- Levent Boz pour ses recherches bibliographiques et ses traductions ;
- Cécile Argenton, assistante de la spécialité arts textile, Aline Létrange et l'ensemble des étudiantes de l'atelier textile ;
- Anne-Rose Bringel, restauratrice de textiles, pour ses conseils toujours avisés et pour m'avoir accueillie en stage au Musée de l'Impression sur Etoffes de Mulhouse ;
- Barbara Matuella et Sophie Fürnkrantz, qui m'ont accueillie en stage au Weltmuseum (Vienne) ;
- Edith Oberhummer du Museum für Angewandte Kunst (Vienne), pour son aide à l'élaboration des questionnaires, ainsi que l'ensemble des restaurateurs qui y ont pris le temps d'y répondre ;
- Philippe Becaas de la maison Pierre Frey, et Laurence François de la maison Lelièvre, qui m'ont fourni des échantillons de tissus pour les tests d'impression ;
- Armelle Hamot, enseignante à l'École Supérieure d'Arts appliqués Duperré (Paris) pour son accueil à l'atelier d'impression et la réalisation des pré-tests.

Merci également au personnel de l'Inp, et en particulier Maroussia Duranton, Jocelyn Périllat, Ghyslain Vanneste, Patrick Noblet, Odile Blanc, Jaques Pogu et le personnel d'accueil.

Enfin, je remercie Francis, ma famille, mes amis et mes camarades de promotion, pour leur soutien constant durant ces cinq années de formation.

## NOTE AU LECTEUR

Afin de faciliter la lecture du mémoire et la compréhension de la présentation orale, voici quelques remarques sur la prononciation de certaines lettres en langue turque :

- « ç » se prononce « tch »
- « ğ » ne se prononce pas vraiment, mais allonge la voyelle précédente
- « ı » est distinct du « i », le son produit est à mi-chemin entre le « e » et le « i » français
- « ö » se prononce « e »
- « ş » se prononce « ch »
- « ü » se prononce « u »

Les articles et références en langue turque ont été traduits en anglais par M. Levent Boz, étudiant chercheur en histoire de l'art à l'université Hacettepe d'Ankara (Turquie), et dont les recherches portent essentiellement sur les tapis turcs et leurs influences sur l'art européen, en particulier les tapis turcs retrouvés dans les églises protestantes de Transylvanie, sujet de son mémoire soutenu en 2013.

Les mots suivis d'une \* lors de leur première apparition dans le texte sont définis dans un glossaire situé p. 149.

Les droits d'auteur des images sont précisés dans la table des illustrations située p. 193.

# SOMMAIRE

REMERCIEMENTS .....	3
SOMMAIRE .....	5
FICHE D'IDENTIFICATION DE L'ŒUVRE .....	10
INTRODUCTION.....	11
PARTIE I : ETUDE HISTORIQUE ET TECHNIQUE .....	12
1. Histoire matérielle .....	13
1.1. Musée de l'Homme.....	13
1.2. Musée du quai Branly-Jacques Chirac.....	14
2. Contexte historique .....	15
2.1. Introduction : l'origine du tapis noué.....	15
2.2. Les tapis noués en Turquie .....	17
2.3. Les tapis de Döşemealtı (Antalya).....	20
2.4. Pièces de comparaison .....	29
3. Description technique.....	35
3.1. Introduction à la technique des tapis noués .....	35
3.1.1. Le métier à tisser .....	35
3.1.2. Le montage de la chaîne .....	36
3.1.3. Les outils.....	37
3.1.4. Les techniques.....	38
3.1.5. Les matériaux .....	43
3.1.6. Les teintures .....	45
3.1.7. Les traitements post-tissage.....	47
3.2. Analyse technique .....	47
3.3. Composition et motifs .....	50
3.4. Couleurs et teintures.....	55
PARTIE II : CONSTAT D'ETAT, DIAGNOSTIC ET PROPOSITIONS DE TRAITEMENT .....	57
1. Constat d'état.....	58

1.1.	État général .....	58
1.2.	Altérations mécaniques .....	58
1.3.	Altérations chimiques.....	64
1.4.	Altérations biologiques .....	67
1.5.	Réparations anciennes .....	67
2.	Diagnostic et pronostic .....	75
2.1.	Altération liée au processus de fabrication.....	75
2.2.	Altérations liées à l'usage du tapis .....	75
2.3.	Altérations liées à la conservation du tapis dans les collections françaises .....	76
2.4.	Pronostic.....	76
3.	Propositions de traitement.....	77
3.1.	Niveau d'intervention .....	77
3.2.	Protocole de traitement et options de restauration.....	78
PARTIE III : PROTOCOLE TECHNICO-SCIENTIFIQUE .....		82
Introduction : problématique et objectifs de l'étude .....		83
Étude théorique.....		84
1.	Contexte de l'étude : utilisation de l'impression textile à jet d'encre dans le domaine patrimonial .....	84
1.1.	Fac-similés textiles .....	84
1.2.	Conservation-restauration .....	87
2.	L'impression jet d'encre sur textile : présentation technique .....	89
2.1.	Introduction .....	89
2.2.	Les imprimantes .....	89
2.2.1.	Les imprimantes de type « plotter » .....	89
2.2.2.	Les machines dites « de production » .....	90
2.2.3.	Les machines de type « intermédiaire » .....	91
2.2.4.	Les machines pour articles confectionnés.....	91
2.2.5.	Les machines pour tapis et supports épais .....	91
2.3.	Les têtes d'impression.....	92
2.3.1.	Jet d'encre continu.....	92

2.3.2.	Jet d'encre avec gouttes à la demande (ou DOD, « drop on demand »).....	92
2.3.3.	Formation de gouttes par activation thermique .....	93
2.3.4.	Formation de gouttes par activation piézoélectrique.....	93
2.4.	Les encres .....	93
2.4.1.	Les encres réactives.....	93
2.4.2.	Les encres acides.....	94
2.4.3.	Les encres dispersées.....	94
2.4.4.	Les encres pigmentaires .....	94
2.5.	Les traitements des supports textiles .....	95
2.5.1.	Les prétraitements.....	95
2.5.2.	Les post-traitements .....	95
2.6.	La gestion de la couleur : de l'image numérique à l'image imprimée .....	95
2.6.1.	L'image numérique .....	95
2.6.2.	La résolution .....	96
2.6.3.	Les espaces colorimétriques .....	96
2.6.4.	La gestion des couleurs.....	98
2.6.5.	Les logiciels de pilotage des imprimantes et le calibrage des couleurs.....	100
Étude expérimentale .....		101
1.	Tests d'impression .....	101
1.1.	Acquisition d'un fichier numérique.....	101
1.1.1.	Protocole de prise de vue.....	101
1.1.2.	Travail de reconstitution sur le logiciel Adobe Photoshop®.....	102
1.2.	Pré-tests : école Duperré, impression transfert par sublimation .....	102
1.3.	Choix des supports textiles et des encres .....	104
1.4.	Réglages colorimétriques .....	113
2.	Compatibilité avec les exigences de la conservation-restauration .....	114
2.1.	Introduction : choix des tests réalisés.....	114
2.2.	Vieillessement artificiel à la lumière .....	114
2.3.	Solidité à l'eau .....	115
2.4.	Résultats .....	115

3.	Conclusion .....	118
PARTIE IV: INTERVENTIONS DE CONSERVATION-RESTAURATION .....		119
1.	Avant-propos : la restauration des tapis noués.....	120
1.1.	Introduction .....	120
1.2.	Recherche bibliographique .....	120
1.2.1.	Techniques de réparation « traditionnelle » .....	120
1.2.2.	Techniques utilisées en conservation-restauration de textiles.....	124
1.3.	Questionnaires envoyés aux professionnels.....	126
1.3.1.	Nettoyage .....	127
1.3.2.	Consolidation .....	127
1.3.3.	Exposition .....	128
1.3.4.	Stockage.....	128
2.	Interventions réalisées sur le tapis 71.1973.77.165.....	129
2.1.	Dépoussiérage.....	129
2.2.	Consolidation de la partie supérieure .....	130
2.3.	Réintégration des lacunes .....	135
2.3.1.	Options possibles et choix de traitement.....	135
2.3.2.	Option présentée à l'état de test : nouage sur canevas.....	135
2.3.3.	Reconstitution imprimée .....	138
2.4.	Consolidation de la lisière rompue, bord droit .....	141
2.5.	Refixage de la chaînette défectueuse, bord supérieur.....	142
2.6.	Stabilisation des franges .....	142
2.7.	Résumé des temps de traitement et estimations des coûts.....	142
2.7.1.	Résumé des traitements effectués et durée des opérations .....	142
2.7.2.	Estimation du coût de l'impression jet d'encre (dans le cadre du partenariat entre l'Inp et la Plateforme eMODE).....	143
2.7.3.	Accessibilité de la technique d'impression à jet d'encre pour un particulier (en France).....	143
3.	Préconisations de conservation préventive .....	145
3.1.	Stockage en réserve.....	145
3.1.1.	Mode de stockage .....	145

3.1.2.	Conditions climatiques.....	146
3.2.	Préconisations en vue d'une éventuelle exposition.....	147
3.2.1.	Montage.....	147
3.2.2.	Éclairage.....	147
CONCLUSION .....		149
GLOSSAIRE .....		150
BIBLIOGRAPHIE.....		157
ANNEXES.....		161
Annexe 1 :	photographies du tapis (face et revers) après restauration.....	162
Annexe 2 :	analyses de fibres .....	164
Annexe 3 :	rapport d'analyse IRTF pour le prélèvement de fil marron de la chaînette (Inp)	
Annexe 4 :	analyses de colorants (IRPA, Bruxelles) .....	172
Annexe 5 :	enceinte de vieillissement à la lumière, tableau de comparaison entre les unités radiométriques et les unités photométriques (Atlas Suntest).....	180
Annexe 6 :	résultats du protocole technico-scientifique : colorimétrie.....	182
Annexe 7 :	« Job Ticket », informations relatives à l'impression d'un exemplaire de la restitution imprimée sur l'imprimante JV22 (Mimaki) .....	183
Annexe 8 :	tarifications 2016, Plateforme eMODE, Cholet .....	184
Annexe 9 :	recettes de teinture .....	185
Annexe 10 :	fiches techniques .....	186
Annexe 11 :	table des illustrations.....	193
RESUME EN FRANÇAIS ET EN ANGLAIS .....		200

## FICHE D'IDENTIFICATION DE L'ŒUVRE



Figure 1 : endroit du tapis, avant traitement  
©Inp/G.Vanneste



Figure 2 : revers du tapis, avant traitement  
©Inp/G.Vanneste

**Dénomination** : tapis « Hali »

**Date de création** : milieu-fin XIXe siècle

**Provenance** : Turquie, Döşemealtı/Antalya

**Dimensions** : largeur : 123 cm, longueur : 163 cm, épaisseur : 0,6 cm

**Poids** : 3419 g

**Matériaux** : laine

**Technique** : tapis noué

**Lieu de conservation** : musée du quai Branly-Jacques Chirac, Paris

**Précédente collection** : musée de l'Homme

**Responsable juridique** : Stéphane martin, président

**Responsable de l'œuvre** : Daria Cevoli, chargée des collections « Asie »

**Numéro d'inventaire** : 71.1973.77.165

**Numéro de dépôt INP** : Inp2015-199

## INTRODUCTION

L'œuvre choisie pour ce mémoire de fin d'études est un tapis turc daté de la fin du XIXe siècle, et conservé au musée du quai Branly-Jacques Chirac. Ce choix n'est pas anodin, car il reflète, d'une part, notre intérêt pour les textiles du monde islamique et en particulier les tapis noués, et d'autre part la volonté de traiter d'une problématique que nous n'avions pas abordée lors de notre formation pratique à l'Institut national du patrimoine, ni sur nos lieux de stage. Lors de nos recherches, nous avons constaté que très peu de publications ont été consacrées à des projets de conservation-restauration autour des tapis noués. Ces derniers sont souvent traités soit par des techniques de réparation traditionnelle dans des ateliers spécialisés, soit de la même manière que les autres textiles par les conservateurs-restaurateurs. Lors de nos discussions avec nos professeurs, intervenants et maîtres de stage, nous avons abordé la problématique du traitement des grandes lacunes sur les tapis, et orienté notre recherche d'objet de mémoire en ce sens. Nous avons contacté différentes institutions patrimoniales en présentant notre projet. Il n'a pas été facile de trouver un tapis qui comporte à la fois des lacunes importantes, la nécessité d'un traitement de conservation-restauration conséquent, tout en étant adapté aux contraintes de dimensions de l'atelier textile. L'un des tapis que nous avons pu voir au musée du quai Branly-Jacques Chirac (numéro d'inventaire 71.1973.77.165), en présence de Daria Cevoli, chargée des collections Asie, répondait à tous les critères et s'est avéré être le candidat parfait pour cette étude. Celle-ci a été passionnante, autant du point de vue de la recherche historique, car il s'agit d'un objet ayant été très peu étudié, que du point de vue de la recherche scientifique et des techniques de conservation-restauration abordées.

Le rapport suivant présente le travail d'une année d'étude et de travaux de conservation-restauration, et est organisé de la manière suivante :

- la première partie est le fruit de l'étude directe du tapis n° 71.1973.77.165 du point de vue historique et technique, complétée par une recherche bibliographique ;
- la seconde partie présente un constat détaillé de l'état de conservation de l'objet suivi de propositions d'intervention ;
- la troisième partie synthétise les résultats d'un protocole technico-scientifique, que nous avons axé sur l'impression numérique à jet d'encre sur textile et son utilisation possible en tant que méthode de réintégration des motifs dans la zone lacunaire ;
- enfin, la quatrième partie présente de façon détaillée les interventions de conservation-restauration qui ont été menées sur l'objet, ainsi que la justification des moyens utilisés.

## PARTIE I : ETUDE HISTORIQUE ET TECHNIQUE



Figure 3 : détail du champ central du tapis, ©Inp/G.Vanneste

# 1. Histoire matérielle

## 1.1. Musée de l'Homme

Le tapis 71.1973.77.165 a été donné par le gouvernement de la Turquie en 1973 au musée de l'Homme pour le département « Asie ». Il a été inscrit à l'inventaire sous le numéro 973.77.165. L'ensemble des objets dont le numéro d'inventaire commence par « 973.77 » fait partie de ce don du gouvernement turc, qui compte 744 objets ethnographiques, dont de nombreux textiles (des vêtements et accessoires, ainsi que des serviettes, des nappes, des sacs de selle, des housses de coussin, des tapis), des céramiques et des objets en bois et en métal (outils, vaisselle, bijoux, instruments de musique...).

973.77

973.77.153	Fuseau à laine, ip egirme iği; larg. : 35 cm; Ø peson : 6 cm	Kayseri	74
154	Couteau à tapis, bıçak; long. manche : 13,2 cm; long. lame : 4 cm long. totale : 14,2 cm	Ereğli	104
155	Ciseaux à tapis, half makasi; long. : 26,4 cm	"	102
156	Navette en corne, harbu, embouts métalliques; long. : 26,4 cm; larg. : 5,5 cm	Ürgüç	501
157	Navette en corne, harbu, embouts métalliques; long. : 28,2 cm; larg. : 5,5 cm	Ortâhisar	
158	Navette en bois, embouts métalliques; long. : 22 cm; larg. : 3,7 cm	Ürgüç	501
<u>Tapis</u>			
159	Bissac décousu, bleu, rouge. Trois parties tapis - trois parties tissage. Long. : 204 cm; larg. : 47 cm	Kütahya	513
160	Bissac, parties tapis, parties tissages, parties cuir. Long. : 133 cm; larg. : 45 cm	Konya	125
161	Bissac, tapis et cuir, doublure tissage. Long. : 142 cm; larg. : 46 cm	Burdur	512
162	Coussin plein, doublure tissu carreaux noir et blanc. Long. : 102,5 cm larg. : 42,5 cm; ht. : 11,5 cm	Ereğli	105
163	Dessus de coussin, extrémités trame. Long. : 99 cm; larg. : 50 cm	Konya	126
164 (1 à 5)	Cinq dessus de coussins. (1) Long. : 102 cm; (2) 95 cm; (3) 101 cm; (4) 100 cm; (5) 100,5 cm - Larg. : (1) : 52 cm; (2) 50,5 cm; (3) 53,5 cm (4) 53 cm; (5) 53,5 cm	Istanbul	456
165	Tapis de Doşemi alti. Long. avec franges : 161 cm; larg. : 121 cm	"	451
166	Tapis de Kirşehir. Long. avec franges : 137,5 cm; larg. : 86 cm	"	447
167	Tapis de Yağci Bedir. Long. avec franges : 155 cm; larg. : 115,5 cm	"	455

Figure 4 : Photographie de la page du registre d'inventaire, © archives du musée du quai Branly-Jacques Chirac

Sur cet extrait du registre d'inventaire, conservé aux archives du musée du quai Branly-Jacques Chirac, l'on peut noter des outils relevant du tissage des tapis : « fuseau à laine », « couteau à tapis », « ciseaux à tapis », « navettes en corne » et « navette en bois » (respectivement numéros d'inventaire 973.77.153 à 158), ainsi que d'autres tapis : un tapis de Kirşehir (Anatolie centrale), un tapis de Yağcibedir (Anatolie Occidentale), et des « bissacs » (sacs de selle) et dessus de coussins. Sans compter le tapis que nous étudions, 17 tapis noués font partie de ce don.

Pour le tapis 973.77.165, la provenance de Döşemealti (orthographié « Dosemi alti ») est clairement identifiée. Aucune mention de l'état de conservation de la pièce n'a été faite au moment de l'inventaire.

Conditions de stockage :

Selon Michèle Dejean, qui a travaillé au service de conservation-restauration du Musée de l'Homme à partir de 1985, le tapis 71.1973.77.165 aurait été conservé dans la réserve « Asie », peut-être plié selon sa taille (ou éventuellement roulé), emballé dans un film en polyéthylène, et placé sur une étagère, dans un tiroir ou dans une armoire métallique, mobiliers-types des réserves depuis la création du musée en 1937. Du camphre, de la naphthaline et des plaquettes Vapona®<sup>1</sup> étaient placés avec les textiles et servaient de répulsif contre les insectes, notamment les mites. Michèle Dejean et Annie Montigny (chargée des collections « Asie » à partir de 1999), ont également mentionné des pièges et du poison, disséminés « dans tout le bâtiment », afin de se débarrasser des rongeurs. Une désinsectisation générale était assurée une fois par an par fumigation<sup>2</sup> dans l'ensemble du musée, qui était alors fermé pendant 24h. À partir des années 1990, les traitements chimiques des locaux ont été progressivement remplacés par des techniques de congélation et d'anoxie des objets.

## 1.2. Musée du quai Branly-Jacques Chirac

Le musée du quai Branly-Jacques Chirac a été inauguré le 23 juin 2006 à l'initiative du Président de la République Jacques Chirac. Ses collections regroupent celles du Musée national des Arts d'Afrique et d'Océanie, et du laboratoire d'ethnologie du musée de l'Homme. Entre 2001 et 2004, un grand chantier des collections a été mis en place afin d'organiser les collections, de sauvegarder et d'enrichir la documentation. Des équipes de conservation ont effectué des prises de mesures, des prises de vues, une campagne générale de dépoussiérage, ainsi que la désinsectisation par anoxie de l'ensemble des collections. Les objets ont été étiquetés par code-barres et archivés sous la base de données TMS<sup>3</sup>. Le catalogue des objets ainsi que des fiches d'œuvre sont désormais accessibles en ligne sur le site internet du musée.

Le tapis 71.1973.77.165 a été photographié et dépoussiéré lors du chantier des collections en décembre 2003, puis il a été anoxié entre le 30 janvier et le 20 février 2004. Il a ensuite été stocké sur le « portoir 15655 » (unité de stockage pouvant être un plateau, une boîte...) jusqu'en juillet 2009, avec huit autres tapis noués, trois kilims et deux cicim (textiles) provenant du même don, ainsi que deux bandes de yourte, une broderie de laine et une couverture. Quasiment tous les objets ayant été stockés sur ce portoir sont en laine (à l'exception de la couverture en coton). En juillet 2009, lors du chantier de redéploiement des réserves, tous les objets ont été déballés et reconditionnés. Le tapis a

---

<sup>1</sup> Plaquette de résine plastique imprégnée de « dichlorvos », commercialisée par la compagnie Shell. Le dichlorvos C<sub>4</sub>H<sub>7</sub>Cl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>P, Phosphate de 2,2-dichlorovinyle et de diméthyle, est un gaz très toxique, classé comme un produit cancérigène possible et est interdit en France depuis 2007 (selon l'INRS).

<sup>2</sup> Fumigène Fumisect®, également à base de dichlorvos.

<sup>3</sup> The Museum System, base de données développée spécialement pour les institutions muséales.

été placé sur le « portoir 527661 » avec trois objets en feutre de laine et une petite broderie de laine. Il a été stocké ainsi jusqu'au moment du prêt pour l'Inp en septembre 2015, dans des conditions climatiques adaptées et contrôlées.

La fiche d'œuvre du tapis, accessible en ligne sur le site internet du musée (dans une version résumée), et en interne sur la base de données des collections, a été corrigée en 2007 par Roland Gilles, spécialiste des tapis noués, qui travaillait à cette époque pour l'Institut du Monde arabe en tant que chargé de collections. Le nom vernaculaire mentionné sur la fiche « hali », signifie « tapis » en langue turque. La datation « fin XIXe siècle » et la provenance d'Istanbul sont mentionnés, ainsi qu'un bref descriptif de la composition et des motifs. Concernant l'état de conservation, le tapis est noté « diminué de moitié », car la fiche a probablement été rédigée d'après la photographie visible sur la fiche, qui ne présente que la moitié du tapis, plié en deux. La grande lacune en partie supérieure est déjà présente.



Figure 5 : photographie visible sur la fiche d'œuvre, © musée du quai Branly-Jacques Chirac

## 2. Contexte historique

### 2.1. Introduction : l'origine du tapis noué

L'origine du tapis est incertaine. Selon Edith et François-Bernard Huyghe dans *Les routes du tapis*<sup>4</sup>: « Jusqu'à la Renaissance, hors exceptions, le tapis n'est connu qu'à travers les textes, qui ne laissent pas facilement distinguer tapis, tapisseries ou simples tissus ». De plus, leur définition tient à leur usage : un textile recouvrant le sol ; or, cet usage n'est pas le même selon le contexte géographique : « en Orient, le tapis recouvre le sol depuis toujours », alors que « marcher sur un tapis est longtemps resté exceptionnel en Europe ». Le tapis peut être aussi caractérisé par sa technique : dans le cas d'un tapis noué, chaque brin de laine ou de soie est enlacé à la main autour de fils de chaîne tendus sur un métier. Les textes anciens mentionnent des textiles d'apparat assimilables aux tapis et aux tapisseries, mais aucune précision n'est donnée sur les techniques. La littérature grecque atteste la

---

<sup>4</sup> HUYGHE, 2004, p.14

réputation des tapis d'Orient : l'historien Hérodote (484-420 avant J.-C.) rapporte que les peuples du Caucase savent colorer la laine à l'aide de plantes et faire des tapis « dont les couleurs résistent au temps »<sup>5</sup>. Xénophon, disciple de Socrate, (vers 430-354 avant J.-C.) signale la ville de « Sardes en Lydie » (actuelle Turquie) comme centre de fabrication. À l'époque romaine, Pline l'Ancien (23-79) célèbre les productions de tapis de luxe de Babylone (au sud de l'actuelle Bagdad en Irak).

Le tapis de Pazyryk :

C'est le plus ancien spécimen de tapis noué conservé au monde, daté du Ve-IVe siècle avant J.-C. Il a été découvert en 1949 par l'archéologue russe Sergueï Rudenko (1885-1968), dans le massif de l'Altai en Sibérie, aux confins de la Chine, de la Mongolie et du Kazakhstan. Il doit son nom à la vallée de Pazyryk où furent mises à jour des sépultures de cavaliers scythes<sup>6</sup> datant du Ve au IIIe siècle avant J.-C. Il est extraordinairement bien conservé grâce aux conditions d'enfouissement : à plusieurs mètres de profondeur dans un sol gelé en permanence.



Figure 6: tapis de Pazyryk, Musée de l'Ermitage, Saint-Petersbourg



Figure 7 : tapis de Pazyryk, détail<sup>7</sup>

Du point de vue technique, ce tapis, qui est entièrement en laine et qui mesure 189 sur 200 cm, a la particularité de présenter un velours très dense en nœuds symétriques<sup>8</sup>, à raison de 3600 unités au dm<sup>2</sup>. Il est conservé au musée de l'Ermitage, à Saint-Petersbourg. Un second fragment datant de la même période, trouvé dans une tombe avoisinante, a été fabriqué en nœuds asymétriques<sup>9</sup>, ce qui prouve que ces deux techniques étaient déjà utilisées il y a plus de 2500 ans. Le poil de laine aurait cherché à imiter le poil des animaux avec ses propriétés isolantes. Dans la plupart des sociétés préindustrielles, la principale source d'isolation était la fourrure des animaux tués à la chasse. La

<sup>5</sup> HUYGHE, 2004, p.22

<sup>6</sup> Ensemble de peuples indo-européens, en grande partie nomades et parlant des langues iraniennes. Originaires d'Asie centrale, ils ont vécu leur apogée entre le VIIe siècle av. J.-C. et la fin de l'Antiquité.

<sup>7</sup> HUYGHE, 2004, p.19

<sup>8</sup> Voir Partie I. 3. Description technique, Les nœuds, p.38.

<sup>9</sup> Voir Partie I. 3. Description technique, Les nœuds, p.38.

laine, que les sociétés pastorales prélevaient par tonte sur leurs ovins, une fois filée, puis nouée sur le métier, a été le matériau idéal pour reproduire artificiellement les fourrures ou les toisons. On ne sait pas exactement quand les populations ont intégré le nouage dans le processus de tissage, au lieu d'insérer des mèches dans la toile au moyen d'une aiguille ou d'un crochet. Bien que les tapis noués soient apparus indépendamment dans différentes cultures, leur production, d'après les archéologues, était limitée à certaines régions d'Asie. Le tapis de Pazyryk n'aurait pas été produit localement, mais importé d'Asie centrale, d'Iran ou même du sud-est de l'Anatolie<sup>10</sup>.

## 2.2. Les tapis noués en Turquie



Figure 8 : tapis turc, XIIIe siècle, Musée d'art turc et islamique, Istanbul<sup>11</sup>

Les plus anciens tapis turcs connus, huit pièces datant du XIIIe au XVe siècle, ont été découverts en Anatolie, en 1905 par l'archéologue Riefstahl dans la grande Mosquée Ala'ad-Dîn de Konya, capitale des Sultans seldjoukides, et l'on peut supposer que cette ville, à cette époque, était un centre de tissage renommé.



Figure 9 : principaux centres de production de tapis en Turquie<sup>12</sup>

La Turquie a été longtemps la source, mais aussi le lieu de passage des tapis d'Orient destinés à l'Occident, notamment par le port de Smyrne (actuelle Izmir, sur la côte égéenne) où s'étaient installés des marchands européens au XVIIIe siècle. En Anatolie, le côtoiement des populations nomades (Yürüks) et sédentaires (Turcs, Grecs et Kurdes), a marqué d'influences réciproques les productions textiles, sans oublier le rôle que jouaient les Arméniens dans l'artisanat et le commerce, notamment dans les régions proches du Caucase<sup>13</sup>.

<sup>10</sup> WEARDEN, 2003, p. 7

<sup>11</sup> CURATOLA, 1982, p.101

<sup>12</sup> EREN, 1989, p. 39

<sup>13</sup> HUYGHE, 2004, p.59



Figure 10 : Les Ambassadeurs, Hans Holbein le Jeune, 1533

Les tapis turcs les plus connus sont souvent nommés d'après les peintres de la Renaissance qui les ont représentés dans leurs tableaux : tapis « Holbein » selon le peintre Hans Holbein le Jeune, tapis « Lotto » d'après Lorenzo Lotto... Nous ne donnerons qu'un bref aperçu de ces productions à travers quelques exemples les plus connus (tapis Holbein, Lotto et Uşak), ainsi que les tapis de prière.



Figure 11 : Tapis « Holbein à grands motifs », Museum für Islamische Kunst, Berlin<sup>14</sup>

Les tapis dits « Holbein à grands motifs » sont également appelés « tapis à caissons », ou « tapis à rouelles » dans les inventaires français des XVe et XVIe siècles. Leur date de création se situe autour de 1430, mais ils ont été fabriqués pendant plus d'un siècle, avec une production commerciale destinée en particulier à l'Occident chrétien. Selon Roland Gilles, « Les caissons [...] semblent reproduire des lanternons [de mosquée], dont la base circulaire ou octogonale, reposerait sur des trompes. »<sup>15</sup>

<sup>14</sup> *Le ciel dans un tapis*, 2004, p.114

<sup>15</sup> GILLES, *Le ciel dans un tapis*, 2004, p.17



Figure 12 : Tapis « Lotto », XVIe siècle, Musée Jacquemart-André, Paris<sup>16</sup>

Les tapis « Lotto » apparaissent dans quelque quatre-vingt tableaux européens.

Produits à partir de la seconde moitié du XVIe siècle, les tapis « Lotto » présentent un décor de grille végétale jaune d'or sur fond rouge, sorte de « ferronnerie végétale » d'après Roland Gilles. « Cette construction ornementale, destinée à des tapis commerciaux, a été reprise sur les métiers anatoliens pendant plus de deux siècles avec de menues variantes.<sup>17</sup> » Beaucoup de tapis turcs des XIX-XXe siècle sont inspirés de ce type de composition, et c'est probablement le cas du tapis qui fait l'objet de ce mémoire.



Figure 13 : Tapis « Uşak à médaillon », XVIe siècle, Musée des tissus, Lyon<sup>18</sup>

Les ateliers situés à Uşak et ses alentours (région de l'Anatolie de l'Ouest), ont produit des tapis célèbres dans toute l'Europe, importés dès le début du XVIe siècle et même imités. Les plus connus sont appelés « Uşak à étoiles » et « Uşak à médaillon ». « Uşak constitue dans le dernier quart du XVIe siècle, et tout au long du siècle suivant, le centre de production le plus actif de la Turquie ottomane [...]»<sup>19</sup>.

<sup>16</sup> *Le ciel dans un tapis*, 2004, p.134

<sup>17</sup> GILLES, *Le ciel dans un tapis*, 2004, p.20

<sup>18</sup> *Le ciel dans un tapis* 2004, p.162

<sup>19</sup> GILLES, *Le ciel dans un tapis* 2004, p.17



Figure 14 : Tapis de prière de Kula, *Les tapis turcs*<sup>20</sup>

Les tapis de prière, à motif de « mirhab » (la niche aménagée dans le mur des mosquées, indiquant la direction de la Mecque) sont produits à travers les siècles dans toute la Turquie, notamment à Gördes, Kula, Ladik, Bergama, Milas, Mucur, Kirsehir.

À partir de la fin du XIXe-début XXe siècle, la production de tapis se concentre autour de quelques villes : Hereke (tapis de soie au décor floral dans le goût des tapis perses), Bergama (Pergame), Melas, Ghiordès, Kula. Selon Uğur Ayyıldız<sup>21</sup>, depuis que la République turque a été proclamée en 1923, l'État encourage la fabrication des tapis noués en subventionnant les ateliers. La production est assurée par des manufactures contrôlées par l'État, dans les villes où le tissage des tapis est devenu un facteur important de ressources, ou dans des ateliers privés de moyenne importance, ou encore à domicile, ce qui apporte un bon revenu aux familles. Ces artisans travaillant chez eux possèdent un ou plusieurs métiers et tissent des tapis reprenant les dimensions et les motifs de ceux de leur région. Une institution d'État, la Sümerbank («la Banque agricole »), a répertorié la plupart des motifs traditionnels tout en soutenant l'ensemble de la chaîne de réalisation, allant de l'élevage du mouton à la tonte et au filage des laines, de l'exécution du tapis à son introduction dans le commerce.

### 2.3. Les tapis de Döşemealtı (Antalya)

Peu de publications traitent des tapis de Döşemealtı. Nous nous sommes appuyés principalement sur des textes en langue turque de Naci Eren<sup>22</sup>, Uğur Ayyıldız<sup>23</sup>, Candan Akpınar<sup>24</sup>, Ayşen Aldoğan<sup>25</sup> ainsi que des photographies d'un ouvrage collectif publiée par le ministère du tourisme turc<sup>26</sup>. Ces textes ont été traduits en anglais par M. Levent Boz<sup>27</sup>.

<sup>20</sup> EREN, 1989, p.96

<sup>21</sup> AYYILDIZ, 1993, p.23

<sup>22</sup> EREN 1977, EREN 1989, ces deux publications constituent nos sources principales (plusieurs autres sources que nous citons s'en sont visiblement inspirés), mais ne précisent pas les lieux de conservation des tapis présentés.

<sup>23</sup> AYYILDIZ, 1993. Note : les lieux de conservation des tapis présentés ne sont pas précisés non plus.

<sup>24</sup> AKPINAR, 1996

<sup>25</sup> ALDOĞAN, 1981

<sup>26</sup> *Turkish Handwoven Carpets*, cat 1, 1987

<sup>27</sup> Étudiant chercheur en histoire de l'art à l'université Hacettepe (Ankara, Turquie), qui a étudié les tapis turcs conservés en Transylvanie lors de son mémoire de Master.



Figure 15 : principaux centres de production de tapis en Turquie, Döşemealtı/Antalya au niveau de la côte sud (zone entourée en bleu).<sup>28</sup>

Döşemealtı désigne une région au nord d'Antalya. Le nom de Döşemealtı, qui signifie « sous les pavés » est ancien : il fait référence à une grande route reliant Perga<sup>29</sup> aux campements situés plus au nord. Cette région comprend plus de 20 villages (23 selon une autre publication de Naci Eren<sup>30</sup>), dont deux sont les principaux centres de production de tapis : Kovanlık et Aşağı Oba. Kovanlık est le village le plus grand, situé à 33 km d'Antalya. Dans ces deux villages, l'on dit qu'il y avait au moins un métier à tisser dans chaque maison. La région n'est pas uniquement connue pour ses tapis, mais aussi pour d'autres textiles (« sili » sorte de kilim en laine, « çuval », sacs tissés avec la technique du sumak<sup>31</sup>, « heybe » et « torba » d'autres sortes de sacs)<sup>32</sup>. La population de la région qui tisse des tapis est principalement issue de deux anciennes confédérations tribales turkmènes : les Karakoyunlu (les « Moutons noirs ») et les Sarikecili, toutes deux originaires d'Asie centrale. Ces populations nomades ou semi-nomades pratiquaient encore la transhumance il y a une cinquantaine d'années, mais de nos jours, elles se sont sédentarisées, et la culture nomade s'est mélangée à la culture urbaine moderne.

### Les genres et les formats

Voici quelques noms génériques de pièces tissées liés à leur utilisation et à leur format ; ces noms sont employés dans les ateliers et dans le commerce : « Seccade » ( « tapis de prière ») : 170-200 cm de hauteur pour 130 cm de largeur, Yastic (coussin), Ceyrek (petit tapis), Karyola (descente de lit), Kelle (tapis moyen), Taban (grand tapis), Yolluk (tapis étroit et long, « galerie » ou « chemin »)<sup>33</sup>.

Le format des tapis produits à Döşemealtı est presque toujours celui des « Seccade » (tapis de prière). Les villageois connaissent les dimensions des tapis par leur poids : généralement il est de cinq

<sup>28</sup> EREN, 1989, p.39

<sup>29</sup> Perga ou Pergé, cité antique, autrefois capitale de la Pamphylie, située en Turquie, à Aksu, 17 km à l'est d'Antalya.

<sup>30</sup> EREN, 1989, p.66

<sup>31</sup> AKPINAR, 1996, p.148

<sup>32</sup> EREN, 1977, p.35

<sup>33</sup> AYYILDIZ, 1993, p.21

à sept kilogrammes pour un tapis qui mesure environ 1,5 x 2,5 m, sauf exceptions<sup>34</sup>. Selon Candan Akpınar, les formats à Döşemealtı sont généralement de 100 x 150 cm, 118 x 197, ou de 122 x 183 cm. Quelques pièces anciennes plus petites et de format proche du carré ont également été conservées.

### **Les motifs**

Selon Naci Eren, les tisserandes de Döşemealtı connaissent les motifs de mémoire, par expérience, et n'utilisent pas de papier quadrillé pour y transcrire les motifs en guise de carton. L'étude des motifs nous a posé quelques difficultés, premièrement en raison de la terminologie en langue turque, et deuxièmement en raison des fluctuations des noms selon les auteurs. En effet, un même motif est parfois nommé d'une certaine façon dans une publication, et porte un nom différent dans une autre publication. Les auteurs affirment toujours qu'ils s'appuient sur les dires « des villageois » pour établir leur terminologie. Nous avons donc choisi de lister les différents noms recensés pour chaque motif, sans prendre parti pour l'une ou l'autre appellation.

Selon Naci Eren<sup>35</sup>, il existe sept types de composition du champ central à Döşemealtı. Le champ est appelé « zemin » (« fond » en turc). Candan Akpınar<sup>36</sup> divise tout d'abord les différents types de composition en « tapis à mirhab (ou niche)» (dont les tapis à mirhab unique et les tapis à double mirhab) et « tapis sans mirhab », puis elle reprend à l'intérieur de ces deux groupes les mêmes noms des types définis par Naci Eren (« Hallelli », « Dallı », « Kocasulu »...).

---

<sup>34</sup> EREN, 1977, p.36

<sup>35</sup> EREN, 1989, p. 66

<sup>36</sup> AKPINAR, 1996, p. 144

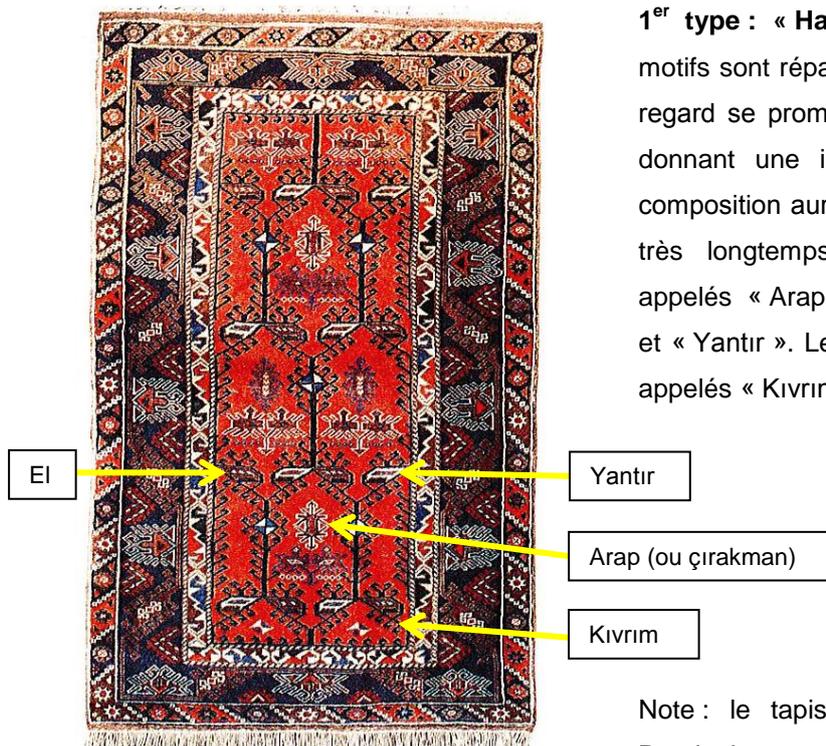


Figure 16 : tapis Halleli sans mirhab<sup>37</sup>

**1<sup>er</sup> type : « Halleli »** : tapis sans mirhab. Les motifs sont répartis sur tout le champ, laissant le regard se promener sur l'ensemble du décor et donnant une impression d'infini. Ce type de composition aurait été tissé à Döşemealtı depuis très longtemps. Il combine plusieurs motifs appelés « Arap » (« arabe »), « El » (« main »), et « Yantrı ». Les petits éléments crochetés sont appelés « Kıvrım » (« courbe »).

Note : le tapis conservé au musée du quai Branly-Jacques Chirac et qui fait l'objet de cette étude, est de ce type.



Figure 17 : tapis Kocasulu sans mirhab<sup>38</sup>

**2<sup>eme</sup> type : « Kocasulu »** : tapis sans mirhab. Aussi appelé « Kocası », ce motif représenterait des cornes de bélier. Le motif est réparti aux quatre angles des trois petits médaillons en forme de losange qui occupent le champ central. Le motif est également visible sur la bordure principale (la plus large, à fond bleu), comme nous le verrons plus tard dans la description des motifs des bordures.

<sup>37</sup> AYYILDIZ, 1993, p. 70

<sup>38</sup> Turkish Handwoven Carpets, 1987, THC Pattern Code 0065



**3<sup>ème</sup> type : « Toplu »** (« balles » ou « boules »): tapis à double mirhab. Trois motifs ressemblant à des croix sont répartis sur le champ central. Les espaces adjacents sont remplis avec des motifs appelés « Tırnaklı Çiçek » (« fleurs acérées ») ou « Dallı » (« feuilles »).

Toplu

Tırnaklı Çiçek ou Dallı

Figure 18 : tapis Toplu à double mirhab<sup>39</sup>



**4<sup>ème</sup> type : « Akrepli »** (« scorpions ») : tapis à double mirhab. La composition est la même que pour les types « Kocasulu » et « Toplu » : les motifs de scorpions sont inclus dans trois petits médaillons en forme de losange.

Akrep (scorpion)

Figure 19 : tapis à double mirhab aux motifs de scorpions<sup>40</sup>

<sup>39</sup> EREN, 1989, p. 67

<sup>40</sup> AKPINAR, 1996, p. 145



**5<sup>ème</sup> type : « Dallı »** (« branches » ou « feuilles ») : tapis à double mirhab. L'on trouve généralement cette composition sur des tapis de petit format, mais il y a des exceptions. Le motif couvre tout le champ central, qui est le plus souvent à fond rouge. Le petit médaillon central en forme de losange est rempli par un motif de scorpion.

Akrep (scorpion)

Dallı

Note : un tapis de ce type (n°71.1973.77.184) est conservé au musée du quai Branly-Jacques Chirac, il a été donné par le gouvernement turc en même temps que le tapis n°71.1973.77.165 qui fait l'objet de ce mémoire.

Figure 20 : tapis Dallı à double mirhab<sup>41</sup>



**6<sup>ème</sup> type : « Mihraplı »** : le champ est divisé en deux petits mirhabs de forme hexagonale, à l'intérieur desquels l'on retrouve les motifs suivants : « Arap » et « El », identiques à ceux du premier type appelé « Halleli ». Le petit médaillon central présente souvent un motif de scorpion, ou une étoile à huit branches, comme c'est le cas ici.

Arap

El

Figure 21 : tapis à deux mirhab<sup>42</sup>

<sup>41</sup> AYYILDIZ, 1993, p. 70

<sup>42</sup> AKPINAR, 1996, p. 144

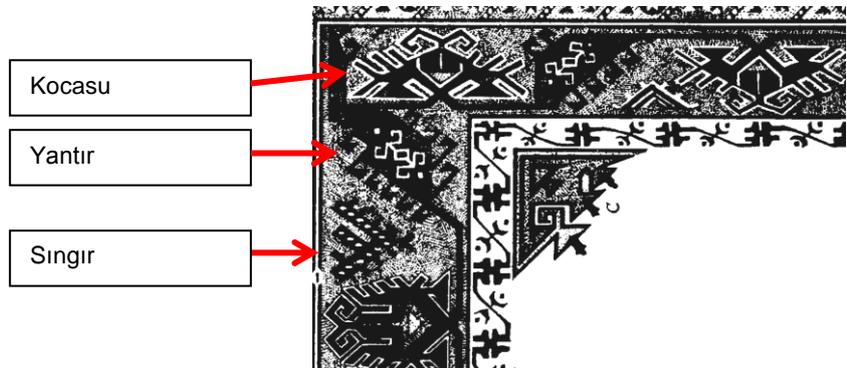


Figure 22 : tapis à mirhab unique<sup>43</sup>

**7<sup>ème</sup> type** : tapis de prière à mirhab unique : ce type de composition est inspiré des tapis de prière de la région de Ladik (ville située au Nord de l'Anatolie centrale), c'est pourquoi on les appelle parfois les tapis **Ladik- Döşemealtı**<sup>44</sup>.

**Principaux motifs utilisés sur les bordures** : les bordures larges sont appelées « enli bordür », les bordures internes « iç dar » et externe « dış dar bordür ». Le mot « suyu » ou « su » signifie ici « motif ».

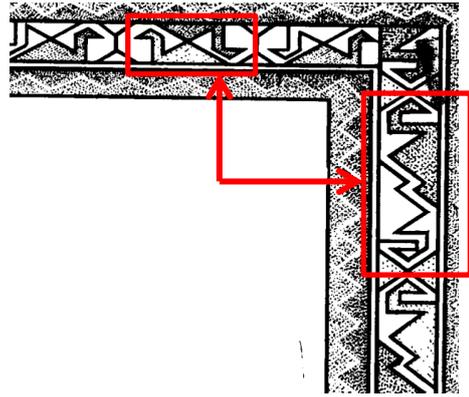
« Kocası » est un motif utilisé sur les bordures mais aussi au niveau du champ central. Il représenterait des cornes de bélier. Ce motif est peut-être dérivé du motif appelé « El » (main), qui est également très présent sur les tapis de cette région. Sur les bordures, il est souvent combiné avec les mêmes motifs :



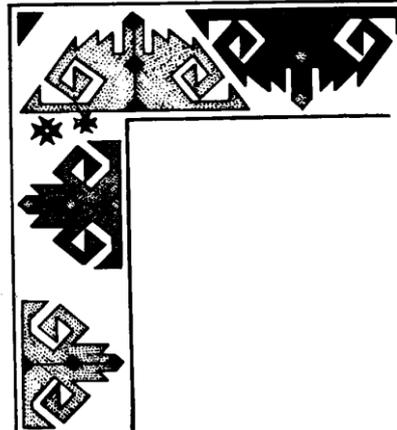
<sup>43</sup> AKPINAR, 1996, p. 147

<sup>44</sup> AKPINAR, 1996, p. 147

« Deve Suyu » est le motif le plus employé sur les bordures et aussi le plus ancien. Il ressemble à des oiseaux stylisés, mais selon Naci Eren, les villageois disent qu'il est inspiré par les chameaux (« deve »).



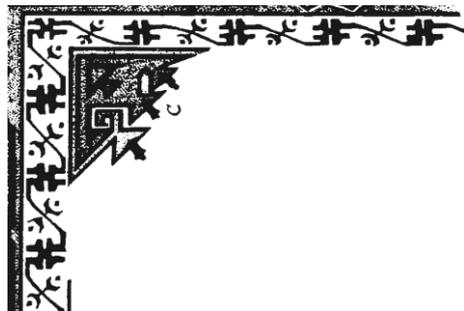
« Nacaklı Su » (« nacak » signifie « petite hache ») est un motif que l'on trouve sur les tapis plutôt récents. Il ressemble à deux triangles inversés. Il est également appelé « Elibelinde », qui signifie « mains sur les hanches », motif très courant notamment sur les kilims turcs.



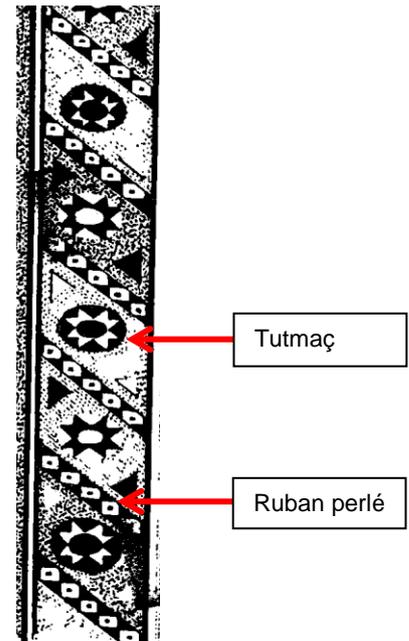
« Büyük Albay Suyu » : ce n'est pas un motif original de Döşemealtı, il aurait été introduit par un colonel chez les tisserands de Kovanlık (« Büyük Albay » = « Grand Colonel »). C'est une combinaison de feuilles et de fleurs stylisées. Il est également appelé « Akli Su » car cette bordure a toujours un fond blanc (« Ak »).



« Çingilli Aksu » ou « Gömlek yanısı » : bordure généralement à fond blanc ou clair, avec des fleurs (ou des étoiles) et des feuilles stylisées.



« Tutmaç Suyu » est un motif utilisé sur les bordures larges des anciens tapis, et sur les bordures étroites des tapis plus récents. C'est une bordure traditionnelle très utilisée. Elle est composée de fleurs stylisées octogonales qui ressemblent à des étoiles, et de petites bandes obliques présentant un motif appelé « œil de brebis » ou « ruban perlé ». Sur les tapis anciens, ces « perles » sont plus grandes et plus anguleuses, sur les tapis récents, elles sont comme des points rouges et blancs. Les étoiles sont appelées « Tutmaç ». Ces étoiles se retrouvent parfois à plus petite échelle sur le champ central. L'on peut également voir cette bordure sur les tapis de prière des Yörük de Bergama (au Nord d'Izmir sur la côte égéenne).



« Laleli Su » est un motif de fleurs stylisées (« Lale » = tulipe). L'on trouve un dessin similaire sur les bordures des tapis de Ladik (ville située au Nord de l'Anatolie centrale).

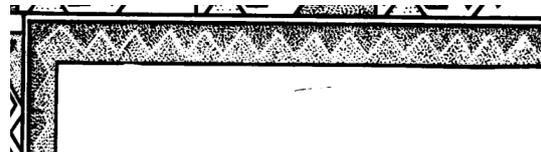


« Heybe suyu » est un motif que l'on trouve généralement dans les angles du champ central, encadrant le mirhab. « Heybe » signifie « sac », car c'est un motif souvent tissé sur les sacs.



### Principaux motifs utilisés sur les bordures plus fines (ou contre-bordures) :

« Bulanık » (« flou ») : c'est le motif le plus couramment utilisé. Il consiste en deux couleurs séparées par une fine ligne blanche appelée « sığır sidiği » (« urine de bovin »).



« Kaydırma »<sup>45</sup> (« glisser »), également appelé « Motor Izi suyu » (« traces de pneu ») selon Naci Eren. Ce sont de petites rayures obliques.



<sup>45</sup> SEYIRCI, 1995, p.38

## 2.4. Pièces de comparaison



Figure 23 : tapis conservé au musée du quai Branly-Jacques Chirac ©Inp/G.Vanneste

Nous avons recherché dans des publications des tapis présentant des motifs similaires à ceux du tapis conservé au musée du quai Branly-Jacques Chirac qui fait l'objet de ce mémoire. Nous avons comparé les motifs du champ central, dont la composition correspond au premier type appelé « Halleli » que nous avons vu précédemment (voir 2.3. Les tapis de Döşemealtı, p.21), mais également les motifs des bordures.



Figure 24 : tapis turc, XVII ou XVIIIe siècle, *The classical tradition in Anatolian Carpet*, p.90<sup>46</sup>

Un tapis conservé au Textile Museum de Washington, daté du XVIIe ou XVIIIe siècle, est le plus ancien exemplaire comparable que nous avons pu trouver. Il provient du « sud de l'Anatolie centrale », et a été acquis en 1913 par le musée. Ce tapis est de taille légèrement supérieure à celle du tapis conservé au musée du quai Branly-Jacques Chirac (216 x 165 cm), sa densité est également supérieure. La structure est comparable : chaîne en laine écriue, deux bouts Z retordus en S, trame en laine de torsion Z, de deux à quatre passées entre chaque rangée de nœuds<sup>47</sup>. Les motifs sont semblables à ceux du champ central du tapis du musée du quai Branly-Jacques Chirac (effet de grille rouge sur fond bleu-vert) mais à une échelle plus réduite. Cela forme un « treillis ogival » de tiges feuillues, dont l'origine pourrait remonter au XVe siècle. Ce tapis aurait été inspiré de soieries (mameloukes ou ottomanes), ce qui expliquerait l'échelle des motifs, selon Walter B. Denny.

En effet, le motif à plus petite échelle sur des soieries, destinées plutôt à l'habillement, aurait ensuite été repris sur les tapis, où il a progressivement été agrandi jusqu'à occuper tout l'espace du champ central.



Figure 25 : adaptation de l'échelle des motifs au champ central des tapis de Döşemealti, comparaison avec le champ central du tapis du musée du quai Branly-Jacques Chirac (à droite).

<sup>46</sup> DENNY, 2002, p.90

<sup>47</sup> Pour la torsion des fils, voir schéma p.43.



Figure 26 : housse de coussin, XIXe siècle, dans *The classical tradition in Anatolian Carpet*, p.92

Ce tapis est une housse de coussin datée du XIXe siècle, qui présente les mêmes motifs que l'exemplaire précédent, mais agrandis et tissés de façon plus grossière. Les couleurs sont inversées par rapport à celles du tapis précédent, et par rapport à celles du tapis conservé au musée du quai Branly-Jacques Chirac qui fait l'objet de cette étude : le fond du champ central est rouge, et le motif en « treillis » est bleu-vert. La bordure à motifs de losanges est similaire à celle du tapis du musée du quai Branly-Jacques Chirac.

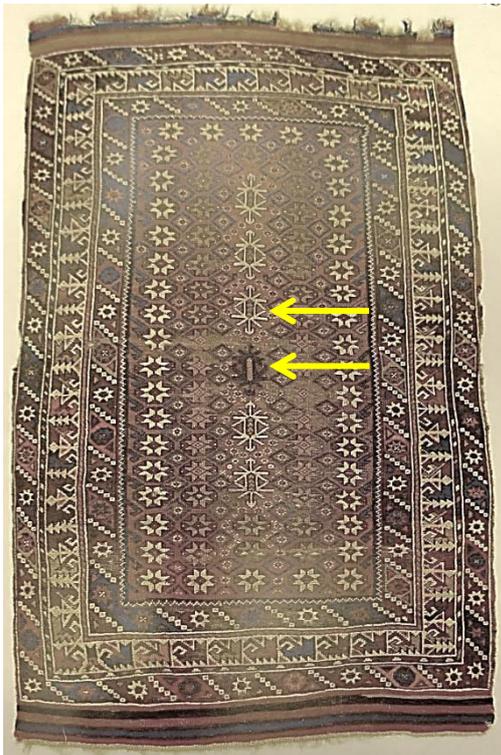


Figure 27 : tapis de Döşemealtı, Naprstek Museum, Prague<sup>48</sup>

Ce tapis est daté du XVIIe siècle, il provient de la région de Döşemealtı, et est conservé au Naprstek Museum de Prague. Ses dimensions sont de 170 x 120 cm, soit très proches de celles du tapis du musée du quai Branly-Jacques Chirac. Le motif central à double flèche, que l'on retrouve ici six fois (une fois en noir, et 5 fois en blanc), est identique à celui que l'on retrouve sur le tapis conservé au musée du quai Branly-Jacques Chirac, ainsi que les deux bordures aux motifs de losanges.



Figure 28 : détail, tapis du musée du quai Branly-Jacques Chirac ©Inp/G.Vanneste

<sup>48</sup> KREISSL, 1995, p.93



Figure 29 : tapis de Döşemealtı, dans *Tapis turcs*, Uğur Ayyıldız, p.70

Ce tapis de Döşemealtı présente la même composition du champ central (appelé « Halleli » par Naci Eren) que le tapis conservé au musée du quai Branly-Jacques Chirac, mais avec les couleurs inversées : le fond est rouge, et le motif de « grille » est bleu foncé. La bordure interne encadrant le champ central, à motifs d'oiseaux stylisés, ainsi que la bordure externe à motifs de losanges, sont également semblables au tapis que nous étudions. La palette de couleurs assez réduite, (rouge, bleu foncé, vert foncé, marron et blanc) se retrouve souvent dans d'autres pièces provenant de Döşemealtı, et correspondrait à une période plus récente de fabrication que le tapis du musée du quai Branly-Jacques Chirac. Les dimensions sont également comparables.



Figure 30 : tapis de Döşemealtı, dans *Les tapis turcs*, Naci Eren, p.69

Ce tapis reprend également la composition du champ central appelée « Halleli » mais dans une forme plus simplifiée, due aux dimensions plus réduites du champ central. Les couleurs sont également inversées par rapport au tapis conservé au musée du quai Branly-Jacques Chirac (fond rouge, motifs en bleu). Sur la bordure intérieure, l'on retrouve les motifs d'oiseaux stylisés tissés de la même manière que sur l'exemplaire du musée du quai Branly-Jacques Chirac. La palette de couleurs est plus riche que sur l'exemple précédent, ce qui pourrait caractériser une période de fabrication plus ancienne, mais nous n'avons aucune information sur la datation, le format, ni sur le lieu de conservation de ce tapis.



Figure 31 : tapis de Döşemealti, XIXe siècle, musée d'Antalya, dans *Turkish Handwoven Carpets*<sup>49</sup>

Ce tapis, daté du XIXe siècle, provient de la région de Döşemealti, et est conservé au musée d'Antalya. Il présente la même composition et quasiment les mêmes motifs que l'exemplaire du musée du quai Branly-Jacques Chirac, autant au niveau du champ central que des bordures. Il est fragmentaire (169 x 109 cm), mais ses dimensions d'origine auraient été comparables à celles du tapis du musée du quai Branly-Jacques Chirac. Les motifs sont définis ainsi dans la publication turque du ministère du tourisme<sup>50</sup> :

- Chameaux
- Eau courante
- Main
- Laurier rose
- Etoile

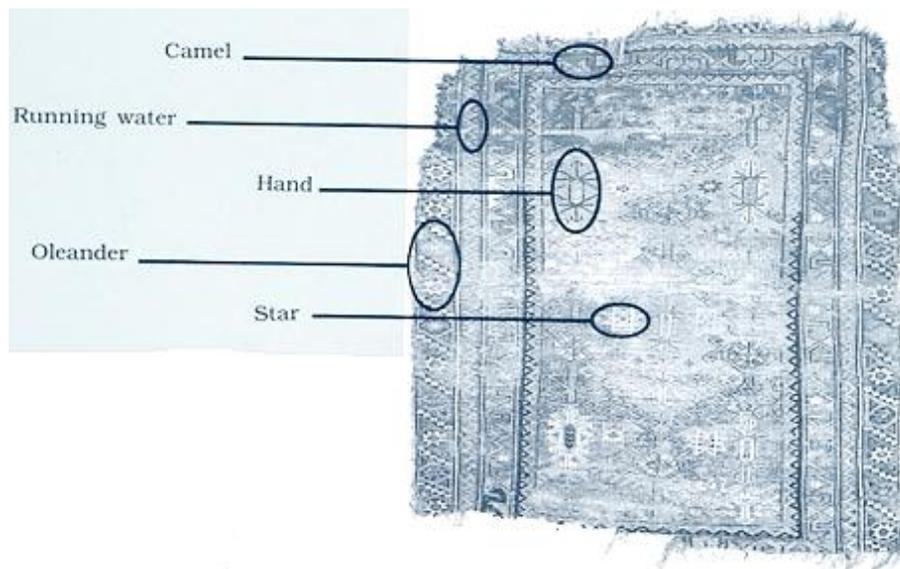


Figure 32 : noms des motifs, dans *Turkish Handwoven Carpets*<sup>51</sup>

<sup>49</sup> *Turkish Handwoven Carpets*, cat. 1, 1987, THC Pattern Code 0073

<sup>50</sup> Les noms des motifs sont différents selon la source, et ne correspondent pas ici à ceux décrits par Naci Eren précédemment (p.21 à 26).

<sup>51</sup> *Turkish Handwoven Carpets*, cat. 1, 1987, THC Pattern Code 0073



Figure 33 : tapis de Döşemealti, XIXe siècle, dans *Turkish Handwoven Carpets*<sup>52</sup>

Ce tapis, daté du XIXe siècle, provient également de la région de Döşemealti. Ses dimensions sont de 143 x 113 cm. Il présente la même composition et quasiment les mêmes motifs que l'exemplaire du musée du quai Branly-Jacques Chirac, autant au niveau du champ central que des bordures. Les motifs sont décrits de la même manière que pour les deux exemplaires précédents, dans la publication turque du ministère du tourisme. Une précision est apportée sur l'un des motifs, qui est nommé « dragon » (désigné par les flèches jaunes).



Figure 34 : tapis Halleli de Döşemealti, XIXe siècle, collection privée<sup>53</sup>

Ce tapis est daté de la fin du XIXe siècle, il appartient à un collectionneur turc (Adnan Selekler)<sup>54</sup>. Selon l'article de Musa Seyirci, le tapis a été produit dans le village de Kovanlık ou d'Aşağıoba dans la région de Döşemealti. Ses dimensions (165 x 126 cm) et sa densité (3 x 4 nœuds/cm<sup>2</sup>) sont très proches de celles du tapis conservé au musée du quai Branly-Jacques Chirac. Les motifs du champ central sont semblables à ceux du tapis que nous étudions, et sont décrits comme des oiseaux stylisés, des étoiles, et le motif appelé « arap » (« arabe », voir 2.3. Les motifs). Les motifs de toutes les bordures sont également semblables à ceux des bordures du tapis du musée du quai Branly-Jacques Chirac.

<sup>52</sup> *Turkish Handwoven Carpets*, cat. 1, 1987, THC Pattern Code 0021

<sup>53</sup> SEYIRCI, 1995, p.39

<sup>54</sup> SEYIRCI, 1995, p.39

## 3. Description technique

### 3.1. Introduction à la technique des tapis noués

#### 3.1.1. Le métier à tisser

Les tapis peuvent être réalisés sur des métiers horizontaux ou verticaux sans que leur aspect final ne présente la moindre différence. Il s'agit de métiers à tisser très anciens<sup>55</sup> qui peuvent être très rudimentaires. Ils sont dits « horizontaux » ou « verticaux » sur la base de la position de la chaîne sur les ensouples<sup>56</sup>. Ces deux types de métiers coexistent, semble-t-il, depuis toujours, mais l'on peut dire que généralement, les métiers horizontaux sont plutôt utilisés par les peuples nomades en raison de leur facilité d'installation et de transport, même lorsqu'un ouvrage est en cours.

Le format (rectangle plutôt large), et la taille moyenne du tapis que nous allons étudier sont caractéristiques des tapis de Döşemealtı. En Turquie, le métier vertical est celui qui est le plus utilisé par les villageois ou par les tisserands citadins travaillant dans de petits ateliers. Il est difficile de savoir quel est exactement le type de métier vertical qui a été employé pour notre pièce. Il y en a, en effet, de plusieurs sortes (voir Figure 35, page suivante) :

- Le métier à chaîne courte et fixe présentant une seule nappe de chaîne tendue entre les ensouples. Dans ce cas, le tisserand doit élever la planche sur laquelle il est assis pour arriver en haut du métier au fur à mesure que son ouvrage progresse.
- Le métier à chaîne continue, dit aussi « métier de Tabriz » où les fils de chaîne sont enroulés continûment entre les deux ensouples, ce qui donne, avec le même fil, une chaîne sur le devant du métier et une chaîne à l'arrière. Le tisserand, assis en tailleur face au métier, n'a pas à bouger, il fait passer la partie déjà exécutée derrière l'ensouple inférieure en tirant vers lui l'ensemble de la chaîne.
- Dans les grands ateliers urbains, on emploie souvent des métiers verticaux à ensouples rotatives munies d'une grande réserve de chaîne, ce qui permet de tisser des pièces importantes et de laisser les tisserands à leur place.

---

<sup>55</sup> « Le métier horizontal, peut-être aussi ancien que le tissage, est déjà représenté sur un sceau sumérien. » HUYGHE, 2004, p.14

<sup>56</sup> Rouleaux sur lesquels sont enroulés les fils de chaîne.

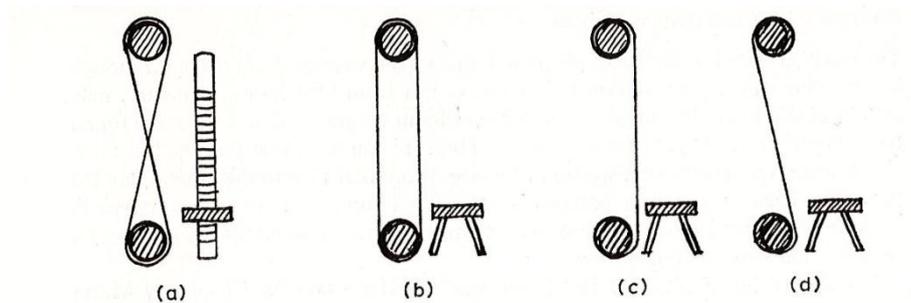


Figure 35 : Les métiers verticaux : le métier à ensouples fixes (a), le métier de Tabriz (b), le métier à ensouple inférieure rotative (c), le métier à ensouples mobiles (d)<sup>57</sup>.

Dans notre cas, il s'agit soit d'un métier vertical à chaîne courte, soit d'un métier vertical à chaîne continue, de « type Tabriz ». Le métier à chaîne courte est plus probable, car c'est ce type de métier qui est le plus souvent utilisé dans les villages en Turquie<sup>58</sup>. Pour réaliser un tapis de ce format, deux artisans peuvent travailler côte à côte, mais il est possible qu'une seule personne ait travaillé sur toute la largeur de la chaîne.

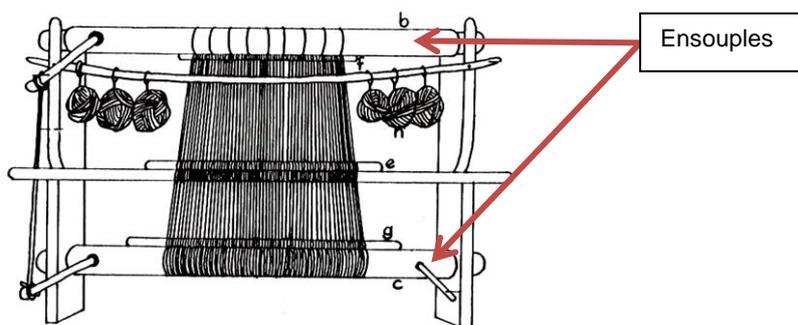


Figure 36 : Le métier à tisser de type « Istar », utilisé dans la région Döşemealtı/Antalya, dessin de Naci Eren<sup>59</sup>

Le tapis que nous étudions provient certainement d'un petit atelier, ou a été réalisé à domicile au sein d'une famille et ensuite récolté par une coopérative. Ce système est très courant à la fin du XIXe siècle, où la production et la vente des tapis représentent un revenu non négligeable pour l'État ottoman. Le tapis a donc été réalisé pour le commerce local ou l'exportation<sup>60</sup>.

### 3.1.2. Le montage de la chaîne

La chaîne est l'ensemble des fils parallèles de longueur égale portés sur le métier avec la même tension. Ils constituent le fondement du tissage et subissent un poids assez lourd au cours du travail. Le nombre des fils de chaîne, leur diamètre, leur matière et leur longueur seront déterminantes pour la pièce. En général, les fils de chaîne ne sont pas teints. La préparation et le montage de la chaîne sont

<sup>57</sup> COLLINGWOOD, 1968, p.44

<sup>58</sup> D'après un entretien avec M. Roland Gilles, spécialiste des tapis noués orientaux, ancien chargé de collection à l'Institut du monde Arabe.

<sup>59</sup> EREN, 1989, p.13

<sup>60</sup> D'après un entretien avec M. Roland Gilles.

appelés « ourdissage »\*. La préparation peut se faire en dehors du métier à l'aide d'un ourdissoir vertical ou horizontal : les fils, enroulés entre des bâtons ou des piquets espacés, sont ensuite transférés sur les ensouples du métier. Pour les métiers à ensouples fixes, l'ourdissage est généralement réalisé sur le métier : le fil de chaîne est tendu d'une ensouple à l'autre en observant toujours la même tension. Les nœuds présents le long de la chaîne (afin d'avoir une longueur plus importante) sont placés au niveau des ensouples pour ne pas fragiliser le tapis.

Une fois que la chaîne a été tendue, l'on pose le système des lisses\*, qui n'est pas spécifique aux tapis, mais similaire à celui de tout métier à tisser. On insère tout d'abord un « bâton de croisure » dans l'entre-deux des fils de chaîne de façon à séparer celle-ci en deux nappes : une nappe de « fils avant » et une nappe de « fils arrière », ou une nappe de fils pairs et une nappe de fils impairs. La perche de lisse, qui est fixe, repose à l'extérieur, à mi-hauteur du métier. En tirant cette perche, le tisserand tire vers lui tous les fils de la nappe arrière qui, ce qui entraîne sur le côté de la chaîne une ouverture par laquelle le tisserand passe la trame. Dans les métiers plus simples, c'est une baguette amovible déplacée par le tisserand, qui sépare les deux nappes pour le passage de la trame<sup>61</sup>.



Figure 37 : Montage de la chaîne, Tapis turcs, Uğur Ayyıldız<sup>62</sup>

### 3.1.3. Les outils

- Le peigne : il permet de tasser la trame et les nœuds. Il peut être en bois ou en métal, ou le manche en bois et les dents en métal. Les dents sont polies afin de ne pas abîmer la chaîne.
- Le couteau : il coupe sommairement les brins après la réalisation de chaque nœud.
- Les ciseaux courbes sont utilisés pour égaliser le velours.
- Les navettes ou broches : elles permettent de faire passer la trame entre les chaînes.

<sup>61</sup> COLLINGWOOD, 1968, p.47

<sup>62</sup> AYYILDIZ, 1993, p.9



Figure 38 : De gauche à droite et de haut en bas : les nœuds sont tassés à l'aide du peigne, les brins d'un nœud sont coupés au couteau, le velours est égalisé aux ciseaux, la trame est passée à l'aide d'une navette<sup>63</sup>.

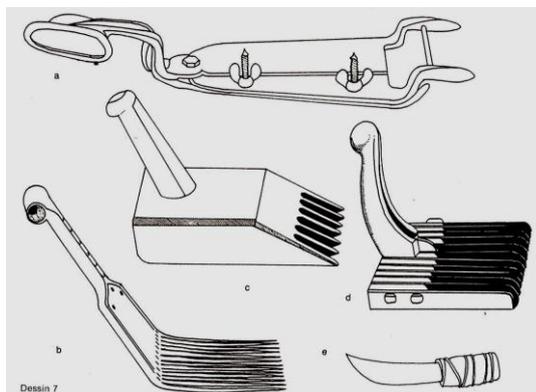


Figure 39 : En bas à droite, le petit couteau appelé « yün bıçağı » en turc, en haut, les ciseaux à tapis (« halı makası »), et trois différents types de peignes (« kirkit »)<sup>64</sup>.

### 3.1.4. Les techniques

Un tapis noué est une construction textile dont la surface est couverte de touffes de poil enroulées autour des fils de chaîne suivant divers types de nœuds, avec des trames introduites en nombre variable entre les rangées de nœuds successives<sup>65</sup>.

<sup>63</sup> AYYILDIZ, 1993, p.9

<sup>64</sup> EREN, 1989, p.14

<sup>65</sup> Vocabulaire technique du CIETA, Centre international d'étude des textiles anciens.

Après le montage des chaînes sur le métier, et avant de nouer le velours (ou poil) du tapis, l'artisan tisse en général une bande en armure toile avec les fils de trame. Ce tissage donne un appui aux nœuds et les bloque aux extrémités. Une bande semblable est tissée à la fin de l'ouvrage. Ces bandes sont souvent nommées « kilims », car il s'agit, en effet, de la même technique de tissage que dans un kilim\*. À Döşemealtı, ces bandes sont plus importantes sur les tapis anciens (10 à 15 cm), alors que les tapis du XXe siècle n'ont qu'une bande de quelques centimètres de long<sup>66</sup>.

#### - La trame

La trame forme avec la chaîne la croisure élémentaire de l'armure toile<sup>67</sup> et bloque la rangée de nœuds une fois que celle-ci est achevée. Passer la trame peut être un processus long et est une étape difficile du tissage : si la tension n'est pas constante, les côtés du tapis ne seront pas parallèles et ce dernier risque de gondoler une fois posé au sol.

La trame peut être constituée d'une ou de plusieurs passées\* (ou coups). Leur nombre dépend de la hauteur du poil : plus celui-ci est long, plus on peut se permettre d'ajouter des coups de trame, car cette dernière sera dissimulée par la hauteur du poil sur la face du tapis. Le plus souvent, deux passées de trame sont tissées entre chaque rangée de nœuds. Si ce nombre varie sur un même tapis, cela veut dire qu'il n'a probablement pas été tissé dans un atelier mais à domicile, où la liberté du tisserand est plus grande. La trame n'est pas toujours passée en une fois d'un bout à l'autre de la chaîne. Quand plusieurs tisserands travaillent côte à côte, ils peuvent se contenter de passer la trame sur la largeur directement disponible en face d'eux, pour aller plus vite. Cela provoque le phénomène appelé en anglais « lazy lines » (« lignes de paresse »), qui fait apparaître de curieuses diagonales au revers des tapis. En effet, pour éviter que des fentes verticales affaiblissent la chaîne à l'endroit où chaque personne renvoie la trame dans l'autre sens, les tisserands décalent d'un fil de chaîne - par exemple sur la gauche - le retour de cette trame et ainsi de suite. La ligne diagonale qui se dessine alors au dos du tapis est due aux minuscules portions de chaîne laissées à découvert quand on procède ainsi.



Figure 40 : « Lazy lines au revers d'un tapis »<sup>68</sup>

<sup>66</sup> EREN, 1977, p.40

<sup>67</sup> L'armure de base des textiles, la trame passe successivement en-dessous d'un fil de chaîne et au-dessus du fil suivant, et ainsi de suite.

<sup>68</sup> WEARDEN, 2003, p.16

- Les nœuds

Les nœuds sont généralement réalisés sur toutes les chaînes disponibles (excepté celles prises par les lisières) et régulièrement espacés. Ils sont coupés à quelques centimètres de long et les fils sont tirés vers le bas pour être tassés. Le terme de nœud n'est pas tout à fait exact, car ces derniers ne tiennent pas seulement en étant tirés, ils sont également comprimés par le passage des trames, introduites en nombre variable entre les rangées de nœuds successives. Les brins des nœuds sont égalisés à intervalles réguliers pour que le velours soit partout de même épaisseur. Une dernière coupe est effectuée après le retrait du tapis du métier à tisser. Un tapis rasé de près présente au regard une grande précision du dessin, tandis que les tapis à poils plus longs ont un aspect plus flou et plus compact. Les tapis noués présentent, pour une grande majorité, deux types de nœuds :

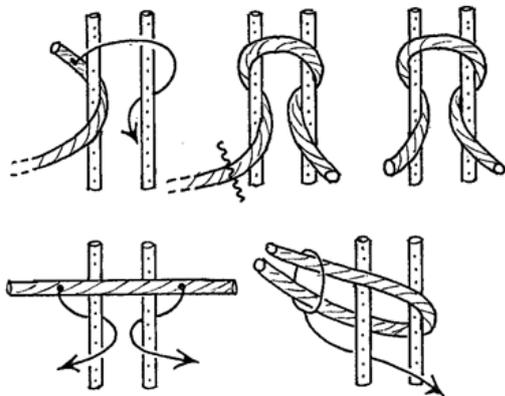


Figure 41 : Nœud symétrique réalisé avec un fil continu (en haut) et avec des brins pré-coupés (en bas)<sup>69</sup>. Note : une fois que les brins sont coupés, il n'est pas possible de savoir si les nœuds ont été réalisés avec un fil continu ou des brins pré-coupés.

Le nœud symétrique : appelé également « nœud turc » ou « nœud de Ghiordès », d'après la ville du même nom, centre de production de tapis, située non loin d'Izmir. C'est le nœud le plus employé et qui est réputé pour être le plus solide. La boucle enlace deux fils de chaîne contigus et fait retomber ses extrémités perpendiculairement entre ces deux fils. Il est utilisé partout en Anatolie et dans le Caucase, il est également employé en Iran par certaines populations nomades. Ce nœud est reconnaissable au fait que les deux extrémités ressortent entre les deux mêmes fils de chaîne.

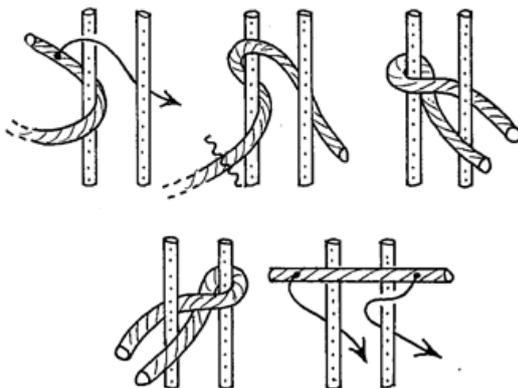


Figure 42 : Nœud asymétrique réalisé avec un fil continu (en haut) et avec des brins pré-coupés (en bas)<sup>70</sup>.

Le nœud asymétrique : appelé également nœud « Sehna » (ou « Senneh ») d'après la ville du même nom dans le Kurdistan iranien) ou « nœud persan ». Il se noue également sur deux chaînes, mais la boucle n'enlace qu'un seul fil de chaîne puis ressort derrière le suivant, les deux brins ressortent séparément. Il assure une distribution égale du velours sur la surface du tapis. Pour le reconnaître, on notera que les poils du velours ont tendance à s'incliner vers l'une des lisières du tapis, selon le sens dans lequel il a été réalisé. Ce nœud est et a été utilisé surtout en Perse, en Inde et en Chine, plus rarement en Turquie.

<sup>69</sup> COLLINGWOOD, 1968, p.226

<sup>70</sup> COLLINGWOOD, 1968, p.231

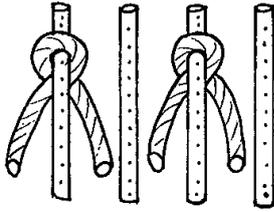


Figure 43 : Nœud dit espagnol<sup>71</sup>

Il existe un troisième type de nœud dit « nœud espagnol », car il était utilisé au Moyen-Age en Espagne par les tisserands maures. Il se fait sur une seule chaîne, il est moins solide que le nœud turc, et est réalisé en quinconce sur deux rangs, ce qui le rend aisément reconnaissable.

Le tapis qui fait l'objet de cette étude a été réalisé avec des nœuds symétriques, comme c'est traditionnellement le cas en Turquie.

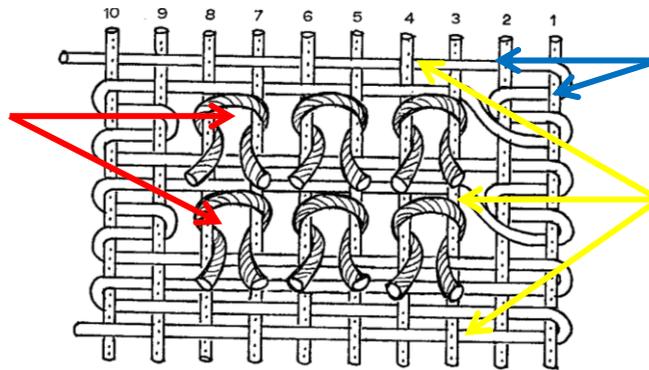


Figure 44 : Vue générale schématique de l'aspect d'un tapis noué<sup>72</sup>: les nœuds au centre (flèches rouges), séparés par des passées de trame (flèches jaunes), qui constituent également les lisières en entourant les fils de chaîne (flèches bleues).

En observant un tapis, on peut déterminer le point de départ et l'extrémité finale du tissage, en fonction du sens des nœuds : en effet, lorsque le tisserand noue chaque brin de laine autour de deux fils de chaîne, il tire vers lui les deux extrémités du brin, puis, une fois la rangée finie, il passe la trame qu'il avait laissée sur le côté et tasse l'ensemble avec le peigne.

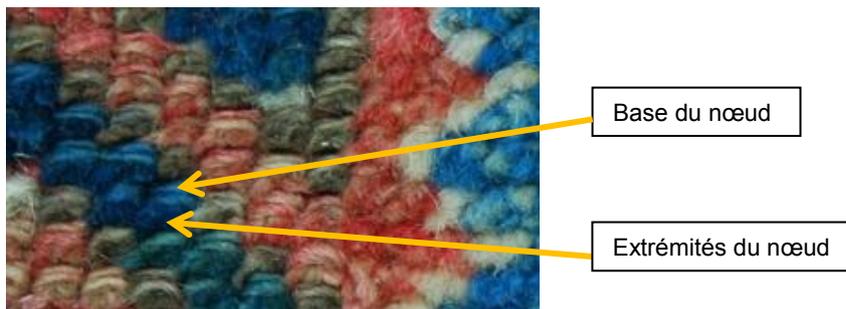


Figure 45 : Les nœuds sont inclinés vers le bas et se recouvrent légèrement les uns sur les autres. En dessous, les trames sont invisibles (endroit du tapis, zone où les nœuds sont usés ce qui permet de voir la base du nœud).  
© Inp/L.Metatla

<sup>71</sup> COLLINGWOOD, 1968, p.232

<sup>72</sup> COLLINGWOOD, 1968, p 234



Haut = fin du tissage

Bas = début du tissage

D'après Jennifer Wearden<sup>73</sup>, la moyenne du nombre de nœuds que peut effectuer un tisserand dans une journée lors de la confection d'un tapis se situe autour de 2500 à 3000, un très bon tisserand peut atteindre 6000 à 12000 nœuds/jour. La vitesse de nouage ne dépend pas uniquement de la dextérité du tisserand, mais de la densité des nœuds, de la nature des matériaux utilisés, et de la complexité du dessin.

- Les lisières (ou galons latéraux)

Les lisières ont une fonction pratique car elles maintiennent les nœuds et évitent les déformations, et une fonction décorative car elles apportent un filet de couleur supplémentaire aux extrémités latérales de la pièce. Il existe deux types de méthodes pour tisser les lisières, chacune comportant plusieurs variations<sup>74</sup>. Soit la trame du tapis est utilisée, soit une trame supplémentaire est utilisée. Dans le premier cas, les lisières peuvent ensuite être recouvertes par des fils plus solides une fois que le tapis a été retiré du métier à tisser.

La plupart du temps, les fils de chaîne sont regroupés par deux ou plus pour des raisons de solidité et pour compenser la hauteur des nœuds.

---

<sup>73</sup> WEARDEN, 2003, p.18

<sup>74</sup> WEARDEN, 2003, p.15

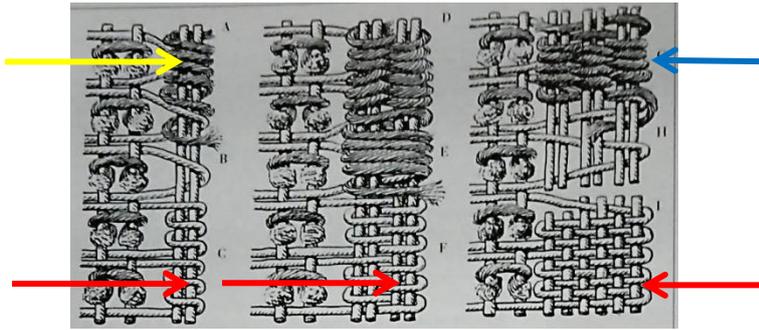


Figure 46 : Différentes façons de réaliser les lisières<sup>75</sup> : la trame du tapis est utilisée (flèches rouges), une trame supplémentaire est utilisée (flèche bleue), lisière recouverte par un fil plus solide (flèche jaune).

#### - Les franges

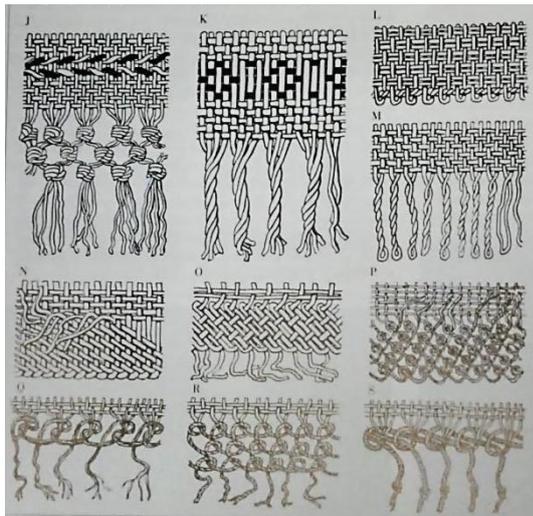


Figure 47 : Différentes manières de réaliser les franges<sup>76</sup>

Lorsqu'un tapis est retiré du métier, les fils de chaîne sont visibles aux deux extrémités ; ils sont généralement regroupés en franges. Pour réaliser une frange, le plus simple est de nouer les fils de chaîne par deux ou jusqu'à six à la fois, mais ces derniers peuvent également être tressés de manière complexe, ou bien repliés et réintroduits dans le tapis. Les franges sont très vulnérables aux altérations mécaniques, elles ont tendance à s'abîmer après dix à quinze ans d'usage<sup>77</sup>.

### 3.1.5. Les matériaux



Figure 48 : « Fillette de Döşemealtı, filant à la main »<sup>78</sup>

Les tapis turcs sont fabriqués en utilisant traditionnellement de la laine de mouton pour la chaîne, la trame et les nœuds. Les moutons sont tondus deux fois par an, au printemps et en automne. La toison d'automne est privilégiée, car elle est plus propre et moins emmêlée que celle de printemps<sup>79</sup>. Depuis le XXe siècle, l'on trouve souvent des fils de chaîne en coton sur des tapis provenant de grands ateliers urbains, et les nœuds sont parfois réalisés avec des fils de soie pour plus de finesse.

<sup>75</sup> WEARDEN, 2003, p.14

<sup>76</sup> WEARDEN, 2003, p.14

<sup>77</sup> WEARDEN, 2003, p.12

<sup>78</sup> ITEN-MARITZ, 1976, p.190

De la toison de laine au fil :

Les fibres sont d'abord lavées et débarrassées des impuretés et de la graisse présente sur la toison. Elles sont ensuite soit peignées, soit cardées, selon leur longueur et leur qualité. Les fibres peignées s'orientent de manière alignée avant le filage. La laine peignée produit un fil résistant et doux et est la plus recherchée pour le tissage des tapis. Si les fibres de laines sont courtes, elles sont cardées, c'est-à-dire passées entre deux planches de bois cloutées. Les fibres ainsi préparées ont tendance à s'orienter dans différentes directions, ce qui produit un fil doux et duveteux plutôt utilisé pour le velours du tapis.

Dans la région de Döşemealtı/Antalya, la laine est filée avec un fuseau appelé « kirman », qui est constitué d'un bâton long et fin, qui passe dans deux éléments recourbés formant une croix. La laine peut également être filée avec un autre type de fuseau appelé « iğ » qui est constitué d'un bâton et d'un poids.

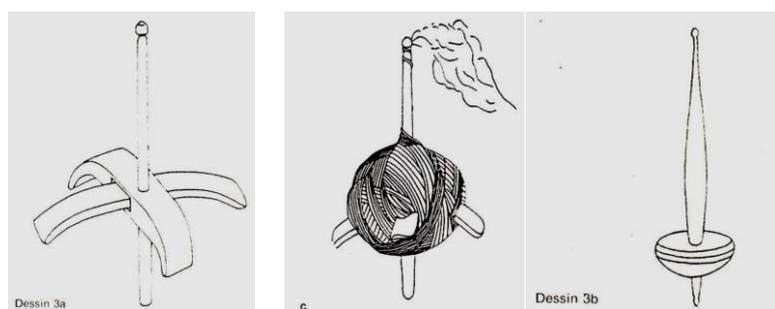


Figure 49 : dessin de Naci Eren : 3a : kirman, c : fil enroulé sur le kirman, 3b : iğ<sup>80</sup>

Les fils sont ensuite mis en bobine et retordus si nécessaire sur un rouet<sup>81</sup> appelé « çark » ou « çıkrik ».

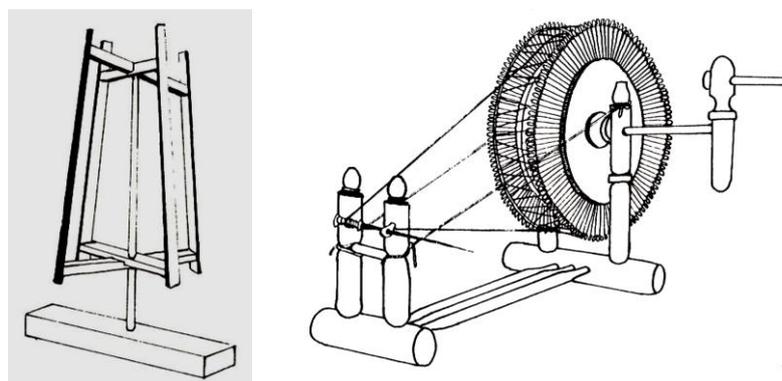


Figure 50 : dessins de Naci Eren, bobine (gauche) et rouet (droite)<sup>82</sup>.

<sup>79</sup> EREN, 1989, p.9

<sup>80</sup> EREN, 1989, p.11

<sup>81</sup> Instrument à roue muni d'une pédale, qui sert à filer la laine, le chanvre et le lin.

<sup>82</sup> EREN, 1989, p.12

Les fils simples sont rarement utilisés, ils sont la plupart du temps retordus ensemble. Un fil à quatre bouts ou plus provient le plus souvent d'un atelier commercial<sup>83</sup>. Trois sortes de fils sont utilisées pour les tapis :

- Fils de chaîne : ils doivent être fortement retordus car ils supportent le poids et la tension de toute la structure lorsque le tapis est sur le métier. À l'exception des franges qui constituent leurs extrémités, ils sont invisibles dans le corps du tapis. Ils sont donc non-teints et présentent les nuances naturelles de la laine de mouton allant du blanc crème au marron.
- Fils de trame : ils sont moins retordus, car la trame doit pouvoir être tassée facilement.
- Fils pour les nœuds : ils sont très peu retordus, afin que les pointes coupées s'ouvrent naturellement et forment une surface à l'aspect duveteux.



Figure 51 : torsions S et Z

La torsion peut être dans le sens Z ou S, d'après les normes utilisées depuis 1937<sup>84</sup>. Une torsion notée Z2S indique que la première torsion est en Z, puis les deux bouts ont été retordus ensemble par une torsion S. Le sens de la deuxième torsion est opposé à la première pour éviter une sur-torsion et un enroulement du fil sur lui-même. La torsion Z est plus couramment employée que la torsion S (cette dernière est plus employée dans des régions où le lin était utilisé, comme en Egypte, parce que la fibre de lin a une tendance naturelle à s'enrouler en S)<sup>85</sup>.

### 3.1.6. Les teintures

Plus un tapis contient de couleurs différentes, plus la probabilité qu'il provienne d'un atelier commercial est grande<sup>86</sup>. Les couleurs comme le blanc, le marron et le noir proviennent des nuances naturelles de la laine autant que possible. Pour les autres couleurs, des teintures naturelles végétales, animales ou minérales étaient utilisées jusqu'à la fin du XIXe siècle. Chaque teinturier, famille ou atelier avait ses propres recettes, dépendantes des ressources naturelles de la région. La teinture était un processus assez long, et pouvant être influencé par de nombreux facteurs difficilement prévisibles : le climat, les éléments minéraux pouvant être contenus dans la graisse (suint) de la laine, les éléments minéraux contenus dans l'eau locale, les espèces de plantes utilisées, différentes selon la saison et le lieu de récolte. La laine filée de façon irrégulière n'absorbe pas la teinture uniformément, ce qui peut produire des variations de couleur sur un même fil. Il était très rare d'obtenir d'un bain de teinture à un autre deux écheveaux exactement de la même couleur. Ces variations de nuances apparaissent souvent sur les grandes plages monochromes du décor des tapis. On appelle ces changements à l'intérieur d'une même couleur des « abrash ». D'autres variations

<sup>83</sup> WEARDEN, 2003, p.13

<sup>84</sup> International Cotton Committee, WEARDEN, 2003, p.13

<sup>85</sup> WEARDEN, 2003, p.13

<sup>86</sup> WEARDEN, 2003, p.17

accidentelles peuvent arriver au cours du tissage des tapis : si la lumière ambiante est faible, le tisserand, par suite de sa fatigue, peut être amené à confondre deux couleurs sombres.

- Colorants à mordants : un sel métallique doit imprégner la fibre avant la teinture, afin de lier chimiquement la fibre et les molécules colorantes. Jusqu'à la fin du XIXe siècle, l'on utilisait comme mordants de l'écorce de grenade ou l'écorce de certains arbres, puis les mordants à base de sels d'aluminium ou de fer ont été utilisés à grande échelle. Le rouge est fourni par les racines de garance (*Rubia tinctorum*). La cochenille (*Dactylopius coccus*) est également utilisée pour des rouges plus violacés. Le jaune est fourni par le safran (*Crocus sativus*), la racine de curcuma (*Curcuma longa*), les feuilles de gaude (*Reseda luteola*) ou encore le sumac (*Cotinus coggygria*).
- Colorants de cuve : l'unique colorant de cuve présent sur les laines des tapis est l'indigo\*, pigment d'origine végétale que l'on fait fermenter dans une eau alcaline pour en dissoudre le principe colorant. La couleur bleue apparaît lors de la sortie des fils de la cuve, par réaction avec l'oxygène de l'air. La couleur verte est plus chère à produire, car elle est obtenue par sur-teinture de jaune sur du bleu.
- Colorants directs : ce sont les colorants synthétiques, dissouts dans un bain où les fils de laine sont trempés. Le premier colorant à base d'aniline<sup>87</sup>, un violet brillant, a été inventé par Henry Perkins en 1856. En 1858, on a réussi à synthétiser d'autres couleurs comme le magenta, le bleu ou le vert émeraude. Ces couleurs n'étaient pas très résistantes à la lumière. Entre 1875 et 1890, d'autres couleurs ont été synthétisées, comme des rouges, des oranges et des jaunes, qui étaient un peu plus résistants. Ces nouvelles couleurs vives étaient très demandées<sup>88</sup>. À partir du XXe siècle, la composition chimique des teintures synthétiques est très proche de celle des teintures végétales qu'elles reproduisent, et les couleurs sont de bonne qualité, moins chères et plus faciles dans la mise en œuvre. Elles se développent très rapidement jusqu'à supplanter les teintures naturelles.

Les couleurs des tapis de Döşemealtı sont le rouge, le bleu foncé, le marron, le vert et le blanc. Les couleurs telles que le vert clair, le marron clair, le bleu clair, l'orange et le rose ancien ne se retrouvent presque plus dans les tapis actuels<sup>89</sup>. La plante la plus importante pour la teinture en Turquie est la garance (*Rubia tinctorum*), appelée « kökboya » en turc. Le rouge a toujours été une couleur très importante en Turquie, associée au feu, elle était réputée pour combattre les mauvais esprits. D'après Naci Eren, le processus de teinture à Döşemealtı est assez complexe, et nous n'avons pas été en mesure d'en saisir toutes les étapes avec précision, à cause de la présence de nombreux termes non

---

<sup>87</sup> L'aniline, connue également sous les noms d'aminobenzène, phénylamine ou benzèneamine, est un composé organique aromatique de formule chimique C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>NH<sub>2</sub>. L'aniline a été, au XIXe siècle, à la base du développement de l'industrie des colorants de synthèse.

<sup>88</sup> Des colorants synthétiques ont été utilisés pour deux des nuances de rouge présentes sur le tapis que nous étudions (voir 3.4. Couleurs et teintures, p.53).

<sup>89</sup> EREN, 1989, p.32

traduits. Un mélange de teintures naturelles et synthétiques semble être utilisé. Les plantes suivantes sont mentionnées : « sütlegen » (*Euphorlia Biglandulora*), « hayit » (*Vitex agnus castus*<sup>90</sup>), des feuilles de vigne, de l'écorce de grenade, de l'écorce et des feuilles de noyer, « ezentere » (*Daphnea ginidioides*), des pelures d'oignons, des feuilles de murier et de tomate. La teinture se fait en deux étapes : la première s'appelle « İpin acilanmasi » ou « İpin kestirilmesi » et correspond certainement au mordantage. Ensuite, les fils sont immergés dans un bain d'eau additionnée de cendres et d'urine de mouton, mélangés avec des « teintures commerciales »<sup>91</sup>.

### 3.1.7. Les traitements post-tissage

« Le lavage permet de faire briller les couleurs du tapis »<sup>92</sup>. Dans *Les tapis turcs*, de Naci Eren<sup>93</sup>, l'on trouve la mention de différents traitements effectués après le tissage et avant le lavage du tapis : une application de soude caustique<sup>94</sup> diluée (2 kg dans 180-220 litres d'eau) sur la face du velours, application à vertu réductrice qui est plutôt utilisée pour les tapis dont les laines sont teintées avec des colorants synthétiques, jugés trop clinquants. Après cette opération l'auteur constate le dégorgement des couleurs (« passées les unes dans les autres »), et mentionne une deuxième opération qui « répare » la première : une solution de chaux<sup>95</sup> (un verre de chaux dans un seau d'eau bouillante) : « ce mélange nettoiera les couleurs passées les unes dans les autres ». Ensuite le tapis est rincé. Éventuellement, un dernier traitement à base de chaux mélangée à du chlore est effectué : « sa fonction est de fixer les couleurs ». « Le chlore permet de donner un air ancien au tapis car il fait passer les couleurs trop éclatantes ». <sup>96</sup> Ce dernier traitement était appliqué au cours du XXe siècle pour les tapis destinés à l'exportation.

## 3.2. Analyse technique

**Chaîne** : réduction\* 5 fils/cm, laine écriue, retors S de deux bouts Z (Z2S).

**Trame** : réduction 6 fils/cm, laine, légère torsion Z. Différentes couleurs peuvent être répertoriées après l'examen du revers : rouge foncé, rouge rosé, beige, marron, et exceptionnellement bleu (une seule passée bleue en partie inférieure (voir « Cartographie des couleurs de trame », p.47).

La trame est constituée de deux passées\* entre chaque rangée de nœuds. Les deux passées sont de même tension, ce qui est caractéristique des tapis turcs, et fait qu'ils restent bien plats lorsqu'ils sont posés au sol. La trame est traditionnellement rouge en Turquie, ce qui comportent un aspect pratique pour le tissage, car cela fait contraste avec la chaîne généralement blanche, mais également un

---

<sup>90</sup> L'arbre au poivre ou le gattilier.

<sup>91</sup> EREN, 1989, p.32

<sup>92</sup> EREN, 1989, p.32

<sup>93</sup> EREN, 1989, p.32

<sup>94</sup> Hydroxyde de sodium (NaOH).

<sup>95</sup> Hydroxyde de calcium hydraté Ca(OH)<sub>2</sub>.

<sup>96</sup> EREN, 1989, p.32

aspect symbolique : la chaîne blanche représente une ossature, un élément fixe, et la trame rouge qui va et vient est souvent assimilée à la chair et au sang<sup>97</sup>.



Figure 52 : Bord supérieur, revers : deux passées de trame rosée sont visibles entre chaque rangée de nœuds (marron, rouge et bleu), examen à la loupe binoculaire. ©Inp/L.Metatla

**Poil (ou velours)** : nœud symétrique entourant à chaque fois deux fils de chaîne, fil à deux bouts filés en Z et faiblement retordus en S, couleurs : écru, marron, bordeaux, rouge (au moins trois nuances), bleu (clair/foncé), bleu-vert. Réduction : 2,5 à 3 nœuds par cm dans le sens horizontal, 3 nœuds par cm dans le sens vertical, soit 24-25 nœuds par dm dans le sens horizontal, et 28 dans le sens vertical, ce qui donne une densité d'environ 700 nœuds/dm<sup>2</sup>. À Döşemealtı, selon Naci Eren, la densité des tapis « anciens » est de 3x4 nœuds/cm<sup>2</sup>, alors que sur les tapis « récents », la réduction est plutôt de 2x2 nœuds/cm<sup>2</sup>.

Note : la densité des tapis est habituellement calculée par dm<sup>2</sup>, alors que la réduction des textiles en conservation-restauration est plutôt exprimée en nombre de fil par cm.

La hauteur du poil est variable : toutes les zones de couleur marron clair sont légèrement moins hautes que le reste des motifs. Cela est sans doute dû à la teinture, probablement à base de fer, qui a dégradé préférentiellement cette laine. On notera que cette différence de niveau ne s'observe pas dans la partie haute, où une laine d'un marron plus foncé a été utilisée. Les colorants ou le processus de teinture de cette laine ont sans doute été différents.



Figure 53 : Bordure inférieure, différence de niveau entre le marron et les autres couleurs. ©Inp/L.Metatla

<sup>97</sup> D'après un entretien avec M. Roland Gilles.

## Cartographie des couleurs de trame

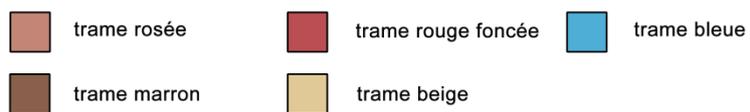


Figure 54 : cartographie des couleurs de trame, revers du tapis. ©Inp/L.Metatla

## Lisières

Elles ne sont pas d'origine (voir Partie II : Constat d'état, 1.5. Réparations anciennes, p.69).

Les lisières d'origine auraient probablement formé un « galon plat » : la trame est tissée « en huit » sur plusieurs fils de chaîne. C'est la technique la plus couramment employée en Turquie.

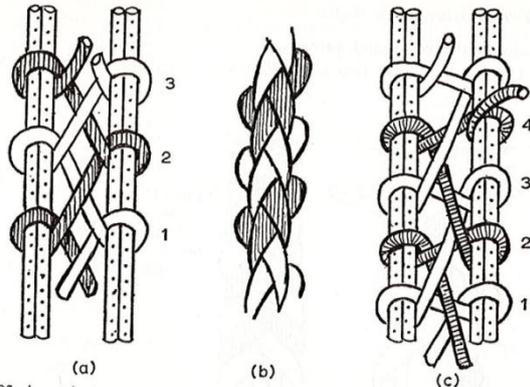


Figure 55 : Lisière ou « argatch » en huit : technique de réalisation la plus courante (a), résultat (b), variante (c) d'après Collingwood<sup>98</sup>.

## Franges

Nous ne pouvons pas déterminer le mode de finition d'origine des franges, car le tapis n'est plus dans son état « tombé de métier », il a déjà été réparé. Il manque la bordure à motifs de losanges au niveau du bord inférieur, ainsi que les bandes en tissage toile qui commencent et finissent la pièce (voir Partie II : Constat d'état, 1.5. Réparations anciennes, p.66).

### 3.3. Composition et motifs



Le décor du tapis est composé d'un champ central encadré de trois bordures principales et de trois bordures plus fines intercalées (contre-bordures). D'après Naci Eren<sup>99</sup>, ce tapis conservé au musée du quai Branly-Jacques Chirac serait à classer dans la première catégorie, qui se nomme « Halleli » (voir 2.3. Contexte historique, Les tapis de Döşemealti, p.21). L'une des particularités des tapis « Halleli » est la répartition des motifs sur l'ensemble du champ, ce qui fait que l'on ne peut pas se concentrer sur un point, les motifs donnent l'impression de se prolonger au-delà du cadre de la bordure dans une extension infinie.

<sup>98</sup> COLLINGWOOD, 1968, p.244

<sup>99</sup> EREN, 1989, p.66

- Champ central : hauteur 116 cm, largeur 62 cm

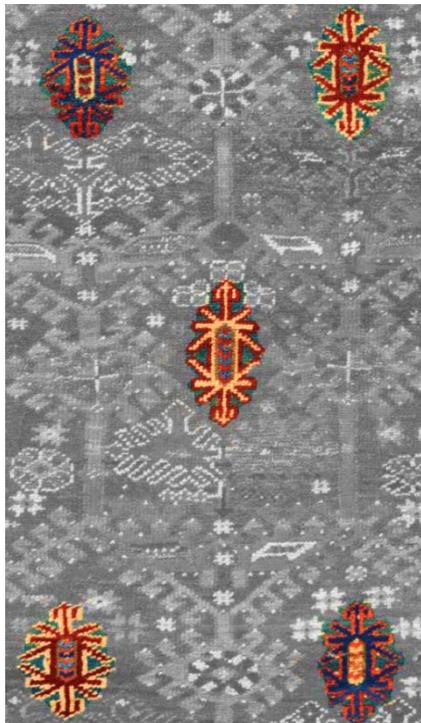


Le fond est structuré par un motif de « grille » rouge comportant de petits éléments « crochetés », qui est sans doute dérivé des tapis de type « Lotto<sup>100</sup> ».



Figure 56 : détail d'un tapis « Lotto »<sup>101</sup>

Le motif est presque symétrique, mais pas selon un axe de symétrie. Le même enchaînement de motifs se répète deux fois en partant du haut selon une translation verticale.



Motif d'hexagone aux extrémités en forme de flèche, peut-être une palmette stylisée, qui se retrouve cinq fois dans le champ : une fois au centre et aux quatre coins. Les couleurs sont alternées en haut et en bas du champ central.

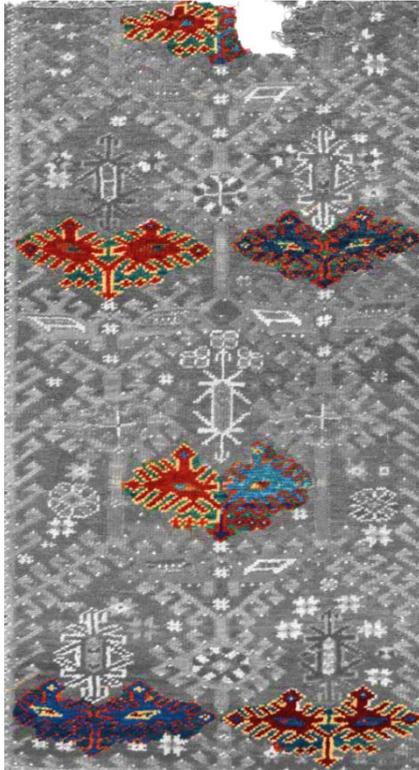
Selon Ayşen Aldoğan<sup>102</sup>, ce motif s'appelle « Arap », qui signifie « arabe » en turc. Selon une autre publication turque<sup>103</sup>, il s'agit d'une main (« El » en turc) qui symbolise la protection.

<sup>100</sup> Voir 2.2. Contexte historique, Les tapis noués en Turquie, p.18.

<sup>101</sup> *Le ciel dans un tapis*, p.25

<sup>102</sup> ALDOĞAN, 1981

<sup>103</sup> *Turkish Handwoven Carpets*, 1987



Motif de feuille double avec une flèche vers le bas, qui se retrouve six fois sur le tapis. Les couleurs sont alternées : le motif est bleu à contour rose-orangé ou bordeaux à contour écru.

Ce motif est aligné sur le motif de grille, il représente peut-être un motif de feuille stylisé, également dérivé des tapis de type « Lotto ».

Ce motif est appelé « dragon », d'après *Turkish Handwoven Carpets*<sup>104</sup>, et est également réputé pour être un motif protecteur.



Rosette ou fleur

Autour des motifs principaux, l'on trouve de nombreuses petites étoiles à huit branches et des rosettes ou fleurs stylisées. Ces petits motifs ne sont pas symétriquement répartis.

Etoile à huit branches

- Bordures principales



**Extérieure** : largeur de 6 à 6,5 cm, alternance de losanges et de petites bandes obliques constituées de petits carrés blancs avec un cœur rouge. Dans chaque losange on trouve un cercle contenant une étoile à huit branches, et deux petits triangles de part et d'autre du cercle. L'on trouve une variante du motif d'étoile : une sorte de fleur ou rosette.

<sup>104</sup> *Turkish Handwoven Carpets*, 1987



Rosette ou fleur

L'alternance des couleurs n'est pas répétée à l'identique sur tout le tapis. Le plus souvent on a une alternance de losanges à fond rouge puis à fond vert/bleu, mais l'on peut également voir deux fois un losange à fond bordeaux, et deux fois un losange à fond blanc écru.



**Médiane** : largeur de 5,5 à 6 cm, elle est constituée d'un motif stylisé pouvant ressembler à des oiseaux posés tête-bêche et qui alternent leurs couleurs : tantôt rouge, tantôt bleu-vert ; entre eux, s'intercalent des triangles qui s'opposent par la pointe, peut-être inspirés de calices de fleurs. Les motifs des côtés latéraux sont légèrement différents des parties horizontales, le tisserand ayant adapté sa composition à la réduction de la chaîne et aux possibilités de détails dans le tissage.

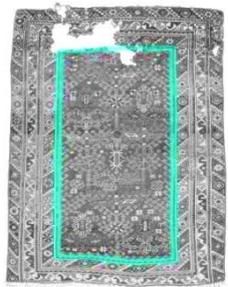


**Intérieure** : même motif que la bordure extérieure, mais les losanges sont orientés différemment (ils sont pointés vers le haut lorsqu'on regarde de gauche à droite).

- Bordures plus fines ou contre bordures



**Extérieure** : 1,5 cm de large, petites rayures obliques ou motif « à la grecque » alternant bleu et rouge clair.

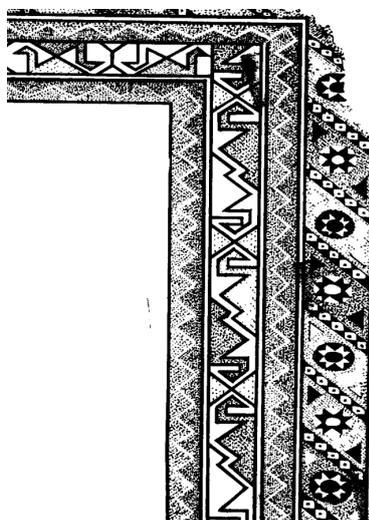


**Médiane** : environ 3 cm de large, motif de zigzag écru au centre, couleur extérieure bleu et intérieure rouge clair.

**Intérieure** : même motif que la bordure médiane, borde le champ central.

Les motifs des bordures ont été retrouvés dans une publication turque de Naci Eren spécifique aux tapis de Döşemealtı<sup>105</sup>.

D'après l'auteur, la bordure à la ligne en zigzag est appelée « bulanık » (qui veut dire « flou » en turc) : elle consiste en deux couleurs séparées par une fine ligne blanche appelée « sığır sidiği » (« urine de bovin »). Elle est appelée « l'eau qui court » dans une autre publication turque<sup>106</sup>.



La bordure centrale est appelée "Deve Suyu". C'est un motif souvent employé dans les bordures, et selon Naci Eren, l'un des plus anciens. Il peut faire penser à des oiseaux stylisés, mais l'auteur affirme qu'il est inspiré par les chameaux (« deve » en turc)<sup>107</sup>, selon les dires des villageois.

La bordure aux losanges est appelée « Tutmaç Suyu ». C'est une bordure traditionnelle très utilisée. Elle est composée de fleurs stylisées octogonales qui ressemblent à des étoiles (appelées « Tutmaç »<sup>108</sup>), et de lignes de « perles » obliques (ces perles sont parfois appelées « œil de brebis »).

<sup>105</sup> EREN, 1977, p.35-41

<sup>106</sup> *Turkish Handwoven Carpets*, cat. 1, 1987

<sup>107</sup> EREN, 1977, p.38

<sup>108</sup> EREN, 1977, p.38



Figure 57 : Au niveau des angles des bordures (ici coin supérieur gauche), le motif ne « tourne » pas convenablement. ©Inp/L.Metatla

« Erreurs » de tissage : elles sont très courantes sur ce type de tapis. Elles ne sont pas considérées comme gênantes sur le plan esthétique, ni par les tisserands, ni par les acheteurs.

### 3.4. Couleurs et teintures

Le tapis qui fait l'objet de notre étude comporte des laines colorées à la fois avec des teintures naturelles et des teintures synthétiques. Ce phénomène était assez courant lorsque les teintures synthétiques sont arrivées sur le marché turc à la fin du XIXe-début du XXe siècle. Elles étaient alors très prisées pour leur nouveauté et la possibilité d'avoir des couleurs très vives. Lors de la réalisation du tapis, il n'était pas rare qu'une même plage de couleur soit commencée avec des teintures naturelles et achevée avec des teintures synthétiques (et inversement).



Figure 58 : Phénomène d'« abrash » visible au niveau du bleu. ©Inp/L.Metatla

Le fond du champ central, bleu avec des nuances de vert, est certainement une couleur obtenue à base d'indigo, comme les autres nuances de bleu présentes sur la pièce. Nous remarquons la présence d'« abrash » au niveau des bleus et des rouges. Ce phénomène n'est pas considéré comme un défaut d'un point de vue esthétique, bien au contraire, il apporte une certaine « vibration » au décor.

Les couleurs semblent très différentes en partie supérieure de la pièce, qui est, en outre, très lacunaire. À partir du haut du champ central, le marron utilisé est différent, il est plus foncé, ce qui donne à l'ensemble un aspect plus saturé et des motifs plus cernés. Le rouge rosâtre, qui présente de nombreuses nuances sur le tapis, a légèrement dégorgé, comme nous pouvons le présumer en voyant la couleur rosée de la chaîne, surtout au niveau des franges. Nous avons pensé qu'il pouvait s'agir d'une teinture synthétique.

Après avoir obtenu l'autorisation du musée du quai Branly-Jacques Chirac pour effectuer des prélèvements, ceux-ci ont été envoyés à un laboratoire partenaire du musée pour l'analyse en chromatographie (Ina Vanden Bergue pour le laboratoire de l'Institut royal du patrimoine artistique, IRPA, Bruxelles). Les deux nuances de marron et les quatre nuances de rouge ont été analysées<sup>109</sup>. Des colorants synthétiques ont été identifiés pour les deux nuances de rouge clair<sup>110</sup>. Les prélèvements de couleur rouge foncé et bordeaux ont été teints avec des colorants naturels (la garance : *Rubia tinctorum* L., et des plantes à tannins). Des plantes à tannins ont également été employées pour la teinture des deux nuances de marron (clair et foncé). Les résultats des analyses vont dans le sens des données bibliographiques évoquées précédemment, selon lesquelles des teintures naturelles et synthétiques étaient utilisées simultanément à partir de la fin du XIXe siècle dans la région de Döşemealtı/Antalya<sup>111</sup>. Ces résultats nous permettent également de confirmer et d'affiner la datation du tapis : fin du XIXe siècle, postérieure à 1878 (date de synthèse des colorants identifiés).

---

<sup>109</sup> Rapport d'analyse disponible en Annexe 4, p.169.

<sup>110</sup> Acid orange 7, Acid red 18 et Acid red 88 pour le rouge très clair, Acid red 88 pour le rouge moyen. Ces colorants acides ont été synthétisés en 1876 pour l'orange 7, 1877 pour le rouge 88 et 1878 pour le rouge 18 (voir rapport d'analyse en Annexe 4).

<sup>111</sup> EREN, 1989, p.32.

## PARTIE II : CONSTAT D'ETAT, DIAGNOSTIC ET PROPOSITIONS DE TRAITEMENT



Figure 59 : lacunes en partie supérieure, bord droit. ©Inp/L.Metatla

## 1. Constat d'état

### 1.1. État général

Le tapis est extrêmement fragile dans toute la partie supérieure, qui ne peut être manipulée sans risque de perte de matière et de dommages supplémentaires. Le reste du tapis est dans un état stable.

### 1.2. Altérations mécaniques

Déformations : le tapis présente de légères ondulations sur les deux côtés et au niveau du coin supérieur droit.



Figure 60 : Les ondulations sur les côtés sont particulièrement visibles en lumière rasante. ©Inp/G. Vanneste

Une importante lacune affecte l'ensemble de la structure (chaîne, trame et nœuds) en partie supérieure, ainsi que de plus petites lacunes sur le côté droit. Les dimensions maximales de la lacune principale sont de 70 x 35 cm.



Figure 61 : Lacunes en partie supérieure. ©Inp/G. Vanneste

- **Chaîne**

La chaîne est manquante dans les lacunes en partie supérieure. Au niveau du reste du tapis, elle assure encore son rôle de soutien structurel.

- **Trame**

La trame est manquante dans les lacunes en partie supérieure. Au niveau des bords des lacunes, quelques fils de trame restants (rouge foncé, marron et beige) sont libres lorsque les chaînes et/ou les nœuds sont absents.



Figure 62 : Bords d'une lacune avec fils de trame rouges laissés libres, haut du champ central. ©Inp/G. Vanneste

- **Nœuds**

On observe une légère usure généralisée des nœuds, surtout au niveau du champ central, les bordures sont un peu moins usées. L'usure concerne plus particulièrement les motifs où les laines sont teintées en marron clair et en rouge clair. La base des nœuds est visible, voire la trame par endroits. Les nœuds sont manquants dans les lacunes en partie supérieure, mais également ponctuellement, alors que la trame et la chaîne sont encore présentes. À certains endroits, la base du nœud est encore présente, mais la hauteur du poil est manquante. Des nœuds isolés et quatre petits fragments qui se sont désolidarisés de leur emplacement d'origine, avant l'arrivée du tapis dans les ateliers de l'Inp, sont conservés dans un sachet Minigrip® en polyéthylène.



Figure 63 : Usure du poil, base des nœuds visible ainsi que la trame rosée par endroits entre les nœuds bleus, milieu du champ central. ©Inp/G. Vanneste



Figure 64 : Lacunes de nœuds, chaîne et trame encore présentes, partie supérieure côté droit du champ central. ©Inp/G. Vanneste



Figure 65 : Éléments désolidarisés fournis à part par le musée du quai Branly-Jacques Chirac, et conservés dans un sachet Minigrip®. ©Inp/L. Metatla

### - Franges

Au niveau du bord supérieur, elles sont très courtes avec des manques. La chaînette\* qui maintient les derniers nœuds, et qui s'enroule autour des franges, est défaits aux endroits où les franges sont

manquantes, et le fil marron qui constitue cette chaînette est rompu au niveau de la lacune principale. Au niveau du bord inférieur, les franges sont en partie lacunaires sur le côté gauche.



Figure 66 : Lacune dans les franges, chaînette défaite et rompue, bord supérieur. ©Inp/L.Metatla

#### - Lisières

Des lacunes sont présentes dans la laine bordeaux qui entoure le cordon tressé, au niveau du bord droit en partie supérieure, ainsi que sur le cordon tressé blanc, qui est rompu et lacunaire sur la partie externe.



Figure 67 : Lacunes de la laine bordeaux qui entoure le cordon tressé (à gauche) et lacunes du cordon tressé (à droite), coin supérieur droit. ©Inp/L.Metatla

## Relevé des altérations mécaniques

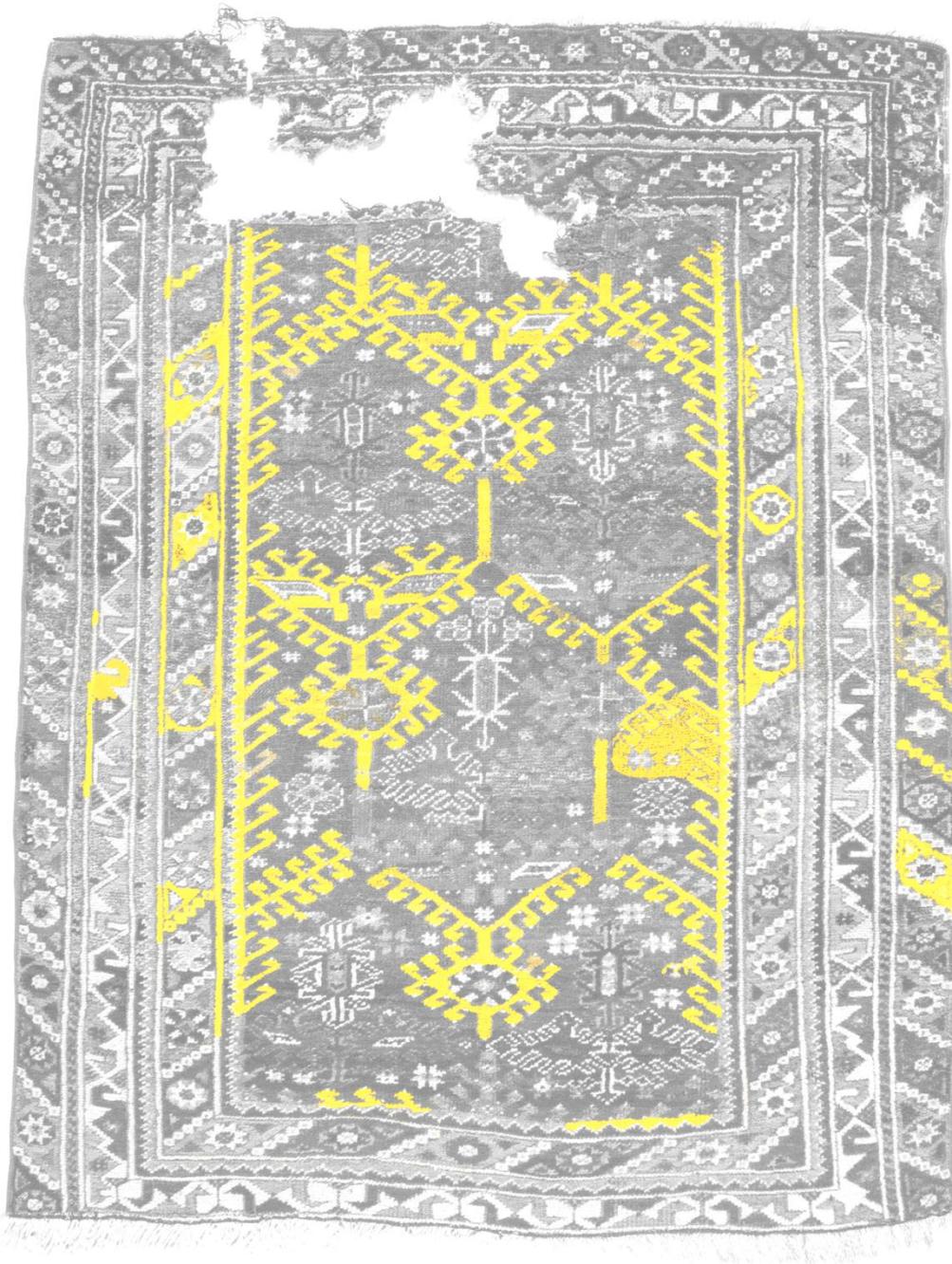


### Altérations mécaniques



Figure 68 : Relevé des altérations mécaniques. ©Inp/L.Metatla

## Relevé des usures du poil



■ Usures

Figure 69 : relevé des usures des nœuds. ©Inp/L.Metatla

### 1.3. Altérations chimiques

Le tapis est légèrement empoussiéré, et toute manipulation engendre une émission de poussière de fibres, qui est présente dans la structure. Le tapis ne présente pas de taches.

#### - Chaîne

La laine est légèrement rosée, plus ou moins selon les zones (voir franges).

#### - Trame

La laine de la trame est sèche et cassante. D'après les observations à la loupe binoculaire, le passage d'une fine épingle d'entomologie<sup>112</sup> a provoqué la rupture de quelques fibres du fil. La trame présente différentes couleurs selon les zones : rouge-rosé majoritairement présent, rouge foncé en partie supérieure du champ central, beige au niveau de la bordure supérieure, marron en partie inférieure. Nous ne savons pas s'il s'agit d'une décoloration de la couleur rouge, qui aurait été employée sur tout le tapis, ou si toutes ces différentes couleurs de trame avaient été utilisées dès la fabrication. Nous pouvons néanmoins préciser, après une observation à la loupe binoculaire d'une zone où la trame est beige (en partie supérieure), que le cœur du fil est rosé, donc il y a certainement eu une décoloration, mais il est peu probable que la trame ait été rouge foncé partout (il y avait peut-être plutôt différentes nuances de rouge, celles-ci étant également présentes dans les couleurs des nœuds). Une cartographie des différentes couleurs de trame est présentée dans la partie I, 3.2. Description technique (p.47).



Figure 70 : fil de trame beige qui apparaît rose au cœur du fil, examen à la loupe binoculaire, partie supérieure.  
©Inp/L.Metatla

#### - Nœuds

Les nœuds présentent une légère décoloration aux extrémités pour l'ensemble des laines utilisées. La couleur rouge ne semble pas avoir dégorgé sur les nœuds de la laine écrue, sauf à un endroit au niveau du bord droit (zone adjacente à un retissage postérieur).

<sup>112</sup> Épingle très fine en acier inoxydable.



Figure 71 : Légère couleur rose sur les nœuds beiges, milieu du bord droit. ©Inp/L.Metatla

#### - Franges

Les franges présentent une couleur rose surtout du côté droit, plus visible en partie inférieure car les franges sont plus longues. La laine des franges d'origine est fragile : d'après un examen à la loupe binoculaire, et des fragments de franges désolidarisés retrouvés, une faible traction provoque la rupture des fibres.



Figure 72 : Fils de chaîne rosés au niveau des franges, bord inférieur côté droit. ©Inp/L.Metatla

**Décoloration de la couleur rouge sur les fils de chaîne et une zone de nœuds (bord droit)**



décoloration rose

Figure 73 : relevé des zones de décoloration du rouge. ©Inp/L.Metatla

## 1.4. Altérations biologiques

Les traces d'une infestation ancienne sont encore visibles : des cocons de mite entiers, ainsi que de nombreux résidus (et des déjections visibles à la loupe binoculaire) se trouvent entre les fibres, cachés entre les nœuds, surtout en partie supérieure, autour des lacunes, ainsi qu'au revers.



Figure 74 : Restes de cocons de mites, partie supérieure, observation à la loupe binoculaire. ©Inp/L.Metatla



Figure 75 : Déjections de mites, partie supérieure, observation à la loupe binoculaire. ©Inp/L.Metatla

## 1.5. Réparations anciennes

Le tapis n'est pas arrivé au Musée de l'Homme dans son état « tombé de métier », il comportait déjà des lacunes :

- La bordure à motifs de losanges au niveau du bord inférieur,
- Une bordure étroite (ou contre bordure), ou au moins une alternance de deux lignes (l'une marron, l'autre écrue) pour « finir » le motif,
- Les bandes en simple tissage toile (ou bandes en « kilim ») qui commencent et finissent tout tapis.



Figure 76 : Schéma présentant le tapis auquel on a rajouté les éléments manquants fictifs (en couleur), en se basant sur les éléments existants. ©Inp/L.Metatla

Ces lacunes n'ont pas été reconstitués, mais les lisières et les bords supérieurs et inférieurs ont été réparés afin d'obtenir un tapis de forme rectangulaire, avec des bords droits.

### 1.5.1. Franges

- Rajout de nouvelles franges

D'après l'examen de l'envers du bas du tapis à la loupe binoculaire, des franges ont été rajoutées dans les zones où elles étaient manquantes. Les « nouvelles » franges sont constituées d'une laine plus blanche et dont les brins sont légèrement plus épais. À plusieurs endroits, les restes des franges d'origines coupées ou rompues sont présents, maintenus de façon quasiment invisibles par la réparation. L'on peut observer ces franges de rajout à partir de 65,5 cm du bord droit. La couture de réparation est visible tout le long du bord inférieur au revers, elle a été réalisée à l'aide d'un fil gris/mauve, retors S de deux bouts.



Figure 77 : Couture de réparation fixant les nœuds, bord inférieur au revers. ©Inp/L.Metatla

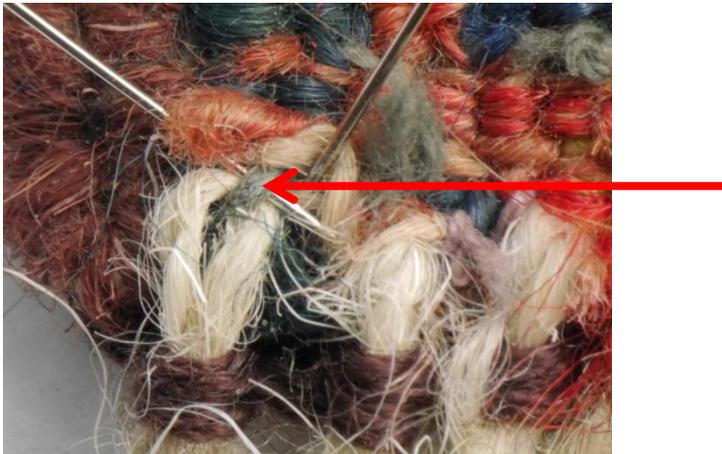


Figure 78 : Coin inférieur gauche, revers, franges rajoutées fixées par un fil gris. ©Inp/L.Metatla

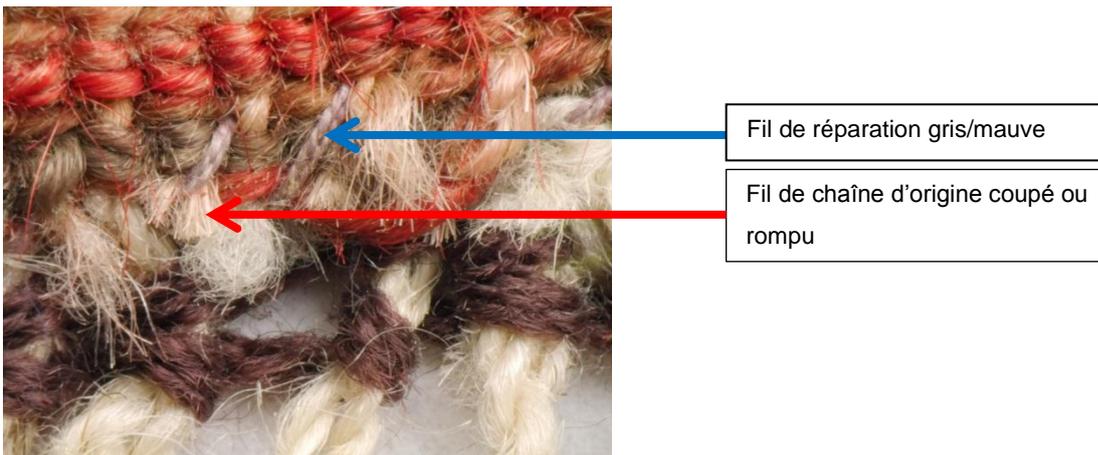


Figure 79 : fils de chaîne d'origine, bord inférieur. ©Inp/L.Metatla

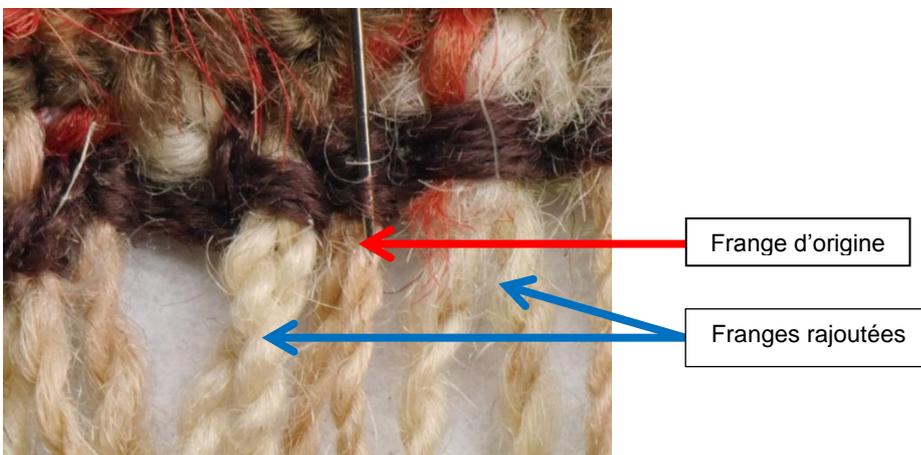


Figure 80 : franges rajoutées, bord inférieur. ©Inp/L.Metatla

Les franges rajoutées sont par endroits nouées deux à deux avec une frange d'origine. Ceci témoignerait de deux étapes de réparation : tout d'abord, on a voulu rallonger les fils de chaîne pour éventuellement procéder au retissage de la bordure inférieure manquante. Ensuite, soit la dégradation s'est poursuivie, soit le retissage a été jugé trop fastidieux, et les bords supérieur et inférieur ont simplement été égalisés afin de former une ligne droite, des franges ont été rajoutées aux endroits où elles étaient manquantes, puis une chaînette a été réalisée afin de bloquer les nœuds.

- Réalisation d'une chaînette

Suite à la perte de matière au niveau des bords supérieurs et inférieurs, ces derniers ont sans doute été égalisés au niveau des nœuds afin d'obtenir une ligne droite. Puis une chaînette a été réalisée sur les fils de chaîne pour maintenir les nœuds en place et éviter qu'ils ne se défassent. Cette chaînette peut être réalisée au crochet ou à l'aiguille. Le fil utilisé est marron, constitué d'un mélange de fibres d'acrylique et de laine, retors Z de quatre brins, chacun étant lui-même un retors S de deux bouts. Cette chaînette est contemporaine ou postérieure aux lisières, car le nœud de départ est fixé dans le bout de la lisière.



Figure 81 : Le nœud du départ de la chaînette est fixé dans la lisière. ©Inp/L.Metatla



Figure 82 : Bord supérieur, chaînette sur les fils de chaîne maintenant les nœuds, franges formées par les fils de chaîne. ©Inp/L.Metatla

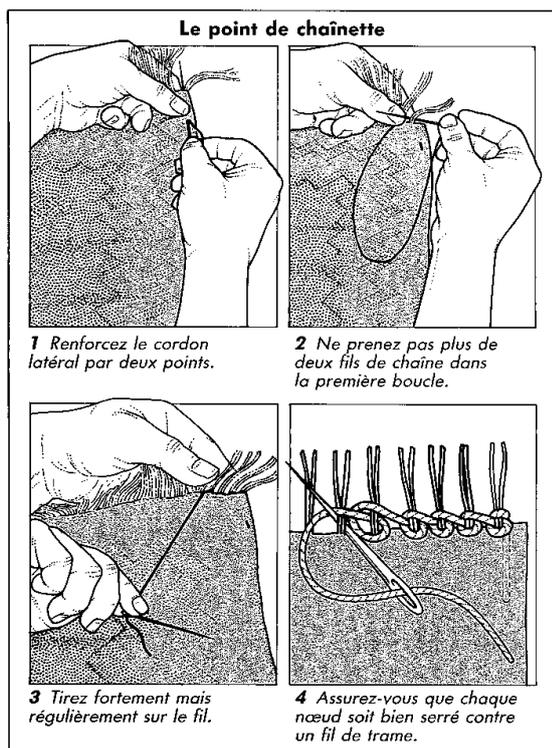


Figure 83 : réalisation de la chaînette, d'après *Réparez vos tapis*<sup>113</sup>.

### 1.5.2. Lisières

La réparation a consisté à réaliser une nouvelle lisière avec un cordon tressé en coton blanc, plié en deux, entouré de laine bordeaux (de torsion Z), et cousu aux bords du tapis avec un fil double gris (par endroits mauve), retors S de deux bouts. Après observation à la loupe binoculaire, l'on peut voir les trames du tapis coupées à la frontière avec la lisière rajoutée.



Figure 84 : Bord droit, partie supérieure : lisière constituée d'un cordon en coton tressé plié en deux et entouré de laine bordeaux, cousu au bord du tapis avec un fil double bleu-gris. ©Inp/L.Metatla

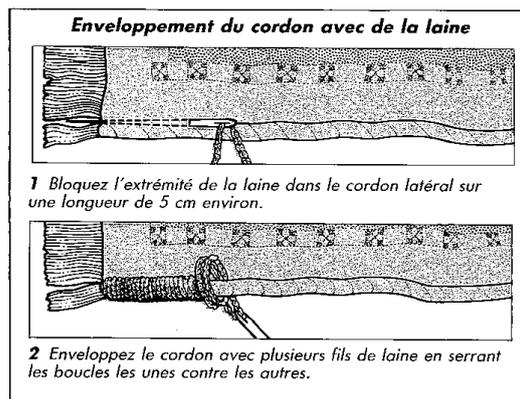


Figure 85 : Technique de réparation : remplacement de la laine sur le cordon, d'après *Réparez vos tapis*<sup>114</sup>.

<sup>113</sup> BERNARDOUX, 1988, p.26

<sup>114</sup> BERNARDOUX, 1988, p.36



Figure 86 : Bord droit, revers : fil de couture gris qui fixe la lisière au tapis. ©Inp/L.Metatla



Figure 87 : Bord droit, revers : fils de trame coupés. ©Inp/L.Metatla

### 1.5.3. Zones retissées et renouées

Deux zones lacunaires ont été réparées par retissage (pour la trame) et renouage (pour les nœuds). La réparation a été effectuée en utilisant en guise de fil de chaîne le fil gris/mauve également utilisé pour la réparation des bords inférieurs et supérieurs, ainsi que pour la couture des lisières sur les bords du tapis. Pour reconstituer l'épaisseur de la chaîne le fil a été doublé deux fois (4 brins). Ces retissages et les réparations précédemment citées dateraient donc de la même période.



Figure 88 : Zone retissée bord droit, revers (à gauche) et endroit (à droite). ©Inp/L.Metatla



Figure 89 : Zone retissée, bord gauche, revers (à gauche) et endroit (à droite). ©Inp/L.Metatla



Figure 90 : Détail au revers : le fil de réparation gris/mauve doublé sert de fil de chaîne pour les retissages. ©Inp/L.Metatla

Relevé des zones de retissage/renouage au revers du tapis

Figure 88



Figure 89

 Retissages

Figure 91 : relevé des zones de retissage/renouage. ©Inp/L.Metatla

## 2. Diagnostic et pronostic

### 2.1. Altération liée au processus de fabrication

La décoloration de la couleur rouge de la trame sur les fils de chaîne provient certainement d'une teinture synthétique datant de la fin du 19<sup>e</sup> siècle, identifiée par des analyses de colorants sur deux nuances de rouge<sup>115</sup>. En effet, ces teintures n'avaient peut-être pas une bonne solidité dans le temps. Mais cette décoloration peut également être le résultat d'un traitement effectué pour donner une « patine », un effet « ancien » au tapis, comme cela se faisait parfois en Turquie à cette époque<sup>116</sup>.

### 2.2. Altérations liées à l'usage du tapis

#### **L'usure des nœuds**

L'usure est plutôt localisée sur le champ central, et peut résulter de frottements liés à l'usage du tapis. Cependant, étant donné que l'usure concerne plus spécifiquement les zones rouges-rosées et marron clair, cela peut également provenir d'une teinture, ou d'un traitement appliqué à ces laines après la teinture, qui les a rendues plus fragiles et donc plus rapidement usées que les autres couleurs.

#### **Les manques des lisières originales et des bandes tissées des bords supérieur et inférieur, ayant entraîné des premières réparations**

Les lisières et les bandes tissées qui commencent et finissent tout tapis sont particulièrement vulnérables et s'abîment en premier. Leur disparition nous prouve que le tapis a bien été utilisé comme revêtement de sol. Les lisières ont été refaites et les bords supérieur et inférieur ont été stabilisés par un point de chaînette. Nous ne pouvons pas déterminer si ces réparations ont été effectuées en Turquie avant le don du tapis au Musée de l'Homme, ou bien en France. Les réparateurs de tapis utilisent généralement les mêmes techniques, qui sont très anciennes (le métier de réparateur de tapis ayant toujours existé dans les pays producteurs de tapis). Des réparateurs de tapis venant de ces pays (principalement la Turquie et l'Iran) ont également travaillé, et travaillent toujours en France.

#### **Les deux lacunes au niveau des bords dans les zones de nœuds, ayant entraîné des premières réparations**

Les lacunes des lisières se sont propagées dans les zones de nœuds, au niveau du bord droit en partie supérieure, et au niveau du bord gauche en partie médiane, probablement lors de l'usage du tapis. Ces lacunes ont motivé des premières réparations avant ou juste après l'acquisition du tapis par le Musée de l'Homme. Les réparations ont été réalisées à l'aide de techniques traditionnelles utilisées

---

<sup>115</sup> Voir Annexe 4, rapport des analyses de colorants, p.169.

<sup>116</sup> Voir partie I, 3. Description technique, Traitements post-tissage, p.45.

par les réparateurs de tapis : les fils de chaîne manquants ont été remplacés par un fil de coton, puis la trame a été retissée et les nœuds ont été renoués avec des laines teintées de couleur approchante.

### 2.3. Altérations liées à la conservation du tapis dans les collections françaises

#### **L'empoussièrement léger**

Un léger empoussièrement est présent sur l'ensemble du tapis, mais celui-ci a déjà été dépoussiéré lors du chantier des collections du musée du quai Branly-Jacques Chirac, donc il ne s'agit pas d'une trace d'usage.

#### **La grande lacune en partie supérieure, ainsi que les petites lacunes ponctuelles de poil**

Ces lacunes, ainsi que les restes de cocons de mites et les déjections sont les traces d'une infestation ancienne survenue lors de la conservation de l'œuvre dans les réserves du musée de l'Homme. La grande lacune est probablement l'œuvre de rongeurs par sa forme et son étendue, puis les mites ont également attaqué le tapis.

Il existe plusieurs espèces de mites appelées communément « mites du vêtement », dont la plus répandue est *Tineola bisselliella*. Ce sont les larves des mites qui sont responsables des dégradations des textiles. Elles ont une préférence pour les fibres animales, et spécialement la laine dont elles digèrent la kératine (protéine constituant principal de la laine). Les larves forment des galeries en ingérant les fibres, et s'entourent d'un « cocon » fait des résidus de leur ingestion. L'on voit souvent des infestations de mites dans des zones déjà endommagées sur les textiles.

### 2.4. Pronostic

#### **Altérations mécaniques**

Les lacunes en partie supérieure sont évolutives, c'est-à-dire qu'elles peuvent s'agrandir quand le tapis est manipulé. Il y a un risque de perte de matière (des petits fragments et des nœuds déjà désolidarisés sont conservés à part dans un sac Minigrip® en polyéthylène). Les déformations sont légères et non évolutives.

L'empoussièrement du tapis peut provoquer l'abrasion des fibres.

#### **Altérations chimiques**

La dégradation des fibres de laine, qui occasionne la perte constante de « poussière de fibres » ne peut pas être stoppée et se poursuit dans le temps, mais les manipulations peuvent être limitées.

Le phénomène de dégorgeage des couleurs est stable si aucun traitement humide n'est envisagé sur le tapis, et si l'humidité relative n'est pas extrêmement élevée. Les conditions climatiques doivent donc être maîtrisées.

La décoloration des teintures des laines se poursuit dès que le tapis est exposé à la lumière (phénomène cumulatif), et particulièrement aux ultraviolets. Son exposition doit être limitée et des filtres anti-UV doivent être utilisés.

### **Altération biologiques**

L'infestation est ancienne ne présente plus aucun signe d'activité. Le tapis a déjà subi une anoxie. Les conditions de stockage du tapis sont contrôlées. Cependant, les résidus de cocons de mites et les déjections doivent être éliminés car ils risquent d'attirer d'autres insectes et augmentent donc le potentiel d'une nouvelle infestation.

## **3. Propositions de traitement**

### **3.1. Niveau d'intervention**

Le tapis n° 71.1973.77.165 n'est pas considéré comme une pièce majeure au sein de la collection de tapis du musée du quai Branly-Jacques Chirac, et aucun projet d'exposition ou de prêt n'est envisagé actuellement. Le tapis est considéré également comme un objet d'étude confié par le musée du quai Branly-Jacques Chirac, afin de réaliser une recherche sur la conservation-restauration des tapis, et plus particulièrement le **traitement des grandes lacunes** sur les tapis noués. Pour cela, une technique de restitution<sup>117</sup> des motifs sera expérimentée lors du protocole technico-scientifique. Ce choix a été établi en concertation avec Daria Cevoli, chargée des collections « Asie ». Le dialogue sur cette question avait déjà été engagé au moment de la sélection de l'œuvre en janvier 2015.

D'autre part, le souhait de la conservatrice responsable de l'œuvre, Daria Cevoli, est que le tapis soit **consolidé structurellement et puisse être manipulé sans risque**. Il était convenu dès le début de l'année, que si la technique de restitution des motifs n'était pas probante, seule la consolidation devrait être achevée lors du mémoire. Pour des raisons déontologiques de réversibilité<sup>118</sup>, la réintégration des motifs sera effectuée de manière indépendante de la consolidation.

Nos interventions seront fondées sur les principes éthiques énoncés dans le Code de déontologie en Conservation-Restauration des biens culturels (règles professionnelles adoptées le 11 juin 1993 et modifiées le 1<sup>er</sup> mars 2002 par l'European Confederation of Conservator-Restorer's Organisations

---

<sup>117</sup> « On restitue une partie lacunaire dont on connaît un élément matériel identique. Par exemple, le pied manquant d'une table qui possède encore ses autres pieds. Cette restitution peut se distinguer de l'original par la technique ou la texture employée. » La restitution diffère de la reconstitution, où l'on « reconstitue un élément lacunaire ou un ensemble à partir d'une documentation historique fiable ». ABCDaire de la FFCR, <http://ffcr.fr/files/pdf%20permanent/abcWeb.pdf> (consulté le 19 juin 2016)

<sup>118</sup> La réversibilité « constitue un objectif déontologique essentiel, laissant la possibilité de retrouver un état antérieur à l'intervention. Tout élément étranger ajouté lors d'un traitement de conservation-restauration (montage, adhésif, retouche) doit ainsi pouvoir être retiré sans dommage ». ABCDaire de la FFCR, <http://ffcr.fr/files/pdf%20permanent/abcWeb.pdf> (consulté le 19 juin 2016)

E.C.C.O.)<sup>119</sup>, en veillant au respect de l'authenticité de l'objet, à la visibilité, la documentation et la réversibilité des traitements effectués.

La profession distingue trois niveaux d'intervention, qui correspondent à des objectifs différents, définis ainsi selon la Fédération Française des Conservateurs-Restaurateurs (F.F.C.R.)<sup>120</sup> :

- La conservation préventive « regroupe l'ensemble des actions entreprises indirectement sur les biens culturels. Elle agit sur leur environnement afin d'en retarder la détérioration ou d'en prévenir les risques d'altération ».
- La conservation curative « comprend l'ensemble des actions entreprises directement sur les biens culturels dans le but de stabiliser leur état : elle impose d'agir en priorité sur les altérations évolutives en arrêtant leur processus de détérioration. »
- La restauration « est une action directe entreprise pour améliorer l'état, la connaissance et la compréhension du bien culturel mais aussi son exposition, son usage et son appréhension. Elle est entreprise uniquement lorsque le bien a perdu une part de son sens ou de sa fonction, du fait d'altérations ou de remaniements passés qui en gênent la lecture et/ou la compréhension. » La restauration est donc plus spécifiquement liée aux améliorations visuelles qui n'ont pas pour but direct la stabilité de l'œuvre.

Les propositions de traitement que nous allons établir pour le tapis n°71.1973.77.165 s'inscrivent dans ces trois niveaux d'intervention :

Conservation préventive	Propositions de conditionnement et de stockage
Conservation curative	Dépoussiérage, nettoyage mécanique Consolidation des lacunes et des parties fragiles
Restauration	Réintégration de la lacune principale

### 3.2. Protocole de traitement et options de restauration

#### **Nettoyage mécanique**

Le retrait de la poussière et des restes de cocons de mites sera effectué par aspiration. Les cocons de mites restants entre les nœuds du tapis seront retirés à l'aide d'une fine pince, en glissant un rouleau de faible diamètre au revers du tapis afin d'« ouvrir » les espaces entre les nœuds pour en faciliter l'accès.

#### **Consolidation des lacunes et des zones fragiles**

La partie supérieure sera consolidée sur un tissu de support teint à la couleur adaptée, à l'aide de points de couture (point de restauration et/ou point lancé selon les zones) au fil de soie teint à la couleur adaptée. Cette opération est en adéquation avec les critères de conservation curative :

<sup>119</sup> [http://www.ecco-eu.org/fileadmin/user\\_upload/ECCO\\_professional\\_guidelines\\_II.pdf](http://www.ecco-eu.org/fileadmin/user_upload/ECCO_professional_guidelines_II.pdf) (consulté le 19 juin 2016)

<sup>120</sup> <http://ffcr.fr/files/pdf%20permanent/abcWeb.pdf> (consulté le 19 juin 2016)

- le tapis pourra être manipulé sans risque, les parties fragiles seront consolidées ;
- le tissu de support choisi sera une toile de lin de contexture adéquate par rapport à l'épaisseur et à la souplesse du tapis, afin d'assurer un soutien sans contraindre les mouvements naturels de l'objet ;
- la couleur de ce tissu sera adaptée en fonction des couleurs majoritairement présentes en bordure de la lacune et selon l'équilibre chromatique de l'ensemble du tapis.

Après ces opérations, le tapis pourrait théoriquement être exposé en l'état, mais la mise en avant de la lacune principale conduit à une rupture de l'harmonie visuelle générale, car la répétition des motifs est interrompue au profit d'un nouveau motif, la forme de la lacune. C'est pourquoi nous allons tenter de rétablir la lisibilité des motifs en proposant une réintégration, qui est envisagée ici comme une opération de restauration proprement dite.



Figure 92 : simulation de différentes couleurs de tissu de support (voir page suivante), réalisée sur Photoshop à partir des couleurs réelles du tapis. ©Inp/L.Metatla



Figure 93 : simulation de différentes couleurs de tissu de support (rouge, bleu-vert, beige et marron), réalisée sur Photoshop à partir des couleurs réelles du tapis. ©Inp/L.Metatla

Quelle que soit la couleur choisie, et bien que certaines couleurs puissent apparaître plus discrètes que d'autres selon l'observateur (les couleurs foncées sont plus souvent retenues pour les grandes lacunes), la forme de la lacune attire le regard, car elle constitue une grande plage de couleur unie, sur un tapis qui n'en comporte pas d'autre de taille équivalente.

#### **Réintégration de la lacune principale :**

La répétition des motifs et des couleurs nous permet d'envisager la réintégration<sup>121</sup>, car tous les motifs sont présents à d'autres endroits du tapis.

Les motifs seront complétés selon les possibilités et les résultats du protocole technico-scientifique. Une technique réversible qui reste indépendante de la consolidation sera utilisée : la réintégration sera fixée sur le tissu de support de la consolidation, et non directement sur le tapis, afin de pouvoir la retirer si elle n'est plus jugée satisfaisante esthétiquement dans le futur. Deux possibilités de réintégration sont envisageables, et seront présentées à l'état de test à la responsable juridique de l'œuvre (Daria Cevoli) :

- un canevas de même contexture que la chaîne du tapis (5 fils/cm) pourrait être utilisé comme base pour réaliser des nœuds symétriques identiques à ceux du tapis, avec des laines teintées à la couleur adaptée. Cette technique assure un rendu esthétique très proche de l'original,

<sup>121</sup> La réintégration « consiste à remettre à sa place l'œuvre tant sur le plan esthétique (combler les lacunes qui apportent une rupture de forme et de couleur afin de retrouver une continuité utile à la compréhension) que sur le plan historique (laisser perceptibles les traces du passage du temps et les traces de l'usage par les hommes). » BERGEON-LANGLE Ségolène, « Visibilité de la restauration, lisibilité de l'œuvre », Actes du 5<sup>ème</sup> colloque de l'ARAAFU, Paris, 2002.

reste légèrement visible au niveau des bords de la lacune, et est réversible, car le canevas serait cousu sur le support de consolidation ;

- un tissu, d'épaisseur et de texture satisfaisante par rapport à l'aspect du tapis, serait imprimé à l'aide de la technique d'impression numérique à jet d'encre développée dans le protocole technico-scientifique. La restitution des motifs serait alors effectuée sur le logiciel Photoshop® en reprenant les motifs dans des zones non-abîmées du tapis. Le tissu imprimé serait ensuite découpé à la forme de la lacune et cousu sur le tissu de consolidation, assurant la réversibilité de l'intervention.

Note : les réparations anciennes n'engendrent pas de tensions, ne risquent pas de causer des altérations futures, et ne perturbent pas la lisibilité de l'œuvre. Il n'y a donc aucune raison de les retirer.

## PARTIE III : PROTOCOLE TECHNIQUE-SCIENTIFIQUE



Figure 94 : impression d'échantillons à la Plateforme eMODE (Cholet). ©Inp/C.Coutand

## Introduction : problématique et objectifs de l'étude

Le but de cette étude est d'expérimenter une technique permettant de reconstituer visuellement les motifs dans une grande lacune sur un tapis noué.



Figure 95 : simulation du comblement de la lacune par un tissu de support de couleur unie (beige).  
©Inp/L.Metatla

Le tapis étudié présente un manque important en partie supérieure, qui conduit à une rupture de l'harmonie visuelle générale. En effet, la répétition des motifs est interrompue par un nouveau motif constitué par la forme de la lacune. Le tapis peut être restauré de façon « classique » en conservation-restauration de textiles : la consolidation de la zone lacunaire serait réalisée sur un tissu de support placé au revers de l'œuvre et teint à la couleur adaptée, et fixé par couture à l'aide points de restauration. Dans ce cas, la conservation de l'objet est assurée par la consolidation, mais la grande plage de couleur unie (la couleur du tissu de support) va accrocher le regard, car ce tapis n'en comporte pas d'autre d'une taille équivalente.

La répétition des motifs et des couleurs sur le tapis nous permet d'envisager leur réintégration, car tous les motifs peuvent être retrouvés dans les zones non-abîmées de l'œuvre. Les techniques de réintégration des motifs utilisées en conservation-restauration de textiles sont majoritairement la sérigraphie sur le tissu de support de la consolidation, comme cela a été fait sur un tapis par Harold Mailand aux Etats-Unis<sup>122</sup>, ou une technique dérivée de l'impression au cadre plat, développée par Anne-Rose Bringel dans son mémoire de fin d'études à l'IFROA<sup>123</sup>. Cette dernière méthode est plus couramment utilisée par les restauratrices textiles en France, notamment pour la restauration des tissus imprimés, mais elle n'a pas encore été employée dans le cas des tapis. Dans notre cas, la complexité des motifs, le nombre de couleurs et l'étendue de la lacune rendraient son exécution difficile en atelier. De plus, l'impression au cadre plat présente une surface lisse et plus brillante que la laine, et ne permet pas de donner l'illusion de la texture du poil. C'est pourquoi nous avons orienté notre protocole technico-scientifique vers **l'impression numérique à jet d'encre sur textile**, qui permet d'imprimer les motifs reconstitués à partir de photographies de l'objet à restaurer, et donne ainsi l'illusion de la texture par son rendu « photographique ». La pièce imprimée peut ensuite être fixée par couture en utilisant les techniques de conservation-restauration des textiles.

<sup>122</sup> MAILAND, 1991

<sup>123</sup> BRINGEL, 1997

Une autre technique, dérivée des méthodes plus traditionnelles de restauration des tapis, a également été testée sur une petite zone de la lacune, elle est présentée dans la partie conservation-restauration (voir 2.3.2. Option présentée à l'état de test : nouage sur canevas, p.132).

La technique de l'impression à jet d'encre sur textile est en plein développement depuis quelques années dans le domaine de l'industrie textile et de la mode, mais elle est encore très peu utilisée dans le domaine patrimonial, bien qu'elle puisse apporter des solutions intéressantes pour reconstituer des motifs complexes, ou donner l'illusion d'une texture particulière. L'impression à jet d'encre a fait l'objet du protocole technico-scientifique du mémoire de Louisiane Rios à l'Inp dans la section « Arts graphiques », également dans le but de reconstituer les motifs dans les lacunes sur un papier peint<sup>124</sup>, travail sur lequel nous avons pu nous appuyer notamment pour comprendre les mécanismes de la gestion des couleurs. Cependant, les spécificités de l'impression textile, notamment la grande diversité des supports, et les différentes encres utilisées selon leur affinité avec les fibres textiles, nous ont amenés à établir un nouveau protocole.

Dans un premier temps, nous allons développer dans l'étude théorique les résultats de nos recherches bibliographiques sur l'utilisation de cette technique dans le domaine patrimonial, et présenter les caractéristiques techniques de l'impression à jet d'encre sur textile, en nous basant sur le travail de thèse de Christine Schweizer-Simac<sup>125</sup>, co-rapporteuse scientifique de ce mémoire.

Dans un deuxième temps, nous présenterons les tests d'impression qui nous ont permis de faire le choix du support textile et des encres, ainsi que les réglages colorimétriques. La partie pratique de ce protocole a été réalisée en partenariat avec la Plateforme eMODE de Cholet (Maine-et-Loire), et encadrée par Carole Coutand, sa directrice, également co-rapporteuse scientifique de ce mémoire.

## Étude théorique

### 1. Contexte de l'étude : utilisation de l'impression textile à jet d'encre dans le domaine patrimonial

#### 1.1. Fac-similés textiles

En France, l'impression numérique jet d'encre sur textile a déjà été utilisée dans le domaine patrimonial afin de réaliser des fac-similés de textiles trop fragiles ou trop dégradés pour être exposés. Ces fac-similés sont destinés à remplacer de manière temporaire ou définitive les textiles originaux, qui sont alors conservés dans des conditions de conservation, à l'abri de la lumière<sup>126</sup>. Nous pouvons citer trois objets patrimoniaux ayant été reproduits par la technique de l'impression textile à jet d'encre :

---

<sup>124</sup> RIOS, 2015

<sup>125</sup> SCHWEIZER-SIMAC, 2009

<sup>126</sup> RITZENTHALER et SCHWEIZER, 2009



Figure 96 : fac-similé de la couverture de cheval en exposition, © Mucem

Une couverture de cheval brodée conservée au Musée des civilisations de l'Europe et de la Méditerranée (MUCEM, Marseille) : elle a été imprimée sur un tissu de polyester, mis en forme sur une ouate de polyester, et présentée avec l'ensemble du harnachement en vitrine.

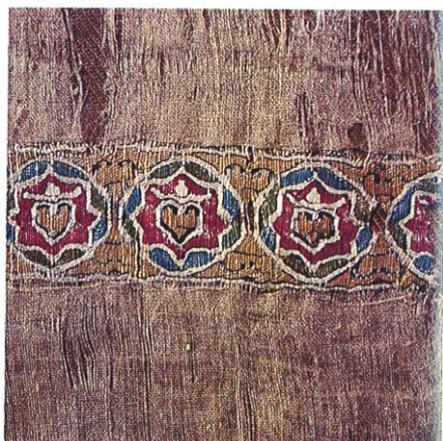


Figure 97 : détail, suaire de l'abbaye de Cadouin<sup>127</sup>

Le suaire de l'abbaye de Cadouin (Dordogne) : ce textile de grand format (290 x 133 cm) datant du XI<sup>e</sup> siècle, a été photographié en plusieurs parties au studio du Centre de Recherche et de Restauration des Musées de France (C2RMF) puis recomposé à l'aide d'un logiciel informatique. La reconstitution a été imprimée sur un tissu de polyester\* capable de résister aux importantes variations climatiques du lieu d'exposition dans l'abbaye, et est actuellement toujours présentée. De nombreux essais d'impression ont été nécessaires afin d'obtenir les couleurs exactes, à l'aide d'un nuancier Pantone<sup>128</sup> et de fragments de fils conservés à part.



Figure 98 : fac-similé d'un textile de l'abbaye de Conques (image Christine Schweizer)

Deux fragments textiles provenant du Trésor de l'abbaye Conques (Aveyron) : les fragments, de petite taille, ont été numérisés au moyen d'un scanner, puis des tests d'impression numérique sur différents supports (sergé de coton, textile d'armure reps<sup>129</sup> en polyester...) ont été réalisés. La gestion des couleurs a également nécessité plusieurs essais à cause de la présence de fils métalliques très ternis, et du fond de présentation sur lequel sont fixés les fragments originaux. Une toile de polyester a été choisie, et les fac-similés sont présentés depuis 2004 à la place des originaux, qui sont conservés en réserve.<sup>130</sup>

<sup>127</sup> OGER, RITZENTHALER et SCHWEIZER, 2007-2008

<sup>128</sup> Élaboré par la société américaine Pantone, nuancier universel utilisé dans le domaine de la conception graphique et dans l'imprimerie qui comporte plus de 992 couleurs codifiées.

<sup>129</sup> Armure textile dérivée de la toile, présentant des côtes dans le sens trame (perpendiculaire aux lisières).

<sup>130</sup> OGER, RITZENTHALER et SCHWEIZER, 2007-2008

Dans le cadre de l'étude sur ces trois objets, menée par le Laboratoire de Recherche des Monuments Historiques (LRMH) et l'école d'ingénieur textile de Mulhouse (ENSISA) en 2004, un classeur regroupant les essais d'impression sur différents supports textiles est conservé au LRMH à Champs-sur-Marne et a été mis à notre disposition par Dominique de Reyer.



Figure 99 : villa Büel (Suisse), le panneau situé le plus à droite, dans la cage d'escalier, est une copie imprimée. © K.v.Lerber

Plus récemment (2016), en Suisse à la villa Büel de Winterthur (8400), un ensemble de tentures murales en jute ont été restaurées, et les parties manquantes ont été reconstituées avec la technique de l'impression jet d'encre. Les photographies ont été effectuées par des géomètres<sup>131</sup> en très haute résolution. L'impression a été réalisée par l'entreprise Création Baumann sur une toile de polyester. Une fois placée en situation sur le mur, la copie imprimée est légèrement plus claire que les tentures originales, ce qui assure une totale lisibilité de l'intervention.<sup>132</sup>



Figure 100 : Diorama « La Visite à l'accouchée », © Museon Arlaten

Le Museon Arlaten (Arles, Bouches-du-Rhône), possède quatre dioramas, scènes grandeur nature évocatrices de la culture populaire provençale. Des copies d'évocation sont en cours de réalisation pour environ 1/3 des personnages des dioramas, afin d'assurer une rotation dans la présentation (la réouverture du musée est prévue pour début 2018). Le chantier est mené par Patricia Dal-Prà, avec Carmen Lucini pour la réalisation des copies imprimées. Des cotons imprimés ainsi que des indiennes du XVIIIe siècle ont été reproduits par impression jet d'encre avec des colorants réactifs sur coton et sur lin, et des colorants dispersés sur polyester.

<sup>131</sup> Fokus GmbH, Leipzig, Allemagne.

<sup>132</sup> Informations et photographie transmises par Karin von Lerber, restauratrice de textiles en Suisse, qui a supervisé les opérations de conservation-restauration des tentures, ainsi que la réalisation de la copie imprimée.

## 1.2. Conservation-restauration

L'impression numérique à jet d'encre sur textile a déjà été utilisée sur des tissus de support de consolidation ou des textiles de protection apposés sur des objets de musées, notamment en Angleterre (Victoria&Albert Museum de Londres, Hampton Court Palace) et aux États-Unis (Metropolitan Museum de New-York). Nous pouvons citer quatre publications sur le sujet :

- Étude préliminaire sur l'impression numérique à jet d'encre sur des textiles transparents utilisés en conservation-restauration<sup>133</sup> : des tests ont été réalisés sur de la crépeline\* de soie, du Tetex® (toile de polyester fine et transparente), du tulle<sup>134</sup> de soie et de nylon, avec des colorants acides (Lanaset SI-HS de Huntsman, Jettex A de DyStar) des colorants dispersés (Terasil TS de Huntsman) et des colorants pigmentaires (Rohm&Haas). Les échantillons imprimés ont été lavés et soumis à des tests de solidité à la lumière\* et au frottement (sec et mouillé). La couleur cyan des colorants acides sur la crépeline de soie a dégorgé au lavage, et est moins solide à la lumière. Les colorants pigmentaires ont donné de moins bons résultats au frottement (mouillé) sur la crépeline de soie et le Tetex®.



Figure 101 : gant avant et après traitement (image des auteurs)

- Gant archéologique en tricot, travail de mémoire de Thordis Baldursdottir au Textile Conservation Center (Glasgow) en 2003<sup>135</sup>: des tests préliminaires ont tout d'abord été menés en scannant des fragments d'objets tricotés, et en imprimant les photographies sur papier transfert, qui était ensuite repassé au fer chaud afin d'appliquer les motifs sur différents textiles de structures différentes (polyester, coton, soie, lin, et non-tissé de polyester Vilene®). Le Vilene® a été sélectionné. Le gant archéologique, qui provient du Musée National d'Islande, a été scanné, puis des tests de couleur ont été réalisés en variant les paramètres de « Balance des couleurs », « Luminosité/contraste » et « Teinte/saturation » sur le logiciel Adobe Photoshop®. Les pièces imprimées sont simplement maintenues en « sandwich » entre le gant et leur support tridimensionnel de présentation, elles ne sont pas fixées directement sur l'objet par couture.

<sup>133</sup> BRITTON et VUORI, 2008

<sup>134</sup> Étoffe très légère et transparente formée de mailles hexagonales.

<sup>135</sup> LENNARD, BALDURSDOTTIR et LOOSEMORE, 2008



Figure 102 : lit de la reine Anne, Hampton Court (image des auteurs)

- Tentures du lit de parade de la reine Anne, Hampton Court Palace : le velours des tentures étant très abîmé, la perte du poil ne permettait plus une bonne lisibilité des motifs. Un tulle de nylon a été imprimé avec des colorants dispersés avec la technique de l'impression transfert (sublimation) par l'entreprise japonaise Mimaki, et fixé sur le textile original. Des tests de solidité à l'eau, à la lumière, des mesures de pH et des tests d'Oddy<sup>136</sup> ont été réalisés pour vérifier l'innocuité des encres en contact avec un objet muséal, et ont tous donné des résultats positifs sur les colorants jaune et rouge (aucun résultat sur les colorants cyan et noir n'est mentionné dans l'article).<sup>137</sup>



Figure 103 : lacunes coin supérieur gauche et coin inférieur droit comblées par impression jet d'encre sur toile de lin. La restitution est volontairement plus claire que l'original.

- Réintégration des motifs dans une lacune sur un tapis noué, Victoria&Albert Museum<sup>138</sup> : il s'agit d'un tapis tissé en Espagne au XVI<sup>e</sup> siècle. Il présentait au niveau des lacunes des anciens complements en plâtre peint. Ceux-ci ont été remplacés par des impressions pigmentaires sur une toile de lin préalablement lavée. Les couleurs sont volontairement moins saturées que celles du tapis, afin de distinguer facilement la restitution de l'original. L'impression a été réalisée par l'entreprise Zardi&Zardi, et le travail préliminaire (photographie, gestion des couleurs) a été mené de concert avec Alice Cole, étudiante en conservation-restauration, qui venait de terminer son mémoire sur l'impression numérique<sup>139</sup>. Le tapis est présenté dans la galerie « Moyen-Age et Renaissance » du musée depuis décembre 2009.

<sup>136</sup> Ce test a été élaboré en 1975 par Andrew Oddy (British Museum), afin de détecter les polluants volatils qui se dégagent des matériaux utilisés pour la conception des vitrines. Il s'agit d'un test de corrosion lors duquel des polluants corrodent trois métaux indicateurs (argent, cuivre et plomb).

<sup>137</sup> ROBERTS et TAKAMI, 2011

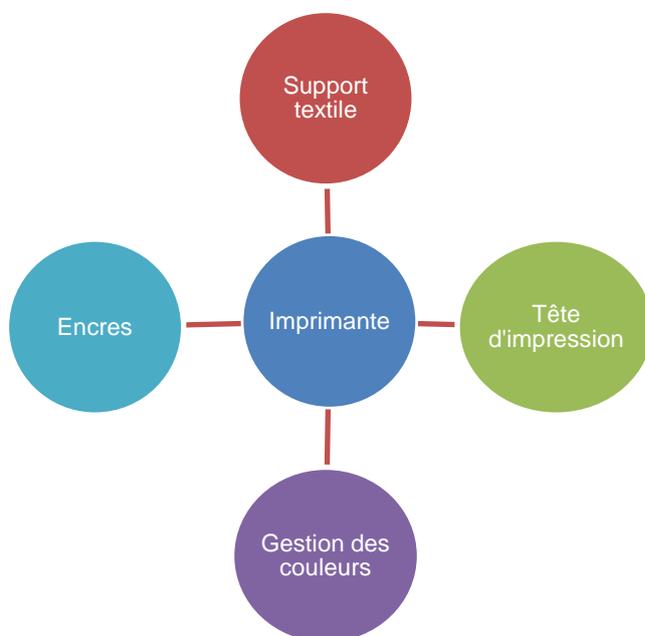
<sup>138</sup> HARTOG, 2009

<sup>139</sup> COLE, 2007

## 2. L'impression jet d'encre sur textile : présentation technique

### 2.1. Introduction

Pour cette partie, nous nous baserons principalement sur les descriptions techniques issues de la thèse de doctorat de Christine Schweizer-Simac, *Nouvelles possibilités de création intrinsèques à la technologie d'impression numérique textile à jet d'encre*, Université de Haute-Alsace, 2009. La compréhension de cette technologie nécessite la présentation de ses principales composantes : les imprimantes, et particulièrement les têtes d'impression, les différentes encres, qui sont spécifiques pour chaque type de fibre textile, et enfin le passage de l'image numérique à l'image imprimée, où nous aborderons la problématique de la gestion des couleurs.



### 2.2. Les imprimantes

Les différents types d'imprimantes dépendent du type de production (industrielle, petites séries...) et du support textile (épaisseur, matière, mise en forme dans le cas d'articles confectionnés...).

#### 2.2.1. Les imprimantes de type « plotter »

Elles sont directement issues des techniques d'impression sur papier. Elles peuvent imprimer tous les types d'encres (pigmentaires, réactives, acides ou dispersées) sur tout type de support textile. Ces imprimantes sont relativement légères et peu encombrantes, et ne nécessitent pas d'environnement industriel particulier. L'architecture de ce type d'imprimantes est décrite ainsi par Christine Schweizer :

« [...] sur une machine vue de face, le banc d'impression se trouve au centre de l'armature, et est encadré de part et d'autre par deux boîtiers qui renferment tout le système de gestion des têtes d'impression et de l'alimentation des encres. Le chariot qui porte les têtes d'impression se déplace sur un rail à glissière d'un boîtier à l'autre dans un mouvement de va-et-vient [...]. L'étoffe vierge est placée sur un rouleau de petite taille fixé à l'arrière de l'imprimante d'où un système d'entraînement la déroule et l'amène jusque sous le bras d'impression.<sup>140</sup> »

Le point faible de ces machines est le système de déroulement et d'enroulement, qui ne supporte pas de poids important, limitant de ce fait la longueur d'étoffe imprimée, et ne garantit pas un déroulement assez fluide de l'étoffe avec une tension régulière pour certaines matières souples et déformables.



Figure 104 : Machine TX2 du constructeur japonais Mimaki, Plateforme eMODE, Cholet. ©Inp/L.Metatla

### **2.2.2. Les machines dites « de production »**

Elles nécessitent un environnement industriel. Prenons l'exemple de la machine « Dream » du constructeur Reggiani : elle présente une succession d'éléments consacrés au déploiement de l'étoffe, puis à son impression proprement dite, et ensuite au séchage et à la visite (opération qui consiste à vérifier que l'étoffe soit exempte de tout défaut). L'ensemble mesure environ dix mètres de long pour trois mètres de large. Les rouleaux d'étoffe sont fixés à l'avant de la machine, puis l'étoffe est déroulée sous tension et appliquée sur un tapis d'impression recouvert d'une colle permanente. L'étoffe est ensuite entraînée jusqu'à l'unité d'impression. Les encres des six couleurs sont délivrées en continu depuis un circuit fermé, des deux côtés de la machine. Après impression, l'étoffe se détache du tapis, puis est entraînée en hauteur dans l'unité de séchage à air chaud, puis redescend à l'arrière de la machine en présentant une surface plane afin d'effectuer un contrôle de qualité.

<sup>140</sup> SCHWEIZER-SIMAC, 2009, p.142-143



Figure 105 : Machine Dream du constructeur Reggiani<sup>141</sup>

### 2.2.3. Les machines de type « intermédiaire »

Ce sont des machines de type « plotter » intégrant des fonctions supplémentaires, soit avec des modules indépendants, soit intégrés dans l'armature de l'imprimante. Les modules indépendants peuvent être pour la préparation du support textile, le séchage, la fixation, la finition ou la découpe.

### 2.2.4. Les machines pour articles confectionnés

Elles sont utilisées généralement pour imprimer des tee-shirts. Leur principe de fonctionnement est directement issu des machines de type « plotter ». Les tee-shirts sont amenés sous le bras d'impression par un chariot placé à l'avant de l'imprimante, ce chariot porte des plaques rectangulaires sur lesquelles les tee-shirts sont enfilés, de façon à présenter une surface plane pour l'impression. Il existe des modèles pour imprimer un seul tee-shirt, des modèles intermédiaires pour deux à quatre tee-shirts, ou des modèles de grandes dimensions permettant d'imprimer de douze à vingt tee-shirts à la fois.



Figure 106 : machine GT361 du constructeur Brother pour un seul tee-shirt, Plateforme eMODE, Cholet. ©Inp/L.Metatla

### 2.2.5. Les machines pour tapis et supports épais

La problématique est la pénétration de la couleur jusqu'au cœur des supports épais. Pour cela, on utilise des jets d'encre propulsés sous pression, actionnés par micro-valves. Le constructeur autrichien Zimmer propose des imprimantes intégrées à une chaîne de production comprenant des

<sup>141</sup> SCHWEIZER-SIMAC, 2009, p.144

unités de prétraitement, de séchage, de fixation, d'imprégnation et de lavage. Les dimensions des machines sont très variables selon les produits à imprimer, et peuvent aller jusqu'à cinq mètres de large. Le bras d'impression comporte de très nombreuses buses\* (de 128 à 1024 buses par couleur).

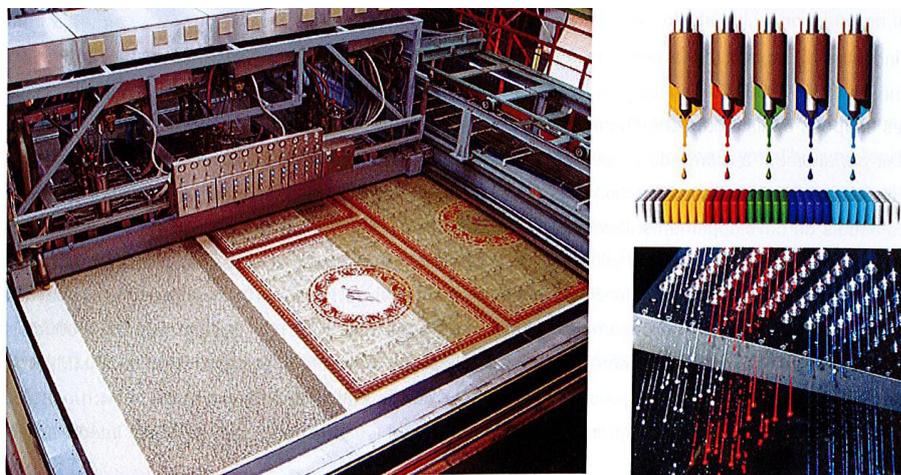


Figure 107 : machine pour tapis ChromoJET du constructeur Zimmer<sup>142</sup>

### 2.3. Les têtes d'impression

La tête d'impression est le cœur de la technologie d'impression à jet d'encre. Les constructeurs d'imprimantes utilisent des têtes qu'ils adaptent ou intègrent à leur technologie de machines. « Une tête d'impression est constituée par un ensemble de buses dans lesquelles circule l'encre. Celle-ci est projetée, par divers mécanismes, sur le support à travers les orifices des buses<sup>143</sup> ».

#### 2.3.1. Jet d'encre continu

L'encre traverse des buses qui sont soumises à une excitation piézoélectrique (voir 2.3.4). Le jet se brise en fines gouttelettes, qui passent entre des électrodes qui chargent électriquement chaque goutte. Elles tombent ensuite entre des plaques métalliques, formant un champ électrique, qui leur attribue une certaine déflexion<sup>144</sup>. En variant la tension électrique, on peut modifier la trajectoire des gouttes : avec une déflexion binaire, les gouttes sont dirigées soit vers le support, soit retournent dans le circuit d'alimentation en encre. Avec une déflexion multi-déviée, les gouttes peuvent atteindre le support avec différentes trajectoires, et celles qui sont inemployées réintègrent le circuit d'alimentation en encre. Ces têtes sont chères et rares sur le marché. De plus, la taille des gouttes est relativement grande comparée à d'autres procédés.

#### 2.3.2. Jet d'encre avec gouttes à la demande (ou DOD, « drop on demand »)

Chacune des gouttelettes atteint le support selon des instructions précises dictées par le logiciel de pilotage de l'imprimante. Pour chaque pixel à imprimer, le logiciel donne l'ordre d'éjecter ou non des

<sup>142</sup> SCHWEIZER-SIMAC, 2009, p.149

<sup>143</sup> SCHWEIZER-SIMAC, 2009, p.152

<sup>144</sup> « Déviation d'un faisceau de particules chargées par action d'un champ électrique ou magnétique » (Dictionnaire Larousse en ligne, consulté le 21 février 2016).

gouttes. Chaque goutte correspond à un point imprimé sur le support, donc plus les gouttes sont petites, plus l'image est précise.

### **2.3.3. Formation de gouttes par activation thermique**

« [...] la formation de gouttes résulte d'une élévation ponctuelle et brusque de la température de l'encre, obtenue grâce à des résistances situées dans les têtes d'impression au niveau des buses. Une impulsion électrique produit une élévation très rapide, à plus de 300°C de la température de l'encre. Il se forme alors une bulle de vapeur qui se dilate, augmente la pression dans la buse et provoque l'expulsion d'une goutte d'encre à travers son orifice.»<sup>145</sup> Ces têtes d'impression ont une durée de vie limitée, et le fort échauffement n'est pas supporté par toutes les catégories d'encre textile, ce qui en limite les applications. Pour l'impression textile, ce type de tête a progressivement été délaissé, en faveur des têtes à activation piézoélectrique.

### **2.3.4. Formation de gouttes par activation piézoélectrique**

Lorsqu'un champ électrique est appliqué, le volume du conduit se réduit et force une goutte à s'éjecter par l'orifice de la buse. « Sans impulsion, le conduit retrouve sa forme initiale, et la dépression qui s'ensuit permet la réalimentation en encre de la buse. »<sup>146</sup> Il existe différentes géométries de buses et de modes de déformation, qui ne seront pas détaillés ici. Les modulations électriques peuvent générer sur une même tête des gouttes de taille différente, appelées « gouttes variables », qui permettent d'obtenir des dégradés plus fluides et une plus grande qualité d'image.

## **2.4. Les encres**

Elles sont constituées d'un colorant, d'un solvant, d'additifs variés et parfois d'un liant<sup>147</sup>. Les particules de colorants doivent être d'assez petite taille pour circuler à travers les têtes de façon fluide. Leur répartition dans le solvant doit être homogène et présenter une bonne stabilité à l'emploi et au stockage. Le solvant, souvent à base aqueuse, contient des agents hygroscopiques<sup>148</sup> qui permettent au colorant de pénétrer plus facilement dans le support tout en évitant le séchage à l'intérieur des buses. L'une des caractéristiques principales de l'encre est sa viscosité : elle doit être ni trop fluide, pour ne pas s'écouler trop vite à travers les buses, ni trop compacte pour ne pas stagner dans les canaux. La viscosité affecte aussi la forme, la taille et la vitesse de tombée de la goutte d'encre. Les constructeurs d'imprimantes proposent leurs machines avec les encres d'un fabricant déterminé et n'offrent leur garantie qu'avec l'emploi de ces encres recommandées. Les encres comportent des matières colorantes en adéquation avec le support textile à imprimer, les classes de colorants se définissent selon leur affinité avec les fibres.

### **2.4.1. Les encres réactives**

Elles conviennent plus particulièrement aux fibres cellulosiques, telles que le coton, le lin, la viscose. « Les colorants réactifs appartiennent à différents groupes chimiques capables, en milieu alcalin, de

<sup>145</sup> SCHWEIZER-SIMAC, 2009, p.165

<sup>146</sup> SCHWEIZER-SIMAC, 2009, p.165

<sup>147</sup> Le liant est un constituant non volatil, filmogène, des vernis, peintures et préparations assimilées comme les pâtes d'impression.

<sup>148</sup> « Se dit d'un corps qui a des affinités avec l'eau » (dictionnaire Larousse en ligne, consulté le 2 juin 2016).

se fixer sur la cellulose par liaison covalente\*. Ils sont solubles dans l'eau, et la petite taille de leurs molécules fait qu'ils peuvent pénétrer rapidement dans les pores de la fibre »<sup>149</sup>. Après impression, les colorants doivent être fixés par un traitement de vaporisation<sup>150</sup>, suivi d'un lavage en continu afin d'éliminer tout le colorant non fixé, l'épaississant et les divers autres produits utilisés, d'où l'appellation de colorants « fixés-lavés »\*. Les colorants réactifs disposent d'une palette étendue de couleurs, qui ont de bonnes solidités au lavage et au frottement. Leur solidité à la lumière dépend des couleurs, certaines ayant des solidités moyennes, d'autres excellentes.

#### **2.4.2. Les encres acides**

Elles sont adaptées aux fibres protéiniques (laine, soie) et aux polyamides\*. Elles sont appelées ainsi car la réaction chimique qui les lie aux fibres n'a lieu qu'en milieu acide. En milieu acide, les fibres se chargent positivement, alors que les colorants se chargent négativement, et les deux se lient principalement par des liaisons ioniques\*. Après impression, les étoffes doivent également être vaporisées pour fixer les colorants, puis lavées afin d'éliminer les produits auxiliaires. Il y a relativement peu de pertes de colorant non fixé. Les couleurs obtenues ont une bonne solidité à la lumière, mais assez moyenne au frottement « mouillé ».

#### **2.4.3. Les encres dispersées**

Les colorants dispersés sont insolubles dans l'eau, ils se présentent sous la forme d'une dispersion de fines particules. Ils sont destinés aux fibres synthétiques\*, principalement au polyester. Ce dernier est une fibre compacte, hydrophobe, avec un haut degré de cristallinité. Pour que le colorant puisse diffuser dans la fibre, il faut qu'il y ait une élévation de la température. À ce moment-là, les chaînes de polymères composant le polyester se mettent à bouger, créant ainsi des espaces libres dans lesquels les colorants peuvent pénétrer. Il se forme des liaisons de Van der Waals\*. Il existe deux catégories : les colorants destinés à l'impression directe, et ceux destinés à l'impression transfert. Après l'impression, les colorants doivent être fixés et lavés. Il y a relativement peu de perte de colorant.

#### **2.4.4. Les encres pigmentaires**

Le procédé d'impression utilisant ces colorants est simple, rapide et peu onéreux. De plus, il permet d'imprimer tout type de textile, indépendamment de la nature de la fibre. Il n'y a pas d'interaction chimique entre la fibre et le pigment, il est possible d'imprimer des mélanges de fibres de nature différente. Le colorant est appliqué sur le support textile, puis fixé au moyen de traitements thermiques. La totalité du colorant déposée est fixée, ce qui fait qu'il n'est pas nécessaire de laver le tissu pour éliminer le surplus d'encre. Il n'y a pas besoin de prétraitement des étoffes, ce qui simplifie considérablement le processus. Les particules de pigments traditionnels sont relativement grandes, c'est pourquoi un nouveau type de colorant pigmentaire, l'Helizarin EVO, où les liants sont intégrés dans l'encre, a été élaboré en 2004 spécialement pour l'impression à jet d'encre. Les encres pigmentaires ont une bonne solidité à la lumière, mais une solidité aux frottements plus faible que celles des autres encres.

<sup>149</sup> SCHWEIZER-SIMAC, 2009, p.169

<sup>150</sup> Le tissu est soumis à l'action de la vapeur pour la fixation et le séchage.

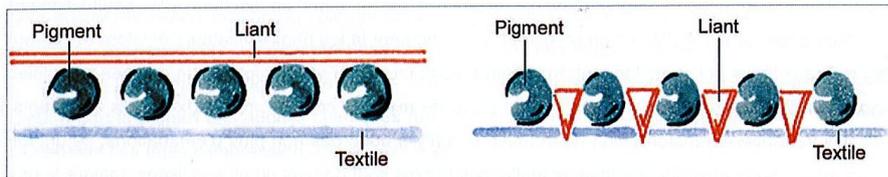


Figure 108 : schéma de composition de l'encre Helizarin EVO<sup>151</sup>

## 2.5. Les traitements des supports textiles

### 2.5.1. Les prétraitements

Ils dépendent du type d'encre utilisé et de la nature du support textile. « Ils sont généralement composés d'un épaississant qui a pour rôle d'empêcher la goutte de s'étaler en pénétrant dans le support, et donc de fuser »<sup>152</sup>. Les prétraitements ont une grande incidence sur la solidité des colorants et sur la définition de la couleur. Chaque fabricant d'encre donne ses recettes de prétraitement, censées garantir des résultats optimaux avec ses encres.

### 2.5.2. Les post-traitements

Les traitements de finissage sont destinés à fixer durablement les colorants dans les fibres, ainsi qu'à éliminer le surplus de couleur et les différents produits auxiliaires. Les procédés employés sont le vaporisage\*, la fixation à la chaleur, le lavage. Des variations de température peuvent avoir une incidence importante sur la tonalité des couleurs. Certains fabricants proposent des versions miniaturisées des machines traditionnelles.

## 2.6. La gestion de la couleur : de l'image numérique à l'image imprimée

### 2.6.1. L'image numérique

Il existe deux sortes d'images numériques : les images vectorielles et les images bitmap. Les images vectorielles sont composées de vecteurs qui déterminent mathématiquement chaque objet. Elles sont créées à partir de logiciels spécifiques (Adobe Illustrator®, Corel Draw...). Les images bitmap sont constituées d'un ensemble de pixels disposées sur une grille carrée. Le pixel (terme issu de « picture element ») est la plus petite unité graphique. Il contient des informations sous forme de bits, le bit étant la plus petite unité d'information numérique, qui peut prendre la valeur de 0 ou de 1. Sur un écran, un pixel qui ne dispose que d'un seul bit peut être soit blanc, soit noir. « Avec deux bits par pixel, il est possible d'obtenir les couleurs numériques 00, 11, 10, 01, soit le noir, le blanc et deux tons de gris. Avec huit bits par pixel, il est possible d'obtenir 254 niveaux de gris entre le blanc et le noir. [...] Les écrans couleur sont constitués de pixels dont les bits comportent trois composants électroluminescents permettant de rendre les trois couleurs fondamentales de la lumière, à savoir, le rouge, le vert et le bleu. [...] un pixel à huit bits par couleur présente 256 niveaux de rouge, 256 niveaux de vert et 256 niveaux de bleu. Il en résulte un nombre total de 16 777 216 couleurs possibles

<sup>151</sup> SCHWEIZER-SIMAC, 2009, p.175

<sup>152</sup> SCHWEIZER-SIMAC, 2009, p.177

par pixel. C'est la qualité des images utilisées actuellement dans les applications courantes du monde numérique et qui est désigné par le terme « image à 24 bits » . »<sup>153</sup>

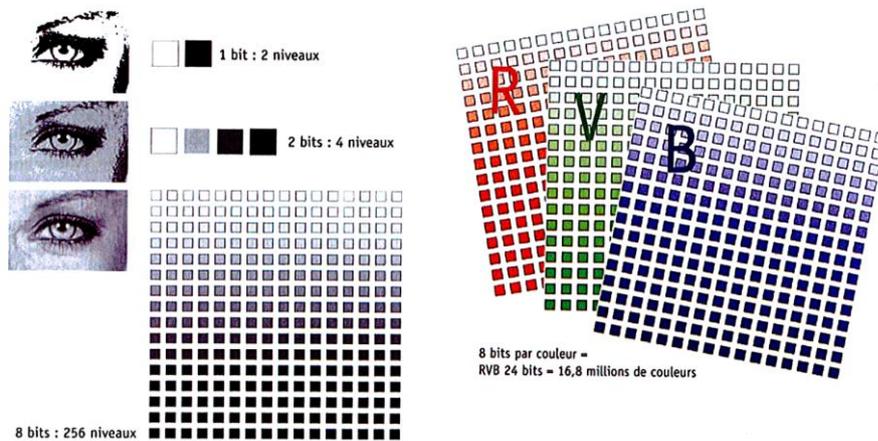


Figure 109 : les différentes possibilités selon le nombre de pixels et de bits<sup>154</sup>

### 2.6.2. La résolution

La résolution d'une image numérique est déterminée par le nombre de pixels qu'elle contient. Elle se mesure en « pixel par inch » (pixel par pouce). « Techniquement, on devrait parler de résolution en « pixel par inch » (ppi) pour les images numériques, les écrans, les appareils photos et de « points par inch » (dpi) pour les imprimantes puisqu'elles travaillent avec des points d'encre. [...] Plus la résolution d'une image est grande, plus sa qualité est élevée et par conséquent plus la taille de son fichier est volumineuse. »<sup>155</sup>

### 2.6.3. Les espaces colorimétriques

La couleur peut être définie comme une sensation perçue par l'œil et transmise au cerveau, d'un élément éclairé par une source spécifique. Chaque œil et chaque cerveau étant différents, elle est forcément subjective. Pour cela, il a été nécessaire d'établir un langage commun. Actuellement, ce sont les propositions de la CIE (Commission Internationale de l'Éclairage), fondée en 1931, qui font référence. La CIE a défini des espaces colorimétriques permettant de décrire et de gérer la couleur.

<sup>153</sup> SCHWEIZER-SIMAC, 2009, p.185

<sup>154</sup> SCHWEIZER-SIMAC, 2009, p.184

<sup>155</sup> SCHWEIZER-SIMAC, 2009, p.185

**L'espace colorimétrique XYZ (CIE) :** il a été amélioré jusqu'à donner l'espace nommé actuellement « xyY CIE ». Les coordonnées en « x » et en « y » permettent de définir la teinte et la saturation de chacune des couleurs. Les coordonnées en « Y » correspondent à la luminosité.

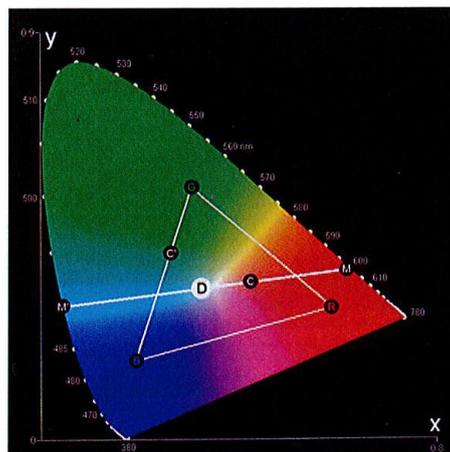


Figure 110 : diagramme de chromaticité de l'espace xyY

**L'espace colorimétrique L\*a\*b (CIE):** proposé en 1976, il se veut plus conforme aux caractéristiques de la perception visuelle, car « il représente les écarts de couleur tels qu'ils sont perçus par la vision humaine, et non pas leurs distance théoriques »<sup>156</sup>. L'axe « L » représente l'indice de clarté d'une couleur, dont la valeur peut être comprise entre 0 (noir) et 100 (blanc). L'axe « a » va du vert au rouge, et l'axe « b » du bleu au jaune.

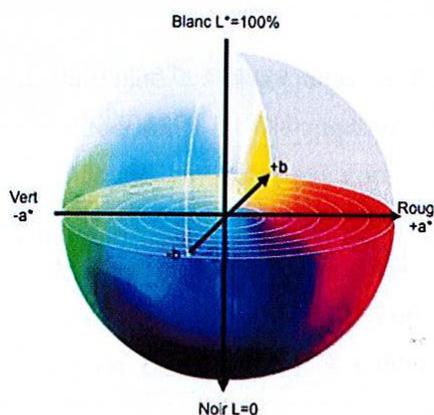


Figure 111 : espace CIE Lab<sup>157</sup>

**L'espace colorimétrique RVB :** il est basé sur le principe que chaque couleur peut être reproduite par un mélange de trois couleurs primaires. Ces trois couleurs ont été établies par la CIE en 1931 comme étant les couleurs monochromatiques suivantes :

Rouge	Vert	Bleu
700,0 nm	546,1 nm	435,8 nm

Ces couleurs composent la synthèse additive de la lumière, et leur somme équivaut à la lumière blanche. L'espace RVB est l'espace colorimétrique par défaut de la plupart des appareils numériques.

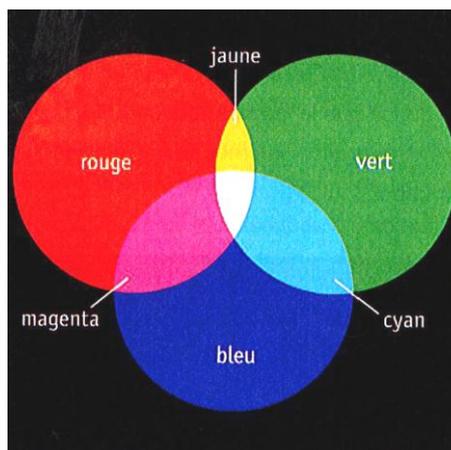


Figure 112 : le système additif RVB<sup>158</sup>

<sup>156</sup> SCHWEIZER-SIMAC, 2009, p.187

<sup>157</sup> RIOS, 2015, p.83

<sup>158</sup> SCHWEIZER-SIMAC, 2009, p.188

**L'espace colorimétrique CMJN** : il est basé sur le principe de la synthèse soustractive, pour lequel les trois couleurs « primaires » sont le cyan, le magenta et le jaune, dont le mélange en parties égales donne du noir. Ces trois couleurs sont dites « complémentaires » des trois couleurs « primaires » de la synthèse additive (RVB). En principe, les trois couleurs CMJ devraient suffire pour obtenir toutes les couleurs. En pratique, les encres n'étant pas pures, il est difficile d'obtenir du noir. C'est pourquoi une encre noire est rajoutée aux trois couleurs pour obtenir plus de contraste et de profondeur lors de l'impression. On parle alors d'espace CMJN. « Pratiquement toutes les imprimantes reçoivent leurs données en langage RVB. Ce sont les logiciels de pilotage qui [...] effectuent la conversion en données CMJN afin de transmettre les commandes aux cartouches d'encre des imprimantes. »<sup>159</sup>

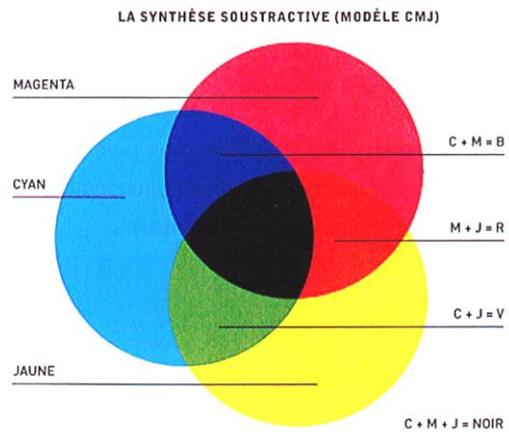


Figure 113 : le système soustractif CMJ<sup>160</sup>

#### 2.6.4. La gestion des couleurs

Comment obtenir une image imprimée qui ait les mêmes couleurs que celles affichées à l'écran ? Grâce à ses références colorimétriques, il est possible de déterminer exactement une couleur, à un moment donné, sur un appareil précis de la chaîne numérique (scanner, écran, imprimante). Mais comment ces appareils qui ont tous un mode de fonctionnement différent peuvent-ils représenter une même couleur ? En 1993, plusieurs entreprises du domaine de l'image numérique (Adobe, Apple, Kodak, etc) ont fondé la société ICC (International Color Consortium) afin de créer un système de gestion des couleurs ouvert qui permette une reproduction fidèle des couleurs quel que soit le médium utilisé. Le système comporte trois composantes :

- Un espace colorimétrique de référence : l'espace « XYZ » est plutôt utilisé pour les écrans, et l'espace « L\*a\*b » pour les périphériques d'impression.
- Des profils colorimétriques de périphériques : les appareils constituant la chaîne numérique ne sont capables ni de saisir, ni de traiter, ni de reproduire l'ensemble des couleurs que peut percevoir la vision humaine. Les appareils peuvent manipuler une gamme limitée de couleurs appelée « gamut »\*. Pour définir le comportement colorimétrique d'un appareil, l'ICC a défini un espace colorimétrique relatif appelé « profil ICC »\*.

<sup>159</sup> SCHWEIZER-SIMAC, 2009, p.189

<sup>160</sup> SCHWEIZER-SIMAC, 2009, p.190

- Un module de gestion des couleurs : désigné par le terme « CMM » (Color Management Module), il interprète le profil du périphérique et effectue les conversions d'un espace colorimétrique à un autre en fonction du mode de conversion sélectionné.

Le calibrage de l'imprimante :

- Une mire (ou charte de couleur), apposée sur un support déterminé, est mesurée à l'aide d'un colorimètre ou d'un spectrophotomètre, et les coordonnées de couleur sont obtenues dans le système « L\*a\*b ».
- Des tables de conversion « L\*a\*b » - « CMJN » sont établies à partir des valeurs mesurées.
- Les tables sont intégrées dans le profil ICC de l'imprimante. Ce sont elles qui vont permettre au module de gestion des couleurs (CMM) de constituer les correspondances entre les couleurs.

L'élaboration des profils d'imprimante :

Le profil ICC d'une imprimante décrit le comportement de celle-ci dans des conditions déterminées. Si une seule de ces variables change, le profil ICC change également. C'est pourquoi, généralement, un profil ICC est établi pour chaque nouveau support. Les fabricants d'imprimantes dotent chaque imprimante de profils génériques prédéfinis. Si les utilisateurs emploient les réglages standards de l'imprimante, ainsi que les encres et les papiers du même fabricant, il est possible d'obtenir une concordance correcte des couleurs. Pour l'impression textile, où les supports et les conditions d'impression varient énormément, il est préférable d'éditer ses profils soi-même. Certaines entreprises se sont spécialisées dans l'édition de profils sur mesure, et d'autres dans la création de logiciels qui permettent de produire des profils personnalisés. Ces entreprises proposent généralement aussi différents outils pour le calibrage des périphériques et la gestion des couleurs.

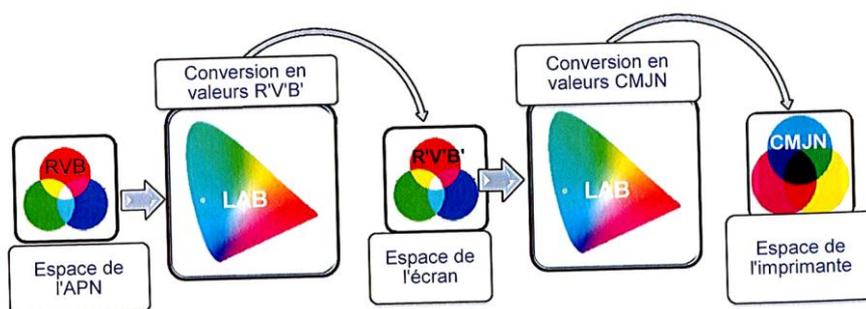


Figure 114 : chaîne de gestion de la couleur, depuis le capteur de l'appareil photo (APN) jusqu'à l'imprimante<sup>161</sup>

<sup>161</sup> RIOS, 2015, p.86

### 2.6.5. Les logiciels de pilotage des imprimantes et le calibrage des couleurs

Les différents mécanismes inhérents à l'imprimante jet d'encre sont commandés par des systèmes informatiques, qui ont pour objectifs :

- Le fonctionnement mécanique de l'imprimante et des têtes d'impression
- La transmission et la gestion des données à imprimer.

À chaque fonction est dédiée une part de logiciel, plus ou moins complexe, qui peut être intégrée dans la machine ou traitée en externe. La gestion du fonctionnement mécanique de l'imprimante ne sera pas développée ici, mais nous allons voir la transmission et la gestion des données colorimétriques.

La transformation de couleurs additives en couleurs soustractives :

« En impression textile, chaque catégorie d'encre correspond à un type de fibre textile, elle a des caractéristiques de couleur particulières dépendant autant de la composition chimique de l'encre que de la nature du support. [...] Afin de pallier le spectre réduit des teintes, il est usuel d'ajouter deux à quatre couleurs de plus au système CMJN. [...] Ainsi donc, un bleu outremer permet d'élargir la gamme des bleus imprimables, un orange vif ou un rouge profond d'agrandir le domaine du magenta, un vert ou un turquoise d'étendre les tonalités verdâtres et un gris d'obtenir des dégradés plus fluides »<sup>162</sup>. D'autres facteurs influencent également la couleur, plus particulièrement la capacité d'absorption de l'encre, qui est liée au type et à la qualité de la fibre textile, ainsi qu'au prétraitement de l'étoffe, ainsi que les différentes étapes de fixation des colorants. De plus, contrairement à l'industrie graphique, il n'existe pas dans l'industrie textile de supports standards. Il s'agit d'établir, pour chaque support employé, un calibrage des couleurs, c'est la partie la plus complexe à gérer pour le logiciel de pilotage de l'imprimante. « Comme souvent les logiciels internes des machines ne donnaient que des résultats moyens, des logiciels spécifiques ont été développés en externe pour gérer la conformité des couleurs. »<sup>163</sup>

---

<sup>162</sup> SCHWEIZER-SIMAC, 2009, p.161

<sup>163</sup> SCHWEIZER-SIMAC, 2009, p.162

# Étude expérimentale

## 1. Tests d'impression

Après avoir reconstitué les motifs manquants dans la zone lacunaire du tapis, nous allons faire varier les paramètres d'impression afin de choisir le support textile et les encres qui permettent d'avoir le meilleur rendu au niveau de la netteté et de la colorimétrie.



### 1.1. Acquisition d'un fichier numérique

#### 1.1.1. Protocole de prise de vue

La première étape du protocole est la prise de vue afin d'obtenir un fichier numérique. Cette étape est capitale, car la qualité de l'impression sera entièrement basée sur la qualité de cette première image. Pour numériser un objet plat comme un textile, il existe deux possibilités : le scanner ou la photographie numérique<sup>164</sup>. L'Inp ne disposant pas d'un scanner assez grand, nous avons opté pour la prise de vue en studio, afin de limiter les déplacements et les manipulations sur le tapis. Les photographies ont été réalisées par Ghyslain Vanneste, photographe professionnel de l'Inp.

L'éclairage est constitué de deux spots placés de part et d'autre du tapis, et formant un angle de 45°. Cette disposition permet un éclairage uniforme de l'œuvre à photographier.

<b>Matériel :</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- appareil photo numérique Nikon D3X</li><li>- objectif 60 mm</li><li>- flash électronique Multiblitz</li></ul>	<b>Réglages :</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- température de couleur : 5130 K</li><li>- diaphragme 18</li><li>- vitesse 1/160 s</li><li>- mode colorimétrique sRGB.</li></ul>
---	---

L'image obtenue est utilisée au format JPEG. La résolution de l'image est primordiale afin, elle doit être au minimum à 150 voire 200 dpi pour obtenir une impression nette. L'appareil photo de l'Inp ne permettait pas d'obtenir une image imprimée à la taille réelle du tapis à 200 dpi. Nous avons donc divisé le tapis en six sections que nous avons photographiées chacune séparément, avec la résolution

<sup>164</sup> Le scanner est la solution la plus adaptée pour obtenir une image dont la résolution est suffisante à taille réelle, sans avoir à réaliser de montages de photographies.

maximale de l'appareil et des réglages identiques. Cela nous a permis d'obtenir des images à 300 dpi à taille réelle, que nous avons utilisées pour la reconstitution sur Photoshop.

### 1.1.2. Travail de reconstitution sur le logiciel Adobe Photoshop®

Les photographies obtenues, ainsi que le caractère répétitif des motifs sur le tapis, nous ont permis de restituer les motifs manquants au niveau de la lacune. Pour cela, nous avons travaillé sur le logiciel Photoshop® en utilisant les calques, les « masques de fusion »\*, des transformations d'image simples (comme la rotation, l'inversion en « miroir »), ainsi que l'outil « tampon de duplication »\*. Chaque morceau de l'image d'origine a été copié, placé et traité dans un calque indépendant pour son traitement. Nous arrivons à un total de 26 calques. L'espace de travail Photoshop® est Adobe RVB.



Figure 115 : étapes de la reconstitution des motifs sur Photoshop. ©Inp/L.Metatla

## 1.2. Pré-tests : école Duperré, impression transfert par sublimation

L'école d'arts appliqués Duperré (Paris) a répondu positivement à notre sollicitation lors de notre recherche de partenaires pour les essais d'impression. Elle possède un pôle « impression numérique » dirigé par Mme Armelle Hamot, qui a encadré les tests en parallèle des cours qu'elle dispense aux étudiants. La seule technique d'impression numérique disponible sur leur site est l'impression transfert, qui est accessible, car elle ne nécessite pas de grandes machines de type industriel, et est assez facile d'utilisation. En effet, cette technique ne nécessite pas de prétraitement de l'étoffe, ni de fixation, et permet d'imprimer des articles confectionnés ou en cours de confection.

Le terme générique d'impression transfert comprend deux techniques différentes : le transfert par sublimation, et le transfert des plastisols<sup>165</sup>. Nous avons utilisé le transfert par sublimation. « Ce procédé est basé sur les propriétés de certains colorants dispersés qui se subliment, c'est-à-dire qui passent de l'état solide à l'état gazeux sous l'action de la chaleur. »<sup>166</sup>. Les encres dispersées sublimables sont appliquées par une imprimante à jet d'encre sur un papier spécial, qui est apprêté et calandré selon les techniques utilisées pour le papier « couché »<sup>167</sup>. Le papier, face imprimée, est ensuite mis en contact avec le support textile dans une presse chauffante. « La température de la presse est déterminée par le matériau textile et les colorants utilisés. Elle est habituellement de 180 à 220°C pour une durée de contact de 20 à 40 secondes sous une pression de 30 à 120 g/m<sup>2</sup> »<sup>168</sup>. L'impression transfert donne de bons résultats sur des textiles dont la proportion en polyester est idéalement supérieure à 50%.

L'imprimante pour papier transfert disponible est le modèle « Sure Color T3200 » de la marque EPSON. Elle possède cinq cartouches d'encres de couleur suivantes : cyan, magenta, jaune, noir et « noir mat ».

Les textiles choisis pour les tests sont deux velours achetés au marché Saint-Pierre (Paris) : un velours 100% polyester, blanc, d'aspect un peu brillant, et un velours comprenant 70% de polyester et 30% de coton, de couleur écru et d'aspect plus mat.

Le fichier a tout d'abord été converti en « mode CMJN » dans les réglages d'image de Photoshop® afin d'être transmis à l'imprimante. Le fichier doit être retourné « en miroir » puisque le motif va être imprimé d'abord sur papier qui sera retourné ensuite face imprimée sur le tissu. Deux traitements des couleurs nous ont été proposés : « catégorie 4 », qui augmente les contrastes, et « catégorie 1 » (sans changement particulier). Après l'impression sur le papier transfert, ce dernier a été placé dans une presse, face imprimée contre la face du velours, et pressé à une température de 200°C pendant 30 secondes. Quelques essais de petite taille ont été repassés au fer chaud à domicile, mais le résultat est nettement moins homogène qu'avec la presse. Pour le velours comprenant 30% de coton, un temps supplémentaire sous la presse a donné de meilleurs résultats (total de 40 secondes). Concernant les couleurs, nous n'avons pas réalisé de réglages colorimétriques à cette étape du protocole. Le traitement en « catégorie 1 » présente des couleurs plus « naturelles » que l'essai en « catégorie 4 », où les couleurs sont beaucoup trop saturées.

---

<sup>165</sup> Pâte de polychlorure de vinyle obtenue utilisée pour l'enduction de tissus et de papier.

<sup>166</sup> SCHWEIZER-SIMAC, 2009, p. 163

<sup>167</sup> Papier possédant une couche réceptrice en surface qui a pour but de limiter la pénétration de l'encre dans le papier.

<sup>168</sup> SCHWEIZER-SIMAC, 2009, p. 163



Figure 116 : Essais sur le velours 70% polyester et 30% coton : comparaison entre « catégorie 4 » (bande de gauche) et « catégorie 1 » (bande de droite). L'ensemble de la lacune est imprimé en « catégorie 1 ». ©Inp/L.Metatla



Figure 117 : Mise en situation sous le tapis de l'essai sur le velours 100% polyester (en « catégorie1 ») : les couleurs de l'impression sont plus claires et plus vives que celles du tapis. ©Inp/L.Metatla

### 1.3. Choix des supports textiles et des encres

#### 1.3.1. Introduction : la Plateforme eMODE de Cholet



Figure 118 : vitrine de la Plateforme eMODE, lycée de la mode, Cholet. © C.Coutand

La Plateforme eMODE est une association créée à l'initiative du Lycée de la Mode de Cholet, de l'Université d'Angers et du Groupement Professionnel Mode Grand Ouest. Elle est labellisée Plateforme Technologique (PFT) et agréée Crédit Impôt Recherche secteurs textile (CIR) par le Ministère de l'Éducation nationale, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche, et est soutenue par l'État et la Région Pays de la Loire. La direction est assurée par Mme Carole Coutand, co-rapporteuse scientifique de ce mémoire, qui nous a encadré pour les séries de tests réalisés lors de ce protocole.

### 1.3.2. Première journée de tests : sélection des supports textiles, essais avec les colorants pigmentaires et dispersés

Pour ces tests, nous avons tout d'abord fait une recherche parmi les principaux fournisseurs de textiles d'ameublement à Paris. Après une première sélection de différents velours blancs ainsi que d'un tissu natté<sup>169</sup>, nous avons présenté le projet aux fournisseurs dont les échantillons avaient été retenus (Lelièvre et Pierre Frey), et nous avons pu bénéficier d'échantillons gratuits pour la première journée de tests. Cependant, il ne s'agissait pas de métrages, mais de morceaux de petites dimensions (carrés de 40 x 40 cm). Pour cette raison, nous avons réalisé une première série de tests avec des tissus appartenant à la Plateforme eMODE, avant de passer aux échantillons donnés à l'INP. Nous avons sélectionné des tissus de coton et de polyester. Un velours de laine aurait également pu être envisagé, mais nous l'avons écarté pour deux raisons :

- l'une technique, car il produit beaucoup de poussière de fibres qui risque de boucher les buses des imprimantes ;
- l'autre de conservation : de manière générale en conservation-restauration de textiles, on évite l'utilisation de textiles de restauration en laine neuve, car cela augmente le risque d'infestation de l'objet.

Les paramètres d'expérimentation sont les suivants :

Textiles soumis aux tests :

- trois velours de coton (Pierre Frey, Lelièvre et velours côtelé eMODE) ;
- trois velours de polyester Trevira<sup>170</sup> (Pierre Frey, Lelièvre, Texo-trade pour eMODE) ;
- un natté 80% coton et 20% polyester du fournisseur Thompson (petits échantillons fournis par Pierre Frey).

Encres testées :

- colorants pigmentaires ;
- colorants réactifs ;
- colorants dispersés sublimables.

Imprimantes et matériel :

- TX2 (Mimaki) pour les encres pigmentaires : 8 couleurs (cyan, magenta, jaune, noir, gris, rouge, orange et bleu) ;
- JV22 (Mimaki) pour les encres dispersées sublimables : 8 couleurs (cyan, magenta, jaune, noir, gris, rouge, orange et bleu) ;
- presse à plateau ;
- calandre de transfert ;

<sup>169</sup> Armure textile dérivée de la toile, où les fils sont pris deux par deux, ce qui donne un aspect plus grossier et un effet de dessin de petits carrés juxtaposés.

<sup>170</sup> Fibre de polyester traitée « anti-feu ».

Tableau récapitulatif de la compatibilité des encres et des matériaux textiles, et des tests réalisés :

Colorants / Matière textile	Réactifs	Pigmentaires	Dispersés
Coton	Testé	Testé	Non adapté
Polyester	Non adapté	Non testé	Testé

Nous n'avons pas testé les colorants pigmentaires sur le polyester, car ces colorants, théoriquement utilisables sur tout support textile, ont une meilleure affinité avec les matières naturelles que les matières synthétiques. De plus, les colorants dispersés offrent un bien meilleur rendu sur le polyester, pour lequel ils sont spécifiquement adaptés.

Lors de cette première journée de test, il s'agissait d'évaluer la faisabilité de l'impression sur les différents textiles avec le minimum de réglages et sans traitement sur l'image numérique.

Au niveau des réglages, nous avons utilisé des « environnements d'impression<sup>171</sup> »\* déjà créés et disponibles pour chaque imprimantes. Pour chaque imprimante, nous avons à notre disposition plusieurs environnements d'impression avec des profils ICC\* qui ont été créés pour un support textile. Nous avons choisi ceux qui avaient été réalisés sur des textiles les plus proches de ceux que nous avons testés. Pour le rendu des couleurs, il existe différentes « intentions (ou modes) de rendu<sup>172</sup> »\* que nous avons fait varier.

Nous n'avons pas imprimé l'ensemble du fichier numérique pour chaque test, mais une bande du motif représentative des différentes couleurs à imprimer.

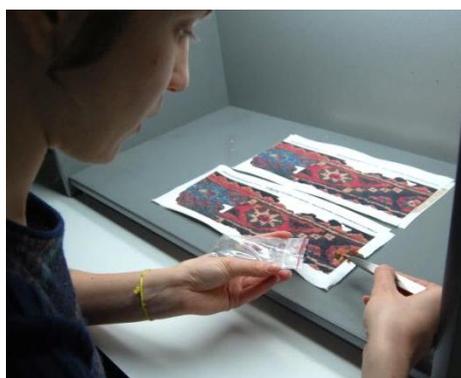


Figure 119 : comparaison des échantillons et des fragments du tapis dans la boîte à lumière. © C.Coutand

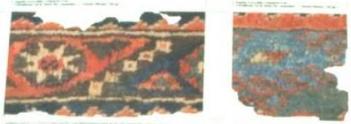
Nous ne pouvions pas transporter le tapis à Cholet afin de comparer les couleurs imprimées avec les couleurs du tapis. Nous avons emmené des fragments désolidarisés transmis par le musée du quai Branly-Jacques Chirac dans un sachet Minigrip®, afin d'avoir une première orientation colorimétrique. Nous avons à disposition une boîte à lumière, dans laquelle nous avons observé les échantillons imprimés en les comparant aux fragments du tapis. De retour à l'Inp, nous avons placé les échantillons en situation sur le tapis.

<sup>171</sup> L'environnement d'impression permet de définir tous les réglages nécessaires à la combinaison support/imprimante/résolution. Il contient notamment le profil ICC de l'imprimante (voir Glossaire, p.147).

<sup>172</sup> Lors des conversions colorimétriques entre l'espace « source » de l'image et l'espace « cible » d'impression, il permet de définir comment sont traitées les couleurs qui sont non imprimables. Quatre principaux modes de rendus ont été élaborés par l'ICC : colorimétrie absolue, colorimétrie relative, perception et saturation (voir Glossaire, p.147).

### 1.3.2.1. Impression des tissus de coton avec les colorants pigmentaires, imprimante TX2

- Guidage du tissu : l'imprimante ne possède pas de tapis de guidage, les textiles doivent donc être collés sur un papier spécial à chaud, afin de garantir l'entraînement constant de la matière.
- Fixation : passage dans une presse à 165°C pendant 45 secondes, avec un papier de protection intermédiaire. Au moment de la fixation, le papier contrecollé avant l'impression se décolle sous l'action de la chaleur.
- Impression sur le velours côtelé (eMODE) 100% coton :

Environnement d'impression	Intention de rendu	Comparaison avec l'œuvre
Mimaki TX2 KIIAN 720 2014	« Automatique » 	Les deux modes ont un rendu identique. Les couleurs sont proches de celles du tapis, mais le rouge orangé est trop vif.
Mimaki TX2 KIIAN 720 2014	« Photographie » 	
Mimaki TX2 KIIAN 720 2014	« Colorimétrie absolue » 	Le rendu est très contrasté : le beige est trop blanc et le marron est trop sombre.
Mimaki TX2 KIIAN 720 2014	« Colorimétrie relative » 	De manière globale, les couleurs sont proches de celles du tapis, mais l'ensemble est trop sombre, et les couleurs foncées sont difficilement distinguées.
Mimaki TX2 KIIAN 720 2014	« Colorimétrie relative » avec « Compensation du point noir » 	Le rendu est proche du précédent, les couleurs sont les plus proches de celles du tapis, mais les couleurs foncées (marron et bleu foncé) sont encore trop sombres.

- Impression sur le tissu natté (Thompson) 80% coton, 20% polyester



La structure du natté est trop présente, elle forme un quadrillage qui brouille la lisibilité du motif imprimé. Un nouvel essai avec deux couches d'encre ne règle pas le problème, et rend les couleurs trop sombres. Ce tissu n'est pas retenu pour la suite des tests.

- Impression sur les velours de coton (Pierre Frey et Lelièvre)

Les deux velours imprimés présentent un aspect « flou » selon l'angle de vision dans lequel on se place, qui brouille la lisibilité du motif imprimé. Cela est dû au fait que le poil du velours n'est pas écrasé lors de l'impression, et que la couche d'encre reste en surface du poil. L'on note une légère différence de texture entre le velours de chez Pierre Frey, qui présente de fines lignes horizontales, et le velours de chez Lelièvre, qui présente une surface plus uniforme. Du point de vue colorimétrique, nous avons testé uniquement les « intentions de rendu » qui ont donné des résultats intéressants avec le tissu eMODE : « photographie » et « compensation du point noir ». Le rendu en « compensation du point noir » est intéressant au niveau du rouge, du marron et du beige, mais pas au niveau des bleus : le bleu foncé est trop sombre, et le bleu clair est trop pâle. En « photographie », les couleurs claires sont trop vives/saturées. Le rendu des couleurs est identique sur les deux velours.



Figure 120 : Comparaison des modes de rendu « photographie » (à gauche) et « compensation du point noir » (à droite) sur les deux velours de coton (Pierre Frey et Lelièvre) : aucune différence perceptible entre les deux velours. © Inp/L.Metatla

⇒ L'impression avec les colorants pigmentaires sur coton a donné des résultats intéressants avec les modes de rendu « photographie » et « compensation du point noir », mais la netteté n'est pas optimale en raison des poils du velours qui peuvent s'orienter dans différentes directions. Aucune différence de rendu n'est perceptible entre le velours de Pierre Frey et le velours de Lelièvre. Le tissu natté de Thompson a été écarté en raison d'une structure textile trop présente, qui brouille la netteté du motif.

### 1.3.2.2. Impression des tissus de coton avec les colorants réactifs (fixé-lavé)

Un essai a également été effectué avec les colorants réactifs (spécifiquement adaptés aux fibres cellulosiques) sur le velours de coton appartenant à la plateforme eMODE (essai réalisé par Carole Coutand). Nous n'avons effectué aucun réglage au niveau des couleurs, un seul environnement d'impression et un seul mode de rendu a été choisi. Les couleurs imprimées sont très éloignées de celles visibles sur l'image numérique. En raison du résultat nettement moins satisfaisant qu'avec les colorants pigmentaires, et du faible temps dont nous disposons pour améliorer ce rendu, il a été décidé de ne pas poursuivre les tests avec les colorants réactifs. En effet, la technique du fixé-lavé nécessite beaucoup d'opérations telles que la préparation du tissu, l'impression, la fixation et le lavage. La gestion des couleurs aurait également été très longue pour chaque échantillon (de l'ordre d'une journée).



Figure 121 : essai d'impression de l'ensemble du fichier avec les colorants réactifs sur coton. © Inp/L.Metatla

⇒ L'impression avec les colorants réactifs sur coton n'a pas été retenue pour la suite des tests.

### 1.3.2.3. Impression des tissus de polyester avec les colorants dispersés sublimables, imprimante JV22

Le motif est imprimé en miroir sur un papier transfert, qui est ensuite placé face imprimée contre le tissu et passe dans la presse chauffante à 200°C (vitesse 50 mètres/heure) pendant 45 secondes. Nous avons choisi deux environnements d'impression (« Mimaki JV22 8C 720 2015 » et « Mimaki JV22 6C 360x540 JK 2014 ») qui ont été comparés, ainsi que les différentes « intentions (ou modes) de rendu ». Nous avons d'abord imprimé sur un tissu en polyester appartenant à la plateforme eMODE (fournisseur Texo-trade), avant de passer aux velours de polyester des fournisseurs Lelièvre et Pierre Frey.



Figure 122 : impression du papier transfert, imprimante JV22, Plateforme eMODE. ©Inp/L.Metatla



Figure 123 : tissu en polyester et papier transfert au sortir de la calandre, Plateforme eMODE.

- Impression sur le tissu eMODE 100% polyester (Texo-trade)

Environnement d'impression	Intention de rendu	Comparaison avec l'œuvre
Mimaki JV22 6C 360x540 JK 2014	« Colorimétrie relative » 	Le rendu est trop contrasté : le beige est trop blanc, les couleurs foncées sont trop sombres (on distingue difficilement le marron du bleu foncé) et le rouge tire trop vers le rose magenta.
Mimaki JV22 6C 360x540 JK 2014	« Colorimétrie relative » avec « Compensation du point noir » 	De manière globale, les couleurs sont proches de celles du tapis, mais le marron tire un peu trop vers le vert, et le bleu foncé est trop sombre.

Mimaki JV22 6C 360x540 JK 2014	« Automatique » 	Les trois modes ont un rendu quasiment identique. Le rouge orangé et le bleu clair sont un peu trop vifs/saturés.
Mimaki JV22 6C 360x540 JK 2014	« Saturation » 	
Mimaki JV22 6C 360x540 JK 2014	« Photographie » 	

Après comparaison avec les couleurs des fragments du tapis ramenés sur place à Cholet, nous avons sélectionné l'environnement d'impression suivant pour la suite des tests : « Mimaki JV22 6C 360x540 JK 2014 ». Cependant, de retour à l'Inp, en plaçant les échantillons imprimés à côté du tapis, le premier environnement d'impression (« Mimaki JV22 8C 720 2015 ») nous a semblé plus intéressant, car la résolution est meilleure et les couleurs sont plus saturées. Avec l'intention de rendu « photographie », le rendu des couleurs est assez satisfaisant, sauf pour les couleurs claires (rouge orangé et bleu clair) qui sont trop vives/saturées.

- Impression sur les velours de polyester (Pierre Frey et Lelièvre)

Aucune différence de rendu entre les deux velours n'a été remarquée. Nous ne retrouvons pas l'effet de « flou » obtenu avec l'impression pigmentaire, car le velours est écrasé par le passage dans la presse chauffante, et présente donc une surface plus lisse. Du point de vue colorimétrique, nous avons testé les intentions de rendu sélectionnées avec le tissu eMODE (Texo-trade) : « compensation du point noir » et « photographie ». En « compensation du point noir », le marron tire un peu vers le vert et le bleu foncé est trop sombre. Avec le mode « photographie », l'ensemble est intéressant mais les couleurs claires (le rouge orangé et le bleu clair) sont trop vives/saturées.



Figure 124 : Comparaison des intentions de rendu « photographie » (à gauche) et « compensation du point noir » (à droite) sur les deux velours de polyester (Pierre Frey et Lelièvre) : aucune différence perceptible entre les deux velours. © Inp/L.Metatla

Nous avons ensuite imprimé l'ensemble du fichier (taille réelle de la lacune) sur le tissu Texo-trade et sur le velours de polyester de Pierre Frey (car nous avons des échantillons de plus grandes dimensions que pour le velours de Lelièvre).



Figure 125 : Reconstitution imprimée par sublimation sur le tissu eMODE en polyester avec le mode « compensation du point noir » : le rouge ne paraît pas assez orangé, le marron tire un peu vers le vert, le bleu clair est trop clair. © Inp/L.Metatla

⇒ L'impression transfert avec les colorants dispersés sublimables a donné des résultats plus intéressants en termes de netteté des motifs, car les poils du velours sont légèrement écrasés lors du passage dans la presse. Le rendu des couleurs est également plus satisfaisant qu'avec les colorants pigmentaires. Les trois velours de polyester présentent des résultats similaires. Le profil comportant la meilleure résolution, avec le mode de rendu « photographie » nous a permis d'obtenir les couleurs les plus proches de celles du tapis, et ces critères sont sélectionnés pour approfondir les réglages colorimétriques.

#### 1.4. Réglages colorimétriques

Après la première journée de tests et la comparaison des échantillons *in-situ* sur l'œuvre, il est apparu que l'impression avec les colorants dispersés sublimables sur les tissus de polyester présente les résultats les plus intéressants, avec l'environnement qui possède la meilleure résolution (« Mimaki JV22 8C 720 2015 »). L'intention de rendu « photographie » nous a permis d'obtenir les couleurs les proches de celles du tapis, et présente la meilleure marge de manœuvre pour les réglages colorimétriques.

Nous avons donc sélectionné ces paramètres et poursuivi les tests en modifiant les fichiers numériques sur le logiciel Photoshop®, puis en imprimant des échantillons sur le velours de polyester Texo-trade. Les impressions ont été réalisées par Carole Coutand à Cholet, et envoyées à l'Inp.

Les réglages effectués sont les suivants :

- Saturation

Nous avons remarqué que les couleurs claires (le rouge orangé et le bleu clair) étaient trop vives. Nous avons donc sélectionné à l'aide de l'outil « baguette magique » les zones de ces couleurs, auxquelles nous avons appliqué un « calque de réglage » où nous avons fait varier la saturation. Nous avons diminué la saturation de -10 à -30 en passant par des valeurs intermédiaires toutes les 5 unités.

Après comparaison avec les couleurs de l'œuvre, nous pouvons constater que les variations sont assez peu visibles à l'œil nu : il n'y a aucune différence entre la saturation à -10 et -15. L'on peut voir une différence à partir de -20. Il y a également très peu de différence entre -20, -25 et -30. L'échantillon où la saturation des couleurs claires est diminuée de 20 a été sélectionné comme base pour la suite des réglages.

- Luminosité

Les paramètres de saturation précédemment définis nous ont permis d'obtenir un rendu des couleurs satisfaisant et très proche des couleurs du tapis. Cependant, tous les échantillons présentent un aspect plus clair et un léger voile blanchâtre lorsqu'ils sont placés dans la lacune du tapis. Nous avons donc procédé de la même manière sur le fichier numérique en diminuant la luminosité de -10, -20 et -30, et les échantillons ont été imprimés à Cholet par Carole Coutand. L'échantillon où la luminosité est diminuée de 30 paraît le plus satisfaisant.

- Contraste

Afin de limiter le léger voile blanchâtre, nous avons également fait varier le contraste, en gardant les paramètres précédemment sélectionnés (saturation -30 et luminosité -30). L'échantillon où le contraste est augmenté de 30 paraît le plus satisfaisant.

⇒ Les paramètres suivants ont été modifiés sur l'image numérique à l'aide du logiciel Photoshop afin de se rapprocher plus finement des teintes présentes sur le tapis : la saturation a été diminuée sur certaines zones colorées, la luminosité a été diminuée et le contraste augmenté sur l'ensemble de l'image. Ces réglages ont montré des différences visibles et des résultats concluants.

## 2. Compatibilité avec les exigences de la conservation-restauration

### 2.1. Introduction : choix des tests réalisés

Nous avons choisi de tester uniquement les échantillons présentant les paramètres retenus après la première série de tests, soit les tissus de polyester imprimés avec les encres dispersées sublimables. Les tests de solidité à la lumière\* et de solidité au lavage\* ont déjà été réalisés de manière industrielle (suivant les normes ISO en vigueur dans le domaine du textile) par le fabricant des encres dispersées sublimables (Digistar PES HD ONE, du fournisseur KIIAN), et les huit encres que nous avons utilisées (noir, cyan, magenta, jaune, gris, bleu, orange et turquoise) présentent des bons résultats<sup>173</sup>. Nous n'avons pas jugé utile de refaire ces tests dans les mêmes conditions. Cependant, nous disposons de matériel (enceinte de vieillissement à la lumière, nombreux échantillons imprimés) et de temps nous permettant de vérifier ces tests par des méthodes pouvant être facilement mises en œuvre au sein de l'Inp. Nous avons décidé de soumettre les échantillons de motifs imprimés à un vieillissement accéléré à la lumière artificielle, ainsi qu'à des tests de dégorgement des couleurs.

### 2.2. Vieillissement artificiel à la lumière

Les échantillons présentant les paramètres retenus à la suite de la première série de tests ont été placés en enceinte de vieillissement à la lumière artificielle :

- Tissu de polyester (Texo-trade) imprimé avec les encres dispersées sublimables, environnement d'impression « Mimaki JV22 8C 720 2015 »
- Velours de polyester (Lelièvre) imprimé avec les encres dispersées sublimables, environnement d'impression « Mimaki JV22 8C 360 x 540JK 2014 »
- Velours de polyester (Pierre Frey) imprimé avec les encres dispersées sublimables, environnement d'impression « Mimaki JV22 8C 360 x 540JK 2014 »

Les échantillons ont été à moitié recouverts d'un cache en carton blanc neutre de conservation, afin d'observer la différence de teinte entre les parties exposées et non-exposées à la lumière.

Paramètres de vieillissement<sup>174</sup> :

<sup>173</sup> Entre 5 et 6-7 sur 8 pour la solidité à la lumière, et 4-5 sur 5 pour la solidité au lavage, voir tableau récapitulatif des résultats présenté dans la fiche technique des encres « Digistar PES HD ONE », en Annexe 10, p.185.

<sup>174</sup> Pour l'éclaircissement, voir le tableau de correspondance des unités fourni par le fournisseur Atlas, en Annexe 5, p.177.

Enceinte : SUNTEST XLS+

Éclairage : 550 W/m<sup>2</sup> (correspond à environ 125 000 lux, selon le fournisseur Atlas)

Température : 35°C

Durée : 58 h

Dose reçue : 114 840 kJ/m<sup>2</sup>

Évaluation des résultats : visuelle, prise de vues, mesures de colorimétrie.

### 2.3. Solidité à l'eau

Nous nous sommes basés sur des pratiques courantes en atelier ainsi que sur la bibliographie<sup>175</sup> pour établir un test simple permettant de vérifier si les couleurs des motifs imprimés risquent de dégorger en cas de dégât des eaux.

Les échantillons présentant les paramètres retenus à la suite de la première série de tests ont été testés :

- Tissu de polyester (Texo-trade) imprimé avec les encres dispersées sublimables, environnement d'impression « Mimaki JV22 8C 720 2015 », intention de rendu « saturation »
- Tissu de polyester (Texo-trade) imprimé avec les encres dispersées sublimables, environnement d'impression « Mimaki JV22 6C 360x540 JK 2014 », intention de rendu « saturation »
- Tissu de polyester (Texo-trade) imprimé avec les encres dispersées sublimables, environnement d'impression « Mimaki JV22 6C 360x540 JK 2014 », intention de rendu « photographie »

Qualité de l'eau : eau déminéralisée, pH mesuré : 6-7

Nous avons placé les échantillons imprimés dans un bac rempli d'eau déminéralisée et nous les avons laissés à tremper pendant 24h. Puis nous les avons sortis et mis à sécher, face imprimée contre un buvard neutre, sous des plaques de verre pendant 24h. Nous avons ensuite retiré les plaques de verre et laissé les échantillons et les buvards à l'air libre jusqu'à leur séchage complet.

Évaluation du dégorgement : visuelle, prise de vues.

### 2.4. Résultats

#### 2.4.1. Vieillesse artificielle à la lumière

Après 58 heures de vieillissement, les échantillons ne présentent aucune différence de teinte visible à l'œil nu entre les parties exposées et les parties non-exposées ayant été recouvertes par le cache.

<sup>175</sup> BRITTON, 2008, et ROBERTS, 2011.

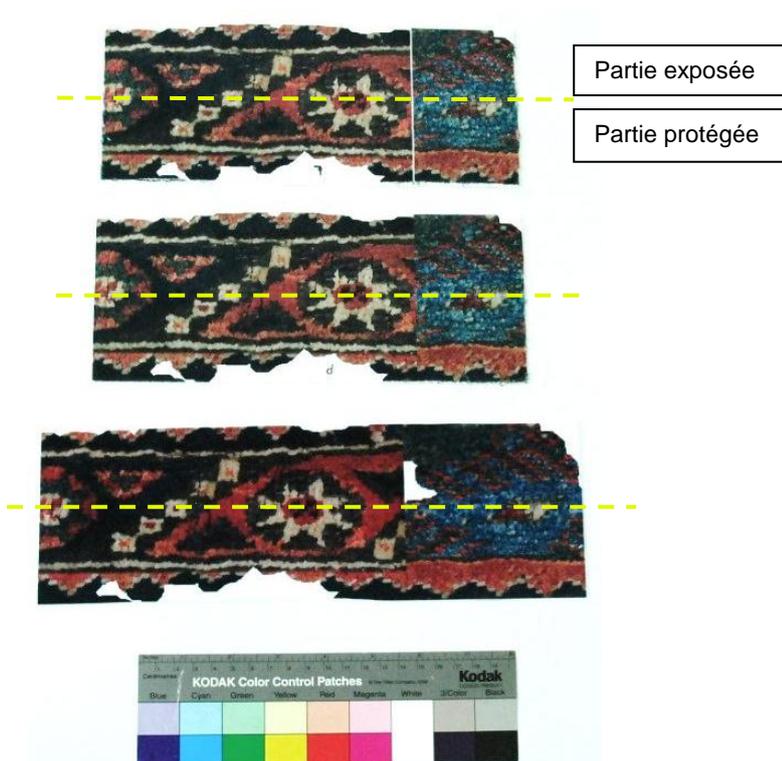


Figure 126 : échantillons de velours de polyester (Lelièvre, Pierre Frey et Texo-trade) imprimés avec les colorants dispersés sublimables, après vieillissement à la lumière artificielle. La partie exposée à la lumière est située au-dessus de la ligne pointillée, sur chaque échantillon. © Inp/L.Metatla

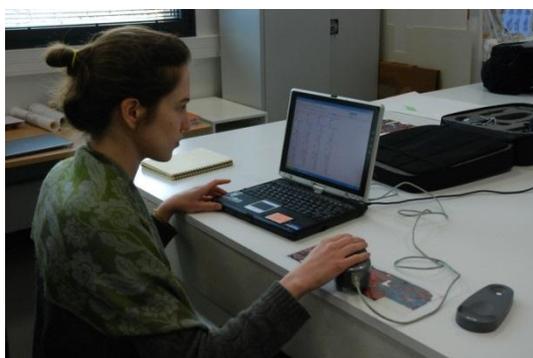


Figure 127 : mesures de colorimétrie réalisées à l'INP sur les échantillons avant vieillissement.

© Inp/L.Metatla

Des mesures de colorimétrie ont été réalisées avec le spectro-photomètre de l'Inp (« i1 BasicPro », X-Rite, 2007) avant et après vieillissement, exactement aux mêmes endroits définis sur les échantillons. Chaque mesure a été réalisée deux fois pour chaque point défini. Uniquement les mesures dans l'espace CIE L\*a\*b ont été et comparées.

Tableau récapitulatif des écarts de couleur ( $\Delta E^*$ ) pour les trois velours de polyester<sup>176</sup> :

Velours/ $\Delta E$	Bleu clair	Bleu-vert	Rouge	Marron	Beige	Bleu foncé
Texo-trade	2,36	3,12	2,15	1,20	2,12	4,71
Lelièvre	1,24	1,48	1,96	1,64	1,34	1,44
Pierre Frey	2,46	1,19	2,93	0,74	1,10	1,65

<sup>176</sup> L'ensemble des mesures est disponible en Annexe 6, p.179.

D'après les mesures de colorimétrie, les échantillons après vieillissement ne présentent qu'une légère différence de teinte selon les couleurs. Un écart de  $\Delta E$  supérieur ou égal à 2 est considéré comme visible à l'œil nu. Les valeurs de  $\Delta E$  se situent entre 1,20 et 4,71 pour le velours Texo-trade (moyenne 2,61), entre 1,10 et 2,93 pour le velours Pierre Frey (moyenne 1,68), et entre 1,24 et 1,96 pour le velours Lelièvre (moyenne 1,51). Le velours de polyester du fournisseur Lelièvre présente la moyenne de  $\Delta E$  la plus faible, mais la différence avec le velours Pierre Frey n'est pas significative.

Les grands écarts de  $\Delta E$ , notamment pour le velours Texo-trade, ne sont pas confirmés par l'observation à l'œil nu. Ces valeurs (en vert dans le tableau) peuvent provenir d'erreurs de mesure ou d'erreurs dues au mode de lecture par le spectro-photomètre. En effet, cet appareil est conçu pour donner des résultats optimaux sur une surface lisse, telle que le papier, ce qui n'est pas le cas du textile, et particulièrement du velours. L'état de surface d'un velours, qui comporte des poils pouvant s'orienter dans des directions différentes, ne permet pas de renvoyer la lumière de manière uniforme. Pour cette raison, il est possible que l'utilisation du spectro-photomètre pour confirmer les résultats visibles à l'œil nu ne s'avère pas pertinente dans notre cas. Un autre type de protocole aurait pu être mis en place, comme la prise de photographies des échantillons avant et après vieillissement dans une boîte à lumière constante, suivie de l'exploitation des données colorimétriques à l'aide du logiciel Photoshop®.

#### 2.4.2. Solidité à l'eau, évaluation du dégorgeement

Après séchage complet, aucune trace de dégorgeement n'a été constatée sur les buvards. Cela confirme les tests de solidité au lavage réalisés de manière industrielle sur les colorants seuls.



Figure 128 : échantillons immergés dans le bac de lavage (à gauche), échantillons et buvards après séchage (à droite). © Inp/L.Metatla

### 3. Conclusion

Le protocole technico-scientifique nous a permis d'appréhender les nombreuses possibilités offertes par l'impression numérique à jet d'encre sur textile, de les comparer esthétiquement et de les confronter aux exigences de la conservation-restauration.

Parmi les différentes techniques d'impression que nous avons à notre disposition à la Plateforme eMODE, nous avons pu sélectionner l'impression transfert avec les colorants dispersés sublimables sur du velours de polyester. Cette technique a permis d'obtenir les motifs imprimés les plus nets et le meilleur rendu des couleurs par rapport à l'image numérique de départ.

Nous avons ensuite effectué de nombreux réglages colorimétriques sur les fichiers numériques afin d'approcher le plus possible des teintes de l'œuvre à restaurer. Ces modifications ont été appliquées sur l'ensemble de l'image, pour la luminosité et le contraste, mais également sur des zones spécifiques, pour la saturation, qui a été diminuée sur les zones colorées rouge-orangé et bleu clair.

Nous avons enfin vérifié la solidité des encres utilisées à la lumière et à l'eau, et confirmé leur utilisation possible dans le champ de la conservation-restauration des textiles.

Il serait intéressant de poursuivre ces tests afin d'améliorer encore la netteté du motif et la « profondeur » des couleurs. La netteté peut être améliorée au niveau de la photographie numérique de départ, qui pourrait être d'une qualité encore supérieure, mais également lors du choix du support textile : un tissu présentant un aspect de surface très lisse, dont la structure n'interfère pas ou très peu avec la résolution de l'image, va permettre un rendu plus net des motifs. Du point de vue des réglages colorimétriques, nous avons utilisé les profils ICC (responsable de la gestion de la couleur au sein de chaque environnement d'impression) standard déjà créés pour les imprimantes que nous avons à disposition. Cependant, en théorie, pour avoir le meilleur rendu des couleurs possible, il serait souhaitable de créer un profil ICC pour chaque nouveau support d'impression, car le rendu des couleurs est très lié au support (couleur, texture, traitement de surface...). Cette opération de création de profil nécessite au moins une journée de travail pour un professionnel spécialisé, et des métrages de tissu importants pour imprimer des chartes de couleur, ce qui n'était pas envisageable dans le temps limité de notre protocole, et avec les échantillons de tissus dont nous disposions.

## PARTIE IV : INTERVENTIONS DE CONSERVATION-RESTAURATION



Figure 129 : consolidation en cours, atelier textile. © Inp/L.Metatla

# 1. Avant-propos : la restauration des tapis noués

## 1.1. Introduction

Les altérations observables sur les tapis sont très souvent liées à l'usure. Le tapis est soumis à de nombreux frottements (piétinement, transport) et à des pressions répétées (par exemple sous un meuble). Cela peut entraîner des déchirures, des trous, des pertes de franges ou de lisières, et des lacunes de poil. Les lisières et les extrémités sont des zones très sollicitées qui sont souvent les premières à s'affaiblir. Les taches de nourriture et la poussière accumulée sont également monnaie courante et pénètrent en profondeur dans la structure. Les tapis sont sensibles aux facteurs d'altérations qui affectent les textiles de manière générale : les variations d'humidité relative, qui peuvent provoquer des ondulations ou des déformations voire des risques de développement de moisissures, la lumière, qui est à l'origine de l'affadissement des couleurs et de la fragilisation des fibres. L'emploi de la laine comme matériau de prédilection pour les tapis noués les rend très vulnérables aux attaques d'insectes kératophages, comme les mites. L'intervention humaine, dans le cas de réparations trop intrusives, peut provoquer des tensions et conduire à la rupture de chaînes ou de trames.

Lors de nos recherches, nous avons pu dégager deux « tendances » principales dans l'approche de la restauration des tapis noués :

- Ils sont traités comme les autres textiles, sans tenir compte de l'épaisseur du poil (ou velours). Ils sont souvent assimilés aux tapisseries en raison d'une structure relativement proche.
- Dans les ateliers spécialisés dans les tapis noués, des techniques plus « traditionnelles » de réparation sont employées. Les traitements sont prévus pour des tapis qui doivent rester en usage.

## 1.2. Recherche bibliographique

### 1.2.1. Techniques de réparation « traditionnelle »

La réparation-restauration des tapis est une discipline probablement née en même temps que le tapis lui-même, de la nécessité de le maintenir en usage. Les techniques sont variées et pas toujours bien documentées. Certaines permettent de consolider les zones fragilisées comme le reprisage et le kashmiring<sup>177</sup>. D'autres sont utilisées pour combler des lacunes : ajout de pièces brodées ou de pièces provenant d'autres tapis, retissage et renouage, coupure des zones endommagées et réduction des dimensions... Ces réparations sont généralement aisément repérables lorsque des matériaux dont les teintures sont peu résistantes à la lumière ont été introduits (zones plus pâles ou décolorées), ou lorsqu'elles provoquent des différences de tension (déformations, ondulations).

---

<sup>177</sup> Point de broderie réalisé sur des chaînes ou des trames exposées.

Voici quelques exemples de traitements couramment effectués sur les tapis noués, d'après les réparations anciennes que nous avons observées sur le tapis n°71.1973.77.165 :

- Rechaînage, retrimage et renouage, pour combler une lacune

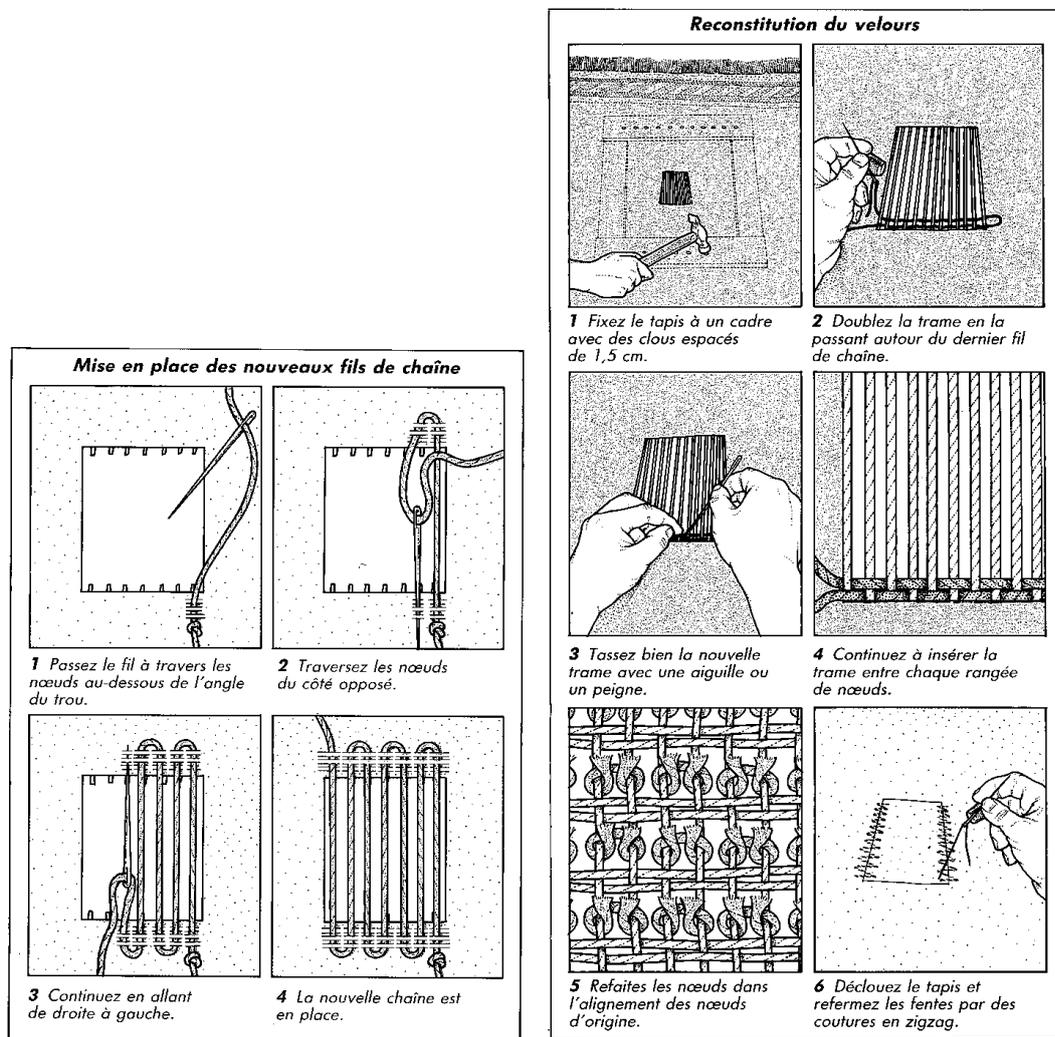


Figure 130 : Mise en place des nouveaux fils de chaîne et reconstitution du velours, dans *Réparez vos tapis*<sup>178</sup>

L'introduction de nouvelles chaînes fragilise le tapis en créant des tensions dans les zones d'attache des nouvelles chaînes. Ce type de réparation est difficilement réversible, car les nouvelles chaînes sont fixées dans la structure du tapis, et leur retrait entraînerait des dégradations supplémentaires voire une perte de matière originale en bordure de la lacune d'origine.

<sup>178</sup> BERNARDOUX, 1988, p.50-51

- Réfection des franges

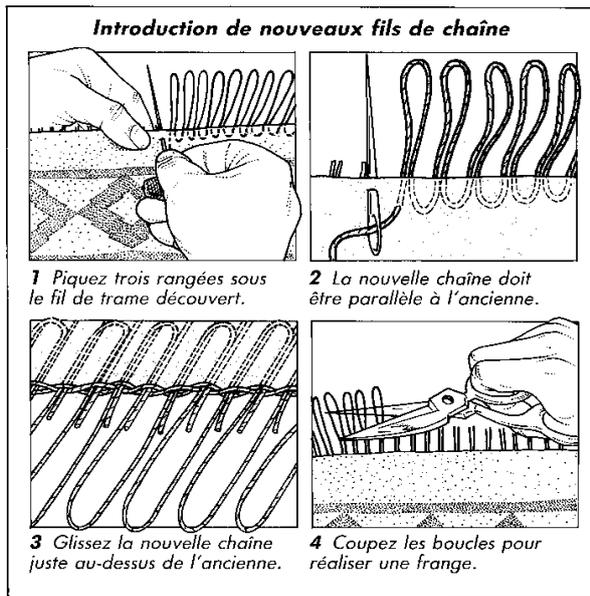


Figure 131 : Remplacement des franges, dans *Réparez vos tapis*<sup>179</sup>

- Point de chaînette sur les bords inférieur et supérieur afin de bloquer les nœuds

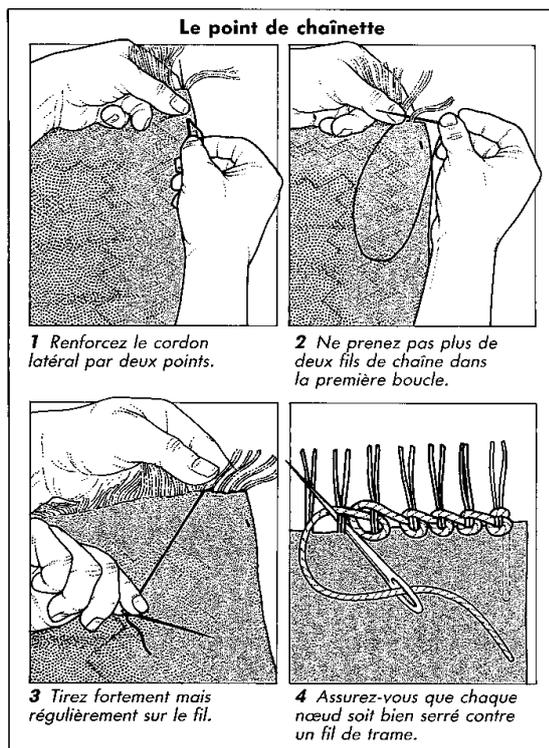


Figure 132 : point de chaînette pour maintenir les nœuds, dans *Réparez vos tapis*<sup>180</sup>



Figure 133 : Point de chaînette réalisé sur les franges, bord supérieur. © Inp/L.Metatla

<sup>179</sup> BERNARDOUX, 1988, p.26

<sup>180</sup> BERNARDOUX, 1988, p.29

- Réfection des lisières

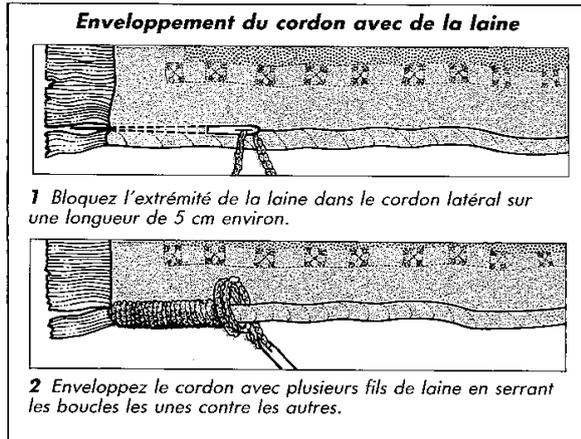


Figure 134 : remplacement de la laine des lisières, dans *Réparez vos tapis*<sup>181</sup>



Figure 135 : bord droit, lisière refaite en utilisant un cordon tressé en coton, plié en deux et recouvert de laine bordeaux. © Inp/L.Metatla

Ces réparations ont pour but de rendre le tapis à nouveau fonctionnel (donc solide) et ne se justifient pas au sein des collections patrimoniales. Pour les conservateurs-restaurateurs, le retrait des anciennes réparations est envisagé s'il y a un risque pour la conservation de l'objet : si les réparations engendrent des tensions importantes, ou un risque de dégorgeement des couleurs lorsqu'un traitement humide est prévu, mais rarement pour des raisons esthétiques. Dans le cas de pièces retissées et renouées, le retrait peut occasionner un risque de perte de matière originale.

D'autres techniques, comme l'incrustation de morceaux provenant d'un autre tapis, ou l'ajout de pièces brodées ou peintes dans des lacunes sont également employées. L'idée de combler une lacune par une toile peinte a pu servir de « base » au développement de techniques plus récentes utilisant l'impression (au cadre plat, par sérigraphie, et l'impression numérique qui nous intéresse plus particulièrement dans ce mémoire). Nous n'avons pas trouvé d'exemple de tapis restauré de cette manière dans la bibliographie, c'est pourquoi nous prenons ici l'exemple d'une tapisserie. Les tapis et les tapisseries ont souvent été assimilés dans leur traitement, en raison de leur structure très proche.



Figure 136 : lacune comblée par un morceau de toile peinte qui reproduit les motifs manquant. ©Patricia Dal-Prà

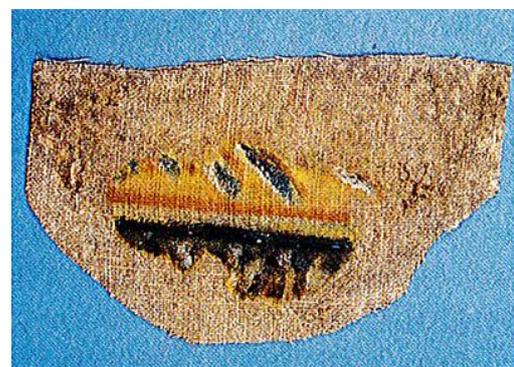


Figure 137 : morceau de toile peinte retiré lors de la restauration. ©Patricia Dal-Prà

<sup>181</sup> BERNARDOUX, 1988, p.36

### 1.2.2. Techniques utilisées en conservation-restauration de textiles

Peu de publications ont été consacrées à des projets de conservation-restauration autour du tapis, et particulièrement du tapis noué. Exception notable, le *Textile Museum Journal* a publié en 1991 une série d'articles sur la possibilité d'intégrer des techniques traditionnelles de réintégration dans les traitements de restauration muséales et faisant le point sur les méthodes employées en Europe et aux États-Unis.

#### Nettoyage

Si les fibres sont souples et le motif aisément perceptible, une micro-aspiration du tapis suffit<sup>182</sup>. Un lavage ou un nettoyage à l'aide de solvants peut être envisagé si le tapis présente des taches ou des matières incrustées dans les fibres qui seraient dangereuses pour sa conservation. Le lavage comporte néanmoins des risques :

- Dégorgement des couleurs (qui peut être limité lors d'une méthode utilisant la nébulisation et l'aspiration simultanée au revers du tapis)
- Temps de séchage, qui atteint facilement plusieurs jours (qui peut être réduit par un système d'aération et de ventilation)
- Risque de dégradations mécaniques, liées au poids du tapis qui augmente une fois mouillé (cela nécessite un système de manipulation adapté, à l'aide de rouleaux par exemple).

Ana Schöebel<sup>183</sup> préconise également le lavage sur table aspirante, qui permet de contrôler les éventuels dégorgements de colorants et de limiter les manipulations.

#### Consolidation des lacunes

Les lacunes peuvent être structurelles, c'est-à-dire qu'elles affectent l'ensemble de la structure : chaîne, trame et nœuds, ou ponctuelles, c'est-à-dire uniquement les nœuds (lacunes de poil ou de velours). Les techniques de consolidation habituellement utilisées dans le domaine des textiles peuvent également être employées sur les tapis :

- Pose de pièces de tissu teint uni au revers et fixation par couture : l'objet est stabilisé, mais cette technique n'est pas toujours satisfaisante esthétiquement et structurellement. Le textile de support est plus mou et flexible que le tapis, ce qui peut provoquer des plis ou des « poches » dans les grandes lacunes, surtout si le tapis est exposé à la verticale.
- Pose de pièces de tissu imprimé au revers et fixation par couture : l'impression peut être réalisée par différentes techniques : sérigraphie<sup>184</sup>, impression manuelle au cadre-plat, impression jet d'encre<sup>185</sup> (voir Partie III, Protocole technico-scientifique, Etude théorique).

---

<sup>182</sup> *Reflexiones sobre la conservacion de alfombras y tapices*, 2010, p.28

<sup>183</sup> SCHÖEBEL-ORBEA, 2002

<sup>184</sup> MAILAND, 1991

<sup>185</sup> HARTOG, 2009

Le *Textile Museum Journal* (du Textile Museum de Washington, États-Unis) a consacré un numéro spécial sur les tapis (volumes 29 et 30, 1991), où nous avons pu recenser quelques techniques élaborées spécifiquement pour combler visuellement les lacunes des tapis noués :

- Pièces tissées à la main incrustées dans les lacunes et fixées par couture<sup>186</sup> : sur un tapis

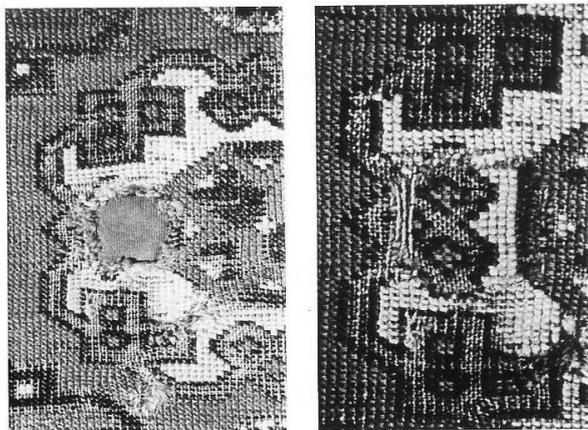


Figure 138 : zone avant traitement, avec une pièce unie fixée au revers, et après avec la pièce tissée, p.22

Holbein (fin XVe-début XVIe), les lacunes ont été comblées avec des pièces en laine tissées à la main à la forme des lacunes. Le textile grossier obtenu correspond mieux à l'aspect du tapis noué qu'une toile de lin ou de coton, mais ne reproduit pas le poil du tapis. Les morceaux de tissage sont lavés et passés à la vapeur avant d'être attachés avec un fil de coton au dos du tapis avec un point avant. Un tissu de support est également cousu derrière

chaque insertion pour renforcer son attachement au tapis et éviter que les tensions se concentrent aux bords des lacunes.

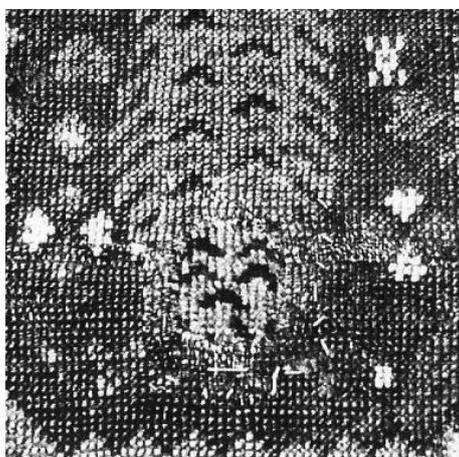


Figure 139 : zone du bas de la palmette tissée à part et incrustée, soutenue par une pièce de tissu de support

- Pièces tissées et nouées réalisées sur un métier, incrustées dans les lacunes et fixées par couture<sup>187</sup> : cette technique est identique à la précédente, sauf qu'elle reproduit également les nœuds du tapis. Sur un tapis de prière turc (provenant de Milas), les anciennes restaurations sont retirées et un relevé de la lacune est fait en indiquant le nombre de chaînes et de trames pour guider le tissage. Un carton du motif des nœuds, basé sur un motif semblable et non altéré du tapis, est réalisé. Le tissage est réalisé sur un petit métier. Une fois tissé et noué, le velours est égalisé. La pièce est cousue avec un fil de coton sur un tissu de support en coton, qui permet ensuite de l'attacher à une zone plus solide du tapis.

- Re-nouage sélectif<sup>188</sup> pour des lacunes ponctuelles de poil : sur un tapis du XVIIIe siècle provenant de Kula (Turquie), les nœuds des anciennes restaurations, dont les couleurs

<sup>186</sup> PERKINS, 1991

<sup>187</sup> WOLF GREEN et SWETZOFF, 1991

<sup>188</sup> BRAKO, PERKINS et MANN, 1991

avaient passé, ont été retirés et de nombreux nœuds d'origine ont été retrouvés. Des nœuds de remplacement ont ensuite été sélectivement ajoutés dans les zones où il ne restait pas de nœuds d'origine.



Figure 140 : pièce de support en lin sur laquelle sont cousues des "fausses chaînes", ensuite brodées avec de la laine pour recréer le dessin.

- Pose de pièces de support brodées : pour le musée des arts décoratifs de Madrid, Ana Schöebel a utilisé une technique combinant un support uni de couleur adaptée fixé au revers, sur lequel sont placées de « fausses chaînes » afin de recréer un relief et de mettre la pièce « à niveau » par rapport au tapis. Le dessin manquant est ensuite restitué en brodant sur ces fausses chaînes à l'aide de fils de laine teints aux couleurs adéquates<sup>189</sup>.

- Emploi d'adhésifs : la consolidation par apport d'adhésif est très peu employée car le poids des tapis nécessiterait de trop quantités d'adhésifs. Harold Mailand cite la Beva 371 appliquée en spray sur un support de consolidation, puis sur le tapis après avoir été réactivée à la chaleur<sup>190</sup>. L'adhésif ne pénètre pas complètement la structure du tapis et des points de restauration sont réalisés en complément pour consolider suffisamment le tapis afin de permettre une mise en exposition ou un usage domestique. Sur le tapis d'Ardabil (Victoria&Albert Museum, Londres), lors du retrait des anciennes restaurations, les nœuds qui n'avait plus de point d'accroche ont été collées avec une colle Cellofas soluble à l'eau<sup>191</sup>.

### 1.3. Questionnaires envoyés aux professionnels

Dès le début de l'année de mémoire, en octobre 2015, nous avons élaboré des questionnaires afin d'avoir un aperçu des techniques les plus couramment utilisées actuellement en conservation-restauration des tapis noués<sup>192</sup>. Ces questionnaires abordent également le sujet des réparations anciennes, de l'exposition et du stockage des tapis. Ils ont été mis en ligne sur des forums de conservation-restauration (France, États-Unis, Royaume-Uni) et envoyés directement par mail à de nombreux conservateurs-restaurateurs de textiles dans des musées ou travaillant en indépendant, en Europe, au Canada et aux États-Unis.

<sup>189</sup> SCHÖEBEL-ORBEA, 2002

<sup>190</sup> MAILAND, 1991

<sup>191</sup> LANDI, 1998

<sup>192</sup> Afin de ne pas alourdir le présent rapport, nous n'avons pas mis en annexe l'ensemble des questionnaires, mais nous avons choisi de présenter une synthèse des réponses.

Pays	Nombre de réponses	Questionnaires remplis
France	5	5
Allemagne	12	8
Autriche	4	3
Suisse	3	3
Royaume-Uni	3	1
Belgique	2	0
Espagne	2	1
États-Unis	4	3
<b>Total</b>	<b>35</b>	<b>24</b>

Relativement peu de personnes ont rempli les questionnaires. En France, d'après les retours de plusieurs restauratrices de textiles, cela est dû au fait que beaucoup d'entre elles n'ont pas eu l'occasion de restaurer des tapis noués. C'est également le cas des 11 personnes qui ont répondu mais n'ont pas été en mesure de remplir le questionnaire. De manière générale, les restaurateurs indépendants qui ont déjà restauré des tapis l'ont fait pour une clientèle privée.

### 1.3.1. Nettoyage

Le nettoyage mécanique par aspiration a été mentionné dans toutes les réponses, avec selon les cas une protection pour les zones fragiles, et l'aide d'outils : pinceau doux, pince pour retirer des cocons de mites. Le nettoyage par voie humide est réalisé en bain, avec un séchage accéléré la plupart du temps, en raison de l'épaisseur des tapis. Le rinçage sur un plan incliné a été mentionné deux fois. La qualité de l'eau utilisée dépend des possibilités de chaque institution ou atelier : de l'eau dure (mentionnée une fois) à déminéralisée (mentionnée pour les derniers rinçages). L'eau « adoucie » ou dé-ionisée est utilisée le plus souvent. Les détergents utilisés varient selon les producteurs de chaque pays<sup>193</sup>. Le recours à une entreprise spécialisée possédant une installation à aérosols est couramment pratiqué en France, en Belgique et en Allemagne. Le nettoyage à l'aide de solvants est utilisé de façon ponctuelle pour des taches, sur table aspirante.

### 1.3.2. Consolidation

La consolidation des zones lacunaires et fragiles est réalisée le plus souvent de la même manière que pour les autres textiles, par pose de pièces de soutien au revers, fixées par couture. Les tissus en fibres cellulosiques (lin ou coton) sont préférés, mais la laine est également mentionnée (en Allemagne). Ces tissus de support sont généralement teints avec des colorants synthétiques. La consolidation par couture à l'aide de point de restauration (point de Boulogne\*) est employée. Le point droit\*, le point de chausson\* ou le point de feston\* sont souvent employés sur les bords des pièces. Le fil de coton teint du commerce est le plus utilisé, mais également le fil de soie (soie « Surfine » en

<sup>193</sup> En France : Tinovétine, Triton et/ou Detertex, et un « détergent du commerce anti-acarien », en Allemagne/Suisse : Tinovétine, Tensid, Marlipal, Hostapon T, Saponin, Varsapon, aux États-Unis : Orvus Paste, Synperonic N, Triton X-114, Surfonic JL-80X.

France), plus rarement le fil de lin ou de polyester (mentionné une fois, pour sa solidité). La consolidation par pose de pièces imprimées au revers (d'après la technique développée par Anne-Rose Bringel dans son mémoire de fin d'études<sup>194</sup>) se fait plutôt en France. Des techniques plus proches de la restauration de tapis traditionnelle ont été mentionnées pour la réintégration des lacunes dans le cas d'une clientèle privée : retissage/renouage, réfection des lisières, et rajout de franges si elles sont manquantes. Une technique de réintégration par des pièces tissées séparément à la main a été mentionnée une fois (par une restauratrice américaine).

### **1.3.3. Exposition**

Les tapis sont généralement exposés à plat ou sur un plan incliné. Dans le second cas, les tapis sont placés sur un support avec une interface constituée d'un matériau légèrement adhérent pour les empêcher de glisser (non-tissé de polyester, molleton de coton...). Lorsqu'ils sont suspendus, un système de bandes Velcro® est cousu sur le bord supérieur. Des anneaux de suspension sont mentionnés une fois, de même que les aimants (États-Unis). Les tapis sont exposés à la verticale, cousus sur des panneaux de montage rigides recouverts de tissu au musée des arts décoratifs de Madrid. Lorsque les tapis ne sont pas protégés par une vitrine, ils sont régulièrement dépoussiérés : d'une fois par semaine à une fois par mois, ou uniquement à la fin de l'exposition. Les durées d'exposition varient entre trois mois pour les pièces fragiles, à six mois ou un an pour les expositions temporaires. Les tapis sont souvent exposés de manière permanente dans les monuments historiques et les lieux de culte.

### **1.3.4. Stockage**

Les tapis sont conservés roulés dans la plupart des cas, ce qui est lié à leurs dimensions. Les petits formats sont conservés à plat. Au Museum für Islamische Kunst de Berlin, qui possède une importante collection de tapis noués, ces derniers sont stockés à la manière des tableaux, à la verticale : une toile de lin est tendue sur un cadre en métal de dimensions adaptées à chaque tapis, puis le tapis est cousu sur la toile de lin.

La recherche bibliographique, ainsi que les réponses aux questionnaires nous ont permis d'établir un état des lieux des pratiques de conservation-restauration des tapis noués, afin de mieux appréhender la restauration du tapis 71.1973.77.165, en confirmant et en affinant nos propositions de traitement.

---

<sup>194</sup> BRINGEL, 1998

## 2. Interventions réalisées sur le tapis 71.1973.77.165

### 2.1. Dépoussiérage

L'ensemble du tapis a été dépoussiéré sur la face et le revers en utilisant un aspirateur à intensité variable muni d'un filtre HEPA<sup>195</sup>, avec des embouts fins adaptés selon les zones : la partie supérieure, très fragile, a été aspirée avec une intensité moindre, un embout plus fin, et à travers un tulle de nylon, en raison de la présence de petits fragments et nœuds risquant de se désolidariser. Le tapis a été progressivement roulé en cours de dépoussiérage afin de traiter le revers simultanément et d'éviter des manipulations importantes, qui occasionnaient une perte de fibres constante, et le risque de désolidarisation de nombreux petits éléments fragiles.



Les nombreux restes de cocons et les déjections de mites ont été retirés mécaniquement lors du dépoussiérage à l'aide d'une pince, en faisant glisser un tube de faible diamètre sous le tapis afin d'« ouvrir » les espaces entre les nœuds pour en faciliter l'accès.

Figure 141 : un cocon de mite entre les nœuds du tapis est retiré à la pince puis aspiré. © Inp/L.Metatla

Le tapis ne présente pas de taches ou de matières incrustées dans les fibres qui seraient dangereuses pour sa conservation, pour cette raison, un nettoyage plus poussé par voie humide ou par solvants n'est pas nécessaire.

La partie supérieure du tapis a été dépoussiérée une seconde fois après la consolidation et le comblement de la lacune, car ces opérations avaient entraîné de la poussière de fibres, occasionnée par le passage de l'aiguille dans la structure du tapis, et de petits fragments de polyester lors de la découpe du tissu imprimé.

Durée de l'opération : 13 heures

<sup>195</sup> HEPA signifie Haute Efficacité pour les Particules de l'Air, HEPA H14 est le plus haut degré de filtration des aspirateurs ménagers. Il est conçu pour ne rejeter que 5 particules maximum de 0,1 micron par litre d'air dans l'atmosphère.

## 2.2. Consolidation de la partie supérieure

Les lacunes en partie supérieure ont été consolidées sur un tissu de support en lin d'armure toile, de contexture adaptée à l'épaisseur et à la souplesse du tapis. Le lin a été lavé en machine à 60°C afin de retirer tous les apprêts éventuels, et teint avec des colorants naturels<sup>196</sup>.

La couleur a été choisie en concertation avec Daria Cevoli, responsable de l'œuvre, chargée des collections « Asie » au musée du quai Branly-Jacques Chirac. Une grande pièce de lin teinte en beige sert de support à toute la partie supérieure (de lisière à lisière). Ce tissu ne sera quasiment pas visible, puisque la lacune principale sera comblée à l'aide du tissu imprimé (voir 2.3. Réintégration des lacunes, p. 135). Les petites lacunes situées sur le côté droit en partie supérieure ne seront pas réintégrées par la technique de l'impression à jet d'encre, car elles ne perturbent pas la lisibilité des motifs. Pour ces zones, nous avons teint de petites pièces de lin à la couleur adaptée au cas par cas, selon la lacune : un marron foncé et un rouge, également teints avec des colorants naturels, ont été sélectionnés parmi nos échantillons. Ces petites pièces sont placées entre le tapis et le tissu de support beige.

Pour consolider les petites lacunes de poil situées ponctuellement sur le tapis, hors de la partie supérieure, déjà supportée par la grande pièce de lin, nous avons également placé de petites pièces de lin teintes en beige au revers.



Figure 142 : Lacune consolidée sur une petite pièce rouge. © Inp/L.Metatla



Figure 143 : lacune consolidée sur une petite pièce marron. © Inp/L.Metatla

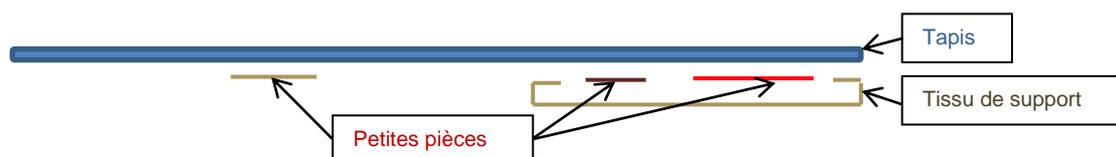


Figure 144 : schéma en coupe du placement des pièces de support pour la consolidation. © Inp/L.Metatla

<sup>196</sup> Recettes de teinture consultables en Annexe 8, p.177.

La consolidation a été réalisée par couture à l'aide de point de restauration\* au fil de soie surfine déjà teint du commerce, couramment utilisé en France pour la restauration de tapisseries. Le point de restauration correspond au point de Boulogne en broderie, il est couramment employé pour consolider les textiles altérés, il est réalisé en quinconce pour ne pas créer de lignes de tension. Des lignes de point droit\* réparties en quinconce ont été réalisées pour fixer la grande pièce de lin au tapis, sur les bords et dans les zones où des points de restauration n'étaient pas nécessaires. Les petites pièces ont également été fixées au tapis sur les bords par des lignes de point droit.



Figure 145 : consolidation en cours. © Inp/L.Metatla

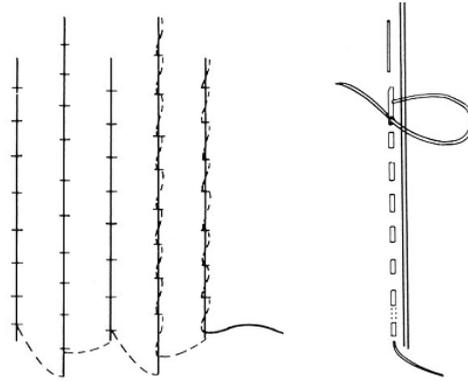


Figure 146 : point de Boulogne (à gauche) et point droit (à droite), LANDI, 1992, p. 117



Figure 147 : localisation des pièces de tissu de support, des lignes de point droit et des points de restauration. © Inp/L.Metatla

Les points de restauration ont été réalisés dans le sens chaîne du tapis (sens vertical), et espacés tous les centimètres environ (tous les deux nœuds). Les points de restauration sont toujours réalisés sur l'endroit du textile à consolider, ce qui pose le problème du volume des nœuds pour les tapis. Les points ont été réalisés en écartant légèrement les nœuds afin de glisser le fil de soie le long des fils de chaîne, ce qui les rend invisibles sur la face du tapis. Les nœuds désolidarisés se trouvant toujours à leur emplacement d'origine ont été refixés à l'aide d'un point lancé qui les entoure.



Figure 148 : les nœuds sont écartés à l'aide d'une pince pour permettre le passage du fil.  
© Inp/L.Metatla

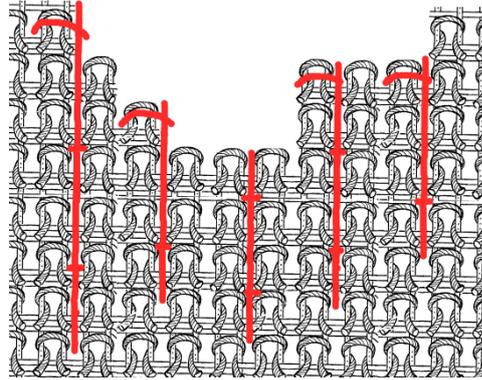


Figure 149 : schéma du point de restauration réalisé tous les deux nœuds. Les nœuds fragiles en bordure de lacune sont maintenus par une bride plus large.

Photographies de quelques zones du tapis avant et après consolidation :





Les fragments conservés dans un sachet Minigrip® ont été replacés lorsque leur emplacement a pu être retrouvé, mais de nombreux nœuds isolés dont la situation exacte ne peut pas être déterminée seront rendus au musée du quai Branly-Jacques Chirac dans le sachet Minigrip®.



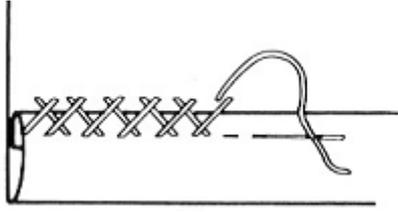


Figure 150 : schéma du point de chausson pour les ourlets, LANDI, 1992, p.119

Les bords de la grande pièce en lin ont été repliés afin de former un ourlet. Les bords droit et gauche de la pièce ont été repliés vers l'intérieur le long des lisières, c'est-à-dire que l'ourlet est invisible. Le bord supérieur a été replié vers l'extérieur de la pièce. Le bord inférieur, ainsi que les bords des petites pièces beiges ont été fixés avec un point de chausson pour ne pas créer de surépaisseur.

Durée de l'opération : 65 heures

- Teinture du tissu de support : échantillonnage : 12 h, teinture finale : 4h
- Consolidation par couture : 46 h
- Finitions, ourlets : 3 h

## 2.3. Réintégration des lacunes

### 2.3.1. Options possibles et choix de traitement

La problématique du traitement des lacunes sur les tapis noués a orienté notre choix d'objet de mémoire vers le tapis n°71.1973.77.165. L'étendue et la forme de la lacune conduit à une rupture de l'harmonie visuelle et de la lisibilité de l'œuvre. De plus, la lacune n'est pas le résultat d'un événement qui pourrait nous renseigner sur l'histoire du tapis avant son entrée dans les collections muséales, elle n'a par conséquent pas de valeur historique en tant que telle. La faisabilité technique et déontologique de la réintégration a préalablement été évoquée : le caractère répétitif des motifs nous permettait de retrouver les motifs manquants et l'alternance des couleurs dans les parties non abîmées de l'œuvre.

Nous avons donc choisi de tester deux méthodes de réintégration des motifs, en concertation avec Daria Cevoli. Comme nous l'avons évoqué précédemment (voir partie II. Constat d'état, 3. Propositions de traitement, p.78) la méthode de réintégration employée devait être réversible et facilement « démontable ». La première méthode est inspirée des techniques traditionnelles de restauration des tapis que nous avons évoquées précédemment (le renouage), tout en étant adaptée à la déontologie de la conservation-restauration. La deuxième méthode, l'impression jet d'encre sur textile, a fait l'objet du protocole technico-scientifique afin de déterminer tous les paramètres et de vérifier la solidité des encres utilisées à la lumière et à l'eau.

### 2.3.2. Option présentée à l'état de test : nouage sur canevas

Cette méthode, consistant à broder des nœuds sur un canevas de contexture similaire aux fils de chaîne du tapis avait été évoquée lors du premier rendez-vous avec la responsable des collections, Daria Cevoli. Cette technique a été présentée à l'état de test sur une petite zone de la lacune principale, afin d'en évaluer la faisabilité et le temps nécessaire à chaque opération.

La première étape consiste à établir un carton précis de la zone à réintégrer, en se basant sur un motif identique et en comptant le nombre de nœuds manquants.

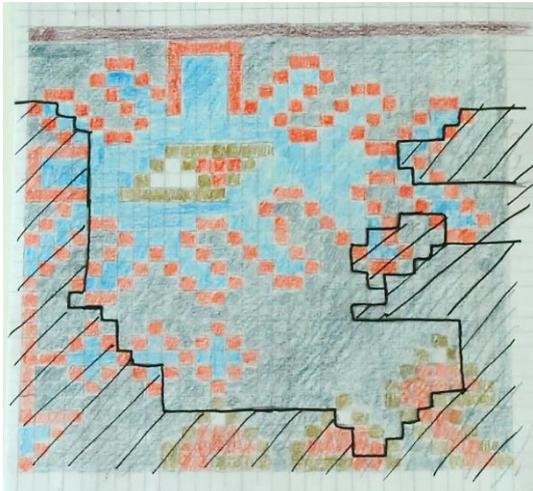


Figure 151 : carton de la zone manquante à reproduire, chaque carré représente un nœud. © Inp/L.Metatla

Un canevas de 4 fils/cm<sup>197</sup> a été jugé le plus adapté par rapport à l'analyse technique du tapis, qui présente 5 fils de chaîne/cm. Nous n'avons trouvé aucun canevas de 5 fils/cm. Le canevas était très rigide en raison d'un apprêt, il a donc été lavé à la main à 90°C puis séché en tension afin de garantir le droit-fil. Le canevas a ensuite été tendu sur un métier à broder.

Pour la réalisation des nœuds, une laine comparable à celle utilisée sur le tapis a été trouvée<sup>198</sup>, présentant une simple torsion Z et une grosseur légèrement irrégulière. La laine a d'abord été lavée puis teinte en rouge, beige, marron et différents tons de bleus et de vert, avec des colorants naturels.

Les nœuds symétriques ont été réalisés avec un fil continu, en prenant les fils du canevas deux à deux comme les fils de chaîne du tapis.



Figure 153 : formation des nœuds à l'aiguille sur le canevas tendu sur un métier à broder, en suivant le carton. © Inp/L.Metatla

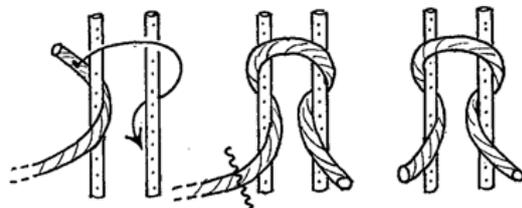


Figure 152: schéma du nœud symétrique réalisé sur les fils du canevas pris deux à deux

<sup>197</sup> Fournisseur Au Bonheur des dames, rue Daumesnil, Paris

<sup>198</sup> Fournisseur Lana Corsa, Corse

Les boucles ont ensuite été coupées et égalisées de manière à reproduire la hauteur du poil du tapis.

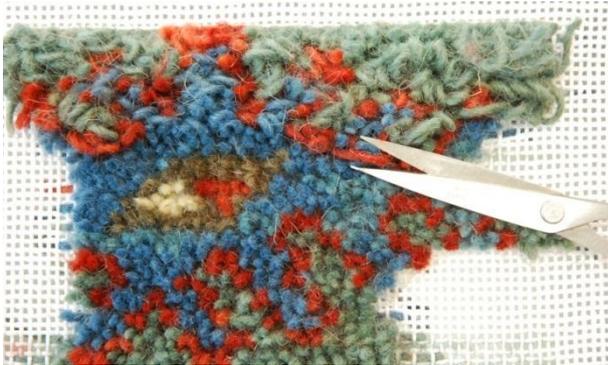


Figure 154 : les boucles des nœuds sont coupées, formation et égalisation du poil. © Inp/L.Metatla

L'élément tissé a été placé dans la lacune afin de vérifier la correspondance du motif. Ce dernier était trop grand en hauteur par rapport au tapis. Cela n'était pas dû à une erreur lors de la réalisation du carton, mais provient du fait que le canevas est tissé de manière industrielle, et présente une structure régulière en chaîne et en trame, contrairement à un tapis noué réalisé à la main, où le nouage est plus ou moins serré et tassé selon les zones. Nous avons donc dû adapter notre réalisation en « tassant » les fils de trame du canevas jusqu'à ce que sa structure corresponde à celle du tapis dans cette zone. Cette opération imprévue a été délicate et réalisée à l'aiguille.

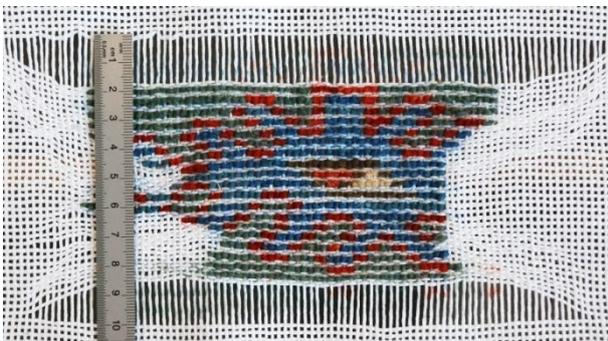


Figure 155 : les fils du canevas sont tassés, réduction de la hauteur du motif. © Inp/L.Metatla



Figure 156 : pièce réalisée placée en situation sur le tapis, le motif est complété et la hauteur du poil restituée. Note : la couleur du fond bleu-vert, autour du motif principal, pourrait encore être améliorée. © Inp/L.Metatla

La réalisation d'un test de comblement à l'aide de cette méthode nous a permis d'envisager la faisabilité technique et d'évaluer le rendu esthétique. Le fragment réalisé sera transmis au musée du quai Branly-Jacques Chirac afin d'être annexé au dossier de restauration de l'œuvre, selon le souhait de la responsable de l'œuvre, Daria Cevoli.

Le rendu est très illusionniste, car les matériaux, l'épaisseur, les couleurs et la technique de nouage sont similaire au tapis. La technique est plutôt adaptée aux lacunes de taille moyenne, dont la taille ou l'emplacement sur l'œuvre justifie une restitution des motifs, mais pas forcément aux lacunes de très grandes dimensions, en raison des nombreux ajustements qu'elle requiert. En effet, nous avons évoqué la difficulté de reproduire les irrégularités dans le tissage (nœuds plus ou moins tassés selon les zones, forme et taille des motifs variables), que comportent de nombreux tapis noués réalisés à la main, avec un matériau industriel et régulier comme le canevas. Dans le cas d'une grande lacune, il faudrait peut-être réaliser plusieurs morceaux sur des canevas différents, dont la contexture est précisément adaptée à chaque zone, et les assembler ensuite, ce qui risque de poser un problème de rendu esthétique. Dans ce cas, il serait probablement plus intéressant de tisser intégralement la partie manquante sur un métier, de la même manière qu'un tapis noué est réalisé, afin de pouvoir reproduire toutes les variations nécessaires. Cette technique a déjà été utilisée par Sarah Wolf Green<sup>199</sup> et évoquée précédemment (voir Partie IV, 1.2. Recherche bibliographique, p.118). Cependant, cette méthode risque d'être encore plus longue à réaliser que le nouage sur canevas, car il faut reproduire l'intégralité de la structure (chaîne, trame et nœuds).

Durée de l'opération : 28 h

- Réalisation du carton : 3 h
  - Teinture des fils : 12 h
  - Nouage : 7 h
  - Finitions (égalisation du poil, tasser les fils de trame du canevas) : 6 h
- ⇒ Estimation du temps nécessaire pour l'ensemble de la lacune : de 150 à 200 heures

### **2.3.3. Reconstitution imprimée**

- Reconstitution des motifs à l'aide du logiciel Photoshop®

Après avoir effectué des prises de vues de qualité maximale, nous avons pu reconstituer les motifs manquants au niveau de la lacune à partir des motifs des zones adjacentes non abîmées. Cette étape est détaillée dans la Partie III, étude expérimentale, 1.1.2. Travail de reconstitution, p.100. La première reconstitution des motifs avait été réalisée bien avant la consolidation afin de réaliser les différents tests d'impression du protocole technico-scientifique. Cette reconstitution n'a pas pu être utilisée pour la restauration, car de nombreux éléments du tapis ont été remplacés lors de la consolidation. Nous avons donc refait des prises de vues après consolidation et recommencé cette étape de reconstitution numérique en nous servant des techniques acquises lors de notre premier essai.

---

<sup>199</sup> WOLF GREEN et SWETZOFF, 1991

Durée de l'opération : 47 heures

- Première reconstitution : 35 heures
  - Deuxième reconstitution : 12 heures
- Impression

Le fichier numérique de la reconstitution a été imprimé à la Plateforme eMODE en suivant les paramètres établis lors du protocole technico-scientifique : impression avec les colorants dispersés sublimables sur le tissu 100% polyester (fournisseur Texo-trade) sur l'imprimante JV22 (Mimaki). La luminosité, le contraste et la saturation ont été modifiés sur le fichier en tenant compte des résultats obtenus sur les échantillons retenus lors du protocole. Le tissu Texo-trade a été retenu car il ne s'effiloche pas (le rendu des couleurs était le même sur les trois tissus de polyester testés).

Durée de l'opération : une journée de 7 heures (déplacement à Cholet), dont temps d'impression proprement dit pour un exemplaire imprimé : 5 minutes pour l'impression sur le papier transfert, séchage du papier (de 15 à 30 min), puis passage dans la calandre avec le tissu à 200°C (vitesse 50 mètres/heure, ici environ 5 min).

- Fixation de la reconstitution imprimée

Lors de nos discussions avec la responsable de l'œuvre, Daria Cevoli, nous avons décidé que la reconstitution des motifs devait être dissociée de la consolidation. En effet, il s'agit d'une opération à visée esthétique qui n'est pas indispensable à la bonne conservation du tapis. Nous avons décidé que la réintégration imprimée devait pouvoir être retirée si nécessaire, sans fragiliser à nouveau le tapis et en le maintenant dans un état stable et consolidé afin de pouvoir le manipuler. Pour cette raison, il était impossible de procéder de la manière « habituelle », qui consiste à placer le tissu imprimé sous le tapis et de réaliser ensuite la consolidation par couture. Le tapis étant déjà fixé par couture sur le tissu de support de la consolidation, nous avons découpé la reconstitution imprimée à la forme exacte de la lacune, et nous l'avons fixée par couture sur le tissu de support en lin. Les bords du tissu imprimé ont été fixés par un point de surjet\* réalisé au fil d'organsin de soie teint à la couleur adaptée, et dissimulés au maximum sous le volume des nœuds situés en bordure de la lacune. Nous avons réalisé des lignes de fixation réparties sur l'ensemble du tissu imprimé, au point droit à l'aide d'un fil d'organsin de soie (fil de soie très fin et solide, couramment utilisé en conservation-restauration de textiles) teint à la couleur adaptée, afin d'éviter que le tissu ne se soulève ou forme des « poches ».

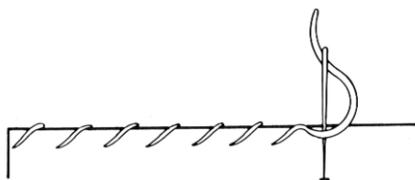


Figure 157 : point de surjet, Landi 1998



Figure 158 : le tissu imprimé est placé, épinglé et découpé à la forme exacte de la lacune. © Inp/L.Metatla



Figure 159 : les bords du tissu imprimé sont dissimulés sous les extrémités des nœuds et cousus avec un fil d'organsin de soie. © Inp/L.Metatla



Figure 160 : lacune après consolidation sur le support en lin. © Inp/L.Metatla



Figure 161 : lacune après réintégration. © Inp/L.Metatla

Durée de l'opération : 16 heures

- Découpe et placement de l'impression : 4 heures
- Fixation par couture : 12 heures

Limites, ou les aléas d'un travail matériellement « déconnecté » de l'œuvre

Après avoir déterminé et réglé tous les paramètres lors du protocole technico-scientifique, tout était théoriquement prêt pour réaliser l'impression finale. Or, il a fallu s'y reprendre à quatre fois avant d'avoir une impression parfaitement adaptée, autant du point de vue des dimensions que des couleurs. Cela est dû à plusieurs facteurs que nous avons sous-estimés dans le processus :

- l'utilisation de différentes versions du logiciel Photoshop®, qui n'ont pas forcément le même profil colorimétrique par défaut (travail sur différents postes informatiques : chez soi, en salle informatique, à l'atelier textile) lors de la réalisation de la reconstitution des motifs, et nécessité de convertir les couleurs d'un profil à l'autre ;
- le léger retrait du tissu de polyester lors du passage dans la calandre avec le papier transfert, retrait non uniforme et préférentiellement dans le sens trame du tissu, difficile à anticiper et à calculer de manière exacte.

Le travail sur l'écran est matériellement « déconnecté » de l'œuvre à restaurer. Nous nous sommes alors rendu compte de l'importance des « allers-retours » écran-œuvre afin de reprendre systématiquement des mesures et de vérifier certains éléments qui semblaient parfaitement ajustés sur l'écran, et présentaient un léger décalage lors du placement du tissu imprimé. L'impression était géographiquement encore plus éloignée de l'œuvre (à Cholet), ce qui a également retardé le processus et nécessité des déplacements et l'intervention d'une personne supplémentaire (Carole Coutand) pour les réglages de l'imprimante, voire même pour l'impression et l'envoi des tissus imprimés par la poste.

Durée de retouche des fichiers et prise de mesures pour les ajustements : 3 x 3 heures : 9 heures

⇒ **Total du temps passé à la réalisation de la reconstitution imprimée : 80 heures**

#### 2.4. Consolidation de la lisière rompue, bord droit

Le cordon tressé en coton blanc, rompu et lacunaire, a été refixé par couture sur le tissu de support de la consolidation en lin. La partie manquante du cordon extérieur a été reconstituée par un fil de laine épais de la même couleur.



Figure 162 : le cordon rompu est fixé par couture sur le support en lin. © Inp/L.Metatla



Figure 163 : la partie manquante du cordon externe est restituée avec de la laine. © Inp/L.Metatla

Les zones où seule la laine bordeaux est lacunaire laissent apparaître le cordon blanc. Afin d'atténuer leur impact visuel, nous avons proposé à Daria Cevoli de les recouvrir d'une crêpeline teinte ou d'un tulle teint de la couleur de la laine manquante. Au vu des résultats de ces tests, il a été décidé de ne pas recouvrir ces zones, car la lecture de l'objet n'était pas perturbée par l'aspect blanc du cordon.

Durée de l'opération : 2 heures

## 2.5. Refixage de la chaînette défaite, bord supérieur

Les fils de la chaînette défaite ont été refixés par couture le long du bord supérieur, en respectant l'épaisseur d'origine de la chaînette afin de créer une continuité visuelle.



Figure 164 : chaînette défaite et lacune, avant refixage. © Inp/G.Vanneste



Figure 165 : fils et chaînette refixée, après réintégration de la lacune. © Inp/L.Metatla

Durée de l'opération : 2 heures

## 2.6. Stabilisation des franges

Un point de feston a été réalisé le long du bord supérieur, à l'aide d'un fil de soie surfine de couleur adaptée, afin de maintenir et de fixer chaque frange sur le tissu de support en lin.

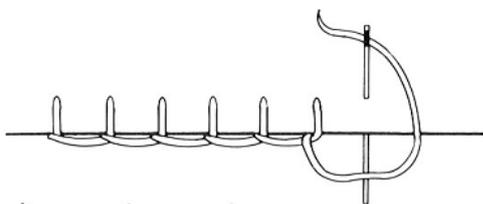


Figure 166 : schéma du point de feston, Landi, 1992, p.117

Durée de l'opération : 2 heures

## 2.7. Résumé des temps de traitement et estimations des coûts

### 2.7.1. Résumé des traitements effectués et durée des opérations

Opération	Durée en heures
Dépoussiérage	13
Consolidation	65
Lisière et franges	6
Réintégration des lacunes : par impression jet d'encre	80
Réintégration des lacunes : estimation par la technique du canevas	200 (fragment réalisé : 28)

Total du temps de traitement au moment du rendu du mémoire : 191 heures (soit 27 jours)

## **2.7.2. Estimation du coût de l'impression jet d'encre (dans le cadre du partenariat entre l'Inp et la Plateforme eMODE)**

Coût du matériel :

- Imprimante : 25 000 euros
- Logiciel RIP : 5000 à 7000 euros
- Encres : 95 euros (62 euros chez un revendeur) par cartouche d'1 litre
- Consommation d'encre : 1,16 ml pour l'impression d'un exemplaire de notre reconstitution<sup>200</sup>
- Papier transfert : 38,25 euros le rouleau de 120 m (largeur de laize 162 cm)
- Textile : « Furniture Soft 220 » du fournisseur Texo-trade (TTS) 404,40 euros (frais de port inclus) le rouleau de 80 m (largeur de laize 155 cm), soit 5,05 euros le mètre

Le coût de l'imprimante et du logiciel est rentabilisé sur plusieurs années par l'entreprise. Dans notre cas, pour la Plateforme eMODE de Cholet, dans le cadre de la collaboration avec l'Inp, nous avons payé 400 euros d'adhésion afin d'avoir accès aux équipements du plateau technique. Pour donner un ordre d'idée, nous avons utilisé en tout 5,10 m de textile pour l'ensemble des échantillons et des impressions finales, soit 110 euros<sup>201</sup>.

Estimation du temps :

Le total du temps passé pour l'impression est difficile à calculer, car il comprend des temps de transport entre Paris et Cholet, et l'impression de nombreux échantillons pour les réglages de couleur. La reconstitution des motifs et la retouche des fichiers nous ont pris beaucoup de temps, mais nous n'étions pas particulièrement familiarisés avec le logiciel Photoshop®. La partie suivante nous permet de comparer les prix des professionnels et d'appréhender l'accessibilité de la technique jet d'encre sur textile pour un particulier voulant réaliser une pièce unique ou un prototype. Cependant, ces prix ne comprennent pas toutes les étapes de réglages de couleur.

Estimation du coût de la réintégration par impression jet d'encre, dans le cas précis de la collaboration entre la Plateforme eMODE et l'Inp (en prenant un tarif horaire de 50 euros pour les heures de restauration) :  $400 + 110 + 80 \text{ h} \times 50 = 4510$  euros H.T.

Comparaison avec la technique du canevas (tarif horaire 50 euros) :  $200 \text{ h} \times 50 = 10\,000$  euros H.T.

## **2.7.3. Accessibilité de la technique d'impression à jet d'encre pour un particulier (en France)**

Un restaurateur qui souhaite faire imprimer un tissu par la technique d'impression jet d'encre peut s'adresser à différents types de structures, qui ne présentent pas les mêmes contraintes :

- Imprimeurs : les entreprises ont des minima de commande et ne réalisent pas de pièces uniques ou de prototypes, et travaillent généralement sur leur propres textiles (préparés ou

<sup>200</sup> Voir Annexe 7 : Job Ticket, p. 180 : informations transmises par le logiciel Textprint, qui reprend tous les paramètres d'impression et donne des détails sur la consommation d'encre et le temps d'impression.

<sup>201</sup> Devis réalisé par la Plateforme eMODE, qui possédait ce tissu en stock.

non, selon la technique d'impression). Nous avons tenté de contacter plusieurs imprimeurs en France, mais nous avons obtenu de réponse que d'une seule entreprise :

Grain De Couleur (69170 Valsonne) : cette entreprise se présente comme le spécialiste français de l'impression jet d'encre sur textile. Elle imprime sur du coton et du lin avec des encres réactives, sur soie avec des encres acides, et sur polyester par sublimation. Les minimums de commandes sont de 30 mètres pour le coton/lin, de 20 mètres pour la soie, et de 10 mètres pour le polyester. Les tarifs sont de l'ordre de 25€ à 50€ le mètre, auxquels il faut rajouter lors du premier lancement des frais techniques. Cela équivaut donc, en termes de prix, à un minimum de 350 à 500 euros pour une impression sur polyester, à répéter autant de fois que nécessaire jusqu'à obtenir les couleurs souhaitées.

- Services en ligne : ils permettent d'imprimer sans minimum de commande un visuel personnalisé, et dans des délais relativement courts. De même que les imprimeurs traditionnels, les services en ligne ne proposent d'imprimer que sur leur propre panel de textiles.

[www.impressiontextile.fr](http://www.impressiontextile.fr), (68360 Soultz) : L'impression numérique à jet d'encre est réalisée par sublimation sur des textiles en polyester. Un service d'échantillonnage est proposé avant la commande finale : une sélection des matières textiles disponibles est envoyée, puis un échantillon du motif est imprimé sur la matière choisie et envoyé dans un délai de 48h. L'image numérique doit avoir une résolution de 300 dpi. Pour toutes les impressions inférieures à un mètre de tissu, il existe un forfait de 39,50 € HT (à répéter autant de fois que nécessaire pour essayer d'obtenir les couleurs souhaitées).

[www.samoz.com/fr](http://www.samoz.com/fr) (95310 Saint Ouen L'Aumône,) : impression avec des encres pigmentaires sur des tissus en coton uniquement. Sam'Oz propose trois formats d'impression : l'échantillon (22 x 22 cm), le coupon (1/2 laize x 50cm), et le mètre linéaire. L'image doit avoir une résolution minimum de 150 dpi, et un poids inférieur à 30 Mo. Les tissus sont vendus à partir de 19,5 € TTC le mètre. Les réglages de couleur sont néanmoins limités.

- Plateformes technologiques : elles sont liées à des établissements de formation et/ou de recherche dans le domaine de la mode et du textile, et sont les seules à proposer des services de prototypage autour d'un projet personnalisé. C'est le seul type de structure auquel nous avons pu nous adresser pour réaliser les tests présentés dans le protocole technico-scientifique (Partie III, p.80-115). Pour bénéficier de leurs services, il est nécessaire d'être adhérent.

Plateforme eMODE (49321 Cholet) : association créée à l'initiative du Lycée de la Mode de Cholet, de l'Université d'Angers et du Groupement Professionnel Mode Grand Ouest, que nous avons déjà présentée précédemment (voir Partie III, 1.3.1. Introduction : la Plateforme eMODE de Cholet). L'adhésion à la plateforme est nécessaire et coûte 100 € pour les indépendant et les entreprises de 0

à 10 salariés. Il est alors possible d'avoir accès à un équipement du plateau technique du pôle Impression Numérique Textile (40 €/h), après avoir préalablement suivi une formation d'une journée (950 €)<sup>202</sup>.

Plateforme d'impression numérique sur textile (68096 Mulhouse) : mise en place par le Pôle Textile Alsace et pilotée par l'IFTH (Institut Français du Textile et de l'Habillement) de Mulhouse, elle accueille des industriels pour des prestations d'essais et de conseil et des étudiants en formation technique, commerciale ou artistique. Nous n'avons à ce jour pas obtenu de réponse de leur part concernant leurs tarifs et l'accessibilité de leurs services à des particuliers.

### 3. Préconisations de conservation préventive

#### 3.1. Stockage en réserve

##### 3.1.1. Mode de stockage

En réserve, les tapis sont généralement conservés enroulés en raison de leur taille, sur des rouleaux de grand diamètre (de 20 à 30 cm). Les tapis ne doivent pas être pliés sur eux-mêmes, ce qui engendre des marques et favorise l'apparition d'altérations dans les plis. Les petits formats, comme c'est le cas du tapis que nous étudions, peuvent être conservés à plat selon la place disponible en réserve et le mobilier de rangement.

Dans le cas d'un conditionnement enroulé, le tube, idéalement dans un matériau neutre (comme du carton sans acide), doit être recouvert d'un matériau isolant pare-vapeur (par exemple du film Valsem®, composé de plusieurs couches de polyéthylène et d'une couche d'aluminium) ou plusieurs couches de film en polyester (par exemple du Melinex®), puis éventuellement d'une mousse de polyéthylène fine, et enfin d'une toile de coton préalablement lavé. Lorsque le tapis est enroulé, un matériau intermédiaire (comme du papier de soie sans acide ou une toile de coton lavée) doit être placé afin d'isoler la face du revers du tapis. Les tapis doivent être enroulés endroit vers l'extérieur, et en respectant le sens des nœuds (éviter de les enrouler à « rebrousse-poil »).

---

<sup>202</sup> Tous les tarifs des prestations de la Plateforme eMODE sont présentés en Annexe 8, p171.

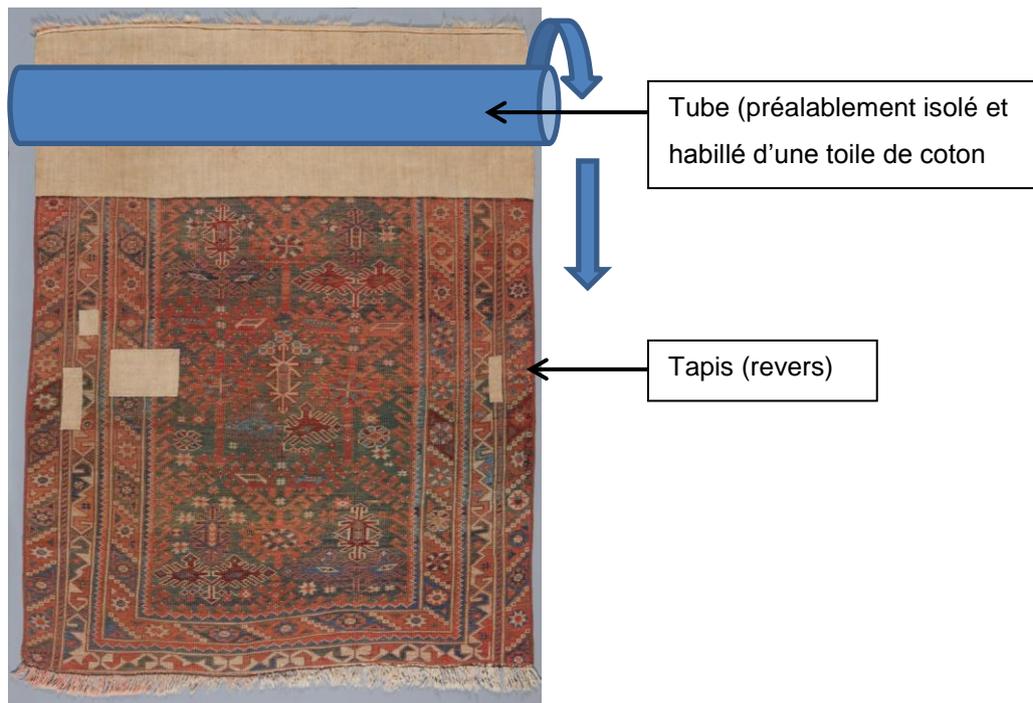


Figure 167 : schéma du sens d'enroulement du tapis 71.1973.77.165. Note : le matériau intermédiaire permettant d'isoler la face du revers du tapis (papier de soie sans acide ou toile de coton) n'est pas représenté ici.

Le tapis enroulé doit ensuite être emballé dans une housse afin de le protéger de la poussière. La housse peut être réalisée en toile de coton préalablement lavée, ou en Tyvek®, maintenue par des liens aux deux extrémités et au milieu du rouleau, en veillant à ne pas serrer trop fort pour éviter de marquer le tapis au milieu. La housse de coton présente l'avantage d'être lavable et non-électrostatique. Le tube ne doit pas reposer sur lui-même car cela risquerait d'écraser préférentiellement le velours du tapis. Il peut être inclus dans un mobilier spécifique aux rouleaux, qui comporte des barres venant s'insérer dans les rouleaux, ou bien simplement surélevé du sol grâce à des cales placées aux deux extrémités.



Figure 168 : tapis conservés roulés, meuble à rouleaux, Weltmuseum (Vienne, Autriche)

### 3.1.2. Conditions climatiques

Les conditions climatiques recommandées de manière générale pour les textiles sont : une température autour de 18-20°C et une humidité relative autour de 50% (plus ou moins 5%), le plus

important étant de maintenir des conditions stables et d'éviter les changements brusques d'humidité relative. Un suivi régulier est recommandé en prévention du risque d'infestation par des insectes kérotophages.

## 3.2. Préconisations en vue d'une éventuelle exposition

### 3.2.1. Montage

Les tapis sont généralement de grandes dimensions et relativement lourds, une exposition à plat est donc recommandée. Dans le cas d'une exposition à la verticale, un doublage de l'ensemble du tapis est nécessaire pour soutenir et répartir les tensions. Le tapis n°71.1973.77.156 que nous avons étudié est de taille moyenne et son poids d'environ 3,5 kg. Cependant, la partie supérieure reste fragile, même après la consolidation, et le tapis n'est pas doublé. **Une exposition à la verticale doit donc impérativement être évitée.** Il serait préférable de le présenter à plat ou éventuellement sur un plan incliné. Le plan incliné peut être recouvert d'une interface constituée d'un matériau légèrement adhérent, qui empêche le tapis de glisser (selon l'inclinaison du plan), tout en évitant de devoir coudre le tapis sur un support de montage.



Figure 169 : Tapis d'Ardabil (Iran, 1540) exposé à plat, Victoria and Albert Museum, Londres, ©Peter Kelleher

### 3.2.2. Éclairage

En raison de la sensibilité des teintures à la lumière, l'éclairement ne doit pas dépasser 50 lux. L'exposition doit être limitée dans le temps (sur la base de trois mois tous les trois ans).

Selon l'angle d'éclairage, la reconstitution imprimée est plus ou moins visible. Nous avons fait des tests d'éclairage avec Ghyslain Vanneste, photographe professionnel de l'Inp, et nous avons remarqué que certains dispositifs d'éclairage nous permettaient d'obtenir une meilleure discrétion de la reconstitution imprimée et une lecture optimale des motifs.

- Dans le cas où le tapis est exposé à plat, deux éclairages disposés à 45° de part et d'autre du tapis :

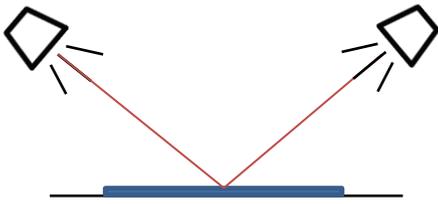


Figure 170 : disposition de l'éclairage avec le tapis à plat. © Inp/L.Metatla

- Dans le cas où le tapis est exposé sur un plan incliné, un seul éclairage placé au-dessus de la partie supérieure du tapis :

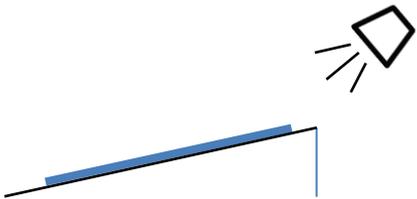


Figure 171 : disposition de l'éclairage avec le tapis sur plan incliné. © Inp/L.Metatla

## CONCLUSION

Le travail de cette année de mémoire, dédié à la conservation-restauration d'un tapis turc conservé au musée du quai Branly-Jacques Chirac (numéro d'inventaire 71.1973.77.165) s'est révélé passionnant.

L'étude historique et technique nous a permis de comprendre le contexte ethnographique de création d'un tapis d'une provenance peu étudiée, la région de Döşemealtı/Antalya, et nous espérons que cette étude pourra contribuer à une meilleure connaissance de ces productions de la fin du XIXe siècle.

Dans la partie technico-scientifique, nous avons testé l'impression numérique à jet d'encre sur textile comme méthode innovante de réintégration des motifs dans la zone lacunaire. Bien que cette technique soit en plein essor dans le domaine du textile, elle reste peu courante dans le milieu patrimonial, où elle est le plus souvent employée pour la réalisation de fac-similés. L'expérimentation a été menée à son terme, en prouvant que les matériaux utilisés répondent aux exigences de la conservation-restauration des textiles en termes de solidité à la lumière et à l'eau, et cette méthode a pu être employée pour la restauration du tapis. Les difficultés que nous avons évoquées, concernant le rendu des couleurs et les dimensions exactes de la pièce imprimée, ont également été rencontrées par une collègue ayant déjà expérimenté cette technique pour la restauration d'un tapis<sup>203</sup>, et ne peuvent à ce jour être évitées. Les résultats obtenus pourront certainement être améliorés dans un futur proche, grâce au constant développement de cette nouvelle technologie, qui ouvre le champ de la conservation-restauration à l'élaboration de partenariats intéressants avec des professionnels de l'image numérique et de l'impression textile.

Les interventions de conservation-restauration nous ont permis de mettre en pratique les techniques apprises lors de notre formation, et de les adapter à un type de textile auquel nous n'avions pas encore été confrontés, un tapis noué, qui sera peut-être le premier exemple d'une expérience au long cours. La restauration assure au tapis n°71.1973.77.165 une meilleure conservation à long terme, permet sa manipulation et un stockage adapté grâce à la consolidation. La reconstitution imprimée apporte à nouveau une meilleure lisibilité et une compréhension des motifs, ce qui n'aurait pas été le cas avec une restauration « classique » par simple consolidation sur un tissu de support uni.

---

<sup>203</sup> HARTOG, 2009

## GLOSSAIRE

**Acrylonitrile** (fibre acrylique) : La fibre acrylique est très utilisée dans le domaine du textile, elle est produite par la polymérisation de la molécule d'acrylonitrile ( $\text{CH}_2=\text{CH-CN}$ ). Cette fibre est employée seule ou avec de la laine, du coton, de la soie ou une autre fibre synthétique.

**Buse** : Élément de conduite qui assure l'écoulement et l'évacuation d'un fluide.

**Calandre** : Machine à cylindres servant au calandrage, action qui sert à lustrer les étoffes et les lisser.

**Chaîne** : ensemble des fils longitudinaux d'un tissu. Fils tendus dans la longueur du métier à tisser.

**Chaînette** (point de chaînette) : point formant une série de boucles entrelacées. Utilisé pour maintenir les franges des tapis noués de manière décorative, il peut être réalisé au crochet ou à l'aiguille.

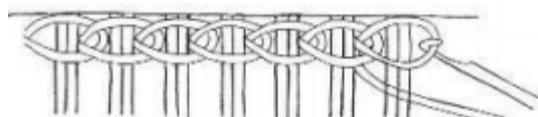


Figure 172 : point de chaînette, LANDI, 1998

**Chausson** (point de chausson) : point souvent utilisé pour fixer les ourlets, invisible sur la face.

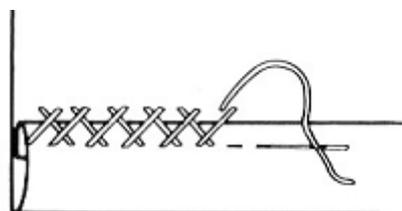


Figure 173 : point de chausson, LANDI, 1998

**Crêpeline** (textile) : toile de soie très fine et transparente, couramment utilisée en conservation-restauration de textiles.

**$\Delta E$  (delta E)** : différence de couleur mesurable dans l'espace CIE  $L^*a^*b^*$  :  $\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}}$

**Droit** (point droit) : point de base en couture à la main, permet d'assembler deux épaisseurs.

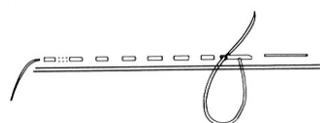


Figure 174 : point droit, LANDI, 1998

**Environnement d'impression** : il permet de définir tous les réglages nécessaires à la combinaison support/ imprimante/résolution. Il contient le pilote de l'imprimante, la méthode de tramage, la linéarisation de l'imprimante, le profil ICC de l'imprimante, la couverture d'encre maximale, et d'autres dispositifs de réglage.

**Feston** (point de feston) : point de broderie souvent utilisé pour arrêter les bords d'un tissu coupé net.

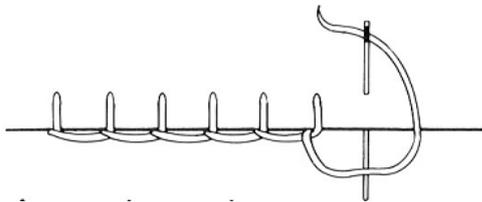


Figure 175 : point de feston, LANDI, 1998

**Fixé-lavé** : Méthode utilisée par tout procédé d'impression consistant à déposer une pâte colorée sur l'étoffe, à sécher, à fixer le colorant par vaporisation et à laver pour éliminer les produits non fixés.

**Gamut** : Partie de l'ensemble des couleurs qu'un certain type de matériel permet de reproduire. De nombreuses couleurs présentes dans la nature ou sur les écrans peuvent être « non imprimables » pour un périphérique donné. À noter que les encres et le support d'impression peuvent modifier la capacité de ce périphérique à reproduire les couleurs et donc le gamut.<sup>204</sup>

**ICC** : International Colour Consortium, chargé de promouvoir les technologies de gestion numérique des couleurs. L'ICC publie les spécifications des profils ICC.

**Indigo** : l'indigo est, historiquement, la matière colorante bleue violacée, extraite des feuilles et des tiges de l'indigotier. À partir de la fin du XIXe siècle, les chimistes montrèrent que la couleur bleu-indigo résultait du même pigment, nommé indigotine, présent dans diverses plantes tinctoriales : pastel des teinturiers (*Isatis tinctoria*) en Europe, indigotier (*Indigofera tinctoria*), renouée des teinturiers (*Persicaria tinctoria*) en Chine, *Strobilanthes cusia* en Asie du Sud-Est, gara (*Philenoptera cyanescens*) en Afrique.

**Intention de rendu** (ou mode de rendu): la conversion d'une image définie dans un espace colorimétrique source vers un espace « cible », l'espace d'impression, peut s'avérer difficile lorsque ces deux espaces n'ont pas le même gamut (le plus souvent, le gamut de l'espace d'impression est plus petit que le gamut de l'espace source). Il s'agit de définir comment seront traitées les couleurs qui sont non imprimables dans l'espace cible : faut-il supprimer ces couleurs, les remplacer par d'autres (dans ce cas lesquelles) ? Face à ces questions, quatre principaux modes de rendus ont été élaborés par l'ICC : colorimétrie absolue, colorimétrie relative, perception et saturation. Ces différents modes

<sup>204</sup> DELMAS, 2012

vont donner des résultats différents avec une même image. Le mode colorimétrie absolue supprime une couleur non-imprimable en la remplaçant par la couleur située en bordure du gamut d'impression, le mode colorimétrie relative fonctionne de la même manière, mais il prend en compte la couleur du support, qu'il définit comme « blanc ». Le mode « perception » procède à des calculs complexes afin de déterminer les rapports de proximité ou d'éloignement que l'œil perçoit entre les différentes nuances. Lorsqu'il rencontre des couleurs non imprimables, il modifie l'ensemble des couleurs afin que les écarts de couleur d'origine soient respectés. Ce mode a l'inconvénient de « dé-saturer » légèrement l'ensemble des couleurs. Le mode « saturation » conserve la saturation des couleurs, mais pas toutes les différences de teintes. La « compensation du point noir » dans le mode « colorimétrie relative » permet d'identifier les nuances les plus sombres en évitant qu'elles ne soient toutes assimilées à du noir ou à la même teinte.<sup>205</sup>

**Kilim** : tapis tissé sans velours (contrairement aux tapis noués), dont le décor est réalisé par les fils de trame, de la même manière que les tapisseries européennes.



Figure 176 : technique du kilim, SHERILL, 1995

**Liaison covalente** : mise en commun d'électrons entre deux noyaux atomiques. C'est la liaison chimique la plus solide et la plus stable.

**Liaison ionique** : échange d'électrons de valence, ce qui va former deux ions de charge opposée (par exemple : NaCl) liés par des interactions d'ordre électrostatique. L'élément le moins électronégatif perd un ou plusieurs électrons et devient donc un ion positif (un cation) et l'élément le plus électronégatif reçoit un ou plusieurs électrons et devient donc un ion négatif (un anion).

**Liaison de Van der Waals** : interaction électrique d'intensité faible ayant lieu à courtes distances entre des atomes et/ou des molécules.

**Lisse** : ensemble des mailles tendues côte à côte et fixées à une barre de lisse (ou dans un cadre) sur le métier à tisser, et dans lesquelles sont passés les fils de chaîne.

<sup>205</sup> DELMAS, 2012

**Logiciel RIP** (Raster Image Processor), également appelé « interpréteur » : il transforme toutes les données du fichier pour les préparer à l'impression. Il convertit les couleurs RVB en CMJN, gère les différents formats de fichiers numériques...Il permet d'accéder à des fonctions de gestion avancée des couleurs, avec des limites d'encrage personnalisées et une maîtrise des couches colorées.

L'interpréteur peut être installé sur l'ordinateur en tant que logiciel, au niveau de l'imprimante, ou bien entre les deux en tant que périphérique.

**Masque de fusion** : sur le logiciel Photoshop®, les masques de fusion sont associés aux calques afin qu'une partie en soit temporairement effacée, rendue totalement ou partiellement invisible.

**Naté (textile)** : Armure textile dérivée de la toile, où les fils sont pris deux par deux, ce qui donne un aspect plus grossier et un effet de dessin de petits carrés juxtaposés.

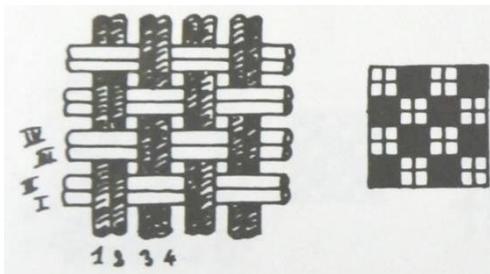


Figure 177 : tracé technique du naté, CIETA, 1979

**Ourdissage** : opération qui consiste à assembler parallèlement entre eux les fils de chaîne et à les enrouler sur le rouleau de chaîne (ou ensouple).

**Passée** : passage d'une trame sur l'ensemble de la largeur du tissu.

**Point de restauration** : équivalent du point de Boulogne en broderie.

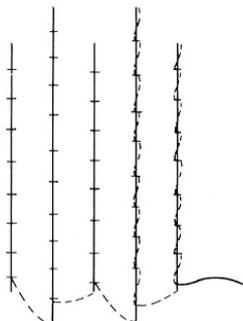


Figure 178 : point de Boulogne, LANDI, 1998

**Polyamide (fibre)** : Un polyamide est un polymère contenant des fonctions amide  $\{-C(=O)-NH-\}$  pouvant résulter de la polycondensation entre les fonctions acide carboxylique et amine. La fibre de

polyamide ou nylon est une fibre synthétique que l'on retrouve sous deux appellations : polyamide 6 et polyamide 6-6 dans les applications industrielles textiles et plastiques.

**Polyester** (fibre) : Les fibres de polyester sont obtenues par synthèse chimique, par polymérisation. Le principe de fabrication, pour les usages textiles, consiste à obtenir un produit filable, qui va passer à travers des filières, pour sortir sous forme de fils. Le fil de polyester est issu de l'estérification d'acide téréphtalique et d'éthylène glycol à l'aide d'un catalyseur et d'un adjuvant.

**Profil ICC** : fichier numérique d'un format particulier décrivant la manière dont un périphérique informatique restitue les couleurs. Ce type de fichier a été créé par l'International Color Consortium (ICC) pour permettre aux professionnels de la publication assistée par ordinateur de maîtriser les couleurs tout au long de la chaîne graphique. Un profil ICC contient les données permettant de convertir les couleurs depuis un espace colorimétrique source (généralement lié à un périphérique) vers un espace colorimétrique indépendant (L\*a\*b\* ou XYZ, espaces normalisés couvrant le spectre visible par l'œil humain). Il fait le lien entre les coordonnées des couleurs dans l'espace colorimétrique source et les coordonnées des couleurs dans l'espace colorimétrique indépendant.<sup>206</sup>

**Rechaînage** ou renchaînage : action de repasser de nouveaux fils de chaîne à l'endroit d'une lacune ou pour reconstituer une partie manquante (bordure). Les nouveaux fils de chaîne sont fixés aux fils de chaîne d'origine dans une partie non-abîmée de la tapisserie ou du tapis.

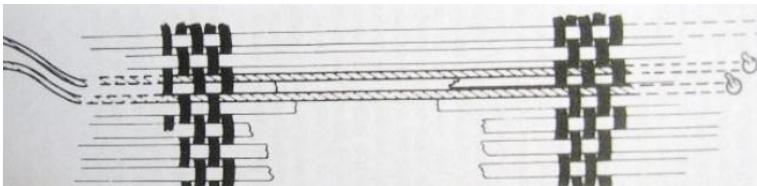


Figure 179 : méthode du rechaînage, LANDI, 1998

**Réduction** (tissage) : la réduction d'un tissu s'énonce par le nombre de fil de chaîne ou de trame sur un centimètre.

**Renouage** : opération qui consiste à refaire des nœuds sur un tapis noué, dans une zone où ils sont manquants. Les nouveaux nœuds sont généralement réalisés à l'aiguille, sur les fils de chaîne d'origine ou sur une partie renchaînée et retissée.

**Reps (textile)** : Armure textile dérivée de la toile, présentant des côtes dans le sens trame (perpendiculaire aux lisières).

---

<sup>206</sup> DELMAS, 2012

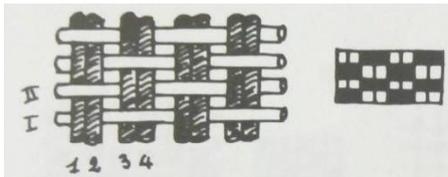


Figure 180 : tracé technique du reps, CIETA, 1979

**Retissage** : opération consistant à passer à l'aiguille de nouveaux fils de trame dans une zone où ils sont manquants, entre les fils de chaîne d'origine ou après rechaînage.

**Retors** : fil obtenu en assemblant par une torsion généralement inverse des fils préalablement tordus.

**Solidité à la lumière** : ou résistance à la lumière, désigne la permanence des couleurs et vernis sous l'effet de la lumière, en particulier les rayons solaires à forte teneur en UV. Il n'existe toutefois pas de résistance absolue à la lumière. De manière générale, toutes les matières se décolorent sous l'effet direct ou indirect des rayons UV, certaines davantage que d'autres.

**Solidité au lavage** : ou résistance au lavage, désigne la permanence des couleurs d'un textile sous l'effet d'un lavage, dont les caractéristiques sont déterminées dans des normes relatives à l'industrie textile.

**Spectre** (de la lumière visible) : ensemble des rayonnements électromagnétiques dont la longueur d'onde est située entre 380 et 720 nanomètres. Ces rayonnements sont perçus par l'œil humain.

**Surjet** (point de surjet) : point de couture qui permet d'assembler deux bords ou de finir un bord replié.

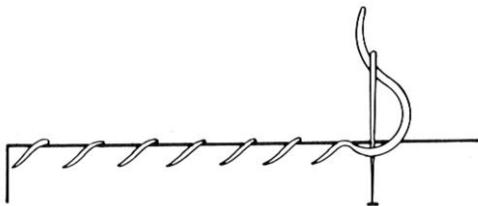


Figure 181 : point de surjet, LANDI, 1998

**Synthétique** (fibre) : Une fibre textile synthétique est un polymère cristallin obtenu après passage dans une filière. Elle est obtenue par l'extrusion de granulés de polymères obtenus à partir d'hydrocarbures ou d'amidon.

**Tampon de duplication** : sur le logiciel Photoshop®, outil qui permet de créer une copie d'une zone ciblée, autrement dit de la dupliquer. En cliquant sur l'endroit de l'image que l'on veut copier, en appuyant simultanément sur la touche « Alt », on va définir une zone dont notre curseur va se servir

comme base pour dupliquer ce qu'elle contient. Cette zone va suivre les mouvements du curseur, lorsque ce dernier va copier le contenu de cette zone.

**Toile** : armure textile la plus simple, les fils de trame passent alternativement au-dessus et au-dessous des fils de chaîne.

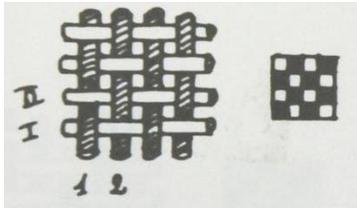


Figure 182 : tracé technique de la toile, CIETA, 1979

**Trame** : fils disposés transversalement aux fils de chaîne dans un tissu.

# BIBLIOGRAPHIE

## Partie I. Historique et technique

*Le ciel dans un tapis*, Paris, Institut du Monde Arabe, 2004 –2005, catalogue d'exposition sous la direction de Roland GILLES, Gand, Editions Snoeck, 2004

*Tapis présents de l'Orient à l'Occident*, Paris, Institut du Monde Arabe, 1989, catalogue sous la direction de Roland GILLES et Joëlle LEMAISTRE

*Turkish Handwoven Carpets*, Turkish Republic, Ministry of culture and tourism, Catalogues n°1 à 4, Ankara, 1987-1990

*Türkische Teppiche*, Besim Adil Ausstellung, Vienne, 1978

AKPINAR Candan, « Antalya Döşemealtı Carpets », Antik Dekor Magazine, n°142, 1996, p. 142-148

ALDOĞAN Ayşen, « Döşemealtı Halıları », dans Sanat Dünyamız, 1981, p.16-26

AYYILDIZ Uğur, *Tapis turcs*, Istanbul, Net Turistik Yayınlar, 1993

BARKOVA L., « Le tapis de laine du kourgane n°5 de Pazyryk », dans Les Dossiers d'archéologie n° 212, avril 1996

BEHART Jacques, *Restauration des tapis d'Orient*, Fribourg, Office du Livre, 1985

BERISTAIN Valérie, DAY Susan, FLORET Elisabeth et al, *L'Art du tapis dans le monde*, Paris, Mengès, 1996

BERNARDOUT D., *Réparez vos tapis*, Paris, Nathan, 1988

COLLINGWOOD Peter, *The techniques of Rug Weaving*, London, Watson-Guption Publications, 1968

CURATOLA Giovanni, *Les Tapis*, Paris, Nathan, 1982

DENİZ Bekir, *Türk Dünyasında Halı ve Düz Dokuma Yaygılar*, Ankara, Atatürk Kültür Merkezi Başkanlığı, 2000

DENNY Walter B., *The classical tradition in Anatolian carpets*, Washington, The Textile Museum, 2002

EREN Naci, « Antalya Döşemealtı Eski ve Yeni Halıları », in *Türk Etnografya Dergisi*, Antalya, 1977, p.35-41

EREN Naci, *Les tapis turcs*, Istanbul, Hitit Color, 1989

HUYGHE Edith et François-Bernard, *Les routes du tapis*, Paris, Découvertes Gallimard, 2004

ITEN-MARITZ Johann, *Le tapis turc, Anatolie-Asie Mineure*, Fribourg, Office du Livre S.A., 1976

KREISSL Rainer, *Kunst als Tradition: Anatolia*, Vienne, Prager Burg Ausstellung, 1995

PEKIN Ersu, *Türkische Flachwebstoffe und Teppiche*, Istanbul, Galerie Miniatur, 1988

SEYIRCI Musa, « Döşemealtı Halıları ve Adnan Selekler Koleksiyonu » dans *Kültür ve Sanat Dergisi*, 1995, p.36-39

SEYIRCI Musa, « En Eski Döşemealtı Halılarından altı Örnek », dans *Milli Kültür Dergisi*, n°62 septembre 1988, p.18-22

SEYIRCI Musa, « Döşemealtı Yöresi Halılarından İlginç bir Örnek », dans *Kültür ve Sanat Dergisi*, n°3 août 1989, p. 82-84

SHERRILL Sarah B., *Tapis d'Occident, du Moyen-âge à nos jours*, Abbeville Press, Paris, 1995

VÖLKER Angela, *Die orientalischen Knüpft Teppiche im MAK*, Vienne, Böhlau, 2001

WEARDEN Jennifer, *Oriental Carpets and their structure*, London, V&A Publications, 2003

### **Partie III. Protocole technico-scientifique**

BRINGEL Anne-Rose, *Etude et restauration d'un palampore (fin du XVIIe-début XVIIIe siècle), Musée de l'Impression sur étoffes de Mulhouse. Recherche sur l'impression pigmentaire au cadre-plat manuel appliquée aux tissus de support de coton utilisé pour la consolidation*, Mémoire de fin d'études, ENP-IFROA, spécialité Arts textiles, Saint-Denis, 1997

BRITTON Nancy, VUORI Jan, "A preliminary investigation of digital inkjet printing on sheer fabric for textile conservation", ICOM CC, 2008

COLE Alice, *Digital printing for textile conservation*, RCA/V&A MA Dissertation, 2007

DELMAS Jean, *La gestion des couleurs pour les photographes, les graphistes et le prépresse*, Paris, Eyrolles, 2012

HARALD Johnson, *L'Impression numérique : Réaliser des tirages de qualité*, Paris, Eyrolles, 2003

HARTOG Frances, « Digital in-fills for a carpet », *the Conservation Journal*, n°58, 2009

LENNARD Frances, BALDURSDOTTIR Thordis, LOOSEMORE Vicky, "Using digital and hand printing techniques to compensate for loss: re-establishing colour and texture in historic textiles", in *The Conservator*, vol 31, 2008

OGER Brigitte, RITZENTHALER Christine, SCHWEIZER Christine, « Réalisation de fac-similés textiles en impression à jet d'encre », dans CIETA, *Bulletin n°84-85*, 2007-2008

RIOS Louisiane, *Entre deux impressions : conservation restauration d'un papier peint imprimé à la planche de bois de la fin du XVIIIe siècle (Paris, musée des arts décoratifs). Utilisation de l'impression jet d'encre comme méthode de réintégration des zones lacunaires. Choix du support et étude de la gestion des couleurs*, Mémoire de fin d'études, Institut National du Patrimoine, département des restaurateurs, spécialité Arts graphiques, Saint-Denis, 2015

RITZENTHALER Christine, SCHWEIZER Christine, « Fac-similés textiles », dans *Coré n°22*, juillet 2009

ROBERTS Branwen, TAKAMI Mika, "Dress to impress: reinstating the patterned velvet of large scale bed hangings with digitally printed nylon net", ICOM CC, Lisbonne, 2011

SCHWEIZER-SIMAC Christine, *Nouvelles possibilités de création intrinsèques à la technologie d'impression numérique textile à jet d'encre*, Université de Haute-Alsace, 2009

#### **Partie IV. Conservation-restauration**

*Vocabulaire français*, Centre International d'Étude des Textiles Anciens (CIETA), Lyon, 1979

*Tracés techniques*, Centre International d'Étude des Textiles Anciens (CIETA), Lyon, 1979

*Refexiones sobre la conservacion de alfombras y tapices*, Madrid, Ministerio de Cultura, 2010

AGUIRRE Cécilia, *Recherche pour l'utilisation des teintures naturelles en conservation-restauration de textiles*. Bourse de recherche de la Fondation Carnot, 2008.

BERGEON-LANGLE Ségolène, « Visibilité de la restauration, lisibilité de l'œuvre », Actes du 5ème colloque de l'ARAFU, 13, 14 et 15 juin 2002, Paris, 2002.

CHAUPIN Julia, *À pas feutrés. Conservation-restauration d'un tapis de feutre kazakh du XXe siècle (Musée du quai Branly-Jacques Chirac, Paris) : étude du matériau feutre et recherche de lacune dans l'épaisseur du tapis*, Mémoire de fin d'études, Institut National du Patrimoine, département des restaurateurs, spécialité Arts textiles, Saint-Denis, 2010

LANDI Sheila, *The Textile Conservator's Manual*, Oxford, Butterworth-Heinemann, 1998

MAILAND, Harold F., « Traditional Methods and Alternatives for Cleaning, Repairing and Exhibiting Rugs », *Textile Museum Journal*, 1991, vol. 29 et 30, p. 26-34

MANITTA Sharon E., « The care of rugs and carpets: the case for conservation », In *Restoration: is it acceptable?* British Museum Press, 1994

MERRIT Jane L., « Carpet Conservation: A Survey of Current Practices in Europe », *Textile Museum Journal*. 1991, vol. 29 et 30, p. 42-46

PERKINS Zoe Annis, BRAKO Jeanne, MANN, Robert, « Woven Traditions: The Integration of Conservation and Restoration Techniques in the Treatment of Oriental Rugs », *Textile Museum Journal*, 1991, vol. 29 et 30, p. 13-26.

PETILLO Elisabeth, « Comparison of Treatments for Damage in Oriental Carpets », In *Textile Speciality Group Postprints* vol.2, AIC 20th Annual Meeting, Buffalo, New York, June 1992, AIC, 1994

PRIVAT-SAVIGNY Maria-Anne, « De la restauration à la conservation des tapisseries, 1ere partie : du Moyen-Age à la fin du XVIIIe siècle », *CoRé* n° 11, Paris, Décembre 2001, p. 43-49

SCHÖEBEL-ORBEA Ana, « La conservación de las alfombras en el MNAD », dans *Alfombras españolas de alcaraz y cuenca, siglos XV-XVI*, Museo Nacional de Artes Decorativas, Madrid, Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, Dirección General de Bellas Artes y Bienes Culturales, Subdirección General de Museos Estatales, 2002

TOUBERT Maëlle, *Les tapis, de la fabrication à la restauration*, Institut National du Patrimoine, 2011

WOLF GREEN Sara, SWETZOFF Julia B, « Compensation for Loss in Oriental rugs: Traditional Methods and Passive Fills », *Textile Museum Journal*, 1991, vol. 29 et 30, p. 46-58

## ANNEXES

**Annexe 1 : photographies du tapis (face et revers) après restauration**



Figure 183 : face du tapis après restauration



Figure 184 : revers du tapis après restauration

## Annexe 2 : analyses de fibres

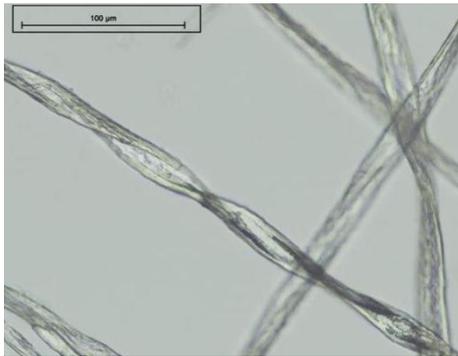
Les analyses de fibres sont réalisées par nos soins en prélevant environ 5 mm de fibres, qui sont placés entre une lame et une lamelle dans une goutte d'un mélange eau déminéralisée/glycérol à 50/50, et observées sous microscope optique en vue longitudinale, aux grossissements x100 et x200. Si l'identification est évidente, il n'est pas nécessaire de faire une coupe transversale de la fibre.

La trame, la chaîne et les nœuds sont en laine, d'après une observation à l'œil nu. Cela peut être confirmé par un prélèvement et une observation au microscope, mais ce n'est pas nécessaire pour chaque couleur de laine, de plus, cela nécessiterait beaucoup de prélèvements. Des prélèvements ont été faits pour les fils dont il était impossible de déterminer la nature de manière certaine.

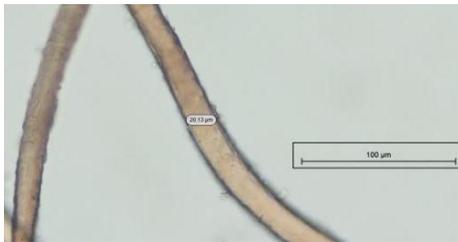


Figure 185 : cartographie des prélèvements pour les analyses de fibres. © Inp/L.Metatla

- Le cordon tressé qui constitue la lisière : forme en « ruban vrillé » caractéristique du coton

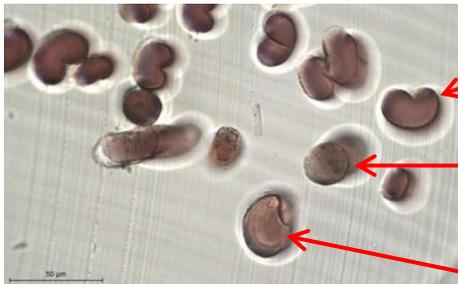


- Le fil bordeaux qui entoure ce cordon : laine



- Le fil marron utilisé pour la chaînette (bords supérieur et inférieur) :

Une observation en coupe transversale au LRMH<sup>207</sup>, ainsi qu'une analyse en spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (IRTF), réalisée au laboratoire de l'INP, ont été nécessaires pour identifier la nature des fibres : il s'agit d'un mélange de laine et de fibres synthétiques de la famille des acrylonitriles<sup>208</sup>.

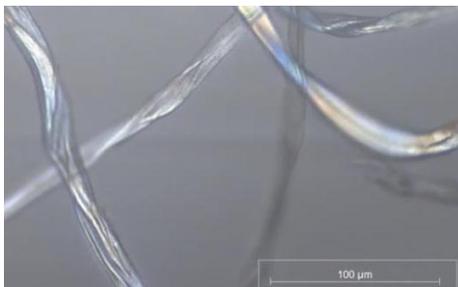


Fibre en forme de « haricot »,  
présentant une strie en observation  
longitudinale : fibre synthétique

Fibre ronde et régulière de petit  
diamètre, pigmentation visible : fibre  
synthétique

Fibre ronde et irrégulière, de diamètre  
plus important, et présentant des  
écailles en vue longitudinale : laine

- Le fil gris/mauve utilisé pour les réparations : coton



<sup>207</sup> Laboratoire de Recherche des Monuments Historiques, coupes et observations sous la direction de Dominique de Reyer.

<sup>208</sup> Rapport d'analyse disponible en Annexe 3, p.164.

## Annexe 3 : rapport d'analyse IRTF pour le prélèvement de fil marron de la chaînette (Inp)



Institut national du patrimoine  
Département des restaurateurs  
Laboratoire

Rapport d'étude Inp-DR.16-09

15 juin 2016

Spécialité Arts textiles  
Tapis « Hali »  
Döşemealti, Turquie, fin 19<sup>e</sup> siècle  
Paris, Musée du Quai Branly  
N° d'inventaire : 71.1973.77.165  
N° d'enregistrement : Inp2015.199

Ce rapport comporte 6 pages, 2 tableaux et 2 figures.

Sa reproduction totale ou partielle est soumise à l'accord de l'Institut national du patrimoine.

**SOMMAIRE**

1. INTRODUCTION
2. PRELEVEMENTS
3. METHODE ANALYTIQUE ET CONDITIONS OPERATOIRES
4. RESULTATS
5. CONCLUSION



Figure 1 : Tapis « Hali », fin 19<sup>e</sup> siècle, Inp2015-199, avant restauration, localisation des prélèvements ©Inp/G.Vanneste.

## 1. INTRODUCTION

Un tapis noué, provenant d'un centre de production du sud de la Turquie (région d'Antalya), est restauré dans le cadre du mémoire d'une élève de l'atelier Arts textiles. Il est conservé au musée du Quai Branly, à Paris, sous le numéro d'inventaire 71.1973.77.165 et porte le numéro d'enregistrement Inp2015.199.

Ce tapis, qui présente une lacune importante causée probablement par des rongeurs et des mites, a déjà subi quelques interventions. Un fil marron a notamment été utilisé pour des réparations anciennes sur les bords supérieur et inférieur.

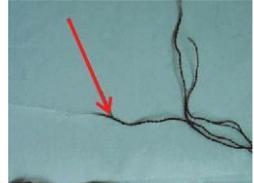
Les premières observations au microscope de ce fil ont permis de supposer la nature synthétique des fibres mais ne permettent pas une caractérisation plus précise. Des analyses en spectroscopie infrarouge ont donc été menées.

## 2. PRELEVEMENTS

La localisation des prélèvements est visible sur la figure 1.

Les prélèvements ont été effectués au petit ciseau.

Tableau 1 : Tapis « Hali », fin 19<sup>e</sup> siècle, n° d'inventaire 71.1973.77.165 : références des prélèvements et récapitulatif des demandes d'étude

Référence du prélèvement	Localisation	But du prélèvement	Photographie pendant prélèvement
2015-199P01	Bord supérieur gauche	Identification de la nature chimique des fibres	
2015-199P02	Bord supérieur gauche	Identification de la nature chimique des fibres	

## 3. METHODE ANALYTIQUE ET CONDITIONS OPERATOIRES

### Analyse IRTF (infrarouge à transformée de Fourier)

La spectroscopie infrarouge utilisée en réflexion totale atténuée (ATR) est une technique d'analyse qualitative simple à mettre en œuvre et non destructive. Elle permet d'obtenir des informations sur la structure moléculaire et les liaisons chimiques des matériaux organiques ou inorganiques analysés. Un spectre infrarouge permet de mettre en évidence la présence de certains groupements fonctionnels grâce à des bandes d'absorption caractéristiques et constitue donc « l'empreinte » du matériau.

#### - *Appareillage*

Spectromètre Nicolet – Magna IR 560 équipé d'un accessoire ATR Performer avec un cristal de diamant.

#### - *Conditions d'analyse*

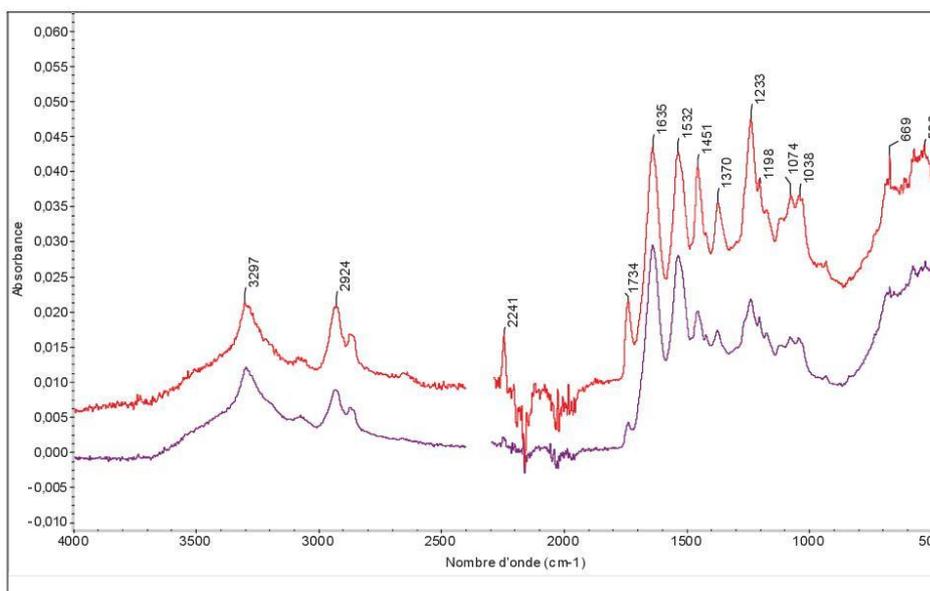
- Prélèvements : poudre
- Résolution : 4 cm<sup>-1</sup>
- Nombre de scans : 64
- Gamme spectrale : 4000-500 cm<sup>-1</sup>

### 3. RESULTATS

#### Prélèvements 2015-199P01 et 2015-199P02, fibres

Les spectres ci-dessus ont été réalisés en réflectance totale atténuée (ATR) et le tableau regroupe les attributions des bandes d'absorption caractéristiques.

Les spectres des prélèvements P01 et P02 sont sensiblement similaires. Seule l'intensité de certains pics varie. Nous pouvons d'ores et déjà considérer que les fibres des deux prélèvements sont de même nature.



<sup>1</sup> La région entre 2400 et 2300 cm<sup>-1</sup> fait apparaître les bandes d'absorption caractéristiques du CO<sub>2</sub> de l'air. Ces bandes ne sont pas à prendre en compte dans l'interprétation du spectre, elles ont donc été supprimées pour une meilleure lecture du spectre.

Nombre d'onde (cm <sup>-1</sup> )	Identification <sup>2</sup>
3297	$\nu$ N-H
2924	$\nu$ CH <sub>2</sub> <i>asym</i>
2241	$\nu$ C $\equiv$ N
1734	$\nu$ C=O
1635	$\nu$ C=O <i>bande I</i>
1532	$\delta$ N-H <i>bande II (trans)</i>
1451	$\delta$ N-H ( <i>cis</i> ) et $\delta$ C-H
1370	$\delta$ CH
1328	$\delta$ OH
1233	$\nu$ C-N <i>bande III (trans)</i>
1198	
1074	$\nu$ C-C
1038	$\nu$ C-C
669	
526	

Tableau 2 : Attributions des bandes d'absorption des prélèvements 2015-199 P01 et P02

— Bandes d'absorption caractéristiques des protéines

— Bandes d'absorption caractéristiques du PAN (polyacrylonitrile)

Sur les spectres obtenus, la présence de trois bandes d'absorption caractéristiques révèle, en premier lieu, la présence de protéines (la *bande I*, vibration d'élongation C=O 1635 cm<sup>-1</sup>; la *bande II*, vibration de déformation N-H 1532 cm<sup>-1</sup>; la *bande III*, vibration d'élongation C-N 1233 cm<sup>-1</sup>).

La spectroscopie infrarouge permet difficilement de faire la distinction entre les différentes sources de protéines. Néanmoins, dans le cas des fibres protéiniques, comme la laine ou la soie, certaines publications mettent en évidence des différences du nombre d'onde pour certaines bandes caractéristiques<sup>3</sup>.

Cependant, la distinction ne peut être faite dans le cas présent, car après interprétation des autres bandes d'absorption, un deuxième composé, de nature synthétique dont nous étions à la recherche, a été identifié : il s'agit du polyacrylonitrile (PAN), qui est un polymère de la famille des acryliques, très utilisés dans la fabrication de fibres textiles<sup>4</sup>.

Le mélange de ces deux types de fibres au sein du fil marron entraîne le décalage du nombre d'onde de certaines bandes d'absorption ou la dissimulation d'autres bandes par de plus importantes. Il serait donc hasardeux d'être catégorique quant à l'identification de la nature de la fibre protéinique par le biais de la spectroscopie infrarouge.

En revanche, les observations sous microscope optique ont été renouvelées par l'élève en charge de la restauration du tapis, sous la supervision de Mme Dominique de Reyer. Leur morphologie laisse penser qu'il s'agit de fibres de laine associées à des fibres de PAN, mélange qu'il est assez courant de trouver<sup>5</sup>.

<sup>2</sup> M.R.Derrick, D. Stulik, J.M. Landry, *Infrared Spectroscopy in Conservation Science*, 1999, 248p, The Getty Conservation Institute (Ed).

<sup>3</sup> M.M. Houck, *Identification of textile fibers*, 2009, 375p, Woodhead Publishing Series in Textiles

<sup>4</sup> D.Reis, B.Vian, C.Bajon, *le monde des fibres*, 2006, 351p., Belin

<sup>5</sup> [http://www.societechimiquedefrance.fr/IMG/pdf/b\\_6\\_100\\_000.vfx2\\_sav.pdf](http://www.societechimiquedefrance.fr/IMG/pdf/b_6_100_000.vfx2_sav.pdf)

#### 4. CONCLUSION

Les analyses en spectroscopie infrarouge ont révélé le mélange de deux types de fibres au sein du fil marron : des fibres protéiniques et des fibres de polyacrylonitrile (PAN).

Des observations sous microscopie optique complémentaires ont permis d'orienter l'identification des fibres protéiniques vers de la laine.

Le fil marron semble donc préparé et filé avec un mélange de fibres de laine et de fibres de polyacrylonitrile.

Analyses IRTF et rédaction..... Maroussia Duranton

---

#### Droits d'auteur

© Institut national du patrimoine

---

## Annexe 4 : analyses de colorants (IRPA, Bruxelles)



www.kikirpa.be

IRPA KIK  
INSTITUT ROYAL DU PATRIMOINE ARTISTIQUE  
Föderaal wetenschappelijk  
KONINKLIJK INSTITUUT VOOR HET KUNSTPATRIMONIUM  
Polynque scientifique fédérale

### Rapport d'analyse

#### Tapis asiatique

Localité: Paris, France  
Institution ou collection: Musée du Quai Branly  
Type d'objet: textile  
Titre de l'objet: tapis « hali »



Institution: **Musée du quai Branly**  
222, Rue de l'université  
75343 Paris CEDEX 07  
France

Personne de contact: **Christophe Moulherat**

Numéro de dossier IRPA : **2016.13024**

Cellule(s) IRPA concernée(s) : Département Laboratoires – Textiles

Responsable de la (des) cellule(s) : Ina Vanden Berghe

Collaborateur(s): Marie-Christine Maquoi, Maaïke Vadorpe

Date du rapport: 12.05.2016

Ce rapport ne peut être diffusé que dans son intégralité. Aucun graphique ou figure ne peut être utilisé sans l'autorisation de l'auteur. Sauf autre modalité contractuelle, l'IRPA détient les droits d'auteur exclusifs sur l'ensemble de l'étude, comme le prévoit la législation.

### **1. Description de l'objet**

N° d'objet IRPA	-
Commune	Paris, France
Institution	Musée du Quai Branly
N° d'inventaire	71.1973.77.165
Type d'objet	Tapis
Titre de l'objet	Tapis « hali »
Auteur	Turquie, Antalya
Date	Fin 19 <sup>e</sup> siècle
Matériau	La laine
Dimensions	161 cm x 121 cm (avec franges)
Propriétaire	Musée du Quai Branly
Remarque	-

### **2. Objets et prélèvements**

Résumé et description des échantillons sont donnés dans le tableau 1.

**Tableau 1: Codes, descriptions et photos sous binoculaire des prélèvements**

Echantillon code	Echantillon code KIK	Image	Description
<b>Inp 2015-199</b>			
FC01	13024/01		Rouge très clair, bord droit, grande lacune

FC02	13024/02		Rouge moyen, motif champ central moitié inférieure
FC03	13024/03		Rouge foncé, bord supérieur, bord petit lacune
FC04	13024/04		Bordeaux, champ central partie inférieure
FC05	13024/05		Marron foncé, bord droit, partie supérieure



FC06	13024/06		Marron clair, bord gauche, partie supérieure
------	----------	--	--

### 3. Identification des colorants organiques par CLHP-DAD

Les échantillons sont analysés par chromatographie en phase liquide à haute performance couplée à un système de photodiodes de détection (équipement Alliance, Waters, USA). Le traitement des données se fait avec le logiciel Empower 2 (Waters, USA).

Avant les analyses CLHP, les échantillons sont examinés sous binoculaire, afin d'éviter toute éventuelle contamination visible. Les colorants sont récupérés à partir des échantillons de textile utilisant une extraction par le chlorhydrique<sup>1</sup> (HCl).

La composition tinctoriale trouvée après l'analyse CLHP des extraits est donnée dans le tableau 2. Les composés des colorants sont exprimés comme le rapport relatif des colorants détectés après intégration des surfaces des pics à la longueur d'onde donnée (nm). Les abréviations des composés détectés des colorants et / ou de dégradation sont expliqués dans le tableau 3.

Tableau 2. Analyses CLHP-DAD. Composé(s) de colorant

Echantillon Code	Echantillon Code KIK	Couleur	Extraction	No. Analyse	Composition	λ (nm)
FC01	13024/01	Rouge très clair	HCl	12/010316/01	Acid orange 7, Acid red 88	255
FC02	13024/02	Rouge moyen	HCl	07/010316/01	Acid red 88	255
FC03	13024/03	Rouge foncé	HCl	14/010316/01	3 ea, 2 qu, 0.5 ag, 1.5 mu, 65 al, 23 pu, 0.5 ru, 1 em, 4 nor	255
FC04	13024/04	bordeaux	HCl	47/190416/01	5 ea, 70 al, 25 pu	255
FC05	13024/05	Marron foncé	HCl	48/190416/01	100 ea	255
FC06	13024/06	Marron clair	HCl	49/190416/01	100 ea	255

<sup>1</sup> extraction dans 250 µL eau/méthanol/acide chlorhydrique à 37% (1/1/2, v / v / v), 10 minutes à 105 ° C - filtration et vacuum évaporation - résidu dissous dans 30/30 µl méthanol/eau - 20 µL injecté



Tableau 3. Abréviations des composés

Abréviation	Composé(s) de colorants ou de dégradation
ag	anthragallole
al	alizarine
ea	acide ellagique
em	emodine
law	lawson
mu	munjistine
nor	nordamnacanthal
pu	purpurine
ru	rubiadine

#### 4. La spectroscopie micro Raman (MRS)

Les échantillons sont analysés par la spectroscopie micro Raman (Invia, Renishaw) afin d'obtenir d'information supplémentaire sur la composition moléculaire des composés de colorants. Le laser rouge avec longueur d'onde d'excitation de 785 nm est utilisé. Les spectres Raman obtenus des analyses des deux premiers échantillons sont détaillés dans figures 1 et 2 ainsi que les références des colorants convenants (tableau 4).

Dans le rouge clair FC01 deux colorants synthétiques sont retrouvés suggérant un mélange de l'Acid red 18 et l'Acid red 88. Dans les fibres rouge moyen FC02, le même colorant Acid red 88 est retrouvé. Le spectre Raman des quatre autres échantillons ne permet pas d'identifier des composés de colorants.

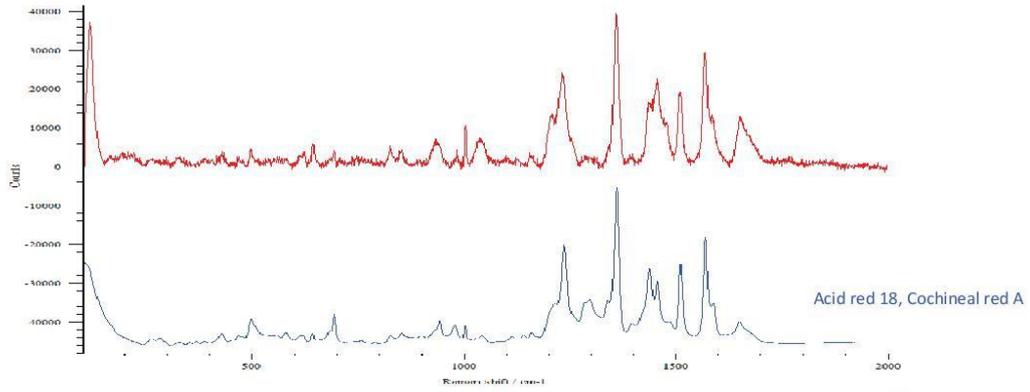
Tableau 4. MRS. Composition moléculaire

Code KIK/IRPA	Couleur	Longueur d'onde laser	No. d'analyse	Composition moléculaire
13024/01	Rouge très clair	785 nm	22/160223/02-03	Acid red 88 / Acid red 18
13024/02	Rouge moyen	785 nm	22/160223/04-09	Acid red 88
13024/03	Rouge foncé	785 nm	22/160223/05-08	-
13024/04	bordeaux	785 nm	22/160223/06-07	-
13024/05	Marron foncé	785 nm	22/160223/10-11	-
13024/06	Marron clair	785 nm	22/160223/12	-



Figure 1. MRS (785 nm). Spectre Raman FC01 (en rouge) et références de colorants synthétiques

13024 / 01 rouge clair - 22/160223/02



13024 / 01 rouge - 22/160223/03

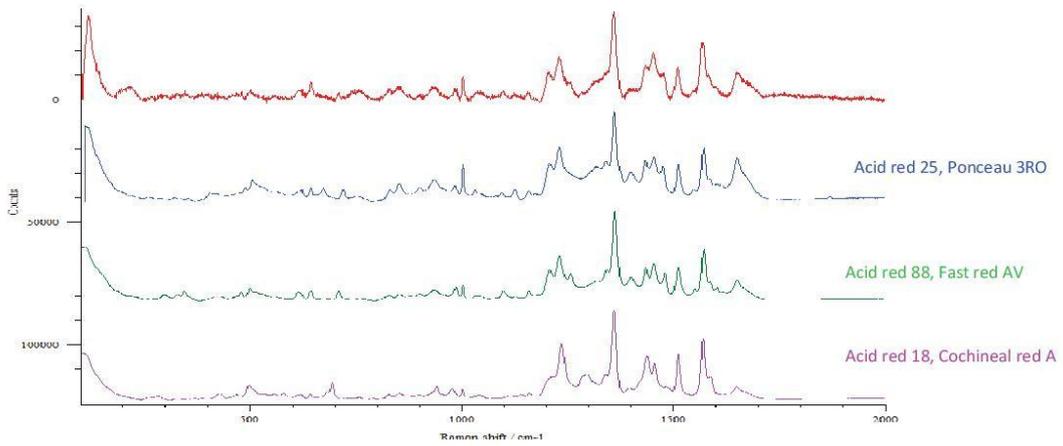
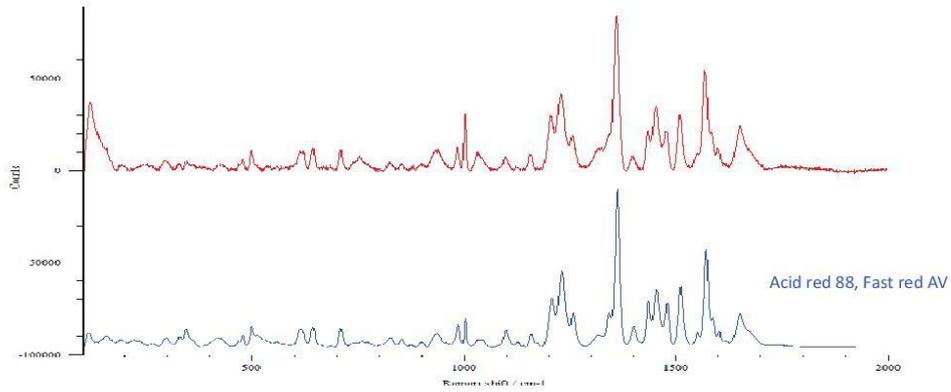
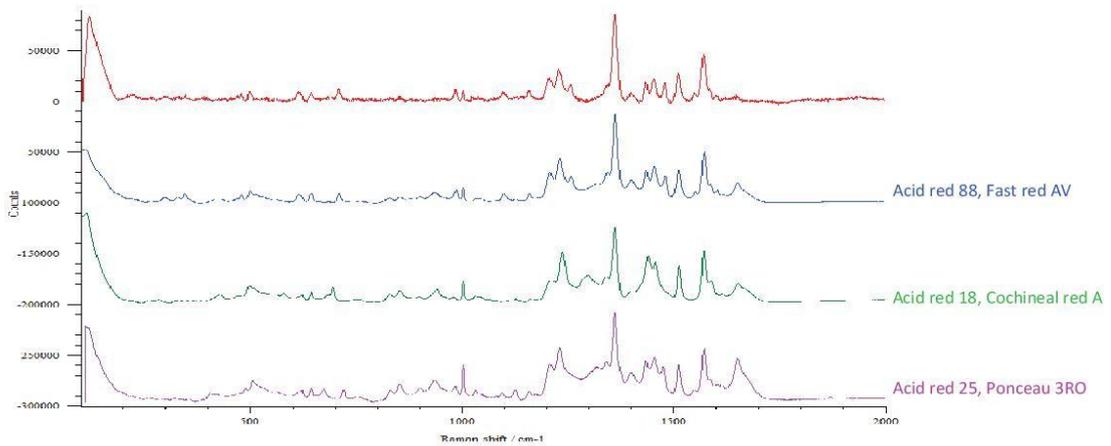


Figure 2. MRS (785 nm). Spectre Raman FC02 (en rouge) et références de colorants synthétiques

13024 / 02 rouge moyen - 22/160223/04



13024 / 02 rouge moyen - 22/160223/09



## 5. Conclusion

Dans deux des échantillons du tapis « hali » (71.1973.77.165) du musée du Quai Branly, des colorants synthétiques ont été retrouvés, ce qui indique une datation post quem 1875. Le rouge très clair FC01 est teint avec un mélange des colorants acides (Acid orange 7, Acid red 18 et 88). Uniquement l'Acid red 88 est retrouvé dans le rouge moyen FC02. Dans le tableau 5, vous trouvez le nom et le numéro du colorant suivant la classification du Colour Index (CI) 1972, ainsi que la personne et l'année de découverte.

Le rouge foncé FC03, ainsi que l'échantillon bordeaux FC04 sont teints avec des racines d'une plante appartenant à la famille des Rubiacées à l'aide des tannins. La composition relative des composées retrouvés réfère à l'emploi de la garance (*Rubia tinctorum* L.). Les deux tons bruns FC05 et FC06 sont obtenus par l'emploi des tannins.

Les colorants retrouvés sont en rapport avec la datation estimée du fin du 19<sup>ième</sup> siècle.

Tableau 5. Information des colorants organiques synthétiques

Abréviation	Nom et numéro du CI / nom commun / personne et année de découverte
AO 7	CI Acid orange 7 / CI 15510 / orange II / Z. Roussin, 1876
AR 88	CI Acid red 88 / CI 15620 / fast red AV / H. Carro & Z. Roussin, 1877
AR 18	CI Acid red 18 / CI 16255 / Cochineal red A / H. Baum, 1878

Ina Vanden Berghe  
Département Laboratoires  
Responsable Recherche Textile



Institut royal du Patrimoine artistique - Parc du Cinquantenaire 1 - BE-1000 Bruxelles - Koninklijk Instituut voor het Kunstpatrimonium - Jubelpark 1 - BE-1000 Brussel - www.kikirpa.be

p. 8 / 8

## Annexe 5 : enceinte de vieillissement à la lumière, tableau de comparaison entre les unités radiométriques et les unités photométriques (Atlas Suntest)



### NOTE TECHNIQUE

#### I.C.H. GUIDELINE

(For Photostability testing of new drugs substances and products)

#### **A. INFORMATIONS DE BASE**

- 1) Le lux est l'unité photométrique de l'éclairement lumineux (région visible du spectre lumineux entre 400 et 800 nm) et correspond au quotient du flux lumineux  $d$  reçu par un élément de la surface contenant le point par l'aire  $dA$  de cet élément.

$1 \text{ lux} = 1 \text{ lumen par m}^2 (\text{lm} \cdot \text{m}^{-2})$ .  
Le lux est une unité photométrique.

- 2) Le  $\text{Watt/m}^2$  est une unité radiométrique et correspond à l'éclairement énergétique reçu par l'échantillon. Dans le cas de l'I.C.H. il s'agit de l'éclairement énergétique dans la région de l'ultraviolet entre 300 et 400 nm.

Il s'agit de deux unités et de deux paramètres différents l'un (le lux) dans la région visible du spectre (entre 400 et 800 nm) et l'autre le  $\text{Watt/m}^2$  dans la région UV du spectre entre 300 et 400 nm).

- B.** Dans le cas d'une source lumineuse de type arc xénon filtré telle que celle qui existe dans le SUNTEST® elle donnera un certain éclairement énergétique entre 300 et 400 nm de même qu'un certain éclairement lumineux (illuminance) entre 400 et 800 nm.

Pour les essais I.C.H. le SUNTEST® doit être équipé d'un filtre en quartz avec réflexion sélective pour réfléchir une partie de l'infrarouge (Réf. 56052388) d'un filtre additionnel type filtre verre à vitre (Réf. 56052372) et d'un filtre spécifique ID65 (Réf. 56077769), ce qui permet d'obtenir un éclairement du type lumière solaire derrière un vitrage de 6 mm.

#### **ATTENTION !**

L'éclairement dans l'appareil est mesuré au niveau du plateau porte-éprouvettes. Si les échantillons sont épais, (par exemple : des flacons), essayer de positionner les échantillons avec leur partie supérieure au niveau du plateau. Si nécessaire, enlever le plateau et positionner pour obtenir la bonne hauteur.

- C.** Dans un SUNTEST®, équipé des filtres adéquats (voir paragraphe précédent), lorsqu'il fonctionne à son niveau maximal d'éclairement, celui-ci sera de  $765 \text{ Watt/m}^2$  entre 300 et 800 nm (UV + Visible). Dans ce cas, le niveau d'éclairement lumineux est de 170 kilolux (Voir graphique).

Dans un SUNTEST® fonctionnant à un niveau d'éclairement énergétique moindre à savoir  $500 \text{ Watt/m}^2$  (entre 300 et 800 nm) le niveau d'éclairement lumineux est dans ce cas de 112 kilolux.

**POUR OBTENIR 1,2 Million luxheure (soit 1200 Kiloluxheure) :**

Il faudra, dans le premier cas :  $1200/170 = \text{env. } 7,06 \text{ heures.}$

Un éclairement énergétique de  $765 \text{ W/m}^2$  entre 300 et 800 nm correspond à un éclairement énergétique d'environ  $72 \text{ Watt/m}^2$  entre 300 et 400 nm (donnée fabricant).

Donc la quantité d'énergie de  $200 \text{ Watt/heure/m}^2$  dans les UV (entre 300 et 400 nm) sera atteinte en 2,8 heures.

Pour trouver la durée :  $200 (\text{Watt/heure/m}^2) / 72 = \text{env. } 2,8 \text{ heures.}$

Dans le second cas, c'est à dire avec un éclairement énergétique de  $500 \text{ Watt/m}^2$ , entre 300 et 800 nm, nous avons 112 kilolux (voir graphique).

Donc la durée pour obtenir 1,2 Mluxheure sera =  $1200 / 112 = \text{env. } 10,7 \text{ heures.}$

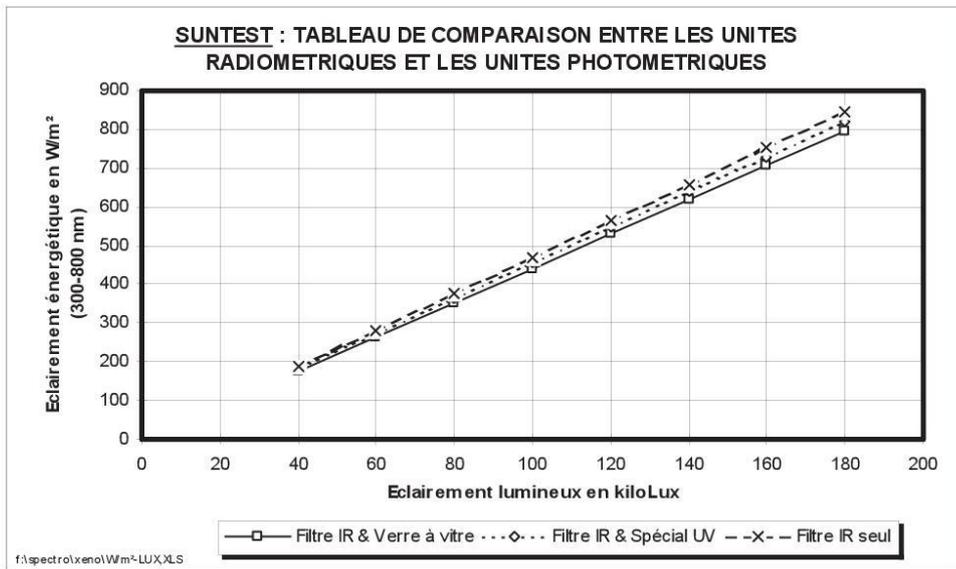
A  $500 \text{ Watt/m}^2$  l'éclairement énergétique entre 300 et 400 nm est de  $48 \text{ Watt/m}^2$  donc la quantité d'énergie dans les UV sera atteinte en :  $200 \text{ Wh/m}^2 / 48 = 4,16 \text{ heures.}$

**REMARQUES :**

Il est à noter que la durée de l'essai est plus longue pour obtenir le niveau d'éclairement lumineux (1,2 Mluxheure) que pour obtenir le niveau d'éclairement énergétique ( $200 \text{ Watt/heure/m}^2$ ).

Par ailleurs, lors des essais il peut être nécessaire de trouver un compromis entre l'accélération due au niveau d'éclairement élevé et les températures induites par ce niveau d'éclairement.

Plus l'éclairement est faible, plus l'essai sera long mais les températures des échantillons seront plus basses.



F:\WP51\NOTES\ICH.DOC

## Annexe 6 : résultats du protocole technico-scientifique : colorimétrie

### Velours Texotrade :

	Bleu clair	Bleu-vert	Rouge	Marron	Beige	Bleu foncé
L*	30,7	21,12	31,39	24,52	51,89	16,5
a*	-3,08	-2,47	36,95	2,22	5,46	-1,21
b*	-18,07	-4,58	7,56	2,52	16,62	-10,08
(avant)						
L*	30,67	24,04	32,98	25,71	53,81	20,5
a*	-2,02	-2,39	38,31	2,14	6,34	-0,38
b*	-15,96	-3,49	7,05	2,6	16,44	-7,73
(après)						
$\Delta E$	2,36	3,12	2,15	1,20	2,12	4,71

### Velours Lelièvre :

	Bleu clair	Bleu-vert	Rouge	Marron	Beige	Bleu foncé
L*	33,84	27,93	37,64	27,46	61,65	25,12
a*	-4,57	-3,95	25,16	-0,48	0,03	-0,78
b*	-11,47	-3,28	5,98	-0,39	17,1	-6,41
(avant)						
L*	34,73	28,1	38,7	28,94	62,05	25,24
a*	-3,82	-2,48	26,74	-0,01	1,05	0,07
b*	-11,9	-3,19	6,46	0,13	17,45	-5,26
(après)						
$\Delta E$	1,24	1,48	1,96	1,64	1,34	1,44

### Velours Pierre Frey :

	Bleu clair	Bleu-vert	Rouge	Marron	Beige	Bleu foncé
L*	36,26	28,08	37,93	26,98	59,81	24,55
a*	-4,64	-3,49	24,93	-0,39	0,28	-0,88
b*	-12,33	-1,9	7,95	-0,08	18,64	-6,6
(avant)						
L*	34,13	28,83	36,16	27,5	60,73	24,25
a*	-4,1	-3,14	25,57	0,06	0,69	0,24
b*	-11,23	-2,75	5,71	0,18	18,21	-5,43
(après)						
$\Delta E$	2,46	1,19	2,93	0,74	1,10	1,65

## Annexe 7 : « Job Ticket », informations relatives à l'impression d'un exemplaire de la restitution imprimée sur l'imprimante JV22 (Mimaki)

Job Ticket

file:///C:/Documents and Settings/All Users/Documents/EsRip/2008/Da...

### JobTicket impr final -30-30+30

#### Job

ID	<b>3891</b>
Nom	impr final -30-30+30
Propriétaire	utilisateur
Commentaire	
Créé	30/05/2016 14:42
Prêt	30/05/2016 14:47
Largeur	62,00 cm
Long.	36,30 cm
Copies à imprimer	1
Copies imprimées	1
Environnement d'impression:	Mimaki JV22 8C 720 2015
Environnement Coupe	
Type de média	



#### Images

Nom de fichier	Largeur	Hauteur	Profil d'entrée	Intention de rendu	Quantité
\\10.149.7.66\emode\INP\Fichiers Impression finale\impr final -30-30+30.tif	62,00 cm	36,29 cm	Adobe RGB (1998)	Photographie	1

#### Données de production

Resource	Quantité	Coût
Média	36,29 cm	0,00
Encre	1,16 ml	0,00
Heure	0:05:24	0,00
<b>Totals</b>		<b>0,00</b>

#### Impression en cours

Terminé	Durée	Copies	Type de média
30/05/2016 14:47	0:04:59	1	

#### Journal

[ID=3891] impr final -30-30+30 pour [PE=[3891]Mimaki JV22 8C 720 2015]  
 [TM=2016/05/30 14:42:27] Traitement RIP lancé  
 Données d'impression générées pour [3891]Mimaki JV22 8C 720 2015  
 [TM=2016/05/30 14:42:52] terminé ( 0:00:25 )

[ID=3891] impr final -30-30+30 pour [PrId=Mimaki JV22]  
 [TM=2016/05/30 14:42:28] Procédure impression démarré  
 [TM=2016/05/30 14:47:27] terminé ( 0:04:59 )

## Annexe 8 : tarifications 2016, Plateforme eMODE, Cholet



# Tarification des services 2016 Plateforme eMODE

La qualité d'adhérent donne accès à des prestations de services spécifiques ainsi qu'à des tarifs préférentiels.

	Adhérent (établissements de formation, entreprises TPE/PME, créateurs)	Adhérent (Grande entreprise)	Non adhérent
Accès ressources veille	gratuit	gratuit	non
Mise en réseau/appels à compétences	gratuit	gratuit	non
Visite d'un groupe <i>1 visite avec démonstrations pour groupes de maximum 15 personnes</i>	gratuit	gratuit	150 €
Journée technique Conférence/intervention	Tarif préférentiel	Tarifs préférentiel	Tarifs journée
Formation sur mesure/workshops <i>Une journée (7h) hors frais techniques</i>	950 €	1300 €	1600 €
Formation parrainage créateurs <i>Sur avis du comité de sélection Une journée (7h) hors frais techniques</i>	350 €	non	non
Expertise, conseil, étude <i>Une journée (7h) hors frais techniques</i>	950 €	1300 €	1600 €
Développement, échantillonnage, prototypage de motifs	Sur devis	Sur devis	non
Mutualisation du plateau technique <i>1h, pour intervenant formé et maximum 8 stagiaires, sans accompagnement technique et hors matières</i>	130 €	300 €	non
Mutualisation d'un équipement du plateau technique <i>1h, pour intervenant formé et maximum 2 stagiaires sans accompagnement technique et hors matières</i>	40 €	60 €	non

**La Plateforme eMODE est agréée CIR** : les actions relatives à l'élaboration de nouvelles collections confiées à la Plateforme eMODE sont susceptibles, sous certaines conditions, de vous faire bénéficier du Crédit Impôt Recherche.

Plateforme eMODE - 20 rue Carteron BP2124 - 49321 CHOLET Cedex - Tél : 02 41 71 69 33 - Fax : 02 41 71 79 79 - contact@emode.fr - www.emode.fr  
Association Plateforme eMODE - SIRET 519 635 320 00012 - Code APE 9499Z - TVA FR57519635320



## Annexe 9 : recettes de teinture

Nous avons choisi d'utiliser des teintures naturelles à la suite des cours que nous avons suivis à l'Inp en 2013 et 2014, dispensés par Cécilia Aguirre, restauratrice de textiles diplômée de l'Inp. Cécilia Aguirre a reçu le soutien de la fondation Carnot en 2008 pour mener des recherches sur les teintures naturelles et leur utilisation en conservation-restauration de textiles. Son rapport<sup>209</sup> présente des tests de solidités à la lumière, réalisés sur des échantillons teints avec différents colorants et différents procédés de mordantage. Les colorants ayant obtenus les meilleurs résultats sont la garance, la cochenille, la gaude et le myrobolan, associés à un mordantage à l'alun, et l'indigo<sup>210</sup>.

Voici le processus de teinture qui a été utilisé pour les toiles de lin :

- Mordantage : alun (sulfate double d'aluminium et de potassium) à 15% du poids du tissu dans de l'eau (rapport de bain 1/40) à froid pendant une nuit.
- Teinture : extrait de garance riche à 20% du poids du tissu pour le rouge, extrait de châtaigner à 0,5% pour le beige et extrait de myrobolan à 20% pour le marron (rapport de bain 1/40).
- Nuançage : sulfate de fer II à 0,5% pour le beige, et à 1,5% pour le marron, dans un bain à froid pendant 20 minutes (rapport de bain 1/40).

Les fils de laine utilisés pour la réalisation du fragment par la technique du nouage sur canevas ont été teints de la même manière. Les nuances de bleu et de vert ont été réalisées avec de l'indigo associé à une sur-teinture de gaude (jaune). Ces recettes ne seront pas détaillées ici, car ces fils n'ont pas été utilisés pour la restauration du tapis n°71.1973.77.165.

---

<sup>209</sup> AGUIRRE, 2008

<sup>210</sup> Fournisseurs : Couleurs de Plantes et Green'ing.

## **Annexe 10 : fiches techniques**

- Encres Digistar PES HD One (Kiiian)
- Tissu utilisé pour la restitution imprimée (Texo-trade services, TTS)



Code N° M4087--

Series of inks transfer sublimation printing, compatible with DX3, DX4 and DX5 piezo printheads.

**DIGITAL SUBLIMATION INK FOR TRANSFER PRINTING**

- Ideal for transferring onto synthetic fabrics (polyester)
- Ideal for transferring onto rigid substrates (pre-treated)

**APPLICATION VERSATILITY**

- Ideal for sportswear, promotional items, curtaining, flags, banners, interior decoration
- Ideal for transferring onto rigid substrates (pre-treated)

**COMPATIBLE WITH DX3, DX4 and DX5 PRINTHEADS**

- Compatible with the above-mentioned piezo printheads

**GENERAL FEATURES**

- Very vivid and bright colours, allowing to achieve a wide colour space during profiling
- Good general fastness
- Excellent drying quickness of the printed paper
- Excellent release (transfer) capacity

**PRODUCTS OF THE SERIES**

<b>COLOUR</b>	BLACK	CYAN	LIGHT CYAN	MAGENTA	LIGHT MAGENTA	YELLOW
<b>CODE</b>	408710	408751	408752	408730	408731	408715
<b>PACKING</b>	1 litre	1 - 2,5 - 5 litres	1 - 2,5 - 5 litres	1 - 2,5 - 5 litres	1 - 2,5 - 5 litres	1 - 2,5 - 5 litres
<b>SHELF LIFE</b>	12 months	12 months	12 months	12 months	12 months	12 months
<b>COLOUR</b>	BLACK PLUS	DEEP BLACK	GREY	YELLOW FLUO	PINK FLUO	GREEN FLUO
<b>CODE</b>	408711	408712	408713	408716	408734	408760
<b>PACKING</b>	1 - 2,5 - 5 litres	1 litre	1 litre	1 litre	1 litre	1 litre
<b>SHELF LIFE</b>	12 months	12 months	12 months	6 months	6 months	6 months
<b>COLOUR</b>	TURQUOISE	BLUE	ORANGE	RED	DIRECT YELLOW	BLUE FLUO
<b>CODE</b>	408754	408750	408733	408732	408718	408756
<b>PACKING</b>	1 litre					
<b>SHELF LIFE</b>	12 months	12 months	12 months	6 months	12 months	6 months

**DIRECTIONS**

It is recommended to let the product reach operative conditions in terms of temperature and humidity at least 24 hours prior to use, taking care of not stirring it, and apply the product under controlled conditions:

- **RECOMMENDED TEMPERATURE RANGE:** 20-25°C
- **RECOMMENDED HUMIDITY RANGE:** 40-60%

The ink is ready to use and it is recommended to use it through the external feeding system (INK FEEDER, COE. M4087..), so that a steady printing quality is assured.

The printed paper must be transferred hot, through calender or flat press, at a temperature between 180-220°C during a varying time, between 180" and 30".

Time and temperature may vary, depending on the type and nature of the material, which the transfer is made onto.

In case that a decoration of such rigid substrates, that due to their nature are not similar to the sublimation ink, is required, it is necessary to prepare this affinity, by preventively applying a coating (SUBLICOAT A+B, CODE M40810..) onto the surface to be decorated.

**SUBLIMATION PAPER**

DIGISTAR PAPER (COD. 4083..) is a suitably realized paper for digital printing through sublimation products, with an appropriate treatment, in order to assure the best results in terms of colour and outline definition. For further information, see the related technical data sheet.

**AUXILIARIES – FLUIDS FOR PLOTTER MAINTENANCE**

- **DIGISTAR CAPPING FLUID (CODE 408703):** this product has moistening and anti-scaling properties, available in 250 ml container with dosing pipette for application on “capping station”.
- **DIGISTAR CLEANER (CODE 408501):** this product is used for cleaning the ink feeding circuits.

For further information, see the related technical data sheet.

**FASTNESS**

COLOUR	CODE	FASTNESS – EN ISO			SUBLIMATION CLASS
		105B02	105C02	105E04	
BLACK	408710	6	4-5	5	B/C
CYAN	408751	5-6	4-5	4-5	C
LIGHT CYAN	408752	5-6	4-5	4-5	C
MAGENTA	408730	6-7	4-5	5	C
LIGHT MAGENTA	408731	6-7	4-5	5	C
YELLOW	408715	6-7	4-5	4-5	B
BLACK PLUS	408711	6	4-5	4-5	B/C
DEEP BLACK	408712	5-6	4-5	4-5	B/C
GREY	408713	6	4-5	5	B/C
YELLOW FLUO	408716	4	4-5	5	B
PINK FLUO	408734	4	4-5	5	C
GREEN FLUO	408760	4	4-5	5	B
BLUE FLUO	408756	6	5	5	C
TURQUOISE	408754	6	5	5	C
BLUE	408750	6	4-5	5	B/C
ORANGE	408733	4-5	4-5	5	B
RED	408732	3-4	4-5	4-5	C
DIRECT YELLOW	408718	6-7	4-5	4-5	B

FASTNESS - EN ISO	105B02	LIGHT FASTNESS
	105C02	WASHING FASTNESS
	105E04	PERSPIRATION FASTNESS

SUBLIMATION CLASS	A	T <sub>SUBLIMATION</sub> 180°C
	B	T <sub>SUBLIMATION</sub> 190°C
	C	T <sub>SUBLIMATION</sub> 200°C
	D	T <sub>SUBLIMATION</sub> 210°C

FASTNESS RANGE: LIGHT FASTNESS: min 1, MAX 8 – WASHING FASTNESS: min 1, MAX 5 – PERSPIRATION FASTNESS: min 1, MAX 5

**STORAGE**

It is recommended to keep the product away from light and heat sources at a **temperature lower than 25° C.**

**SPECIAL INSTRUCTIONS**

- It is recommended to always make printing, drying and transfer tests onto the substrates which are meant to be used, so as to exactly determine features, working time and effects to be obtained.
- Extreme drying conditions near the printer carriage could compromise the quality of the prints.
- Require safety data sheets, available for all products, and always follow the contained instructions regarding all the specific information and the environmental safety.
- The ink performance is strictly connected to the used plotter model and printing procedure.

**IMPORTANT NOTE**

The information given in this technical sheet is not intended to be exhaustive and any person, using the product for any purpose other than that specifically recommended in this sheet without first obtaining written confirmation from us to the suitability of the product for the intended purpose, does so at his own risk. While we endeavour to ensure that all advice we give about the product is correct, we have no control over either the quality or condition of the substrate or the many factors affecting the use and application of the product. Therefore, unless we specifically agree in writing to do so, we do not accept any liability whatsoever or howsoever arising for the performance of the product or for any loss or damage arising out of the use of the product. The information contained in this sheet is liable to modification from time to time in the light of experience and our policy of continuous product development.



Luisago, Février 2011

**Objet: déclaration ÖKO-TEX Standard 100**

Comme suite à votre demande concernant la compatibilité de notre produit

Digistar Pes HD One, série

avec la législation en question, nous vous précisons ce qui suit:

Les substances dangereuses que peuvent contenir nos produits, conditionnés dans leurs emballages d'origine intacts, sont clairement indiquées au point 3 des fiches de sécurité relatives.

La législation ÖKO-TEX se réfère à des produits manufacturés finis et non aux divers composants qui entrent dans leur fabrication. Elle indique, en fonction de l'emploi du produit manufacturé en question (vêtement pour nouveaux-nés, ameublement, etc.) les solidités minimales et, pour une série de substances, les concentrations maximales admissibles. Il ne s'agit donc pas d'appliquer la norme à chaque composant du produit fini, par exemple à la seule finition.

Nous pouvons déclarer que le produit que vous avez acheté, dans son emballage d'origine intact, est caractérisé par l'absence de métaux lourds, de colorants azoïques susceptibles de laisser des amines aromatiques, de colorants cancérigènes ou allergènes, de pesticides, de retardateurs de flamme et de phthalates interdits par ladite législation, de benzènes, de phénols et toluènes chlorés, de composés organostanniques et de formaldéhyde

Restant à votre disposition pour tout complément d'informations, nous vous prions d'agréer nos respectueuses salutations.

Kiian S.p.a.  
Service Sécurité  
Sara Dominioni

**KIIAN S.p.A.**  
Via A. De Gasperi, 1  
22070 Luisago (Como) Italy  
Tel. +39 031 9090111  
Fax +39 031 920505  
info@kiian.it  
www.kiian.it

Codice Fiscale e Partita IVA: 02917630135  
CCIAA CO 285771  
Capitale Sociale I.v. € 1.000.000,00

Direzione  
Tel. +39 031 9090130  
Fax +39 031 9090168

Amministrazione  
Tel. +39 031 9090111  
Fax +39 031 9090102

Ufficio Acquisti  
Tel. +39 031 9090159  
Fax +39 031 921150



Luisago, Février 2011

**Objet.: Déclaration**

Suite à votre demande, nous déclarons ci-dessous pour notre produit:

DIGISTAR PES HD ONE

- Nous avons reçu la confirmation de pré-enregistrement, selon le Règlement REACH par les fournisseurs de matières premières employées dans nos produits.
- Dans leur emballage original, pas endommagé, ils ne contiennent pas les substances indiqués dans l'Annexe XVII du Règlement Reach.
- Dans leur emballage original, pas endommagé, ils ne contiennent pas de substances SVHC (Substances of Very High Concern) indiqués dans les tableaux ECHA. Cette déclaration se réfère à la dernière mise à jour ECHA du 15/12/2010.

Ce document ne remplace pas l'analyse de laboratoire: elle reste le seul indicateur valable et pertinent de la réelle concentration en ppm des substances mentionnées dans la liste Philips.

Les informations ci-fournies se fondent sur la connaissance théorique de nos produits et des matières premières utilisées.  
Nous sommes à votre disposition pour chaque information supplémentaire.

Meilleures salutations

Kiian S.pA  
Product Safety  
Sara Dominioni

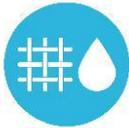
**KIIAN S.p.A.**  
Via A. De Gasperi, 1  
22070 Luisago (Como) Italy  
Tel. +39 031 9090111  
Fax +39 031 920505  
info@kiian.it  
www.kiian.it

Codice Fiscale e Partita IVA: 02917630135  
COIAA CO 285771  
Capitale Sociale i.v. € 1.000.000,00

**Direzione**  
Tel. +39 031 9090130  
Fax +39 031 9090168

**Amministrazione**  
Tel. +39 031 9090111  
Fax +39 031 9090102

**Ufficio Acquisti**  
Tel. +39 031 9090159  
Fax +39 031 921150



## Furniture Soft 220

Furniture Soft, for pillows and furniture covering.

### PROPERTIES

Product reference	<b>F/671-XX-00</b>
Base material	100% Polyester
Weight	220 g/m <sup>2</sup>
Printing method	Sublimation transfer
Available rolls	155 cm x 80 m
USP's	<ul style="list-style-type: none"><li>• Knitted textile with one side brushed</li><li>• High abrasion resistant &gt; 45.000 Martin Dale</li><li>• Very soft hand</li></ul>



**Notice:** TTS' products must be tested to determine the suitability of the product in combination with your equipment and methods of use. TTS maximum obligation shall be to replace any product supplied by TTS, which has been proven to be defective. TTS is not liable for any injury, direct or consequential, arising from the use of, or the inability to use our products.



**Texo Trade Services BV**  
Coenecoop 640  
2741 PV Waddinxveen  
The Netherlands

P.O. Box 205  
2740 AE Waddinxveen  
The Netherlands

T +31 (0) 182 62 39 44  
F +31 (0) 182 62 39 45  
E sales@texo-trade.com  
W www.texo-trade.com



Subject: Supplier's declaration for Reach

Waddinxveen, 08 June 2016

Dear Customer,

With this letter Texo Trade Services BV declares that the manufacturer fulfills the „ ECHA candidate list for SVHC (Substances of Very High Concern) in its actual form.

This declaration references the following product:

Furniture Soft 220  
F671XX00

Best regards,

Texo Trade Services BV  
Director  
Floris Jan van den Heuvel

8/6/2016

Texo Trade Services B.V.  
P.O. box 205  
2740 AE Waddinxveen  
Holland  
Tel. +31 (0)182 62 39 44  
Fax +31 (0)182 62 39 45



Texo Trade Services BV • Coenecoop 640 • 2741 PV Waddinxveen • P.O. Box 205 • 2740 AE Waddinxveen • The Netherlands  
T +31 (0) 182 62 39 44 • F +31 (0) 182 62 39 45 • E sales@texo-trade.com • I www.texo-trade.com

## Annexe 11 : table des illustrations

Figure 1 : endroit du tapis, avant traitement ©Inp/G.Vanneste .....	10
Figure 2 : revers du tapis, avant traitement ©Inp/G.Vanneste .....	10
Figure 3 : détail du champ central du tapis, ©Inp/G.Vanneste.....	12
Figure 4 : Photographie de la page du registre d'inventaire, © archives du musée du quai Branly- Jacques Chirac.....	13
Figure 5 : photographie visible sur la fiche d'œuvre, © musée du quai Branly-Jacques Chirac.....	15
Figure 6: tapis de Pazyryk, Musée de l'Ermitage, Saint-Pétersbourg.....	16
Figure 7 : tapis de Pazyryk, détail .....	16
Figure 8 : tapis turc, XIIIe siècle, Musée d'art turc et islamique, Istanbul .....	17
Figure 9 : principaux centres de production de tapis en Turquie .....	17
Figure 10 : Les Ambassadeurs, Hans Holbein le Jeune, 1533.....	18
Figure 11 : Tapis « Holbein à grands motifs », Museum für Islamische Kunst, Berlin.....	18
Figure 12 : Tapis « Lotto », XVIe siècle, Musée Jacquemart-André, Paris .....	19
Figure 13 : Tapis « Uşak à médaillon », XVIe siècle, Musée des tissus, Lyon.....	19
Figure 14 : Tapis de prière de Kula, <i>Les tapis turcs</i> .....	20
Figure 15 : principaux centres de production de tapis en Turquie, Döşemealtı/Antalya au niveau de la côte sud (zone entourée en bleu).....	21
Figure 16 : tapis Halleli sans mirhab .....	23
Figure 17 : tapis Kocasulu sans mirhab .....	23
Figure 18 : tapis Toplu à double mirhab.....	24
Figure 19 : tapis à double mirhab aux motifs de scorpions.....	24
Figure 20 : tapis Dallı à double mirhab.....	25
Figure 21 : tapis à deux mirhab .....	25
Figure 22 : tapis à mirhab unique .....	26
Figure 23 : tapis conservé au musée du quai Branly-Jacques Chirac ©Inp/G.Vanneste .....	29
Figure 24 : tapis turc, XVII ou XVIIIe siècle, <i>The classical tradition in Anatolian Carpet</i> , p.90.....	30
Figure 25 : adaptation de l'échelle des motifs au champ central des tapis de Döşemealtı, comparaison avec le champ central du tapis du musée du quai Branly-Jacques Chirac (à droite). .....	30
Figure 26 : housse de coussin, XIXe siècle, dans.....	31
Figure 27 : tapis de Döşemealtı, Naprstek Museum, Prague .....	31
Figure 28 : détail, tapis du musée du quai Branly-Jacques Chirac ©Inp/G.Vanneste .....	31
Figure 29 : tapis de Döşemealtı, dans <i>Tapis turcs</i> , Uğur Ayyıldız, p.70 .....	32
Figure 30 : tapis de Döşemealtı, dans <i>Les tapis turcs</i> , Naci Eren, p.69 .....	32
Figure 31 : tapis de Döşemealtı, XIXe siècle, musée d'Antalya, dans <i>Turkish Handwoven Carpets</i> ... ..	33
Figure 32 : noms des motifs, dans <i>Turkish Handwoven Carpets</i> .....	33
Figure 33 : tapis de Döşemealtı, XIXe siècle, dans <i>Turkish Handwoven Carpets</i> .....	34
Figure 34 : tapis Halleli de Döşemealtı, XIXe siècle, collection privée .....	34

Figure 35 : Les métiers verticaux : le métier à ensouples fixes (a), le métier de Tabriz (b), le métier à ensouple inférieure rotative (c), le métier à ensouples mobiles (d).....	36
Figure 36 : Le métier à tisser de type « Istar », utilisé dans la région Döşemealtı/Antalya, dessin de Naci Eren.....	36
Figure 37 : Montage de la chaîne, Tapis turcs, Uğur Ayyıldız .....	37
Figure 38 : De gauche à droite et de haut en bas : les nœuds sont tassés à l'aide du peigne, les brins d'un nœud sont coupés au couteau, le velours est égalisé aux ciseaux, la trame est passée à l'aide d'une navette. ....	38
Figure 39 : En bas à droite, le petit couteau appelé « yün bıçağı » en turc, en haut, les ciseaux à tapis (« halı makası »), et trois différents types de peignes (« kirkit »). ....	38
Figure 40 : « Lazy lines au revers d'un tapis ».....	39
Figure 41 : Nœud symétrique réalisé avec un fil continu (en haut) et avec des brins pré-coupés (en bas). Note : une fois que les brins sont coupés, il n'est pas possible de savoir si les nœuds ont été réalisés avec un fil continu ou des brins pré-coupés. ....	40
Figure 42 : Nœud asymétrique réalisé avec un fil continu (en haut) et avec des brins pré-coupés .....	40
Figure 43 : Nœud dit espagnol.....	41
Figure 44 : Vue générale schématique de l'aspect d'un tapis noué: les nœuds au centre (flèches rouges), séparés par des passées de trame (flèches jaunes), qui constituent également les lisières en entourant les fils de chaîne (flèches bleues). ....	41
Figure 45 : Les nœuds sont inclinés vers le bas et se recouvrent légèrement les uns sur les autres. En dessous, les trames sont invisibles (endroit du tapis, zone où les nœuds sont usés ce qui permet de voir la base du nœud). © Inp/L.Metatla .....	41
Figure 46 : Différentes façons de réaliser les lisières : la trame du tapis est utilisée (flèches rouges), une trame supplémentaire est utilisée (flèche bleue), lisière recouverte par un fil plus solide (flèche jaune). ....	43
Figure 47 : Différentes manières de réaliser les franges .....	43
Figure 48 : « Fillette de Döşemealtı, filant à la main » .....	43
Figure 49 : Dessin de Naci Eren : 3a : kirman, c : fil enroulé sur le kirman, 3b : iğ .....	44
Figure 50 : dessins de Naci Eren, bobine (gauche) et rouet (droite). ....	44
Figure 51 : torsions S et Z .....	45
Figure 52 : Bord supérieur, revers : deux passées de trame rosée visibles entre chaque rangée de nœuds (marron, rouge et bleu), observation à la loupe binoculaire. ©Inp/L.Metatla .....	48
Figure 53 : Bordure inférieure, différence de niveau entre le marron et les autres couleurs. ©Inp/L.Metatla .....	48
Figure 54 : cartographie des couleurs de trame, revers du tapis. ©Inp/L.Metatla .....	49
Figure 55 : Lisière ou « argatch » en huit : technique de réalisation la plus courante (a), résultat (b), variante (c) d'après Collingwood. ....	50
Figure 56 : détail d'un tapis « Lotto » .....	51
Figure 57 : Au niveau des angles des bordures (ici coin supérieur gauche), le motif ne « tourne » pas convenablement. ©Inp/L.Metatla.....	55

Figure 58 : Phénomène d'« abrash » visible au niveau du bleu. ©Inp/L.Metatla .....	55
Figure 59 : lacunes en partie supérieure, bord droit. ©Inp/L.Metatla .....	57
Figure 60 : Les ondulations sur les côtés sont particulièrement visibles en lumière rasante. ©Inp/G. Vanneste.....	58
Figure 61 : Lacunes en partie supérieure. ©Inp/G. Vanneste .....	59
Figure 62 : Bords d'une lacune avec fils de trame rouges laissés libres, haut du champ central. ©Inp/G. Vanneste .....	59
Figure 63 : Usure du poil, base des nœuds visible ainsi que la trame rosée par endroits entre les nœuds bleus, milieu du champ central. ©Inp/G. Vanneste .....	60
Figure 64 : Lacunes de nœuds, chaîne et trame encore présentes, partie supérieure côté droit du champ central. ©Inp/G. Vanneste .....	60
Figure 65 : Éléments désolidarisés fournis à part par le musée du quai Branly-Jacques Chirac, et conservés dans un sac Minigrip®.©Inp/L.Metatla .....	60
Figure 66 : Lacune dans les franges, chaînette défaite et rompue, bord supérieur. ©Inp/L.Metatla ....	61
Figure 67 : Lacunes de la laine bordeaux qui entoure le cordon tressé (à gauche) et lacunes du cordon tressé (à droite), coin supérieur droit. ©Inp/L.Metatla .....	61
Figure 68 : Relevé des altérations mécaniques. ©Inp/L.Metatla.....	62
Figure 69 : relevé des usures des nœuds. ©Inp/L.Metatla .....	63
Figure 70 : fil de trame beige qui apparaît rose au cœur du fil, observation à la loupe binoculaire, partie supérieure. ©Inp/L.Metatla .....	64
Figure 71 : Légère couleur rose sur les nœuds beiges, milieu du bord droit. ©Inp/L.Metatla .....	65
Figure 72 : Fils de chaîne rosés au niveau des franges, bord inférieur côté droit. ©Inp/L.Metatla.....	65
Figure 73 : relevé des zones de décoloration du rouge. ©Inp/L.Metatla .....	66
Figure 74 : Restes de cocons de mites, partie supérieure, observation à la loupe binoculaire. ©Inp/L.Metatla .....	67
Figure 75 : Déjections de mites, partie supérieure, observation à la loupe binoculaire. ©Inp/L.Metatla .....	67
Figure 76 : Schéma présentant le tapis auquel on a rajouté les éléments manquants fictifs (en couleur), en se basant sur les éléments existants. ©Inp/L.Metatla.....	68
Figure 77 : Couture de réparation fixant les nœuds, bord inférieur au revers. ©Inp/L.Metatla.....	69
Figure 78 : Coin inférieur gauche, revers, franges rajoutées fixées par un fil gris. ©Inp/L.Metatla .....	69
Figure 79 : fils de chaîne d'origine, bord inférieur. ©Inp/L.Metatla.....	69
Figure 80 : franges rajoutées, bord inférieur. ©Inp/L.Metatla.....	69
Figure 81 : Le nœud du départ de la chaînette est fixé dans la lisière. ©Inp/L.Metatla.....	70
Figure 82 : Bord supérieur, chaînette sur les fils de chaîne maintenant les nœuds, franges formées des fils de chaîne. ©Inp/L.Metatla .....	70
Figure 83 : réalisation de la chaînette, d'après <i>Réparez vos tapis</i> . .....	71
Figure 84 : Bord droit, partie supérieure : lisière constituée d'un cordon tressé de coton plié en deux et entouré de laine bordeaux, cousu au bord du tapis avec un fil double bleu-gris. ©Inp/L.Metatla .....	71

Figure 85 : Technique de réparation : remplacement de la laine sur le cordon, d'après <i>Réparez vos tapis</i> .	71
Figure 86 : Bord droit, revers : fil de couture gris qui fixe la lisière au tapis. ©Inp/L.Metatla	72
Figure 87 : Bord droit, revers : fils de trame coupés. ©Inp/L.Metatla	72
Figure 88 : Zone retissée bord droit, revers (à gauche) et endroit (à droite). ©Inp/L.Metatla	72
Figure 89 : Zone retissée, bord gauche, revers (à gauche) et endroit (à droite). ©Inp/L.Metatla	73
Figure 90 : Détail au revers : le fil de réparation gris/mauve doublé sert de fil de chaîne pour les retissages. ©Inp/L.Metatla	73
Figure 91 : relevé des zones de retissage/renouage. ©Inp/L.Metatla	74
Figure 92 : simulation de différentes couleurs de tissu de support (rouge, bleu-vert, beige et marron), réalisée sur Photoshop à partir des couleurs réelles du tapis. ©Inp/L.Metatla	80
Figure 93 : impression d'échantillons à la Plateforme eMODE (Cholet). ©Inp/C.Coutand	82
Figure 94: simulation du comblement de la lacune par un tissu de support de couleur unie (beige). ©Inp/L.Metatla	83
Figure 95 : fac-similé de la couverture de cheval en exposition, © Mucem	85
Figure 96 : détail, suaire de l'abbaye de Cadouin	85
Figure 97 : fac-similé d'un textile de l'abbaye de Conques (image Christine Schweizer)	85
Figure 98 : villa Büel (Suisse), le panneau situé le plus à droite, dans la cage d'escalier, est une copie imprimée. © K.v.Lerber	86
Figure 99 : Diorama « La Visite à l'accouchée », © Museon Arlaten	86
Figure 100 : gant avant et après traitement (image des auteurs)	87
Figure 101 : lit de la reine Anne, Hampton Court (image des auteurs)	88
Figure 102 : lacunes au niveau du coin supérieur gauche et du coin inférieur droit comblées par impression jet d'encre sur une toile de lin. La restitution est volontairement plus claire que l'original. ©Inp/L.Metatla	88
Figure 103 : Machine TX2 du constructeur japonais Mimaki, Plateforme eMODE, Cholet. ©Inp/L.Metatla	90
Figure 104 : Machine Dream du constructeur Reggiani	91
Figure 105 : machine GT361 du constructeur Brother pour un seul tee-shirt, Plateforme eMODE, Cholet. ©Inp/L.Metatla	91
Figure 106 : machine pour tapis ChromoJET du constructeur Zimmer	92
Figure 107 : schéma de composition de l'encre Helizarin EVO	95
Figure 108 : les différentes possibilités selon le nombre de pixels et de bits	96
Figure 109 : diagramme de chromaticité de l'espace xyY	97
Figure 110 : espace CIE Lab	97
Figure 111 : le système additif RVB	97
Figure 112 : le système soustractif CMJ	98
Figure 113 : chaîne de gestion de la couleur, depuis le capteur de l'appareil photo (APN) jusqu'à l'imprimante	99
Figure 114 : étapes de la reconstitution des motifs sur Photoshop. ©Inp/L.Metatla	102

Figure 115 : Essais sur le velours 70% polyester et 30% coton : comparaison entre « catégorie 4 » (bande de gauche) et « catégorie 1 » (bande de droite). L'ensemble de la lacune est imprimé en « catégorie 1 ». ©Inp/L.Metatla .....	104
Figure 116 : Mise en situation sous le tapis de l'essai sur le velours 100% polyester (en « catégorie 1 ») : les couleurs de l'impression sont plus claires et plus vives que celles du tapis. ©Inp/L.Metatla ..	104
Figure 117 : vitrine de la Plateforme eMODE, lycée de la mode, Cholet. © C.Coutand.....	104
Figure 118 : comparaison des échantillons et des fragments du tapis dans la boîte à lumière. © C.Coutand.....	106
Figure 119 : Comparaison des modes de rendu « photographie » (en haut) et « compensation du point noir » (en bas) sur les deux velours de coton (Pierre Frey et Lelièvre) : aucune différence perceptible entre les deux velours. © Inp/L.Metatla .....	108
Figure 120 : essai d'impression de l'ensemble du fichier avec les colorants réactifs sur coton. © Inp/L.Metatla .....	109
Figure 121 : impression du papier transfert, imprimante JV22, Plateforme eMODE. ©Inp/L.Metatla	110
Figure 122 : tissu en polyester et papier transfert au sortir de la calandre, Plateforme eMODE.....	110
Figure 123 : Comparaison des deux environnements d'impression et leurs cinq intentions de rendu, sur le tissu de polyester appartenant à la plateforme (Texo-trade). À gauche, l'environnement d'impression « Mimaki JV22 8C 720 2015 », qui a une meilleure résolution (720 dpi) et à droite, l'environnement « Mimaki JV22 6C 360x540 JK 2014 », dont la résolution est un peu plus faible (360 x 540 dpi). © Inp/L.Metatla .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure 124 : Comparaison des intentions de rendu « compensation du point noir » et « photographie » sur les deux velours de polyester (Pierre Frey et Lelièvre) : aucune différence perceptible entre les deux velours. © Inp/L.Metatla .....	112
Figure 125 : Reconstitution imprimée par sublimation sur le tissu eMODE en polyester avec le mode « compensation du point noir » : le rouge ne paraît pas assez orangé, le marron tire un peu vers le vert, le bleu clair est trop clair. © Inp/L.Metatla .....	112
Figure 126 : échantillons de velours de polyester (Lelièvre, Pierre Frey et Texo-trade) imprimés avec les colorants dispersés sublimables, après vieillissement à la lumière artificielle. La partie exposée à la lumière est située au-dessus de la ligne pointillée, sur chaque échantillon. © Inp/L.Metatla .....	116
Figure 127 : mesures de colorimétrie réalisées à l'INP sur les échantillons avant vieillissement.....	116
Figure 128 : échantillons immergés dans le bac de lavage (à gauche), échantillons et buvards après séchage (à droite). © Inp/L.Metatla .....	117
Figure 129 : consolidation en cours, atelier textile. © Inp/L.Metatla .....	119
Figure 130 : Mise en place des nouveaux fils de chaîne et reconstitution du velours, dans <i>Réparez vos tapis</i> .....	121
Figure 131 : Remplacement des franges, dans <i>Réparez vos tapis</i> .....	122
Figure 132 : point de chaînette pour maintenir les nœuds, dans <i>Réparez vos tapis</i> .....	122
Figure 133 : Point de chaînette réalisé sur les franges, bord supérieur. © Inp/L.Metatla .....	122
Figure 134 : remplacement de la laine des lisières, dans <i>Réparez vos tapis</i> .....	123

Figure 135 : bord droit, lisière refaite en utilisant un cordon tressé en coton, plié en deux et recouvert de laine bordeaux. © Inp/L.Metatla .....	123
Figure 136 : lacune comblée par un morceau de toile peinte qui reproduit le dessin manquant. ©Patricia Dal-Prà.....	123
Figure 137 : morceau de toile peinte retiré lors de la restauration. ©Patricia Dal-Prà.....	123
Figure 138 : zone avant traitement, avec une pièce unie fixée au revers, et après avec la pièce tissée, p.22.....	125
Figure 139 : zone du bas de la palmette tissée à part et incrustée, soutenue par une pièce de tissu de support.....	125
Figure 140 : pièce de support en lin sur laquelle sont cousues des "fausses chaînes", ensuite brodées avec de la laine pour recréer le dessin.....	126
Figure 141 : un cocon de mite entre les nœuds du tapis est retiré à la pince puis aspiré. © Inp/L.Metatla .....	129
Figure 142 : Lacune consolidée sur une petite pièce rouge. © Inp/L.Metatla .....	130
Figure 143 : lacune consolidée sur une petite pièce marron. © Inp/L.Metatla .....	130
Figure 144 : schéma en coupe du placement des pièces de support pour la consolidation. © Inp/L.Metatla .....	130
Figure 145 : consolidation en cours. © Inp/L.Metatla .....	131
Figure 146 : point de Boulogne (à gauche) et point droit (à droite), LANDI, 1992, p. 117.....	131
Figure 147 : localisation des pièces de tissu de support, des lignes de point droit et des points de restauration. © Inp/L.Metatla .....	132
Figure 148 : les nœuds sont écartés à l'aide d'une pince pour permettre le passage du fil. © Inp/L.Metatla .....	133
Figure 149 : schéma du point de restauration réalisé tous les deux nœuds. Les nœuds fragiles en bordure de lacune sont maintenus par une bride plus large. ....	133
Figure 150 : schéma du point de chausson pour les ourlets, LANDI, 1992, p.119.....	135
Figure 151 : carton de la zone manquante à reproduire, chaque carré représente un nœud. © Inp/L.Metatla .....	136
Figure 152: schéma du nœud symétrique réalisé sur les fils du canevas pris deux à deux.....	136
Figure 153 : formation des nœuds à l'aiguille sur le canevas tendu sur un métier à broder, en suivant le carton. © Inp/L.Metatla .....	136
Figure 154 : les boucles des nœuds sont coupées, formation et égalisation du poil. © Inp/L.Metatla	137
Figure 155 : les fils du canevas sont tassés, réduction de la hauteur du motif. © Inp/L.Metatla .....	137
Figure 156 : pièce réalisée placée en situation sur le tapis, le motif est complété et la hauteur du poil restituée. Note : la couleur du fond bleu-vert, autour du motif principal, pourrait encore être améliorée. © Inp/L.Metatla .....	137
Figure 157 : point de surjet, Landi 1998.....	139
Figure 158 : le tissu imprimé est placé, épinglé et découpé à la forme exacte de la lacune. © Inp/L.Metatla .....	140

Figure 159 : les bords du tissu imprimé sont dissimulés sous les extrémités des nœuds et cousus avec un fil d'organsin de soie. © Inp/L.Metatla .....	140
Figure 160 : lacune après consolidation sur le support en lin. © Inp/L.Metatla .....	140
Figure 161 : lacune après réintégration. © Inp/L.Metatla .....	140
Figure 162 : le cordon rompu est fixé par couture sur le support en lin. © Inp/L.Metatla .....	141
Figure 163 : la partie manquante du cordon externe est restituée avec de la laine. © Inp/L.Metatla .....	141
Figure 164 : chaînette défaits et lacune, avant refixage. © Inp/G.Vanneste .....	142
Figure 165 : fils et chaînette refixée, après réintégration de la lacune. © Inp/L.Metatla .....	142
Figure 166 : schéma du point de feston, Landi, 1992, p.117 .....	142
Figure 167 : schéma du sens d'enroulement du tapis 71.1973.77.165. Note : le matériau intermédiaire permettant d'isoler la face du revers du tapis (papier de soie sans acide ou toile de coton) n'est pas représenté ici. ....	146
Figure 168 : tapis conservés roulés, meuble à rouleaux, Weltmuseum (Vienne, Autriche) .....	146
Figure 169 : Tapis d'Ardabil (Iran, 1540) exposé à plat, Victoria and Albert Museum, Londres, ©Peter Kelleher.....	147
Figure 170 : simulation de l'éclairage avec le tapis à plat. © Inp/L.Metatla .....	148
Figure 171 : simulation de l'éclairage avec le tapis sur plan incliné. © Inp/L.Metatla .....	148
Figure 172 : point de chaînette, LANDI, 1998 .....	150
Figure 173 : point de chausson, LANDI, 1998 .....	150
Figure 174 : point droit, LANDI, 1998 .....	150
Figure 175 : point de feston, LANDI, 1998 .....	151
Figure 176 : technique du kilim, SHERILL, 1995 .....	152
Figure 177 : tracé technique du natté, CIETA, 1979 .....	153
Figure 178 : point de Boulogne, LANDI, 1998.....	153
Figure 179 : méthode du rechaînage, LANDI, 1998.....	154
Figure 180 : tracé technique du reps, CIETA, 1979 .....	155
Figure 181 : point de surjet, LANDI, 1998 .....	155
Figure 182 : tracé technique de la toile, CIETA, 1979 .....	156
Figure 183 : face du tapis après restauration.....	162
Figure 184 : revers du tapis après restauration.....	163
Figure 185 : cartographie des prélèvements pour les analyses de fibres. © Inp/L.Metatla .....	164

## RESUME EN FRANÇAIS ET EN ANGLAIS

Ce mémoire est consacré à l'étude et la conservation-restauration d'un tapis noué en laine, daté de la fin du XIXe siècle, provenant de la région de Döşemealtı/Antalya, au sud de la Turquie. Ce tapis a été donné au Musée de l'Homme par le gouvernement turc en 1973, et fait partie des collections du musée du quai Branly-Jacques Chirac (Paris) depuis 2006. Le tapis présente une grande lacune en partie supérieure, qui provoque une rupture dans la lecture des motifs. C'est pourquoi nous avons orienté notre étude technico-scientifique vers l'impression jet d'encre sur textile comme méthode novatrice de réintégration. Nous avons expérimenté différents types d'encres sur différents supports, et réalisé des tests de solidité à la lumière et à l'eau, afin de confirmer leur adéquation avec les exigences de la conservation-restauration. Les interventions principales réalisées sur le tapis sont principalement la consolidation de la partie supérieure, et le comblement de la lacune principale par impression jet d'encre sur polyester. Ce traitement permet de retrouver la lisibilité et une meilleure compréhension des motifs de l'œuvre.

This thesis is about the conservation of a knotted wool carpet dated from the end of the 19<sup>th</sup> century and produced in Döşemealtı/Antalya area, in the south of Turkey. This carpet was given by the Turkish government to the Musée de l'Homme in 1973 and has been conserved at the musée du quai Branly-Jacques Chirac (Paris) since 2006. An important loss is located in the upper part of the carpet, disrupting the original design. Therefore the technical study focuses on an innovative inkjet printing technique to reintegrate this loss. Different inks and fabrics combination were tested. The light and wet fastness of the chosen combination were evaluated, to confirm the compatibility with conservation requirements. The conservation treatment consisted mainly in consolidating the upper part and handling the digital infill of the missing area, which enable a better legibility and comprehension of the design.