



**HAL**  
open science

# Le zip : étude d'un produit graphique et élaboration de protocoles de traitements pour sa conservation-restauration

Marion Cinqualbre

## ► To cite this version:

Marion Cinqualbre. Le zip : étude d'un produit graphique et élaboration de protocoles de traitements pour sa conservation-restauration. Sciences de l'Homme et Société. Cergy Paris CY Université, 2023. Français. NNT : 2023CYUN1193 . tel-04607074

**HAL Id: tel-04607074**

**<https://theses.hal.science/tel-04607074v1>**

Submitted on 10 Jun 2024

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



## CY CERGY PARIS UNIVERSITE

### Thèse de doctorat pour l'obtention du titre de DOCTEUR EN PATRIMOINE, CONSERVATION-RESTAURATION

délivrée par

CY Cergy Paris Université  
École doctorale n°628  
Arts, Humanités et Sciences sociales

et réalisée dans le cadre de l'EUR Humanités, Création, Patrimoine

*Ce doctorat « par le projet » — Project-led PhD — a été mené dans le cadre d'un programme d'aide de l'État géré par l'Agence Nationale de la Recherche au titre du programme d'investissements d'avenir intégré à France 2030, portant la référence ANR-17-EURE-0021*

à

**Marion CINQUALBRE**

### **Le zip : étude d'un produit graphique et élaboration de protocoles de traitements pour sa conservation-restauration**

Sous la direction de **Monsieur le Professeur François Pernot**,  
Directeur de l'École Universitaire de Recherche Humanités, Création, Patrimoine,  
CY Cergy Paris Université

Encadrée par **Mme Maroussia Duranton**, Centre de recherche et de restauration des musées de France  
**Mme Eleonora Pellizzi**, Bibliothèque nationale de France  
**M. Stéphane Bouvet**, Bibliothèque nationale de France

**Thèse soutenue publiquement le 15 mars 2023**

Jury

- Mme Valeria Duplat**, Conservatrice-restauratrice d'arts graphiques indépendante, examinatrice.
- Mme Maroussia Duranton**, Physico-chimiste, C2RMF, directrice de la thèse.
- M. Richard Klein**, Architecte, Professeur, École nationale supérieure d'architecture et de paysage de Lille, président du jury.
- M. François Pernot**, Professeur, CY Cergy Paris Université, directeur de la thèse.
- M. David Peyceré**, Conservateur en chef du patrimoine, Responsable du centre d'archives d'architecture du XX<sup>e</sup> siècle, Cité de l'architecture et du patrimoine, examinateur de la thèse.
- M. Gilles Ragot**, Historien de l'art, Professeur, l'École nationale supérieure d'architecture et de paysage de Bordeaux, rapporteur de la thèse.
- Mme Rachel Rivenc**, Conservatrice-restauratrice, Docteure, Responsable de la conservation de la collection du Getty Research Institute, Getty Center, examinatrice de la thèse.
- Mme Véronique Rouchon**, Physico-chimiste, Professeur du Muséum national d'Histoire Naturelle, Centre de recherche sur la conservation, CRC, rapporteure de la thèse.



**Cette thèse est réalisée sous la direction de Monsieur François Pernot**, Directeur de l'Ecole Universitaire de Recherche Humanités, Création, Patrimoine, CY Cergy Paris Université

**Encadrée par** Mme Maroussia Duranton, physico-chimiste, Centre de recherche et de restauration des musées de France  
Mme Eleonora Pellizzi, ingénieure de recherche, physico-chimiste, Bibliothèque nationale de France  
M. Stéphane Bouvet, physico-chimiste, Bibliothèque nationale de France

## Partenaires de la recherche



Frédéric Migayrou, directeur du Centre de création industrielle  
Olivier Cinqualbre, conservateur, responsable du service d'architecture  
Valentina Moimas, conservatrice  
Maria Pasvantis, responsable des réserves  
Clotilde Cooper, restauratrice de dessins, service de restauration.



Maroussia Duranton, physico-chimiste au laboratoire de l'INP puis du C2RMF



FONDATION LE CORBUSIER

{ BnF

MoMA



Brigitte Bouvier, directrice de la Fondation Le Corbusier  
Bénédicte Gandini, architecte  
Arnaud Dercelles, Responsable du centre de ressources  
Isabelle Godineau, Responsable des collections et expositions  
Eleonora Pellizzi, ingénieure de recherche, physico-chimiste  
Stéphane Bouvet, physico-chimiste  
Erika Mosier, restauratrice d'œuvres sur papier  
Laura Neufeld, restauratrice d'œuvres sur papier  
Ana Martins, scientifique de la conservation  
Stéphanie Quantin-Biancalani, conservatrice, responsable de la galerie d'architecture moderne et contemporaine

## Mécénats de la recherche



FONDATION  
DES SCIENCES  
DU PATRIMOINE

*Ce travail a bénéficié d'une aide de l'État gérée par l'Agence Nationale de la Recherche au titre du programme d'investissements d'avenir intégré à France 2030, portant la référence ANR-17-EURE-0021- l'Ecole Universitaire de Recherche Paris Seine Humanités, Création, Patrimoine, Investissement d'Avenir – Fondation des sciences du patrimoine.*

Lauréat de l'appel à projet en 2017, renouvelé en 2019



*Cette recherche a été menée avec le soutien à la recherche en restauration et conservation d'œuvres d'art contemporain du Centre national des arts plastiques et l'attribution de vacations de recherche du ministère de la Culture*

Obtenu en 2014, renouvelé en 2015

Vacations de recherche au sein de laboratoire, financées par le ministère de la Culture



Lauréate d'une bourse patrimoine de la Fondation Carnot en 2015



Projet de recherche lauréat de l'appel à projet AAP 2018-1



*A celles qui font de moi  
la restauratrice que je suis.*



## REMERCIEMENTS

---

Cette recherche s'est construite grâce à de nombreux partenaires et soutiens. L'idée de départ était de m'entourer puis - le projet prenant de l'ampleur - de nous entourer de personnes dont l'approche professionnelle et le tempérament semblaient en adéquation avec la « personnalité » du projet : cette démarche s'est avérée fructueuse.

Ceux qui me connaissent, savent combien je suis bavarde, cependant j'essaierai ici d'être concise.

Tout d'abord, je tiens à remercier Monsieur François Pernot, mon directeur de recherche, d'avoir accepté de m'encadrer dans une discipline qui n'est pas la sienne.

Je vous remercie pour votre disponibilité, pour vos conseils constructifs et pour vous être intéressé de façon enthousiaste au zip, pourtant loin de vos thèmes de recherche.

Je souhaite également exprimer ma profonde gratitude à mes encadrants professionnels : Maroussia Duranton, Eleonora Pellizzi et Stéphane Bouvet. Je les remercie tous les trois pour leur investissement dans ce projet à mes côtés et pendant toutes ces années.

Maroussia, je te remercie pour ton soutien indéfectible tant pour la recherche sur le zip que pour celle des financements, et surtout, merci de me soutenir comme tu le fais et d'avoir réussi à me redonner de l'énergie quand j'étais démotivée.

Eleonora, je voudrais te remercier pour ta compréhension si fine de mes moments d'incompréhension et ta patience tant à expliciter ce qu'est la rigueur scientifique qu'à démêler le « décompte des éprouvettes ».

Stéphane, tu as tout de suite été partant pour l'aventure et ton investissement dans cette recherche sur le zip n'a pas faibli. Ta concision m'a beaucoup aidée à me recentrer, moi qui aime tant les digressions.

J'ai beaucoup apprécié de travailler avec vous et je me suis toujours sentie la bienvenue dans vos laboratoires.

J'adresse toute ma reconnaissance à la Fondation des Sciences du Patrimoine (FSP) et à son directeur général Emmanuel Poirault pour avoir vu dans le projet zip, un projet prometteur et digne de leur confiance. J'ai été heureuse que le projet soit retenu pour le *Techné* célébrant l'anniversaire de la FSP, ce qui manifestait son implication à nos côtés.

Les conditions de réalisation de ce doctorat n'auraient pas été aussi bonnes si je n'avais pas reçu le soutien de l'École universitaire de recherche par un contrat doctoral EUR PSGS HCH.

Je remercie très sincèrement Monsieur Richard Klein d'avoir accepté de présider ce jury, Madame Véronique Rouchon et Monsieur Gilles Ragot d'avoir accepté d'être rapporteurs de cette thèse et Madame Valeria Duplat, Monsieur David Peyceré et Madame Rachel Rivenc d'en être examinateurs. A tous les membres de mon jury, j'adresse mes remerciements pour leur enthousiasme et leur remarques constructives.

Je tiens à remercier l'équipe de l'Université de Cergy et je remercie tout particulièrement Christelle Ventura pour sa bienveillance et son optimisme ainsi qu'Anna Correia pour sa réactivité et sa gentillesse. Je remercie également les référents de la spécialité conservation-restauration Olivier Zeder et Sandie Leconte pour leur écoute patiente des doléances des doctorants.

Mes pensées les plus chaleureuses vont aux équipes des institutions partenaires de cette recherche. Je les remercie tous pour cette précieuse collaboration et pour les échanges stimulants qu'elle a suscités.

Je remercie les équipes du Centre Pompidou, du service d'architecture, du service de restauration et de la bibliothèque Kandinsky, pour leur confiance, leur disponibilité et leur intérêt sans cesse renouvelé pour cette étude : Frédéric Migayrou, Olivier Cinqualbre, Clotilde Cooper, Maria Pasvantis, Valentina Moimas, Jean-Claude Boulet, Didier Schulmann et Nicolas Liucci-Goutnikov.

Je tiens à remercier l'Institut national du patrimoine et sa direction, Philippe Barbat puis Charles Personnaz, d'avoir soutenu le projet. Merci au « terrible labo » et à Sigrid Mirabaud, Anne Genachte-le-Bail et Angèle Dequier, de m'avoir accueillie et intégrée à l'équipe de façon si franche et généreuse, d'avoir partagé leurs expériences, leurs connaissances et leurs inoubliables « *punchlines* ». Je n'oublie pas les stagiaires et vacataires qui ont contribué à ce projet : Jérôme Baudin, Hughes Malservet, Bataille Lemaire et Romain Bouvet. Enfin, je remercie l'équipe de la bibliothèque et Odile Blanc en particulier pour son écoute attentive et sa réactivité.

Je remercie les équipes de la Bibliothèque nationale de France pour leur implication dans la recherche de zip dans leurs collections, Francisca Maria Cabrera, Lucille Dessennes, Nadège Duqueyroi, Guillaume Ladrage, Frédérique Laval, Anne Leblay-Kinoshita et Isabelle Suire. J'adresse une pensée particulière à Émilie Le Bourg. Je remercie la Fondation Le Corbusier et Brigitte Bouvier, sa directrice, qui a renouvelé sa confiance au projet à la suite de Michel Richard, ainsi que l'équipe pour son accueil chaleureux Bénédicte Gandini, Isabelle Godineau et Arnaud Dercelles.

Je remercie les équipes du MoMA de l'intérêt qu'elles ont manifesté pour le projet : Erika Mosier, Laura Neufeld, Ana Martins et Chris McGlinchey, ainsi que Pamela Popeson, Paul Galloway et Karl Buchberg.

Enfin, « *last but not least* », je souhaite remercier la Cité de l'architecture et du patrimoine et Stéphanie Quantin-Biancalani, pour l'enthousiasme et le dynamisme qu'elle a apporté en rejoignant le projet.

Je voudrais exprimer ma profonde reconnaissance aux institutions qui ont soutenu financièrement le projet à ses débuts : le Centre national des arts plastiques et Caroline Bauer, la Fondation Carnot et Monsieur Gaëtan Carnot, le ministère de la Culture et Isabelle Malagoli.

Je tiens à remercier les professionnels, qui m'ont consacré du temps et avec lesquels les échanges ont été très riches. Merci à Marie Poisbelaud et Antonio Mirabile, pour le partage de leurs expériences, de leurs questionnements et pour les dons de matériel et de zip : j'en ferai bonne usage. Merci à Janet Parks de m'avoir ouvert l'accès aux réserves et à la bibliothèque de l'Université de Columbia. Merci à Bill Whitaker d'avoir, après notre entretien, été fouillé les collections dont il a la charge et d'en avoir partagé si généreusement les résultats. Merci à Perry Choe pour l'accès aux collections dont elle a la responsabilité et pour le temps qu'elle a consacré à la recherche du zip. Merci à Ellen Smit, pour nos zooms passionnés et son invitation à la conférence *Disclosing Futures* à Rotterdam. Merci à Éléonore Kissel pour le partage généreux des sources sur les transferts. Merci à Hildegard Homburger, pour sa générosité dans la diffusion de ses connaissances sur le calque. Merci à Afke Weller, pour nos échanges sur les zips dans les collections cinématographiques, ce qui m'a permis sortir des collections d'architecture, que j'aime tant par ailleurs. Merci aux personnes du Getty Center à Los Angeles, qui ont pris le temps d'échanger avec moi sur le projet zip, tant sur le fond que sur la forme, Tom Learner, Maristella Casciatto, Ton Wilmering et Rachel Rivenc. Enfin, je tiens à remercier également le Getty Research Institute de m'avoir donné si spontanément accès à ses ressources.

Au moment de finir cette thèse, j'ai une pensée reconnaissante et émue pour Marie-Christine Enshaian, pour la générosité de son enseignement, son exigence professionnelle, sa curiosité sans limite et son humilité. Je souhaite remercier celles qui perpétuent son enseignement et me permettent d'en profiter, Emmanuelle Hincelin

et Coralie Barbe. Je les remercie pour leurs encouragements, leurs conseils, leur confiance et leur écoute attentive et patiente malgré, parfois, ma tendance à ressasser.

Merci aux doctorants de l'EUR, pour l'émulation, parfois issue d'incompréhensions entre disciplines, et en particulier aux « SWWEUR », à leur soutien et leur entraide : Natacha Frenkel, Emilie Heddebaux, Grazia Nicosia et Juliette Robin Dupire.

Je remercie mes collègues, ils et elles se reconnaîtront, pour leur intérêt et leur réconfort, dans les bons moments comme dans les moins bons, « ça y est, Pierre-Em, c'est fini ».

Enfin, je tiens à remercier mes amis et ma famille (mention spéciale à Alexia), pour l'ensemble de leur œuvre, avec un merci particulier à mes relecteurs déterminés, traqueurs de coquilles et de phrases alambiquées : Daphné, Isabelle, Olivier, Joséphine et Alexia.



Cette recherche de doctorat est dédiée à l'étude de films plastiques auto-adhésifs utilisés dans les dessins d'architecture, que nous regroupons sous l'appellation « zip ». Le zip est importé des Etats-Unis à la fin de la Seconde Guerre Mondiale afin d'accélérer les méthodes de production des documents graphiques dans le contexte de la Reconstruction. Omniprésent dans la pratique des architectes dès les années 1960, il disparaît dans les années 1990 avec l'arrivée des ordinateurs dans les agences. Le zip se caractérise par une surface colorée ou un motif, imprimé à l'encre, sur un support plastique transparent et préencollé avec un adhésif.

La recherche a été initiée suite au constat de l'état préoccupant de ces produits graphiques au sein des collections de dessins d'architecture. Afin de pouvoir établir des protocoles de conservation-restauration adaptés aux problématiques posées par le zip, une étude approfondie des collections est nécessaire. Menée sur les collections de dessins d'architecture, du Musée national d'art moderne – Centre de création industrielle (Mnam-CCI/Centre Pompidou), de la Fondation Le Corbusier (FLC), de la galerie d'architecture moderne et contemporaine de la Cité de l'architecture et du patrimoine et du Museum of Modern Art de New York (MoMA, NYC), elle favorise une compréhension affinée de l'utilisation du zip et de ses dégradations par la réalisation de campagnes de constats d'état. En parallèle de ces évaluations, une étude sur la matérialité de ces composés est engagée. Des zips non usagés sont collectés pour construire une base de référence en vue d'analyses sur les collections nationales. Ces études permettent d'esquisser des conclusions quant au lien entre matérialité et dégradation, qui dans le cas du zip est particulièrement complexe au regard de l'évolution dans le temps des formulations d'adhésifs et de plastiques.

Confrontés à un corpus de dégradations très étendu, le projet se concentre sur les altérations les plus dangereuses qui sont également celles face auxquelles les restaurateurs se trouvent démunis : les soulèvements, les rétractions et les bulles en réseaux. Un protocole expérimental est engagé, en condition d'atelier, sur des éprouvettes dont les dégradations sont modélisées en laboratoire après réalisation de vieillissements artificiels. Un suivi rigoureux permet de valider l'innocuité des traitements sur les matériaux en présence sur le court et le long terme. Afin de se mesurer aux contraintes d'une intervention en conditions réelles, une étude de cas est traitée en respectant la déontologie et le cahier des charges défini en amont.

Mots clés : zip ; film ; plastique ; auto-adhésif ; dessin ; architecture ; soulèvements ; rétraction ; conservation-restauration ; traitement.



## ABSTRACT

---

The present doctoral research is dedicated to the study of pressure-sensitive adhesive plastic films used in architectural drawings, referred to under the name « zip ». Zip is imported from the USA at the end of World War II in the aim of increasing the production means of graphic documents in the context of the Reconstruction. Prevalent in architectural practice from the 1960's onwards, the use of zip gradually vanishes in the 1990's with the advent of computers. Zip is characterised by a coloured surface or a pattern, printed in ink, on a plastic transparent support, coated with an adhesive.

The research was initiated from the observation that these graphic products, present in architectural drawing collections, were in a preoccupying state of conservation. In order to establish conservation treatments adjusted to the necessities of zip films, it was necessary to first study their presence in collections in depth. This was undertaken on the architectural drawing collections of the Musée national d'art moderne – Centre de création industrielle (Mnam-CCI/Centre Pompidou), the Fondation Le Corbusier (FLC), the Cité de l'architecture et du patrimoine and the Museum of Modern Art de New York (MoMA, NYC), and contributed to the understanding of the use of zip and its degradations through documentation in the form of condition reports. As well as these evaluations, a study of the materiality of zip was engaged. Unused zip films were collected in the aim of building a reference base from which to adapt analyses protocols. These investigations lead to the establishment of the link between materiality and degradations, particularly complex in the case of zip, due to the evolution of adhesive and plastic film formulations over time.

Confronted with a wide array of degradations, the project concentrated on the most threatening alterations, posing most problems to conservators: adhesive loss, shrinking, and the creation of a network of bubbles. An experimental protocol was initiated, under studio conditions, on samples which were artificially aged to reproduce those degradations. A careful monitoring of these samples helped verify the innocuity of the treatments in both short and long term. In order to comply with the implications of a real-life treatment, a drawing was treated in a case study, guided by pre-defined ethical considerations and material specifications.

Keywords: zip ; film ; plastic ; pressure-sensitive adhesive ; drawing ; architecture ; adhesion loss ; shrinking ; conservation ; treatment.



<b>Introduction</b> .....	<b>17</b>
<b>1<sup>ère</sup> Partie : ETUDE DU ZIP</b> .....	<b>25</b>
<b>Chapitre 1 : usage et enjeux du zip dans les dessins d'architecture</b> .....	<b>27</b>
I. Le zip : soixante ans dans la vie du dessin d'architecture	
II. Mise en œuvre d'un produit industriel	
III. Questions d'esthétique	
<b>Chapitre 2 : Étude des collections</b> .....	<b>79</b>
I. Méthode de sélection du corpus d'étude	
II. Présentation des dégradations rencontrées dans les collections	
III. Résultats de l'évaluation des collections	
<b>Chapitre 3 : Étude de la matérialité du zip</b> .....	<b>121</b>
I. Méthode d'analyse	
II. Matérialité du zip dans l'échantillonnier	
III. Caractérisation des matériaux patrimoniaux	
<b>2<sup>ème</sup> Partie : ÉLABORATION DE PROTOCOLES DE TRAITEMENT POUR LA CONSERVATION-RESTAURATION DU ZIP</b> .....	<b>159</b>
<b>Chapitre 4 : Définition du projet de conservation-restauration des zips</b> .....	<b>161</b>
I. Réflexions autour de la nécessité d'une intervention	
II. Définition d'un cahier des charges pour le traitement des zips	
<b>Chapitre 5 : Reproduction des phénomènes de dégradations en laboratoire</b> .....	<b>185</b>
I. Vieillissements artificiels	
II. Modélisation des phénomènes de dégradation	
<b>Chapitre 6 : Protocoles de traitement des phénomènes de soulèvement</b> .....	<b>209</b>
I. Dégagement de l'adhésif d'un film auto-adhésif	
II. Application d'un nouvel adhésif	
<b>Chapitre 7 : Protocole de traitements des phénomènes de rétraction</b> .....	<b>293</b>
I. État de l'art	
II. Traitements de « redimensionnement »	
III. Traitement de remise à plat	
<b>Chapitre 8 : Étude de cas</b> .....	<b>333</b>
I. Présentation du dessin et de ses altérations	
II. Traitement de conservation-restauration	
III. Perspectives d'intervention	
<b>Conclusion</b> .....	<b>357</b>
<b>Annexes</b> .....	<b>363</b>
<b>Sources</b> .....	<b>395</b>
<b>Corpus d'étude</b> .....	<b>401</b>
<b>Bibliographie</b> .....	<b>413</b>
<b>Tables des illustrations</b> .....	<b>423</b>
<b>Table des matières</b> .....	<b>435</b>



## INTRODUCTION

---

Cette recherche a débuté en février 2014, lors d'une visite de l'atelier de restauration intégré aux réserves de la collection d'architecture du Musée national d'art moderne – Centre de création industriel, Mnam-CCI, dans les sous-sols du Centre Pompidou. Des dessins de la collection dans un état de conservation jugé préoccupant nécessitaient une intervention. Cependant, ni la restauratrice dédiée à cette collection, ni les restaurateurs extérieurs n'envisageaient de restauration en raison de l'apparente complexité de la technologie des dessins et de l'aspect des dégradations. Pourquoi faire alors appel à une restauratrice jeune diplômée ? En raison de l'expérience acquise lors de mon mémoire de fin d'étude à l'Institut national du patrimoine, INP, sur une maquette d'affiche couverte d'un film de plastique transparent<sup>1</sup>. En effet, les zones posant des problèmes sur les dessins du Centre Pompidou, sont couvertes de film plastiques. Mais à première vue, rien de comparable avec le film de l'affiche : ces films sont collés en plein, ils sont imprimés de motifs à l'encre, ils ne sont pas tous brillants... Le premier réflexe est de se tourner alors vers la littérature. Mais, dans un premier temps, je ne trouve rien : ni livre, ni article consacré à cette technique qui m'est présentée par l'équipe responsable de la collection d'architecture comme du « zip » ; pas plus de succès, parmi les ouvrages relatifs à la restauration. Ce vide pique ma curiosité et comme le dit Lois Olcott Price, cette recherche « *began quite innocently with a search for information that was not there* »<sup>2</sup>. Le projet zip est alors lancé avec le soutien du Centre national des Arts Plastiques en octobre 2014 et la confiance du Centre Pompidou et du laboratoire de l'INP.

*Zip* et *zipaton* sont des appellations d'usage utilisées par les architectes pour désigner un certain produit graphique<sup>3</sup>. Ce surnom est formé à partir du nom, francisé et raccourci, de la marque Zip-a-Tone™<sup>4</sup>, créatrice et pionnière dans sa commercialisation. Il est possible de trouver comme définition :

« Zip n.m. Terme d'agences professionnelles et d'écoles pour les adhésifs utilisés dans le dessin. On les désigne également par le nom Zipaton ou par celui de leur principal fabricant, Letraset, qui propose toute une gamme de lettres, de personnages et d'éléments du second œuvre (évier, baignoires...) ainsi que différentes couleurs et trames (points, hachures...) qui, collées ou transférées sur le papier ou le calque, remplacent le lavis ou l'aquarelle. »<sup>5</sup>

Cette définition donne des bases mais induit également beaucoup d'imprécisions. Le zip est un film de plastique auto-adhésif pré-imprimé d'un motif ou d'une couleur unie et utilisé sur des dessins d'architecture produits dans la deuxième moitié du XX<sup>e</sup> siècle.

Le surnom de zip est utilisé d'une part pour sa brièveté, et d'autre part comme le nom d'un système unique à composante multiple. En effet, l'appellation zip regroupe des réalités diverses qui comprennent les caractéristiques suivantes :

- Les films peuvent être imprimés d'une couche d'encre discontinue laissant apparaître des motifs ou d'une couche d'encre colorée d'un seul tenant et lisse, donnant une surface unie. L'impression peut

---

<sup>1</sup> CINQUALBRE Marion, « *Taper l'œil comme un coup de poing* ». *Etude et conservation-restauration de deux maquettes d'affiches de Tomi Ungerer (Peace Corps, 1967 et Saci, 1968), Musée Tomi Ungerer, Strasbourg. Problèmes de réintégration : intervention sur les lacunes d'un film plastique brillant et d'un dessin coloré*, Mémoire de fin d'études, Paris : Institut national du patrimoine, 2012.

<sup>2</sup> Cette recherche « commença innocemment par la recherche d'information qui n'était pas là » [traduction par l'auteure. Sauf indication contraire cela vaut pour toutes les traductions dans le texte]. PRICE Lois Olcott, *Line, Shade, Shadow: the fabrication and preservation of architectural drawings*, New Castle : Oak Knoll Press, 2014, 384 p., p. XV.

<sup>3</sup> CHATELET Anne-Marie (dir.), DIENER Amandine (dir.), DUMONT Marie-Jeanne (dir.), et al. *L'architecture en ses écoles, Une encyclopédie de l'enseignement de l'architecture au XX<sup>e</sup> siècle*, Châteaulin : Editions Locus Solus, 2022, p.316-319.

<sup>4</sup> Marque américaine, créée le 14 novembre 1942 par Havy Q.R. Crowder, enregistrement U.S.P.O. 456 830.

<sup>5</sup> CELESTE Patrick, « Vocabulaire traditionnel des dessins d'architecture », dans DETHIER Jean (dir.), *Images et imaginaires d'architecture, dessin, peinture, photographie, arts graphiques, théâtre, cinéma en Europe aux XIX<sup>e</sup> et XX<sup>e</sup> siècles*, catalogue exposition, Paris : Centre Georges Pompidou, 1984, 434 p., p. 158.

être localisée sur la face extérieure ou sur la face intérieure, entre le film et l'adhésif. Aucun cas de film teinté dans la masse n'a été rencontré à ce jour.

- Le film plastique est transparent, parfois clair, parfois sans teinte. C'est un film particulièrement fin. Suivant les produits, il peut être d'aspect mat, satiné ou brillant.
- La face intérieure (imprimée ou non) est recouverte d'une fine couche d'adhésif transparent.
- Enfin, les films sont toujours positionnés sur un support, que ce soit leur papier de support d'origine, une feuille de papier de protection recouverte d'une matière antiadhésive, ou leur support de destination.

Pour des questions de standardisation et de systématisme dans les appellations, nous avons opté pour une nomenclature simplifiée : le film imprimé, l'adhésif et le support (Figure 1).

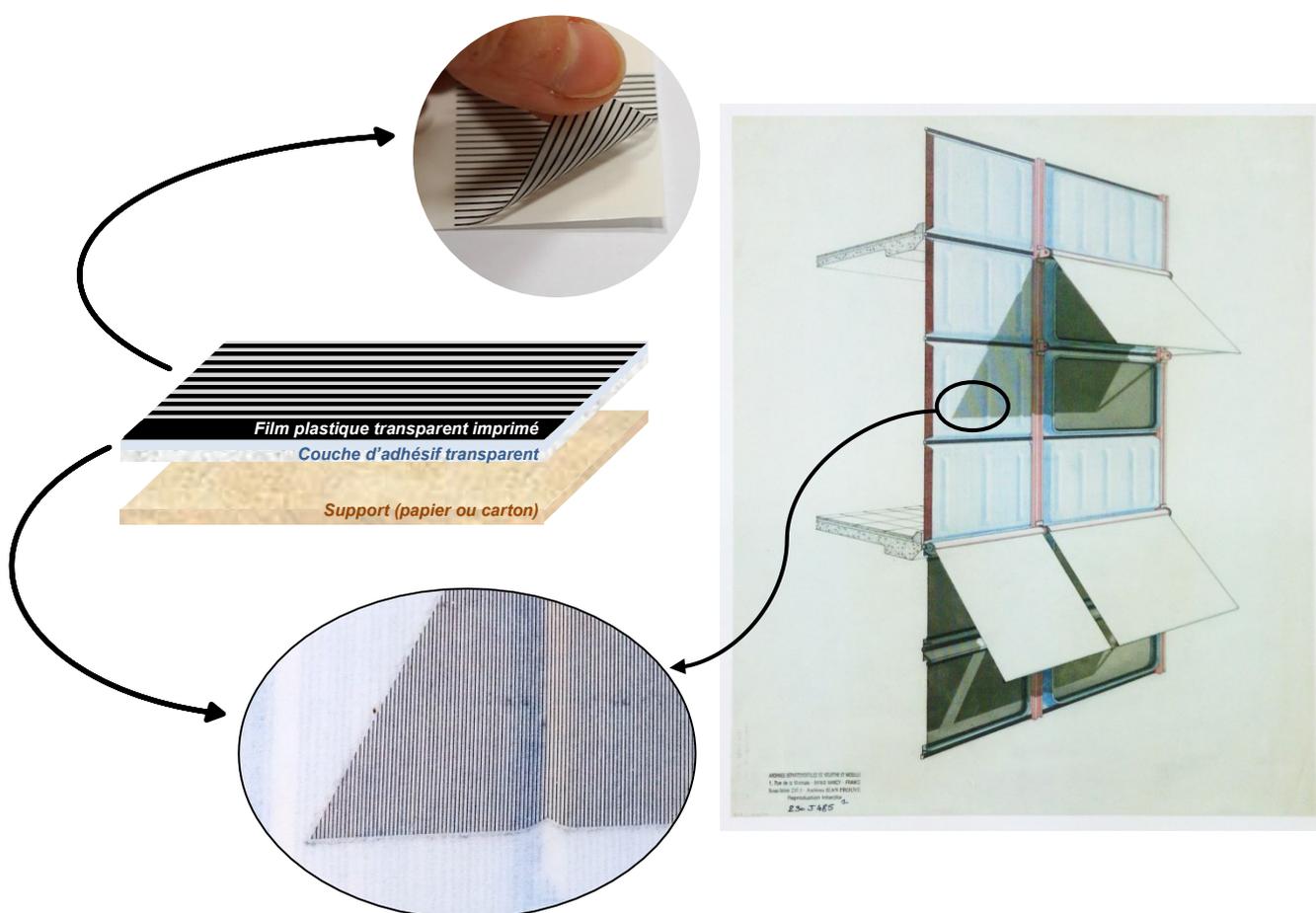


Figure 1 : Stratigraphie du système zip et illustration de son usage sur un dessin de Jean Prouvé, AM 2006-2-228.

©M.Cinquandre/CentrePompidou

Le zip présente un motif ou un aplat qui apporte texture, valeur ou couleur au dessin sur lequel il est appliqué ; il fait donc partie du dessin au même titre qu'un lavis ou des hachures réalisées à l'encre, comme le mentionne la définition du catalogue du Centre Pompidou. Son caractère industrialisé, « prêt à l'emploi », peut induire une ambivalence dans la compréhension de son usage : il est à la fois outil et résultat. Outil en ce sens qu'il remplit une surface, qu'il apporte une texture à une zone vierge mais laissé en place après la mise en œuvre car il est lui-même le vecteur de la texture ou de la couleur. Il est produit industriellement en quantité, avec un processus

d'impression standardisé et c'est précisément pour cette raison qu'il devient un outil courant dans les cabinets d'architecture de la seconde moitié du XX<sup>e</sup> siècle.

Il n'est cependant pas isolé dans la gamme de produits graphiques commercialisés dans la seconde moitié du XX<sup>e</sup> siècle, et il doit être clairement distingué d'autres outils tels que les transferts et décalcomanies. Les transferts sont des produits apparus peu de temps avant le zip et qui participent également à la normalisation de la pratique des bâtisseurs<sup>6</sup>. Dans la définition du catalogue du Centre Pompidou, ils sont assimilés au zip. Cela ne correspond cependant pas à une réalité matérielle et ils ne sont donc pas intégrés à cette étude. Ce sont des lettres, des objets (voitures, éviers, personnages...) et des motifs en trame composés d'encre et de cire amalgamées. Présentés à la vente sur un film plastique, ils s'en détachent pour venir adhérer au support du dessin par friction au moment de la mise en œuvre<sup>7</sup>. Il ne s'agit pas non plus de décalcomanie qui, elles, s'appliquent à l'aide d'un apport d'humidité. Le résultat obtenu est similaire pour les transferts et les décalcomanies, mais le procédé de mise en œuvre est bien différent. Enfin, il convient d'ajouter que les rubans adhésifs, imprimés ou non, ne sont pas considérés comme du zip.

Au-delà de l'appellation impropre de transferts et décalcomanies, le zip est parfois désigné par le terme « trame » dérivé de l'imprimerie<sup>8</sup>; il peut en effet être imprimé d'un motif de trame à l'encre noire. Cependant, cette désignation est abusive car elle revient à définir le zip dans son entier par son motif. Or, si cette terminologie peut s'entendre pour une trame géométrique, elle ne correspond plus quand il s'agit de motifs figuratifs tels les arbres ou les briques ; elle ne peut pas non plus être étendue au zip de couleur. Par ailleurs, l'utilisation de ce terme peut prêter à confusion quand il est utilisé dans le domaine de l'architecture. En effet, le concept de trame renvoie au « tracé de la division géométrique de l'espace, support de toute localisation d'éléments, principe de repérage des unités les unes par rapport aux autres, support de conception, de lecture, de réalisation, d'évolution, bref de communication. La trame est le tracé du positionnement virtuel du système constructif »<sup>9</sup>. Ainsi, cette définition implique une conception du terme « trame » comme une grille de base à la construction d'un édifice et non à la mise au ton en vue de l'impression.

Est donc considéré comme zip, et ce, quels que soient sa nature, son aspect ou sa marque, tout film plastique transparent pré-imprimé, recouvert d'un adhésif et collé sur un dessin d'architecture.

Les considérations précédemment évoquées peuvent sembler évidentes pour les architectes ayant été formés ou ayant exercés avant les années 1990. En effet, le zip était courant dans les agences et les écoles et si commun que rares sont les sources qui s'y intéressent. La révolution représentée par l'arrivée des ordinateurs et leur démocratisation dans les agences dans les années 1990, parfois dès les années 1980 pour les grosses agences, marque un abandon rapide du dessin à la main et par ricochet du zip. Ces nouvelles générations d'architectes formés au dessin sur ordinateur, n'ont bien souvent aucune idée de ce qu'est un zip et son utilisation est oubliée rapidement. Il est cité dans certains catalogues d'exposition ou ouvrages dédiés au dessin d'architecture mais il apparaît comme serait mentionné le crayon graphite : sans que l'on ne s'y attarde vraiment. Il est considéré comme le marqueur d'une époque, parfois d'un style. Il réveille un peu la curiosité

<sup>6</sup> CROWDER Havy Q. R., "Transfer sheet and method of making same", 1931, U.S.P.O. 1,820,867, 1931.

<sup>7</sup> MACKENZIE Frederick W./Letraset Limited, "Adhesive transfers", 1964, U.S.P.O 3,131,106.

<sup>8</sup> COMBIER Marc (dir.), PESEZ Yvette (dir.), *Encyclopédie de la chose imprimée, du papier @ l'écran*, Paris : Editions Retz, 1999, 544 p.

<sup>9</sup> DUPLAY Michel, DUPLAY Claire, *Méthode illustrée de création architecturale*, Paris : Edition du Moniteur, 1982, 448 p., p. 400-406.

des historiens par sa mention dans *Le Modulor 2* de Le Corbusier<sup>10</sup> mais sans que le sujet ne soit vraiment traité.

Il existe un article<sup>11</sup>, datant de 2012, publié par Marie Poisbelaud, restauratrice d'arts graphiques, dans la revue *Support/Tracé*, revue spécialisée en conservation des collections sur papier. Elle y évoque des problématiques de conservation pour des produits graphiques similaires au zip, présents sur des planches de bandes dessinées, BD. Il s'agit d'une introduction au sujet dans le cas particulier de la BD. Or les zips rencontrés dans les collections d'architecture présentent une multitude d'aspects par rapport à ceux évoqués dans cet article, se limitant aux trames géométriques à motifs de points.

Ces informations bibliographiques éparses ont encouragé un travail tourné vers l'étude de sources écrites : les brevets, majoritairement américains même pour les entreprises européennes ; les revues d'architecture parmi lesquelles *Arts & Architecture* et *l'Architecture d'aujourd'hui* ont une place de choix ; les catalogues de ventes des différents fabricants, ainsi que les lettres d'actualité de la société Mécanorma ; les manuels de dessin technique destinés aux étudiants en architecture. A ces sources se sont ajoutées des sources visuelles comme les feuilles de zip, elles-mêmes, non utilisées et retrouvées dans des fins de stocks de magasins de produits Beaux-Arts ou chez les architectes. Enfin, source première pour l'étude du zip, les dessins d'architecture dans les collections permettent un accès direct au zip et à l'intention des dessinateurs.

Les points restés obscurs ont parfois pu être éclaircis par des entretiens avec des architectes, des conservateurs d'architecture, des restaurateurs ou encore des régisseurs. Pour les recherches en conservation-restaurations, l'étude d'une littérature éloignée du sujet mais pouvant apporter des éléments de réponse par des chemins détournés ou en les transposant au zip a été entreprise.

La littérature, ou plutôt son absence, laissait donc un grand nombre de questions en suspens :

À quel point les zips d'architecture et ceux de la BD sont différents ?

Quelle variété rencontre-t-on dans les collections d'architecture ?

Quand est-il commercialisé ?

Zip-a-Tone™ est-elle la seule marque à le commercialiser ?

A partir de quand apparaît-il sur les dessins d'architecture ?

Apparaît-il au même moment aux Etats-Unis et en France ?

Comment le zip traverse-t-il l'Atlantique et quand ?

Quand est-il finalement abandonné ?

Quels architectes l'ont utilisé ? Pourquoi ? Comment ? A quelle fréquence ?

Son usage est-il similaire d'une agence à l'autre ?

Quelle est son occurrence dans les collections patrimoniales ?

Peut-on observer une préférence pour les motifs, les couleurs ?

Combien en existe-t-il ? Peut-on préciser la production ?

Est-ce que tous ces produits sont fabriqués suivant le même processus ?

Sont-ils de même composition chimique ?

Présentent-ils les mêmes dégradations ?

Quelles dégradations sont présentes ? Quelle est leur ampleur, leur nombre, leur dangerosité ?

Celles-ci sont-elles liées à la composition des matériaux, aux conditions environnementales, ou les deux ?

Quel est leur impact sur la perception des dessins ?

---

<sup>10</sup> LE CORBUSIER, *Modulor 2*, Paris : les éditions de L'Architecture d'Aujourd'hui, 1955, 343 p., p.155-159.

<sup>11</sup> POISBELAUD Marie, « Les problèmes posés par la restauration des planches originales de bande dessinée », dans *Support/Tracé*, n° 12, 2012, p.36- 38.

Une intervention de conservation-restauration doit prendre en compte de nombreux paramètres. Certains sont d'ordre historique comme le mouvement artistique, la démarche propre à l'artiste, d'autres sont relatifs à la matérialité des objets et aux comportements qui en découlent en termes de dégradation mais aussi de sensibilité ; enfin dans sa proposition d'intervention le conservateur-restaurateur doit prendre en compte les principes de la déontologie pour garantir une intervention sûre et pérenne. Dans la plupart des cas, il/elle les maîtrise sans nécessité de s'y attarder. Parfois, il est nécessaire de mener des recherches ou de réaliser des tests pour éclaircir un ou deux points. Dans le cas du zip, comme le montre le nombre de questions précédemment énoncées, les lacunes de connaissance et d'expérience étaient trop grandes pour ne serait-ce qu'imaginer intervenir. Cependant, la conservation-restauration des zips est l'objectif final de cette recherche et en découle la question principale : « comment restaurer des zips dégradés ? ».

En effet, comment mettre en place des protocoles de traitements pour des dessins présentant un type de produit graphique dont on ne connaît pas la composition, la mise en œuvre, la raison de l'utilisation ou encore la nature et les causes des altérations ?

Ainsi en amont des réflexions et de l'élaboration de protocoles de traitement, la recherche s'est attachée à répondre autant que possible aux questions auxquelles la littérature, en l'état, n'apportait pas de réponses.

La première partie a pour objet premier de dresser une histoire de la production et de l'usage du zip. L'ambition de cette recherche est de tracer les grandes lignes des 60 années de vie du zip, afin de permettre de poser un contexte de création pour les dessins présents dans les collections, de combler des manques basiques telles que les bornes chronologiques de son usage, par exemple. La plongée dans l'histoire du zip révèle un véritable parti-pris esthétique, s'inscrivant pleinement dans l'histoire du dessin d'architecture du XX<sup>e</sup> siècle. Plus qu'un usage pragmatique, le zip est une volonté affichée : une recherche visuelle de modernité. Celle-ci s'observe de façon préférentielle par l'étude des dessins en collection.

Cependant, une fois encore, la méconnaissance du zip est un frein considérable à son étude et à l'évaluation des collections : il n'y pas de description précise et/ou systématique du zip dans les notices des bases de données. Par ailleurs, l'identification du zip, en tant que telle, n'est pas évidente. La sélection du corpus a donc fait l'objet d'un long travail préliminaire d'identification avec la mise en place d'un protocole adapté. Le corpus est sélectionné parmi la collection d'architecture du Musée national d'art moderne – Centre de création industrielle, Mnam-CCI, Centre Pompidou, la collection de la Fondation Le Corbusier, FLC, la collection de la galerie d'architecture moderne et contemporaine de la Cité de l'architecture et du patrimoine, CAPA, en France, et la collection d'architecture du Museum of Modern Art, MoMA, à New York aux Etats-Unis. Il est ensuite évalué du point de vue de sa conservation mais les informations historiques ou techniques sont relevées avec le même souci d'exhaustivité. L'identification dans les collections des dessins présentant des zips et leur documentation permet d'obtenir des informations importantes concernant le zip. Cependant, il convient de garder à l'esprit que cet ensemble n'est pas nécessairement représentatif de la production des dessins d'architecture porteurs de zip mais de la proportion de ces dessins qui a été jugée digne d'entrer dans les collections. A ce sujet, il est possible de penser que l'étude de fonds d'archives avec une politique d'acquisition plus large pourrait préciser cette production. Ce constat étant fait, l'importance pour l'histoire et la connaissance du zip de l'étude des collections muséales n'en est pas amoindrie.

Enfin, cette première partie présente les moyens scientifiques engagés afin d'améliorer la connaissance matérielle du zip. Pour l'étude des collections patrimoniales, les méthodes d'analyse sont multiples en fonction

du type d'élément à identifier ou caractériser. Les techniques peuvent être invasives ou non<sup>12</sup>, destructives ou non<sup>13</sup>. En fonction des instruments d'analyse disponibles et de la possibilité de prélever sur les œuvres, bien qu'à une échelle microscopique, un protocole d'analyse adapté à une quantité importante d'échantillons a été mis en place par les encadrants scientifiques de cette recherche. Afin d'analyser les matériaux des collections, une base de données de référence a été créée. Elle permet un accès à de la matière sans restriction de quantité pour préciser le protocole de caractérisation et s'assurer que l'analyse des œuvres soit pertinente, ciblée et la moins invasive possible. Une base de référence est constituée par l'analyse d'un échantillonnier construit à partir des feuilles de zips non utilisées récupérées dans les magasins de fourniture Beaux-Arts ou chez les architectes. L'accès à tant de matière « originale » non utilisée est une chance rare et précieuse pour un projet en conservation-restauration. L'analyse de l'échantillonnier favorise la compréhension des matériaux constitutifs du zip et les résultats obtenus par ces différents axes de recherche permettent de considérer une possible intervention.

La deuxième partie se concentre sur le projet de conservation-restauration. Il s'agit dans un premier temps d'en définir les objectifs, les contraintes et la méthodologie avant de pouvoir en donner un cahier des charges précis. En effet, l'évaluation des collections permet de savoir quelles sont les dégradations les plus présentes ou les plus importantes afin de faire un choix éclairé sur les œuvres nécessitant une intervention prioritaire. Les dégradations les plus problématiques sont sélectionnées : des phénomènes de soulèvement du zip du papier avec risque de perte, des phénomènes de rétraction entraînant de fortes contraintes sur le papier et sur le zip, et enfin des phénomènes de bulles en réseaux faussant complètement la lisibilité et l'appréciation visuelle des dessins.

La réalisation de tests pour traiter des dégradations peut parfois s'envisager directement sur les œuvres. Cela n'est pas le cas avec le zip, où la quantité des paramètres à prendre en compte est trop importante pour réaliser des tests, directement sur la matière originale, sans risque pour le dessin et le zip. La présence de l'échantillonnier montre une fois de plus son exceptionnalité dans les recherches en conservation-restauration. Il est possible de réaliser des éprouvettes parfaitement représentatives de la technologie des œuvres. Afin d'entreprendre des tests de traitement, un autre aspect devait être surmonté : parvenir aux mêmes dégradations que celles observées dans les collections sur les éprouvettes. Pour élaborer le protocole de vieillissement propre à créer chaque type de dégradation sélectionnée, des séries de vieillissements artificiels sont testées en jouant sur trois facteurs : lumière, température et humidité relative. À l'issue de trois ans de vieillissement en continu et de 10 séries de vieillissement, les soulèvements et les rétractions sont obtenus avec un protocole fiable et reproductible. En revanche, la reproduction en laboratoire des phénomènes de bulles en réseaux n'a pas abouti et nécessite de plus amples recherches.

Les deux dégradations reproduites en laboratoire permettent de réaliser des tests afin d'établir des protocoles de conservation-restauration. Dans le domaine de la conservation, il existe rarement une solution de traitement pour un problème de dégradation. Ainsi l'ambition n'est pas ici de donner une méthode infaillible quel que soit le cas de figure mais de présenter un éventail de solutions pouvant être utilisées pour traiter un problème. Il est cependant possible que ces propositions ne fonctionnent pas pour tel ou tel cas, et il est toujours de la responsabilité du conservateur-restaurateur de maîtriser son traitement et de peser les risques spécifiques pour chaque œuvre.

---

<sup>12</sup> L'analyse peut être réalisée in situ sans besoin de prélèvement.

<sup>13</sup> La matière prélevée est récupérable après l'analyse ou elle est détruite au cours de celle-ci.

Enfin, l'objectif principal étant d'intervenir pour traiter les œuvres, une étude de cas est présentée. Elle permet de mettre en avant d'un point de vue pratique les différentes considérations à prendre en compte avant et au cours de l'intervention de conservation-restauration. Cette étude de cas favorise également la présentation des réflexions qui ont animé les discussions entre les acteurs des différents domaines et montre les enjeux à l'œuvre lorsqu'il s'agit d'intervenir sur le patrimoine national quand bien même celui-ci est jugé « perdu ».

1<sup>ERE</sup> PARTIE

---



**ETUDE DU ZIP**



## CHAPITRE 1 : USAGE ET ENJEUX DU ZIP DANS LES DESSINS D'ARCHITECTURE

---

La littérature relative à l'architecture, ouvrages et périodiques, se concentre, dans sa grande majorité, à l'objet fini, à savoir l'édifice. Les méthodes et les matériaux de construction, la théorie de l'architecture ou encore les monographies d'architectes sont les axes préférés pour évoquer le bâti. Le dessin y apparaît « au mieux » comme une illustration du processus créatif ou comme témoin de concept de projets non construits. Ce choix de la production éditoriale, à transformer une œuvre ou un document en illustration d'un propos, est récurrent et s'explique par la prédominance de l'image sur la matérialité des objets. Rares sont les écrits qui s'intéressent au dessin d'architecture comme œuvre à part entière, comme travail fini. Les questions concernant la technique ou l'esthétique des dessins n'apparaissent qu'en accessoires d'un propos plus général. Il faut cependant noter que cette tendance est en train d'évoluer, accompagnant l'essor des études sur la matérialité des œuvres d'art. Dans ce contexte, le nombre très faible de recherches ayant donné lieu à des écrits sur le zip n'est pas surprenant. Néanmoins, il faut préciser que si les auteurs ne s'y attardent pas, sa singularité lui permet tout de même d'être mentionné régulièrement dans des ouvrages plus généraux. Il a donc fallu construire une vision du zip, la plus objective possible, à partir d'informations, parfois subjectives, transmises par les fabricants à travers des brevets, des catalogues de ventes, des brochures et des publicités dans des revues spécialisées, transmises par les architectes à travers des témoignages, et récupérées par l'observation des dessins d'architecture eux-mêmes. Nous nous intéresserons d'abord à l'histoire du zip, de sa création aux Etats-Unis, puis son arrivée en France jusqu'à son abandon, en étudiant la manière dont ce produit industriel évolue et comment il contribue à être à la fois outil et moteur d'une véritable révolution esthétique du dessin. Les données collectées dans cette première partie de notre recherche proviennent en grande partie de la production écrite des fabricants, des produits zips eux-mêmes et des dessins dans les collections patrimoniales.

## I. Le zip : soixante ans dans la vie du dessin d'architecture

L'histoire de l'utilisation du zip s'étend sur une soixantaine d'années, globalement la seconde moitié du XX<sup>e</sup> siècle. Au cours de cette période, le zip est adopté par les architectes<sup>14</sup>, popularisé dans les agences et enseigné dans les écoles d'architecture, et disparaît avec la généralisation des ordinateurs. Notre recherche concernant l'histoire du zip est ancrée géographiquement en particulier en France. Cependant, les origines de ce produit graphique et l'importance des échanges internationaux entre architectes, nous amènent à débiter notre étude à son invention aux États-Unis une dizaine d'années avant son arrivée en France.

### A. 1920-1950 : Naissance aux États-Unis

#### 1. L'invention du zip

Nous n'avons pas trouvé de sources indiquant précisément et de façon indiscutable la date de création du zip. Cela est sûrement dû à une naissance par étape, au fur-et-à-mesure du perfectionnement du processus de fabrication. Cependant, le concept du zip, à savoir texturer des zones à l'aide d'un support pré-imprimé, collé et évidé, est formulé pour la première fois par Havy Q. R. Crowder, aussi appelé Ray Crowder, dans un brevet enregistré le 2 octobre 1923<sup>15</sup>. À l'époque, l'objet du brevet est un système permettant de réaliser un dessin avec des plages texturées pour la réalisation de vignettes publicitaires. Ces zones à motifs sont obtenues en évidant des papiers superposés. Un papier vélin blanc permet de tracer, « sans fatigue pour les yeux »<sup>16</sup>, les contours du dessin dont les différentes zones seront ensuite évidées sur une ou plusieurs épaisseurs de papier en fonction du motif que l'on souhaite faire apparaître (Figure 2).

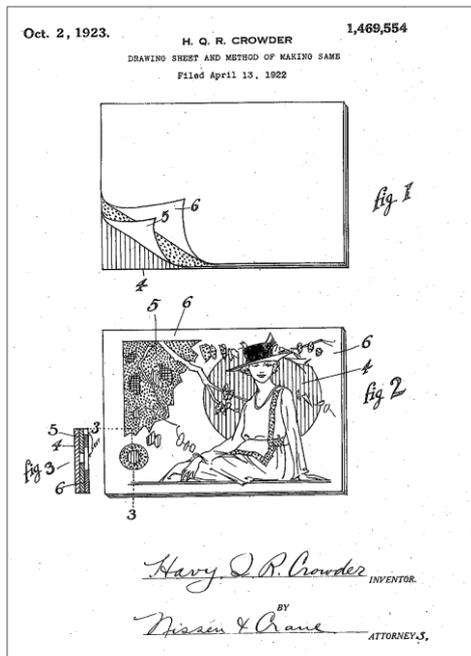


Figure 2 : Illustrations du brevet 1 469 554, Crowder, 1923.

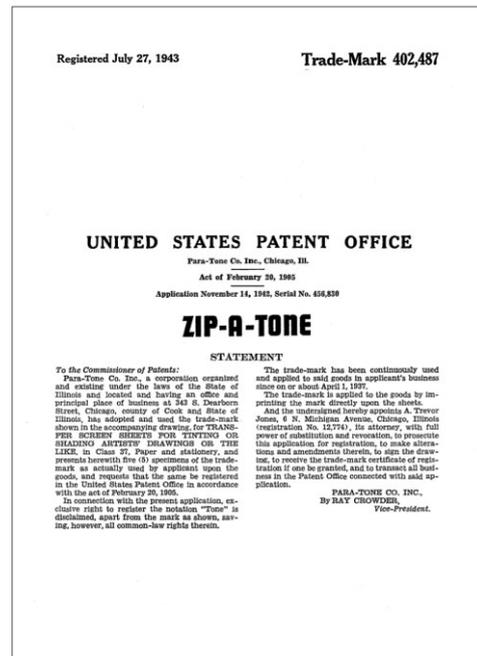


Figure 3 : Protection du nom « Zip-a-Tone », Crowder, 1943.

<sup>14</sup> Les professionnels utilisant le zip sont nombreux et variés : graphistes, dessinateurs de bandes dessinées, géographes, géomètres, ... Cette étude s'intéresse au zip dans les collections d'architecture qu'il soit utilisé par des architectes, bâtisseurs, urbanistes ou paysagistes.

<sup>15</sup> CROWDER Havy Q. R., "Drawing sheet and method of making same", 1923, U.S.P.O. 1,469,554.

<sup>16</sup> *Ibid.*

Ce brevet peut également être perçu comme une volonté par le dessinateur de fixer la densité des ombres par une texture et non un niveau de gris. Cette démarche semble indiquer une recherche de contrôle de la reproduction des dessins par le photogaveur. Crowder n'en est pas à son premier brevet sur ce thème : en 1914, il dépose un brevet<sup>17</sup> dont l'objet est un système, basé sur le principe de ce qui deviendra par la suite les transferts, permettant au dessinateur de transmettre au photogaveur un schéma précis des zones à reproduire en couleur ou suivant un certain niveau de gris par leur délimitation préalable non par un tracé mais par une surface délimitée par l'utilisation de réseaux de points ou trames.

Le 17 juillet 1934<sup>18</sup>, Crowder obtient l'enregistrement de sa société, Para-tone Inc. Mais la date de création du zip est incertaine. En effet, un brevet pour le zip en tant que tel, notamment avec une matrice plastique, n'a pas été trouvé.

Seule l'appellation protégée pour les produits graphiques désignés comme « *Transfer screen sheets for tinting or shading artists' drawings or the like* » (feuilles de transfert en trame pour teinter ou ombrer les dessins d'artistes ou produit similaire) sous le nom de « Zip-a-Tone » est enregistrée le 27 juillet 1943<sup>19</sup> (Figure 3). Le brevet mentionne cependant que ce nom est utilisé depuis 1937 pour des produits suivant cette dénomination. Il est probable que le zip apparaisse dans ces années-là sans qu'une preuve formelle n'ait pu être trouvée. Du point de vue de l'évolution des techniques, il est intéressant de noter que la mise en place du zip suit de peu la création et le perfectionnement du ruban de masquage, appelé également ruban de peintre. Ce ruban adhésif dont la propriété principale est de coller à la surface tout en permettant un retrait sans arrachage de la couche sur laquelle il est collé, est en effet breveté en 1925 par Richard Gurley Drew pour le compte de la compagnie Minnesota Mining and Manufacturing Company, connue aujourd'hui sous le nom de 3M<sup>20</sup>. Une publicité de cette marque vantant ce qui semble être des films de zips a pu être trouvée, mais la nature exacte ou la destination des films restent floues et si cette production a existé, elle est cependant restée anecdotique au vu des activités de la société. Après 1937, les brevets de Crowder se concentrent sur l'amélioration des transferts. Par la suite, il est possible de trouver quelques brevets concernant l'amélioration des qualités de la nature de l'adhésif ou de l'encre, ou encore des procédés pour les déposer sur un film plastique, du film lui-même ou du papier de support et ce quels que soient les inventeurs<sup>21</sup>. Ces brevets ne mentionnent pas clairement le zip mais les améliorations qu'ils présentent pourraient, s'ils ne sont développés pour lui, s'y appliquer sans adaptation.

### 2. Homefront et projets d'architecture

Une hypothèse – qui n'a pu être validée pour le moment – est que le zip aurait été créé pour les graphistes et publicitaires mais utilisé dès la Seconde Guerre mondiale par les architectes. Aux États-Unis, il s'agit en premier lieu d'une guerre industrielle qui nécessite la production massive et rapide de dessins d'exécution pour des bâtiments, des machines et des lignes de production destinées à l'effort de guerre. Or, la mobilisation de la jeunesse engendre vraisemblablement un manque de dessinateurs formés et disponibles. Le zip semble alors une réponse adaptée : ce produit industriel permet d'augmenter la rapidité d'exécution et transforme la production graphique jusqu'alors entièrement artisanale.

---

<sup>17</sup> CROWDER Havy Q. R., "Process for indicating shading and coloring in the production of pictures", 1914, U.S.P.O 1,175,614.

<sup>18</sup> Date officielle figurant sur le site USPTO ; un catalogue de vente conservé à la bibliothèque Forney mentionne la date de 1913 comme date de création et argument de vente.

<sup>19</sup> Enregistrement de la marque sous le numéro US 402,487, U.S.P.O., 1943.

<sup>20</sup> DREW Richard G./3M, "Adhesive sheeting", 1932, U.S.P.O 1,856,986.

<sup>21</sup> CINQUALBRE Marion, *Les films plastiques auto-adhésifs dans les dessins d'architecture, Master 2 Recherche, Patrimoine et Conservation-Restauration*, Paris : Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne, 2015, 80 p., p. 11-14.

C'est dans ce contexte que le plus ancien dessin d'architecture avec zip que l'on connaisse apparaît dans une publication de 1943, *Why City Planning is Your Responsibility* (Pourquoi l'urbanisme est votre responsabilité). Ce livret de 14 pages, édité par l'entreprise de fabrication de métaux non ferreux Revere Copper and Brass, utilise la notoriété de Louis Kahn<sup>22</sup>. Un des dessins reproduits comporte, autour d'une construction, une pelouse figurée grâce à un zip et William Whitaker, conservateur des Archives d'Architecture de l'Université de Pennsylvanie - Weitzman School of Design, a pu comparer la publication, le dessin original et une variante présentant l'emploi d'un autre type de zip (Figure 4)<sup>23</sup>.



Figure 4 : Détails de la publication, à gauche, du dessin original, au centre, 153.5, et de la variante, 153.[5a], à droite, Louis Kahn, 1943.  
@W.Whitaker/University of Pennsylvania

Cet exemple montre que le zip est commercialisé en plusieurs références et déjà intégré dans la pratique des architectes aux États-Unis dès le début des années 1940. D'autres dessins de la publication semblent également comporter des décors réalisés avec des zips. Cependant en l'absence des dessins originaux, l'identification de zips à travers une publication doit toujours être considérée avec précaution.

### 3. Principe de l'usage des trames en photogravure

Un réflexe dans la recherche d'information concernant le zip est de se tourner vers les publications dédiées à l'architecture dans lesquelles peuvent être reproduits des dessins. Cependant, cette démarche présente d'importants risques d'erreur d'identification. En effet, à partir de la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, les techniques d'impression permettent la reproduction de photographies ou de dessins avec des dégradés de couleur. Le rendu des niveaux de gris est obtenu avec des motifs de points plus ou moins gros et espacés<sup>24</sup>. Cette technique d'impression appelée « *half-tone* » ou similigravure, est développée par l'américain Frederic Eugene Ives à la fin des années 1870. Jusque-là, la reproduction par photogravure ne permet le report que du dessin au trait, noir sur fond blanc. Le principe de Ives est simple : il s'agit de décomposer l'image à reproduire à l'aide d'une trame, une grille très fine gravée sur verre. Lors de la prise de vue photographique du document à reproduire, la trame est intercalée avant la plaque ou la pellicule à impressionner. La lumière réfléchiée par le document passe par la grille, là où le document est blanc la lumière passe et se diffuse en halo, parfois éclipant totalement la trame, là où le document est sombre la lumière n'est pas réfléchiée et la trame est bien visible, et dans les zones de demi-ton la lumière passe de façon irrégulière et produit un effet de dégradé. Le résultat est une

<sup>22</sup> Louis Kahn (1901-1974), architecte américain basé à Philadelphie dont l'influence se propage aussi bien à travers ses constructions architecturales modernes empreintes de monumentalité, qu'à travers l'enseignement qu'il dispense dans les grandes universités américaines.

<sup>23</sup> À la suite de notre communication « Industrial Graphic Products for Architecture Drawings : The Use of Zip Films », lors du *Frascati IV Symposium* de 2019, William Whitaker a cherché du zip dans les collections dont il est responsable et a mis à jour l'exemple présenté.

<sup>24</sup> LECHÈNE Robert, *L'imprimerie de Gutenberg à l'électron*, Paris : Editions la Farandole, 1972, 205 p., p. 110-137.

image composée du passage de la lumière réfléchié à travers la trame : les tons entre le noir et le blanc sont constitués de points (Figure 5). La finesse de la toile peut varier pour obtenir des reproductions de meilleures qualités. Par ailleurs, la trame peut être classique ou aléatoire.

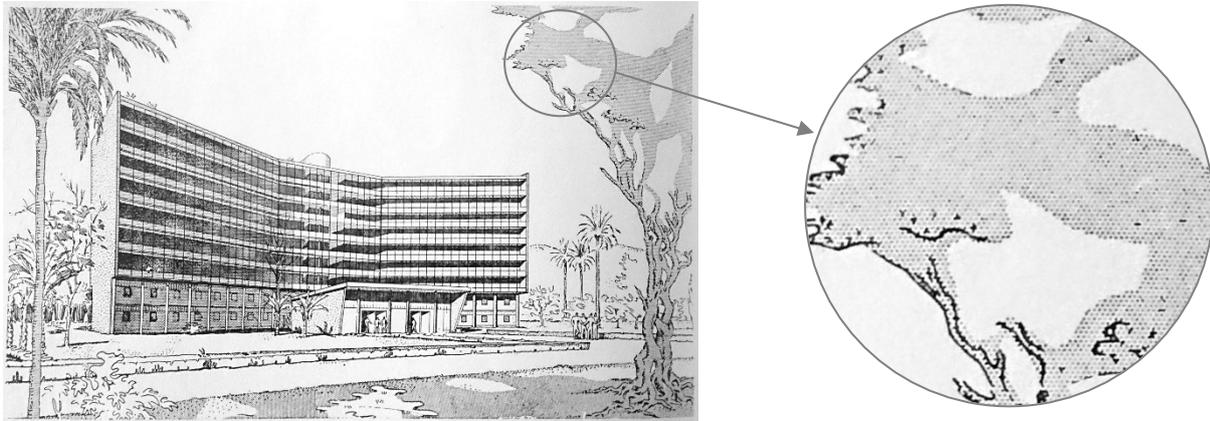


Figure 5 : Reproduction d'un dessin d'architecture dans le numéro 13 de *L'Architecture d'aujourd'hui*, 1947, p.114 et détail<sup>25</sup>.

Le principe même du zip et l'esthétique de l'époque contribue à flouter les processus créatifs au bénéfice d'un rendu final visuellement similaire. En effet, les motifs de points reprenant des niveaux de gris imprimés sur les zips sont ceux-là mêmes qui sont définis par la trame photographique (Figure 8). L'idée était sûrement de donner au dessinateur un moyen de donner des niveaux de gris standardisés reprenant ceux des modes d'impressions. Ainsi, le dessin peut avoir l'aspect fini d'une reproduction mais cela implique également que la reproduction sera exactement fidèle.

Par ailleurs, que ce soit dans la publicité (Figure 6) ou dans la mise en page des revues (Figure 7), les motifs standardisés (en zip ou non sur les originaux) sont à l'honneur. Les points et les lignes viennent délimiter les espaces et dynamiser la composition.



Figure 6 : Publicité de la marque Curtisa dans la revue *Zodiac*, N°10, 1962.

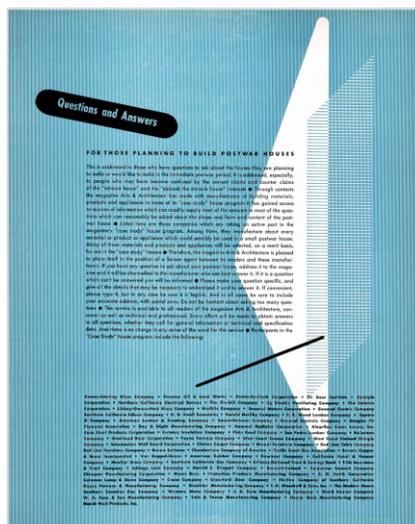


Figure 7 : Revue *Arts & Architecture*, n°3, 1945.

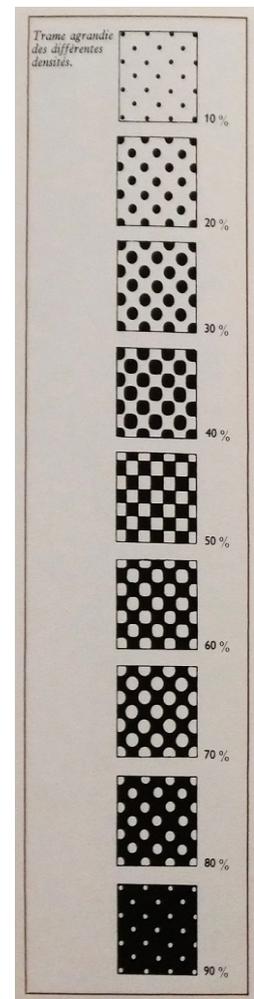


Figure 8 : Echelle de densité obtenue avec la trame photographique<sup>26</sup>.

<sup>25</sup> Projet présenté pour la « Cité des Moteurs » au Brésil par les urbanistes Paul Lester Wiener et Joseph-Luis Sert, et l'architecte-constructeur Otto da Rocha e Silva.

<sup>26</sup> LECHÈNE R., 1972, *op. cit.*, p. 116.

## B. 1945-1955 : arrivée du zip en France dans l'après-guerre

### 1. Échanges franco-américains à l'issue de la Seconde Guerre mondiale

La manière dont le zip est arrivé en France soulève des hypothèses. Cependant, tous les indices tendent à montrer que le zip est introduit en France après la Seconde Guerre mondiale. À l'issue du conflit, l'Europe se tourne vers les Etats-Unis dont les techniques de production se sont améliorées grâce à l'économie de guerre. Ce sont d'abord l'industrialisation de la construction et la variété des modèles de logements qui sont l'objet de tous les efforts et les attentions des architectes et des membres du ministère français de la Reconstruction et de l'Urbanisme (MRU).

Deux exemples probants sont, d'une part, l'organisation par l'architecte américano-français Paul Nelson<sup>27</sup>, de l'« Exposition des techniques américaines de l'habitation et de l'urbanisme », dans la nef du Grand Palais aux mois de juin et juillet 1946 (Figure 9) et, d'autre part, la mission d'étude d'architectes français, aux Etats-Unis organisée par le MRU. Par ailleurs, la fin de la guerre voit le retour d'architectes exilés comme Gerald Hanning<sup>28</sup> ou la reprise de relations épistolaires avec des architectes installés aux Etats-Unis comme Oscar Nitzchke<sup>29</sup>. Les contacts étant rétablis, les architectes français voyagent de nouveau. Ainsi des missions d'étude réunissant, architectes, ingénieurs et fonctionnaires se rendent aux Etats-Unis, comme Le Corbusier<sup>30</sup> qui se trouve à New York pour le projet du siège de l'Organisation des Nations Unies en 1945.

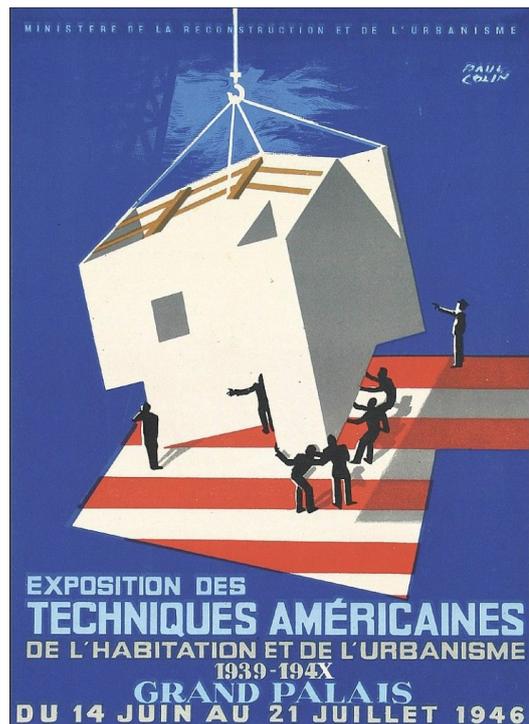


Figure 9 : Affiche de l'Exposition des techniques américaines.  
©Atelier photographique des Archives Nationales

Si le sujet principal est la reconstruction et les conditions matérielles de sa réalisation, il n'est pas impossible qu'en marge de l'étude des modèles architecturaux, les différents professionnels de la construction aient été sensibles à l'apparition de nouvelles techniques de dessins, de représentations et de l'usage grandissant de produits encore inconnus en Europe<sup>31</sup>. Ces relations rétablies pourraient expliquer l'arrivée du zip en France même s'il n'y a pour le moment pas de preuves.

<sup>27</sup> Paul Nelson (1895-1979), architecte américain, formé à l'École nationale des beaux-arts, dans l'atelier dirigé par Auguste Perret, il s'inscrit dans la lignée des architectes modernes. Il est particulièrement reconnu pour ses recherches pionnières concernant le milieu hospitalier.

<sup>28</sup> Gerald Hanning (1919-1980), architecte français dont l'activité est tournée principalement vers l'urbanisme, il travaille dans l'atelier de Le Corbusier à partir de 1937 et ils entretiennent une correspondance suivie et soutenue de 1942 à 1945.

<sup>29</sup> Oscar Nitzchke (1900-1991), architecte suisse né en Allemagne et émigré aux Etats-Unis. Il construit peu durant sa carrière mais ses recherches encrées dans la culture urbaine et les avant-gardes artistiques en font un architecte incontournable du XX<sup>e</sup> siècle.

<sup>30</sup> Le Corbusier, Charles-Edouard Jeanneret dit, (1887-1965) est un architecte célèbre pour ses constructions en France et dans le monde. D'origine suisse, il s'installe en France à partir de 1917. Avec son cousin Pierre Jeanneret son cousin, son associé, il s'illustre par la construction de maisons individuelles, villas, construites sur les principes du plan libre. Si les réflexions autour de l'habitat l'intéressent au point de pousser la conception jusqu'à la réalisation de mobilier, notamment avec Pierre Jeanneret et Charlotte Perriand, il est également passionné par les questions d'urbanisme. Auteur de nombreux écrits, il a également à son actif une œuvre plastique. Cet attrait l'engage dans des projets où la ville est entièrement repensée, à l'image de ses Cités radieuses.

<sup>31</sup> *L'Architecture d'Aujourd'hui*, n°6, mai-juin 1946, 100 p. Numéro spécial sur Richard Neutra et les techniques américaines qui reproduit beaucoup de photographies, mais pas de dessins ni de publicités.

## 2. Les *case study house* : une inspiration majeure

La sortie de la guerre voit émerger de nouvelles initiatives de programmes architecturaux. Parmi celles-ci, le *case study house program* (CSH), programme d'étude de cas d'habitation, lancé dans le premier numéro de la revue américaine *Arts & Architecture*<sup>32</sup> qui voit le jour en janvier 1945. La motivation de ce programme est dictée par la volonté des architectes de participer activement aux réflexions sur l'habitation d'après-guerre, dont la demande explose avec le retour des soldats à la vie civile. Le programme, qui s'apparente à un concours, commence avec cette déclaration<sup>33</sup> :

*Because most opinion, both profound and light-headed, in terms of post war housing is nothing but speculation in the form of talk and reams of paper, it occurs to us that it might be a good idea to get down to cases and at least make a beginning in the gathering of that mass of material that must eventually result in what we know as "house-post war".*

Parce que la plupart des opinions en matière d'habitation d'après-guerre, qu'elles soient fondées ou superficielles, ne sont rien d'autre que des spéculations sous forme de discours et de pages noircies, il nous semble que ce serait une bonne idée de revenir à des cas pratiques et au moins de commencer à compiler cette masse d'informations qui sera un jour ce que nous connaissons comme « maison d'après-guerre ».

Le programme CSH accompagne la recherche sur la construction de maisons particulières dans la ville de Los Angeles jusqu'en 1966<sup>34</sup>. La revue se dote d'une commission d'évaluation des projets composée de sept éminents architectes : Julius Ralph Davidson, Charles Eames, Richard Neutra, Ralph Rapson, Eero Saarinen, Sumner Spaulding et William Wilson Wurster. Chaque numéro présente le gagnant de l'étude de cas présentée dans le numéro précédent, ainsi que les 2<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup> places et plusieurs mentions honorables. Les sélectionnés reçoivent un prix et voient leur projet publié dans la revue, voire construit, pour certains.

Ce programme se traduit par de nombreuses réalisations mais l'intérêt majeur de la revue, dans le cadre d'une recherche portant sur un procédé graphique, est qu'elle présente des projets par le biais de dessins et non des réalisations par le biais de reportages photographiques. La revue n'hésite pas à promouvoir le dessin, et les architectes adaptent leur production graphique en conséquence : une lisibilité accrue obtenue par une technique graphique compatible avec la reproduction et la simplification des tracés<sup>35</sup>. L'accent est également mis par les dessinateurs sur le dynamisme des dessins et leur caractère séduisant pour le lecteur : les perspectives sont privilégiées et l'aménagement intérieur et l'environnement paysagé sont présentés en regard.

*Arts & Architecture* devient la vitrine de la modernité dans la pensée architecturale relative à l'habitation individuelle et dans sa représentation en deux dimensions. Les échanges rétablis avec les Etats-Unis après la Seconde Guerre mondiale permettent l'accès aux Européens à cette revue qui devient une référence pour nombre d'architectes français, en témoigne sa longévité et sa distribution dans près de 190 pays<sup>36</sup>.

---

<sup>32</sup> Une collection complète est conservée à la Bibliothèque Kandinsky, don de Robert M. Rubin via la Centre Pompidou Foundation en 2010. Par ailleurs, l'ensemble des numéros est disponible en ligne sur le site <http://www.artsandarchitecture.com/case.houses/>.

<sup>33</sup> *Arts & Architecture*, n°1, janvier 1945, 56 p., p. 37.

<sup>34</sup> SMITH Elizabeth, *Case Study Houses, the complete CSH program, 1945-1966*, Cologne: Taschen, 2002, 440 p.

<sup>35</sup> BUISSON Ethel, BILLARD Thomas, *Promenade contemporaine dans les case study houses*, Besançon : Les éditions de l'Imprimeur, 2004, 317 p., 35-57.

<sup>36</sup> Site internet de *L'Architecture d'Aujourd'hui*, [www.larchitectureaujourd'hui.fr](http://www.larchitectureaujourd'hui.fr), consulté la dernière fois le 17/12/2022.

3. Coup de projecteur dans le *Modulor 2*

La première mention du zip en France se trouve chez Le Corbusier dans son essai *Modulor 2* paru en 1955<sup>37</sup>. L'architecte dédie plusieurs pages à la présentation de phénomènes qualifiés « d'interférences », obtenus à l'aide de trames imprimées sur film plastique auto-adhésif<sup>38</sup>. Il évoque le « Zip-a-tone » et le présente comme « un produit récemment mis à disposition des ateliers de dessin, des photogreveurs et des annonceurs de publicité » et décrit la nature de ce produit : il s'agit de « feuilles de cellophane transparente recouvertes de trames variées imprimées en noir ». L'architecte ne précise pas si les feuilles sont préencollées ou non. Dans les exemples de créations plastiques qui sont reproduits, les trois spécimens utilisés sont imprimés d'un « pointillé régulier », d'une « strie régulière » et d'une combinaison des deux (Figure 10 et Figure 11).

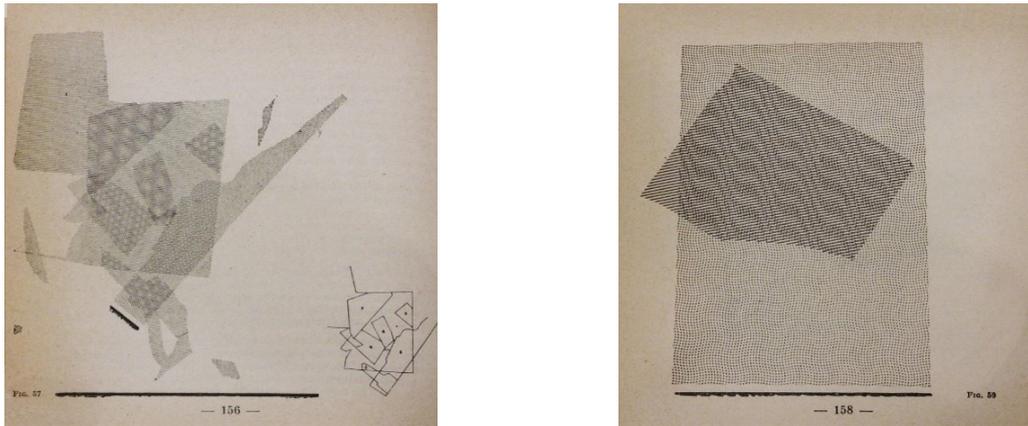


Figure 10 : Pages 156 et 158 du *Modulor 2* de Le Corbusier.

Pour la première expérimentation, l'auteur a explicité la composition à l'aide d'un schéma. La suite du passage décrit la façon dont il utilise ces trames pour créer des phénomènes « d'interférence » et invite le lecteur à expérimenter par lui-même. Les collages de zip présentés semblent aléatoires et spontanés. Cependant, il s'agit d'une sélection en vue d'une publication et il semble pertinent de s'interroger sur le contexte de leur réalisation. D'autant qu'il existe un croquis d'un de ces collages que l'on peut qualifier de préparatoire en raison de l'annotation « à cliquer dans modulor 2 p.157 » (Figure 11). Son existence montre bien que Le Corbusier ne fait pas les choses par hasard. Par ailleurs, l'absence de mention concernant l'adhésif laisse un doute concernant le produit et la manière d'obtenir les résultats présentés.



Figure 11 : Page 157 du *Modulor 2* et le croquis associé.

<sup>37</sup> LE CORBUSIER, *Modulor 2*, Paris : les éditions de L'Architecture d'Aujourd'hui, 1955, 343 p.

<sup>38</sup> *Ibid.*, p.155-159.

Cet encart, de moins d'une trentaine de lignes, dans le second volume de ses réflexions sur les proportions a suscité de nombreux commentaires des historiens. Ainsi Catherine de Smet qualifie la présentation du zip d'un « des passages les plus incongrus de *Modulor 2* »<sup>39</sup> et les illustrations qui l'accompagnent de « trois collages livrés sans le moindre commentaire quant au statut que Le Corbusier leur confère ». Elle conclut que ce passage est un aparté sans lien avec les réflexions autour du Modulor mais rend compte de sa recherche de « mesure harmonique » dont le Modulor est force de propositions. Là où Catherine de Smet voit un interlude « incongru », il semble que ce passage soit pensé par Le Corbusier comme un espace donné à la matérialité de ses recherches, une réflexion sur la recherche par des procédés graphiques de l'obtention d'effets visuels en accord avec des concepts plus large que la simple idée de rendu.

Roberto Gargiani s'intéresse également à ce passage du *Modulor 2*<sup>40</sup>. Il y développe une réflexion sur les voies par lesquelles ce produit arrive dans la création de l'architecte et pose l'hypothèse que le zip apparaît dans les réflexions de Le Corbusier comme résultat de l'influence de Victor Vasarely et de l'Art Optique. La recherche des effets optiques est, selon lui, à inscrire dans la continuité du travail de László Moholy-Nagy et de György Kepes. Pour Gargiani, le fait que Kepes ait travaillé pour Le Corbusier en 1931 confirme le caractère fondamental de l'influence de Vasarely sur le travail de Le Corbusier. L'utilisation des trames de Zip-a-Tone serait pour lui, la preuve que Le Corbusier connaît le travail de Vasarely au sein de la galerie Denise René, via l'exposition *Le Mouvement* (du 6 au 30 avril 1955). Il mentionne que l'artiste hongrois a suggéré à Le Corbusier l'utilisation de zip pour la réalisation de ses cartons de tapisseries. Gargiani étoffe sa thèse concernant l'influence de l'Op Art sur Le Corbusier en évoquant des effets similaires aux œuvres de Vasarely et Jesús-Rafael Soto, observés dans les armatures métalliques du béton des constructions.

En 2014, lors de sa collaboration à l'ouvrage, *Le Corbusier, aventure photographique*, Gargiani développe la même thèse sur l'arrivée du zip dans le processus créatif de Le Corbusier<sup>41</sup>. Selon lui, au début des années 1950, Le Corbusier et Vasarely débute une « collaboration artistique fondamentale ». Toujours selon lui, l'architecte fait d'ailleurs réaliser, à la demande de l'artiste, des tapisseries à la manufacture des Frères Tabard, à Aubusson. Ce serait par son expérience de graphiste publicitaire que Vasarely initierait Le Corbusier au zip pour la création de cartons de tapisseries.

« L'idée [...] est [...] d'utiliser les formes géométriques et les champs chromatiques des trames pré-imprimées sur film adhésif transparent de la marque Zip-a-tone. Ces trames, avec motifs graphiques variés noirs ou simplement colorés, étaient alors utilisées dans les bureaux publicitaires et les ateliers de photogravure pour obtenir des textures et des effets de lumière et d'ombre »<sup>42</sup>.

Gargiani précise que la première collaboration des deux hommes, datant du début des années 1950, débouche sur la création de la tapisserie « *Les Musiciennes*, réalisée à partir d'une composition de papiers collés avec des trames Zip-a-tone à motifs de carrés et de points, et avec des trames de couleur vert, orange et jaune (l'œuvre est signée « Bogota 1950 ») »<sup>43</sup>.

L'idée selon laquelle Vasarely initie Le Corbusier au zip n'est pas confirmée par des recherches approfondies. Gargiani propose un début de collaboration en 1950 autour de la création de la tapisserie

<sup>39</sup> SMET Catherine de, « Le Modulor comme outil autobiographique », dans *Vers une architecture du livre : Le Corbusier : édition et mise en page 1912-1965*, Baden : Lars Muller (éd), 2007, 303 p., p.111.

<sup>40</sup> GARGIANI Roberto, "Kinetic illusionism, in the manner of Vasarely", dans *Le Corbusier: béton brut and ineffable space, 1940-1965 surface materials and psychophysiology of vision*, Lausanne: EPFL, 2011, 600 p., p. 436-440.

<sup>41</sup> GARGIANI Roberto, « Photographie et processus créatifs 1940-1965 », dans BEDARIDA Marc (dir.), *Le Corbusier, Aventures photographiques*, Paris : Editions de la Villette, 2014, 299 p., p. 126-128.

<sup>42</sup> *Ibid.*, p. 127.

<sup>43</sup> *Ibid.*, pp. 126-128.

*L'ennui régnait au dehors* et de son carton préparatoire réalisé avec du zip<sup>44</sup>. Cependant, lors de recherches au sein des collections de la Fondation Le Corbusier, plusieurs dessins antérieurs à 1950 et présentant des zips ont été observés. Le plus ancien est daté de 1945<sup>45</sup>. La présence de zip sur le dessin à cette date est indiscutable : l'œuvre est reproduite pour publication en 1946<sup>46</sup>.

Le deuxième écueil concerne l'ampleur de la collaboration entre les deux hommes. Bien que les archives de la Fondation Vasarely ne soient pas encore inventoriées et qu'il est donc difficile de savoir exactement ce qu'elles contiennent, les informations disponibles indiquent que Vasarely et Le Corbusier ne se seraient croisés qu'une seule fois. Il semblerait que les dessins réalisés par Le Corbusier pour la réalisation de tapisseries n'aient pas été jugés assez complets et que la manufacture d'Aubusson aurait alors demandé à Vasarely de retravailler les dessins pour les rendre plus aboutis<sup>47</sup>. La Fondation Le Corbusier a confirmé ces informations.

Il semble donc possible de conclure que s'il y a travail commun entre Le Corbusier et Vasarely, il est exagéré de parler de « collaboration artistique fondamentale ». Par ailleurs, cela remet en cause l'influence de Vasarely et de l'Op Art dans l'utilisation de films plastiques auto-adhésifs par Le Corbusier. La question relative à la découverte de ce procédé par l'architecte reste donc entière mais il semble que c'est l'architecte qui découvre le zip ; c'est le théoricien qui le mentionne et l'artiste qui l'utilise pour ses dessins ou ses maquettes.

### C. 1955-1995 : 40 ans d'apogée avant l'oubli en moins d'une décennie

#### 1. Développement de la production des zips en Europe

En 1956 naît le premier vrai concurrent de la marque Zip-a-Tone™ : la marque anglaise Letraset® créée par Frederick W. Mackenzie et le typographe Charles Clifford « Dai » Davis. La compagnie basée à Londres est dévolue à la commercialisation de produits graphiques dont la vedette est le transfert à sec<sup>48</sup>. La plupart des brevets déposés par Mackenzie sont en effet dédiés à leur amélioration. Cependant, bien que ce ne soit pas son produit phare, Letraset® commercialise une large gamme de zip.

Attentive à l'air du temps, la marque londonienne s'impose rapidement comme *leader* mondial : dès 1964, elle exporte dans 70 pays, reçoit sa première décoration, un *Queen's Award for Exports* et atteint un chiffre d'affaires de 750 000 £, qui passe à 16 millions de livres en dix ans et 46 millions en 1978<sup>49</sup>. La marque développe de nombreux produits, dont plusieurs types de zips, de nombreuses références et instaure des partenariats avec d'autres compagnies : au début des années 1970, elle achète une licence à Pantone™, spécialistes de la couleur, pour utiliser son nuancier et imprimer des zips en couleurs standardisées.

Cependant, la marque n'a le monopole en Europe que quelques années. Dès 1964, la marque française Mécanorma entre dans le marché des produits graphiques<sup>50</sup>. L'ascension fulgurante de la marque française peut s'expliquer par sa collaboration avec la marque Zip-a-Tone™ qui lui confère sa licence en ce qui concerne les motifs. La première référence à cette association peut se trouver dans un catalogue de vente de Mécanorma

<sup>44</sup> Il faut noter une confusion chez Gargiani car le dessin *Quatre Musiciennes* signé « Bogota 1950 » est un dessin au crayon de couleur et que son pendant avec des zips s'intitule *L'ennui régnait au dehors !*, ainsi que la tapisserie dont il est le carton et qui est réalisée en négatif.

<sup>45</sup> Projet d'urbanisme du Vieux Port de Marseille, 1945, FLC 30202.

<sup>46</sup> LE CORBUSIER, *Catalogue raisonné : Œuvre complète*, 8 vol., BOESIGER Willy (dir.), Paris : Les éditions d'architecture, 1919-1965.

<sup>47</sup> Entretien téléphonique du 26 mars 2016 avec Graziela Durio, responsable de la collection de la Fondation Vasarely. Ces informations ont été confirmés par la Fondation Le Corbusier par la suite.

<sup>48</sup> LAMACRAFT J. et al, "Rub-down revolution", dans *Eye magazine*, version numérique, vol. 22, 2013, 5 p.

<sup>49</sup> *Ibid.*

<sup>50</sup> L'hypothèse n'est pas vérifiée mais la première adresse de la société est le 34 rue de l'Arcade, à Paris dans le 8<sup>ème</sup> arrondissement, qui est également l'adresse de la marque Craftint en 1958. Il serait donc possible que Mécanorma soit issue de cette première société.

de 1968<sup>51</sup>. Peu d'informations ont pu être collectées quant à sa création. En effet, il s'agit d'une société anonyme (S.A.) dont les brevets ne sont pas nominatifs. Il est d'autant plus difficile d'obtenir des informations administratives que la société cesse ses activités en 1996. Le bâtiment de l'usine de fabrication du Perray-en-Yvelines a été récupéré par la commune après la fermeture et ce qui restait à l'intérieur est débarrassé. Cependant, la marque est française et certaines de ses lettres d'actualité ont été déposées et conservées à la Bibliothèque nationale de France. Cette publication interne, de communication entre les dirigeants et les employés permet de récupérer des informations chiffrées sur la production, l'arrivée de nouveautés, mais également, dans une société qui se veut familiale, l'annonce de naissances et de mariages des membres du personnel. Ainsi, il est possible d'avoir un aperçu de sa politique d'exportation : dès la première année, la production est distribuée en France et en Europe de l'Ouest ; en 1969, Mécanorma vend en Afrique du Sud, aux Etats-Unis et en Australie ; en 1972, en Asie ; l'année suivante en Amérique du Sud et en Europe de l'Est. Au plus fort de sa production, la marque exporte et distribue ses produits dans 98 pays. À partir des années 1970, les publications ne mentionnent plus que les noms de Mécanorma et de Letraset<sup>®</sup> même si la période voit l'émergence d'autres sociétés, comme la marque belge Alfac-Tone (1976-1995).

## 2. Dessin d'architecture, zip et ordinateur

L'idée qu'une technique graphique émergente remplace directement les précédentes, n'est pas plus recevable pour le dessin d'architecture qu'elle ne l'est dans le domaine de la création plastique. Ainsi, malgré son adoption massive, le zip ne remplace pas complètement le remplissage de surface par des textures réalisées à l'encre ou par des aplats de couleurs unies. De la même manière, les premiers développements de l'infographie dans les années 1960 ne sonne pas l'abandon immédiat du zip.

Tout d'abord, il faut noter que l'arrivée des ordinateurs dans les agences se fait progressivement. Les plus gros cabinets américains peuvent accéder aux ordinateurs, encore coûteux et volumineux, au début des années 1970<sup>52</sup>. Les ordinateurs sont alors cantonnés essentiellement à la réalisation de calculs et de tâches administratives. Les premiers essais de conception assistée par ordinateur sont déjà à l'étude notamment au sein du MIT avec la création du logiciel Sketchpad en 1963<sup>53</sup>. Soulignons qu'il ne s'agit pas d'une histoire linéaire et que, comme pour le zip, les avis divergent. Certains architectes, tel Nicholas Negroponte<sup>54</sup>, voient en l'ordinateur une machine capable de « créer une architecture moins asservie aux goûts des architectes et plus axée sur les besoins des utilisateurs »<sup>55</sup>. Cette volonté de faire disparaître l'architecte remplacé par l'intelligence artificielle ne trouve pas que des adeptes parmi des architectes qui peuvent y voir une menace pour leur profession. À l'époque, les outils graphiques disponibles sur ordinateur ne sont pas, d'un point de vue technologique, encore capables de concurrencer le dessin à la main. Le lancement en 1982, du logiciel Autocad, programme de traitement graphique, et l'accès aux micro-ordinateurs dont le prix et la prise en main sont beaucoup plus accessibles, marquent une première étape dans le changement des méthodes de production graphique.

---

<sup>51</sup> Catalogue Mécanorma, n°12, 1968, bibliothèque Forney

<sup>52</sup> KAUFFMAN Jordan, « Dessiner avec l'ordinateur dans les années soixante : le design et ses pratiques à l'aube de l'ère numérique », dans *Livraisons de l'histoire de l'architecture*, Volume 32, 2016, p. 105-123.

<sup>53</sup> *Ibid.*, p.105-123.

<sup>54</sup> Chercheur de l'*Architecture Machine Group* au MIT, 1967.

<sup>55</sup> BRUEGMANN Robert, « La représentation architecturale et l'ordinateur, du crayon à la table à dessin électronique », dans *L'architecture et son image, quatre siècles de représentation architecturale*, Montréal : Centre Canadien d'Architecture, 1989, 369 p., p.147.

Mais les fabricants de zip n'ont pas dit leur dernier mot. Dans le catalogue Mécanorma publié en 1986, la marque lance une gamme de zip dont le motif des trames est par ailleurs disponible sur les ordinateurs Macintosh® Apple (Figure 12). Ainsi, l'argument est une parfaite compatibilité entre le dessin réalisé sur l'ordinateur et celui que le dessinateur peut réaliser à la main et avec l'aide du zip. Par ailleurs, l'encart informe également sur la possibilité d'imprimer des motifs personnalisés sur des zips vierges, présentés comme « supports pour photocopie »<sup>56</sup>. Ces tentatives peuvent être perçues comme un dernier sursaut du zip mais elles peuvent également montrer les possibilités d'adaptations de ce produit.

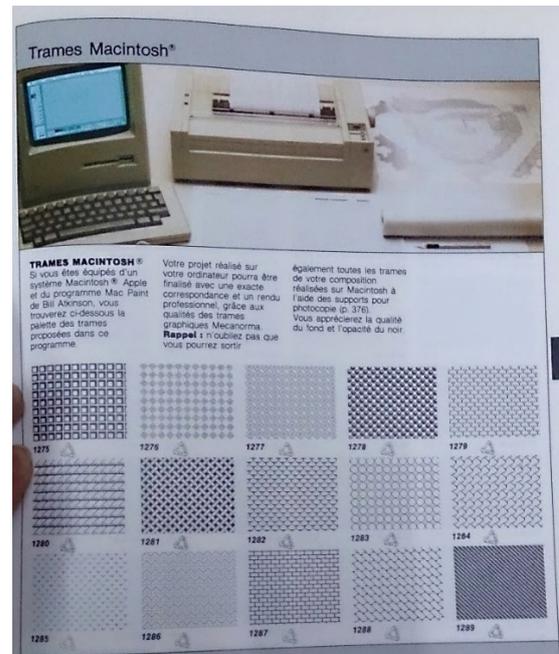


Figure 12 : Page consacrée aux zips avec trames Macintosh, catalogue Mécanorma n°12, 1986.

Ces nouvelles possibilités sont une offre de plus mais le zip se maintient également pour lui-même dans les agences d'architecture encore une quinzaine d'année. La littérature s'accorde à dire que le « *digital turn* », tournant informatique pour l'architecture débute en 1992<sup>57</sup>. La fermeture des marques Mécanorma en 1996 et Alfac-Tone en 1995, le rachat de Letraset® par la société Esselte Pendaflex en 1991 sont des indices manifestes d'un changement majeur et profond dans la pratique du dessin en architecture et plus généralement dans la profession à tous les niveaux.

L'intérêt pour l'histoire du zip est encore faible mais il tend à se développer avec le temps, non seulement parce que l'intérêt porté aux collections techniques grandit, mais également parce qu'après son abandon il semble aujourd'hui une pratique curieuse. La petite quantité de sources disponibles peut s'expliquer par plusieurs hypothèses. Le zip arrive et s'installe dans la pratique très rapidement ne laissant que peu de recul aux architectes pour en parler, une fois les premiers enthousiasmes de la découverte passés. Pour les générations suivantes, qui apprennent à s'en servir dès leur formation, il est banal, admis et acquis. Le zip ne soulève donc pas de curiosité particulière. Après sa disparition brutale, les générations d'architectes ont été formées sur ordinateur et n'ont, pour la plupart, aucune idée de ce qu'est le zip. Ainsi, il aura fallu attendre que son abandon soit suffisamment lointain pour qu'il présente désormais un charme « rétro » ou que les dessins en collection avec des zips se soient dégradés pour que ce dernier suscite l'intérêt des équipes de musées.

L'histoire du zip que nous avons tenté de retracer est par essence liée à l'histoire de la production graphique des architectes durant cette période particulière de l'après-guerre. Le besoin de construire rapidement pour soutenir l'effort de guerre aux Etats-Unis puis celui de la reconstruction en Europe ne peut pas, seul, expliquer son adoption. Il faut bien comprendre que le produit offre un attrait pratique et esthétique dès ses débuts mais surtout c'est la capacité des fabricants à l'améliorer sans cesse afin qu'il « colle » parfaitement aux besoins des architectes, qui le rend incontournable dans leur pratique.

<sup>56</sup> LACH E., "Letraset Program to Let Users Edit Gray Scale; Product to Be Sold Later in Year", dans *Macintosh News*, San Francisco: InfoWorld Media Group, 29 juin 1987, p. 21.

<sup>57</sup> CARPO Mario (dir.), *The Digital Turn in Architecture 1992 – 2012*, Chichester: John Wiley & Sons edition, 2013, 265 p.

## II. Mise en œuvre d'un produit industriel

Le zip englobe dans son appellation une multitude d'aspects pour un produit qui s'utilise suivant une mise en œuvre simple. Ces deux qualités, l'offre de toutes ces possibilités de textures et de couleurs d'une part, et sa facilité d'emploi d'autre part ont contribué à son attrait pour les architectes. Si les libertés créatives et le gain de temps apporté par le zip sont considérables, il faut cependant garder à l'esprit que les fabricants de zip ont travaillé tout au long de la période de commercialisation à son amélioration pour l'adapter au mieux à la pratique des architectes et aux modes de productions graphiques des agences.

### A. Le zip, un produit commercial

#### 1. Fabricants et production

##### Aperçu des principaux fabricants

Au cours des recherches menées dans les publications destinées aux architectes et à partir des zips physiquement disponibles, il est possible d'établir une liste – non exhaustive – de fabricants (Tableau 1).

Tableau 1 : Présentation des fabricants de zip.

Logos	Nom d'enregistrement ou nom de la compagnie	Dates de fabrication des zips <sup>58</sup>	Localisation du siège social
	Para-tone® compagny incorporated	1937 – 1984	Illinois puis Californie, USA
	Chart-pak® incorporated	1949 -1999	Connecticut puis Delaware, USA
	ASLAN® Selbstklebefolien GmbH	1957-	Cologne, Allemagne
	Eberhard Faber GmbH en 1922 Faber-Castel en 1994	1957-	Neumarkt, Allemagne Stein, Allemagne
	Craftint	Trace d'existence en 1958 <sup>59</sup>	Paris, France
	Bourges color corporation	1959 – 1988 (expiration)	New York, USA
	Letraset® Esselte en 1991 Colart group en 2012	1959 -	Londres, Royaume-Uni New York, USA Londres, Royaume-Uni
	Cello-tak Manufacturing Incorporated	1960 – 1994 (expiration)	New York, USA
	-	Trace d'existence en 1961 <sup>60</sup>	Zurich, Suisse
	Mécanorma S.A.	1964 – 1996	Paris, France
	Alfac S.A.	1976 – 1995	Nivelles, Belgique
	Deleter USA	1990 -	Californie, USA
	Holbein artists materials	En activité	Osaka, Japon
	-	En activité	Japon
	-	En activité	Japon
	-	En activité	Japon

<sup>58</sup> Les dates sont définies par des sources mentionnant le premier usage des produits et non pas sur leur date d'enregistrement, ni sur les dates d'existence des compagnies. Il est précisé quand la date de fin exacte est inconnue et donc par défaut, la date d'expiration des enregistrements.

<sup>59</sup> Catalogue Craftint, 1958, Musée Historique des Textiles, Lyon, communiqué par Alimatou Desbrière.

<sup>60</sup> Catalogue Racher, n°861, 1961, Getty Research Institute.

Les marques occidentales toujours en activité aujourd'hui sont des marques qui ont réussi à diversifier leur production comme Chart-pak® avec les produits beaux-arts ou Aslan® avec des films pour l'industrie. Les marques qui étaient étroitement liées aux produits graphiques pour le dessin technique arrêtent leur activité à la fin des années 1980 pour les marques américaines, et au milieu des années 1990 pour les européennes. La marque Letraset® a survécu par rachat et réorientation de sa production spécifiquement vers les feutres. Les marques japonaises sont toutes encore en activité car la pratique très populaire de réalisation de mangas, qui utilisent les zips, n'a pas été concurrencée par l'ordinateur. La poursuite de l'activité de Deleter, marque basée en Californie, peut s'expliquer par une production et une commercialisation des zips au Japon.

### Évaluation de la production

À la suite du recensement des fabricants, c'est la production elle-même qui peut être étudiée. Son estimation se fait à travers les catalogues de vente, les publicités dans les publications spécialisées et par un accès direct à des feuilles de zip (Tableau 2)<sup>61</sup>. C'est une estimation cumulative, probablement moindre que la production réelle, qui rend compte du résultat des recherches.

Tableau 2 : Estimation du nombre de références commercialisées de zip.

Marques	Produits	Nombres de références	Types de films
Zip-a-tone™	Shading sheets	328	Film à motif
	Color overlay sheets	142	Film couleur
Chart-pak®	Pattern Film	13	Film à motif
	Color overlay	3	Film couleur
Contak™	Shading sheets	70	Film à motif
	Color tints	24	Film couleur
Craftint	Craf-tone	62	Film à motif
	Craft-color	35	Film couleur
Bourges Color Inc.	Cutocolor™	5	Film couleur (non repositionnable)
Zell™	Rasterfolien	60	Film à motif
	Farbfolien	40	Film couleur
Letraset®	Letratone®	564	Film à motif
	Letrafilm®	16	Film couleur
	Pantone™ by Letraset®	282	Film couleur
	Project a tone®	84	Film à motif couleur
	Letravisio®	99	Film à motif couleur
	screentone®	11	Film à motif
Cello-tak Mfg Inc.	Shading films	60	Film à motif
Mécanorma	Normatone	446	Film à motif noir
	et Normatone couleur	68	Film à motif couleur
	Normacolor	260	Film couleur brillant
		260	Film couleur mat
Alfac-tone	Alfac-tone	363	Film à motif
Deleter	Screen	11	Film à motif
Maxon®	Comic pattern®	731	Film à motif
	Maxon screen®		Film couleur
Design-tone™	-	9	Film à motif
J-Tone	-	2	Film à motif
ICScreen	-	430	Film à motif
<b>Total : 15 marques</b>	<b>28 produits</b>	<b>4 478 références</b>	

<sup>61</sup> CINQUALBRE M., 2015, *op. cit.*

Ce décompte illustre le nombre de références qu'il est possible de rencontrer en théorie dans les dessins d'architecture. Mais cette estimation ne permet pas de connaître le nombre de référence sur le marché à une date donnée ni de suivre précisément l'évolution de la production globale. En revanche, dès lors que l'on a accès à plusieurs catalogues d'une même marque qui se suivent dans le temps, ces sources permettent d'apprécier une évolution dans les références de produits, résultat de l'évolution de l'offre pour s'aligner vraisemblablement sur la demande. Si l'on prend Mécanorma en exemple, à travers l'étude de 8 catalogues de 1968 à 1993, il est possible de dresser les grandes lignes de la dynamique de commercialisation du produit (Graphique 1)<sup>62</sup>. Les films à motif, Normatone, montrent une variété dans leurs références assez stable de 1968 à 1974. De 1974 à 1988, le nombre de références augmente d'un tiers et se stabilise après 1988. La gamme colorée de films Normacolor ne change qu'à partir de 1970 et elle augmente d'une quinzaine de référence par an pour atteindre une gamme de 520 couleurs en 1993. Par ailleurs, on peut observer une gamme de références plus fournie des films Normatone, jusqu'en 1988 où la gamme proposée des films Normacolor, devient plus importante.



Graphique 1 : Évolution du nombre de références de la marque Mécanorma de 1968 à 1993.

### Méthodes de fabrication

Les procédés de fabrication du zip, soumis au secret industriel, sont peu connus. La fermeture de la plupart des marques, avec la disparition ou l'inaccessibilité des archives, rend ardue la connaissance de ce produit par la compréhension de son processus de fabrication<sup>63</sup>. Il est cependant possible de poser des hypothèses à partir des informations recueillies dans la lettre d'information n°5 de l'année 1975 de la société Mécanorma<sup>64</sup>. Si on peut imaginer que les méthodes de fabrication des autres marques sont approchantes, il est cependant difficile de l'affirmer. Cette publication est précieuse car elle présente deux visuels de machines.

<sup>62</sup> En admettant que la marque ne produise pas à perte.

<sup>63</sup> Une recherche des anciens salariés a été entreprise en 2018 mais faute de temps, elle n'a pas débouché sur une collecte d'informations significatives.

<sup>64</sup> Lettre d'information, MN news, n°5, 1975.

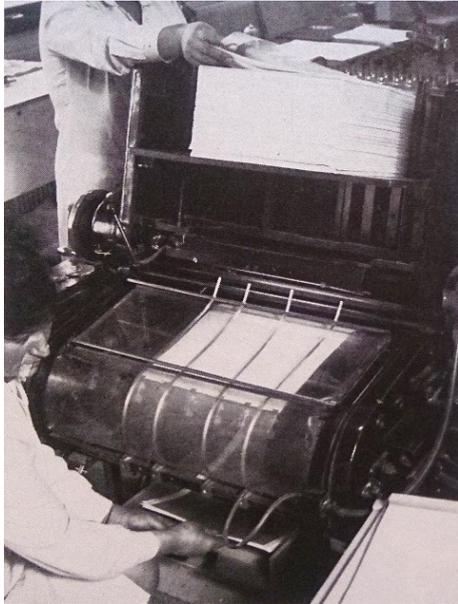


Figure 13 : Illustration des techniques d'impression de la marque Mécánorma, 1975.

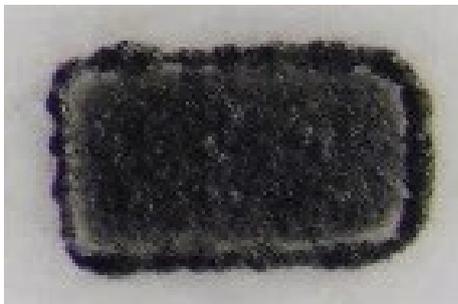


Figure 14 : Photographie sous loupe binoculaire x10 du motif de MN353 (motif de 1 mm de longueur).

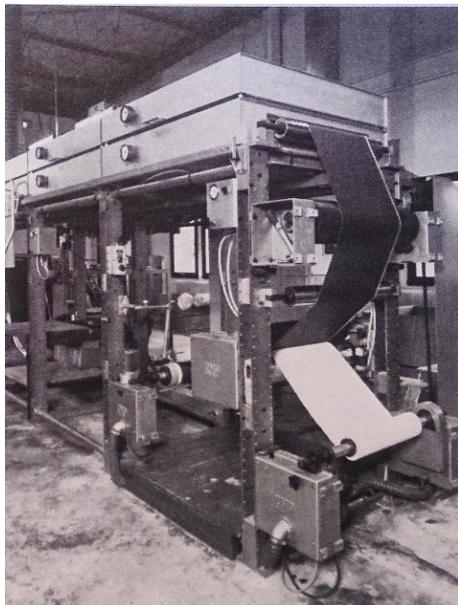


Figure 15 : Illustration des techniques de fabrication de la marque Mécánorma, 1975.

La première illustration montre la machine en train d'imprimer des feuilles de zip à motif, Normatone (Figure 13). Le format ne laisse pas de doute sur le produit. On voit que les feuilles sont imprimées une par une et que deux personnes interviennent pour cette étape : une qui dispose les feuilles et l'autre qui les récupère au fur et à mesure. Dans la brochure, l'impression est qualifiée d'« héliogravure ». Cependant, la traduction en anglais qui accompagne ce texte, l'associe à « *letterpress* ». Or les deux procédés sont fondamentalement différents. L'héliographie est un procédé d'impression où la matrice est gravée : c'est donc une impression en creux alors que *letterpress* se traduit en français par typographie qui est une technique d'impression en relief. L'observation directe des films peut permettre de distinguer une technique en relief d'une technique en creux. Préciser exactement le procédé d'impression peut s'avérer plus difficile en particulier dans un contexte industriel. L'encrage des films Mécánorma à motif présente, quelle que soit la référence qu'il a été possible d'observer, une zone centrale dense cernée par un surplus d'encre en périphérie (Figure 14). Les deux zones sont séparées par un espace moins dense. Cette morphologie est spécifique aux techniques d'impression en relief, où l'encre est chassée en périphérie par la pression de la matrice sur la feuille puis ramenée au centre par l'effet de succion au moment du retrait de la matrice<sup>65</sup>. En regardant la photographie, il est possible de dire que l'impression est l'étape finale du processus de fabrication. Le film recouvert d'adhésif est déjà en contact de la feuille de protection quand il passe dans ce qui semble être une presse typographique à cylindre, ce qui concourt à l'examen de l'encrage.

Le second visuel, en vis à vis sur la même page, donne à voir une machine d'un autre ordre (Figure 15). Il semble que ce soit sur cette machine que soit produit les films de couleur. Le texte de la brochure indique, sans préciser qu'il s'agisse de cette machine, que l'usine Mécánorma produit « plusieurs dizaines de mètres d'acétate [comprendre zip dans le contexte] à la minute ». Les étapes successives sont énumérées : dépôt d'adhésif, tunnel de séchage et pose de la feuille de protection qui est précisé comme étant « siliconée ». Si le texte ne fait pas de référence directe à la machine il semble que les étapes décrites correspondent à la légende de l'image.

La production se fait sur une machine en continu où toutes les étapes sont réalisées et se succèdent jusqu'à la formation du produit fini. Ce type de machine permet de produire linéairement en masse sans nécessiter

<sup>65</sup> GASCOIGNE Bamber, *How to identify prints*, Londres : Thames & Hudson, 1986, 216 p., section 49 c,d.

l'intervention de personnel pour passer d'une étape à la suivante. Sur la photographie, on peut voir le tunnel de séchage en partie supérieure, les grands caissons sur lesquels sont visibles des thermomètres à aiguille pour vérifier la température. Le lé qui en sort semble être le film déjà imprimé (il est légèrement transparent et on peut voir la bande de référence du produit sur la droite). Elle est appliquée sur la feuille de protection, blanche et visible en partie inférieure. Le produit fini s'enroule de l'autre côté des rouleaux assurant le positionnement du film sur la feuille de protection. Les feuilles de couleur sont donc produites en rouleau puis découpées. Pour les zips couleur, la brochure parle d'« héliogravure », traduit en anglais par « gravure » ce qui semble cohérent. La photographie n'offre aucune information sur le procédé d'impression. Cependant, il faut noter que les étapes de fabrication des feuilles de couleur diffèrent de celles des feuilles à motifs. Pour les premières, l'impression intervient au début du processus alors que nous avons vu précédemment qu'elle arrivait à la fin pour les dernières. Ce mode de production permet de renforcer une hypothèse sur la fabrication des films couleur Normacolor. Ce produit est commercialisé avec deux aspects de surface : brillant et mat. À la suite de l'examen de feuilles non usagées, il a été possible de mettre en avant que les films plastiques présentent une finition différente sur chacune de leurs faces : une brillante et une mate. Il est imprimé sur son côté brillant puis encollé sur son côté brillant pour avoir un fini mat ou sur son côté mat pour avoir un fini brillant. Cela implique que pour les films mats, l'encre est en contact avec l'adhésif et protégée par le film. Le processus rationalisé de fabrication en continu semble supporter cette hypothèse.

## 2. Gammes de zips

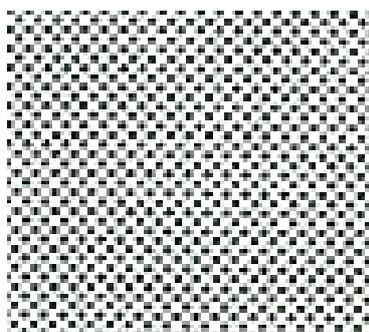
Il est possible de distinguer trois typologies de zips en fonction de l'impression : motifs, couleurs et motifs en couleur. On les retrouve d'une marque à l'autre, aussi cette présentation est purement descriptive. Cependant, des motifs semblent spécifiques à une période ou à une marque. Les isoler pourrait aider à préciser certaines identifications.

### Les films à motifs

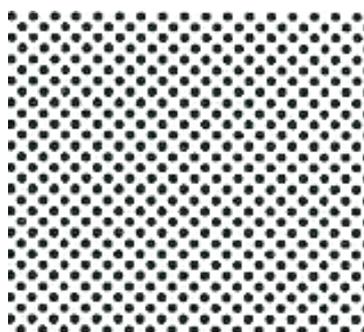
Ces films sont imprimés de motifs à l'encre noire. Ceux-ci peuvent être variés et ils ont été classés en trois catégories : des motifs étalonnés, des motifs figuratifs et enfin des motifs qualifiés ici de géométriques.

#### *Les motifs étalonnés*

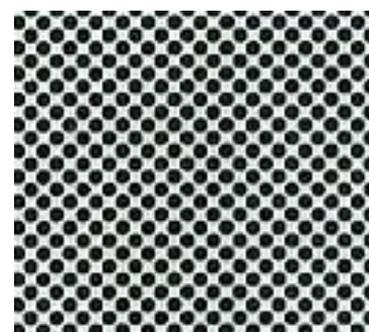
Les motifs de points étalonnés, telle la trame de photogravure, sont constitués d'un réseau de points plus ou moins espacés et gros afin d'obtenir des densités variables et des nuances dans les gris (Figure 16).



Letraset® LT 38  
30 % - 21-50 lignes par cm



Letraset® LT 10  
30 % - 11-75 lignes par cm



Letraset® LT 12  
50 % - 11-75 lignes par cm

Figure 16 : Exemples de points étalonnés.

Le motif central présente la même densité que celui de gauche et la même linéature que celui de droite.

Les feuilles portent les informations relatives à la disposition des points : la linéature est exprimée en nombres de points par centimètre (système métrique) ou pouce (système impérial). Plus le nombre de points est important, plus la trame peut être qualifiée de fine. La densité est également obtenue en faisant varier la taille des points : elle est alors exprimée en pourcentage. Ainsi, pour une trame avec des points de même taille, l'augmentation de la densité va se traduire par un gris plus soutenu. Et de même, pour des points avec une même densité, la taille des points va assombrir le gris.

Les motifs de lignes sont également étalonnés pour la plupart des références. Ces lignes sont parallèles, plus ou moins espacées et plus ou moins larges. Les lignes sont souvent utilisées pour figurer les ombres dans les normes de dessin technique (Figure 17).

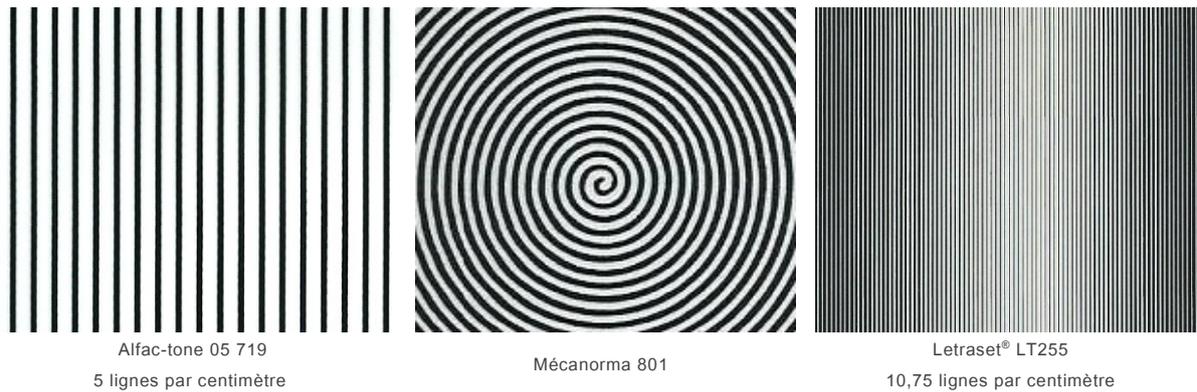


Figure 17 : Exemples de différents motifs de lignes parallèles.

Pour figurer des textures métallisées ou irisées, certains motifs sont dégradés : des lignes parallèles, toutes espacées régulièrement, ont une épaisseur qui varie graduellement pour suggérer un effet de reflet ou de volume.

On peut, dans la catégorie des motifs à lignes, intégrer des motifs de lignes parallèles entre elles, mais pas nécessairement droites : certains motifs sont en vague ou comme présentés ici en spirale.

### Les motifs figuratifs

La deuxième catégorie de motifs utilisée en architecture comprend les motifs figuratifs. Ces motifs ont pour but de donner une texture à des zones afin d'évoquer les matériaux ou les objets. Ainsi, ces motifs comprennent des sols (parquet, carrelage, brique...), des murs (briques, pierre, bois...) et des surfaces vues du ciel (arbres, toitures, revêtements en béton...), et ce, de différentes tailles afin de pouvoir intervenir à différentes échelles (Figure 18).

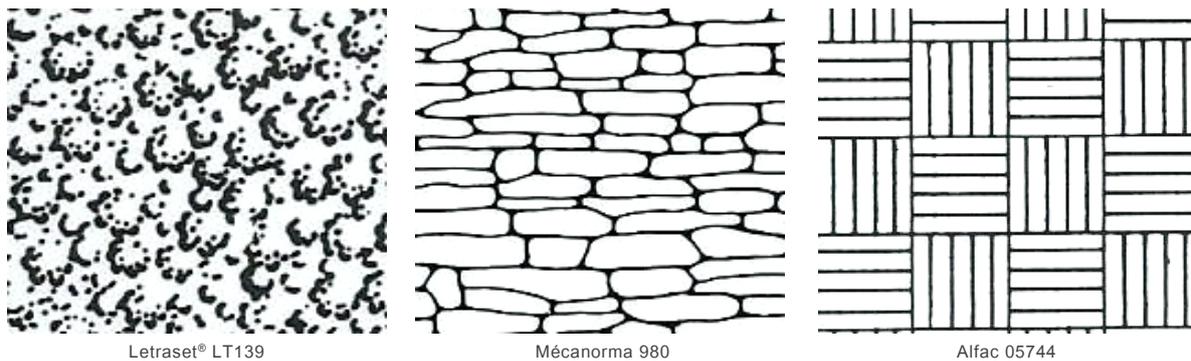
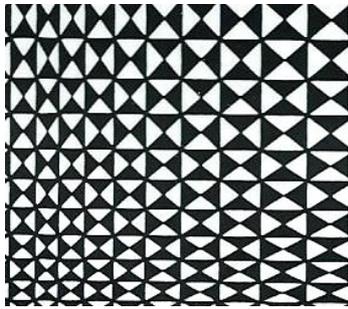


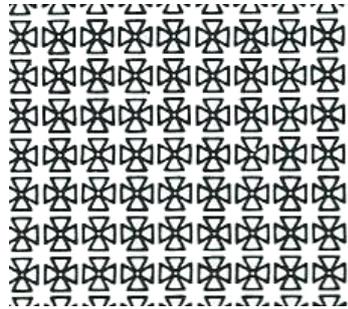
Figure 18 : Exemples de motifs figuratifs, de gauche à droite, arbres, mur de pierres sèches, parquet mosaïque.

### Les motifs géométriques

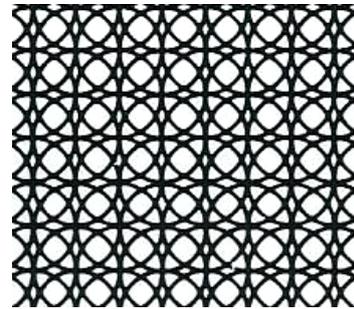
L'usage des motifs géométriques n'est pas fréquent dans les dessins d'architecture car ils ne correspondent pas aux standards du dessin technique. Cependant, ils peuvent apparaître dans des réalisations plus graphiques (Figure 19).



Letraset® LT1002



Mécanorma 960



Letraset® LT1009

Figure 19 : Exemples de motifs géométriques.

### Les couleurs

Les films peuvent également être imprimés de couleurs unies appliquées en aplat. Ces couleurs sont en pleine teinte ou tramées (la couleur est imprimée en différentes tonalités, dégradées de la couleur initiale). Les films de couleur reprennent des chartes plus ou moins larges, sachant que la superposition de deux films colorés peut permettre d'obtenir une gamme encore plus variée (Figure 20).



Figure 20 : Photomontage des nuanciers couleur et niveaux de gris des références Normacolor de Mécanorma, catalogue n° 14, 1988.

Ces types de films permettent la mise en couleur des dessins originaux. Ils sont par ailleurs exploités en niveaux de gris lors de l'impression. De nombreux catalogues mettent en parallèle les couleurs et leur correspondance en niveaux de gris (Figure 20 et Figure 21).

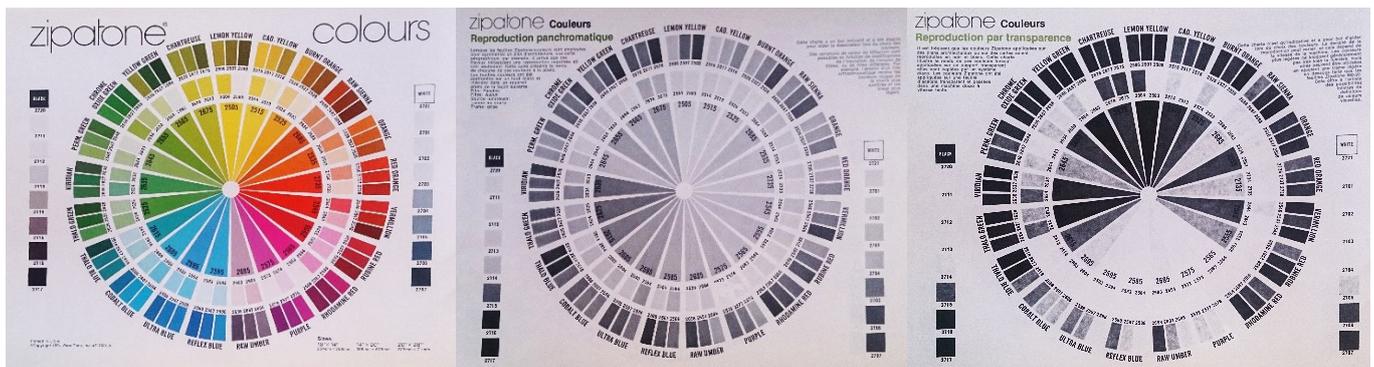


Figure 21 : Roue des couleurs de la charte de la marque Zip-a-Tone™, 1974.  
De gauche à droite : en couleur, en niveau de gris et par reproduction à travers un calque.

Cette présence dans les catalogues de vente indique bien la connaissance poussée des fournisseurs de la technique de dessin à l'époque. Cela témoigne également d'une possible volonté de se conformer aux exigences de la pratique des architectes et de répondre du mieux possible à leur besoin de reproduction par des procédés photomécaniques.

Avec l'évolution des technologies, les marques se dotent de systèmes colorimétriques de pointe dans le but de toujours plus de reproductivité et de standardisation. Ainsi, dans les années 1970, la marque Letraset® achète une licence à la marque Pantone™ pour utiliser son système de couleur. Afin de toujours mieux contrôler les couleurs, Mécanorma développe en 1976, le Normacolor System et au début des années 1990, son propre système de couleur le Normacolor Spatial System™. Ce développement accompagne une augmentation du nombre de références (de 136 à 260) ainsi que la possibilité de produire des feuilles à la demande des architectes. L'ancienne charte présentait un système assez simple de référence, les références brillantes sont notées 011 et les mates 012, et les couleurs sont numérotées à la suite. Le système spatial induit plus d'information dans les références qui incluent une valeur pour la clarté ( $L^*$ ), pour la saturation ( $C^*$ ) et pour la nuance ou teinte ( $h$ ). A cela s'ajoute F1 pour les films brillants et F2 pour les films mats, par exemple N2S 4335 pour un film de couleur bordeaux, N2S 4335 F1 sa version brillante et N2S 4335 F2 sa version mate.

### 3. Commercialisation et communication

#### Produits et arguments de vente

Les catalogues de vente sont destinés à présenter aux clients les gammes et références de produits disponibles tout en les incitant à acheter. Ces sources sont particulièrement précieuses dans le cadre de la présente étude car elles permettent de visualiser rapidement les types de produits existants et leurs spécificités. Le zip est commercialisé sur une feuille de protection traitée afin d'être antiadhésive. Certaines feuilles, notamment celles de la marque Alfaco ou des marques japonaises, sont vendues sous pochettes de plastique transparent scellées, afin de les protéger, ce qui est possible au regard de leur dimension<sup>66</sup>.

L'observation directe des feuilles permet de récolter de nombreuses informations (Figure 22). Sur la plupart d'entre elles, sont indiqués le nom du fabricant avec celui de la marque, le lieu d'impression, le nom du produit et sa référence et ses spécificités pour les trames étalonnées.

<sup>66</sup> ANNEXE 1, p.363, Tableau des dimensions des feuilles.

En plus de ces informations imprimées de façon quasi systématiques, certaines feuilles font mention dans le bandeau imprimé de dates : le seul exemple s'observe sur des feuilles de Pantone™ by Letraset® avec l'impression de la date 1969. Cependant, certaines des feuilles, qu'elles soient produites aux USA ou en Europe, présentent une date de production (au jour ou au mois près) tamponnée dans la marge, ou au verso, suivant les marques.

Les informations imprimées sont relatives aux qualités comme « HEAT RESISTANT » pour Letraset® ou encore des indications liées à la fabrication comme la mention sur des feuilles Mécanorma « trames coordonnées avec le programme Mac Paint utilisable sur Macintosh. Macintosh est une marque déposée ».

L'observation des feuilles non utilisées permet d'avoir accès à de nombreuses informations qu'il est rarissime de voir sur les dessins. En effet, l'intérêt réside pour les architectes dans la partie imprimée de motif ou de couleur et non dans la référence.



Figure 22 : Visuel d'une feuille de zip telle que commercialisée, Letratone® LT930, datée de février 1977.

Les autres informations concernant les zips fabriqués et leurs qualités, peuvent être récupérés dans les catalogues de ventes. Il est intéressant de voir les qualités vantées par les marques dans la mesure où l'on peut imaginer qu'elles répondent à une demande du client et donc à une réalité pratique. Les trois types de qualité mis en avant sont sa facilité d'usage, son caractère esthétique adapté à la création et sa compatibilité avec la reproduction.

La majorité des catalogues de vente consultés, quelle que soit la marque, accompagne la présentation de leur produit d'une explication rapide, d'un mode d'emploi, agrémenté la plupart du temps d'illustrations. En effet, la mise en œuvre n'est pas compliquée mais nécessite de comprendre les bases. Ces explications sont factuelles mais n'hésitent pas à rappeler à quel point l'usage en est facile<sup>67</sup>. L'adhésif est pour ce premier point le sujet des arguments de vente. Tout d'abord, le caractère auto-adhésif marque un véritable gain de temps et une immédiateté dans l'application. Cependant, dès les années 1970, le caractère « équilibré » de l'adhésif est mis en avant<sup>68</sup>. Cette notion peut impliquer que l'adhésif est réparti uniformément sur la surface mais également qu'il peut être repositionné durant la mise en place et sera cependant résistant ensuite. L'aspect repositionnable chez Zip-a-Tone est d'ailleurs une variable : par défaut les films présentent un « tack faible »<sup>69</sup>, mais des tacks

<sup>67</sup> Catalogue Zip-a-tone, 1973, bibliothèque Forney.

<sup>68</sup> Catalogues Mécanorma, 1969 et 1970, Bibliothèque nationale de France et catalogue Zip-a-tone, 1973, la bibliothèque Forney.

<sup>69</sup> Le tack est le mot anglais pour la pégosité.

moyens ou forts peuvent être produits à la demande<sup>70</sup>. Le mot anglais utilisé tel quel dans le catalogue joue sur l'impact d'un mot anglophone pour susciter l'intérêt : il s'agit du caractère pégueux de la surface<sup>71</sup>.

Le zip est mis en avant à travers le nombre important de références disponibles. Il est présenté comme permettant de réaliser un grand éventail de productions graphiques. De façon assez récurrente, les films sont précisés grattables ou non. Cette caractéristique permet aux dessinateurs de faire ressortir des lumières<sup>72</sup> notamment, et précise le côté d'impression des films. En effet, si la majorité des films est imprimée sur la face extérieure, certains sont imprimés sur leur face intérieure, entre le film plastique et la couche d'adhésif. Les utilisateurs cités sont des graphistes et des architectes mais également des cartographes<sup>73</sup> ou des dessinateurs industriels<sup>74</sup>. Cette variété est utilisée comme un argument de vente assez direct par le rappel du nombre de références disponibles pour chaque produit. Cependant, les qualités visuelles ou d'impression du produit sont majoritairement présentées sous l'angle de la reproduction.

L'ensemble des arguments de vente restant, qu'ils touchent à l'impression, au film ou à l'adhésif, sont tous évoqués pour convaincre le client de la compatibilité du zip avec les procédés de reproduction. Afin de garantir un rendu optimum par photo-reproduction, il faut que le papier (ou support) du dessin original soit transparent et que les tracés soient opaques. Plus le contraste est important et plus le tirage est net. Ainsi transparence, opacité et précision des tracés sont des arguments centraux. La matité et la finesse des films à motif est mise en avant. En effet, un film brillant peut créer des interférences si la planéité n'est pas parfaite (Figure 23). L'épaisseur du film est également un point important car plus elle est faible et moins elle gênera le contact entre le dessin à reproduire et le papier sensibilisé.

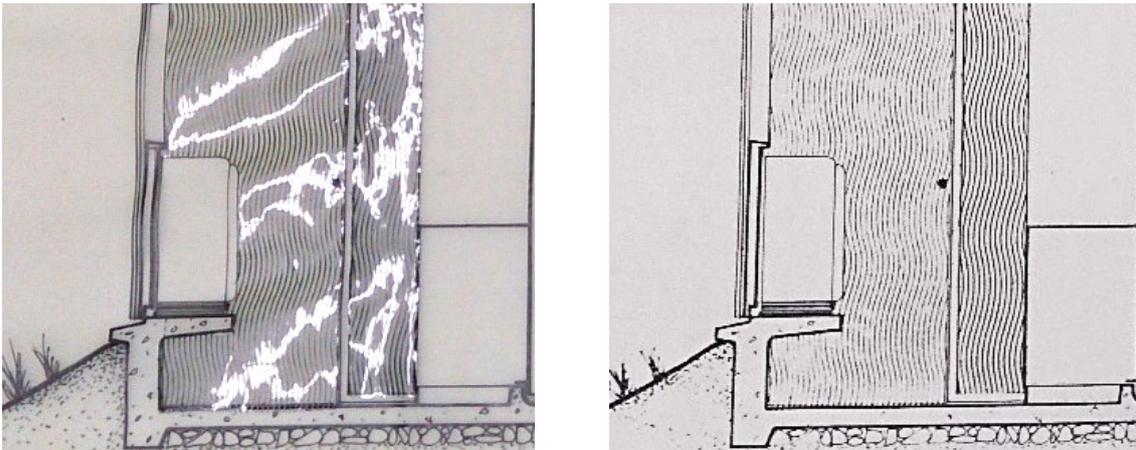


Figure 23 : Exemple d'un zip brillant et des interférences que cet aspect de surface peut occasionner au moment du tirage, AM 2007-2-410(1), à gauche, et AM 2007-2-410(2), à droite.

Les films couleurs, produits en mat ou brillant, sont présentés suivant l'usage que l'on souhaite en faire, en particulier si l'on veut les reproduire ou non. Par ailleurs, la pression et la chaleur au sein des tireuses induisent le ramollissement de certains adhésifs et le déplacement des pièces de zip. La résistance à la chaleur de l'adhésif du zip est donc un enjeu et un argument majeur pour les fabricants.

<sup>70</sup> Catalogue Zip-a-tone, 1973, bibliothèque Forney.

<sup>71</sup> La pégosité ou le caractère pégueux est la faculté d'un adhésif de maintenir ensemble instantanément deux supports (définition du Larousse).

<sup>72</sup> Les lumières dans le domaine des Beaux-Arts sont les parties claires, ou plus éclairée que les autres [...] dans un dessin (définition du Larousse).

<sup>73</sup> L'usage du zip par les géographes est par ailleurs confirmé par un article publié dans *The Professional Geographer*, en 1956, sur la résolution de problème concernant l'impression de dessins avec zip, « Ozalid Prints From Maps with Zipatone », par D.E. Christiansen.

<sup>74</sup> Catalogue Mécanorma, 1970, Bibliothèque nationale de France.

Enfin, on peut relever l'emploi d'arguments de vente moins « techniques » : ainsi, Alfac-tone met en avant la conservation sous pochette plastique alors que Zip-a-tone fait jouer l'historique de la marque et sa place d'inventeur du zip.

### **Le zip à travers la publicité**

Afin d'assurer la promotion d'un produit, les fournisseurs s'adjoignent les services de publicitaires. Ceux-ci ont pour but de cibler les consommateurs potentiels et de diffuser les informations liées au produit là où les acheteurs potentiels ne pourront pas les éviter. Dans le cas d'un groupe de consommateurs précis, les outils publicitaires se spécialisent. Pour les architectes de « l'avant internet », la publicité dans la presse spécialisée constitue un vecteur d'informations sur les techniques et produits industriels nouveaux. Aussi les journaux ou revues d'architecture présentent, dans leurs pages, des publicités concernant les nouveaux matériaux de construction, d'aménagement, de décoration ou encore les outils destinés au dessin d'architecture. Parmi ces périodiques, *l'Architecture d'Aujourd'hui*, a valeur d'institution : revue d'architecture la plus ancienne en France (toujours en activité), son objectif est de devenir la tribune de l'architecture moderne<sup>75</sup>. Cette revue bimestrielle est animée par des articles d'architectes ou de critiques ainsi que par les entretiens d'éminents architectes ou encore par des articles sur les nouveaux matériaux ou procédés dans le domaine de la construction. Les publicités et les articles concernant les zips ont été relevés en ciblant les fournisseurs. Sur 236 de ses numéros<sup>76</sup>, 18 publicités ont pu être identifiées : 9 de Letraset® dont 2 spécifiquement sur le zip, 7 de Mécanorma dont 2 spécifiquement sur le zip et 2 d'Alfac dont aucune spécifique au zip.

Le zip n'est pas le sujet unique de ces réclames : les marques font la publicité des produits de leur gamme ou de leur nouveau catalogue. Chaque marque, Letraset® et Mécanorma, dissocie les films plastiques en motif étalonné « trames » et couleurs. La publicité relevée dans le numéro 218<sup>77</sup>, mentionne que le nouveau catalogue présente « la totalité des trames adhésives Letratone ». L'année suivante, dans le numéro 224, la publicité annonce « une gamme encore plus complète et variée de caractères, de symboles, de trames et de produits PANTONE qui simplifient votre travail » et précise que ces produits permettent de donner aux créations un « fini Letraset » (avec des guillemets dans le texte).

En 1984, dans les numéros 231 et 232, le même encart fait la publicité du catalogue Mécanorma : « 400 traités de trames noir et blanc et couleur en trame adhésive NORMATONE ou trame transfert NORMATEX » et « une collection de 180 coloris de papier et de 198 films NORMACOLOR ». Contrairement aux catalogues, l'accent est mis dans la publicité sur la quantité de références disponibles et la variété des aspects.

Les autres publicités des fabricants de zip permettent de cibler les futurs utilisateurs. En 1965, une réclame pour des lettres-transferts de la marque Letraset® est la première à apparaître dans les pages de la revue. Dans un premier temps, la marque s'adresse dans ses publicités aux architectes tout autant qu'à d'autres créateurs. On peut notamment trouver chez le fournisseur des « feuilles spéciales pour architectes »<sup>78</sup>. Dans les années 1980, la marque, bien qu'elle soit toujours tournée vers d'autres domaines, revendique une spécificité architecturale. Ainsi, Letraset® propose un « nouveau catalogue architecture »<sup>79</sup> avec « une vaste gamme inédite de symboles spécialement étudiés et dessinés pour les besoins nouveaux de l'architecture d'aujourd'hui

---

<sup>75</sup> *L'Architecture d'Aujourd'hui*, n°1, novembre 1930, 102 p. L'éditorial du premier numéro est rédigé par André Bloc, à l'initiative de la revue.

Elle est la plus ancienne des revue moderne d'architecture et bénéficie d'un rayonnement international depuis ses débuts.

<sup>76</sup> Les numéros consultés vont du numéro 1 au numéro 242, de 1930 à 1985.

<sup>77</sup> *L'Architecture d'Aujourd'hui*, n°218, 1982, p. 90.

<sup>78</sup> *L'Architecture d'Aujourd'hui*, n°117, 1965, p. CXXXIII.

<sup>79</sup> *L'Architecture d'Aujourd'hui*, n°218, 1982, p. 90.

[...] »<sup>80</sup>. En 1984, le dessin seul permet directement l'identification des architectes avec le personnage à la table à dessiner (Figure 24).



Figure 24 : Publicité pour Letraset<sup>®</sup> dans le n° 230 de *l'Architecture d'Aujourd'hui*, 1984.

Mécánorma : « réalisé en tenant compte des besoins des Bureaux d'Études, des Architectes, etc. »<sup>81</sup>

Alfac : « C'est le résultat de recherches approfondies où toutes les techniques des cabinets d'architectures sont prises en compte. »<sup>82</sup>

Mécánorma : « C'est en écoutant les architectes et les professionnels des bureaux d'études que MECANORMA a pris conscience de leur désir de voir évoluer les procédés vers un système plus pratique, plus confortable, plus sûr. »<sup>83</sup>

En contrepoint de Letraset<sup>®</sup>, les marques Mécánorma et Alfac se positionnent dès leurs premières apparitions dans les pages de la revue, respectivement 1965 et 1975, comme fournisseur de matériel spécialisé pour architectes. Les deux marques mettent en avant leur connaissance des besoins des bâtisseurs et leur spécialisation dans ce domaine. Comme les catalogues de ventes, les publicités sont des sources à considérer sans oublier que leur but affiché, est de convaincre les potentiels clients. Aussi, l'emploi de vocabulaire positif, voire superlatif, doit être compris dans le contexte de la vente. Les informations présentées précédemment sont tirées des publicités trouvées dans *l'Architecture d'Aujourd'hui*, de 1930 à 1985, mais pas au-delà de ces dates et elles ne peuvent être extrapolées à d'autres revues.

<sup>80</sup> *L'Architecture d'Aujourd'hui*, n°224, 1982, p. XXXI.

<sup>81</sup> *L'Architecture d'Aujourd'hui*, n°122, 1965, p. CI.

<sup>82</sup> *L'Architecture d'Aujourd'hui*, n°179, 1975, p. XXI.

<sup>83</sup> *L'Architecture d'Aujourd'hui*, n°226, 1983, dos de couverture.

## B. Usage d'un medium graphique prêt à l'emploi

### 1. Utilisation du zip

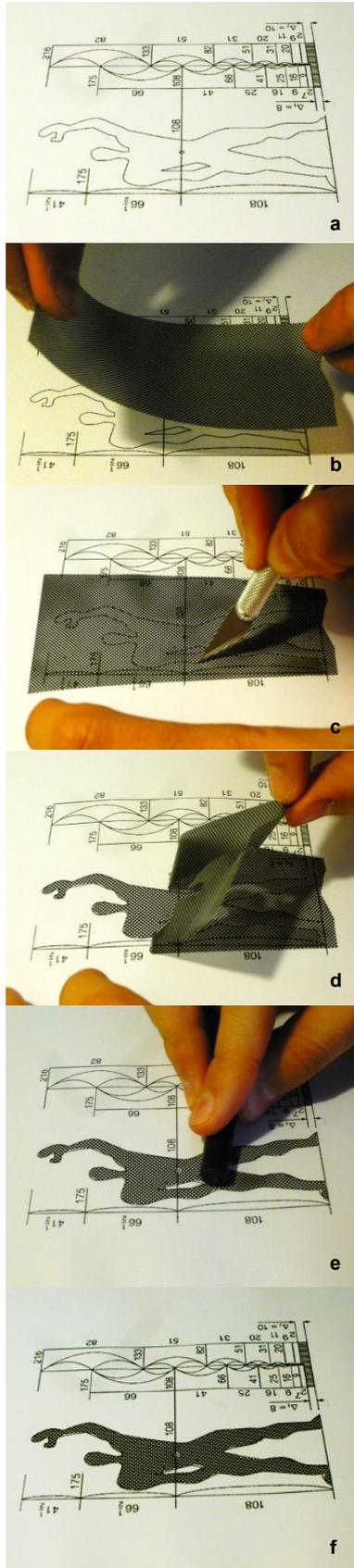


Figure 26 : Étapes d'utilisation du zip.

Afin de détailler la mise en œuvre du zip, nous choisissons pour exemple de remplir la figure du Modulor avec la référence Letratone® LT13 de Letraset® (Figure 26). Le zip peut s'utiliser en forme libre ou pour remplir une surface prédéfinie (a).

Sur le papier de protection, il convient de découper un morceau de zip légèrement plus grand que la forme à remplir. A cet effet, certains papiers de protection sont translucides. Le zip peut alors être soulevé de la feuille de protection et positionné sur la forme à remplir (b). Le film est électrostatique et il est donc prudent de positionner les grands morceaux à deux mains.

Pour pouvoir détourer la forme à remplir, il faut appliquer le zip pour le maintenir en place. Cependant, il est important de ne pas l'appliquer trop fort pour pouvoir, au besoin, le déplacer, le retirer ou retirer l'excédent après la découpe. Pour celle-ci, il faut utiliser un outil tranchant comme un X-acto, un couteau<sup>84</sup> ou un scalpel et doser la pression pour ne pas passer au travers du papier de support (c).

Une fois la forme détournée, l'excédent peut être retiré en soulevant un coin avec la lame de l'outil de coupe puis en tirant doucement (d). Il est nécessaire de surveiller cette étape car si une incision n'est pas parfaitement réalisée, le zip peut se déchirer aléatoirement, dans le surplus comme dans la forme.

Quand la découpe du zip est satisfaisante, il peut être appliqué de façon durable. Pour cela, il faut frotter la surface avec un outil dur à la surface lisse. Certains outils sont commercialisés par les fabricants de zip, comme les « stylus frottoir » ou « stylus brunissoir » (Figure 25) mais les architectes ont utilisé le tout-venant comme un capuchon de stylo ou même avec le dos de l'ongle (e).

Après s'être assuré qu'il ne reste plus de bulles d'air ou de plis sur le film, le dessin est prêt à être présenté au client ou au jury du concours, ou encore à être reproduit (f).



Figure 25: Outils d'application de la marque Letraset®.

<sup>84</sup> Nom donné à l'outil de coupe dans les catalogues de la marque Alfac-tone.

## 2. Compatibilité d'usage avec la pratique des architectes

### Transparence et reproduction

Un des aspects majeurs pouvant expliquer l'adoption rapide et de façon très majoritaire du zip est sa transparence. Cette condition peut être qualifiée de *sine qua non*. En effet, les plans d'architecte sont voués à être reproduits en plusieurs exemplaires afin d'être remis aux différents corps de métier intervenant dans la construction d'un bâtiment. Par ailleurs, le caractère standardisé du zip permet au dessinateur de maîtriser exactement la reproduction réalisée par le photographeur en fixant la densité voulue dans le cadre de publication. Les procédés de reproduction dans les agences d'architecture ou à la demande des architectes dans des ateliers de reproduction, sont variés mais sont tous, pour la période d'utilisation du zip, des procédés photographiques<sup>85</sup>. C'est pour cette raison que les dessins sont réalisés sur papier calque<sup>86</sup>. Ils sont utilisés comme un négatif lors du tirage photographique. Un papier enduit d'une couche photosensible est insolé à travers le calque portant un dessin. Ainsi les zones dessinées ne laissent pas passer la lumière, et apparaissent différemment des zones laissées vierges, où la lumière insolé pleinement la couche d'émulsion photographique. Le tirage doit ensuite être développé et/ou rincé, suivant le procédé de reproduction utilisé. On obtient alors un tirage négatif ou un tirage positif. Les films plastiques tramés ou colorés, dans la mesure où ils sont transparents et fins, se prêtent aux besoins de la reproduction et sont compatibles avec sa mise en œuvre. Les fabricants vantent d'ailleurs ces qualités de reproduction dans les publicités annonçant la sortie des nouveaux catalogues de vente<sup>87</sup>.

Il est possible d'observer des adaptations du produit par le fabricant pour mieux correspondre aux besoins des architectes. Il semble que les films présentaient un caractère brillant dans les premiers temps de la production mais que la mauvaise impression qui ressortait de leur usage conduit les fabricants à commercialiser par la suite des films mats.

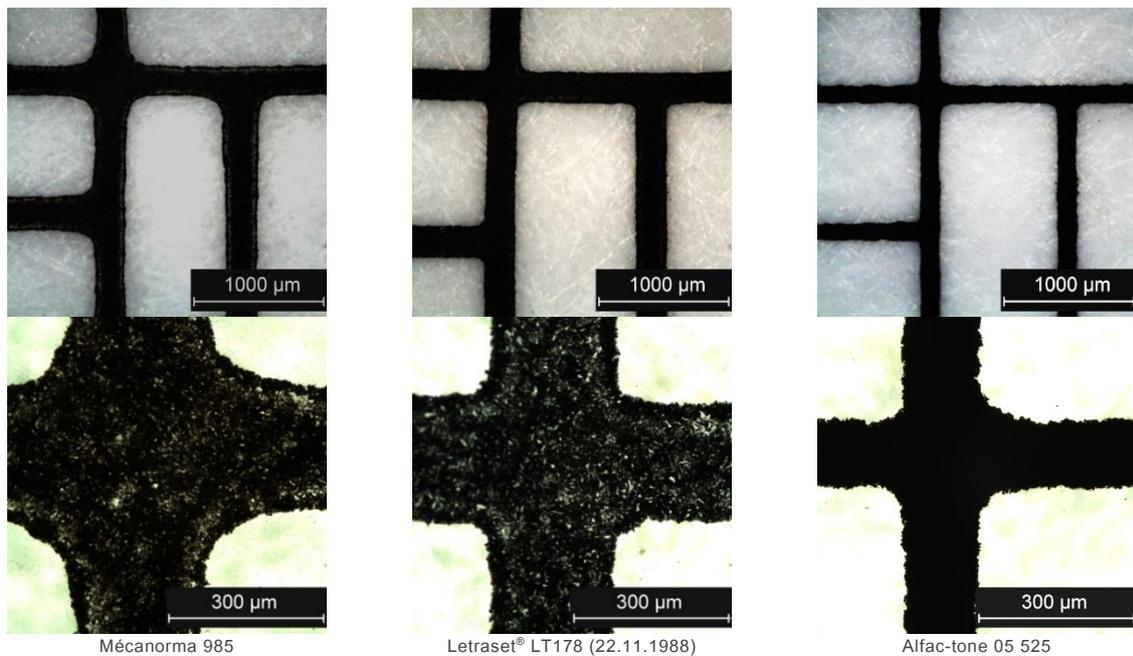
Les encres sont élaborées pour être les plus opaques possibles et permettre une précision maximale pour le tirage. Une observation sous microscope de trois références de zip d'un même motif fabriquées par trois marques différentes permet d'appréhender la question de l'opacité d'un point de vue purement comparatif (Figure 27). Ainsi, les impressions pour un même motif de sol par les marques Mécanorma, réf. 985, Letraset®, réf. LT178 et Alfac-tone, réf. 05525 ont été comparées. Les vues du haut présentent les épaisseurs des tracés du motif. Les clichés du bas permettent d'observer l'opacité de l'impression en lumière transmise mais également de dissocier les techniques d'impression. L'impression chez Mécanorma et Letraset® est une impression typographique, ce qui se reconnaît par le liseré sombre en périphérie de la zone encrée, cernant une zone moins dense que le centre de la ligne. Cet effet est produit par la pression puis la succion exercée par la matrice d'impression en relief. En revanche, la finesse et l'opacité parfaite de l'impression de la trame Alfac-tone laisse penser à une impression de type gravure.

---

<sup>85</sup> KISSEL Éléonore, VIGNEREAU Erin, *Architectural photoreproduction, A manual for identification and care*, New Castle: Oak Knoll Press, 1999, 140 p.

<sup>86</sup> POUPEE Henri, « Le papier calque, instrument d'une révolution », dans *Des grands chantiers...hier au musée-galerie de la SEITA*, Paris : Direction des affaires culturelles, 1988, p.15-20.

<sup>87</sup> *L'Architecture d'Aujourd'hui* n°122, 1965, p. CI.



Mécanorma 985

Letraset® LT178 (22.11.1988)

Alfac-tone 05 525

Figure 27 : Détails de trois références de zip observées sous microscope, en lumière polarisée et grossissement x50 en haut et en lumière transmise et grossissement x200, en bas.

De même, les adhésifs sont améliorés au fil du temps afin de devenir de plus en plus résistants à la chaleur. En effet, les machines pour tirer les plans, les « tireuses » sont de plus en plus performantes. Pour réduire le temps de reproduction, il faut augmenter la puissance lumineuse et améliorer le contact entre le dessin original et le papier préparé. Les dessins sont donc soumis à de fortes chaleurs et pressions ce qui peut conduire au déplacement des zips. Ainsi certaines marques, plutôt que de changer l'adhésif, proposent deux adhésifs, un « normal » et un résistant à la chaleur, jusqu'à 120°C d'après le fabricant et appelé « helio »<sup>88</sup>.

### Standardisation et adaptation

Un des grands avantages du zip est la nature standardisée de ses motifs, comme le cas des trames, précédemment évoqué. Les motifs pré-imprimés reprennent les règles de représentation du dessin d'architecture traditionnel : le vocabulaire graphique lié à la représentation est identique.

Les motifs décoratifs sont minoritaires au regard des lignes permettant le rendu des ombres, des « trames architecture » présentant une grande variété de sols, murs et toitures, des « trames P.O.S. » (plans d'occupation des sols) avec les motifs normés pour les différentes zones (marécages, bois, cimetière, etc.) et enfin les trames dites « diverses » qui reprennent un peu des deux précédents ainsi que les motifs normés pour les matériaux en coupe, par exemple, les diagonales pour les parois opaques coupées. On peut ainsi identifier le béton de fondation en coupe dessiné à la main et sa représentation industrielle (Figure 28).

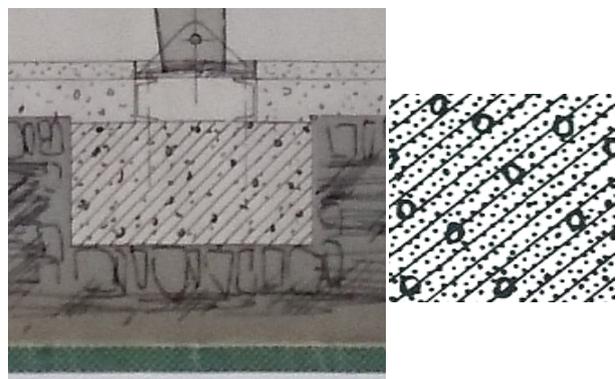


Figure 28 : Détails du béton de fondation réalisé à la main sur le dessin AM 2007-2-315 et le même motif imprimé sur une feuille de zip, Letraset® LT967.

<sup>88</sup> Catalogue Mécanorma, 1968, bibliothèque Forney.

### Augmentation de la vitesse d'exécution

Les zips, tout en répondant à certains critères impératifs de la pratique des architectes, permettent d'accélérer le remplissage de zones plus ou moins grandes et ainsi la réalisation des dessins d'architecture. Le recours au zip est décrit dans les catalogues de vente comme permettant de gagner du temps, et ce pour de petites ou grandes surfaces. Cet argument de vente est confirmé par de nombreux architectes. Afin de tenter de le quantifier, un petit test a été mis en œuvre (Tableau 3 : Évaluation du temps de réalisation de remplissage d'une surface avec des motifs de lignes et de pierres, exprimé en minutes.). Il s'agit de remplir manuellement et avec une application de zip des carrés de différentes tailles, 1, 4 et 16 cm<sup>2</sup>, avec des motifs de lignes espacées de 1mm et de pierres. Chaque étape a été chronométrée. Il en ressort que, l'application du zip, quel que soit son motif ou sa taille, est sensiblement le même. En revanche, pour un remplissage dessiné à la main, le temps est proportionnel à la surface : pour doubler la surface de remplissage, il faut compter environ 1,5 fois plus de temps. Cela se vérifie pour les deux motifs. Il faut noter que la pose d'un zip au format carré est particulièrement simple et qu'une forme plus complexe sera plus longue à remplir. De même, les motifs de lignes et de briques sont plutôt simples dans leur exécution et le remplissage d'une toiture à la main nécessite un temps de travail plus long.

Tableau 3 : Évaluation du temps de réalisation de remplissage d'une surface avec des motifs de lignes et de pierres, exprimé en minutes.

	Lignes parallèles espacées de 1mm		Motif de pierres	
	Remplissage manuel	Remplissage avec film plastique auto-adhésif	Remplissage manuel	Remplissage avec film plastique auto-adhésif
Carré de 1 cm <sup>2</sup>	1'37	0'26	0'25	0'25
Carré de 4 cm <sup>2</sup>	3'00	0'27	1'17	0'28
Carré de 16 cm <sup>2</sup>	6'10	0'29	2'23	0'30

### 3. Usage dans les cabinets d'architecture

Pour pouvoir apprécier la présence du zip dans la production des agences d'architecture, il faut s'intéresser à la pratique du dessin qui y est menée. En effet, le zip ne se retrouve pas à toutes les étapes du processus créatif. Par ailleurs, l'évolution même du produit, avec la commercialisation de nouvelles références, accompagne des changements dans l'usage que les architectes ont pu en faire. Enfin, il faut mentionner le cas particulier de Le Corbusier et de ses créations plastiques employant le zip.

#### Production graphique et zip

Après la Seconde Guerre mondiale, la reconstruction impose aux architectes de rationaliser leur profession et leur production graphique, afin de répondre au plus vite à l'importante demande de constructions de grande ampleur<sup>89</sup>. C'est dans ce contexte que le zip trouve sa place. Ce-dernier est utilisé afin d'obtenir un rendu propre et net, un dessin fini et standardisé. Or le processus créatif en architecture comporte différents stades dont seulement certains sont compatibles avec l'emploi de zips. On peut dissocier, dans les grandes lignes, cinq typologies de documents graphiques s'inscrivant dans le procédé de réalisation d'un projet architectural.

<sup>89</sup> ABRAM Joseph, *Du chaos à la croissance 1940-1966*, tome 2, MONNIER Gérard (dir.), *L'architecture moderne en France*, Paris : Picard, 1999, 327 p.

STERKEN Sven, « Travailler chez Le Corbusier : le cas de Iannis Xenakis », in *Massilia 28, Annuaire d'études corbusiennes*, Paris : Fondation Le Corbusier, 2003, p. 202-215.

Le croquis ou esquisse est un dessin enlevé, chargé de garder la trace d'une idée (Figure 29). L'architecte, le chef de l'agence ou les chefs de projet, couchent sur le papier des idées comme elles viennent. Il peut s'inscrire en amont d'un projet afin d'en élaborer le concept ou durant les réflexions de réalisation pour préciser une idée. Il est souvent réalisé avec des media tels que les crayons ou les feutres. Le croquis peut aller de quelques traits à une réalisation plus aboutie. Quand le croquis est réalisé pour transmettre une idée, il émane du concepteur pour donner les directives à ses équipes.

Les documents de travail regroupent l'ensemble des dessins d'étude sur lesquels sont portées des annotations ou modifications en vue de faire progresser le projet (Figure 30). Le document de travail est réalisé avec des outils de traçage ; il peut être dessiné au crayon ou à l'encre. Il s'agit d'un document évolutif présentant souvent des annotations

Le dessin de présentation ou dessin de rendu est destiné aux concours ou aux clients, il s'agit d'un dessin d'une vue du bâtiment, d'un plan de détails, d'une perspective, d'une élévation ou d'une coupe, de la façon la plus plaisante possible (Figure 31). Il s'agit de dessins destinés à séduire. Traditionnellement, suivant les préceptes académiques, les dessins de présentations étaient réalisés avec des outils de traçages à l'encre et mis en couleur à l'aide de lavis (peinture ou encre).

Le plan est un dessin technique et prescriptif (Figure 32). Par convention, il s'agit d'une coupe horizontale de la construction à hauteur de 1 m ou 1 m 20. Ce document est destiné à la construction, voué à être reproduit pour les différents corps de métier du bâtiment. Le plan est réalisé à l'encre avec des outils de traçage. Il présente un cartel détaillé afin d'être aisément identifié. Les zips y sont utilisés pour définir différentes zones ou différents matériaux de construction en suivant les normes de représentation.

Le tirage ou impression est un multiple issu de la reproduction d'un dessin sur calque (Figure 33). Le tirage peut lui-même être réalisé sur calque : dans ces cas-là, on parle de contrecalque. Le contrecalque permet de réaliser de nombreux tirages en protégeant le dessin original. Il faut par ailleurs noter que certains tirages ont pu être retravaillés avec du zip, notamment pour une mise en couleur après un tirage noir et blanc. L'application

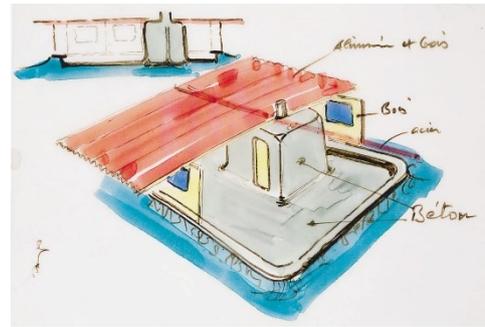


Figure 29 : *Maison Alba*, Jean Prouvé 1953, AM 1992-1-274. ©CentrePompidou

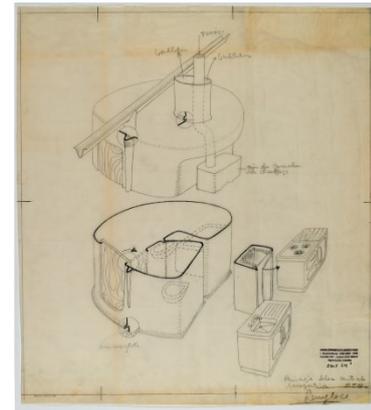


Figure 30 : *Principe bloc central*, Jean Prouvé, 1956, AM 2007-2-401. ©CentrePompidou

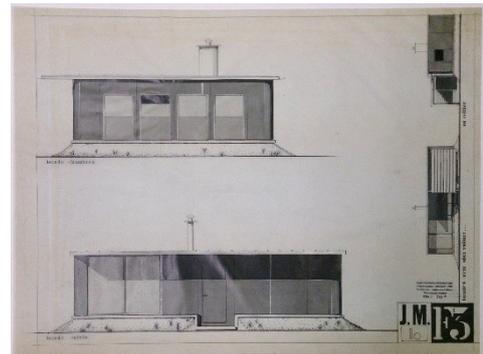


Figure 31 : *J.M., F3, façades entrée, chambre, garage ou cellier*, Jean Prouvé, 1956, AM 2007-2-409 (0001). ©CentrePompidou

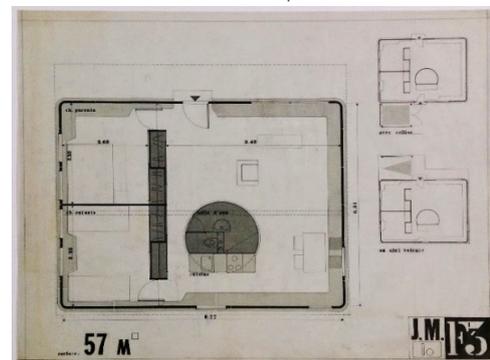


Figure 32 : *J.M., F3, 57 m<sup>2</sup>, variante avec cellier ou abri voiture*, Jean Prouvé, 1956, AM 2007-2-413(0001). ©CentrePompidou

de zip sur ces tirages en vue d'un rendu, leur confère alors un statut d'originaux et un usage de dessins de présentation.

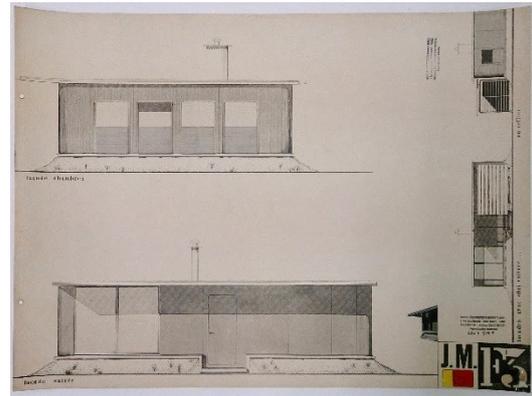
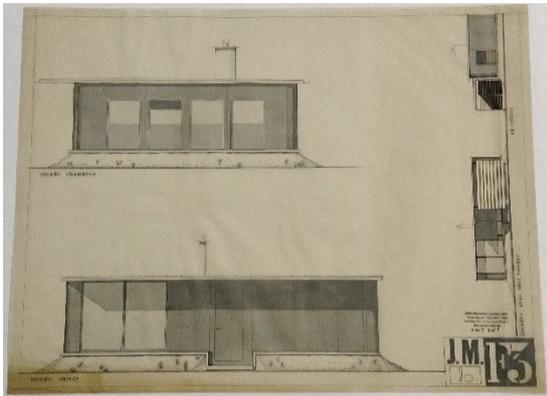


Figure 33 : Tirage intermédiaire sur papier calque, contrecalque, à gauche, et tirage sur papier avec application de zip colorés, à droite, J.M., F3, façades entrée, chambre, garage ou cellier, Jean Prouvé, 1956, AM 2007-2-409 (0002) et (0003). ©M.Cinqualbre/CentrePompidou

### Évolution de l'usage avec l'évolution du produit

La production graphique de Le Corbusier étant la première à montrer l'emploi du zip, elle occupe une place centrale dans la définition de l'usage que les architectes ont pu en faire.

Les premiers projets sur lesquels il est possible de relever l'emploi de zip chez Le Corbusier, sont des projets d'urbanisme plus que d'architecture. Le tout premier zip recensé apparaît sur un plan, une vue aérienne, pour l'urbanisme du Vieux port de Marseille et date de 1945 (Figure 34). Les suivants datent de 1950 pour les projets d'urbanisme pour la ville de Bogota en Colombie (Figure 35) et de 1951, pour un projet d'urbanisme de la ville de Chandigarh en Inde. L'emploi du zip sur des plans d'urbanisme de grandes dimensions, pour le pochage de surfaces importantes se comprend aisément au regard du gain de temps que l'usage du zip représente. Par ailleurs, l'usage du zip évite le lavis dont la réalisation sur calque implique le gondolement du support et un certain temps de séchage. Le zonage graphique transcrit le zonage des fonctions urbaines.

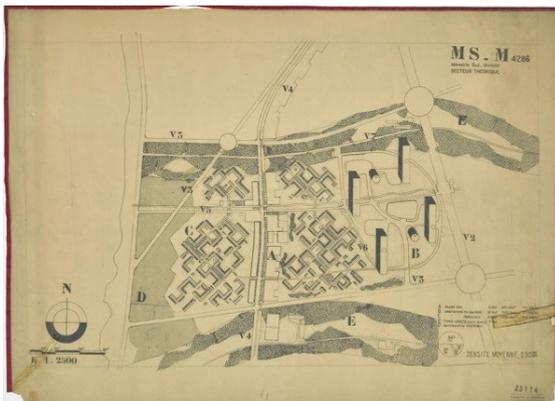


Figure 34 : Urbanisme Marseille Sud – Secteur Michelet, Le Corbusier, 1945, contrecalque FLC 23114. ©FLC



Figure 35 : Urbanisme Bogota, Le Corbusier, 1950, original FLC00603. ©FLC

L'apparition des zips dans les plans vus du ciel pour les projets d'urbanisme pourrait s'expliquer par la récupération par les architectes d'un procédé utilisé antérieurement par des urbanistes ou des topographes et l'arrivée dans l'atelier de Le Corbusier du zip pourrait coïncider avec celle d'un jeune urbaniste. Mais, on peut également imaginer des contraintes techniques ayant poussé à un emploi circonscrit très précisément aux plans d'urbanisme. Le motif le plus présent sur ces zips est une impression de forêts d'arbres. Or, on peut penser que la gamme disponible dans les premiers temps n'était pas aussi large qu'elle l'est devenue et que les

architectes n'avaient à leur disposition qu'une seule échelle d'arbres, convenant uniquement pour les plans vus du ciel. Ainsi, les premiers zips ne seraient utilisables, pour des raisons d'échelle, que sur des vues du ciel.

Par ailleurs, il est possible d'avancer d'autres hypothèses. Dans la mesure où cette période correspond aux débuts du zip, peut-être ces produits étaient-ils encore rares et chers, et leur utilisation était très restreinte et ciblée. On peut penser qu'ils étaient dévolus aux hors formats où le remplissage des surfaces était particulièrement long. Une dernière hypothèse serait que le zip encore nouveau n'était pas très apprécié des jurys de concours encore enclins à l'académisme et qu'il était donc utilisé avec parcimonie, et uniquement sur des plans, les dessins de présentation étant encore traités de façon classique.

### Création plastique, le cas particulier de Le Corbusier

C'est vraisemblablement en tant qu'architecte que Le Corbusier découvre le zip mais c'est en tant qu'artiste qu'il s'en empare pleinement. Il partage sa vie de créateur en deux : « le matin à la peinture, l'après-midi, à l'autre bout de Paris, architecture et urbanisme »<sup>90</sup>. L'usage du zip dans les dessins préparatoires de tapisseries s'inscrit dans la pratique du collage, pratique à laquelle Le Corbusier a régulièrement recours<sup>91</sup>. Dès les années 1930, il récupère des morceaux de papier pour composer des figures en les associant. Ainsi, il crée de nombreux dessins en utilisant des morceaux de papiers peints issus de nuanciers de la marque suisse Salubra (Figure 36). Ces papiers peints sont si importants dans son processus de création qu'il entre en contact avec la société. Il en ressort une collaboration en 1931, où Le Corbusier crée pour Salubra les papiers peints qu'il voudrait utiliser pour les habitations qu'il construit. Les lignes de papiers peints de la marque suisse parlent à l'architecte par leur couleur mais surtout par leurs motifs simples et graphiques. C'est probablement l'attrait pour ce type de motif qui l'incite à utiliser les trames de zips dont les motifs sont industrialisés (Figure 37).



Figure 36 : Deux figures au tronc d'arbre jaune, 1937, FLC\_PC\_0028  
©FLC et détail d'un papier collé, issu d'un nuancier Salubra.

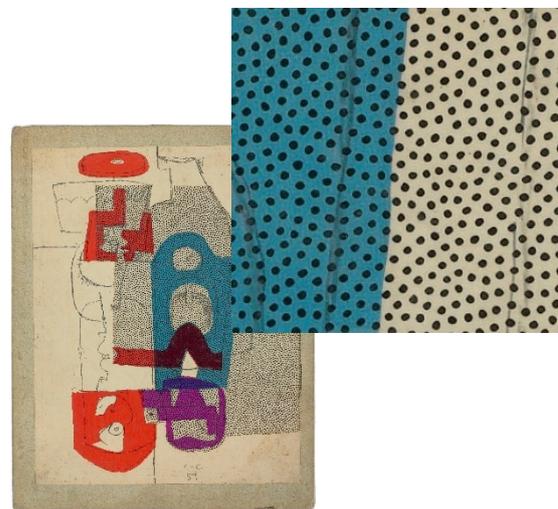


Figure 37 : Carton pour tapisserie « Bouteille et cie », 1951,  
FLC\_PC\_0103 ©FLC et détail de deux morceaux de zip  
superposés.

Les archives abritent un témoin de la correspondance de l'architecte avec le directeur artistique de Salubra. Cette lettre est rédigée dans le cadre d'une deuxième collaboration, en 1959<sup>92</sup>. Le Corbusier fait ses commentaires sur les échantillons qu'il a reçus et précise son idée en arguant que les premiers essais ne sont

<sup>90</sup> Propos de Le Corbusier, dossier enseignant, *Appartement-Atelier de Le Corbusier*, Fondation Le Corbusier, 18 p.

<sup>91</sup> GARGIANI R., 2011, *op. cit.*, p. 438.

<sup>92</sup> Lettre de Le Corbusier à Salubra, 1959, inv. R3-2-252, FLC.

pas suffisamment réguliers ; en guise d'exemple, il joint un bout de trame imprimé sur papier journal agrafé à la lettre. Cette lettre est extrêmement intéressante car elle montre que ce sont les motifs qui attirent et motivent Le Corbusier. Ceci peut expliquer son intérêt pour les papiers Salubra à points. Lorsqu'il a eu accès aux zips, ceux-ci répondent à ses souhaits de façon encore plus précise et deviennent une référence.

Une part de la production graphique de Le Corbusier se retrouve dans la cinquantaine de livres qu'il publie. Il s'agit aussi bien d'essais relatifs à l'architecture et l'urbanisme, que de recueils de poésie ou encore de « carnets » dévolus à des projets spécifiques. Ce travail d'édition est marqué par sa volonté de délivrer un message tant sur le fond que sur la forme. Ainsi, il crée des illustrations correspondant à ses visées esthétiques et soigne particulièrement la mise en page. Dans ce travail d'édition, se retrouve l'utilisation du collage et du zip de façon prédominante (Figure 38). Il faut d'ailleurs rappeler ici, la réflexion dédiée au zip dans le *Modulor 2*.

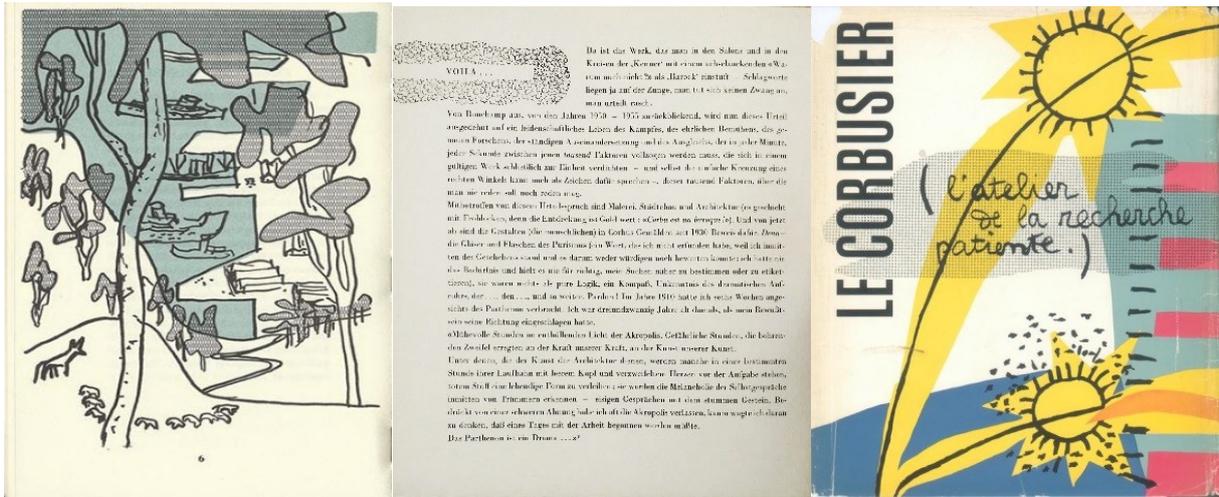


Illustration de *Poésie sur Alger*,  
Le Corbusier, 1950. ©FLC

Mise en page des *Carnets de la recherche patiente*,  
*Ronchamp*, Le Corbusier, 1957.  
©FLC

Couverture de *L'Atelier de la recherche patiente*,  
Le Corbusier, 1960. ©FLC

Figure 38 : exemples d'emploi du zip par Le Corbusier dans ces publications, de gauche à droite, couverture, illustration et mise en page.

La présence du zip dans le travail de publication et son usage si varié est un témoignage de plus de l'adéquation de ce produit industriel, et de ses motifs standardisés avec le postulat esthétique de Le Corbusier.

### III. Questions d'esthétique

Comme il a déjà été mentionné, il existe relativement peu de littérature sur le dessin en architecture et encore moins présentant des réflexions sur son esthétique. Les quelques intérêts qu'on lui porte se concentrent sur les réalisations académiques d'avant 1940. Cependant, cette partie est l'occasion d'un survol de cet aspect, plus que son étude complète. L'idée est de proposer des miscellanées tirées de l'étude des collections afin de favoriser une proximité du lecteur avec les questions d'esthétique relative au zip. En effet, il n'est pas seulement le médium de transition entre le dessin « Beaux-Arts » et le dessin sur ordinateur et il n'est pas uniquement utilisé pour gagner du temps. Le zip accompagne une évolution stylistique en tant qu'outil graphique mais il initie également une révolution esthétique dont il devient le symbole. Le zip s'inscrit comme le partenaire privilégié du dessin moderne en miroir des constructions qu'il représente.

#### A. L'avant zip : entre opposition et préfiguration

##### 1. Le style Beaux-Arts

La formation des architectes est soumise à l'académie des Beaux-Arts. L'enseignement y reste traditionnel et dogmatique jusqu'à mai 68. Ce qui se ressent dans l'enseignement d'un dessin codifié et hiératique tant dans l'exécution que dans la représentation. Les rendus sont réalisés à la plume et à l'encre de Chine pour les tracés, sur du papier vélin (Figure 39) ; l'encre est diluée et déposée au pinceau pour figurer les détails et ornements et peut être appliquée en lavis monochrome. L'aquarelle est également utilisée en lavis pour réaliser les surfaces colorées.

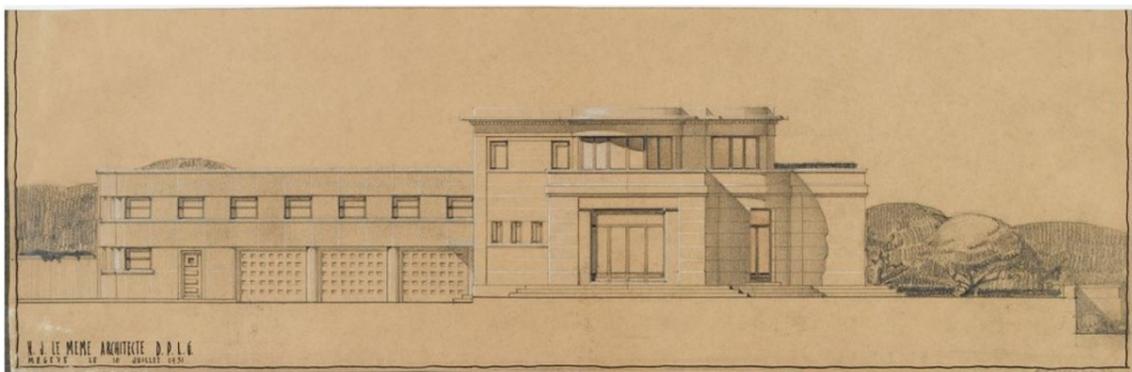


Figure 39 : Villa, propriété de M. Jacques Rodier, Saint-Cloud, Pol ABRAHAM, 1930, AM 2006-2-80. ©CentrePompidou

On peut noter qu'aux Etats-Unis, à partir des années 1920, les dessins sont réalisés préférentiellement au crayon graphite pour les tracés, réhaussés par la suite de lavis d'encre ou d'aquarelle. L'encrage des tracés est en effet jugé trop dur visuellement<sup>93</sup>. Les lumières peuvent être indiquées à la craie ou à la gouache blanche. Pour les dessins prescripteurs, en raison du besoin de reproduction, les tracés sont réalisés à l'encre de Chine sur papier calque. Les dessinateurs essaient d'y limiter au maximum les lavis en raison de la réactivité du calque avec l'apport d'humidité. Ainsi, le remplissage de zones est souvent réalisé par des hachures et autres motifs.

<sup>93</sup> PRICE L. O., 2014, *op. cit.*, p.100.

Pour les dessins de rendu, les élévations sont privilégiées, les perspectives étant longtemps proscrites, et donnent une vue de face, statique du bâtiment. Les tracés principaux de l'architecture sont tirés à la règle. Un exemple de codes stricts du style Beaux-Arts est le traitement de la lumière directe et réfléchi<sup>94</sup>.

### 2. Dessin et modernité

Dans l'entre-deux guerres, de nombreux architectes se positionnent déjà en opposition à l'académisme. Cela transparaît dans leurs constructions et leur production graphique. La recherche de l'objectivité se reflète dans les dessins. Les lavis aquarellés et les détails des dessins Beaux-Arts trahissant la main de leur dessinateur sont rejetés et l'orientation donnée est marquée par une recherche de systématisme. Le dessin doit être impersonnel pour ne pas influencer le spectateur ou le client<sup>95</sup>. Pour faire oublier la main et affirmer le propos architectural, les architectes ont recours à des traits durcis résultant en un dessin précis, sur papier blanc pour renforcer le contraste. Ainsi en est-il chez le jeune Robert Mallet-Stevens<sup>96</sup> chez qui l'on peut voir une influence de la Sécession Viennoise (Figure 40). Le caractère moderne de ses dessins leur est conféré par un aspect épuré, l'opposition chromatique du noir et du blanc, avec des touches de couleurs très ponctuelles. L'aspect moderne est également recherché par l'emploi de couleurs franches, souvent primaires, appliquées en aplat le plus uniforme possible avec un rendu mat. Le recours à une mise en couleur très tranchée peut s'observer dans les vues d'intérieur de Francis Jourdain (Figure 41).

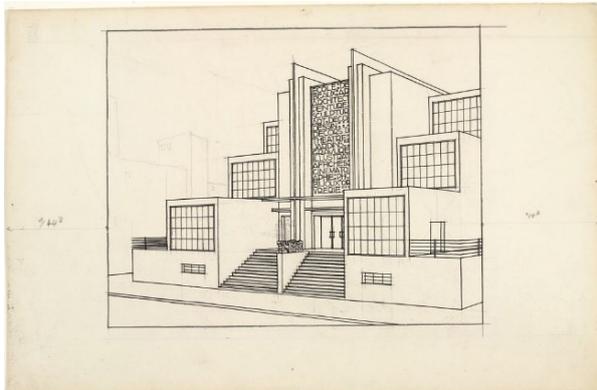


Figure 40 : *Ecole des Beaux-Arts*, Robert Mallet-Stevens, 1923-1924, AM 4651D. ©CentrePompidou



Figure 41 : *Living room*, in *Intérieurs*, Francis Jourdain, publié en 1925, édition du désastre.

Les éléments accessoires du dessin comme les lettrages, sont eux aussi mis à contribution pour industrialiser le rendu. Dans l'atelier de Le Corbusier la standardisation des lettrages passe par leur réalisation au pochoir. Leur sont préférées les perspectives axonométriques. L'axonométrie n'est pas une représentation nouvelle mais elle prend tout son caractère moderne dans des représentations comme celle du mouvement de Stijl.

<sup>94</sup> La lumière directe doit toucher le bâtiment avec un angle de 45° de l'angle supérieur gauche à l'angle inférieur droit ; les détails situés dans l'ombre, sont mis en valeur par la lumière réfléchi par le sol qui touche l'édifice avec un angle de 45° dans une direction opposée à la lumière directe. PRICE L. O., 2014, *op. cit.*, p.108.

<sup>95</sup> BRUEGMANN R., 1989, *op. cit.*, p. 142.

<sup>96</sup> Robert Mallet-Stevens (1886-1945), architecte français, passionné de décoration, il associe architecture et arts appliqués ce qui lui donne une place toute particulière parmi les bâtisseurs français.

3. Le dessin « fil de fer »<sup>97</sup>

Enfin, si l'on aborde les principaux mouvements ayant contribué à une esthétique « préparant » celle du zip, il faut mentionner les futuristes italiens et les constructivistes russes, dont les esthétiques graphiques se rapprochent par l'importance de la grille dans leurs rendus. L'architecture et sa représentation sont marquées par l'imaginaire industriel, symbolisé par l'usine. Les dessins des bâtiments semblent être réalisés uniquement avec des formes géométriques simples comme les pièces d'un mécanisme. La recherche d'objectivité est également présente dans leur réflexion. Les dessins d'architecture, et le graphisme plus généralement, sont marqués par les couleurs en aplats saturés. Les dessins sont rythmés par une dynamique imposée par les lignes. On retrouve également l'usage de la grille (Figure 42).

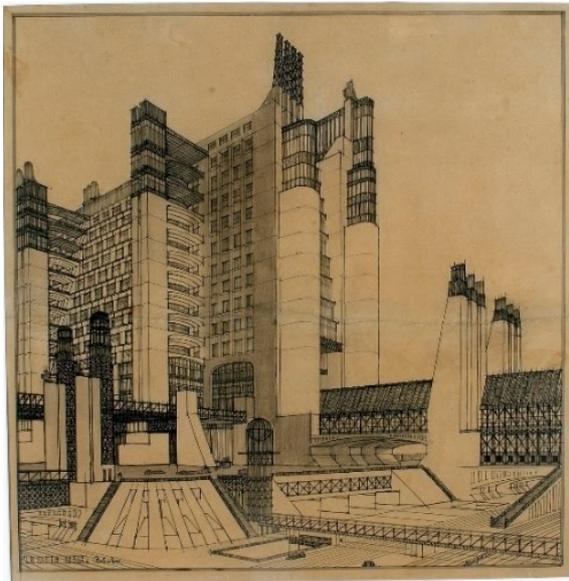


Figure 42 : La Citta Nuova, Antonio Sant'Elia, 1914 et Composition 21, Iakov Tchernikhov, 1930. ©TheCharnel-House

Chez Antonio Sant'Elia<sup>98</sup>, par exemple, les effets de grille interviennent par la multiplication et l'empilement d'une même structure de base. Chez Iakov Tchernikhov<sup>99</sup>, la grille est ajourée et légère<sup>100</sup>. Elle peut être figurative sous forme de grue ou de piles d'un pont mais également abstraite, créée à partir de sections géométriques répétées à l'infini pour faire naître de nouveaux volumes.

<sup>97</sup> Le terme est emprunté au monde informatique pour désigner les premiers dessins réalisés sur ordinateur. BRUEGMANN R., 1989, *op. cit.*, p. 139-155.

<sup>98</sup> Antonio Sant'Elia (1888-1916), architecte italien du mouvement futuriste.

<sup>99</sup> Iakov Tchernikhov (1889-1951) architecte visionnaire russe, difficilement classable. Il se remarque par ses dessins d'architecture graphiques produit au temps de l'Union Soviétique.

<sup>100</sup> BRUEGMANN R., 1989, *op. cit.*, p. 139-155.

## B. Entre continuité et émancipation

### 1. Usage rationalisé et revendication esthétique

#### Le zip, outil de modernité chez Le Corbusier

Comme tout nouveau moyen de création, le zip est dans les premiers temps utilisé en conformité avec la pratique déjà ancrée dans les habitudes des architectes. Ils s'en saisissent comme d'un outil graphique en accord avec leur méthode de réalisation et leur esthétique. Le zip ne marque pas de changement radical dans la production des architectes mais s'inscrit en continuité avec ce qui l'a précédé. Cela est bien observable dans les dessins d'architecture de Le Corbusier. Comme cela a été précédemment évoqué, il s'empare préférentiellement du zip et de son potentiel créatif pour ses créations plastiques. Cependant, son approche à travers les dessins d'architecture diverge. Cette différence entre la représentation de ses constructions en béton et les courbes de ses peintures et créations graphiques d'alors, n'est pas remise en cause par l'arrivée du zip. La plupart des zips sont employés pour le « zonage » de plans d'ensemble. Ainsi les motifs d'arbres, les taches aléatoires pouvant signifier l'herbe ou les graviers sont privilégiés. Le principe de zonage en zip est déplacé de la vue du ciel, observé sur les plans de 1946 de Marseille<sup>101</sup>, à l'organisation intérieure du bâtiment, à partir de 1955<sup>102</sup>. À cette échelle réduite, il joue sur des niveaux de gris plus que sur des films à motifs.

L'emploi de couleur via le zip apparaît dans les dessins d'architecture à travers les plans d'urbanisme, pour la représentation des éléments naturels plus que le zonage de l'espace<sup>103</sup>. Comme pour les films à motif, la couleur s'observe sur les plans et élévations dans un second temps, on les voit apparaître en 1961<sup>104</sup>. Dans la continuité de la recherche de modernité, les couleurs sont saturées, franches. La technologie de certains dessins présentant du zip dans ses projets mérite une attention particulière (Figure 43).



Figure 43 : Dessin pour le centre Culturel d'Orsay, Le Corbusier, 1961, FLC 30951. ©M.Cinquabre/FLC  
A gauche, le dessin en vue générale ; à droite, le calque relevé laisse voir les morceaux de zips.

Loin de l'application convenue du zip, au recto ou verso d'un dessin réalisé à l'encre sur calque, ces dessins sont inhabituels dans leur réalisation : la feuille de papier calque, présentant un plan à l'encre est maintenue, à l'aide d'agrafes aux angles, sur un papier d'assez fort grammage sur lequel sont collés les zips de façon à correspondre aux zones délimitées par le plan figurant sur le calque. Le résultat est une surface mate et uniforme, celle du calque, colorée par transparence mais opaque et dont les indications sont comme dactylographiées. Le rendu est moderne en ce qu'il semble produit par une machine. La mise en œuvre pour obtenir un alignement parfait semble méticuleuse. Ces dessins sont destinés à la présentation sans aucune

<sup>101</sup> *Projet d'urbanisme de la ville de Marseille sud-secteur Michelet*, 1946, conservé à la Fondation Le Corbusier, FLC30202.

<sup>102</sup> *Musée national d'art occidental de Tokyo*, 1955, conservé à la Fondation Le Corbusier, FLC24615.

<sup>103</sup> *Concours d'urbanisme pour la ville de Berlin*, 1956-57, conservé à la Fondation Le Corbusier, FLC24053.

<sup>104</sup> *Centre culturel d'Orsay*, 1961, conservé à la Fondation Le Corbusier, FLC30951.

valeur d'usage si ce n'est de convaincre le commanditaire en présentant l'esthétique recherchée par leur créateur.

Cependant, il faut noter qu'au-delà de ces prises de parti esthétiques, Le Corbusier parsème ses plans et autres dessins techniques de morceaux de zip au motif d'arbres découpés librement, en forme arrondies. Cet emploi assez libre, éloigné du remplissage orthogonal des espaces peut être vu comme un clin d'œil à sa pratique artistique, ce qui en fait une signature.

### Encadrement stricte de cette esthétique

Alors que le zip est absent d'une histoire de l'architecture et de sa représentation au XX<sup>e</sup> siècle, sa mention associée quasi uniquement à Le Corbusier crée une distorsion de la perception. Le zip est associé, par nombre de chercheurs et d'historiens de l'architecture à la seule production de Le Corbusier. Cela s'explique peut-être par l'attrait irrésistible du grand architecte, par la richesse d'une œuvre, qui plus est conservée en quasi-totalité par sa Fondation. Mais cela semble surtout provenir de la diffusion, du vivant de l'architecte, de son esthétique à travers *l'Œuvre Complète*. Il s'agit d'un ouvrage en 8 volumes présentant ses différents projets. L'ouvrage est complet en termes de projet mais non exhaustif au regard des dessins produits. Les volumes sont contemporains de sa création architecturale, chaque volume suivant d'une à deux années, une période de création. Dans la première édition de 1937, l'architecte présente cet ouvrage comme un « bilan » du travail qu'il mène à l'époque avec Pierre Jeanneret, son cousin. Il prend pleinement part à la réalisation de ce travail initié par l'éditeur Willy Boesiger. Le Corbusier compile et fournit les documents qu'il juge d'intérêt à rendre compte de son travail d'architecte (Figure 44). Ces volumes sont donc à appréhender en gardant à l'esprit qu'ils présentent la vision du créateur sur son propre travail, mettant en avant ce qu'il apprécie et potentiellement laissant de côté ce qu'il juge sans intérêt ou secondaire.

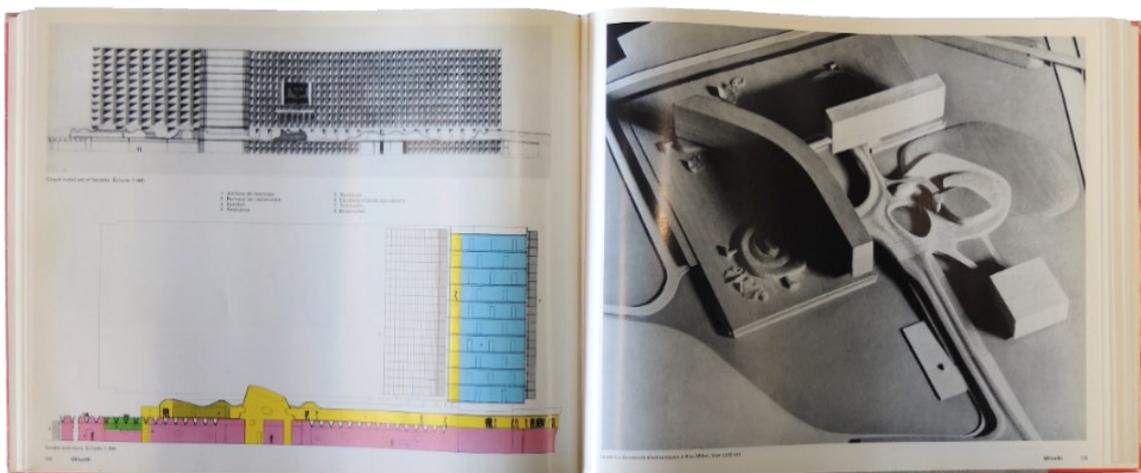


Figure 44 : *L'Œuvre complète* 1957-65 by Le Corbusier, Olivetti Center, 1965. ©M.Cinquabre/FLC

L'ouvrage est composé de différents types de documents, photographies, notes manuscrites, croquis, plans, dessins de présentation. Dès les projets de 1945, le zip y est à l'honneur dans la plupart des plans et dessins de présentation reproduits. Les trois quarts des dessins présentant l'emploi de zip sont reproduits dans *l'Œuvre complète* alors que les ouvrages ne reproduisent qu'un quart des dessins réalisés dans l'atelier. Ce choix de Le Corbusier de mettre en avant le zip pour illustrer son travail, confère à cet outil graphique, un statut de marqueur esthétique fort.

Il est possible de considérer, à l'inverse, que l'emploi du zip part d'une volonté anticipatrice de publication. Cette hypothèse peut permettre de mettre en lumière une pratique, observable chez l'architecte, mais qu'il n'est pas

le seul à utiliser : la reprise d'anciens dessins pour les rehausser de zips. Que ce soit dans une volonté d'actualiser, de moderniser son dessin ou en vue de sa bonne reproduction dans la publication : il n'est pas possible de le déterminer. Cependant, cela peut être l'explication de la présence de zips sur des dessins dont la datation au regard du projet semble impossible. Il faut alors convenir que la pose de zips soit postérieure à la date du projet et ait été orchestrée au moment de la publication des dessins dans *l'Œuvre complète*.

## 2. Les Case Study Houses, CSH, et l'illustration

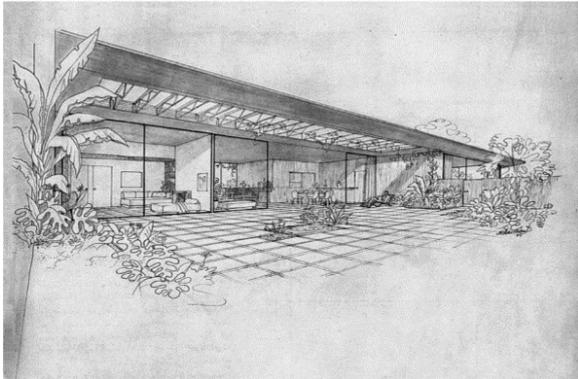


Figure 45 : Case study house #1, second award, Edouardo Fernando Catalano, février 1945. ©A&A

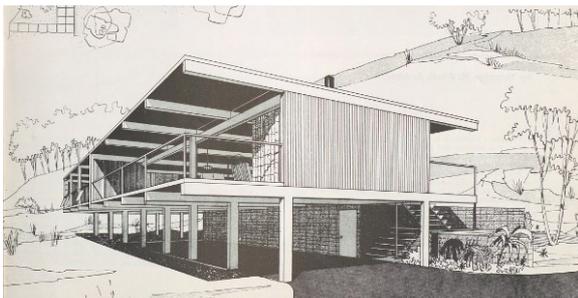


Figure 46 : Small house, Louis Huebner, avril 1955. ©A&A

L'apparition du programme des CSH, comme précédemment évoquée, a eu un impact majeur sur le développement d'une esthétique d'après-guerre. Les dessins reproduits, même quand ils ne sont pas réalisés avec du zip développent un même style.

Afin d'améliorer la reproduction, la réalisation traditionnelle des dessins au crayon graphite laisse la place à l'encre noire (Figure 45 et Figure 46)<sup>105</sup>.

L'usage de la plume ou du stylo favorise le recours au zip, lui permettant de se fondre dans des contrastes en noir et blanc marqués. Par ailleurs, le besoin de représenter la matérialité des futurs projets amène les dessinateurs à figurer les briques, le bois et les nouveaux matériaux de construction comme les panneaux en aluminium. Cette dynamique de représentation est particulièrement propice au recours au zip avec ses motifs préimprimés de texture.

Les dessins s'adaptent petit à petit au zip et adaptent leur représentation pour lui. Les motifs de zip étant frontaux, le point de vue de la perspective s'adapte. Lorsqu'il ne s'agit pas d'un code impératif, de nouvelles tendances de représentation graphique apparaissent. Cela est particulièrement observable dans le traitement de la végétation. Les arbres gagnent en abstraction ou en géométrie, le dessin les suggère, ils sont identifiables comme tels mais stylisés. C'est le règne des formes libres. Celles-ci apparaissent également sur les plans. Les zones différenciées suivant les fonctions et les usages deviennent souples. Cette fluidité lie espaces extérieurs et intérieurs. Le zip est alors mis à contribution bénéficiant de ses possibilités de juxtaposition, de contours définis mais souples.

Que le dessin de rendu soit exécuté à l'encre, avec une technique traditionnelle, n'empêche pas une évolution graphique. Le dessin d'architecture est « contaminé » par le style des illustrateurs. Cela peut être le résultat d'architectes eux-mêmes ou des « professionnels des rendus », des graphistes embauchés spécifiquement dans les agences d'architecture pour les dessins de représentation. Les rendus cherchent le dynamisme et s'inspirent des cadrages photographiques. La perspective intègre les déformations d'un objectif photographique, parfois elle est comme perçue depuis un avion, un hélicoptère. Les dessins perdent leur caractère statique et recherchent le mouvement. Les vues extérieures sont fouettées par le vent pour en faire

<sup>105</sup> BUISSON E., BILLARD T., 2004, *op. cit.*, p.35-57.

ressortir la sensation de vie. Le zip s'intègre aux compositions, il passe au second plan : il figure les surfaces en aplat, par des trames étalonnées, le ciel, un tapis, et le dynamisme passe par le traitement au stylo des personnages et des plantes.

### 3. Émancipation de sa destination technique : l'exemple de Jean Prouvé

Jean Prouvé<sup>106</sup> est un industriel constructeur. Le dessin technique occupe donc une part toute privilégiée au sein de sa production graphique. On y attendrait un usage massif du zip, en raison de son caractère industriel et de son adaptation aux codes de l'expression technique. Cependant, les dessins techniques de brevet comme de construction sont réalisés à main levée par Prouvé ou à la règle et à l'encre, mis au propre par des collaborateurs. Bien que Prouvé ait créé une « agence d'architecture intégrée » dans son usine, le zip n'y est pas employé. Après avoir été dépossédé de son entreprise en 1954-56, il fonde les Constructions Jean Prouvé avec une première réalisation emblématique : la maison « les Jours meilleurs » (J.M.)<sup>107</sup>. C'est avec ce projet que le zip arrive dans la production graphique. L'apparition d'une nouvelle esthétique dans l'œuvre de Jean Prouvé pourrait être liée à la participation de son fils Claude à l'entreprise. Celui-ci, étudiant en architecture, participe activement au projet J.M.

La maison J.M. appartient au type constructif du noyau central (un bloc industrialisé contenant les pièces d'eau) mais se distingue des autres maisons usinées par la présence importante de panneaux de bois (en revêtement extérieur comme en surface intérieure). La maison fabriquée en usine, est montée sur place : les dessins indiquent les étapes du montage. Les dessins, chez Prouvé, ont une portée démonstrative : perspective éclatée pour expliciter les différents composants (Figure 47). Les trames de zip rendent compte des différences de matériaux et des ombres générées. Les zips de couleur ne sont là que pour animer les documents.

Le dessin devient le miroir de la construction : la fabrication du dessin, comme celle de la maison se fait par étapes ; le caractère préfabriqué des éléments assemblés sur site est illustré par un produit graphique préimprimé.

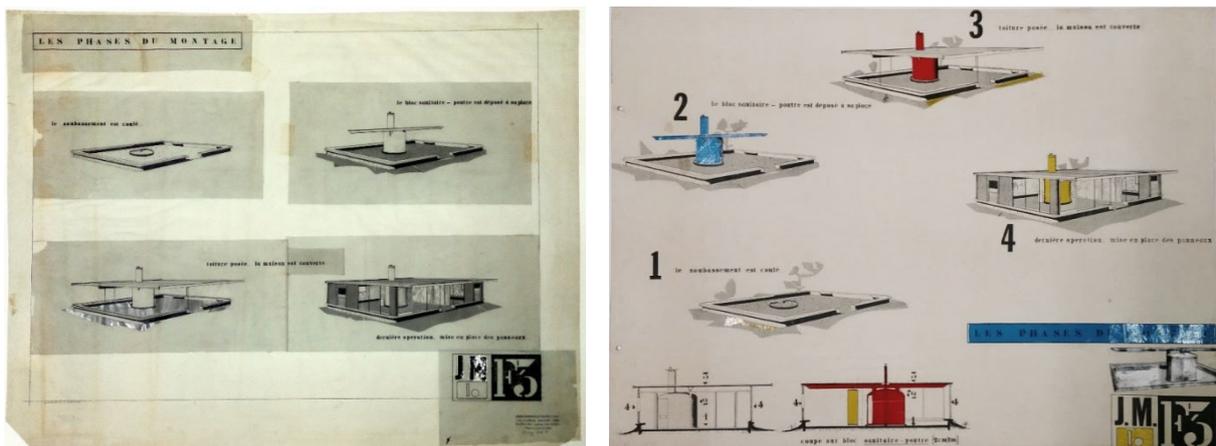


Figure 47 : Etapes de montage *La maison « les Jours Meilleurs »*, Jean Prouvé, 1955, inv. AM 2007-2-407 (1) et (2).

©M.Cinquandre/CentrePompidou

Après les étapes de montage, c'est l'habitabilité qui est privilégiée dans la représentation. Le zip, motif statique, est ici utilisé pour son caractère vibrant, il vise à rendre vivant, à suggérer une ambiance (Figure 48). Il apporte de la véracité par le souci du détail en signifiant les petits objets de la vie quotidienne comme les vêtements

<sup>106</sup> Jean Prouvé (1901 – 1984), ingénieur et bâtisseur français, il intègre le monde de l'architecture via sa qualité de ferronnier d'art et de se démarque par des constructions usinées, préconstruites et démontables.

<sup>107</sup> CINQUALBRE Olivier, *Jean Prouvé, bâtisseur*, Paris : Editions du patrimoine, 2016, 192 p.

dans la penderie. Il permet de délimiter les espaces, comme pour signaler l'arrondi du volume du bloc central, et différencier les matières (bois, textiles, ...). La vue en perspective réussit un tour de force par sa réalisation quasi-totale avec des morceaux de zip. Ici, même les personnages sont formulés par des assemblages de zip sur un fond en réserve, voire en transparence. Le zip donne corps aux personnages ou grouillots<sup>108</sup>.

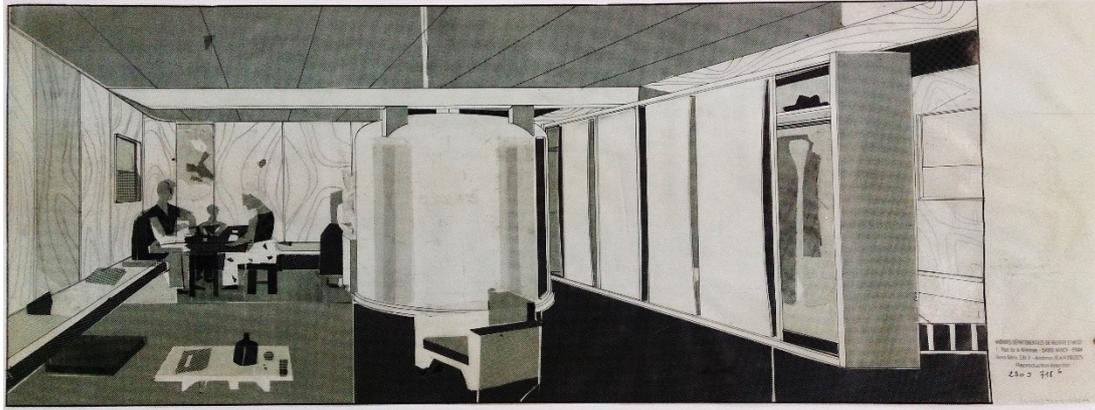


Figure 48 : La maison « les Jours Meilleurs », Jean Prouvé, 1955, inv. AM 2007-2-415 (1). ©M.Cinquatre/CentrePompidou

Cette émancipation du zip de son utilisation habituelle renforce l'idée qu'il libère la création tout en annonçant les prémices de la standardisation du dessin d'architecture moderne.

On peut noter que par la suite, l'usage du zip dans les dessins de Prouvé est plus technique, moins créatif : le zip y remplit des aires plus ou moins larges avec des textures de matériaux vus en coupe ou en plein. Le projet de la Maison des Jours meilleurs est donc un projet emblématique tant par son contexte de création et sa proposition architecturale que par sa représentation graphique.

### C. Le zip, porteur d'esthétiques fortes

#### 1. Résistance à l'académisme

Le zip est adopté par la grande majorité des architectes, mais il rencontre pendant de nombreuses années la méfiance, la réticence ou le rejet affirmé de l'enseignement académique et de ses représentants.

La soutenance des diplômés de l'École nationale supérieure des Beaux-Arts est en quelque sorte la vitrine de « l'Académie ». L'évolution de ces présentations permet d'apprécier les changements en matière d'enseignement et de préceptes esthétiques. On peut mentionner ici, le cas du diplôme de Paul Chemetov<sup>109</sup> soutenu en 1959. Il présente un projet pour « Un centre industriel et technique des matières plastiques », obtient la mention « révisible » et est invité à retravailler son projet. C'est d'abord le sujet qui dérange, à l'opposé de ceux plus convenus et plus prestigieux préconisés par la très classique et vieillissante école. Mais c'est surtout l'esthétique moderne et technique, en rupture avec les canons en vigueur qui est fatal à son projet. Son rendu est un tirage sur papier fort d'un dessin à l'encre et zip sur calque. Le tirage est ensuite repris et rehaussé en couleur, à la gouache. Les motifs de zip figurent les panneaux de façade, que l'on imagine en aluminium strié et les fondations. L'esthétique du zip déplaît et le rendu d'un tirage tout autant, surtout pour un diplôme. Il

<sup>108</sup> Nom donné aux personnages sur les dessins d'architectures.

<sup>109</sup> Paul Chemetov (1928 - ), architecte français, membre de l'Atelier d'urbanisme et d'architecture (AUA), il participe notamment avec Borja Huidobro au projet du ministère de l'Economie et des Finances à Bercy de 1982 à 1988, et réalise le réaménagement de la grande galerie de l'évolution du Muséum national d'histoire naturelle.

soutient de nouveau quelques mois après, avec un autre titre et un « rendu » retravaillé. Afin de préserver l'impact esthétique qu'il défend, Chemetov ruse et utilise le visuel du dessin technique tout en réalisant les effets à la main. Le dessin simule un bleu d'architecture<sup>110</sup> : l'ensemble est réalisé à la gouache, le fond bleu du dessin reçoit les lignes blanches. De même, les surfaces de l'entrée de l'édifice sont dessinées à l'encre noire pour imiter le zip. Son stratagème fonctionne : il se voit décerner la mention « Bien » !

Il est intéressant de voir comment, à l'inverse, des représentants issus du monde académique en viennent à utiliser le zip pour s'inscrire dans l'air du temps et se conformer à une esthétique attendue.



Figure 49 : *Le Grand Pavois, La Grande-Motte*, Jean Balladur, 1967-68, inv. AM 2002-2-226. ©CentrePompidou



Figure 50 : *Le Grand Pavois, La Grande-Motte*, Jean Balladur, 1967-68, inv. GM-17-09-04-02. ©SIAF/Cité de l'architecture et du patrimoine/Archives d'architecture du XX<sup>e</sup> siècle/ADAGP

On peut mentionner l'exemple de Jean Balladur<sup>111</sup>, architecte et très bon dessinateur, à qui l'usage du zip est imposé afin de satisfaire le public avec une esthétique adaptée au goût du jour. Il est formé à l'École nationale supérieure des Beaux-arts de Paris et en est un représentant éminent. Adepte du geste architectural, il conjugue liberté du dessin et rigueur géométrique. Pour son projet de la Grande Motte en 1962, la plupart des dessins de rendus sont réalisés à main levée (Figure 49). Cependant, l'imaginaire de l'époque est marqué par l'aspect du zip. Celui-ci est donc utilisé pour donner une présentation réaliste, commerciale. Le dynamisme du dessin est lié au trait, les personnages confèrent une impression d'instantanéité. La surface du zip figure la mer par un simple aplat gris pour certains. Pour d'autres, un motif de trame étalonnée est utilisé pour rendre l'aspect mouvant de l'eau (Figure 50).

Le traitement des grouillots, hormis dans le cas très particulier de la maison des Jours meilleurs, est réalisé par des tracés, à la main. C'est d'ailleurs un des éléments pour lequel le zip peine à s'imposer. On peut tout de même noter que le systématisme dans les grouillots est recherché par les modernes. Ainsi, de nombreux dessins de Le Corbusier présentent le recours à des tampons pour la silhouette de son fameux Modulor. Les personnages ont la même carrure, la même posture d'un dessin à l'autre. Cela implique cependant d'ajuster l'échelle au tampon sans quoi, la réalisation de nombreux tampons est nécessaire et l'aspect « en série » se perd. Les fabricants de zip ont conscience que les personnages leur échappent encore. On voit donc apparaître des silhouettes plus ou moins détaillées sur film plastique ou sous forme de transferts. Cette colonisation par les outils graphiques standardisés encourage la résistance des contestataires. Ainsi, on peut voir en 1962, la publication du recueil de silhouettes et arbres stylisés pour concurrencer le zip<sup>112</sup>. Cet ouvrage, propose des grouillots à décalquer afin d'obtenir un rendu constant mais avec le recours au dessin plutôt qu'aux outils graphiques industriels.

<sup>110</sup> Le nom de « bleu d'architecture » dérive du terme « blue-print » anglais pour désigner les tirages réalisés par cyanotypie qui reproduisent le dessin en blanc sur fond bleu, KISSEL E., VIGNEREAU E., 1999, *op. cit.*,

<sup>111</sup> Jean Balladur (1924 – 2002), architecte français, partisan du courant moderne ses constructions sont empreintes des nouvelles techniques ou cohabitent béton, acier et verre.

<sup>112</sup> ZIMMERSCHIED Gerd, *Effets graphiques dans les plans de construction*, Paris : Editions Dunot, 1962, 226 p.

Enfin, une critique du zip énoncé par Michel Bataille en 1974, dans son ouvrage *Sans toit ni loi*<sup>113</sup>, est très intéressante car elle met zip et académie dans le même panier : quand il critique le rendu comme fin en soi.

« Il avait reçu un coup de téléphone, de très hauts parages, lui signalant qu'il aurait intérêt, tel jour à telle heure, à présenter son intéressant ouvrage à un responsable de l'Olympe politique, en son palais. Il fit alors ce qu'il avait appris à faire à l'Ecole des Beaux-Arts en ses jeunes années, c'est-à-dire du cinéma. On nomme cela du « rendu ». A la belle époque, cela consistait en d'exquis dégradés de lavis. Maintenant, c'est plus moderne, mais dans le même esprit. L'artiste employa du « zipaton ». Ce sont des feuilles de plastique transparent auto-collant, qui portent diverses trames, de points, hachures, etc. On coupe ça en bandes, on le colle avec des superpositions. Bref, à l'heure dite, le châssis « zipatonné » et léché était dressé sur un chevalet dans le cabinet du prince. Il entra. Cri d'admiration »<sup>114</sup>.

Dans cet extrait, Michel Bataille moque les décisionnaires qui ne s'attache qu'à la représentation graphique du projet et pas à ce qu'ils devraient vraiment considérer comme la fonctionnalité ou l'harmonie avec l'urbanisme ou le paysage alentours.

## 2. Rendu « Coca-cola » et influence pop

« Nous venons de faire le concours de TANGER, avec FORESTIER et HANNING. Les rendus ont été vachement « coca-cola » - comme disait Hanning. Aujame a gratté avec nous et tous les deux, nous répondions à Hanning que, toute réflexion faite, c'était plutôt « texaco » que « coca-cola » - ce qui l'a foutu vaguement en boule... »<sup>115</sup>.

Cet extrait de lettre d'André Sive<sup>116</sup> à Oscar Nitschké, est amusant et instructif de l'état d'esprit général au regard de l'esthétique de cette période. En effet, il relate l'ironie avec laquelle les architectes de son équipe comparent leur dessin de présentation à l'esthétique d'enseignes de grosses sociétés américaines, Coca-Cola et Texaco. Les deux logos sont basés sur une bichromie de rouge et blanc. Mais celui de la marque pétrolière est frontal et statique tandis que les courbes et les boucles sont emblématiques de celui de Coca-Cola. Cette remarque assied la représentation architecturale dans le monde du graphisme et de l'impact visuel.

Le collectif anglais Archigram, mot-valise formé de la fusion des mots « *architecture* » et « *telegram* », est le champion de cette esthétique pop. En activité de 1963 à 1974, il est ancré dans une réflexion sur la ville et la société et ne produit pas de constructions issues de la collaboration de ses différents membres, même si eux en réalisent à titre personnel. Leur production graphique est donc le seul vecteur de leurs idées : elle est prolifique et libérée de toutes contraintes puisqu'elle s'inscrit uniquement sur un plan théorique. Par ailleurs, son aspect pop, est très reconnaissable et a influencé plusieurs générations d'architectes comme cela apparaît dans de nombreux ouvrages sur l'architecture de cette période.

Pour Robert Bruegmann<sup>117</sup>, la pensée des membres d'Archigram puise son inspiration dans le travail des futuristes, des revues techniques et des dessins de science-fiction et innove avec l'emploi de nouveaux procédés graphiques.

« Archigram ajoute au répertoire traditionnel des accessoires de dessin de nouveaux produits usinés vendus dans le commerce comme Zip-a-Tone, une marque de feuilles de plastique préimprimées, servant à réaliser les plans unis de

<sup>113</sup> L'ouvrage est dédié à Jean Prouvé. Michel Bataille est un architecte, il devient l'associé de Jean Prouvé pour les Constructions Jean Prouvé, puis se consacre à l'écriture au point d'apparaître à la fin du siècle comme écrivain.

<sup>114</sup> BATAILLE Michel, *Sans toit ni loi*, Paris : Calmann-Levy, 1974, 101 p., p. 21.

<sup>115</sup> Extrait d'une lettre d'André Sive à Oscar Nitschké, 7 juin 1948, archives particulières.

<sup>116</sup> André Sive (1899 – 1958), architecte naturalisé français, d'origine hongroise, il participe notamment à la mission d'étude aux Etats-Unis et au cabinet de Claudius-Petit, ministre de la Reconstruction et de l'Urbanisme.

<sup>117</sup> BRUEGMANN R., 1989, *op. cit.*, p139-155.

couleurs, les champs de points précis, les lignes parallèles et les grilles que Tchernikov était contraint de dessiner à la main. Il en résulte une architecture « usinée » représentée par des dessins qui ont eux-mêmes l'air usinés »<sup>118</sup>.

Il est intéressant de noter le choix du terme « usiné » qui apparaît entre guillemets. Cela laisse ouverte l'interprétation de ce mot. Faut-il le comprendre comme lié à un aspect industriel ou à une production effectivement industrielle ? Par ailleurs, au regard de la période d'activité des Archigramers et de leur localisation, il est vraisemblable que les zips qu'ils utilisaient, étaient des Letraset® et non des Zip-A-Tone, comme pourrait le penser un nord-américain.

Dans un ouvrage beaucoup plus récent, datant de 2013, la mention des zips est à nouveau associée de façon préférentielle au collectif Archigram, dans le chapitre « Le dessin d'architecture alternatif : 1960-1973 »<sup>119</sup>. La référence concerne la mise en œuvre graphique du collectif : « Ils recourent souvent au photocollage, médium favori de l'architecture radicale, et, pour les couleurs, à des films plastiques adhésifs comme le Letraset ou le Zip-A-Tone, nouveaux sur le marché »<sup>120</sup>. Ici encore, la mention de Zip-A-Tone est intéressante car la marque n'est pas nouvelle et sûrement moins présente sur le marché anglais que Letraset®. Cependant, au même titre que le surnom attribué par les architectes français, cela rend compte de l'ancrage de la marque créatrice dans l'inconscient collectif du milieu architectural.

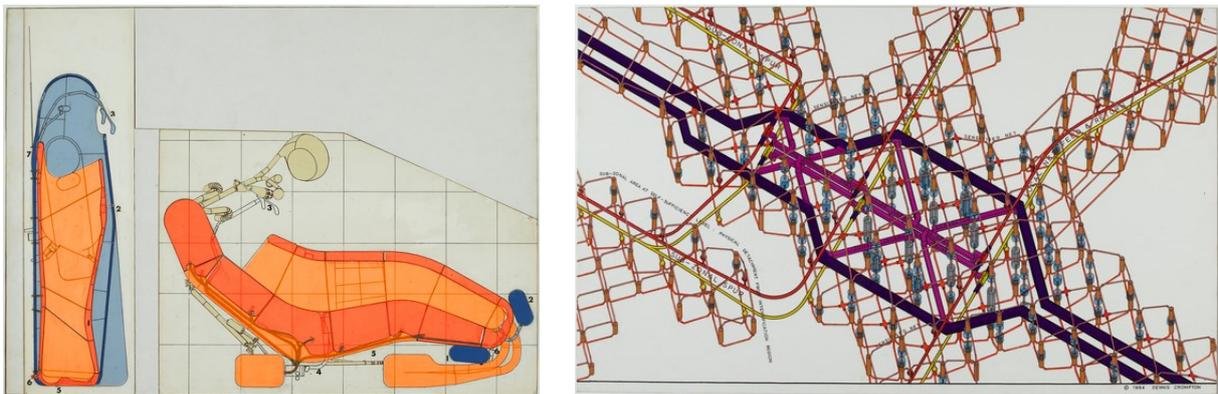


Figure 51 : Dessins d'Archigram, où les couleurs sont obtenues avec les zips.

De gauche à droite, respectivement : *Etude, Cushicle*, 1966, AM 1992-1-281 et *Computer-City*, 1964, AM 1992-1-290.

©M.Cinquialbre/CentrePompidou

L'univers d'Archigram séduit par son inspiration du monde de la science-fiction tant dans la forme que dans le fond (Figure 51). Le collectif est un des représentants de l'architecture radicale des années 1960-70 qui secoue la conception architecturale en mécanisant la ville<sup>121</sup>. Ses membres prônent l'industrialisation des constructions comme reflet de la société. Dans ce contexte créatif, le procédé devient le fer de lance de l'idée. L'utilisation de produits industriels pour produire des constructions industrialisées est érigée comme précepte. Ils ont également recours aux photomontages, conférant aux dessins un caractère futuriste<sup>122</sup>. Ce mode de mise en œuvre dans le même esprit que le zip, déjà encollé, explique sûrement l'attraction des architectes pour ce produit. Par ailleurs, l'aspect brillant, lisse et coloré du zip a sûrement joué dans le caractère attractif de ce dernier. Leurs dessins oscillent entre tracés à la main à l'encre ou au feutre, l'impression ou le tirage et le recours au collage de photographies, d'éléments découpés dans la presse, d'éléments photocopiés et de zip.

<sup>118</sup> *Ibid.*, p.143.

<sup>119</sup> BINGHAM Neil, *Un siècle de dessins d'architecture*, Malakoff, Hazan, 2013, 300p., p.180-181.

<sup>120</sup> *Ibid.*

<sup>121</sup> CINQUALBRE Olivier (dir.) *Collection architecture*, Paris : Centre Georges Pompidou, 2016, 375 p., p.52-54.

<sup>122</sup> BRUEGMANN R., 1989, *op. cit.*, p143.

L'influence du graphisme se retrouve dans le dessin de nombreux architectes, dont des Français, parmi lesquels Henri Ciriani. Cet architecte, né à Lima, s'installe en France en 1965. Il intègre en 1968 l'AUA, collectif regroupant nombre d'architectes, d'urbanistes et de paysagistes dont Paul Chemetov. Juste avant, en 1967, il participe (avec Marc Jung) au concours pour l'aéroport du Luxembourg.



Figure 52 : Hôtel de ville d'Amsterdam, Henri Ciriani, 1967, inv. MFF 2017.14.6.  
©M.Cinqualbre/musée des Monuments Français/Cité de l'architecture et du patrimoine

Le monde des transports, comme le monde de la production industrielle, est synonyme de modernité pour les architectes. Aussi l'aéroport est un thème particulièrement propice à exciter cet imaginaire, comme les paquebots et les voitures ont pu l'être. Son architecture et son décor se doivent d'être de leur temps. Cela se traduit par un édifice dont l'enveloppe très colorée est une gigantesque carrosserie, à l'image de celle qu'il utilise pour le projet de l'Hôtel de ville d'Amsterdam en 1967 (Figure 52).

Mais à la différence de l'utopie d'Archigram, les vues, en particulier d'intérieur sont des plus réalistes, avec une débauche de couleurs Pop. C'est cette profusion de surfaces colorées qui conduit à un rendu où domine le zip. Ces dessins étaient des propositions architecturales fortes, ancrées dans leur temps mais tournées vers l'avenir. L'actualité du dessin, même quatre ans plus tard, lui offre la couverture d'un numéro de *L'Architecture d'aujourd'hui* (Figure 53)<sup>123</sup>.

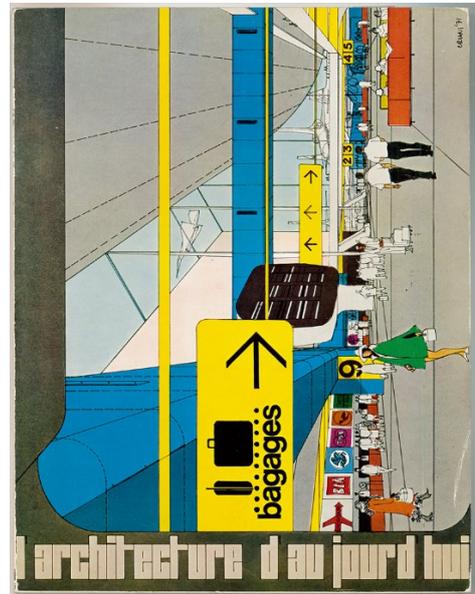


Figure 53 : Couverture N°156, juin 1971.  
©L'Architecture d'aujourd'hui

### 3. L'influence de la bande-dessinée

Un peu plus de dix ans après Paul Chemetov, Jacques Rougerie<sup>124</sup> présente son diplôme d'architecte à l'Ecole nationale supérieure des Beaux-arts de Paris. Son sujet est des plus original : « Un village sous-marin ». Son rendu s'affirme par une réalisation entièrement avec des trames de zip (Figure 54). Il s'agit bien de la même école mais l'enseignement a radicalement évolué car entre-temps : il y a eu mai 68.

<sup>123</sup> *L'Architecture d'aujourd'hui*, n°156, juin 1971.

<sup>124</sup> Jacques Rougerie (1945 - ), architecte français élève de Jean Prouvé, il est reconnu pour ses projets marins et sous-marins marqués par la science-fiction.

Les dessins présentent un univers sombre dans les profondeurs marines dans lequel surgissent des habitacles en déplacement ou soumis aux courants. Le zip suggère les courants de l'eau, les ombres. Les lumières sont obtenues en grattant sa surface. À une architecture non conventionnelle répond une représentation qui ne l'est pas moins. Le projet compte des plans, des coupes et des élévations, où le zip est utilisé avec plus de retenue, spécifiquement pour les fonds.

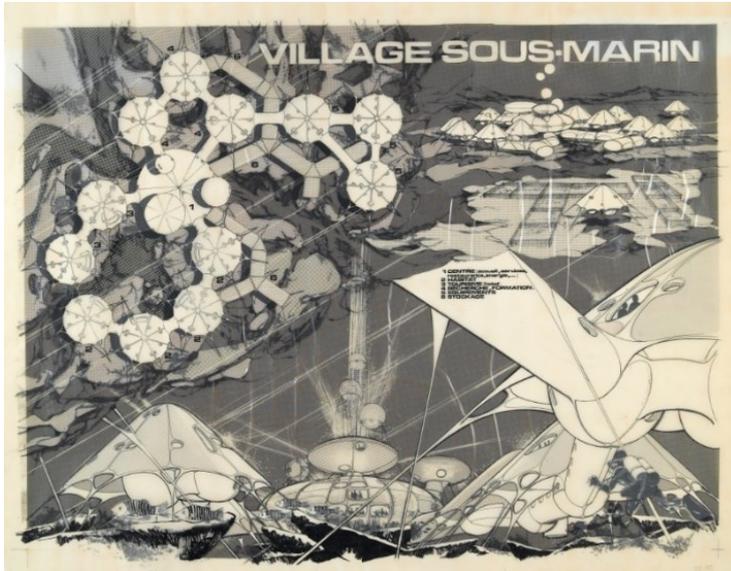


Figure 54 : *Village sous-marin*, Jacques Rougerie, 1971-1972, inv. AM 2007-2-38. ©M.Cinquatre/CentrePompidou

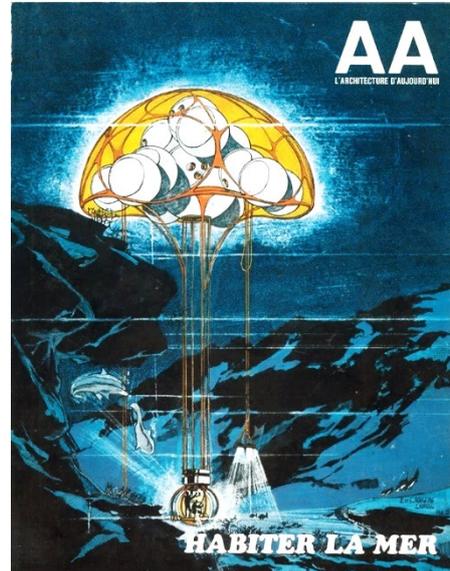


Figure 55 : Couverture de la revue *L'Architecture d'aujourd'hui*, Mai 1974. ©L'Architecture d'aujourd'hui

Mais ce sont les perspectives qui retiennent l'attention, avec des premiers plans cinématographiques et l'impression du mouvement des fonds marins. Alors que la convention admet l'usage de la couleur jaune, requise pour signaler ces constructions au fin fond des océans, Rougerie s'astreint à une représentation en noir et blanc. L'un de ses dessins s'expose en une de *L'Architecture d'aujourd'hui*, quelques années plus tard (Figure 55). La facture du dessin est plus classique, en couleur, au risque de le faire passer pour une illustration d'une bande dessinée futuriste.

#### D. Réappropriation et personnalisation du zip par les architectes

Après l'exubérance du zip pour les créations des années 1960-1970, le produit est si commun qu'il s'érige au rang des autres médiums du dessin, sans nécessité de revendications plus avant. Il continue d'être utilisé pour les dessins comme précédemment mais parallèlement, il devient un élément de collage parmi d'autres tout en se suffisant à lui-même dans certaines créations. Enfin, l'originalité des dessins retrouve la recherche du geste du dessinateur et, dans un dernier souffle, le zip se conforme à ce besoin de personnalisation.

##### 1. Nouvelles alliances graphiques

Les années 1980 marquent un tournant, en ce sens que le zip a perdu de son originalité et de sa nouveauté. Il reste néanmoins très présent, sûrement grâce à ses qualités de transparence et son offre de motifs et couleurs, et on continue de rencontrer des dessins composés de grands aplats de zip. Mais la diffusion sur le marché d'autres matériaux avec des aspects de surface variés ou des colles en bombes repositionnables le fondent

dans l'offre des produits graphiques offerts aux dessinateurs. Le zip connaît alors une nouvelle jeunesse et apparaît là où il n'était précédemment pas convié : les collages et les dessins à main levée.

Exception faite de Le Corbusier et de ses papiers collés, le zip n'est pas utilisé comme un papier collé mais bien pour l'esthétique qu'il porte. Jusque-là, il est le seul élément collé sur ces compositions. A partir des années 1980, le zip s'intègre dans les collages et photomontages. Ces textures attirent les dessinateurs et son caractère imprimé le fait passer au niveau des impressions des papiers journaux ou magazines (Figure 56). Dans ses dessins, Yves Brunier<sup>125</sup>, architecte paysagiste, recourt au collage très fréquemment et intègre le zip dans la composition au même titre que les autres éléments. Il se sert de sa transparence sur lui-même pour créer des effets de moirage, ou sur d'autres éléments.



Figure 56 : Yves Brunier, 1986.  
©M.Cinquialbre/CentrePompidou

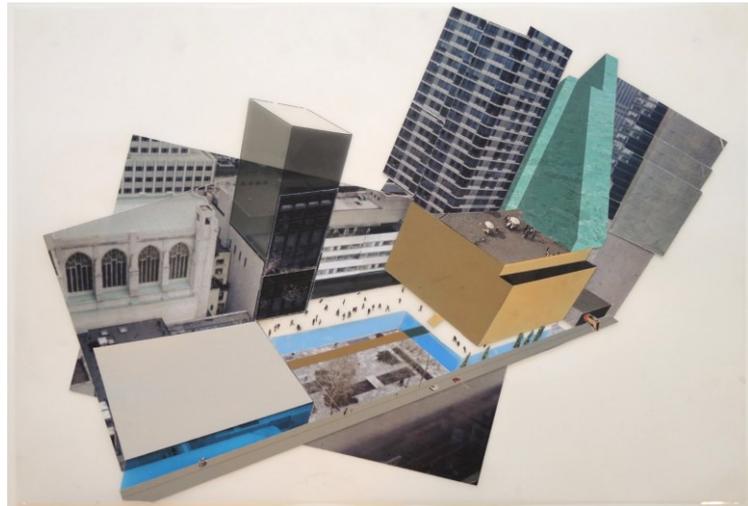


Figure 57 : Rem Koolhaas, concours pour l'extension du MoMA, 1997, 476.1997.3.  
©M.Cinquialbre/Moma

Dans les collages de l'OMA, notamment les perspectives que Rem Koolhaas<sup>126</sup> réalise pour le concours de l'extension du Museum of Modern Art, MoMA, à New York, en 1997, le zip permet de figurer le verre ou le plexiglas, matières transparentes parfois teintées (Figure 57). Il intègre à la composition d'autres papiers collés pour représenter le musée et l'inscrivant dans l'environnement fidèle des immeubles alentour grâce au photomontage.

L'évolution du graphisme et des recherches stylistiques permettent au dessin à main levée d'accéder au statut de dessin de rendu. C'est à cette occasion que le zip et le dessin enlevé débutent une cohabitation régulière<sup>127</sup>. Ainsi, dans les rendus de nombreux concours, sont présents des dessins libres, à l'encre ou au feutre, sur des formats de l'ordre du A4.

<sup>125</sup> Yves Brunier (1962 – 1991), architecte paysagiste français, il travaille dans de grandes agences : l'OMA de Rem Koolhaas ou de Jean Nouvel. Ses recherches en matière de paysage se traduisent par la pratique du collage, entre « raffinement et rudesse » cf. la notice du catalogue de la *Collection d'architecture*, 2016, *op. cit.*

<sup>126</sup> Rem Koolhaas (1944 - ), architecte néerlandais, fondateur de l'Office for Metropolitan Architecture (OMA). Il est un des architectes internationaux vedettes depuis les années 1980.

<sup>127</sup> Il existe un dessin de Cedric Price (1934-2003) pour le projet de réhabilitation de la friche industrielle en université de *Potteries Thinkbelt*, Staffordshire, qui associe de façon prédominante le zip et quelques lignes au crayon ou à l'encre noire et ce dès 1966. Ce dessin qui se voulait aussi provocateur que le projet qu'il défendait, s'inscrit pourtant dans la conception de ce qu'est un dessin de présentation à l'époque, c'est-à-dire avec des dessins préparatoires en amont de la réalisation finale. Cependant ce dessin étant considéré comme une référence et un chef-d'œuvre, il est possible de supposer qu'il a joué un rôle d'inspiration.

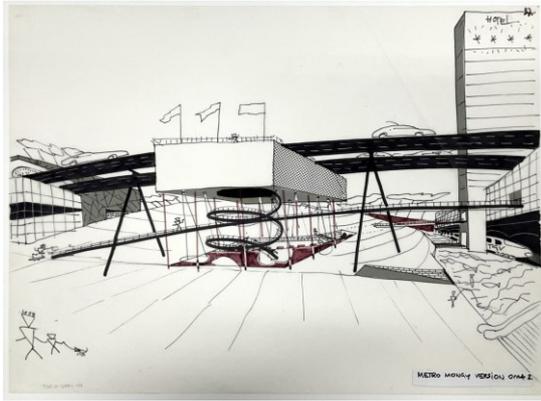


Figure 58 : Rem Koolhaas, OMA, Concours d'Euralille, 1988-1995, AM 1996-2-560. ©M.Cinquandre/CentrePompidou

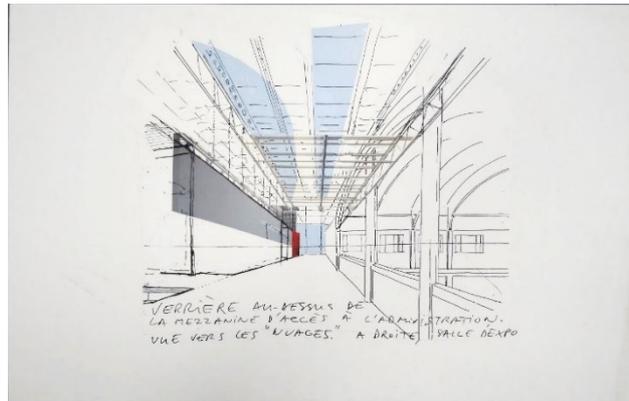


Figure 59 : Bernard Tschumi, Concours pour l'école du Fresnoy, 1991-97, Cité de l'architecture et du patrimoine. ©M.Cinquandre/musée des Monuments Français/Cité de l'architecture et du patrimoine

Rem Koolhaas, pour le concours d'Euralille, utilise le zip, comme il avait pu l'être précédemment, pour réaliser les ombres, sur les façades vues de côté des bâtiments (Figure 58). Cependant, il modernise cet emploi en utilisant des motifs visibles, qui ajoutent de la texture aux parois, évoquant des panneaux perforés. D'autres effets de style peuvent être observés, c'est notamment le cas des dessins de présentation de Bernard Tschumi<sup>128</sup> pour le concours de l'école du Fresnoy (Figure 59). La série de 16 dessins, conservés aujourd'hui à la Cité de l'architecture et du patrimoine, présente des croquis au feutre noir et des photocopies, réhaussés de fragments de magazines et journaux et de morceaux de zip découpés. La légende voudrait que cette série ait été réalisée entre les deux tours du concours : le projet suscitait des remarques quant à son rendu trop statique, dans lequel on n'arrive pas à se projeter, Bernard Tschumi serait rentré chez lui le soir et aurait réalisé cette série en déchirant les magazines de son épouse, *ELLE* entre autres<sup>129</sup>.

Ces styles appartiennent sans aucun doute à des créateurs différents mais tous s'inscrivent parfaitement dans l'esthétique des années 1980.

## 2. Le zip se libère du tracé

Il existe quelques exemples de dessin sans tracé et uniquement réalisés avec du zip. Parmi eux, se trouve deux grands dessins pour le concours d'Euralille réalisés par Rem Koolhaas. Il s'agit de dessins de présentation : d'une coupe (Figure 60) et d'un plan urbain directeur. Le dessin repose sur le zip et ses découpes pour rendre l'idée du projet. Sur le dessin de coupe, comme il est possible de le voir sur le détail, la représentation graphique est assez détaillée, les découpes permettant de figurer jusqu'à la végétation. Ici, le choix du zip est purement esthétique. En effet, il ne relève ni du gain de temps ni de problématique de faisabilité. Les zips sont positionnés en rayures pour figurer l'aspect extérieur de certains des bâtiments, les couleurs et motifs renvoient aux différents éléments tout en présentant un aspect joyeux et ludique. Il s'agit également d'un choix esthétique pour le plan. Le traitement réservé au zip est un peu différent : ici, le jeu se fait en superposition de zip coloré et à motif ou la texturation de grande zone colorée unie avec le collage de petits éléments par-dessus, comme c'est le cas pour représenter le parc Matisse. Le jeu sur les formes géométriques et les couleurs marque une nouvelle esthétique tant dans l'usage du zip que pour le dessin qu'il permet d'obtenir.

<sup>128</sup> Bernard Tschumi (1944 - ), architecte suisse, internationalement connu, il l'est surtout en France pour son aménagement du Parc de la Villette à Paris.

<sup>129</sup> Anecdote reçue de Bernard Tschumi et rapportée par Stéphanie Quantin-Biancalani, conservatrice du patrimoine, responsable de la galerie d'architecture moderne et contemporaine, musée des Monuments Français, Cité de l'architecture et du patrimoine.

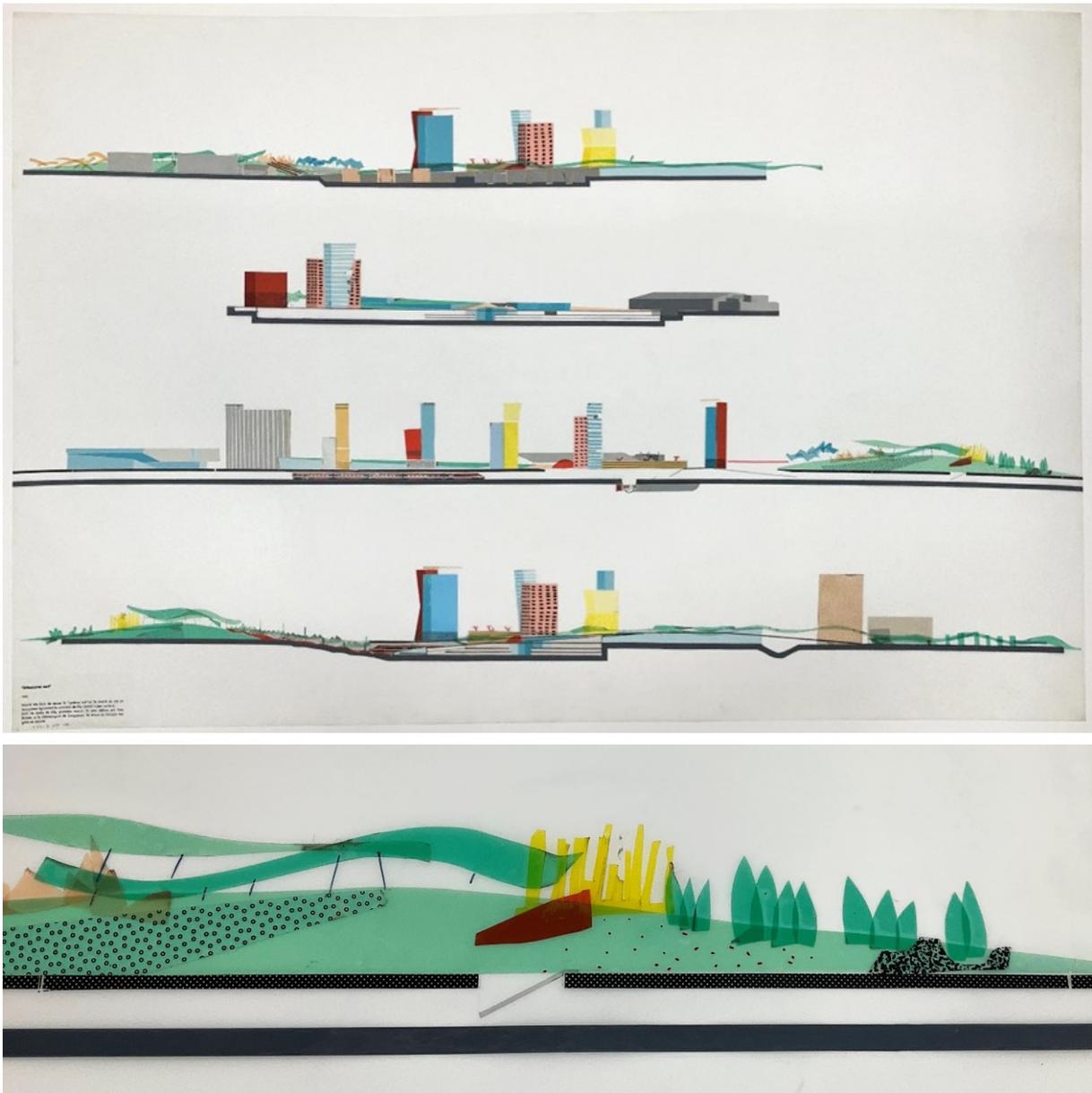


Figure 60 : Dessin de Rem Koolhaas pour le projet *Euralille*, « urbanisme vert » en 1988-1995, en haut, vue générale et en bas, un détail, AM 1996-2-552. ©M.Cinqualbre/CentrePompidou

### 3. Cohabitation du zip et de l'ordinateur

À la fin de sa période d'usage en Europe et pendant une dizaine d'années environ, le zip côtoie l'ordinateur et les deux technologies cohabitent. Ainsi, il est tout à fait possible de trouver dans les collections nationales des dessins réalisés sur ordinateur et imprimés, réhaussés ensuite d'éléments de zip. Ce cas de figure est celui, entre-autre, des panneaux de rendu de Jean Nouvel<sup>130</sup> pour le concours du Stade de France en 1994 où zip, photocopies, photographies découpées et fragments de magazines viennent habiller les façades du bâtiment ou donner une idée de la façade (Figure 61).

Cet exemple n'est pas isolé et montre un usage du zip dans la continuité du processus créatif que l'on avait déjà pu voir chez Prouvé, par exemple, pour réhausser les tirages quand l'impression ne lui offrait pas la possibilité de la couleur. Le zip vient finir le dessin une fois imprimé pour ses qualités d'aspect esthétique et matériel ou parce que la technologie ne permet pas encore le remplissage de motif comme le voudrait le dessinateur.

L'ordinateur couplé au traceur, puis à l'imprimante, offre un potentiel créatif extrêmement développé. Les fabricants de zip, commercialisent dans les années 1990, un zip vierge à imprimer dans la continuité des motifs coordonnés avec le logiciel Mac Paint réalisé par Macintosh et commercialisés par Mécanorma à partir de 1986. A l'époque, la proposition de la marque française était d'offrir des motifs de trames correspondant précisément à des références présentes sur le logiciel et pouvant être directement imprimées en agence.

Il est intéressant de constater que les architectes vont se saisir de cette nouvelle façon d'obtenir des motifs sur zip pour s'émanciper des motifs normés et apposer leur pâte, leur originalité tout en conservant le processus créatif avec lequel ils sont familiers. Parmi les nombreux exemples, les dessins pour le projet du centre culturel de Nouméa, réalisés par Renzo Piano<sup>131</sup> en 1991.

Pour ses dessins de rendu, l'architecte italien joue avec l'impression du zip via l'ordinateur (Figure 62). Les éléments de zip sont imprimés à partir de dessin réalisé par ordinateur comme c'est le cas des cases et de certains arbres, comme les pins colonnaires, arbres emblématiques de Nouvelle-Calédonie. Ils peuvent également être imprimés à partir de dessins réalisés à la main et scannés. Ainsi deux ou trois palmiers sont dessinés à la main, l'ordinateur permet ensuite d'en modifier les dimensions, parfois de les retourner sur un axe vertical. Ces quelques modifications permettent de casser le côté « copié-collé » que l'utilisation d'un seul dessin de palmier pourrait susciter afin de donner une impression de réalité avec un besoin en temps considérablement diminué.

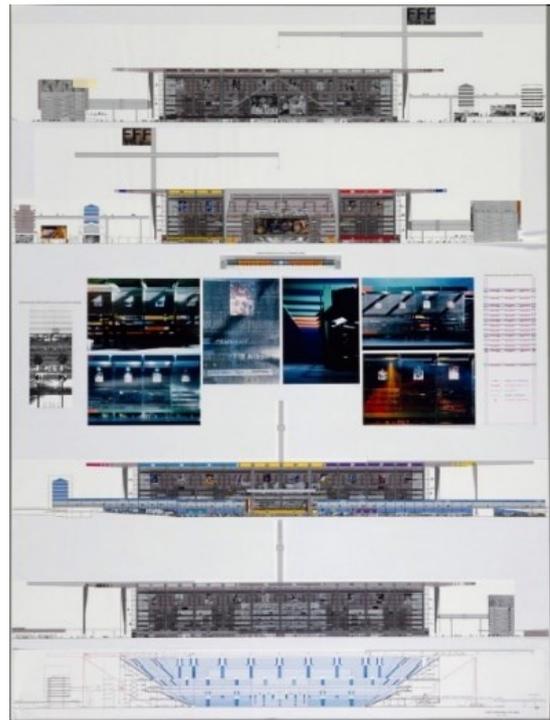


Figure 61 : Panneau n°5 du concours pour le Stade de France, Jean Nouvel, 1994, AM 1996-2-440. ©M.Cinquandre/CentrePompidou

<sup>130</sup> Jean Nouvel (1945 - ), architecte français, célèbre pour des projets phares comme l'Institut du Monde Arabe, la Fondation Cartier, le musée du quai Branly ou encore la Philharmonie de Paris.

<sup>131</sup> Renzo Piano (1937 - ), architecte italien, il accède à la notoriété internationale en remportant le concours pour la construction du Centre Pompidou avec l'architecte anglais Richard Rogers et son succès n'a pas faibli depuis.

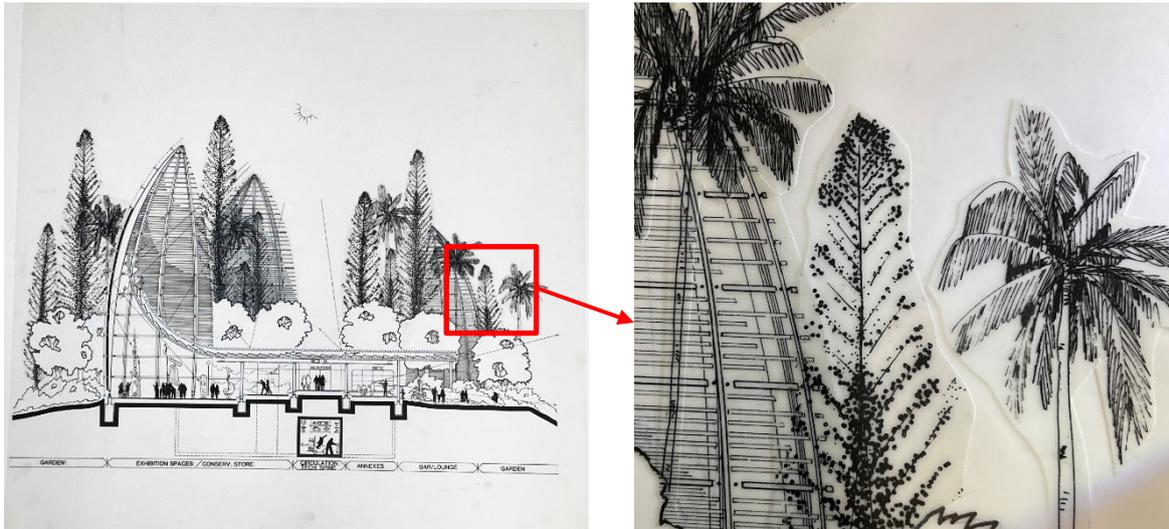


Figure 62 : Renzo Piano, Centre Culturel Jean-Marie Tjibaou, Nouméa, 1991-1998, AM 2004-2-184 et détail. ©M.Cinqualbre/CentrePompidou

Cet usage de la technologie ne se fait pas au détriment d'une recherche de rendu visuel passant par la diversité de la végétation. Par ailleurs, l'aspect dessiné des arbres, induit un contraste entre l'architecture et son environnement tout en représentant l'harmonie des deux.

## Conclusion

Si l'importance d'une recherche sur l'histoire d'un procédé ou d'un produit graphique n'est pas discutée dans le cadre d'une recherche en conservation-restauration, une approche historique et surtout esthétique peut questionner. Cependant, les informations collectées à cette étape sont fondamentales avant d'envisager une intervention de traitement. En effet, une intervention ne sera pas la même pour un dessin technique où c'est l'information qui prime, que pour un dessin de rendu dont les valeurs artistique et esthétique sont inhérentes à cette création car activement recherchées par le dessinateur. Ainsi, au-delà de l'intérêt chronologique, l'étude des dessins d'architecture présentant du zip révèle une recherche graphique et stylistique dont la portée est souvent oubliée et l'importance dépréciée, comme cela peut être le cas pour le patrimoine technique.

### Ce qu'il faut retenir de ce chapitre

- Création du zip aux Etats-Unis, aux prémices de la Seconde Guerre mondiale.
- Marque créatrice : Zip-a-Tone™, de Havy Q.R. Crowder.
- Premier dessin avec zip connu aux Etats-Unis daté de 1943, par Louis Kahn.
- Premier dessin avec zip connu en France daté de 1945, par Le Corbusier.
- Utilisation dans les agences en France de 1945 au début des années 2000.
- Deux plus grosses compagnies en Europe : Letraset® et Mécanorma.
- Jusqu'à 15 marques commercialisant du zip, 28 produits et 4478 références.
- Evolution des produits en fonction des pratiques des architectes et des innovations technologiques : passage de film brillant à mat  
augmentation des dimensions des feuilles,  
amélioration de l'opacité de l'encre des motifs,  
résistance accrue de l'adhésif à la chaleur.
- Le zip est principalement utilisé sur les plans et les dessins de présentation.
- L'utilisation du zip n'est pas seulement liée à un gain de temps ou à la facilité, c'est aussi un parti-pris esthétique.
- Son utilisation débute par une volonté de standardisation du dessin : faire disparaître la main du dessinateur au profit d'un style d'agence. Il est ensuite adopté et libère la créativité. À la fin des années 1980, il est si commun que les architectes s'emparent de moyens pour le personnaliser, lui imprimer leur pâte.

## CHAPITRE 2 : ÉTUDE DES COLLECTION

---

La recherche de solutions de conservation-restauration pour le zip s'appuie en premier lieu sur l'examen et l'étude de l'œuvre ou des œuvres à traiter. Le nombre important de marques commerciales, les évolutions technologiques et la multitude de références, nous ont conduit à mener une évaluation de collections. Se concentrer sur un dessin pourrait présenter l'avantage d'être en mesure d'émettre des préconisations de traitements dans un temps court mais les solutions ne concerneraient alors que les zips présents spécifiquement sur ce dessin, et les extrapolations à d'autres dessins sembleraient hasardeuses. La volonté des partenaires de la recherche était de dresser une vue d'ensemble des dessins avec zips dans les collections et de leurs états de dégradations.

Pour ce faire, il a fallu dans un premier temps identifier des dessins présentant du zip. Cependant, la méconnaissance de ce médium graphique induit une documentation parfois parcellaire, souvent erronée ou fréquemment manquante. L'identification des dessins présentant des zips, nécessite elle-même la mise en place d'un protocole : une phase de « repérage » dans les bases de données, puis une phase de vérification dans les réserves. Cette étape laborieuse a permis de définir un corpus d'étude.

L'évaluation des collections favorise la précision des bornes chronologiques de l'usage du zip, elle permet d'apprécier sa diffusion géographique et d'observer les similitudes entre les architectes ou leurs particularités. Mais, elle permet surtout d'étudier ses dégradations : les identifier, les comprendre et les répertorier. Enfin, l'exploitation de ces résultats permet de donner une idée globale de l'état sanitaire des collections de dessins comportant du zip et de hiérarchiser les mesures à prendre en conséquence.

## I. Méthode de sélection du corpus d'étude

Les œuvres sur lesquelles l'étude se concentre, sont conservées au sein de quatre institutions majeures pour le domaine de l'architecture, trois françaises et une américaine : la collection d'architecture du Musée national d'art moderne – Centre de création industrielle, Mnam-CCI, Centre Pompidou, la collection de la Fondation Le Corbusier, FLC, et la collection de la galerie d'architecture moderne et contemporaine de la Cité de l'architecture et du patrimoine, en France, et la collection d'architecture du Museum of Modern Art, MoMA, à New York aux Etats-Unis. La constitution du corpus est réalisée par étapes, en raison d'une part, de la quantité d'items par collection, et d'autre part, de la qualité de la documentation disponible. En premier lieu, il convient de réaliser une première sélection par interrogation des bases de données. Par ailleurs, l'identification de la présence d'un zip sur un dessin n'est pas toujours évidente. Une approche méthodique est donc essentielle pour pouvoir identifier les potentiels zips et ainsi définir le corpus d'étude.

### A. Collections étudiées

#### 1. Collection d'architecture, Muséum national d'art moderne – Centre de création industrielle, Centre Pompidou

La collection d'architecture au sein du Centre Pompidou est créée en 1992, soit 15 ans après l'inauguration de l'institution. Comptant environ 16 400 items, dessins, photographies et maquettes, elle est parmi les plus importantes du monde tant en termes de quantité, de qualité que de diversité (556 architectes, de 68 nationalités, de 1902 à 2022<sup>132</sup>). La richesse des collections d'architecture peut notamment s'expliquer par des acquisitions par lots plus fréquentes qu'à la pièce : l'ensemble des dessins pour un projet ou le fonds entier d'un architecte par exemple. Il faut noter que la valeur pécuniaire des dessins d'architecture est bien moindre que celle de dessins « d'artistes », ce qui facilite l'expansion de ces collections.

Pour donner un aperçu des étapes de constitution d'une collection, il est possible de prendre pour exemple la construction du fonds Jean Prouvé, le plus conséquent de la collection. Lors de la création de la collection d'architecture, une trentaine de dessins de Jean Prouvé est achetée auprès d'un marchand. Conjointement, les ayants droit de la famille Prouvé modifient le lieu de dépôt des maquettes des Ateliers Jean Prouvé, des archives de Meurthe-et-Moselle à Nancy au Mnam-CCI, à Paris. Par la suite, des dons successifs sont réalisés par la famille. En 2006, la collection est augmentée par une donation très conséquente, correspondant à l'ensemble des archives, dessins, revues, photographies, à partir des années 50<sup>133</sup>. Lors de cette donation, une partie des dessins et documents sont classés en documentation et un millier de dessins sont intégrés à la collection. Par la suite, les différentes acquisitions de maquettes et de dessins, sont réalisées dans l'optique de compléter, au fur et à mesure, la collection. Celle-ci compte aujourd'hui 1 241 dessins dans le fonds Prouvé. Par ailleurs, le fonds documentaire est composé de 4 353 documents graphiques de grands formats.

<sup>132</sup> Données mises à jour le 15 septembre 2022 sur la base de données.

<sup>133</sup> Un deuxième fonds important de dessins est toujours conservé aux archives de Meurthe-et-Moselle : il correspond au sauvetage d'archives encore présentes dans l'usine à sa fermeture. Il s'agit uniquement de dessins couvrant l'activité des ateliers jusqu'au départ de Prouvé et la poursuite de la fabrication par le repreneur. SAY-BARBEY Hélène., « Les archives de Jean Prouvé aux archives départementales de Meurthe-et-Moselle », dans STOULLIG Claire (dir.), COLEY Catherine (dir.), *Jean Prouvé Nancy, Grand Nancy 2012*, Paris : Somogy, 2012, 407 p., p. 48-51.

Au-delà de l'intérêt lié à la collection pour sa qualité, sa variété et sa profusion, un partenariat avec l'institution semble pertinent dans le cadre d'une étude qui se veut pluridisciplinaire car le Mnam-CCI est une des rares institutions en France à intégrer une restauratrice, Clothilde Cooper, dans son équipe.

## 2. Fondation Le Corbusier

Dès 1949, Le Corbusier désire créer une fondation afin d'assurer la conservation et la diffusion de ses archives<sup>134</sup>. En effet, il n'a pas d'héritier direct et craint que son patrimoine soit éparpillé après sa mort. Durant les quinze dernières années de sa vie, il organise la création de sa fondation : statut juridique, espace de conservation, espace d'exposition, conseils administratif et scientifique. La première assemblée générale de l'association pour créer la Fondation se tient le 6 février 1964. Le 10 juillet 1967, l'assemblée générale acte la création d'une Fondation Le Corbusier validée par le Journal officiel le 31 juillet 1970. Elle est accueillie, comme le souhaitait Le Corbusier, dans les maisons La Roche et Jeanneret réunies, square du Docteur Blanche, à Paris dans le 16<sup>e</sup> arrondissement.

La mission de la Fondation est de conserver et de mettre en valeur le patrimoine lié à son œuvre, tant d'architecte, que d'artiste. Ses collections sont composées de documents et d'œuvres issus de la production de Le Corbusier, mais également des objets lui ayant appartenu et pouvant présenter un intérêt pour appréhender son travail. Les collections sont classées par typologies d'objet : architecture, arts plastiques, mobiliers et livres<sup>135</sup>.

La collection des dessins d'architecture, inventoriés, compte 37 623 documents. La collection de dessins arts plastiques recense, quant à elle, une vingtaine de papiers collés, susceptibles de contenir du zip, dont une dizaine est conservée par la Fondation.

À l'inverse de la structure très conséquente du Centre Pompidou, l'équipe de la Fondation Le Corbusier est bien plus réduite et son expertise concentrée sur un architecte. Cette dimension monographique, d'autant plus qu'elle s'attache à une figure majeure de l'architecture du XX<sup>e</sup> siècle – pionnière française du zip – permet d'obtenir des informations sur la production graphique et la place donnée au zip, au cours du temps et en fonction des projets.

## 3. *Architecture and Design collection, Museum of Modern Art*

La collection d'architecture du MoMA est parmi les plus importantes du monde, non tant par son étendue que par la qualité de ses dessins. En effet, elle abrite une sélection de dessins d'architecture moderne et contemporaine choisis pour leur qualité esthétique et dans le souci de donner une vue d'ensemble de la production depuis le XX<sup>e</sup> siècle. La collection est donc assez modeste en nombre (environ 2000 dessins) mais composée exclusivement de « beaux dessins » d'architecture. Le MoMA conserve également un ensemble de dessins dont l'intérêt esthétique est moindre mais qui présente une valeur historique : un fonds de 856 dessins qualifiés de collection d'étude. Par ailleurs, la collection d'architecture a été enrichie par deux donations relatives

---

<sup>134</sup> Site internet de la Fondation Le Corbusier, <http://fondationlecorbusier.fr>.

<sup>135</sup> Informations collectées à la Fondation Le Corbusier et disponibles sur son site internet.

à des fonds particulièrement conséquents : le fonds des dessins de Mies Van der Rohe<sup>136</sup> et le fonds des maquettes de Frank Lloyd Wright<sup>137</sup>.

Le fonds d'archive Ludwig Mies van der Rohe (MVDR) est créé en 1968 et intégré au département d'architecture et de design<sup>138</sup>. La relation de l'architecte et du musée de New York commence en 1947 avec l'organisation d'une rétrospective du travail américain de l'architecte allemand. Les dessins de cette exposition constitueront par la suite le point de départ du fonds. En 1968, les Archives sont constituées par l'apport depuis l'Allemagne des archives de MVDR d'avant-guerre et celles produites aux Etats-Unis. Il ne s'agit plus, ici, de sélectionner des dessins de grande valeur esthétique ou historique mais de conserver l'ensemble de la production de l'architecte. C'est d'ailleurs de cette expérience que la collection du Centre Pompidou s'est inspirée pour la conservation du fonds Jean Prouvé.

La collaboration dans le cas de la présente recherche, engagée avec le MoMA trouve son origine dans l'intérêt que présente cette institution. D'une part, sa position géographique dans le pays berceau du zip ; d'autre part, elle est le pendant du Centre Pompidou, ce qui autorise des comparaisons. La particularité de l'institution américaine réside dans la pluridisciplinarité de leur équipe (restaurateurs, scientifiques et conservateurs), atout précieux dans la confrontation des points de vue et des expériences.

#### 4. Galerie d'architecture moderne et contemporaine, Cité de l'architecture et du patrimoine

La Cité de l'architecture et du patrimoine est née en 2004 de l'union de l'école de Chaillot, du musée des Monuments Français, MMF, et de l'Institut français d'architecture, IFA. Les collections de la Cité sont essentiellement constituées à partir de la production des architectes français (dessins, maquettes, éléments d'architecture, etc.). Les stratégies actuelles d'enrichissement des collections s'attachent aux projets dans l'intégralité de leurs étapes de conception ; du croquis à la maquette de rendu. La galerie d'architecture moderne et contemporaine fait partie du MMF et s'inscrit dans cette dynamique, en mettant en avant la production architecturale des dernières décennies du XX<sup>e</sup> siècle. Le propos de la Cité est de mettre en avant des problématiques actuelles telles : « l'innovation constructive, [...] la transformation de bâtiments anciens, le rapport entre architecture et paysage et les lieux de mémoire »<sup>139</sup>.

La galerie d'architecture moderne et contemporaine compte environ 2 300 œuvres graphiques, dessins de toutes typologies. Cette collection est cependant limitée en nombre de pièces au regard de la quantité d'archives de l'IFA, source très conséquente mais qui ne bénéficie pas du même traitement d'inventaire que les œuvres<sup>140</sup>.

La Cité de l'architecture et du patrimoine, en tant qu'établissement muséal dédié entièrement à l'architecture semble un partenaire de choix pour une recherche sur la production graphique avec du zip, principalement centrée sur la France. Malgré un engagement actif, son arrivée tardive parmi les partenaires du projet n'a pas

<sup>136</sup> Ludwig Mies van der Rohe (1886 -1969) architecte allemande, naturalisé américain après son émigration pour fuir les Nazis qui ferment l'école du Bauhaus qu'il dirige de 1930 à 1933. Il est un des grands noms parmi les architectes modernes.

<sup>137</sup> Frank Lloyd Wright (1867 – 1959), architecte américain, il participe au mouvement de la *Prairie School* qui définit une nouvelle architecture basée sur une ouverture sur l'environnement, en opposition aux préceptes européens de l'époque.

<sup>138</sup> DREXLER Arthur, SCHULZE Franz, *The Mies Van der Rohe Archive: an illustrated catalogue of the Mies van der Rohe drawing in the Museum of modern art*, 20 volumes, New York, Londres : Garland, 1986-1992.

<sup>139</sup> Site internet de la Cité de l'architecture et du patrimoine, [www.citedelarchitecture.fr](http://www.citedelarchitecture.fr).

<sup>140</sup> Les archives de l'IFA étaient inaccessibles pour cause de travaux et de déménagements des locaux à partir du 1<sup>er</sup> mai 2018. Elles ont réouvert en septembre 2021.

permis une évaluation de la collection de façon systématique. Cependant, les œuvres présentant du zip ayant été confiées à nos soins en qualité de conservateur-restaurateur indépendant, sont incluses dans le corpus.

## **B. Méthodes d'identification dans les bases de données**

### **1. Présentation des outils de gestion des collections**

Le personnel des institutions s'appuie sur des outils informatiques pour assurer la gestion des collections : documentation des œuvres, de leur histoire, de leur déplacement, de leur exposition, de leur restauration et des accidents survenus, entre autres. Ces outils sont choisis en fonction des besoins de l'institution suivant qu'il existe une grande quantité d'items ou non, différents domaines de collections ou encore plusieurs lieux de stockage. La prise en main de ces logiciels peut influencer sur la façon dont l'outil peut être interrogé.

#### **Les logiciels spécialisés**

Les logiciels de documentation et de gestion des collections sont indispensables au bon fonctionnement des grandes structures comme le Mnam-CCI ou le MoMA. Ces outils informatiques ont été développés spécifiquement pour les institutions muséales, Gcoll<sup>141</sup> en France et The Museum System, TMS, aux États-Unis, parmi d'autres. Leur incrémentation en matière de documentation est libre. Ceci permet d'être plus spécifique pour chaque œuvre, que lors de l'utilisation d'un menu déroulant<sup>142</sup>, d'autant que l'interface est la même qu'il s'agisse de peintures, sculptures ou dessins d'architecture. Leur utilisation se fait par une interface d'interrogation multicritère, qui permet des demandes sur de nombreux critères – par exemple le nom de l'artiste, sa nationalité, les titres de l'œuvre, les matériaux, supports et techniques, la date de sa création, etc. - dont les informations ont été (ou non) préalablement remplies. La base peut être consultée en choisissant un classement, par critère, puis en consultant chaque entrée de la liste ou en interrogeant spécifiquement par mot clé, les résultats pouvant être ainsi transversaux.

#### **Les bases de données**

Pour des raisons historiques, la Fondation Le Corbusier possède différentes bases de données en fonction de la typologie des collections. En effet, chaque base de données est liée à une campagne d'inventaire ou à un projet spécifique ayant bénéficié de subvention<sup>143</sup>.

Pour les dessins d'architecture, la collection est illustrée pour chaque entrée d'une photographie en haute définition accompagnée d'une notice sommaire présentant les titres, dimensions, signature, date, technique, support et localisation dans les réserves ; d'une notice documentée présentant des mentions relatives à la bibliographie, aux expositions, à l'historique et aux inscriptions ; ainsi qu'une notice raisonnée mentionnant des commentaires d'ordre historique, d'autres œuvres en rapport et des questions d'identification. Cette base de données a été conçue et élaborée pour l'usage d'historiens. La base se consulte par périodes historiques, par catégories (projets, titres, numéro d'inventaire) ou par mots clés.

---

<sup>141</sup> Gcoll 2 est un logiciel commercialisé par Videomuseum et dont la plateforme graphique s'appelle Navigart.

<sup>142</sup> Plaquette de videomuseum, «7 réponses à 7 questions en guise d'introduction à Videomuseum», p.7-8.

<sup>143</sup> Informations obtenues auprès d'Arnaud Dercelles, responsable de la recherche à la Fondation Le Corbusier. La plupart des informations contenues était accessibles, avant l'ère numérique, via des microfilms et des publications telles que le catalogue raisonné Garland.

### Les catalogues raisonnés

Le fonds Mies van der Rohe est archivé et inventorié en 1968 sous forme du *Catalogue des Archives Mies van der Rohe*<sup>144</sup>. Cet ensemble de 18 volumes, condensés en 9 dans la dernière édition, présente une reproduction de l'ensemble de ses dessins, agrémentée d'une notice descriptive. Certains de ces dessins (1 721), parmi les plus importants en termes de valeur esthétique ou historique, sont également intégrés dans la base de données en ligne du MoMA qui ne fournit que très rarement, pour ce fonds, des illustrations.

### Utilisateurs

Les utilisateurs de ces outils de gestion sont les équipes des institutions. Les différents membres du personnel (conservateurs, attachés de collection, attachés de conservation, documentalistes, régisseurs et restaurateurs en interne ou prestataires extérieurs) sont susceptibles de rentrer les informations relatives à l'œuvre, et notamment celles de la technique. Le travail majeur d'information de la base reste cependant à la charge du documentaliste<sup>145</sup>. Le personnel étant réduit, l'inventaire des fonds à l'entrée en collection, est envisagé de manière globale. Les informations spécifiques à chaque item sont précisées lors de saisies ultérieures, à l'occasion de son prêt ou exposition. La diversité des usagers, avec des spécialités et expériences distinctes entraîne des disparités dans les terminologies, et ce, en plus de l'erreur humaine.

## 2. Sélections d'un corpus à travers les bases de données

Quelques sondages des outils de gestion mettent en avant une variété étendue d'appellations : film, plastique, autocollant, auto-adhésif, synthétique, transfert, etc. Ceci peut être expliqué par la variété des profils des utilisateurs mais également par la multitude de typologies de zip (motifs et aspects de surface). Cette variété d'apparences peut expliquer une difficulté à utiliser un nom générique regroupant l'ensemble de ces références. Ce constat suscite la volonté d'essayer de mettre en place une méthode d'interrogation des bases de données afin de tenter de sélectionner l'ensemble des dessins avec zips. Un recensement de toutes les descriptions techniques relatives au zip est engagé.

### Interrogation par mots clés

La mise en place de la méthode d'interrogation se concentre sur la base du Mnam-CCI. La première étape consiste à dresser un aperçu rapide des terminologies que l'on peut rencontrer. Pour cela, le terme « film » est choisi comme terme de base afin d'obtenir un large éventail de résultats pouvant par la suite être précisés.

Pour l'entrée « film », la base donne 2 462 résultats : 91,3 % de ces œuvres sont conservées dans les collections de photographie et de cinéma, 0,1 % dans les collections d'art plastique, 0,7% dans les collections d'arts graphiques et 7,8 % appartenant à la collection d'architecture, soit 195 œuvres. Par ailleurs, la période d'existence, relativement longue, de ces collections, a probablement vu le vocabulaire évoluer. Pour ces 195 œuvres de la collection d'architecture, l'entrée « film » est accolée à 12 termes différents, par ordre décroissant du nombre d'occurrences : plastique (78), autocollant (43), auto-adhésif (32), synthétique (22), polyester (10), miroir (3), transparent (2), adhésif (2), métallisé (1), de couleur (1), polyéthylène (1).

<sup>144</sup> DREXLER A, SCHULZE F., 1986-1992, *op. cit.*

<sup>145</sup> Information obtenue auprès du service d'architecture du Mnam-CCI.

Ce premier sondage indique d'une part, une variété d'objet associée à un mot unique et d'autre part, l'absence d'une description unique pour décrire le zip. Dans un second temps, l'approche est inversée. Pour une même caractéristique, par exemple la composante adhésive, la recherche tente de référencer le nombre d'entrées ou mots utilisés associés à l'entrée « film » (Graphique 2).

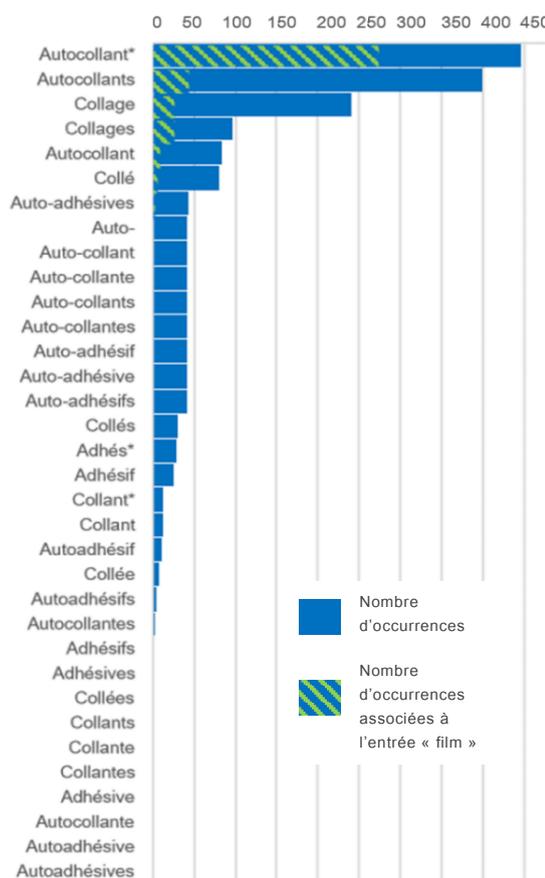
Le vocabulaire relatif à l'adhésion est donc décliné afin de mettre en avant les variations dans les appellations. Deux racines coll- et adhési- sont déclinées en fonction du genre, du pluriel, des tirets, de la forme grammaticale du nom. Ce test n'inclut pas néanmoins d'éventuelles fautes d'orthographe, tel l'oubli d'accent, ou de frappes.

Le graphique ci-contre illustre bien la disparité des entrées. Il faut cependant garder à l'esprit que les occurrences ne renvoient pas nécessairement au zip. Par ailleurs, la liste de mots proposée ici semble complète, mais l'absence de description de cette caractéristique, de renseignement de la matérialité, ou une incompréhension de la mise en œuvre peut conduire le chercheur à manquer des dessins avec zips.

Cette interrogation par mots clés des bases de données s'avère extrêmement chronophage et donne un résultat médiocre dans notre contexte où les entrées associées à l'objet recherché sont inconnues. Pour obtenir une première idée des types des descriptions présentes dans la base de données du Centre Pompidou, la recherche s'est resserrée sur un corpus plus réduit, connu pour comporter des zips. À l'aide des visuels accompagnant les notices de la base, il est possible de sélectionner des dessins potentiellement porteurs de zip. Puis, les descriptions correspondantes sont relevées avant d'être réutilisées comme mots clés pour interroger la base. La multiplicité du nombre d'entrée et les inexactitudes dans le vocabulaire choisi poussent finalement, par souci d'exhaustivité, à abandonner l'idée d'une recherche par mots clés, même en suivant une liste précise. En effet, il suffit que les termes sortent de la liste pour que l'on passe à côté du dessin. L'interrogation des bases de données s'oriente donc vers une approche plus longue : une étude de la totalité de la base, œuvre par œuvre, s'appuyant sur les descriptions et les visuels. Et cela dans le but d'établir une sélection préalable, la plus exhaustive possible, à l'examen in situ des collections.

### Mise en place du protocole de sélection préalable

L'évaluation des collections a débuté sur celle du Mnam-CCI. Afin de pouvoir vérifier la pertinence de la sélection préalable et affiner le protocole, il a été décidé d'intervenir sur la totalité d'un fonds dans lequel la présence de zips est avérée : le fonds Jean Prouvé. Nous avons réalisé une sélection préalable basée sur les visuels et descriptions fournis par la base de données. L'évaluation du fonds est entièrement réalisée pièce à pièce (1 233 dessins examinés, les autres étant en prêt au moment de la campagne d'évaluation). A son issue,

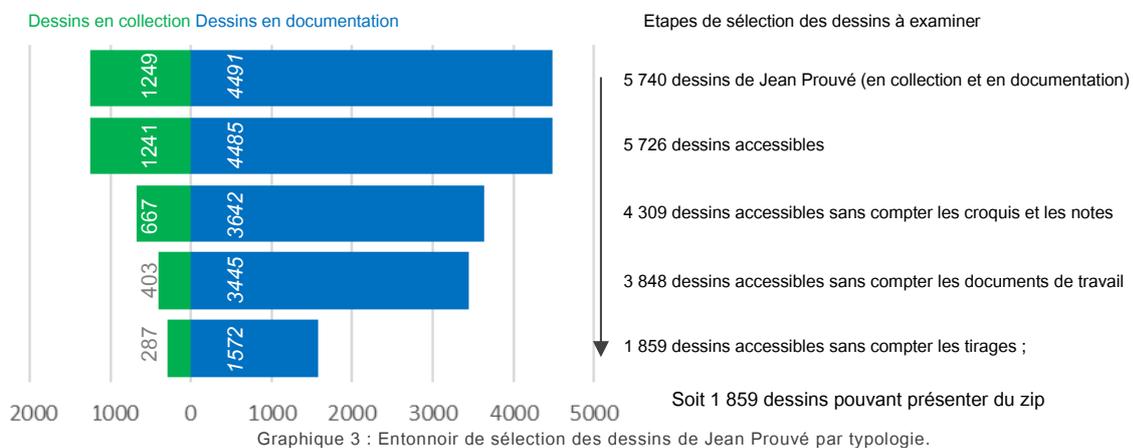


Graphique 2 : Résultats obtenus avec le champ lexical de l'adhésion.

la sélection initiale et la liste des dessins observés présentant du zip sont comparées pour déterminer les critères les plus fiables pour la recherche de zip dans les collections.

Lors d'une recherche de dessins avec du zip dans les collections, plusieurs critères peuvent être utilisés afin de préciser la sélection.

Un des critères choisis peut être la typologie du dessin, sa destination. Comme évoqué précédemment, le zip n'apparaît que dans les dernières étapes de la création. Ainsi les « croquis », « notes », « esquisses » et « études », ainsi que les tirages, peuvent être écartés des recherches principales et examinés dans un second temps afin de s'assurer de ne pas rater des exceptions. L'élimination des dessins dont la typologie est peu compatible avec la présence de zip, permet de réduire considérablement le nombre de dessins sur lesquels porter une attention plus particulière (Graphique 3). Pour exemple, dans le fonds Prouvé, il est possible de réduire la sélection de 5 726 dessins accessibles à 1 859 dessins, soit divisée par 3, dont la typologie permet d'envisager la présence de zip.



La dernière étape en vue de préciser la sélection demande une certaine expertise. En opposition à l'étape précédente qui éliminait des dessins, celle-ci s'emploie à sélectionner spécifiquement certains documents en fonction du visuel disponible dans la base de données ou de la description associée à la notice de l'œuvre. Les deux pouvant ou non être en accord.

Ainsi pour les dessins en collection, la sélection par l'observation des photographies, réduit le nombre de dessins dont le visuel laisse supposer la présence de zip à 63. Les descriptions techniques associées aux notices permettent de préciser 58 dessins pouvant présenter du zip. Les deux sélections sont comparées afin d'estimer le nombre de dessins présentant au moins un de ces critères, en ne comptant pas deux fois ceux qui présentent les deux. Les dessins dont la description ou le visuel laissent penser à du zip sont au nombre de 79. Pour la collection d'étude, il n'existe pas de saisie sur Gcoll ni de base de données avec visuels. Il s'agit d'un tableau descriptif sous format Word®. En s'appuyant sur le vocabulaire tant des typologies de dessins que des techniques graphiques, il est possible de discriminer 137 dessins.

La vérification via l'identification *in situ* contribue à préciser certains points. Pour les dessins en collection, le protocole semble bien fonctionner. Les 58 dessins réalisés avec du zip et conservés en collection, avaient tous été présélectionnés dans les 79. En revanche, dans le cas des dessins en documentation, dont l'absence de visuels n'a pas permis de palier les lacunes liées aux descriptions, la vérification *in situ* a montré que

279 dessins présentent du zip soit plus du double de la présélection de 137 dessins. Cela confirme dans les deux cas, que l'étude seule des descriptions techniques n'est pas suffisante. L'accès à des visuels, bien que présentant une certaine marge d'erreur, permet de compléter la recherche liée au vocabulaire.

Enfin, lors de l'interrogation de la base de données de la collection complète, il est possible de procéder de proche en proche. Si un des dessins d'un projet laisse supposer l'usage du zip, que ce soit par la description technique ou le visuel, il est sage de sélectionner les autres dessins faisant partie de ce projet. De même, certains architectes sont plus prompts que d'autres à utiliser le zip : il est donc judicieux de considérer la totalité de leur production présente en collection.

Ainsi, 301 dessins ont pu être identifiés afin de faire l'objet d'un examen *in situ*.

### **Sélection préalable dans la collection de la Fondation Le Corbusier**

La sélection préalable à l'examen *in situ* est réalisée par une étude systématique de l'ensemble des bases de données disponibles : 179 dessins d'architecture, 7 papiers collés et 8 projets d'édition composés d'une cinquantaine d'items, seraient porteurs potentiels de zip.

### **Sélection préalable dans la collection du Museum of Modern Art**

Afin de pouvoir réaliser un travail de sélection préalable à l'évaluation *in situ* des collections, l'étude de la base de données est rendue possible à distance par une extraction sous format Excel®. L'étude de ce fichier est complétée par l'accès en ligne à la base de données dotée de visuels.

Ainsi sur les 2008 dessins de la collection d'architecture et de design, l'étude de la base de données permet de définir 69 dessins comme très probablement porteurs de zip à la lecture de leur description technique, dont 36 sont confortés par les visuels de la base en ligne. Les descriptions de 51 dessins permettent de les inclure dans la sélection sans certitude. *A contrario*, 13 dessins dont les visuels peuvent laisser penser à du zip ne présentent pas de description. Enfin, 7 dessins sont indiqués par les restauratrices du MoMA comme réalisées avec ce produit industriel. Ainsi la présélection porte au nombre de 150 les dessins à examiner *in situ*.

Pour le fonds Mies van der Rohe, l'ensemble des notices des 15 363 dessins répartis en 166 projets présentés dans le catalogue, est examiné. 54 dessins dont les descriptions ou la photographie laissent suggérer la présence de zips sont sélectionnés. Cependant la qualité des photographies ne permet pas toujours une identification aisée. Dans le doute, les dessins sont ajoutés à la sélection afin que leur identification puisse être vérifiée ultérieurement.

### **Vocabulaire descriptif du zip dans la documentation des institutions**

À l'issue de l'interrogation des bases de données et de l'identification des dessins présentant potentiellement du zip, il est possible de donner un aperçu des termes utilisés dans les différentes institutions pour le décrire (Tableau 4).

Tableau 4 : Comparaison des terminologies trouvées dans les bases de données du Mnam-CCI, de la FLC et du MoMA (architecture et MVDR).

Mnam-CCI <sup>146</sup>	FLC	MoMA <sup>147</sup>	MoMA – MVDR
Film plastique imprimé	Film	Printed polymer sheet	Film
Film plastique	Trame	Colored synthetic laminate	Dot pattern
Film autocollant		Laminated colored paper	Self adhesive screen
Trame auto-adhésive		Self-adhesive paper dot	Metallic foil
Transfert		Self-adhesive paper dots	Adhesive paper
Transfert autocollant		Self-adhesive printed polymer sheets	Adhesive foil
		Colored self-adhesive polymer sheets	Adhesive screen
	Pressure sensitive printed polymer sheet	Adhesive screen foil	
	Pressure-transferred printed film	Adhesive screen attached	
Technique mixte	Collage	Collage (2 with the mention mixed media)	Cut-out colored paper
	Papiers collés	Cut-and-pasted self-adhesive polymer sheet	Colored adhesive
		Cut-and-pasted self-adhesive polymer sheets	Transparent colored tape
		Cut-and-pasted pressure sensitive synthetic polymer sheets	Mylar tape
Letraset	Zip	Letraset	Adhesive transparent tape
	Zipaton	Zipatone	
Absence de mention		Pantone adhesive	
		Absence de mention	Absence de mention

Il ressort de cette collecte plusieurs tendances : le recours à la description, l'emploi de noms de marques et de termes techniques issus du vocabulaire du graphisme, la généralisation et enfin l'absence de mention.

Le recours à une description se voulant objective est une démarche louable. Cette description présente cependant un aspect négatif sous-tendu par la richesse du vocabulaire et la part d'appréciation de chacun. Il semble que les équipes du MoMA développent ces descriptions plus que les institutions françaises. Cela augmente inévitablement le nombre d'entrée. Par ailleurs, dans la base de données de l'institution américaine, certaines entrées mentionnent le terme de « polymère ». Comme au Mnam-CCI, les termes dévolus au caractère adhésif varient. On trouve notamment « self-adhesive » (auto-adhésif) ou « pressure sensitive » (adhésif par pression). Enfin, il est intéressant de relever l'usage du mot « sheet » (feuille) préférentiellement à celui de « film », comme c'est le cas dans les bases françaises.

Le vocabulaire utilisé à la Fondation Le Corbusier est systématique : un film plastique auto-adhésif identifié sur un dessin relevant de la collection d'architecture est appelé « zip » ; le même médium graphique sur un dessin des collections d'arts plastiques est appelé « papiers collés » ou « collage » en référence au procédé plus qu'au produit mis en œuvre. Comme évoqué précédemment, les bases de données sont issues de campagnes ponctuelles ce qui explique l'harmonisation du vocabulaire, base par base. Il semble intéressant de noter cependant, que *l'Œuvre Complète* publiée préalablement à la base de données numérique n'emploie pas systématiquement les mêmes terminologies pour les mêmes dessins. Le terme « zipaton » y est préféré à celui de « zip » que l'on trouve dans la base. Par ailleurs, le glossaire français-anglais en introduction de chaque volume, présente une confusion dans la traduction : « stencil », pochoir, est utilisé comme équivalence à « zipaton ».

<sup>146</sup> CINQUALBRE M., *L'apparition du zip dans les projets d'architecture en France : les dessins de Le Corbusier et Jean Prouve*, Rapport de recherche, Paris : Centre national des arts plastiques (CNAP), 2016, 90 p.

Cinqualbre M., 2015, *op. cit.*, p. 26-28.

<sup>147</sup> CINQUALBRE Marion, *Evaluation du zip dans la collection d'architecture du MoMA, New York*, Rapport de recherche, Paris : bourse Carnot, 2016, 45 p., p.10-12.

Dans les bases du Mnam-CCI et du MoMA, certains termes utilisés sont des noms de marques, utilisés comme noms génériques. Cela suppose la familiarité des personnes ayant enrichi la base avec ce produit graphique. Cependant, l'usage de ces termes renvoie vraisemblablement à une expérience personnelle plus qu'à une réelle connaissance de la marque des zips présents sur un dessin, sauf exception où la marque était précisée par l'architecte lors du don ou de l'acquisition. Mais là encore, il est nécessaire de rappeler que l'usage d'un nom de marque peut l'être comme nom générique. La multitude de marques est un obstacle de plus à un travail de recherche par mots clés. Par ailleurs, le terme de transfert est utilisé dans la base du Centre Pompidou pour se référer au zip. Cet usage est impropre mais son côté technique laisse supposer une connaissance approximative des procédés graphiques.

Enfin, deux écueils trouvés de part et d'autre de l'Atlantique : la « technique mixte » et l'absence de mention. Le recours à « technique mixte » est très récurrent dans les collections. Il s'agit d'une appellation « fourre-tout » utilisée pour une œuvre complexe ou présentant un nombre important de types de média ou de procédés de mise en œuvre, par économie de temps ou par ignorance. Cette terminologie est tout aussi dommageable que l'absence de mention qui peut s'expliquer de plusieurs façons : la personne n'a pas repéré qu'il s'agissait d'un matériau différent du papier de support ou elle ne savait pas quoi porter comme information et dans le doute, a préféré ne rien mettre.

### C. Méthode d'évaluation de la présence de zip dans les collections

Nous avons pu observer à travers les bases de données et lors de discussion avec des équipes de musée, qu'il était souvent difficile de repérer l'emploi de zips et que leur identification comme telle était par conséquent souvent absente<sup>148</sup>.

Il est important de rappeler que les zips sont différents des transferts et décalcomanies. Une fois appliqués, le support des transferts et des décalcomanies est retiré tandis que le film du zip reste sur le dessin.

Les films de zip sont très fins et transparents. Quand ils sont collés de façon adéquate, et non altérés, ces deux qualités les rendent très difficiles à dissocier de la surface du papier. Cependant, il est possible de les repérer par l'observation visuelle validée éventuellement par le toucher.

#### 1. Aspect de surface

Un des caractères particulièrement discriminant pour l'identification des films est l'aspect de surface. En effet, le papier de support, calque ou vélin, est relativement mat. La diversité des références de films implique une multitude d'aspects de surface différents. Cependant, hormis quelques exceptions, la surface des films et des encres est différente de celle du papier et des techniques (Figure 63). Il est important de noter que les films peuvent se trouver au recto et/ou au verso du calque. Il est donc primordial, afin d'identifier la présence de films, de toujours observer, lorsque cela est possible, les deux côtés d'un dessin sur calque.

---

<sup>148</sup> Entretien avec les équipes du service d'Architecture du Centre de Création Industrielle du Centre Pompidou et Het Nieuwe Instituut de Rotterdam aux Pays-Bas.



Figure 63 : Détail en lumière rasante d'un film mat avec une encre brillante, AM 2007-2-327.

Les films peuvent être mats, satinés ou brillants. Les encres peuvent également varier en aspect de surface. La combinaison du plastique et de l'encre augmente encore le nombre d'effets. Ainsi, dès que les films présentent un fort brillant, du plastique ou de l'encre, ils sont facilement identifiables. De même, les films satinés sont repérables en lumière rasante. Pour les films mats, l'appréciation de la présence de film est plus ardue. D'autres indices peuvent alors aider à l'identification.

## 2. Caractère industrialisé

Les motifs ou les couleurs des films sont imprimés industriellement ce qui se traduit visuellement par un aspect très mécanique. Les points et les lignes sont identiques les uns aux autres : les réseaux de points sont très réguliers, les lignes parallèles, les dégradés progressifs. L'ensemble, motifs aléatoires compris, obéissent à une certaine rigueur mécanique. Ainsi, au regard de la pratique traditionnelle du dessin, même des motifs imprimés irréguliers sont réguliers : cela s'observe d'autant plus quand le zip et les réalisations à la main se juxtaposent (Figure 64).

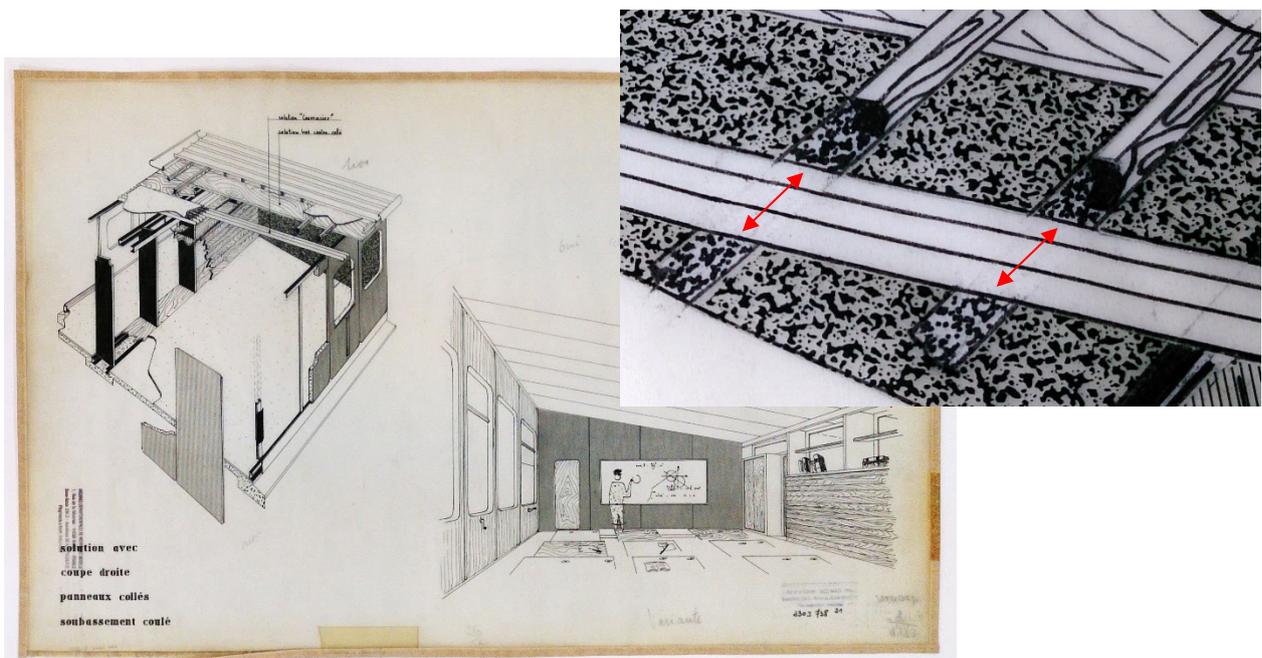


Figure 64 : Dessin AM 2007-2-330 et détail d'une zone avec un même motif réalisé avec un film et manuellement (flèches rouges).

### 3. Motif standardisé

Ces produits ont pour but de faire gagner du temps aux architectes dans la réalisation de dessins lors du remplissage de surface. Les dessins d'architecture sont assujettis à des règles fixes de schématisation permettant à tous les acteurs de la construction de comprendre un dessin. Par ailleurs, le but étant de transmettre une information, les motifs figuratifs doivent être les plus compréhensibles possible et pour le plus grand nombre. Aussi, le dessin tend vers une standardisation des symboles. C'est cet aspect très normalisé qui peut parfois aider à l'identification de ces outils graphiques. De plus, d'une marque à l'autre, les motifs ne varient que peu.

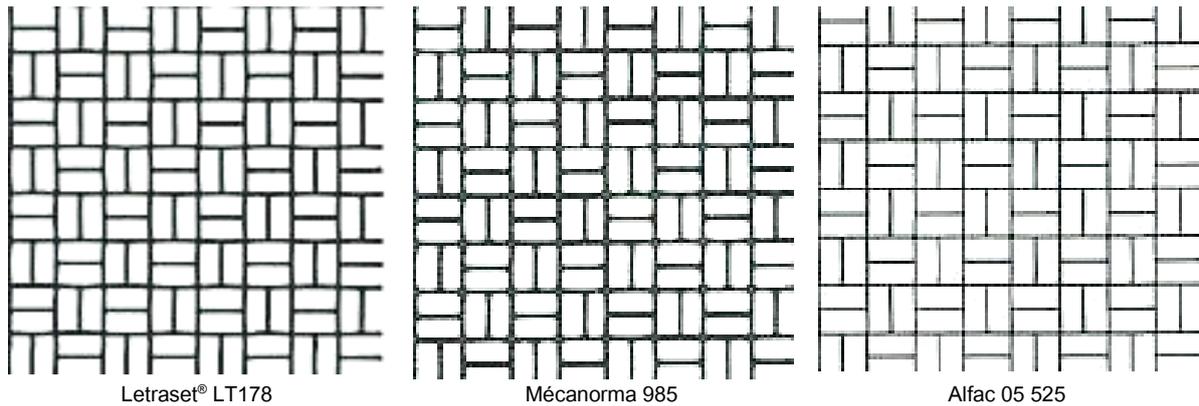


Figure 65 : Exemple de dallage issu de trois marques différentes.

Il faut toujours garder à l'esprit le temps d'exécution. Dans le cas d'une grande surface remplie de petites dalles (Figure 65), on peut supposer, assez systématiquement, que la zone est réalisée avec un film imprimé.

### 4. Traces de mise en œuvre

Certaines traces observables, témoins de la mise en œuvre, peuvent aider à l'identification. La présence de coupures ou plus souvent de traces de scalpel, lignes blanches causées par l'enfoncement d'une lame dans le papier lors de la découpe précise de la pièce de remplissage, sont assez significatives de la présence d'un film plastique adhésif (Figure 66).

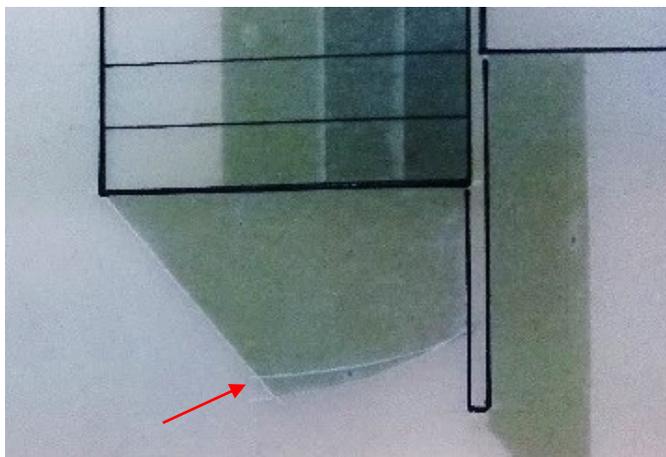


Figure 66 : Détails du dessin AM 2007-2-423, les lignes blanches correspondent aux lignes d'incisions lors de la découpe du zip.

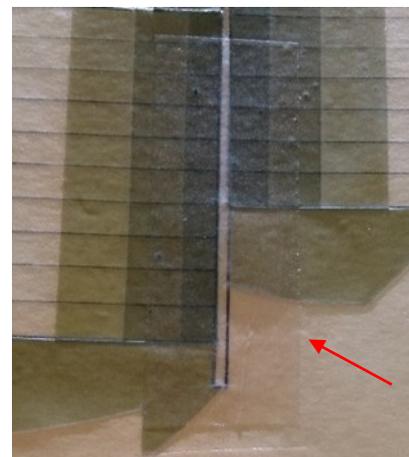


Figure 67 : À droite, détail du même dessin, ruban adhésif consolidant une zone entaillée lors de la mise en œuvre.

Souvent, en présence de telles coupures, on peut observer l'usage de ruban adhésif. Ce ruban permet de consolider cette zone fragilisée (Figure 67). La présence de ruban adhésif est également requise en vue de maintenir les films sur le support papier lorsque les dégradations contribuent à un décollage du film plastique.

### 5. Présence de dégradations

Enfin, certaines dégradations visibles permettent de mettre en avant la présence des films en perturbant la lisibilité<sup>149</sup>. Ainsi des altérations de la planéité ou de la structure mécanique laissent supposer la présence d'une autre épaisseur que celle du papier de support, qu'il soit calque ou vélin. Par ailleurs, d'autres altérations, en gênant la lisibilité par des phénomènes parasites, sont un révélateur de la complexité graphique de la composition des dessins, comme sur le dessin de Yakuta Murata où l'adhésif est fortement bruni (Figure 68).

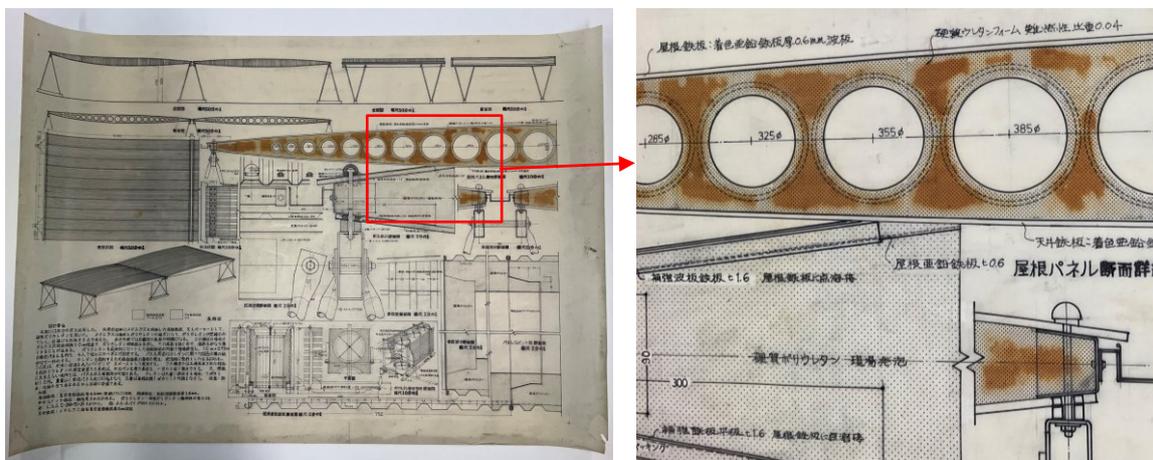


Figure 68 : *Projet de maison préfabriquée* par Yutaka Murata, s.d., AM 2011-2-857 et détail. ©M.Cinqualbre/CentrePompidou

### 6. Validation tactile

Une fois ces différents aspects abordés pour l'identification des films adhésifs au sein des collections patrimoniales, un doute peut tout de même subsister quant à leur présence. Le motif ou la couleur peut découler de la présence d'un zip mais aussi de sa reproduction sur un tirage. Cela peut créer des confusions lors de l'identification. Afin de confirmer la présence du zip, il est possible de sentir une légère dénivellation en passant le doigt à la limite de la zone supposée couverte. Si le film est au verso et celui-ci inaccessible, cette différence de niveau est tout de même perceptible.

Il faut cependant encadrer autant que possible cette pratique, les tracés de dessin pouvant être fragiles.

## D. Corpus identifié

### 1. Présence de zip dans les collections des institutions partenaires

#### Musée national art moderne – Centre de création industrielle

L'étude préalable a permis de sélectionner 380 dessins en collection (dont 79 pour le fonds Jean Prouvé) et 137 dessins en documentation (liée au fonds Jean Prouvé) susceptibles de comporter du zip. L'identification

<sup>149</sup> La partie II de ce chapitre présente les dégradations observées sur les dessins de façons plus détaillées et complètes.

*in situ* dont la méthode a été évoquée précédemment favorise la précision de ce chiffre. Dans la mesure où l'identification des zips dans le fonds Prouvé a fait l'objet de la phase de test du protocole, les résultats de l'observation *in situ* ont été mentionnés.

Le fonds Jean Prouvé compte 58 dessins avec zip en collection et 279 conservés en documentation.

L'évaluation de la collection complète se base sur une sélection préalable de 301 dessins. Pour des questions de temps et d'accessibilité, cette présélection est réalisée sur la version en ligne de la base de données du Centre Pompidou. Contrairement à la version accessible depuis les locaux du Centre, cette version ne permet pas l'accès à tous les visuels. En effet, certaines œuvres nécessitant des interventions de conservation-restauration, par exemple, n'y figurent pas.

L'intervention *in situ* permet l'identification de 231 dessins présentant du zip. Parmi ces dessins, 221 dessins faisaient partie de la sélection préalable à laquelle sont venus se rajouter 10 dessins qui n'avaient pas été identifiés dans la base de données. 24 dessins faisant partie de la sélection préalable se sont avérés ne pas comporter de zip et 56 dessins n'ont pas pu être consultés pour des raisons car prêtés pour des expositions hors-les-murs ou par manque de place dans les réserves pour les rouleaux hors-format.

### **Fondation Le Corbusier**

Lors de l'évaluation au sein des réserves de la FLC, certaines identifications de zip sont affinées. En effet, certains dessins dont la notice ne mentionnait pas la présence de zip mais où le visuel laissait un doute sont confirmés comme présentant des zips. Par ailleurs, certains visuels se sont révélés trompeurs. C'est le cas pour l'hôpital de Venise : des photographies des originaux permettent de documenter les dessins conservés dans d'autres collections. Dans d'autres cas, seuls les tirages ont subsisté pour rendre compte de la présence de zip sur les dessins originaux. Ainsi, 112 dessins sont confirmés avec du zip, 23 photographies et 26 tirages attestent de la présence de zip sur les dessins originaux, 10 dessins avaient été identifiés à tort comme porteurs de zip lors de la sélection préalable, et 7 dessins n'étaient pas accessibles car en prêt.

L'observation *in situ* est la seule méthode capable de préciser les dessins avec zips. En effet, la recherche circonscrite à la base de données seule ne permet pas de dissocier des dessins présentant des zips et des documents reproduits à partir de dessins présentant des zips. Par ailleurs, pour les erreurs d'identification, les effets graphiques réalisés à la main sont très proches de ceux obtenus par le recours aux films pré-imprimés. Il est donc peu encouragé de se satisfaire d'une sélection basée sur la seule base de données, l'observation directe des dessins semblant inévitable.

Par ailleurs, pour les papiers collés, les sept dessins identifiés dans les bases de données par leur description et leur visuel sont bien porteurs de zip.

### **La Cité de l'architecture et du patrimoine**

Les collections des autres institutions françaises et de l'institution américaine ont fait l'objet d'évaluations complètes, menées sur plusieurs semaines et financées par des mécénats. Les œuvres issues de la collection de la galerie d'architecture moderne et contemporaine de la Cité, figurant dans l'étude, nous ont été confiés dans le cadre de notre activité professionnelle. Ainsi, ces œuvres sont sélectionnées par la nécessité de les exposer, pour des présentations dans les murs ou des demandes de prêt. L'état de conservation du zip n'est pas un critère de sélection étant donné que les œuvres peuvent présenter des dégradations d'autres natures ou des besoins de montage. Les œuvres avec zip sont au nombre de 13 et issues de la production de différents architectes, sur des projets variés.

### Museum of Modern Art

L'évaluation *in situ* de la collection du MoMA est conditionnée par la distance et, par conséquent, réalisée en deux phases circonscrites dans le temps. En amont, la sélection préalable, à partir du tableur Excel® et de l'étude du catalogue de Mies Van der Rohe, a fait l'objet d'une sélection prioritaire. Celle-ci comprend les dessins pour lesquels les doutes relatifs à la présence du zip sont minimales. Ainsi, les 150 dessins présélectionnés sont répartis comme suit : 96 dessins prioritaires et 54 dessins supplémentaires, à observer si le temps ou l'occasion se présente.

L'examen des dessins est conditionné par leur accessibilité et leur présence dans les réserves. 62 dessins de la sélection prioritaire et 2 de la liste complémentaire sont ainsi examinés. Parmi les 37 dessins de la sélection prioritaire n'ayant pas pu être observés<sup>150</sup>. Il serait donc possible si nécessaire d'étendre les observations<sup>151</sup>.

L'identification *in situ* de la collection d'architecture du MoMA permet de préciser au nombre de 51, les dessins pour lesquels l'emploi de zip est confirmé<sup>152</sup>.

Pour le fonds Mies van der Rohe, 54 dessins sont sélectionnés. Lors de l'examen *in situ*, le conditionnement en rouleau de plusieurs documents, porte ce nombre à 60. Dans cet ensemble, 21 dessins sont identifiés comme portant du zip.

### Corpus d'étude

L'évaluation des dessins des différentes institutions partenaires permet de donner une idée de la présence de zip dans ces collections. Dans le cadre de cette étude, les dessins identifiés comme porteurs de zip du fonds de documentation du Centre Pompidou ne rentrent pas dans le corpus du fait de la différence de traitement qu'ils connaissent par rapport aux dessins en collection.

Le corpus de l'étude est donc composé de 520 dessins porteurs de zip : 323 issus de la collection du Centre Pompidou<sup>153</sup>, 112 de la Fondation Le Corbusier, 13 de la Cité de l'architecture et du patrimoine et 72 du MoMA dont 21 issus du fonds MVDR (Figure 69).

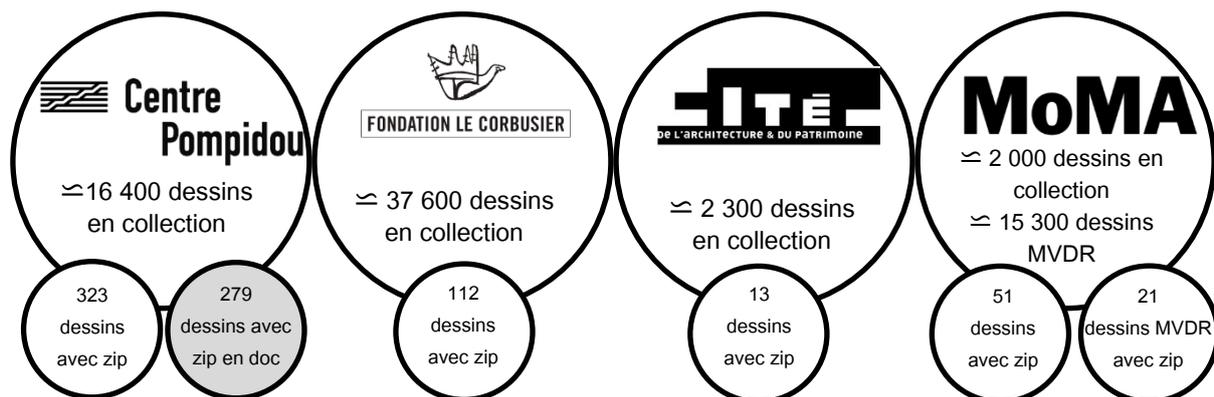


Figure 69 : Répartition des items du corpus en fonction de leur collection.

<sup>150</sup> Ces dessins n'ont pu être observés car en prêt au moment de l'évaluation.

<sup>151</sup> Le corpus des œuvres observées a été jugé suffisant et il n'a pas été décidé d'étendre les observations à ces œuvres.

<sup>152</sup> Parmi les dessins examinés, 15 ne sont pas composés de zip.

<sup>153</sup> Les dessins du fonds documentaire Prouvé ne rentre pas dans le corpus car ils n'ont pas fait l'objet d'une étude complète mais ont été seulement étudiés d'un point de vue technique. Les informations issues de cette étude seront néanmoins mentionnées pour l'exploitation des résultats.

## 2. Informations collectées

La collecte des informations se fait en suivant des catégories, de façon systématique. Cependant, de nouvelles observations contribuent à créer de nouvelles catégories avec un effet rétroactif pour les dessins déjà observés. Car, il faut noter ici que l'observation des collections alimente les connaissances relatives au zip, ouvrant de nouvelles pistes de recherches, qui soulèvent d'autres questions pour lesquelles des réponses pourraient être trouvées dans l'examen des collections via un autre angle. Cet enrichissement progressif et dans une dynamique cyclique, contribue à l'évolution, si ce n'est permanente, au moins régulière, des informations collectées. Ces dernières sont relatives à l'identification du dessin, sa description, la description des zips en présence, et leur état de dégradation.

### **Identification du dessin**

L'identification précise de la provenance du dessin étudié se fait par l'enregistrement du numéro d'inventaire et du nom de la collection dans laquelle il est conservé. Par ailleurs, les informations liées à l'auteur, le projet et la date sont renseignées. Lorsqu'elle est connue, la date de reproduction, sous-entendue, de première reproduction, est documentée. Comme cela a déjà été précisé, elle permet de s'assurer de l'état du dessin avec zip à une date précise. Enfin, la typologie de dessin est relevée afin de documenter l'intention derrière le recours au zip à savoir une recherche esthétique pour les dessins de présentation ou une intention formelle pour les documents prescripteurs<sup>154</sup>.

### **Description du dessin**

Dans le cadre de cette étude, la description du dessin est menée en termes de technique et de matérialité plus qu'en une description de ce qu'il représente. Le relevé de ces informations se fait de façon succincte mais précise et complète : le type de technique graphique, le support d'exécution et ses dimensions. Ces informations peuvent éclairer un peu les questions liées aux dégradations, plus sur leur aspect que sur leur mécanisme. Par ailleurs, elles enrichissent grandement la compréhension de l'usage du zip.

### **Description du zip**

Il s'agit de documenter l'emploi du zip dans les dessins. Le zip est décrit suivant son motif ou sa couleur. L'aspect de surface est également relevé et il est précisé si l'encre, le plastique ou les deux sont brillants. Dans certains cas, il est également possible de localiser le côté imprimé du film. De même, le côté, recto ou verso, où le zip est collé sur le support, est renseigné. Certains dessins sur papier calque présentent même des zips des deux côtés. Enfin, il semble pertinent de relever si le zip est collé sur le papier ou sur un autre zip. Comme pour la description du dessin, les dimensions couvertes pour chaque type de zip sont relevées ce qui permet d'une part d'évaluer la surface couverte, et d'autre part de lier surface de zip et dégradation s'il y a lieu.

### **État de dégradation**

Les dégradations relatives aux zips sont relevées pour un même type de zip par dessin, qu'il soit en un seul ou plusieurs morceaux. Le nombre de dégradations observées sur les zips est grand. La familiarisation avec le zip et ses dégradations permet une vision plus globale et par là une meilleure appréciation des phénomènes observés. Ainsi, au cours des huit années sur lesquelles se sont étalées ces évaluations, certaines dégradations ont pu être fusionnées ou se sont révélées être les différents stades d'un même phénomène de dégradation.

---

<sup>154</sup> Les cartons de tapisseries relèvent d'une recherche esthétique et sont donc considérés comme des dessins de rendus (bien qu'ils portent en eux un caractère prescripteur en raison de leur fonction de carton).

## II. Présentation des dégradations rencontrées dans les collections

Avant de présenter l'état sanitaire des collections, il semble nécessaire de s'attarder sur la description des dégradations. En effet, celles-ci sont complexes à comprendre et à présenter en raison du caractère composite du zip. Les dégradations sont classées en fonction de la stratigraphie du zip. Cela permet de déterminer quelle strate, ou ensemble de strates, est dégradée et non quel matériau. En effet, l'altération d'un matériau peut se situer à différents niveaux : par exemple, une rupture d'adhésion peut s'observer entre le film d'adhésif et le papier de support mais également entre le film d'adhésif et le film plastique. Selon le niveau où elle intervient, la dégradation n'aura pas le même impact sur la conservation de l'objet ; ce paramètre mérite donc d'être pris en considération.

Cinq catégories ont été définies afin de rendre compte au plus près des spécificités et implications des différentes dégradations. Par convention, sont présentées les dégradations de la surface du film jusqu'au papier de support, puis celles touchant le système dans son entièreté. Par ailleurs, la distinction est faite entre altérations et traces de mise en œuvre s'y apparentant. Il faut noter que certaines dégradations sont difficiles à différencier et à situer dans le système zip. Par ailleurs, deux types de dégradation peuvent toucher un même zip.

### A. Dégradation de la surface du film

Les dégradations relevées ici se situent exclusivement à la surface du film. Elles peuvent s'appliquer à la couche de plastique, à la couche d'impression ou aux deux simultanément.

#### 1. Altérations mécaniques

La présence d'**abrasions** ou de **griffures** en surface du plastique peut engendrer la perte partielle souvent hétérogène, du motif ou de la couleur. Il est primordial de bien comprendre l'usage qu'ont fait les architectes du zip, afin de ne pas confondre des libertés créatives et des dégradations. Le grattage volontaire de la surface encrée, sert par exemple à Rougerie, en 1971, à faire apparaître des lumières et des reflets (Figure 70). Il suggère ainsi des faisceaux lumineux et le scintillement des surfaces quand d'autres utilisent ce procédé pour faire émerger des volumes, du modelé. En revanche, quand le motif est abrasé, il s'agit de dégradations, résultats de frottements non intentionnels (Figure 71). Par ailleurs les abrasions peuvent entraîner un écrasement modifiant ainsi l'aspect de surface : création de matité sur les films brillants et brillance sur les films mats. Ces altérations sont visibles en lumière rasante et gênantes sur les grands aplats colorés.

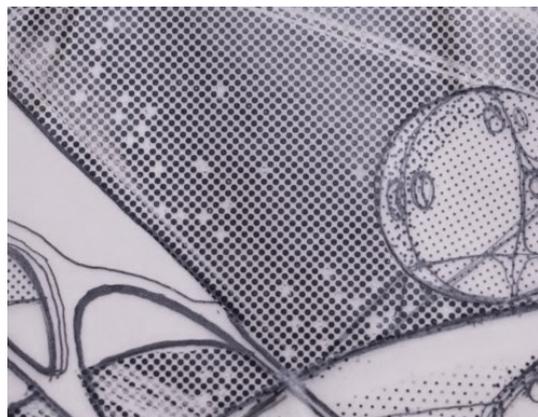


Figure 70 : Détail de zip gratté intentionnellement, AM 2007-2-38.

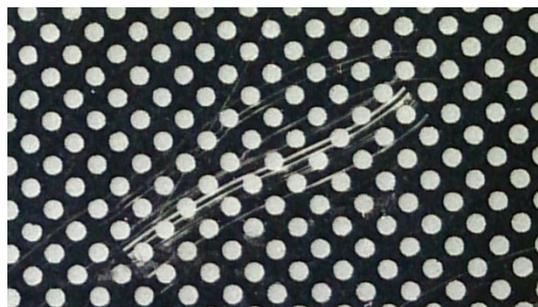


Figure 71 : Détail d'une griffure, AM 2007-2-415 (1).

## 2. Dépôts et résidus

Jusqu'à présent, l'**empoussièrément** observé sur les films de zip est de nature électrostatique. Aucun cas de poussière grasse ou d'agglomération de poussière sur des exsudations du plastique n'a été relevé sur les films. En revanche, de la poussière s'est parfois fixée sur des **résidus d'adhésifs** à la surface du zip. Ces résidus sont le témoignage d'une ancienne superposition de zips, pratique courante sur les dessins d'architecture (Figure 72). Il faut noter que la poussière est un facteur d'altération des œuvres. En effet, elle contient souvent des spores de moisissures ainsi que les éléments nutritifs leur permettant de se développer. Aucun développement microbien n'a été observé à ce jour.

Sur de nombreux dessins, il est par ailleurs possible d'observer des **rubans adhésifs**. Ils permettent d'une part de maintenir les morceaux de zip qui se soulèvent et menacent de se détacher complètement (Figure 73). D'autre part, ils assurent le maintien dans le plan de zones incisées au moment de la mise en place du zip, ou fragilisées et déchirées depuis. Le choix du type de ruban, transparent ou non, est souvent tributaire d'un souci esthétique. En effet, quand les rubans adhésifs sont collés au recto, ils sont systématiquement transparents alors que ceux posés au verso peuvent parfois posséder une âme papier (Figure 74).

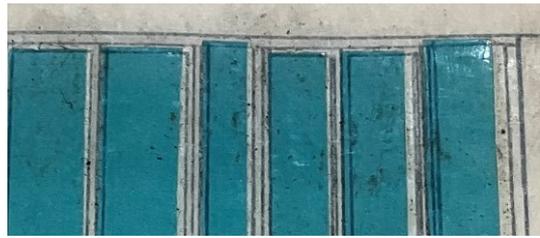


Figure 72 : Résidus d'adhésif encrassés à la surface de zip, AM 20011-2-884.



Figure 73 : Détail d'un ruban adhésif maintenant des zips détachés, FLC30202.

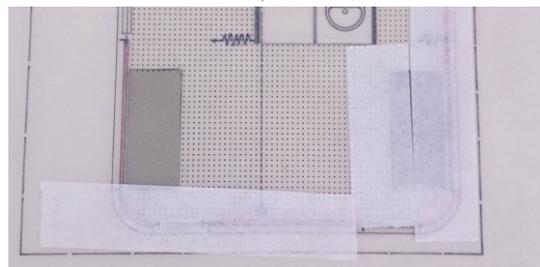


Figure 74 : Détail des rubans adhésifs au verso pour consolider le papier incisé, AM 2008-2-18.

### B. Dégradation du film

Les dégradations du film plastique entraînent un état de conservation instable et une perturbation de la lisibilité des dessins altérés. En effet, le film est le support direct de l'encre du motif ou de la couleur.

#### 1. Rétraction

La **rétraction**<sup>155</sup> du film implique différents phénomènes en fonction de l'état de la couche d'adhésif et de la nature du support car tous deux peuvent imposer différentes contraintes, parfois antagonistes de celles du zip.

<sup>155</sup> On entend par rétraction, la diminution dimensionnelle du film.

Si l'adhésif est souple et le support rigide, le plastique se rétracte en glissant dans le plan. La planéité n'est pas altérée mais cela modifie la perception du dessin par un **décalage** entre le zip et le tracé, allant de quelques millimètres à plusieurs centimètres. La rétraction laisse souvent voir un liseré d'adhésif brillant ou empoussiéré en périphérie de la pièce (Figure 75).

Si l'adhésif n'est pas ou plus souple, plusieurs cas de figure se présentent. Quand le zip est collé sur un papier suffisamment rigide, la rétraction du film peut être à l'origine de tensions entraînant des **cassures nettes**, souvent localisées dans des zones étroites (Figure 76).

Sur les dessins dont le papier de support est souple, le film de zip peut présenter un **gauchissement**<sup>156</sup> tandis que le support souple suit la déformation à l'endroit de l'adhésion des deux mais ne présente pas de déformation marquée en périphérie (Figure 77). La rétraction du film peut par ailleurs imposer de fortes contraintes au papier de support. Dans ce cas-là, le zip est plan et tendu tandis que le papier de support présente un **gondolement** en périphérie (Figure 78). Quand la rétraction est très importante, la **tension** exercée sur le papier de support peut conduire à son **décollement** par endroit du zip. Celui-ci reste tendu, et c'est le papier de support qui se déforme, et l'espace entre les deux, induit par transparence des zones plus sombres, visuellement gênantes (Figure 79). Cependant, dans cette configuration, là où le zip est tendu, il n'est plus protégé par le papier et les contraintes imposées peuvent conduire à terme à la rupture du matériau.

Il semble d'après les évaluations *in situ* que les films sont rétrécis préférentiellement dans le sens dans lequel la pièce de zip est la plus grande. L'ampleur de la rétraction apparaît comme proportionnelle à la taille du morceau de zip sans que cela puisse être quantifié. Il est difficile d'observer un éventuel impact du sens machine sur les zips présents sur les dessins<sup>157</sup>. Par ailleurs, plus l'élément de zip est grand plus les rétractions sont importantes. Dans de rares exemple, comme celui d'un



Figure 75 : Espace visible entre deux films de zip, AM 1992-2-281.



Figure 76 : Cassure du zip, AM 2007-2-410 (0002).

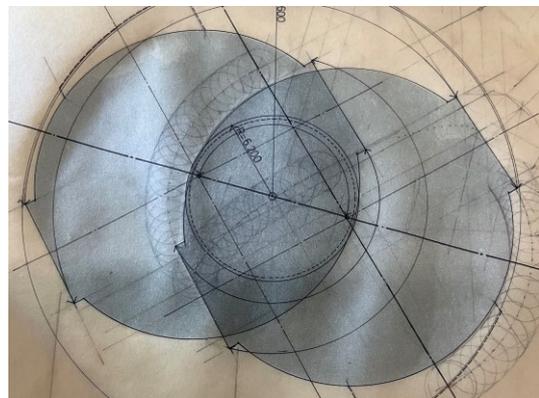


Figure 77 : Gauchissement du zip, AM 2011-2-803.



Figure 78 : Tensions exercées par un zip sur le papier sous-jacent, AM 2007-2-315.



Figure 79 : Décollement du papier sous la contrainte impliquée par la rétraction du zip, FLC31064.

<sup>156</sup> Le terme de gauchissement est choisi ici pour décrire le gondolement tordu du zip.

<sup>157</sup> La fabrication sur tapis dans les machines en continu (cf. p.18) induit une contrainte dès la création du produit ce qui peut influencer sur son comportement physique. Le sens est alors celui de la machine.

plan de Le Corbusier pour le nouvel hôpital de Venise, daté de 1965, la rétraction engendre, ou du moins accompagne, des déformations du support avec décollement dans les deux sens (Figure 80).



Figure 80 : rétraction du zip avec décollement du papier sous la contrainte dans les deux sens, SC381.2011.

Cette dégradation semble être le résultat de l'action conjointe de la rétraction du film plastique et de la déformation du papier de support soumis à des contraintes hygrométriques.

Le sens du zip sur la feuille pourrait donc être un facteur aggravant. En effet, le papier présente un sens qui est lié à sa fabrication (le sens machine) et induit un comportement anisotrope : le sens travers est plus sujet aux variations dimensionnelles comme la dilatation. Si le zip impose la contrainte à ce sens du papier, la déformation peut être plus marquée que dans le cas où le zip est collé dans l'autre sens.

Enfin, il faut mentionner ici le phénomène d'écoulement à froid de l'adhésif. Cette dégradation est liée à une surchauffe au moment de la fabrication. Très observée pour les rubans adhésifs, elle est observable par la sortie de l'adhésif au-delà de la zone du ruban. Pour les zips, la rétraction est parfois observée par le liseré d'adhésif en périphérie de la pièce. Un moyen de différencier ces deux dégradations est de s'appuyer sur les traces de mise en œuvre telles que les incisions, les tracés, etc.

## 2. Perte de structure mécanique

Le film est très fin, environ 35  $\mu\text{m}$ , et il se déchire facilement de façon très nette. Les lèvres du plastique au niveau de la **déchirure** ne présentent pas de frisures. Leur morphologie en zigzag est spécifique : segments droits et angles (Figure 81). De nombreux zips sont déchirés. Si les lèvres sont jointives, cela peut impliquer une déchirure au moment de la pose. Le dessinateur aligne les deux pièces pour que la déchirure disparaisse. Si les bords sont disjoints, interrompant le motif ou la couleur unie et laissant ainsi apparaître le support, deux scénarios sont envisageables : soit le film déchiré au moment de la pose est posé bord à bord mais, avec le temps, les variations dimensionnelles du papier de support et/ou du zip, ont contribué à ouvrir les lèvres ; soit le film n'était pas déchiré mais les variations citées précédemment ont induits de fortes contraintes engendrant une rupture au sein du film.



Figure 81 : Détail d'une déchirure en zig-zag, AM 1992-2-289.



Figure 82 : Détail de lacune dans un morceau de zip, 97.1989.

La **lacune** est un manque de matière localisé dans un film plus grand. Elle est à dissocier d'un manque qui correspond à la perte d'un élément de zip dans sa totalité. Cette dégradation s'observe peu. Dans les rares

cas, comme pour les déchirures, les bords sont nets (Figure 82). Ces lacunes sont localisées le long de bords et le plus souvent dans des angles de pièces de zip.

### C. Dégradation de l'adhésif

Dans le domaine des sciences des matériaux, l'adhésion et l'adhérence sont qualifiées comme suit :

« **L'adhésion** est l'ensemble des phénomènes physico-chimiques qui se produit lorsque l'on met en contact intime deux matériaux. Les différentes théories de l'adhésion prévoient l'établissement de liaisons ou d'interactions spécifiques.

**L'adhérence** est la force ou énergie nécessaire pour séparer deux matériaux réunis par une surface commune. »<sup>158</sup>

Le **soulèvement** du zip de son support est donc le résultat d'une perte d'adhésion<sup>159</sup>. La morphologie de cette dégradation peut varier (Figure 83). La rupture peut s'opérer entre deux matériaux distincts, elle est alors qualifiée de rupture adhésive. Elle peut intervenir entre l'adhésif et le support ou entre l'adhésif et le film. La rupture peut également être observée au sein du matériau, il s'agit alors d'une rupture cohésive. Elle intervient alors au sein de la couche d'adhésif ou au sein des matériaux collés, c'est-à-dire au sein du papier de support ou au sein du zip. Celle-ci implique le décollement du film de zip donc un grand risque de **perte de zip**. La dégradation peut être décrite par l'aspect actuel de l'adhésif et/ou par le niveau stratigraphique de la rupture. La présence de jaunissements sera également évoquée sans qu'ils ne soient associés systématiquement à la perte d'adhésion.

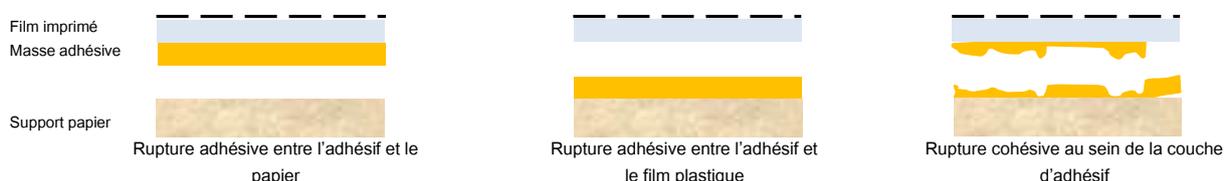


Figure 83 : Schéma des types de pertes d'adhésion pouvant conduire à un soulèvement du zip, d'après J. Down<sup>160</sup>.

Ce type de rupture ne permet pas de connaître les causes de cette perte d'adhésion. La rupture peut survenir à la suite de la dégradation physico-chimique de l'adhésif, une mauvaise mise en œuvre d'origine ou encore, être le résultat d'une action mécanique de dépose du zip. Par ailleurs, le type de rupture n'induit en rien l'état de la couche adhésive. En effet, une rupture peut avoir lieu à tous les niveaux, pour un film d'adhésif, qu'il soit sec et cassant ou souple et plastique<sup>161</sup>.

<sup>158</sup> AUFROY Maëllenn, *Adhésion et Adhérence des Matériaux*, cours pour l'Ecole nationale supérieure des ingénieurs en arts chimiques et technologiques, 2009, 80 p., p. 5.

<sup>159</sup> DOWN Jane, *Compendium des adhésifs pour la conservation*, Ottawa : Editions ICC, 2015, 286 p.

<sup>160</sup> *Ibid.*

<sup>161</sup> HORIE Velson, *Materials for conservation, Organic consolidants, adhesives and coatings*, deuxième édition, Oxford : Routledge 2010, 504 p.

1. Perte d'adhésion

Sur les dessins présentant des **soulèvements**, il est possible de dissocier les zips avec un adhésif cassant de ceux pour lesquels il a conservé une certaine plasticité. Il faut noter que l'évaluation de la texture de l'adhésif est impossible pour les zips encore collés. Par ailleurs, il est important de préciser ici, que des adhésifs de même nature chimique peuvent présenter des aspects différents, qu'il s'agisse de leur souplesse ou de leur couleur.

Sur certains dessins, le soulèvement du zip sur le papier de support s'apparente à un affaiblissement du caractère adhésif. En effet, le zip se soulève mais peut être réappliqué au support, pour quelques secondes voire minutes (Figure 84). D'autres adhésifs apparaissent comme souples mais semblent avoir totalement perdu leurs propriétés adhésives et n'assurent plus le maintien du film, même temporairement (Figure 85).

Pour les zips dont l'adhésif est cassant, la dégradation se manifeste par un phénomène de **déplacage**, l'adhésif ne présente alors plus une bonne cohésion et est sensible à une rupture nette. Cette dernière semble intervenir soit entre le film de zip et l'adhésif, l'adhésif est alors visible sur le papier de support (Figure 86), soit au sein de la couche d'adhésif, l'adhésif est alors visible sur le zip et le support en miroir (Figure 87).

La rupture de l'adhésif peut également être localisée au milieu d'un zip sans que les zones dans sa périphérie immédiate ne se décollent. Elle peut évoluer aléatoirement, en fonction des contraintes exercées sur l'ensemble, lors des manipulations. Dans ces cas-là, la morphologie de la dégradation s'apparente à une cloque (Figure 88). Elle est visible par une différence de couleur : le film est bleu, les traces vert foncé sont liées au jaunissement de l'adhésif et la zone jaune-vert est une grande cloque située le long du bord.

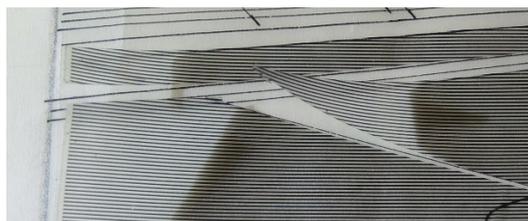


Figure 84 : Soulèvement du zip qui peut se recoller sous simple pression, 697.2014.2.



Figure 85 : Résidus d'adhésif souple sur le papier, AM 2007-2-415(0001).

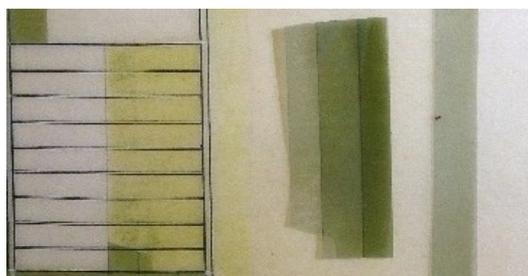


Figure 86 : Résidus d'adhésif sur le papier et morceaux de zip décollés, AM 2007-2-422.

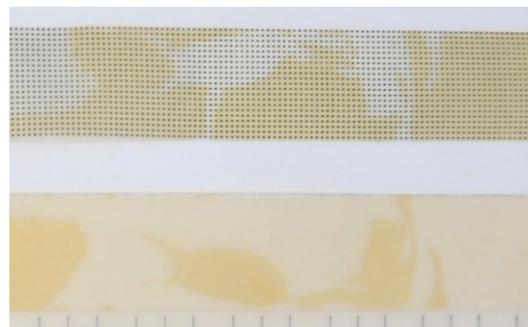


Figure 87 : Zip décollé de son emplacement avec résidus d'adhésif sur les deux surfaces, en miroir, MMF2017-13.17.



Figure 88 : Perte d'adhésion sous forme de cloque, AM 2007-2-425.

## 2. Jaunissement de l'adhésif

La perte totale du pouvoir adhésif peut s'associer à un **jaunissement** plus ou moins prononcé. En effet, cette coloration indique que l'adhésif est oxydé et donc cassant<sup>162</sup>. Les films jaunis ne sont pas tous soulevés mais la moindre action mécanique suffit à provoquer le soulèvement.

Cette dégradation se traduit sur les films transparents par l'apparition d'une couleur jaune et sur les films couleur, par une modification chromatique. Cette dégradation est évolutive et génère d'importantes perturbations de la perception colorée du dessin. Les mécanismes du jaunissement ne sont pas clairement identifiés et leur pluralité ne permet pas de faire émerger des tendances. Ainsi des jaunissements hétérogènes sur un même morceau de zip sont visibles (Figure 89). Ils sont par ailleurs irréguliers, ne suivant pas les bords comme cela semble le plus évident. D'autres exemples présentent un comportement différent entre deux feuilles d'une même référence sur un même dessin sans pouvoir expliquer pourquoi (Figure 90). La Figure 90 présente l'intersection de trois feuilles dont seule celle de droite en partie haute est épargnée par le jaunissement.

Par ailleurs, le jaunissement de l'adhésif, quand il est très prononcé, peut engendrer une coloration du papier sur lequel il est collé mais également des papiers en contact avec celui-ci, lors de conservation en liasse sans intercalaire (Figure 91). Cette figure montre le jaunissement du papier d'un dessin conservé au contact du zip d'un autre dessin, et dont l'adhésif a jauni.

Il semble que dans certains cas l'encre protège l'adhésif sous-jacent d'un jaunissement (Figure 92). Cependant, les motifs des films ne peuvent pas à eux-seuls expliquer les différences de comportement entre deux zips d'un même dessin (Figure 93). La différence de comportement peut sans doute s'expliquer par des natures chimiques différentes mais cela reste à montrer de façon systématique par une étude plus poussée.

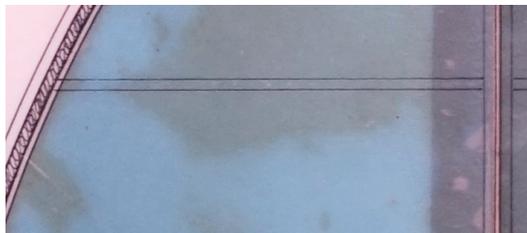


Figure 89 : Jaunissement irrégulier de l'adhésif d'un zip bleu, AM 2007-2-425.



Figure 90 : Jaunissements différents pour des feuilles d'une même référence, 6402.15.



Figure 91 : Détails des reports de jaunissement du dessin AM 2001-2-156 sur le AM 2001-2-154.



Figure 92 : Détail du motif du zip disparu dans la couche d'adhésif oxydée restée à la surface du papier, AM 2015-2-184.



Figure 93 : Juxtaposition de deux zips dont les adhésifs présentent des comportements très différents, AM 2001-2-156.

<sup>162</sup> Ce constat a encouragé une recherche de Marie Poisbelaud sur les trames utilisées en bandes dessinées dont l'adhésif, bruni, n'assure plus son rôle. POISBELAUD Marie, COUVERCELLE Jean-Pierre, *Restauration des planches originales de bande dessinée comportant des trames plastiques adhésives*, Rapport de recherche, Paris : Centre national des arts plastiques (CNAP), 2012-2018, 110 p.

## D. Dégradation du système zip

Les dégradations du système touchent tout à la fois le film plastique, la couche d'adhésif du zip et le papier de support. Le zip étant motif et porteur de l'information, ces altérations en sont d'autant plus visuellement gênantes.

### 1. Perte de planéité

La **perte de planéité** du zip n'est visuellement gênante que lorsqu'elle intervient sur des films brillants. Dans ce cas-là, elle implique une multiplication des reflets qui perturbent l'œil (Figure 94). Parfois, ces dégradations semblent déjà présentes au stade de la création car elles sont visibles sur les tirages d'époque<sup>163</sup>.

De même, certaines surfaces présentent des déformations de la planéité plus localisées, et à plus petite échelle, mais avec une amplitude plus importante que celles des **gondlements**. Ces petites rides ou **ridules** engendrent des reflets perturbateurs par rapport à la surface lisse des zips (Figure 95). Contrairement aux gondlements, ces ridules n'apparaissent pas sur les tirages d'époque ce qui laisse supposer une évolution de la dégradation liée au temps.



Figure 94 : Détail de reflet sur un zip gondolé, AM 2007-2-410.



Figure 95 : Détail de ridule sur un zip brillant, AM 2007-2-415.

### 2. Dégradation du motif

Les altérations du système zip impliquent une discontinuité du motif et de la couleur, modifiant l'information véhiculée par le dessin.

Dans le cas des **plis**, la partie rabattue gêne la lecture lorsque le motif est interrompu et modifié, mais également car la superposition du zip transparent sur lui-même indique la présence d'un nouveau motif ou d'une densité différente (Figure 96). Ce type de dégradation est principalement déroutant dans les dessins présentant une importante quantité de petits morceaux. Dans le cas de films brillants, la perte de planéité, engendrée par les plis, implique la présence de reflets, parfois

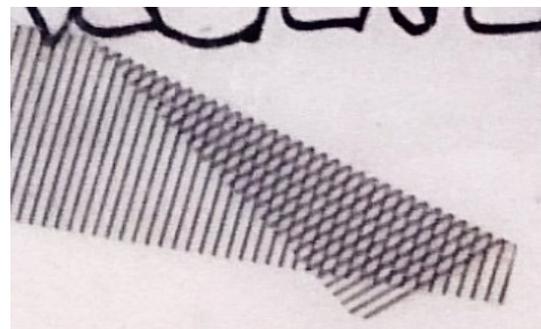


Figure 96 : Détail de pli avec création d'une nouvelle texture, AM 2007-2-310.

<sup>163</sup> Cet exemple a été présenté page 43, sur la Figure 23.

particulièrement gênants. Par ailleurs, le pli génère une cassure définitive du plastique au niveau de l'arête et la mise à nu d'une zone d'adhésif qui provoque une dégradation de la colle et un possible empoussièrément. Cela peut également provoquer l'adhésion de la face soulevée sur un autre dessin et conduire à la perte de l'élément.

Des phénomènes de migration et de **transfert de technique** touchant le zip ont été rencontrés uniquement sur une série de dessins de Jean Prouvé, pour le projet de la station-service Total de 1970 (Figure 97).

Cette dégradation résulte de contacts prolongés entre des dessins composés de feutres et le zip. Comme pour le transfert du jaunissement, le feutre a traversé les couches de papier et de zip. Les films plastiques semblent un support privilégié car le papier calque n'est pas coloré. Par ailleurs, les aplats colorés des zips sont parfois sujets à des altérations chimiques causées par d'anciens traitements à base de solvants ou par l'apport d'adhésif non compatible avec les matériaux en présence. Ces dégradations se caractérisent par une irrégularité chromatique de la couche colorée.

### 3. Phénomènes de bulle

Enfin, une des altérations les plus gênantes visuellement est la présence de bulles. Elles sont de deux types.

Des **petites bulles rondes** et isolées, souvent liées à la mise en œuvre et à la présence de petits éléments (poussières, résidus de gomme, etc.) ne permettant pas l'adhésion à cet endroit (Figure 98).

On observe des **bulles en réseaux** pouvant couvrir la totalité de la surface d'un morceau de film. La cause de leur apparition et les raisons de leurs différentes morphologies restent encore à déterminer. Les bulles en réseaux peuvent être parallèles entre elles (Figure 99), en épis (Figure 100) ou encore en grilles perpendiculaire (Figure 101). Entraînant une perte de planéité, les bulles perturbent la lisibilité de la surface du côté sur lequel est collé le film, et restent perceptibles comme dégradation. Sur l'autre côté en revanche, la planéité n'est pas modifiée, mais les bulles induisent un changement de teinte : l'écart entre le plastique et le calque au niveau de la bulle se traduit visuellement par une zone plus claire ou plus foncée en fonction de la lumière.

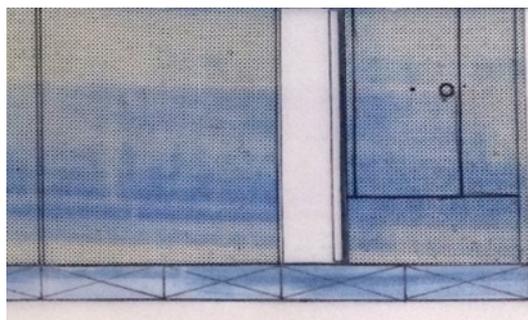


Figure 97 : Détail du transfert de feutre bleu au niveau du zip, AM 2011-2-360.



Figure 98 : Petites bulles d'air emprisonnées entre le zip et le papier de support, AM 2007-2-316.



Figure 99 : Détail de bulles longues et parallèles, AM 2009-2-576.



Figure 100 : Détail de bulles en réseaux en forme d'épis, AM 2012-2-73.

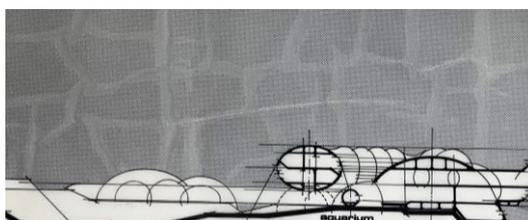


Figure 101 : Détail de bulles en réseaux en forme de grille, AM 2012-2-73.

## E. Dégradations liées à la mise en œuvre du zip

La mise en œuvre du zip, elle-même, entraîne des altérations, qu'elles soient concomitantes au moment de la création et de la période d'usage ou liées au vieillissement des matériaux constitutifs du zip.

Lors de son application, une pièce de zip est posée sur le papier et son contour précisé à l'aide d'un outil tranchant. La lame doit passer au travers du plastique sans couper le support. Cependant, suivant l'habileté du dessinateur, la pression de la lame peut marquer le papier, l'enfoncer jusqu'à l'inciser (Figure 102). Ces traces de mise en œuvre permettent de connaître la position originelle du zip. Ce sont des zones de fragilité qui peuvent, avec le temps, évoluer en coupures, quand celles-ci ne surviennent pas dès la mise en œuvre. Sur les dessins présentant des **incisions**, des rubans adhésifs sont souvent posés pour consolider ces zones de fragilité. Les enfoncements et incisions impliquent la création de cassures du papier visibles sur les papiers transparents par des **lignes blanches** ou sur les papiers opaques par le verso.

L'usage de zip peut impliquer également des dégradations lors de repentirs. Ainsi, certaines zones nettement délimitées présentent des **épidermages** ou des résidus d'adhésif. Le soulèvement des fibres est le résultat du décollement du zip par pelage ou grattage à l'aide d'un outil (Figure 103).

Le décollement de zip, qu'il soit volontaire ou le résultat d'une dégradation induit parfois des résidus d'adhésif. Ceux-ci présentent différents aspects : mous avec une surface accidentée, souvent brillants et blancs ; secs et lisses, la couche d'adhésif est alors souvent jaunie. L'adhésif peut également être à nu dans les cas de **déplacement** des films au moment du tirage des dessins. Ce processus implique une importante pression et une forte chaleur. Celles-ci contribuent parfois à faire glisser les films de zip. La mise à nu de l'adhésif pose des problèmes d'empoussièrement. L'adhésif resté dans la position initiale s'empoussière et son aspect grisâtre est souvent gênant (Figure 104).



Figure 102 : Détail des incisions consolidées par des rubans adhésifs, AM 2007-2-957.



Figure 103 : Détail d'épidermages localisés, AM 2008-2-98.

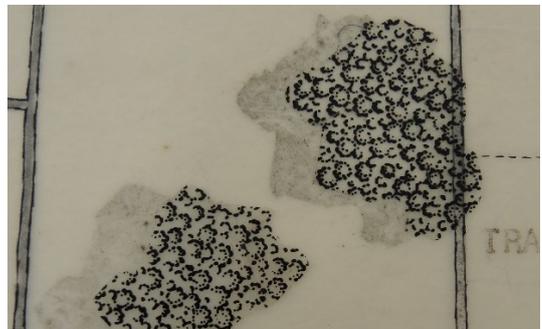


Figure 104 : Exemple de zips déplacés pendant le tirage et empoussiérés depuis, FLC 28236 A.

### III. Résultats de l'évaluation des collections

L'ensemble des dessins identifiés en collection comme porteurs de zip, a fait l'objet d'un constat d'état général et plus particulièrement des éléments de zip. L'ensemble des données a été collecté suivant la méthode présentée précédemment. Les données sont ensuite exploitées pour mettre en avant l'usage fait du zip sur les dessins d'architecture et l'état sanitaire des collections.

#### A. Usage du zip dans les collections étudiées

##### 1. Présentation générale des dessins du corpus

Le corpus de l'étude dans les collections d'architecture des partenaires du projet s'élève à 520 items. Il est assez varié, présente les dessins de 61 architectes de différentes époques et exerçant dans différentes régions géographiques ainsi que de courants esthétiques variés. Ce corpus ne peut pas rendre compte de l'usage du zip dans les agences mais révèle les dessins avec zip dans les collections étudiées. En effet, la sélection opérée par les équipes muséales est soumise à de nombreuses variables.

Donner une représentation graphique, du corpus en prenant en compte la chronologie, le créateur et son lieu d'exercice tout en donnant une certaine idée de la production globale, n'est pas chose aisée. La frise chronologique, présentée ci-après, tente d'en rendre compte (Figure 105). Elle cherche à synthétiser un tableau Excel® de 520 lignes ainsi que les informations de 3 colonnes.

Les repères chronologiques s'étendent en partie supérieure, deux lignes noires verticales indiquent les bornes de la présence du zip dans les collections partenaires. La répartition géographique, de leur lieu d'activité et non d'origine, est indiquée verticalement en partie droite du graphique, par continents subdivisés en pays. Afin de mieux les différencier, les pays sont alternativement en gris sombre et gris clair. Les architectes sont indiqués par leur ligne de vie, organisée par pays, du premier au dernier né. Pour chaque architecte, un nombre est indiqué à la date où un ou plusieurs dessins avec zip sont identifiés<sup>164</sup>. Une échelle de couleur du rose au bordeaux permet d'évaluer visuellement le nombre de dessins, respectivement d'un seul dessin à plus de 50 dessins, pour une même année. Cette graduation colorée permet d'estimer rapidement s'il s'agit d'un dessin isolé ou d'une série probablement liée à un projet.

---

<sup>164</sup> Les dessins du fond Prouvé sont indiqués comme issus de la production du bâtisseur sans différenciation des dessins en collection ou en documentation.

## Chapitre 2 : Étude des collections

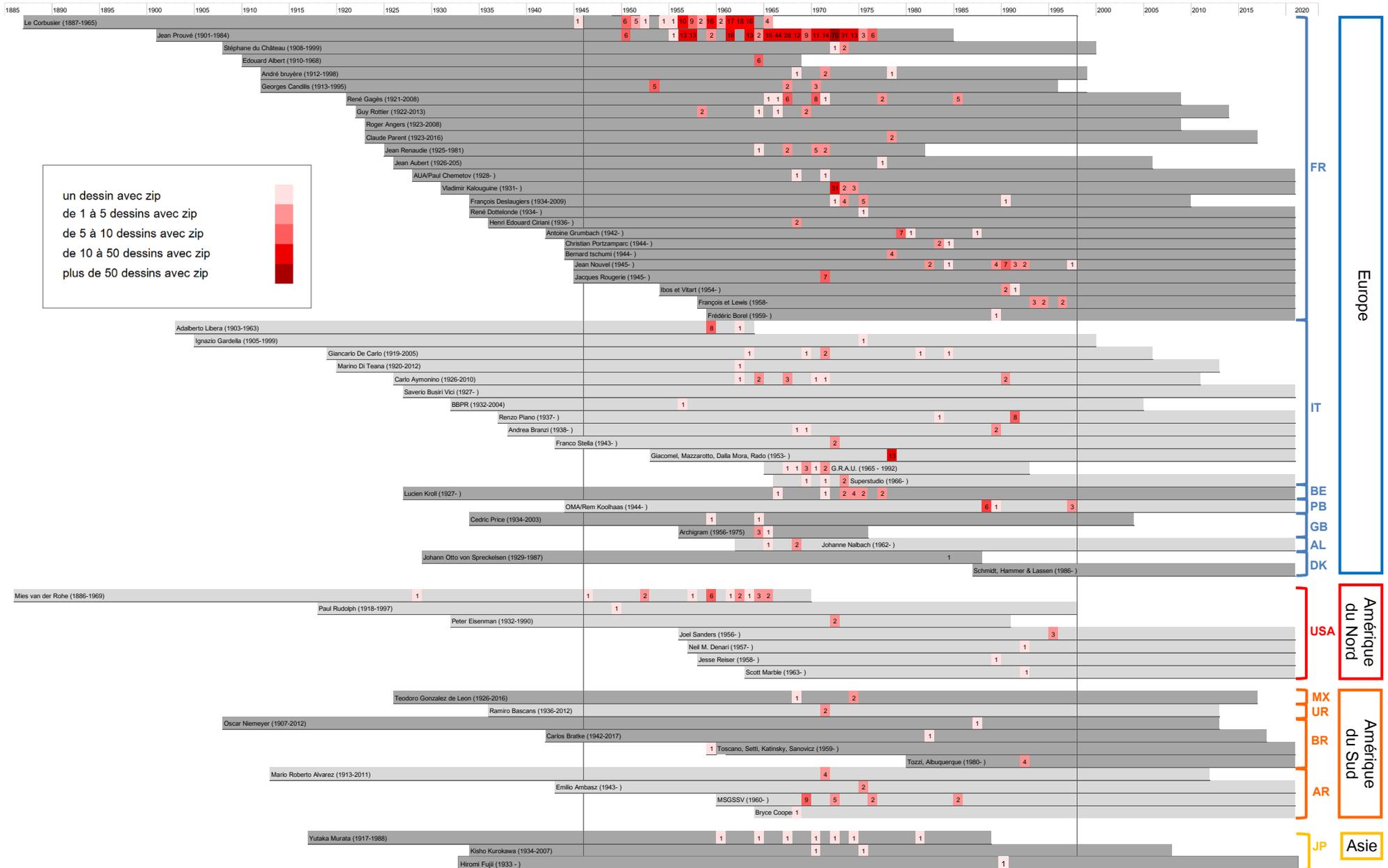


Figure 105 : Frise chronologique présentant les dessins avec zip dans les collections partenaires en fonction de leur créateur et de son origine géographique.

2. Informations relatives à l'histoire

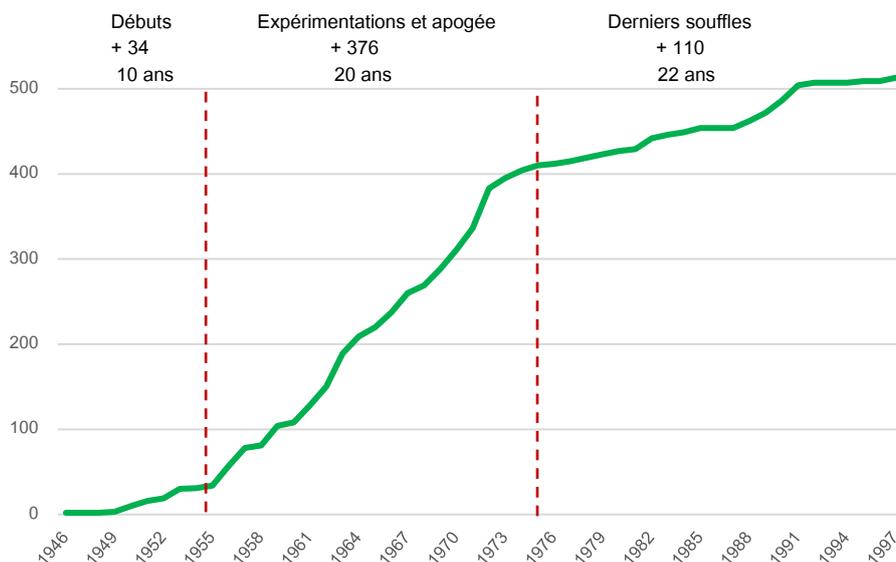
Les dessins du corpus sont renseignés par les bases de données des collections comme couvrant la période de 1929 à 1997 (Figure 105).

Cependant, il n'existe qu'un seul exemple de dessin avec zip en 1929 et une période de 17 ans le sépare du prochain dessin avec zip, du même architecte, Mies van der Rohe (Figure 106). Au regard de cet écart dans le temps, des informations historiques collectées et du caractère isolé de ce dessin, cette datation ne semble pas tout à fait appropriée. Il s'agit d'une section de colonne utilisée pour le pavillon allemand de l'exposition universelle de 1929. Il peut tout à fait être envisagé que le zip ait été appliqué *a posteriori*, par exemple pour publication ou pour le projet de la Neue Galerie de Berlin de 1960, soutenue par le même système de colonne à section en croix.



Figure 106 : Détail du dessin *German Pavilion, International Exposition, Barcelona, Spain Horizontal column section*, Ludwig Mies van der Rohe, 1929, inv.°1000.196. ©M.Cinquandre/The Museum of Modern Art, New York/VG Bild-Kunst, Bonn

Pour ces raisons, les bornes chronologiques du corpus sont arrêtées de 1945 à 1997, soit 52 ans<sup>165</sup>. L'étude du corpus est également l'occasion d'étudier l'évolution de la production de dessins avec zip (Graphique 4).



Graphique 4 : Effectifs cumulés des dessins du corpus au cours de la période où l'usage du zip est avéré dans les collections.

On retrouve dans cette évolution les 3 phases aux dynamiques distinctes, précédemment évoquées dans la partie consacrée à l'histoire du zip. Les débuts s'étalent sur une dizaine d'années, de 1945 à 1955, et sont illustrés par 34 dessins. La vingtaine d'années suivante correspondant à la généralisation du zip dans les agences, voit une forte augmentation. Sur cette période, le nombre de dessins avec du zip est multiplié par 11, en passant de 34 en 1955 à 376 en 1975. Cette période mérite bien d'être qualifiée d'apogée. Enfin, les vingt-deux dernières années pendant lesquelles les dessins avec zip continuent d'être produits, s'illustrent par un usage très fortement ralenti bien que toujours bien présent.

<sup>165</sup> Le dessin de Louis Kahn de 1943 n'a pas pu faire l'objet d'une évaluation et ne rentre donc pas dans le corpus.

### 3. Informations relatives aux pays d'exercice

Dans les collections partenaires, le zip apparaît dans la production graphique de 61 architectes dont l'activité s'est localisée dans 15 pays différents, répartis sur 4 continents (Figure 105). La majorité des architectes dont les dessins sont représentés dans ce corpus sont européens (45 sur 61) et parmi eux, les Français en représentent 25 soit plus de la moitié. Cela ne semble pas surprenant dans le contexte d'une étude menée principalement en France, sur des collections françaises. L'étude de la collection du MoMA ouvre le corpus au continent américain avec 8 architectes ayant exercé aux États-Unis et 12 en Amérique Latine. Enfin, l'Asie est représentée uniquement par 3 architectes japonais, présents dans la collection du Centre Pompidou. Ces aires géographiques d'activité replacées dans le contexte de l'époque, évoquent les trois pôles économiques majeurs autour du monde que sont la Commission Économique Européenne, CEE, les États-Unis d'Amérique et le Japon. La présence de zip dans la pratique des architectes d'Amérique Latine est plus surprenante mais peut s'expliquer par les échanges et les contacts qu'elle entretient avec l'Europe mais surtout avec les États-Unis, ce qui peut, par ailleurs, expliquer la présence de ces dessins dans la collection du MoMA, et donc dans ce corpus. Il faut également noter que la construction y est très importante dans la deuxième moitié du XXème siècle et les échanges avec les architectes occidentaux très présents et anciens.

Les pays européens dans lesquels travaillent les architectes sont, par ordre décroissant de dessins avec zip dans les collections :

- la France (582 avec le fonds de documentation Prouvé et 303 sans),
- l'Italie (68),
- la Belgique (12),
- les Pays-Bas (10),
- le Royaume-Uni (6),
- l'Allemagne (3) et
- le Danemark (2).

Le contexte économique, la proximité et les échanges entre ces pays peuvent expliquer la présence du zip dans la production des architectes européens et la collecte au sein d'institutions françaises de leur production.

### 4. Créateurs et production graphique

Les architectes dont les dessins sont les plus représentés dans le corpus sont ceux pour lesquels les collections conservent des fonds collectés systématiquement. Ainsi, la répartition est assez inégale : les 10 architectes dont le travail présente le plus de zip, sont les auteurs des  $\frac{3}{4}$  du corpus avec 602 dessins. Il s'agit de :

- Jean Prouvé (332 dessins au Mnam-CCI et du fonds Prouvé),
- Le Corbusier (112 dessins à la FLC et 2 au MoMA),
- Vladimir Kalouguine (36 dessins du Mnam-CCI),
- René Gagès (25 dessins du Mnam-CCI),
- Ludwig Mies van der Rohe (21 dessins du MoMA, fonds Mies van der Rohe),
- le collectif MSGSSV (21 dessins du MoMA),
- Jean Nouvel (20 dessins du Mnam-CCI),
- le collectif Giacomel, Mazzarotto, Dalla Mora, Rado (13 dessins du Mnam-CCI),
- Lucien Kroll (12 dessins du Mnam-CCI) et
- François Deslaugiers (11 dessins du Mnam-CCI).

Les 54 autres architectes ne sont pas représentés par plus de 10 dessins avec zip, et parmi ceux-ci 15 ne sont représentés que par un dessin. Si chaque dessin en lui-même présente des informations propres et atteste de la présence du zip à un temps  $t$ , la présence de fonds permet d'avoir une vision d'ensemble de l'usage du zip par un architecte et son agence.

La frise chronologique permet de visualiser si les œuvres collectées avec zip sont des travaux de début de carrière, parfois de diplôme, ou de fin de carrière des architectes qui s'en emparent. La présence d'au moins un dessin avec zip en collection permet d'attester son usage par un architecte, cependant il n'est pas possible d'extrapoler à l'ensemble de sa production graphique, ce qui n'est d'ailleurs pas l'objectif du corpus défini.

Il est intéressant de relever qu'en matière de dessins avec zip, les parallèles, au regard des architectes, entre les collections du Mnam-CCI et du MoMA sont assez faibles. Ainsi, ne se retrouvent que les dessins avec zips de trois agences dans les deux collections : les Anglais du collectif Archigram, l'OMA du hollandais Rem Koolhaas et l'italien Andrea Branzi.

### 5. Utilisation du zip

L'étude des dessins présentant du zip dans les collections permet d'affiner la connaissance de leur usage. Il ne s'agit pas ici de s'intéresser à la mise en œuvre du zip mais aux choix conduisant à son utilisation, notamment en ce qui concerne les typologies des dessins, leur support, le nombre de référence ou encore la proportion de zip par dessin.

#### **Typologie des dessins avec zip**

La production graphique des cabinets d'architectes est, comme précédemment mentionné, très codifiée et l'évaluation des collections a permis de circonscrire l'usage du zip aux dessins de présentation et aux documents prescriptifs, tels que les plans. Excepté dans quelques productions qui s'affranchissent du caractère très formel du zip, ce dernier n'apparaît ni dans les croquis ni dans les documents de travail<sup>166</sup>. En effet, l'application du zip est en désaccord avec le caractère spontané du croquis et son coût implique de le réserver à des documents finis. Cependant, il faut rappeler que le regain du dessin à main levée pour les dessins de présentation dans les années 1990, voit la cohabitation du zip avec un dessin enlevé. Ainsi les dessins en collection du corpus sont regroupés en plusieurs catégories de type de dessins : 3 cartons préparatoires pour des tapisseries ou décors muraux par Le Corbusier, 7 documents de travail sur lesquels on trouve du zip dans les marges ou comme témoin de couleur ou motif, 332 dessins prescripteurs et 423 dessins de présentation<sup>167</sup>.

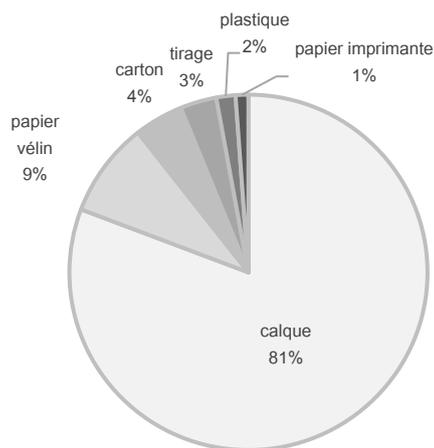
---

<sup>166</sup> CINQUALBRE M. 2016, *op. cit.*, p. 17-21.

<sup>167</sup> Les dessins du fonds de documentation sont compris d'office comme des dessins prescripteurs et non des dessins de présentation.

### Les supports des dessins avec zip

Comme la classification des dessins avec zip par typologie le laisse présager, le calque est le support de prédilection sur lequel on retrouve du zip dans les collections (Graphique 5). En effet, ce support peut aussi bien être utilisé pour des dessins prescriptifs que pour des dessins de rendu. Il faut noter que cette proportion est sûrement similaire pour l'ensemble de la production des architectes<sup>168</sup>. Le zip n'est pas uniquement utilisé sur le calque, mais ce dernier étant le support de prédilection des architectes, le zip s'y retrouve par ricochet ou par une adéquation particulièrement bonne avec ce support transparent.

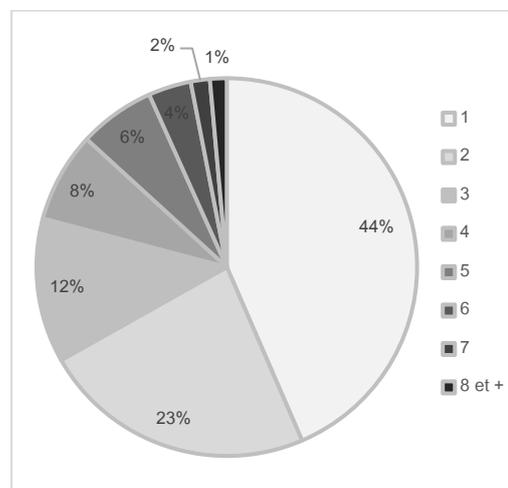


Graphique 5 : Proportion des typologies de support des dessins avec zip en collection.

Le second support sur lequel on observe le plus grand usage de zip dans les collections est le papier vélin. Ce support récurrent se retrouve dans la production des dessins pour des rendus uniquement. Le carton, qui est également un support opaque, est probablement utilisé pour sa rigidité et sa tenue à la verticale permettant une présentation sans système d'accroche. Enfin, les supports les moins représentés sont les tirages (papier vélin et contre-calque), les supports plastiques transparents<sup>169</sup> ou translucides comme les calques polyesters et enfin les dessins sur papier imprimante en feuilles A4.

### Quantité de zip sur les dessins

Dans le corpus étudié, les références de zip pour un même dessin peuvent varier de 1 à 13 (Graphique 6). 80 % des dessins du corpus ne présentent pas plus de 3 références de zip sur un même dessin. Cela peut se comprendre par le caractère prescriptif du dessin où la multiplication des références pourrait perturber la lisibilité et la prise de connaissance rapide de l'information. Les dessins présentant plus que trois références de zip sont pour la plupart des dessins de présentation, notamment des plans où les couleurs sont utilisées pour différencier des espaces ou des fonctions et parfois être utilisées en dégradé. Il n'existe que 6 dessins présentant plus de 8 références de zip.



Graphique 6 : Répartition du nombre de référence de zips pour un même dessin.

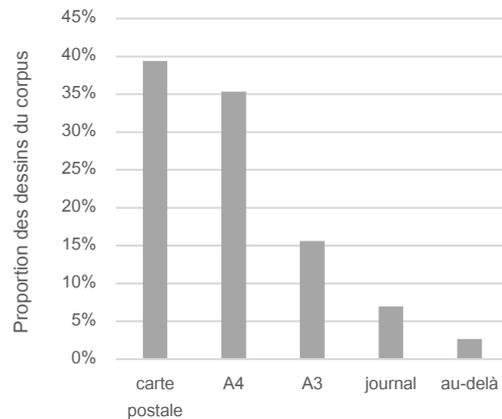
Le nombre de références de zip utilisées pour un dessin n'est pas corrélable avec la surface couverte. En effet, le recours à de nombreuses références n'implique pas automatiquement que le zip recouvre plus de surface du papier. Les dessins du corpus varient en dimensions (de 18 x 14 cm, n° inv AM 2007-2-630, Mnam-CCI, à 98,1 x 228 cm, n° inv FLC 23978). Afin de rendre des dimensions (ou des aires) plus parlantes, elles ont été

<sup>168</sup> Aucune étude, à notre connaissance, ne peut étayer cette affirmation dans les collections françaises.

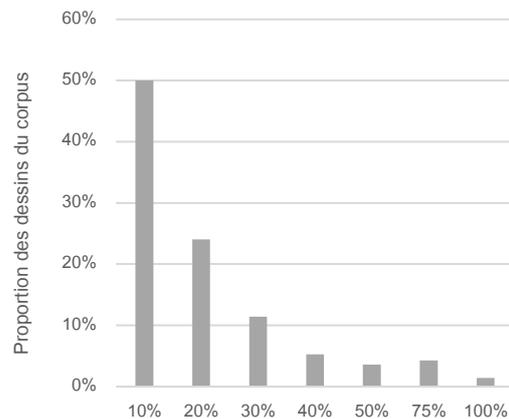
<sup>169</sup> Certains dessins sont réalisés avec des feuilles de plastique probablement en acétate de cellulose dont une des marques ayant donné le nom d'usage est Rhodoïd.

rapportées à des formats utilisés quotidiennement : la carte postale (150 cm<sup>2</sup>), une feuille A4 (623,7 cm<sup>2</sup>), une feuille A3 (1247,4 cm<sup>2</sup>), une double page de journal comme celle du journal *Le Monde* (3008 cm<sup>2</sup>) et au-delà.

Les surfaces des dessins, recouvertes de zip, sont mesurées et mises en regard de ces formats types (Graphique 7). La majorité des dessins du corpus, 39,4%, présentent une surface couverte par du zip inférieure ou égale à celle d'une carte postale et 35,3% des dessins sont couverts par du zip sur une surface entre celle d'une carte postale et d'une feuille A4. Cela semble cohérent avec le caractère circonscrit du zip à des références, avec des usages spécifiques. Cependant, un nombre important de dessins présente des grandes surfaces de zip : le zip couvre plus qu'un format A4 sur 15,7% des dessins examinés, soit 65 dessins. De même, un nombre conséquent de dessins présentent du zip sur des surfaces plus grandes qu'un A3 (Graphique 8). Sur 29 dessins, le zip couvre une surface entre le A3 et la double page du journal et pour 11 dessins c'est encore au-delà. De même, en ce qui concerne la proportion de surface du dessin remplie par le zip : il y a plus de dessins sur lesquels le zip couvre une toute petite zone, et de moins en moins de dessins avec l'augmentation de ce rapport. Ainsi, 90% des dessins du corpus sont couverts par du zip sur une proportion égale ou inférieure à 30% de leur surface totale.



Graphique 7 : Surface de zips couvrant les dessins.



Graphique 8 : Proportion du papier du dessin couvert par du zip.

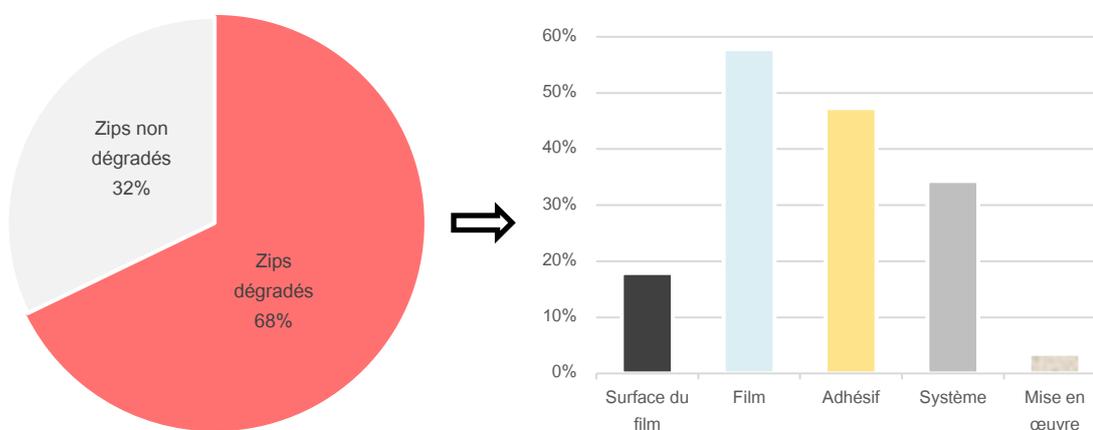
Les dessins entièrement recouverts de zip sont rares en raison de l'importance des marges dans le dessin d'architecture, comprenant notamment les cartels et légendes et permettant de déterminer précisément la zone à reproduire. Bien que cette pratique traditionnelle ait tendance à être contournée, elle reste bien présente sur toute la période d'usage du zip. Il existe cependant, dans le corpus, 6 exemples de dessins entièrement recouverts (trois dessins de Bernard Tschumi, 2 de Henri Ciriani et un du collectif Archigram). Pour les dessins de Tschumi, l'usage du zip tient à la recherche d'un rendu monochromatique très graphique, tandis que chez Archigram c'est la recherche du caractère brillant, de l'aspect plastique qui prime. Tous deux ont recours à des grands aplats de zip d'un seul tenant. Sur les dessins de Ciriani, pour l'aéroport de Luxembourg, la démarche est autre, la surface est entièrement remplie d'une multitude de zips, aux couleurs variées car toute la composition est réalisée avec ce médium.

L'étude de l'usage du zip par les architectes a permis de conclure que le recours au zip sert une recherche visuelle, que le dessin en soit couvert ou non, avec une ou plusieurs références, ou encore sur des surfaces imposantes comme négligeables.

## B. État sanitaire des collections

### 1. État général

L'évaluation des collections est menée dessin par dessin mais l'enregistrement des informations collectées est réalisé zip par zip. En effet, sur des dessins présentant plusieurs types de zip, certains sont dégradés et d'autres pas. Sur l'ensemble des 520 dessins constatés, 124 dessins (soit 23,8%) ne présentent pas d'altérations visibles sur les zips. Les trois-quarts des dessins en collection présentent donc des dégradations de leurs zips, 396 dessins (soit 76,2 %). Si l'on considère les zips plus que les dessins dans leur unité, sur 1 259 zips constatés, 406 zips (soit 32,2 %) ne présentent pas d'altération visible (Graphique 9). Les proportions ne sont pas similaires car certains dessins présentent des zips sains et d'autres altérés.



Graphique 9 : État sanitaire des collections et proportion des dégradations en fonction de la classification précédemment établie (p.97-106)<sup>170</sup>.

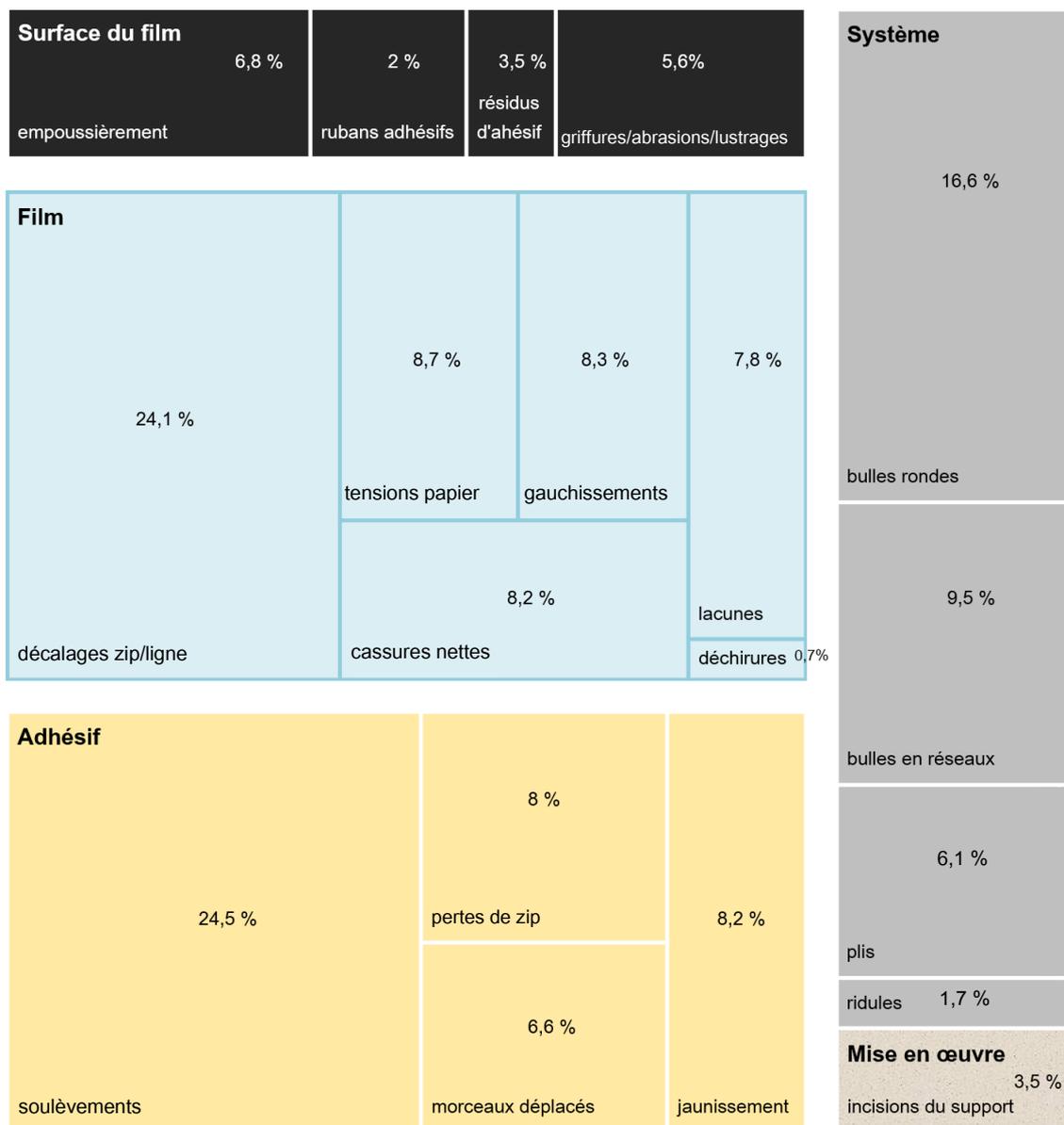
Par ailleurs, dans le cadre de cette évaluation, les altérations sont relevées sans leur conférer un degré comme cela a pu être fait lors d'évaluations de collection dans le contexte d'autres projets<sup>171</sup>. En effet, la familiarisation avec les dégradations dans les premiers temps de l'évaluation des collections ne permet pas suffisamment de recul pour classer les états de dégradations. Par la suite, il est devenu complexe de reprendre l'ensemble des données et cette approche a été abandonnée au profit d'une évaluation d'un état dégradé ou non.

Les altérations relatives au film et à l'adhésif sont les principales observées sur le corpus, avec des proportions respectives cumulées de 57,8% et 47,3%. Les dégradations touchant le système sont importantes mais bien moins présentes, touchant 34,3% des zips. Les dégradations affectant la surface du film sont observables sur 17,9% des zips et celles relatives à la mise en œuvre, à savoir principalement les incisions du support, s'élèvent à 3,5%.

Le nombre important de dégradations par typologies rend difficile leur représentation au sein des collections. Ceci est renforcé par la corrélation entre niveaux stratigraphiques et catégories. Cependant, une représentation visuelle peut favoriser leur répartition en fonction de leur emplacement et de leur occurrence (Graphique 10).

<sup>170</sup> Certains zips présentent plusieurs dégradations d'où une représentation en histogramme et non par un graphique en secteur, le total dépassant les 100%.

<sup>171</sup> LAVEDRINE Bertrand, FOURNIER Alban, MARTIN Graham, *Preservation of Plastics Artefacts in Museum Collections*, Paris : Editions du Comité des travaux historiques et scientifiques, 2012, 326 p.



Graphique 10 : Proportion des dégradations identifiées sur les zips en fonction de la classification précédemment établie (p.97-106).

Ce graphique permet d'illustrer à la fois les grandes typologies de dégradation ainsi que la présence de chaque dégradation en proportion de l'ensemble (la représentation graphique est proportionnelle à l'occurrence de chaque dégradation au regard de l'ensemble des altérations).

## 2. Dégradations par typologies

### Dégradations de la surface du film

Les deux dégradations les plus représentées à la surface du zip sont l'empoussièrément (6,8 %) et les abrasions résultant en griffures ou lustrages (5,6 %). Il faut noter que l'empoussièrément touche toute la surface de l'élément de zip concerné tandis que les abrasions sont souvent isolées et ne touchent qu'une zone du zip. Dans de rares cas, la surface est entièrement rayée. Cela a pu être observé sur des films de couleur à l'aspect brillant. On observe quelques résidus d'adhésif sur les zips encore présents, 3,5%. Enfin, la présence de rubans adhésifs comme consolidation d'un zip soulevé ou du support incisé, n'est pas très représentée au regard du corpus total, 3,5%, mais touche néanmoins 44 dessins.

### **Dégradations du film**

Parmi les dégradations liées à la perte de structure mécanique du zip, les cassures et déchirures représentent 8,9% des dégradations concernant le film. Une centaine de films de zip présente des lacunes dont la taille varie ce qui représente 7,8% de l'ensemble des zips examinés.

La principale altération du film est la diminution dimensionnelle observée à la suite de sa rétraction. Cette altération, avec ses différents symptômes (décalages zip/lignes, tensions sur le papier, gauchissements et cassures nettes), touche 34% de l'ensemble des zips, soit plus de 400 zips, en effet certains zips présentent des symptômes cumulés. Il est difficile de donner une évolution linéaire de la dégradation en raison de l'impact de l'adhésif et du support sur les morphologies observées.

### **Dégradations de l'adhésif**

Comme cela a été indiqué dans la partie consacrée à la présentation des dégradations, l'altération de l'adhésif peut présenter des modifications de ses propriétés adhésives ou de ses propriétés visuelles.

Les pertes d'adhésion résultant en des phénomènes de soulèvement, des pertes de zip et des morceaux détachés touchent 375 zips examinés, soit 29,8% (certains zips présentant plusieurs de ces symptômes ne sont comptabilisés qu'une fois). Cette dégradation est la plus répandue avec les rétractions. Les modifications des propriétés visuelles se traduisant par un jaunissement ne sont pas nécessairement liées à la perte des propriétés adhésives. Cette coloration ne touche, en effet, que 8,2% des zips. Des phénomènes de soulèvements accompagnent ce jaunissement dans 3,8% des cas et les adhésifs sont jaunis mais non soulevés pour 4,4% des zips du corpus.

### **Dégradations du système**

Les dégradations du système touchent un peu plus d'un tiers des films de zip. La dégradation la plus importante est la formation de bulle. Cependant, comme cela a été mentionné précédemment, les bulles sont de deux types avec des causes différentes. Les bulles les plus courantes sont les petites bulles rondes, isolées. Elles sont observables sur 209 zips, soit 16,6%. Les bulles en réseaux, elles, touchent 119 zips, soit 9,5%.

Les zips pliés sont au nombre de 77 ce qui correspond à 6,1% de l'ensemble des zips examinés. Les ridules touchent 1,7% des zips soit 21. Enfin, des phénomènes de transfert coloré qui gênent la lisibilité ne sont observables que sur 5 zips (Graphique 10).

### **Dégradations liées à la mise en œuvre**

Enfin, dans les dégradations liées à la mise en œuvre, seules les incisions du papier sont visibles sur le graphique. En effet, les deux autres dégradations, épidermages et décalage du zip ne concernent que peu de zips. Il faut noter que le décalage de zip n'a été observé que sur des dessins de Le Corbusier et de Jean Prouvé. La proportion de dessins incisés est légèrement supérieure à celle de la présence de rubans adhésifs. En effet, certains dessins ne sont pas consolidés malgré leur incision.

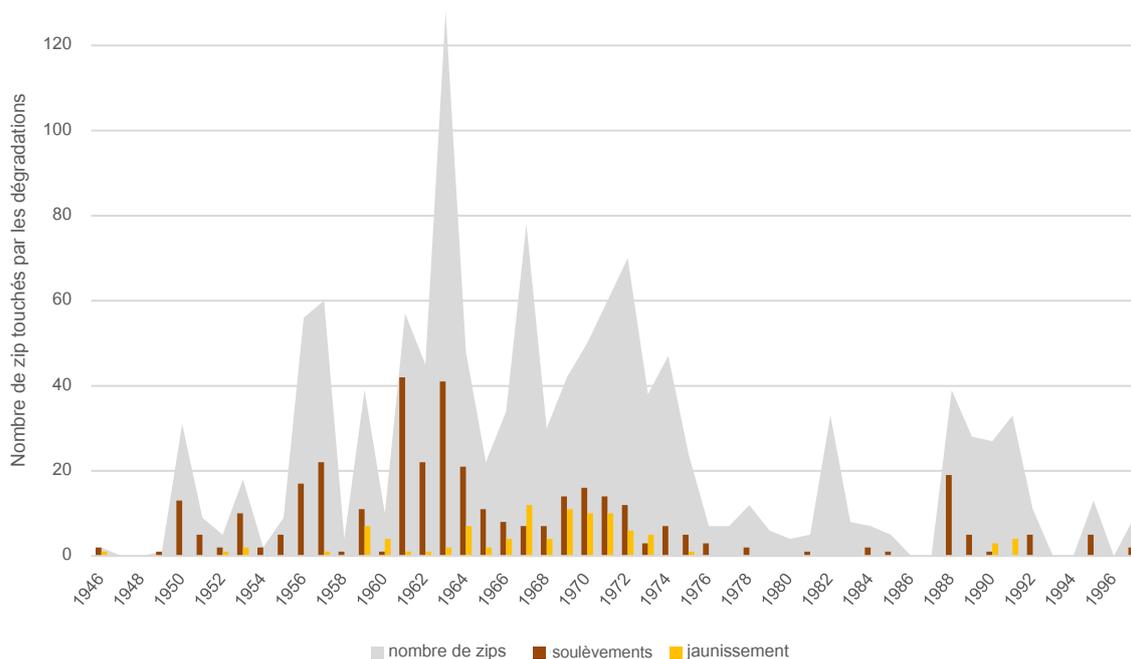
## **3. Croisement des informations relatives aux dégradations**

Certaines dégradations sont le résultat d'accidents ou d'évènements isolés, liés directement ou non à la mise en œuvre. Leurs causes ou leurs interactions ne peuvent donc pas montrer de récurrence ou de tendance comme cela peut être le cas pour les dégradations évolutives intrinsèques au zip.

Le croisement des données pour faire émerger des tendances est délicat en raison de la masse et des différences d'informations récoltées. Des essais sur le logiciel de statistique R n'ont pas permis d'aller plus loin qu'avec Excel®, probablement en raison de l'usage même du logiciel et du codage. Par ailleurs, la question de recourir à une base de données a été soulevée. Cette solution n'avait pas été retenue car au moment de ces réflexions, le nombre de données était moindre et plus facilement exploitable sur Excel®.

### Phénomènes de soulèvement et de jaunissement

La représentation graphique des données collectées sur les dégradations de l'adhésif favorise également l'observation d'autres comportements (Graphique 11). Si dans les années 1960, un usage important du zip est accompagné de nombreux soulèvements, cela n'est pas observable dans les années 1970. Le décollement n'est donc pas proportionnel au nombre de zip utilisé mais semble lié à d'autres critères. Les trois-quarts des soulèvements relevés sont observables sur des œuvres datées d'avant 1970. Après cette date, on observe des décollements toujours présents mais moins nombreux jusqu'en 1980 et ensuite les soulèvements sont bien plus rares. Une hypothèse peut être avancée concernant des améliorations de fabrication comme par exemple une augmentation de l'épaisseur d'adhésif ou un changement d'adhésif. Cependant, un important nombre de décollements est observé en 1988 : il correspond aux dessins de Rem Koolhaas pour le projet d'*Euralille* dont les petites découpes de zip les rendent sujets aux frottements et aux soulèvements, plus qu'à un soulèvement uniquement lié à la dégradation de l'adhésif.



Graphique 11 : Occurrence des dégradations de l'adhésif au cours du temps.

Les phénomènes de jaunissement sont observables pour 86 % d'entre eux, dans une période de seulement 14 années, entre 1959 et 1973. Il faut par ailleurs noter que les jaunissements observés dans les années 1980, sur deux projets, sont peu intenses comparés aux jaunissements des années précédentes.

Une hypothèse soulevée au départ de l'étude est que les dessins les plus anciens présentent les plus forts jaunissements, en ce sens que l'adhésif a été exposé plus longtemps aux facteurs environnementaux pouvant le dégrader. Cependant cette hypothèse ne correspond ni à la réalité des soulèvements ni à celle des

jaunissements. En effet, les zips collés sur les dessins devraient entièrement être soulevés et jaunis, or ce n'est pas le cas. Les soulèvements les plus importants s'observent sur les dessins entre 1960 et 1965. Les zips plus anciens présentent moins de soulèvements, proportionnellement aux zips examinés pour cette période. De même, les adhésifs des dessins les plus anciens, avant 1960, ne présentent que très peu de jaunissements.

Partant de ces observations permises par une vue d'ensemble, il est possible de se pencher à nouveau sur les dessins pour les confirmer visuellement, notamment dans le cas des jaunissements (Figure 107). Les jaunissements très importants dans les années 1970 pourraient renforcer l'hypothèse d'une augmentation de l'épaisseur de la couche d'adhésif.

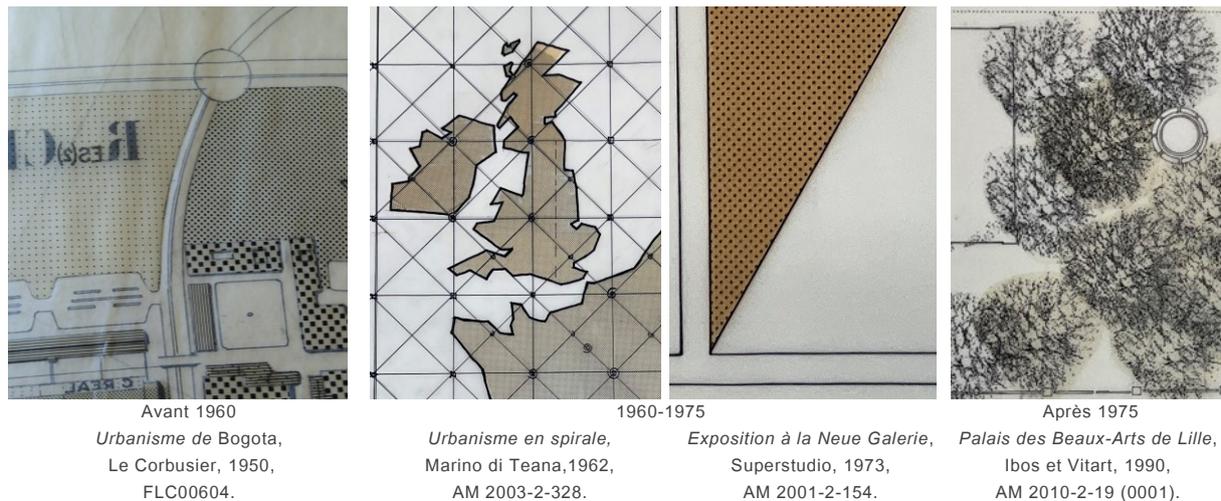


Figure 107 : Détails de jaunissements représentatifs des différentes périodes.

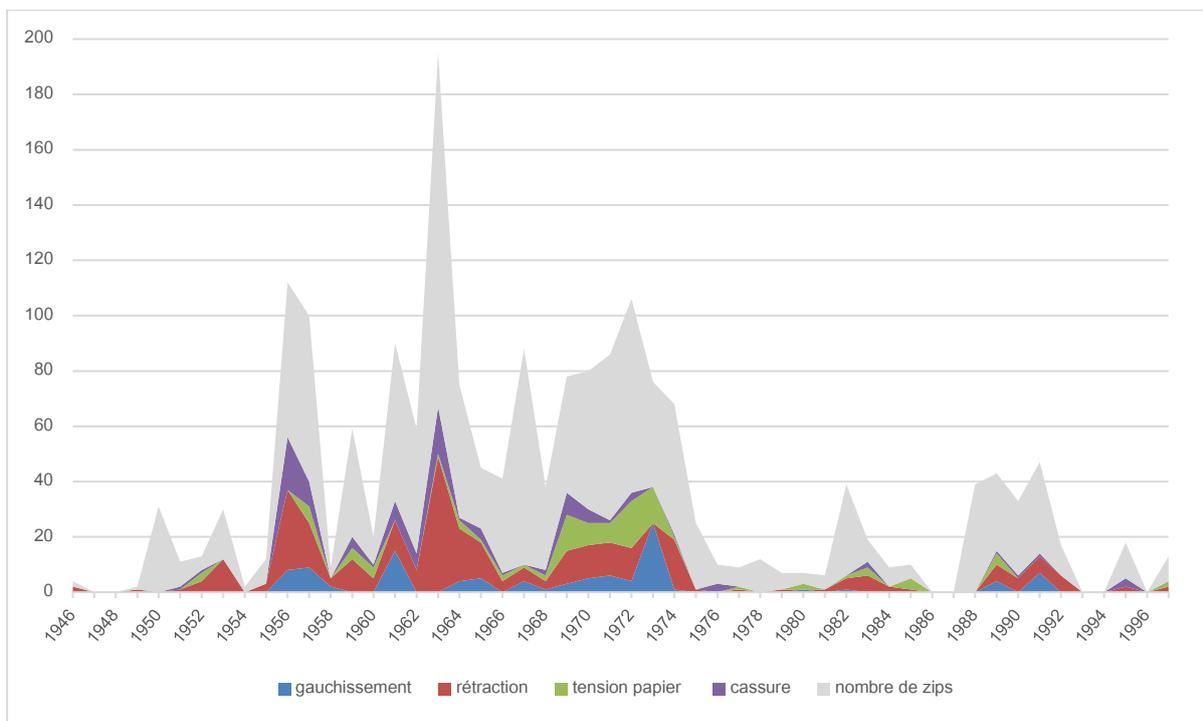
La quantification des valeurs colorimétriques du jaunissement pourrait permettre de préciser ces observations<sup>172</sup>. Par ailleurs, cela pourrait peut-être favoriser l'identification du type d'adhésif. Cependant, dans le cadre de notre étude, des dégradations chromatiques n'ont pas fait l'objet d'investigations plus approfondies.

### Phénomènes de rétraction

Contrairement au phénomène des soulèvements, les rétractions, et leurs différents symptômes, sont plutôt proportionnelles au nombre de zips présents (Graphique 12). La répartition des dégradations, mise en évidence par un graphique d'aires empilées<sup>173</sup>, montre que plus le nombre de zips évalués est grand, plus le décompte des rétractions est important. Cette dégradation semble donc intrinsèque au zip sans qu'il n'y ait d'autres facteurs prépondérants. Il faut néanmoins souligner que ces observations ne s'appliquent pas en 1950, en 1967 et en 1988. Pour les dessins de ces années, il n'a pas été relevé de rétraction alors que l'usage du zip est courant. Les projets, très représentés pour ces années ne mettent pas ou peu en évidence de dégradations comme c'est le cas en 1967 pour les dessins de René Gagès pour le centre nucléaire de Bugey-Meximieux et en 1988, avec le projet d'*Euralille* de Rem Koolhaas, déjà mentionné.

<sup>172</sup> L'étude de Marie Poisbelaud et Jean-Claude Couvercelle montre des jaunissements importants, mesurés avec une sonde colorimétrique, sur des planches de 1958 et 1968. POISBELAUD M., COUVERCELLE J.-P., 2018, *op. cit.*

<sup>173</sup> La représentation avec des aires seules n'était pas lisible en raison de superposition nombreuses.

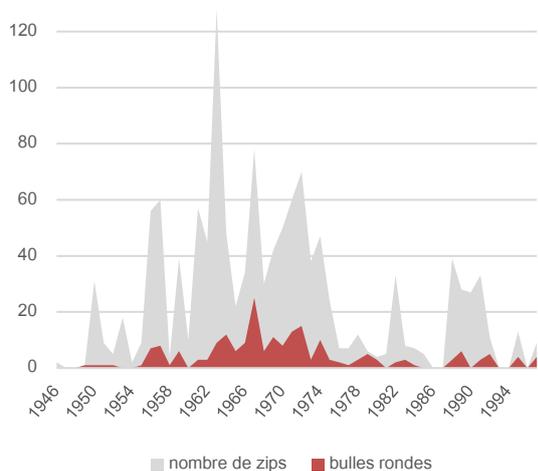


Graphique 12 : Occurrence des phénomènes de rétraction sur les zips examinés.

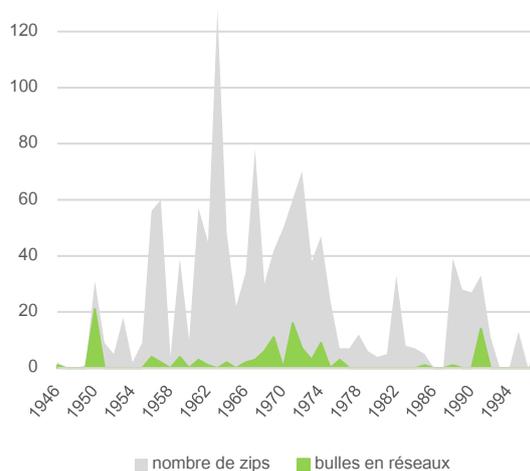
En revanche, en 1950, les dessins du projet pour l'urbanisme de Bogota sont nombreux et assez altérés. Ils ne présentent pas de rétractions mais des bulles en réseaux. En effet, il semble que ces deux dégradations n'interviennent que très rarement ensemble. Sur les 119 zips présentant des bulles en réseaux, seulement 5 montrent des gondolements et 7 présentent également des rétractions sous forme de jour ou de tension du papier. Ces derniers sont tous des productions de l'agence d'Amérique Latine MSGSSV architectos.

### Phénomènes de bulles

Les bulles rondes et isolées sont liées à des impuretés emprisonnées entre le zip et le support et empêchant une adhésion homogène. Elles sont présentes sur les dessins de la plupart des architectes et tout au long de la période d'usage du zip (Graphique 13). A l'image des rétractions, leur présence semble suivre les occurrences du zip dans les collections. Cela semble cohérent avec leur origine, plus il y a de zips, plus la probabilité pour que certains présentent de petits défauts d'application augmente.



Graphique 13 : Occurrence des bulles rondes sur les zips examinés.



Graphique 14 : Occurrence des bulles en réseaux sur les zips examinés.

Il n'en est pas de même pour les bulles en réseaux (Graphique 14). La présence de bulles en réseaux est particulièrement marquée : en 1950, sur le projet de Bogota de Le Corbusier, en 1969, sur les dessins du concours de l'Hôtel de Ville d'Amsterdam de l'agence MSGSSV architectos, en 1971, sur les dessins du diplôme de fin d'étude de Jacques Rougerie, en 1974, sur le projet d'Officinas Centrales del Infonavit, à Mexico City de Teodoro Gonzalez, et enfin en 1991, sur le projet de la Fondation Cartier de Jean Nouvel.

Ces projets ne semblent pas présenter de points communs : la taille des pièces de zip, leur découpe ou leur motif, le pays d'exercice des architectes ou la date des dessins ne peuvent expliquer la présence des bulles en réseaux. Le seul élément identique pour tous ces zips est la souplesse du support. Aucun dessin sur carton ne présente de bulles en réseaux. *A contrario*, cela n'implique pas une automaticité de la présence des bulles en réseaux sur les supports souples. Par ailleurs, ces dégradations pourraient également être liées à des conditions de conservation particulières.

### Conclusion

Il semble alors nécessaire d'explorer la dimension matérielle des zips. En effet, la multiplicité des fabricants entraîne une variété de natures chimiques d'un produit à l'autre. De plus, la diversité même des matériaux composants chaque zip nécessite une étude approfondie.

De même, les observations qui ont pu être faites pour les phénomènes de soulèvement et de jaunissement laissent penser que des évolutions dans le temps de la nature des matériaux pourraient expliquer des comportements différents.

### Ce qu'il faut retenir de ce chapitre

- La présence de zip est complexe à identifier dans les bases de données en raison d'une multitude de descriptions ou d'appellation, parfois d'absence de mention.
- Le zip est parfois difficile à identifier visuellement sur les dessins et nécessite la mise en place d'une méthode d'identification et d'expérience.
- Un corpus de 520 dessins avec du zip est identifié au sein des collections du Mnam-CCI, Centre Pompidou, de la FLC, du MoMA et de la galerie d'architecture moderne et contemporaine de la Cité de l'architecture et du patrimoine.
- La trame du constat d'état est définie en fonction de la stratigraphie du zip. Les altérations sont liées à la dégradation intrinsèque de la matière du zip ainsi qu'à des événements ponctuels.
- Le corpus des 520 dessins présente des productions de 1945 à 1997, de 61 architectes, exerçant dans 15 pays répartis sur 4 continents.
- Son étude permet de préciser certains aspects : les zips se retrouvent dans la plupart des dessins, sur des dessins de rendu ou des dessins prescripteurs, sur un support en papier calque, de 1 à 4 références de zip par dessin et les pièces couvrent plutôt de petites surfaces et sont localisés.
- Les dégradations les plus récurrentes sont les rétractions, les soulèvements et les bulles.

## CHAPITRE 3 : ÉTUDE DE LA MATERIALITE DU ZIP

---

L'étude de la matérialité des collections s'appuie sur l'analyse physico-chimique des composants du système zip (film et adhésif) et leur caractérisation. Cet axe de recherche vise à brosser le portrait d'un zip multiple, plutôt que de se concentrer sur des analyses approfondies pour un type de zip.

En sus d'une stratigraphie complexe, la nature des différents composants du zip n'est pas précisément connue. D'autant que la quantité de références, de marques et de produits laissent supposer des recettes industrielles variées et évolutives. Bien que ces produits ne soient plus commercialisés, il est encore difficile d'obtenir des informations de la part des industriels.

La caractérisation physico-chimique semble donc indiquée pour améliorer les connaissances concernant la nature chimiques des matériaux en présence, et ainsi, tenter de comprendre leur vieillissement et leur dégradation.

Afin de générer une base de données de références, des zips sont collectés dans les fins de stocks des magasins Beaux-Arts et chez des architectes. Ils constituent un échantillonnier sur lequel il est possible de réaliser des analyses, des tests et des essais pour établir des protocoles d'intervention de restauration.

Le croisement des données collectées lors des constats d'état des collections et au cours de la campagne de caractérisation vise à fournir des explications là où l'observation et l'exploitation des données collectées par l'étude des collections ne permettent que de formuler des hypothèses. En effet, l'objectif est de chercher les caractéristiques discriminantes afin de permettre, sans recours systématique à l'analyse, de poser un diagnostic sûr.

## I. Méthode d'analyse

### A. Les laboratoires

Trois laboratoires sont partenaires de la recherche sur le zip : le laboratoire de recherche de l'Institut national du patrimoine, le laboratoire scientifique et technique de la Bibliothèque nationale de France et le laboratoire scientifique du MoMA. Tous ces laboratoires sont intégrés dans des institutions patrimoniales et leurs équipes participent à la préservation des collections conservées ou des œuvres y séjournant.

#### **Laboratoire de recherche de l'Institut national du patrimoine**

La présence d'un laboratoire de service au sein d'un établissement d'enseignement supérieur dédié à la préservation du patrimoine est rare (unique en France) et particulièrement appréciable. Le rôle du laboratoire est d'analyser, au besoin, les œuvres traitées par les élèves, d'orienter et d'encadrer leurs recherches scientifiques lors de protocoles expérimentaux, dans le cadre de l'enseignement, des mémoires de fin de cursus ou de la pratique d'atelier. La valeur d'un laboratoire dans un contexte d'apprentissage et avec une approche pratique est particulièrement grande, d'autant plus que l'intérêt pour la recherche est présent. L'équipe est composée de profils variés, notamment de deux physico-chimistes spécialistes des matériaux organiques et inorganiques et de leurs techniques d'analyses respectives.

#### **Le laboratoire scientifique et technique de la Bibliothèque nationale de France**

Le laboratoire scientifique et technique du département de la conservation, situé sur le site de Bussy-Saint-Georges, est également un laboratoire de service dont la mission est de fournir assistance et conseil au personnel chargé de la conservation des collections de la BnF. Il mène des recherches sur le vieillissement et la dégradation de matériaux constitutifs des collections ainsi que sur les techniques pouvant assurer leur conservation, restauration et exposition. Par ailleurs, le laboratoire joue un rôle d'analyse et de conseil pour l'emploi de nouveaux matériaux en conservation-restauration.

#### **Le laboratoire scientifique du Museum of Modern Art**

Les missions du laboratoire du MoMA sont principalement l'étude des collections et, lorsque le calendrier le permet, le développement de nouveaux matériaux de restauration ou du moins l'analyse de nouveaux matériaux afin de s'assurer de leur compatibilité avec les œuvres. Par ailleurs, les scientifiques ont un rôle de conseillers en matière de conservation préventive et assurent le suivi du climat et de la lumière dans le cadre d'exposition et d'installation.

## B. Création d'une base de références

### 1. Élaboration d'un échantillonnier

#### Collecte du matériel

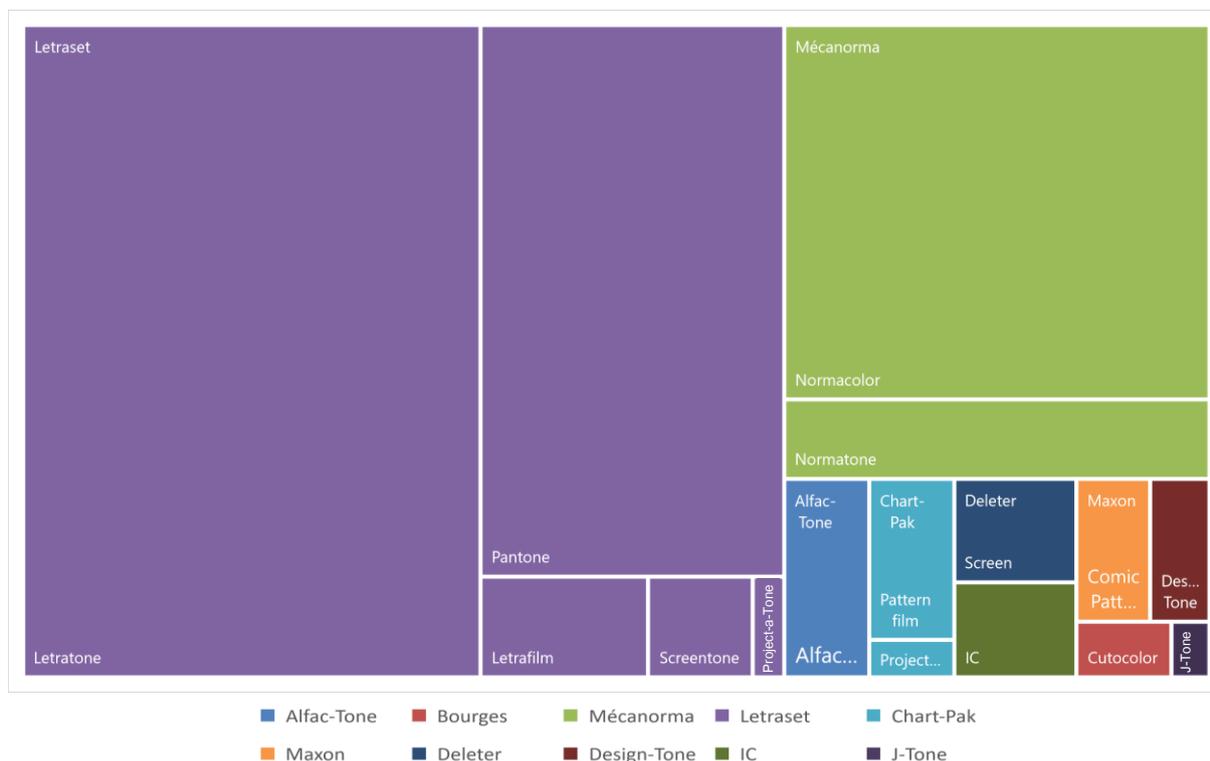
La réalisation de l'échantillonnier est engagée dès les premiers temps du projet. Elle bénéficie tout d'abord de dons d'architectes puis s'oriente vers les magasins de Beaux-Arts et leur fin de stock. Par la suite, elle devient systématique des lieux visités lors de voyage et se nourrit de l'aide de collègues voyageurs. Les informations relatives aux collectes sont soigneusement relevées (Tableau 5)<sup>174</sup>.

Tableau 5 : Composition de l'échantillonnier.

Marques	Produits	Nombres de références	Lieux de collecte
Chart-pak®	Pattern Film	14	Santa Fe, Nouveau Mexique, USA
	Color overlay	2	
Bourges Color Inc.	Cutocolor™	5	Paris, France
Letraset®	Letratone®	301	Paris, France et New York, USA
	Letrafilm®	16	Paris, France
	Pantone™ by Letraset®	160	Paris, France
	Project a tone®	2	Paris, France
	Letravision®	3	Paris, France
	Screentone®	11	Tokyo, Japon
Mécanorma	Normatone	30	Paris, France
	Normacolor	151	Paris, France
Alfac-tone	Alfac-tone	16	Paris, France
Deleter	Screen	11	Tokyo, Japon
Maxon®	Comic pattern®	10	Tokyo, Japon
Design-tone™		9	Tokyo, Japon
J-Tone		2	Tokyo, Japon
IC-Screen		10	Tokyo, Japon
<b>Total : 10 marques</b>	<b>17 produits</b>	<b>753 références</b>	<b>5 villes de collecte dans 3 pays</b>

La composition de l'échantillonnier peut être explicitée par une représentation visuelle (Graphique 15). Ainsi, on peut voir que plus de la moitié des références sont de la marque Letraset® et un petit quart de la marque Mécanorma. Enfin on peut remarquer que les autres marques sont représentées par un nombre de références du même ordre.

<sup>174</sup> ANNEXE 2, p. 364, Tableau récapitulatif des données de collectes.



Les références de zip présentent pour certaines une date de fabrication mais cela n'est pas le cas pour toutes. Dans l'ensemble, les feuilles de zip datent des années 1980 et 1990. La date de fabrication la plus ancienne inscrite sur une feuille est 1968 et la plus récente est 2010. Sur 245 feuilles de Letratone®, une date a été tamponnée au jour de production : ces feuilles sont datées de 1975 à 1995. En effet, la méthode de collecte s'appuyant sur les fins de stocks de magasins, il semble logique que les références qui restent, soient les plus récentes. Cependant, certaines feuilles ont été données par des architectes. Ainsi, l'échantillonnier présente des feuilles de zip antérieures à 1962, date à laquelle Paul Maymont a arrêté son activité libérale.

### Réalisation des échantillons et de l'échantillonnier

L'échantillon est prélevé en découpant dans chaque feuille de zip un carré de 5 cm de côté (Figure 108). Cette découpe est réalisée dans un angle pour avoir une zone avec et une zone sans impression. Quand la référence est indiquée à plusieurs endroits sur la feuille, l'échantillon est prélevé au niveau d'une des indications de référence. Dans les cas où la feuille de zip ne présentait qu'une seule référence, une marge sans écriture est préférée afin de laisser la référence sur la feuille.

Le contenant de l'échantillonnier est une boîte en plastique pouvant être fermée afin de limiter l'empoussièrement. Afin de caler les échantillons et d'absorber d'éventuels composés organiques volatiles issus de la dégradation des zips, la boîte est tapissée de carton neutre. Dans un premier temps, les échantillons sont organisés par produits en vue des analyses, mais ce classement est destiné à évoluer pour rendre compte des différentes compositions chimiques (Figure 109).



Figure 108 : Exemple d'un échantillon à échelle 1.



Figure 109 : Échantillonnier.

### C. Protocoles d'analyses physico-chimiques

La base de référence est circonscrite aux 753 zips constituant l'échantillonnier, au fil de la collecte<sup>175</sup>. Le protocole de caractérisation à définir doit prendre en compte un important corpus de documents à analyser pouvant s'étoffer dans le temps. Par ailleurs, d'autres facteurs influencent également l'axe d'approche : les appareils à disposition, le temps et le coût de certaines analyses. Le protocole d'analyse est défini avec les équipes scientifiques de l'Inp et de la BnF<sup>176</sup> en deux temps : une première phase, dite de *screening*<sup>177</sup> avec des acquisitions spectrales<sup>178</sup> relativement rapides permettant l'analyse de l'ensemble de l'échantillonnier dans un temps raisonnable afin de dessiner de grands ensembles et une deuxième phase, de précision des ensembles avec des techniques d'analyse plus précises dont les temps d'acquisition sont plus longs.

#### 1. Phase de *screening*

La première phase est menée par spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (IRTF)<sup>179</sup> avec un accessoire macro ATR (réflexion totale atténuée). Le principe de la spectroscopie infrarouge est d'envoyer un rayonnement sur la matière à analyser pour faire vibrer les liaisons entre les atomes présents. L'exploitation de ces vibrations permet d'identifier la nature chimique de la matière analysée. L'IRTF couplé à un accessoire ATR, permet une analyse par contact de matériaux solides ou liquide, sans besoin préalable de préparation. Cette technique est non destructive et ne nécessite pas de prélèvement en raison de la taille des échantillons. La pression lors de la mesure par l'ATR, laisse une empreinte dans le matériau ce qui ne pose pas de problème au regard de la valeur documentaire donnée à l'échantillonnier. Enfin, pour les matériaux synthétiques, les bandes d'absorption en IRTF-ATR sont bien marquées, ce qui en fait une technique tout à fait adaptée. Cette technique a l'avantage par ailleurs de donner des acquisitions rapides, de l'ordre de la minute.

Par souci de systématisme, les prises de mesure sont réalisées sur chaque échantillon au même endroit, pour chaque composant du zip. L'analyse est réalisée pour :

- l'encre, par la face dans l'angle le plus à l'intérieur de la feuille d'origine, souvent l'angle supérieur droit.
- le film, par la face, dans une zone non encrée, dans l'angle inférieur à l'aplomb de celui de l'encre.
- l'adhésif, par le revers du film, après l'avoir décollé du support, dans le même angle que pour le film mais à un autre endroit.
- le papier de support, sous la zone d'adhésif analysée, et au verso de l'échantillon, toujours dans le même angle.

Cette première phase a permis d'identifier des groupes afin de réduire le corpus des échantillons à un corpus de combinaisons de films et d'adhésifs. L'interprétation des spectres des encres est complexe et, comme elle ne semble pas jouer sur le comportement des autres matériaux en présence, elle n'a pas été poussée dans le cadre de cette recherche. Par ailleurs, la nature du papier de support apporte des informations techniques et

<sup>175</sup> Le démarrage de la campagne d'analyse (420 zips) est réalisé par Jérôme Baudin lors de son stage de mémoire du Master MAPE, encadrée par Maroussia Duranton et Stéphane Bouvet, une deuxième campagne (120 zips) est réalisée par Hughes Malservet, lors d'un stage de fin d'IUT, encadré par Maroussia Duranton et enfin, les mesures IRTF-ATR sur les références restantes (221) ont été réalisés par Marion Cinqualbre.

<sup>176</sup> Maroussia Duranton pour l'Inp, Stéphane Bouvet, Eleonora Pellizzi et Emilie Le Bourg pour la BnF.

<sup>177</sup> Terme dérivé de la médecine et signifiant dépistage, utilisé pour le caractère « passage en revue » de cette opération.

<sup>178</sup> On parle d'acquisition spectrale pour l'obtention par l'instrument des données conduisant à la création du spectre.

<sup>179</sup> La transformée de Fourier (1768-1830) est une opération mathématique complexe dont le principe est de transformer une fonction intégrale pour la représentée sous forme de spectre.

industrielles bien que celles-ci ne soient pas pertinentes pour la caractérisation des collections – les zips étant collés sur une multitude de support mais jamais sur le papier sur lequel ils sont vendus.

Les analyses IRTF-ATR sont réalisées sur deux machines<sup>180</sup>.

Un spectromètre Nicolet – Magna IR 560 équipé d'un accessoire macro-ATR Performer avec un cristal de diamant mono-réflexion de chez Thermo Fisher Scientific.

Résolution : 4  $\text{cm}^{-1}$   
Nombre de scans : 64  
Gamme spectrale : 4000-400  $\text{cm}^{-1}$   
Distance de pénétration : 2,03  $\mu\text{m}$  (à 1000  $\text{cm}^{-1}$ )

Un spectromètre Frontier équipé d'un accessoire macro-ATR avec un cristal de germanium de chez PerkinElmer.

Résolution : 4  $\text{cm}^{-1}$   
Nombre de scans : 16  
Gamme spectrale : 4000-400  $\text{cm}^{-1}$   
Distance de pénétration : 2,03  $\mu\text{m}$  (à 1000  $\text{cm}^{-1}$ )

## 2. Phase de précision

Dans un second temps, un échantillon représentatif de chacun de ces groupes, est analysé par chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse, associées à un pyrolyseur (Py-GC-MS). Cette technique d'analyse permet de préciser certaines tendances observées en IRTF-ATR et d'affiner les groupes. Son seuil de détection étant très bas, il est possible de voir des éléments en traces. Cette technique est destructive, chronophage (de l'ordre d'une heure par acquisition) et nécessite de séparer les différents éléments du zip avant de les prélever pour analyse. C'est pour ces raisons qu'elle est utilisée en complément de l'IRT-ATR, sur des zips précédemment sélectionnés.

Pour la Py-GC-MS, les prélèvements ont été réalisés dans les angles droits, supérieurs ou inférieurs, en fonction de l'état de l'échantillon. La colle a été prélevée à l'aide d'un scalpel. Le plastique a ensuite été découpé sur la même zone et débarrassé des résidus d'adhésifs, et parfois d'encre, à l'aide d'éthanol.

Les analyses en Py-GC-MS sont réalisées sur un seul appareil.

Un pyrolyseur Pyroprobe CDS 5150 couplé à un chromatographe gaz/spectromètre de masse de référence Shimadzu QP2010+

Température de pyrolyse : 700°C

Temps de pyrolyse : 15 secondes

Gaz (phase mobile) : hélium

Débit : 1,23 mL/min

Colonne capillaire : SLB-5ms, 30m x 0,25 x 0,25, polymère silphenylène

Programme : 40°C pendant 2min, 6°C/min jusqu'à 300°C, 300°C pendant 10min, split 30

Température de la ligne de transfert : 250°C

Température de la source d'ion du spectromètre de masse : 200°C

Enfin, les éléments précisés par le chromatogramme font l'objet d'une recherche sur les spectres IRTF-ATR pour essayer de trouver les bandes qui leur correspondent. Ainsi, l'étude des spectres IRTF-ATR s'enrichit des résultats de Py-GC-MS.

<sup>180</sup> En 2017 le laboratoire de l'Inp s'est doté d'un nouvel équipement d'analyse de spectroscopie couplé à un microscope infrarouge.

## II. Matérialité du zip dans l'échantillonneur

### A. Des films d'acétate de cellulose

#### 1. Présentation de l'acétate de cellulose

En accord avec ce qui est annoncé dans plusieurs catalogues de vente<sup>181</sup>, les films des zips de l'échantillonneur sont tous en acétate de cellulose<sup>182</sup>. L'acétate de cellulose est un dérivé cellulosique, semi-synthétique, obtenu en dégradant la cellulose à l'aide d'acide acétique<sup>183</sup>. Pour fabriquer de l'acétate de cellulose, il faut tout d'abord réaliser l'estérification de la cellulose en la mélangeant pendant plusieurs heures avec de l'acide acétique (de 44 à 61% suivant les recettes). Dans un deuxième temps, la pâte obtenue est hydrolysée pendant plusieurs jours avec de l'anhydride acétique et de l'acide sulfurique (comme catalyseur).

Il s'agit d'un polymère, c'est-à-dire que la molécule est constituée à partir d'une séquence reproduite  $n$  fois pour donner une longue chaîne moléculaire. La séquence de base est le monomère (Figure 110). L'acétate de cellulose est fabriqué à partir de cellulose dont le monomère est indiqué dans la zone en aplat jaune. Un des groupements caractéristiques de la cellulose est le cycle pyranose, (cycle en hexagone de cinq atomes de carbone et un d'oxygène) présent deux fois par monomère et encerclé en jaune-orangé. Le groupement acétate est composé d'un groupe ester, O-C=O, entouré en bleu, et d'un groupe méthyle, CH<sub>3</sub>, marqué par l'aplat bleu.

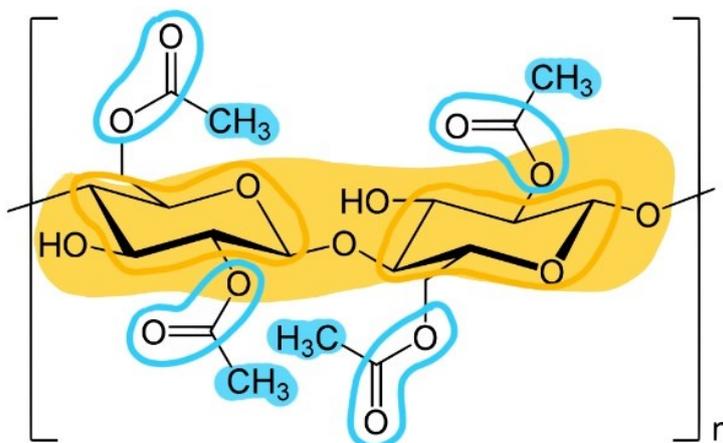


Figure 110 : Monomère de la molécule d'acétate de cellulose et mise en évidence de ses groupements caractéristiques.  
Source Wikipédia, diagramme modifié par M.Cinqualbre.

Les objets en plastique ne sont pas purs<sup>184</sup>. Les fabricants ajoutent à ces plastiques, des produits permettant de leur conférer de nouvelles qualités ou de modifier leurs propriétés : les anti-oxydants, les anti-UV et surtout

<sup>181</sup> Catalogue Letraset® s.d., archives Marion Cinqualbre et Catalogue Alfac-Tone consulté en janvier 2015, chez Adam-Lavrut.

<sup>182</sup> Le support a également fait l'objet d'analyse, bien que cela ne soit pas représentatif des conditions des zips dans les collections. Il est composé d'une âme papier enduite sur un ou sur ses deux côtés. La couche interne, en contact avec l'adhésif des zips, présente une couche antiadhésive de silicone. Cette couche peut être appliquée sur une couche de polyéthylène (PE) ou directement sur le papier. La couche externe des supports peut également être recouverte d'une épaisseur de polyéthylène. Il semble que sur les zips les plus anciens, cette couche de PE soit absente.

<sup>183</sup> MICHEL Jean-Marie, « Acétate de cellulose : origine et premiers développements industriels » dans *Contribution à l'histoire industrielle des polymères en France*, Société chimique de France, s.d., 10 p.

<sup>184</sup> BRYDSON John, *Plastics Materials*, 6th ed, Oxford: Elsevier Science & Technology, 1999, 896 p.

les plastifiants<sup>185</sup>. Ces derniers peuvent ainsi augmenter la souplesse, la résistance mécanique ou encore la résistance au feu des plastiques. Ils sont divisés en deux catégories : les plastifiants internes qui font intrinsèquement partie de la macromolécule et sont difficilement extractibles et les plastifiants externes qui ne sont pas attachés aux chaînes du polymère par des liaisons covalentes. La plastification externe permet de ne pas modifier chimiquement le polymère de base mais les plastifiants, non fixés à la molécule, peuvent migrer<sup>186</sup>. Dans le cas particulier des acétates de cellulose qui sont rigides et cassants quand ils sont purs, il s'agit en priorité, d'améliorer la souplesse des matériaux en diminuant leur température de transition vitreuse (T<sub>g</sub>)<sup>187</sup>. Les deux principaux plastifiants de l'acétate de cellulose sont les phtalates (DEP) et le phosphate de triphényle (TPP)<sup>188</sup>. Cependant, il en existe d'autres avec autant de mélanges différents que de fabricants. L'intérêt de notre étude pour les plastifiants de l'acétate de cellulose est directement lié à l'impact de ces composés sur le comportement mécanique et la dégradation des qualités de souplesse du matériau qui sont primordiales dans le cas de collection de dessins.

## 2. Présentation des résultats d'analyse

### Analyses IRTF-ATR

L'analyse IRTF-ATR donne pour tous les films de l'échantillonner, la signature spectrale de l'acétate de cellulose<sup>189</sup>. Les spectres présentent les bandes d'absorption spécifiques de la cellulose (Figure 111) avec le cycle pyranose (ν C-O-C asymétrique à 1033 cm<sup>-1</sup>) indiqué en orangé ; les groupes acétates indiqués en bleu, à savoir les groupes méthyles (δ CH<sub>3</sub> symétrique à 1367 cm<sup>-1</sup>) et les groupes esters (ν C=O asymétrique à 1737 cm<sup>-1</sup>, ν C-O-C asymétrique à 1222 cm<sup>-1</sup> et ν C-O-C symétrique à 1160 cm<sup>-1</sup>)<sup>190</sup>. La littérature mentionne souvent la bande 3454 cm<sup>-1</sup> (liaison hydroxyle C-OH). Cette bande met en évidence le degré de substitution des groupements hydroxyles par des groupements acétates : plus la bande est marquée et moins l'acétate est substitué. Pour les films de l'échantillonner, le degré de substitution n'a pas été étudié spécifiquement. Cependant, la bande est très peu visible ce qui permet de dire que les acétates de l'échantillonner sont plutôt des di- voir des tri-acétate.

La présence de différents plastifiants permet de classer les films d'acétate de cellulose de l'échantillonner en deux catégories : la première catégorie de film est plastifiée avec des phtalates, indiqués en vert clair, et la seconde catégorie présentent un mélange de plastifiants avec des phtalates, indiqués en vert clair, et du phosphate de triphényle, indiqué en vert foncé (Figure 111).

<sup>185</sup> BAO Cong Yu, *Cellulose acetate / plasticizer systems: structure, morphology, and dynamics*, Thèse de l'Université Claude Bernard - Lyon I, 2015, p. 29-30.

<sup>186</sup> KAUSCH Hans-Henning, HEYMANS Nicole, PLUMMER Christopher, et al., *Matériaux polymères, propriétés mécaniques et physiques, principe de mise en œuvre*, Lausanne : Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, 2001, 657 p., p.80.

<sup>187</sup> CUDELL Anna; VEIGA Rita, OOSTEN, Thea van; et al, « Strategies for the conservation of cellulose acetate artworks – a case study of two plastic books » dans BRIDGLAND Janet (dir.), ANTONMARCHI Catherine, *Modern Materials and contemporary art*, ICOM-CC 16th Triennial Conference Preprints, Lisbonne 19–23 Septembre, Paris: ICOM-CC, 2011. 8 p.

<sup>188</sup> L'acétate de cellulose peut être abrégé par aC dans les tableaux ou les figures.

Les phtalates sont principalement des phtalates de diéthyle, ils seront abrégés par l'acronyme anglaise DEP pour *diethyl phtalate*.

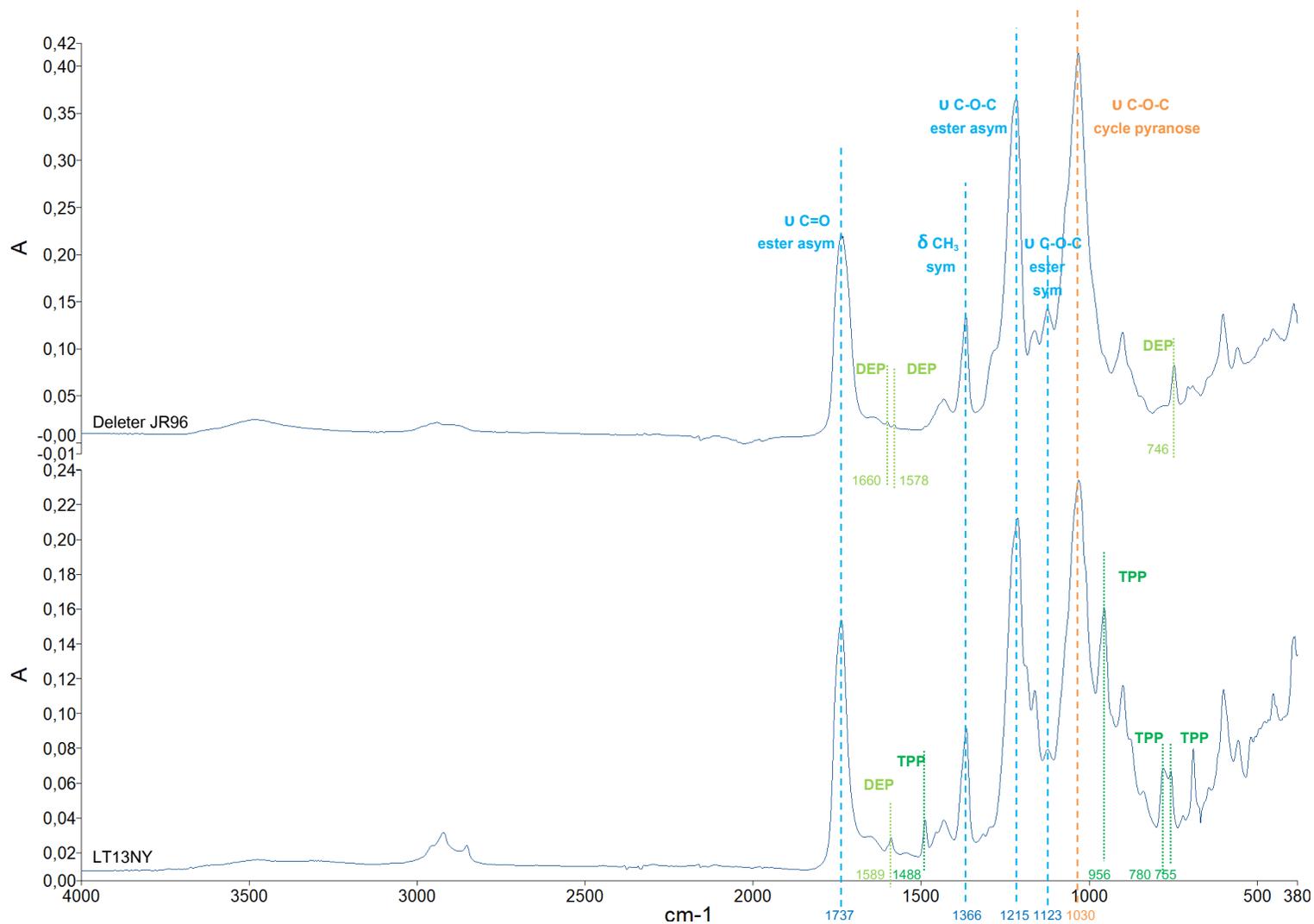
Le phosphate de triphényle sera abrégé par l'acronyme anglais TPP pour *triphenyl phosphate*.

RICHARDSON Emma, TRUFFA GIACHET Miriam, SCHILLING Michael, et al., "Assessing the physical stability of archival cellulose acetate films by monitoring plasticizer loss," dans *Polymer Degradation and Stability*, volume 107, septembre 2014, Pages 231-236.

<sup>189</sup> Cudell A., et al., 2011, *op. cit.*

<sup>190</sup> ν : vibration d'élongation ; δ vibration de déformation.

### Chapitre 3 – Étude de la matérialité du zip



Longueurs d'onde des films avec phtalates (DEP) (cm <sup>-1</sup> )	Longueurs d'onde des films avec phtalates (DEP) et phosphate de triphényle (TPP) (cm <sup>-1</sup> )	Liaisons associées
2919,69	2943,73	ν CH2 asym
2850,91		ν CH2 sym
1737,06	1738,83	ν C=O asym (groupe ester)
1660		DEP
	1589,23	DEP
1577,7		DEP
	1488,21	TPP
1433,96	1432,02	δ CH2
1366,60	1366,26	δ CH3 sym (groupe acétate)
1215,00	1212,62	ν C-O-C asym (groupe ester)
1160,18	1161,70	
1122,99	1124,74	ν C-O-C ester sym
1029,99	1032,73	ν C-O-C asym (cycle pyranose)
	956,02	TPP
899,30	899,71	
	779,76	Doublet TPP
	755,52	Doublet TPP
746,51		DEP
	690,21	
600,84	600,65	
557,57	556,46	
	483,03	
453,22	453,00	

Figure 111 : Spectres de deux références de zip, Deleter JR96, en haut, et Letraset® LT13NY, en bas, deux films d'acétate de cellulose avec deux combinaisons de plastifiants différents (phtalates, DEP, et phtalates et phosphate de triphényle, DEP/TPP), et le tableau de pics associés.

### Analyses Py-GC-MS

Les analyses en pyrolyse-GC-MS permettent de confirmer et de préciser les résultats des analyses en IRTF-ATR (

Figure 112). Sur l'exemple de chromatogramme présenté, présentant le résultat d'analyse du film LT13 NY, on observe les pics caractéristiques (marqueurs) de l'acétate de cellulose (l'acide acétique, l'acétique anhydre et l'acétate 2-hydroxyethyl) indiqués en bleu et de ses plastifiants indiqués en vert (clair pour les phtalates et foncé pour le phosphate de triphényle). Là où l'IRTF-ATR ne permet pas de différencier deux types de phtalates, la chromatographie permet de mettre en évidence du phtalate de dibuthyle (DBP), du phtalate de diéthyle (DEP) et du phtalate de diméthyle (DMP)<sup>191</sup>.

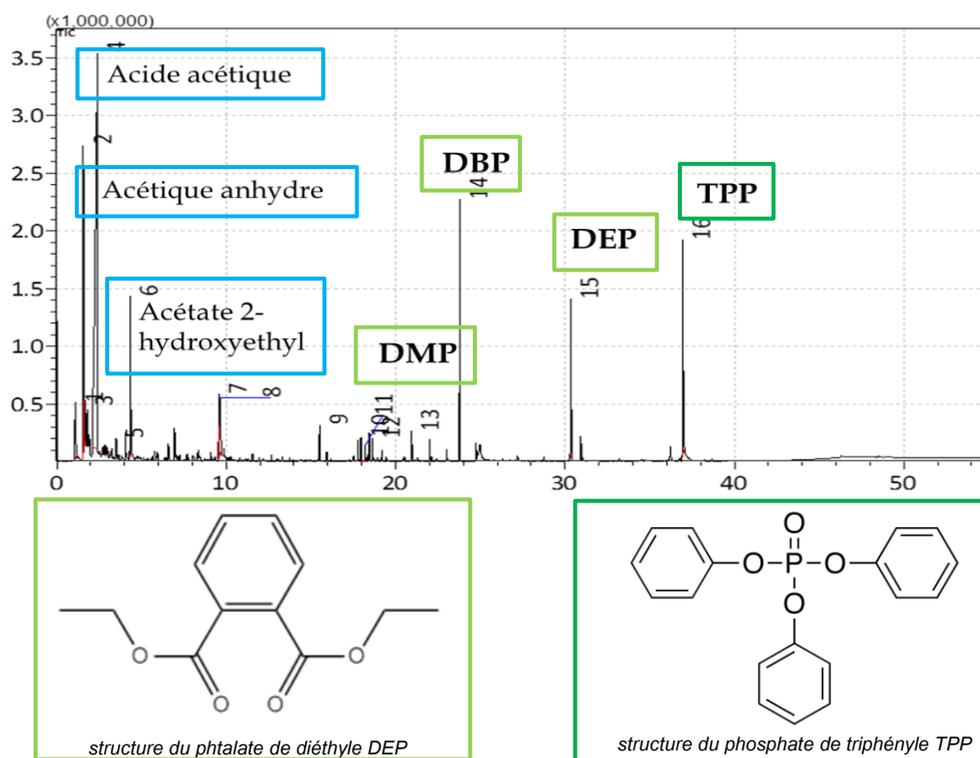
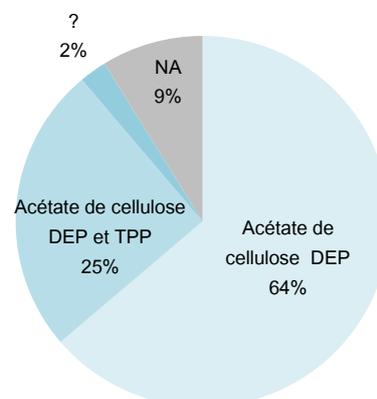


Figure 112 : Chromatogramme d'un film d'acétate de cellulose avec des phtalates et du phosphate de triphényle. ©J.Baudin/Inp

### 3. Natures des films de l'échantillonner

Sur les 753 références de l'échantillonner, 89% des films des zips sont identifiés (Graphique 16). Les acétates de cellulose plastifiés avec des phtalates sont majoritaires, à 64% contre 25% pour les acétates de cellulose plastifiés avec le mélange de phtalates et de phosphate de triphényle. Sur l'ensemble de l'échantillonner, 67 zips, soit 9%, ne sont pas analysés, faute de temps (NA), et 18 zips, soit 2%, sont analysés mais leur identification reste incertaine (?). La nature des plastifiants ne peut pas être mise en relation, dans l'état actuelle des recherches, avec une période ou une marque particulière. Mais, les zips achetés à Santa Fe sont tous plastifiés avec seulement des phtalates, tandis que les zips achetés au Japon sont tous plastifiés avec le mélange de plastifiants.



Graphique 16 : Ratio des films au sein de l'échantillonner.

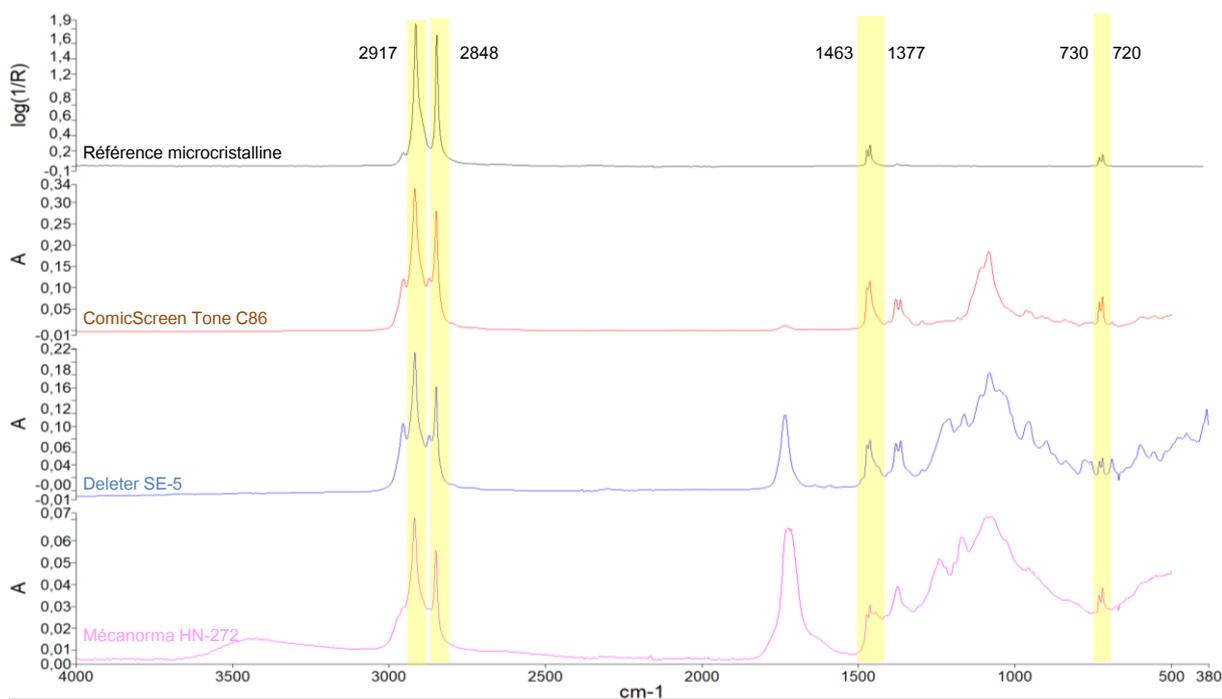
<sup>191</sup> Comme pour le phosphate de triphényle, les abréviations des différents phtalates sont construits sur les noms anglais.

## B. Plusieurs natures d'adhésifs

L'interprétation des analyses des adhésifs est ardue car ils ne sont jamais présents à l'état pur mais mélangés. Plusieurs catégories sont identifiables bien que la composition exacte soit très difficile à obtenir : les adhésifs à base de cire, à base acrylique et vinylique et à base de caoutchouc.

### 1. Adhésifs « cireux »

Certains zips de l'échantillonnier sont encollés avec un adhésif à base de cire. Les analyses IRTF-ATR montrent différentes signatures spectrales qui indiquent des mélanges variés à base de cire minérale (de synthèse et non d'abeille). Celle-ci est identifiable par des doublets en aiguille à 2954 et 2914  $\text{cm}^{-1}$ , à 1472 et 1462  $\text{cm}^{-1}$  et à 729 et 719  $\text{cm}^{-1}$ , encadrés en jaune (Figure 113)<sup>192</sup>. Dans le contexte d'analyse fixé, il n'a pas été possible d'identifier précisément les différents composants. Aussi, il a été décidé de parler d'adhésifs « à base de cire » ou « cireux » pour l'ensemble de ces différents mélanges d'adhésifs.



Longueurs d'onde ( $\text{cm}^{-1}$ )				Liaisons associées
Référence de cire microcristalline	ComicScreen Tone C86	DeleterSE-5	Mécanorma HN-272	
2954,25	2954,09	2954,72		U $-\text{CH}_2-$ , $-\text{CH}_3$
2914,76	2917,05	2917,19	2918,09	
	2871,6	2871,80		
2847,41	2848,91	2849,31	2849,96	U C=O asym
	1733,62	1733,83	1723,14	
1472,56	1472,4	1472,1	1473,1	$\delta$ C-H asymétrique
1462,34	1463,14	1462,92	1463,1	
1376,98	1380,09	1379,89	1374,20	$\delta$ C-H symétrique
	1365,17	1365,18		
		1210,67	1210,67	
		1162,03		
	1083,05	1080,73	1075,08	
	964,73	954,53		
729,61	730,00	729,78	730,00	$\delta$ $-\text{CH}_2-$
719,17	719,74	719,60	719,58	

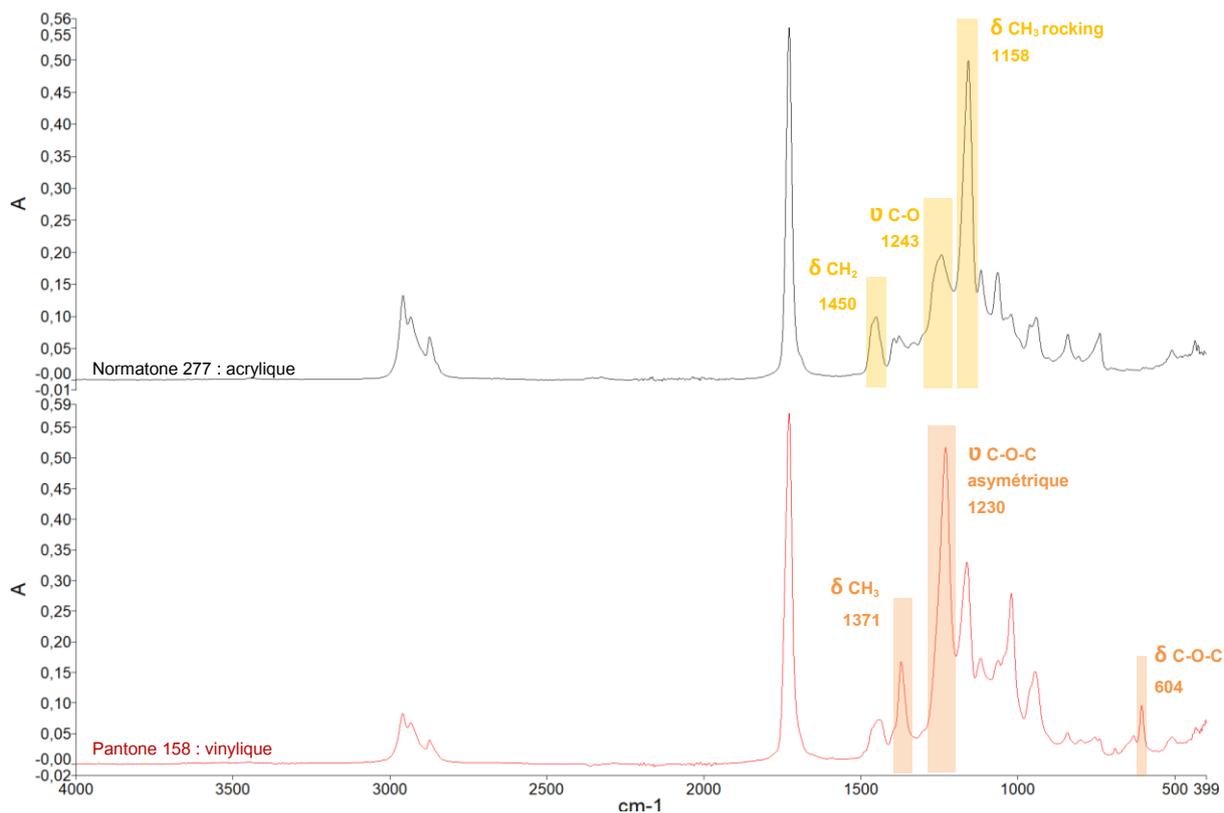
Figure 113 : Spectres IRTF de la cire de référence et de trois adhésifs de zips de l'échantillonnier, et tableau de pics.

<sup>192</sup> DOMENECH-CARBO M.T., DOMENECH-CARBO A., GIMENO-ADELANTADO J.V., et al « Identification of Synthetic Resins Used in Works of Art by Fourier Transform Infrared Spectroscopy », dans *Applied Spectroscopy*, volume 55, numéro 12, 2001, p.1590-1602.

Les adhésifs à base de cire sont sur toutes les références de zips collectés au Japon, ainsi que sur la plus vieille référence de l'échantillonnier, un film Mécanorma/Zip-a-Tone du début des années 1960.

## 2. Adhésifs acryliques et vinyliques

Les résultats des analyses montrent la présence d'adhésifs polyacryliques (polyacrylate de butyle) et d'adhésifs polyvinyliques (acétate de polyvinyle) (Figure 114).



Longueurs d'onde (cm <sup>-1</sup> )		Liaisons associées
Normatone 277	Pantone 158	
2958,47	2959,17	ν -CH <sub>2</sub> -, -CH <sub>3</sub>
2933,55	2936,4	
2873,70	2873,95	
1728,14	1728,22	ν C=O <sub>ester</sub>
1450,52		δ CH <sub>2</sub>
	1371,26	δ CH <sub>3</sub>
1242,84		ν C-O
	1229,94	ν C-O-C asymétrique
1157,69	1161,94	δ CH <sub>3</sub> asymétrique
1117,41	1118,34	δ -C-H symétrique
1064,01		
1021,31	1020,24	ν C-O <sub>ester</sub>
	944,80	
842,5	842,8	
736,2		δ -CH <sub>2</sub> -
	603,7	δ C-O-C

Figure 114 : Spectres IRTF d'un adhésif acrylique, Normatone 277, en haut, et d'un adhésif vinylique, Pantone<sup>TM</sup> by Letraset<sup>®</sup> 158, en bas, et tableau de pics.

Pour identifier les adhésifs de l'échantillonner, leurs spectres sont comparés à des spectres de référence de molécules connues<sup>193</sup>. Ainsi, le spectre de l'adhésif de restauration Primal N560J, permet d'établir une corrélation avec le spectre des adhésifs acryliques comme des polyacrylates de butyle. De la même façon, la comparaison des spectres des adhésifs vinyliques avec le spectre de la Mowilith DMC2, copolymère d'acétate de vinyle et de l'ester butylique de l'acide maléique (PVAc-BDM). Ces deux familles distinctes sont présentées ensemble car elles émanent de molécules apparentées et de mélanges<sup>194</sup>. En effet, leur structure moléculaire montre que les polymères à majorité de composés vinyliques sont des mélanges avec des composés acryliques, tandis que les adhésifs acryliques sont à base de copolymères de même nature (Figure 115).



Figure 115 : Présentation des structures de copolymère avec groupement vinylique et acrylique.

L'utilisation de mélanges n'est pas rare dans les produits industriels, l'appellation de vinylique ou acrylique dépend alors des proportions de l'un par rapport à l'autre. Dans le cadre de cette étude, sont appelés adhésifs acryliques les adhésifs présentant uniquement des groupements issus des acides acryliques et sont appelés adhésifs vinyliques tous les adhésifs présentant des groupements issus de l'acétate de vinyle.

Les analyses en Py-GC-MS précisent la nature des groupements en confirmant les conclusions précédentes. Elles permettent de formuler des hypothèses concernant les copolymères en présence dans les adhésifs des zips<sup>196</sup> : les adhésifs acryliques sont tous à base de polyacrylate de butyle avec trois possibilités de copolymères à savoir le n-butylméthacrylate, le méthyl-méthacrylate ou le 2-ethylhexylacrylate ; les adhésifs vinyliques sont tous à base d'acétate de vinyle en copolymère avec l'acrylate de butyle, le 2-ethylhexylacrylate ou les deux.

Il est important de noter que des traces des plastifiants sont trouvées dans les adhésifs et correspondent à chaque fois à ceux trouvés dans les films de ces références. De façon discriminante, les zips avec des films sans phosphate de triphényle présentent également des adhésifs exempts de ce plastifiant. On peut alors formuler l'hypothèse que les plastifiants sont présents au sein de l'adhésif à la suite de leur migration depuis le film plastique<sup>197</sup>.

<sup>193</sup> Travail de recherche réalisé par Jérôme Baudin au cours de son stage de Master.

<sup>194</sup> DOWN J., 2015, *op.cit.*

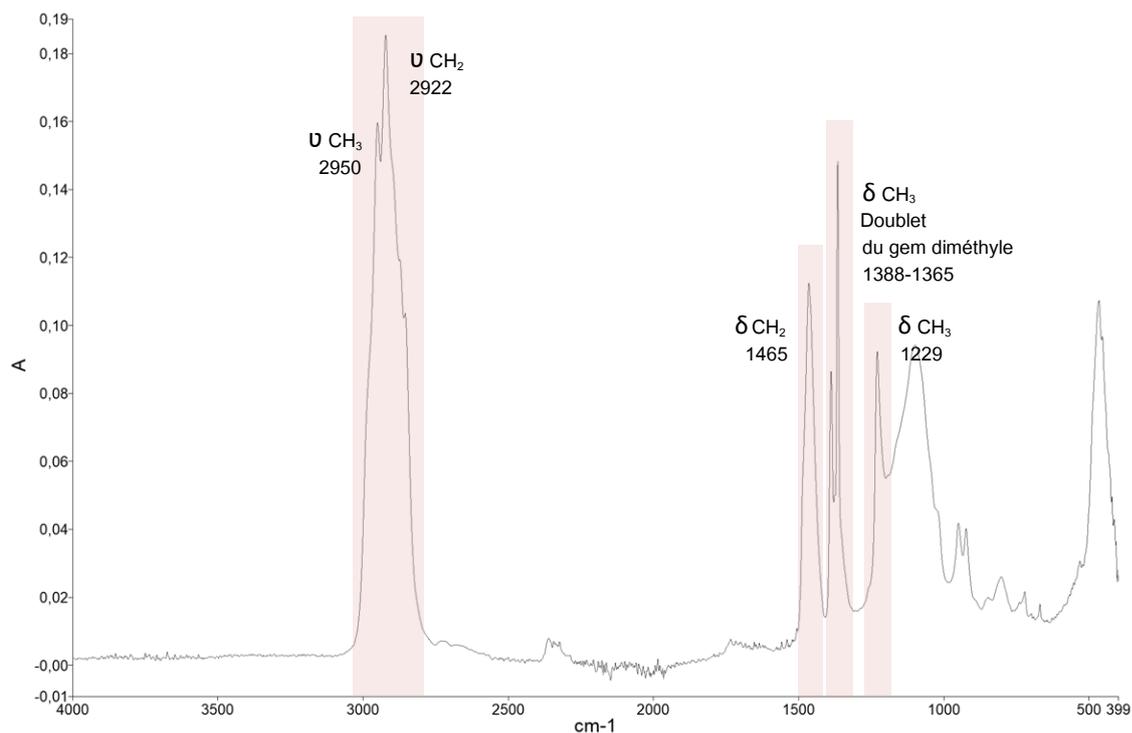
<sup>195</sup> RAHDAR Saeed., AHMADI Ebrahim, ABDOLLAHI Mahdi. et al., « A comprehensive study on kinetics of free-radical solution copolymerization of vinyl acetate and dibutyl maleate in chloroform », dans *Journal of Polymer Research*, 2014, 15 p.

<sup>196</sup> Hypothèses formulées par Jérôme Baudin durant son stage de Master.

<sup>197</sup> RICHARDSON E., *et al.*, 2014, *op. cit.*

3. Adhésifs élastomères et autres raretés de l'échantillonnier

Les cinq échantillons de la marque Bourges Color Inc. sont composés d'un adhésif dont la signature est différente de tous les autres échantillons. L'adhésif analysé correspond à du polyisobutylène, dont le spectre est remarquable, entre autres, par le doublet caractéristique du gem diméthyle, deux groupements méthyl parallèles de part et d'autre de l'axe de la chaîne de polymère<sup>198</sup>, visibles en marron sur le schéma de la molécule (Figure 116). L'analyse de ces échantillons en Py-GC-MS a permis de préciser la composition de leur adhésif. Les molécules identifiées correspondent au caoutchouc isoprène isobutylène (IIR) aussi appelé caoutchouc butyle et qui appartient à la famille des élastomères.



Longueurs d'onde (cm <sup>-1</sup> )	Liaisons associées
2950,42	ν CH <sub>3</sub> asymétrique
2922,26	ν CH <sub>2</sub> asymétrique
1465,03	δ CH <sub>2</sub>
1388,25	δ CH <sub>3</sub> Doublet du gem diméthyle
1365,50	
1229,42	δ CH <sub>3</sub>
1097,65	Inorganique ( ? )
950,16	δ <sub>hp</sub> =CH monosubstitué
801,41	/
465,39	Inorganique ( ? )

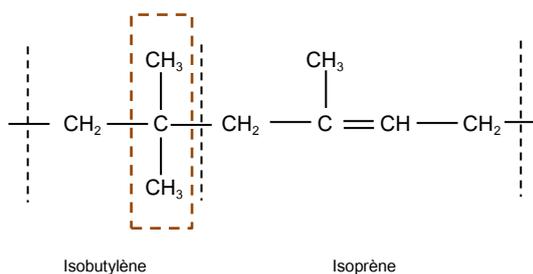


Figure 116 : Spectre de l'adhésif du 50% red de Bourges, tableau de pics et schéma de la molécule d'après Corbin.

<sup>198</sup> CORBIN Gwenola, *Les caoutchoucs dans les collections patrimoniales- identification et processus de dégradations*, Rapport de recherche, Paris : Centre national des arts plastiques (CNAP), 2011, 186 p.

Enfin, les adhésifs des zips de la marque Chart-pak®, collectés à Santa Fe au Nouveau Mexique, donnent une signature spectrale totalement différente des précédentes par les analyses IRTF-ATR (Figure 117). La famille chimique de ces adhésifs n'a pas été identifiée, faute de temps liée à l'entrée tardive des références dans l'échantillonnier.

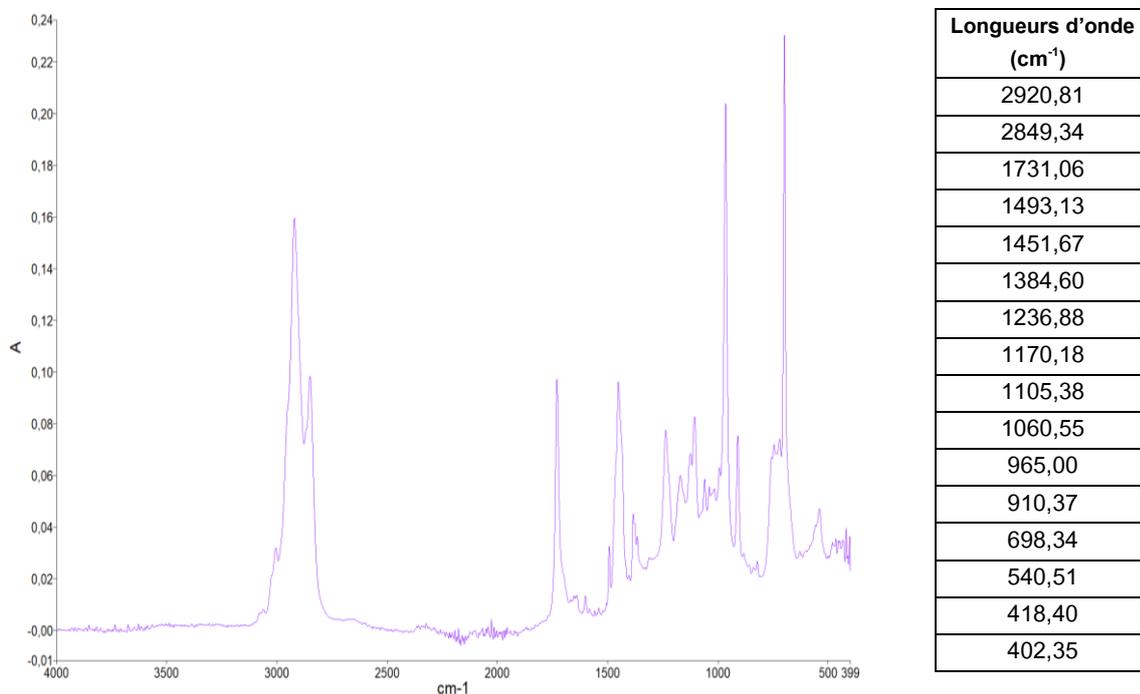


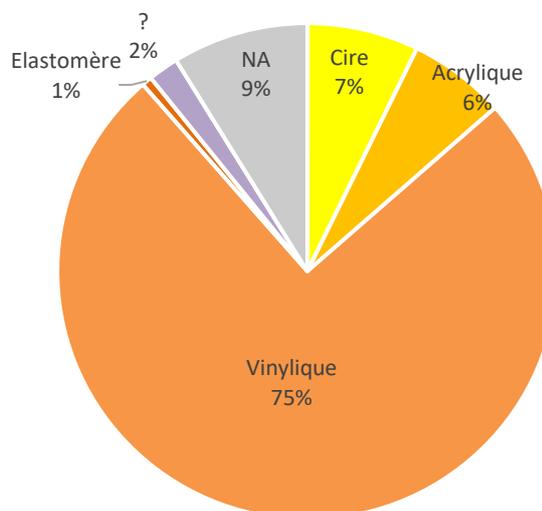
Figure 117 : Spectre de la référence Chart-pak® PT152 et tableau de pics de l'adhésif inconnu.

#### 4. Nature des adhésifs au sein de l'échantillonnier

Comme nous venons de le voir, les adhésifs des zips sont des mélanges, il est donc plus juste de parler de familles d'adhésifs. Au sein de l'échantillonnier, elles correspondent aux cires, aux acryliques, aux vinyliques, aux élastomères, aux adhésifs non identifiés (?) et à ceux non analysés (NA) (Graphique 17).

Les adhésifs cireux sont trouvés principalement sur les zips collectés au Japon, soit les plus récents, et sur les zips donnés par un des architectes, soit les plus anciens. Les adhésifs acryliques ne sont ni circonscrits à des marques spécifiques ni à des lieux de collecte. Les adhésifs vinyliques représentent la grande majorité des adhésifs analysés et se retrouvent sur les films de zips indépendamment des marques ou des lieux.

Les adhésifs non identifiés sont ceux des feuilles Chart-Pak® collectées au Nouveau Mexique, USA.



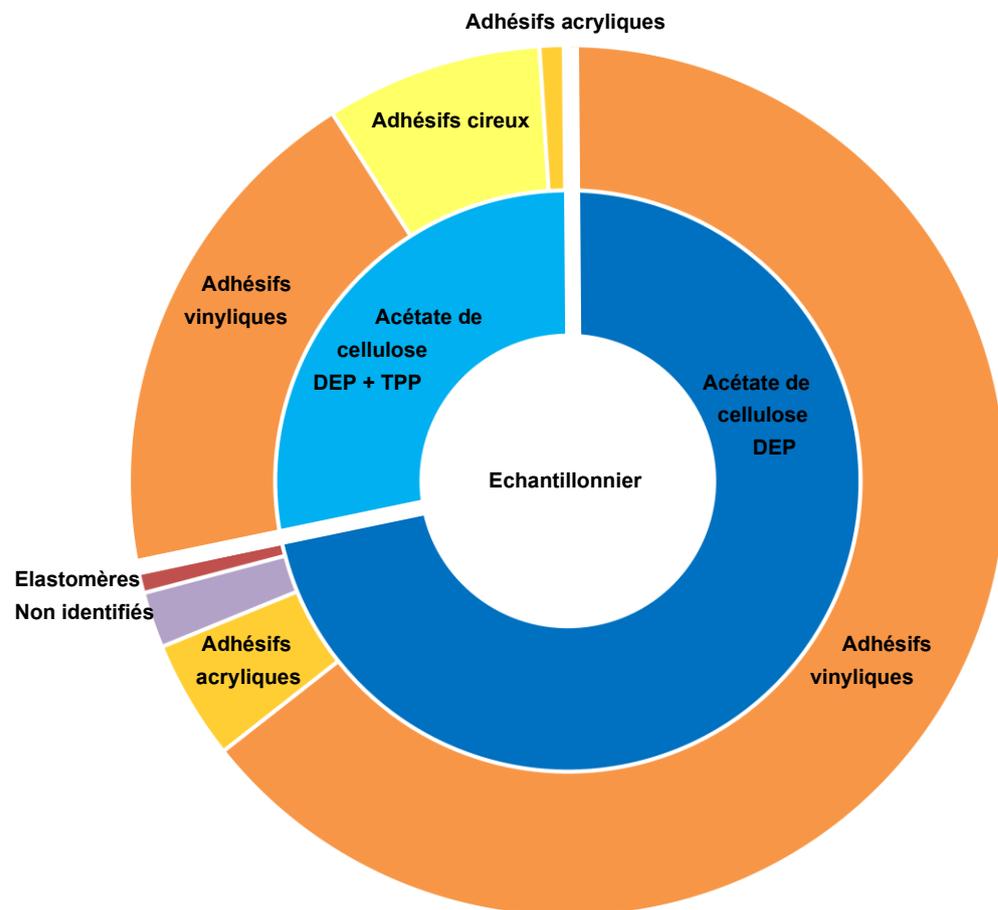
Graphique 17 : Ratios des adhésifs au sein de l'échantillonnier.

### C. Discussion des résultats des analyses pour l'échantillonner

#### 1. Croisement des résultats des films et des adhésifs

Les zips de l'échantillonner analysés (676 zips) sont composés de films en acétate de cellulose sans exception, plastifiés pour 71,7% (485 zips) d'entre eux avec des phtalates et pour 28,3% (191 zips) d'entre eux avec des phtalates en mélange avec du phosphate de triphényle. Les adhésifs analysés sur ces films sont en majorité des adhésifs vinyliques (copolymères vinyliques et acryliques) à 82,4% (557 zips), des adhésifs à base de cire à 8,3% (56 zips), des adhésifs acryliques (copolymères acryliques) à 6,7% (45 zips), des adhésifs élastomères (caoutchouc butyle) à 0,7% (5 zips) et enfin des adhésifs non identifiés à 2% (13 zips).

Les différentes combinaisons de composition des films et adhésifs de l'échantillonner sont présentées en fonction des types de films au centre (Graphique 18), exception faite des élastomères qui ne sont analysés que sur des films plastifiés aux phtalates (la combinaison de films plastifiés avec des phtalates et couvert d'une cire est présent une seule fois et n'apparaît donc pas sur le graphique).



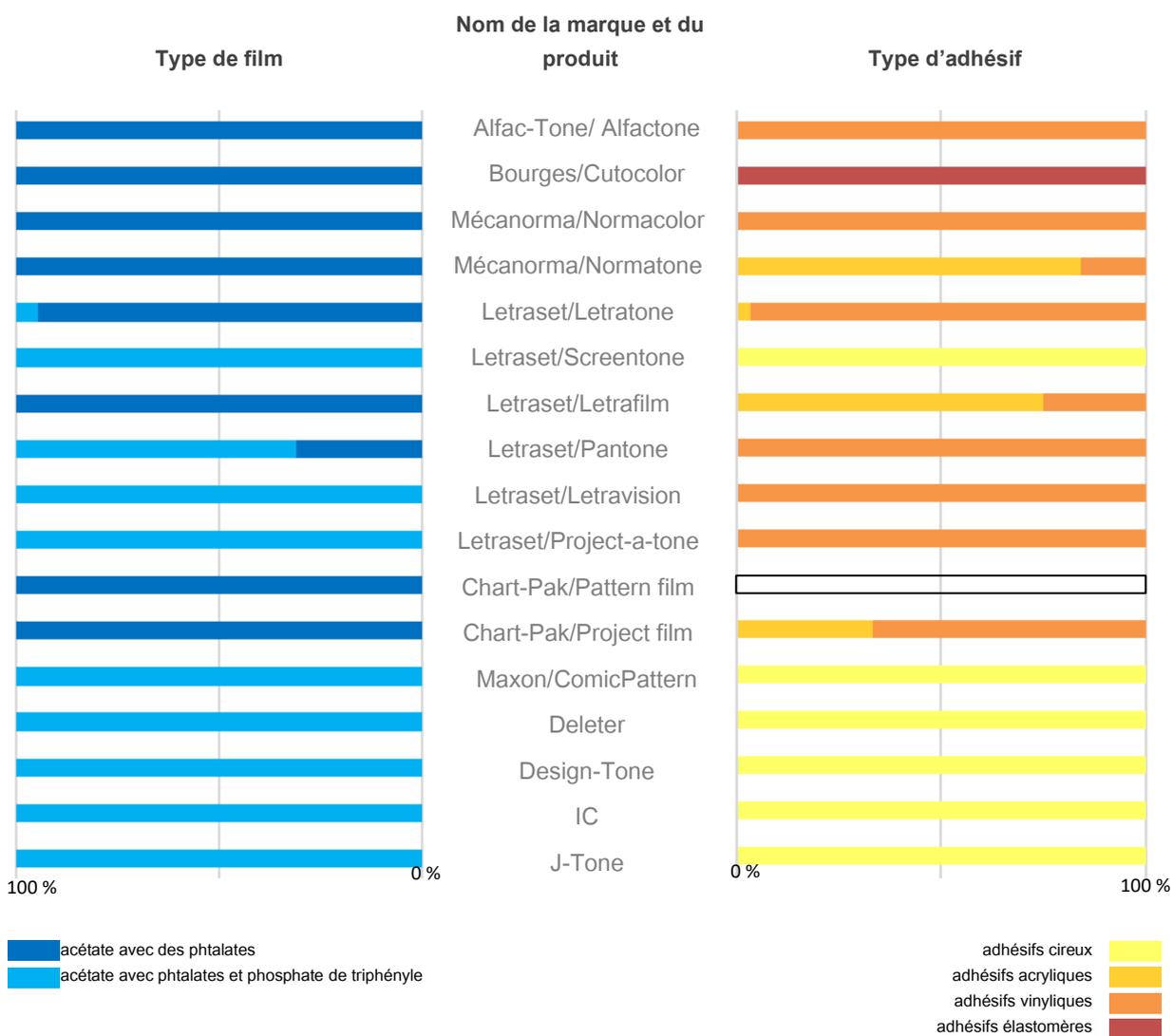
Graphique 18 : Récapitulatif de la composition des films et des adhésifs des zips de l'échantillonner.

L'échantillonner est majoritairement composé de films d'acétate de cellulose plastifiés avec des phtalates et présentant un adhésif à base vinylique. Les adhésifs acryliques représentent moins d'un dixième des adhésifs de ce type de films.

Les films plastifiés avec des phtalates et du phosphate de triphényle sont également associés en majorité à un adhésif vinylique. Pour ces films, le deuxième adhésif représenté est la famille des cires.

2. Fabricants, produits et composition chimique

L'étude de l'échantillonnier en croisant des informations concernant les fabricants et les compositions chimiques des films et adhésifs ne présente pas d'intérêt immédiat pour l'étude des œuvres avec des zips. En effet, le nom de la marque n'est jamais visible, et rarement connu. Cependant, cette étude de l'échantillonnier permet de souligner une fois encore la complexité liée à la multiplicité du zip, même au sein de la production d'un fabricant voire d'un produit (Graphique 19).



Graphique 19 : Composition des films et des adhésifs de l'échantillonnier en fonction des marques et des produits.

Il faut noter ici que ces observations ne sont représentatives que de l'échantillonnier. Il est possible, par exemple, que les différentes marques aient produit les deux types de films mais que la collecte n'ait permis de regrouper qu'un seul type.

En ce qui concerne la nature des films, il est possible d'observer des tendances par marques mais ce n'est pas toujours vrai.

Les zips de l'échantillonnier des marques Alfac-tone, Bourges Color, Mécanorma et Chart-Pak® ont tous un film d'acétate de cellulose plastifié avec des phtalates.

La nature des films varie en revanche, pour les zips de la marque Letraset®, en fonction des produits mais également au sein de la gamme d'un même produit sans qu'il soit possible de déterminer les raisons de ces variations. Ainsi, les Letrafilm de l'échantillonnier ont tous un film plastifié avec des phtalates tandis que les Screentone, collectés au Japon, les Letravision et les Project-a-tone ont tous des films plastifiés avec le mélange de phtalates et de phosphate de triphényle. Enfin, dans les deux produits les plus représentés en termes de références dans l'échantillonnier, les Letratone® et les Pantone™ by Letraset®, les films sont des deux catégories : la quasi-totalité des films présente des phtalates pour les Letratone® et seulement 5,7% des films contiennent les deux plastifiants ; et une majorité de films, 69,2%, est fabriquée avec des phtalates et du phosphate de triphényle pour les Pantone™. Le croisement de ces données avec les dates ou les lieux de collectes ne permettent pas de discerner des tendances. En effet, deux feuilles de Letratone®, LT 923 et LT 924, collectées à New York à la même date et ayant été produites à un mois d'écart, respectivement le 14.02.1990 et le 10.01.1990 ont des plastifiants différents.

Les zips des marques collectées au Japon ont un film en acétate de cellulose plastifié avec des phtalates et du phosphate de triphényle.

En ce qui concerne les adhésifs, les tendances observées sur l'échantillonnier sont les suivantes :

- Les zips de l'échantillonnier sont recouverts d'un adhésif vinylique pour toutes les références de la marque Alfac-tone.
- Les 5 références de la marque Bourges sont toutes avec un adhésif à base d'élastomère.
- Les zips collectés au Japon sont tous porteurs d'adhésifs à base de cire.
- La marque Mécanorma utilise un adhésif vinylique pour sa gamme de produit Normacolor et on retrouve deux types d'adhésifs, acrylique et vinylique pour sa gamme Normatone, alors que tous les films sont de même nature chimique.
- La marque Chart-Pak® produit des films pour projecteur avec des adhésifs vinylique et acrylique mais ses films à motifs ont un autre type d'adhésif (non identifié).
- Enfin, pour la marque Letraset®, les produits Pantone™, Letravision® et Project-a-tone® sont tous enduits d'un adhésif vinylique. La référence collectée au Japon est avec une cire et les Letrafilm® et Letratone® peuvent présenter des adhésifs vinyliques ou acryliques.

Les Letratone® et Letrafilm® présentant un adhésif acrylique sont tous issus d'une collecte à Paris. Cependant, la réciproque ne fonctionne pas : tous les films collectés à Paris n'ont pas nécessairement un adhésif acrylique. Par ailleurs, il faut noter que les films de Letratone® avec un adhésif acrylique ne sont pas les mêmes que ceux avec le mélange de plastifiants dans leur film.

Si, comme nous l'avons dit, cette étude de l'échantillonnier est difficilement transposable en l'état à l'étude des collections, les résultats des analyses des collections pourront se nourrir de cette étude.

### III. Caractérisation des matériaux patrimoniaux

Le protocole mis en place pour la caractérisation des échantillons de zip de référence a été établi afin d'être rapide (pour pouvoir réaliser un grand nombre d'analyses) et exhaustif (dans la mesure, où il s'agit de réaliser une base de références, les analyses sont réalisées pour toutes les couches des zips). La quantité de matière prélevée, la manipulation ou la destruction du matériel d'analyse n'étaient pas les principaux critères dans la mesure où les échantillons sont destinés spécifiquement aux analyses et aux tests.

Dans le cas de l'analyse de matériaux patrimoniaux présents sur les collections nationales et américaine, l'angle d'approche et les prérequis sont tout autre. L'enjeu est d'avoir suffisamment de matière pour les analyses en prélevant le moins possible. C'est pour cela que les techniques non invasives sont le plus souvent privilégiées. Une approche plus mesurée sur les collections est entre autres possible par l'étude et les analyses réalisées en amont sur l'échantillonnier.

#### A. Mise en place d'un protocole d'analyse pour les collections<sup>199</sup>

##### 1. Stratégie de méthode analytique

Le protocole d'analyse, réfléchi pour la caractérisation de l'échantillonnier, est développé avec l'objectif de pouvoir le transposer par la suite à l'analyse des collections. Les analyses de l'échantillonnier favorisent une bonne compréhension de la nature des composés du zip.

La spectroscopie infrarouge, avec les appareils à disposition, est une technique invasive et non destructive. Cela signifie qu'un prélèvement, même microscopique, est nécessaire. Il n'est pas détruit par la méthode d'analyse ni contaminé et peut être réutilisé pour d'autres analyses ou, éventuellement même repositionné sur l'œuvre. La Py-GC-MS est une analyse invasive en cela qu'elle nécessite un prélèvement et destructive, car le prélèvement est brûlé pour analyser ses composés. Afin de limiter au mieux le prélèvement de matière originale, chaque prélèvement vise à être utilisé deux fois : il est d'abord analysé en IRTF-ATR et si une précision est nécessaire, il est alors analysé en Py-GC-MS. Ainsi, pour la plupart des prélèvements, l'analyse IRTF-ATR suffit et la matière est conservée. Cela permet de pouvoir envisager d'autres analyses dans le futur sans avoir besoin de reprélever sur les œuvres ayant déjà fait l'objet d'une campagne de caractérisation.

Par ailleurs, il a déjà été précisé que l'IRTf-ATR est une méthode d'analyse rapide et simple qui permet de se confronter à de larges corpus, et est adaptée aux matériaux synthétiques.

##### 2. Stratégie de prélèvement

Une fois qu'il ait été établi et accepté par les responsables de collection qu'un prélèvement est nécessaire, il s'agit d'en limiter l'impact sur l'œuvre tout en ayant un prélèvement exploitable. En effet, le risque avec un prélèvements non adapté, serait de devoir le prélever à nouveau jusqu'à une analyse correcte. Ces réflexions sont donc menées préalablement, en concertation avec les différents acteurs (conservateurs, scientifiques et restaurateurs).

Par ailleurs, l'accès aux collections est soumis à la disponibilité des personnes mais également des œuvres, qui peuvent être exposées ou prêtées. Pour cette raison, les discussions ont conclu que pour chaque dessin

---

<sup>199</sup> La mise en place du protocole d'analyse, la réalisation des prélèvements, les analyses et l'exploitation des résultats sont réalisés par Maroussia Duranton, Eleonora Pellizzi et Stéphane Bouvet.

sur lequel des analyses sont réalisées, toutes les références de zip sont prélevées. Cette stratégie vise à limiter les manipulations des œuvres mais s'inscrit également dans une volonté de compréhension globale du zip. Il ne s'agit pas de prélever uniquement les zips dégradés mais de s'intéresser également à ceux en bon état afin de discerner si ces différences sont liées à des compositions chimiques diverses ou si les causes sont à chercher ailleurs. Dans certains cas exceptionnels où deux morceaux de zip avec la même référence présentent des comportements et dégradations différentes, chacun est prélevé.

Par ailleurs, la question « quoi prélever ? » couplée à « combien prélever ? », s'est rapidement posée. Les premières analyses effectuées sur des prélèvements réalisés sur des œuvres, montrent que l'adhésif et le film du zip sont parfois difficiles à voir sur de si petits morceaux et de plus sur des matériaux transparents. Aussi, quand cela est possible, le zip est prélevé, film et adhésif ensemble, et de l'adhésif est prélevé seul. Cela permet de s'assurer que les 2 composants principaux du zip sont bien disponibles pour analyse. En effet, dans certains cas, l'adhésif n'est plus sur le film mais sur le papier. D'autre part, l'obtention de la signature spectrale de l'adhésif seul, permet de réaliser des soustractions de spectres si nécessaire, lors de l'analyse du film.

Les prélèvements de zip, film et adhésif ensemble, sont réalisés de façon à être le moins visibles possible : tout d'abord par leur très petite taille et ensuite par le choix de leur localisation. Les morceaux prélevés sont de l'ordre du millimètre. Ils sont prélevés sur les bords des éléments de zip, en privilégiant des zones sans motif, ou superposées à un tracé, ou encore de petites excroissances ne suivant pas la ligne de la découpe (Figure 118). L'adhésif prélevé seul, est en bordure ou sous un morceau de film.

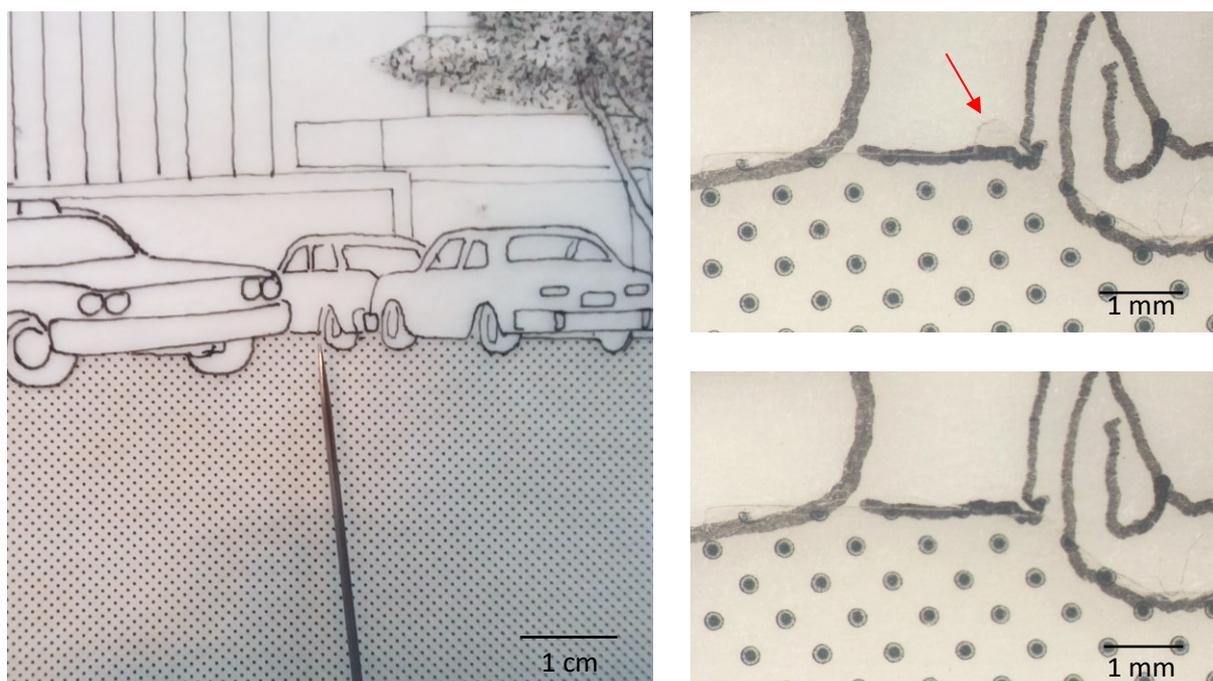


Figure 118 : Localisation du prélèvement d'un zip par prise de vue, à gauche, et sous loupe binoculaire, à droite, avant, en haut, et après prélèvement, en bas, sur le dessin 680.2014.1. ©M.Duranton/MoMA

Après de premiers essais sur l'échantillonnier pour se familiariser avec la matière et au moyen de la prélever, des tests sont réalisés sur les collections avec différents outils. Le prélèvement du film se fait suivant son accroche au support et sa localisation à l'aide d'un scalpel ou de ciseaux. Le prélèvement de l'adhésif avec différents outils est également testé : prélèvement au scalpel, à la micro-pointe métallique et avec un fil de métal (Figure 119). La solution ayant donné les meilleurs résultats pour un prélèvement rapide et facile est la micro-pointe métallique pour les adhésifs mous. Dans les cas où l'adhésif est encore pégué et tend à créer des bouloches, le recours à l'usage de pinces, type brucelles, s'avère nécessaire. De même, les méthodes pour

disposer l'adhésif sur les lames de verre peuvent varier en fonction du comportement de l'adhésif, par écrasement, étalement, pression, etc.

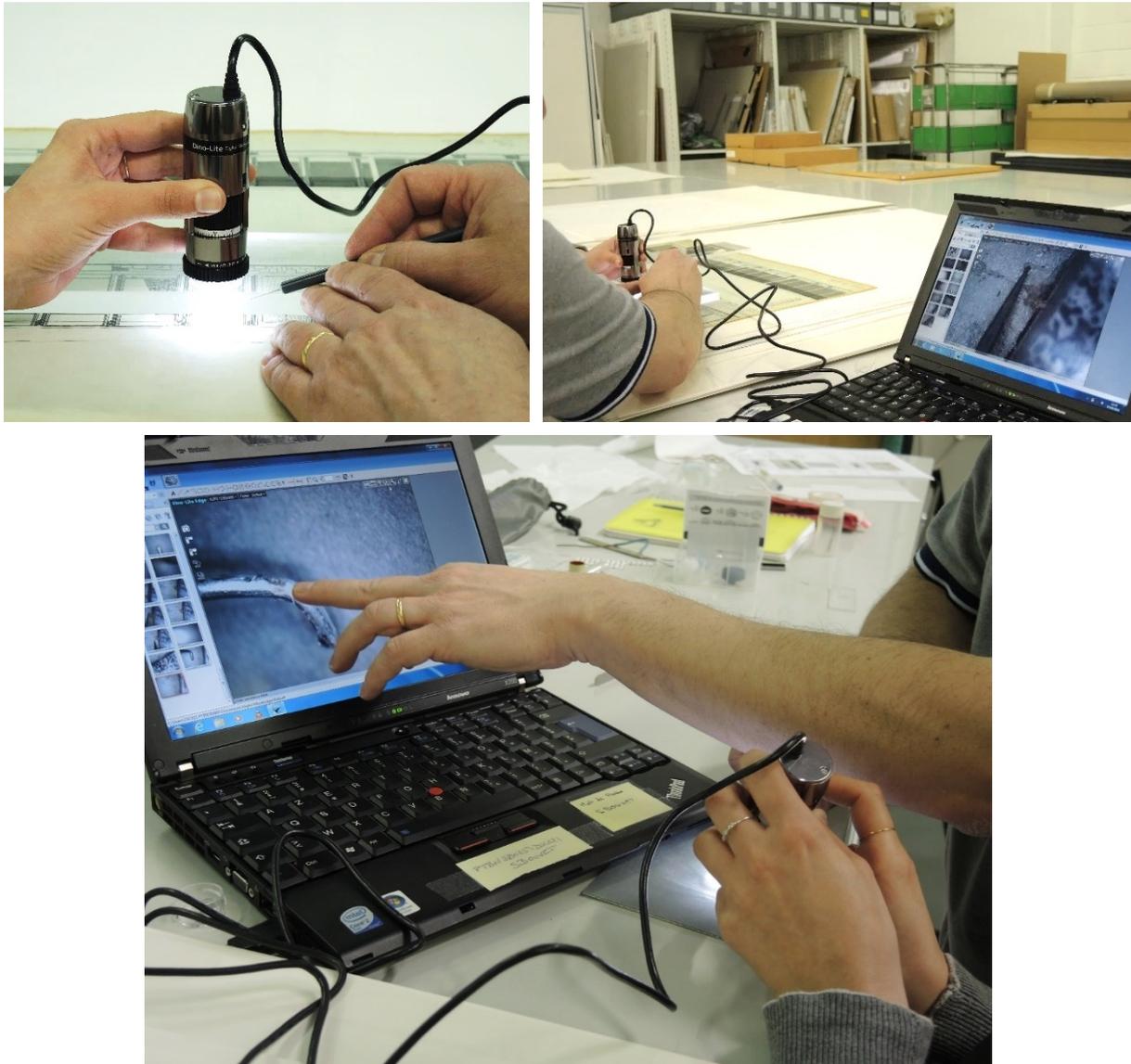


Figure 119 : Tests de prélèvement : sous microscope avec une micro-pointe métallique, en haut, et vérification après prélèvement de la présence d'adhésif sur le fil de fer, en bas.

Enfin, la question de savoir « qui prélève » se pose. En effet, plusieurs points sont à prendre en compte. La disponibilité des équipes des collections, des scientifiques et des équipements est un facteur important bien qu'il puisse sembler trivial. Ensuite, il faut noter qu'il est essentiel pour le scientifique qui réalise l'analyse de savoir, d'une part, où le prélèvement a été réalisé, dans quelle condition, avec quel matériel et d'autre part, noter le comportement des matériaux lors du prélèvement. Certaines de ces informations sont récoltées pour chaque analyse comme la localisation et le matériau. Cependant, les données issues du contexte de prélèvement n'en sont pas moins importantes. Le prélèvement par le scientifique réalisant ensuite l'analyse, est donc privilégié plutôt qu'une campagne de prélèvements par une personne, analysés ensuite par d'autre.

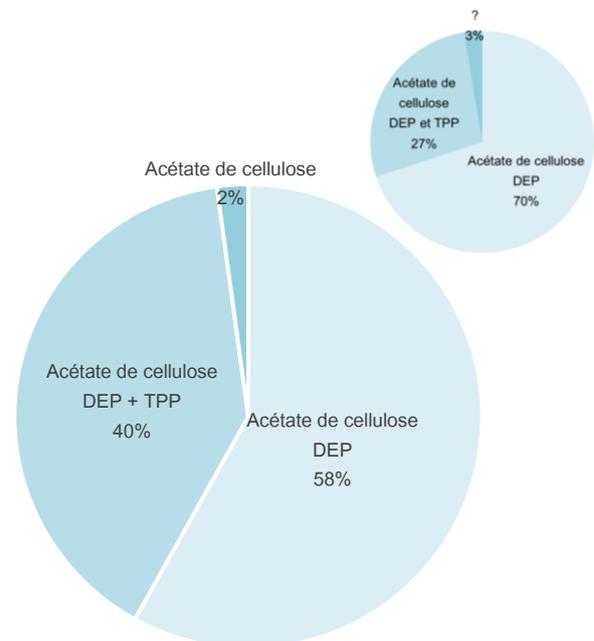


## B. Résultats des analyses

La caractérisation des matériaux a été menée en microscopie infrarouge ( $\mu$ IRTF), en transmission grâce à une cellule de compression diamant, au sein des laboratoires du MoMA, de l'INP et d'un IRTF-ATR au sein de la BnF<sup>202</sup>, sur 96 références de zip sur 41 dessins<sup>203</sup>. Il faut noter ici, que les spectres des films vieillis et dégradés sont particulièrement difficiles à exploiter. Afin de rester le plus juste possible, les interrogations qui demeurent ne seront pas lissées mais au contraire assumées.

### 1. Analyse des films

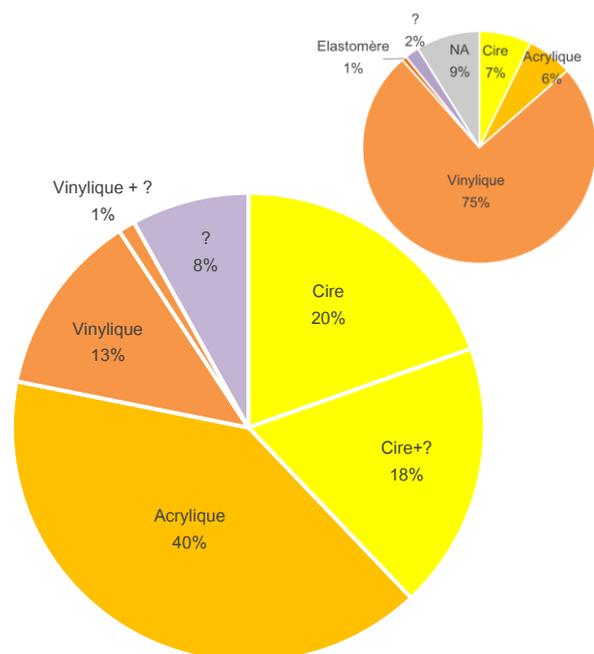
Les films des zips des dessins en collection sont tous en acétate de cellulose (Graphique 20). Ils présentent par ailleurs, les mêmes plastifiants que sur les zips de l'échantillonnier, à savoir des phtalates (DEP) et un mélange de phtalates et de phosphate de triphényle (DEP+TPP). Il n'est pas possible de déterminer s'il y a des plastifiants sur 2 des zips analysés. Comme sur l'échantillonnier, une majorité de film est plastifiée avec des phtalates (57 zips). Cependant, les proportions diffèrent et les films plastifiés avec le mélange des deux types de plastifiants, sont plus largement représentés (37 zips).



Graphique 20 : Ratio des films analysés, prélevés sur des dessins des collections étudiées et ratio de l'échantillonnier, pour rappel. Les pourcentages sont utilisés pour la comparaison avec l'échantillonnier.

### 2. Analyses des adhésifs

Pour les adhésifs analysés, les résultats sont bien différents de ceux obtenus lors de l'analyse de l'échantillonnier (Graphique 21). Les familles d'adhésifs majoritaires analysées dans les collections sont les cires (18 zips pour les cires seules et 18 zips pour les mélanges) et les acryliques (38 zips). Les adhésifs vinyliques qui sont représentés à 75% dans l'échantillonnier n'apparaissent dans les collections que sur 12 zips analysés. Par ailleurs, 1 zip présente un mélange de vinylique et d'un autre composé non identifié.



Graphique 21 : Ratio des adhésifs analysés, prélevés sur des dessins des collections étudiées et ratio de l'échantillonnier, pour rappel. Les pourcentages sont utilisés pour la comparaison avec l'échantillonnier.

<sup>202</sup> Laboratoire de l'INP : spectromètre Frontier couplé à un microscope Spotlight 400, Perkin Elmer®.

Laboratoire du MoMA : Nicolet iS50-FTIR couplé à un microscope infrarouge Thermo Nicolet Continuum.

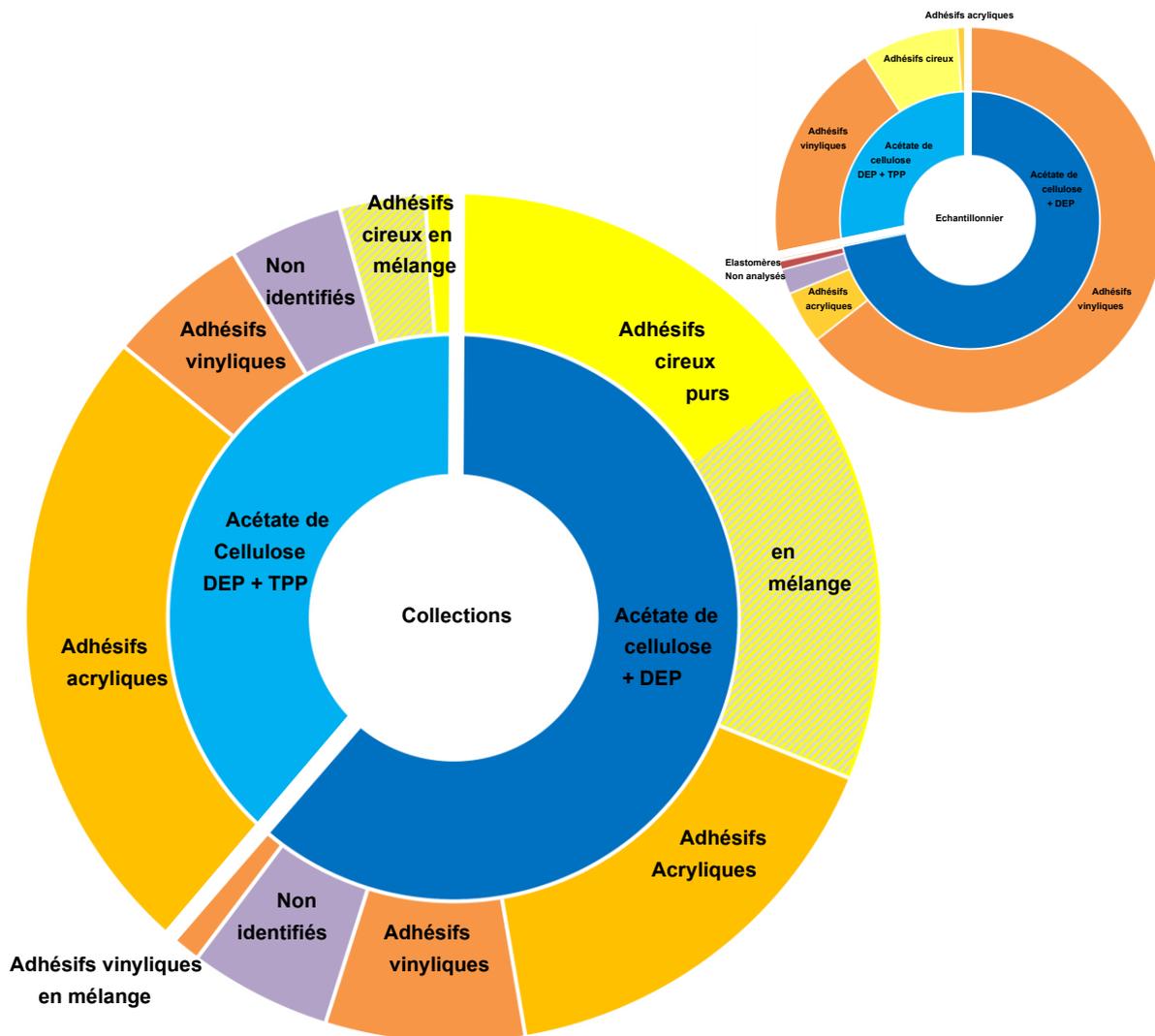
Laboratoire de la BnF : spectromètre Frontier, Perkin Elmer®.

<sup>203</sup> ANNEXE 3, p. 368, tableau de présentation des analyses des zips et de leurs dégradations.

3. Discussions des résultats d'analyse des zips

**Croisement des résultats d'analyses des films et des adhésifs**

La nature chimique des matériaux du zip dans les collections se retrouve dans les zips de l'échantillonnier (Graphique 22).



Graphique 22 : Récapitulatif de la composition des films et des adhésifs des zips analysés dans les collections et récapitulatif de l'échantillonnier, pour rappel.

Dans les collections, sur les œuvres analysées, la combinaison majoritaire est un film plastifié avec des phtalates et recouvert d'un adhésif à base de cire, suivie de près par les films plastifiés avec le mélange et enduit d'un adhésif à base acrylique. Les films plastifiés aux phtalates avec un adhésif acrylique sont également très présents. Les adhésifs vinyliques ne sont que très peu représentés et ceux quel que soit le type de film. Cela peut conforter l'hypothèse que les films collectés sont plutôt récents en mettant en lumière une possible évolution technologique où les adhésifs à base de cire sont les plus anciens, suivis par les adhésifs acryliques et enfin par les adhésifs vinyliques, les plus récents.

Comme pour les résultats des analyses sur l'échantillonnier, il faut garder à l'esprit que les analyses des collections ne sont représentatives que des dessins prélevés et que ces extrapolations sont de l'ordre de l'hypothèse.

Sur les dessins analysés, datés d'avant 1960, les zips utilisés sont constitués d'une seule combinaison : des films d'acétate de cellulose plastifiés avec des phtalates et enduits d'un adhésif à base de cire. A partir des années 1960, les analyses montrent les deux catégories de films et différents adhésifs, à base de cire, d'acrylique et de vinylique. Ces films et adhésifs différents sont peut-être présents avant 1960 mais ils n'ont pas fait l'objet d'analyses, ou peut-être qu'ils ne sont pas présents dans les collections, ou peut-être que les architectes ne les ont achetés et utilisés qu'à partir de cette date car ils utilisaient encore des feuilles achetées antérieurement. Par ailleurs, il faut également garder à l'esprit que des dessins de cette période peuvent être mal datés, peuvent présenter des zips ajoutés bien après leur date de création ou ont peut-être vu leurs zips changés.

A partir de ces mêmes années, plusieurs zips analysés sur un même dessin peuvent présenter un même type de film avec différents types d'adhésifs, différents types de films avec un même adhésif, ou encore des combinaisons différentes de films et d'adhésifs.

Après 1980, les analyses ne montrent que des films avec seulement des phtalates (et différents types d'adhésifs). Mais seulement quatre dessins de cette période ont fait l'objet d'analyses.

Par ailleurs, après 1973, les zips analysés ne présentent pas d'adhésifs cireux. Dans la mesure où ils sont utilisés avant, il est toujours possible qu'ils apparaissent dans des créations ultérieures et qu'ils soient passés au travers des analyses pour les raisons précédemment évoquées.

Contrairement à l'échantillonnier, les analyses dans les collections ne mettent pas en avant la présence d'adhésifs élastomères.

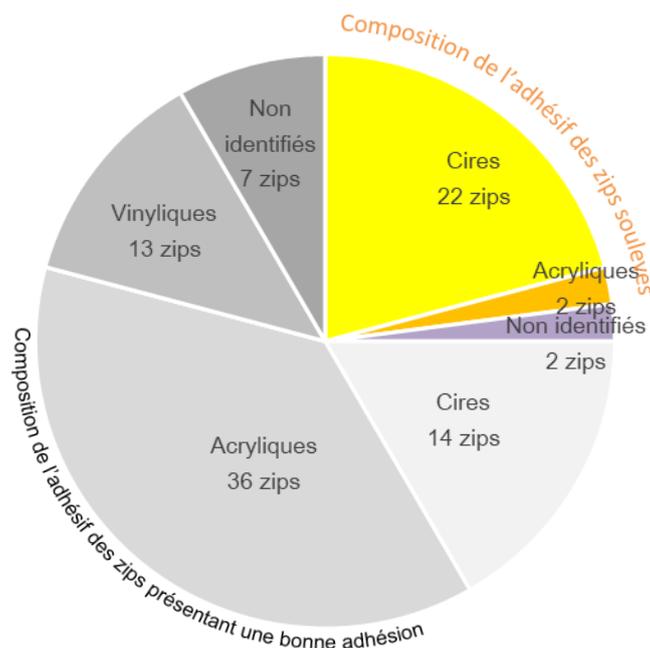
### **C. Croisement des données de l'évaluation des collections et de la caractérisation du zip**

Les campagnes d'analyses menées sur les collections permettent, si ce n'est d'établir une corrélation entre les dégradations observées et la nature chimique des différents composés du zip, au moins de souligner des tendances.

#### **1. Matérialité des soulèvements**

##### **Résultats croisés**

Sur les 96 zips analysés sur les collections du MoMA et du Centre Pompidou, 25% d'entre eux, soit 24 zips, sont concernés par des problématiques de soulèvement, qu'il soit partiel ou total, avec ou sans perte du film de zip (Graphique 23).



Graphique 23 : Répartition du phénomène de soulèvement au sein des collections étudiées et nature des adhésifs associés.

Pour les zips sujets aux soulèvements, les adhésifs identifiés sont à 83% (soit 22 zips) à base de cire, à 8% (soit deux zips) des adhésifs à base d'acrylique. Les adhésifs de deux zips n'ont pas pu être identifiés. Ces analyses permettent de montrer que les adhésifs décollés sont en quasi-totalité à base de cire. Cependant, tous les zips avec des adhésifs à base de cire ne sont pas décollés. En effet, sur les adhésifs identifiés à base de cire, un peu plus de la moitié sont décollés (soit 22 zips sur 38 zips).

Les analyses montrent que les zips soulevés dont l'adhésif peut être réappliqué un certain temps avant qu'il ne se ressoulève, présentent des adhésifs acryliques.

Les adhésifs présentant un jaunissement sont, quant à eux, tous identifiés comme étant à base de cire.

### Discussion et mise en perspective de la littérature

#### *Comportements des différents adhésifs*

Il est observé que des adhésifs avec des aspects très différents sont identifiés comme d'une même nature chimique. En effet, les adhésifs cireux peuvent être cassants ou au contraire avoir conservé un aspect mou. Ces différences de comportement peuvent s'expliquer par des variations de compositions, notamment dans le cas de mélanges. En effet, un changement dans la cristallinité et le poids de la molécule, obtenus par exemple par mélange, peut induire des comportements très différents<sup>204</sup>. Plus la cristallinité et le poids moléculaire augmente, plus la cire est dure et cassante. Les cires se retrouvent par ailleurs en mélange pour atteindre les propriétés recherchées : par exemple, la cire microcristalline présente des qualités adhésives que ne possède pas la paraffine : celle-ci est souple quand la première est dure<sup>205</sup>.

Les facteurs de dégradation peuvent influencer sur les comportements : par exemple une exposition à la lumière ou au contraire une conservation à l'abri de la lumière. Les cires présentent, entre autres phénomènes de

<sup>204</sup> HORIE Velson, *Materials for conservation, Organic consolidants, adhesives and coatings*, Oxford : Butterworth, 2000, 281 p., p. 87.

<sup>205</sup> DELCROIX Gilbert, HAVEL Marc, *Phénomènes physiques et peinture artistique*, Puteaux : Erec, 2000, 354 p., p.68-69.

dégradation, des jaunissements liés à la photo-oxydation, une baisse de ductilité<sup>206</sup> et donc une tendance à la rupture et enfin des phénomènes de réticulation induits par les rayonnements ultra-violet (UV).

Les adhésifs acryliques, quant à eux, ont conservés la plupart du temps un comportement plastique. Ces adhésifs issus de mélanges d'esters acryliques et méthacryliques sont en effet très stables par nature. Cela est d'autant plus vrai que leurs mélanges (en fonction de la nature et des proportions des mélanges) permettent d'obtenir les meilleures propriétés possibles pour la destination souhaitée<sup>207</sup>. Ainsi le butylacrylate, composé principal des adhésifs acryliques analysés sur les zips, est très souple et mou à température ambiante. Il présente une bonne résistance aux UV et à l'humidité mais ses qualités adhésives sont moyennes. En créant un copolymère avec du butylméthacrylate, l'objectif peut être d'augmenter les qualités adhésives mais également d'améliorer la résistance aux UV. De même, l'éthyle-2-hexylacrylate présente une excellente souplesse et une meilleure résistance à l'humidité. Par ailleurs, ces copolymères permettent de jouer sur la souplesse et la tenue de l'adhésif.

On notera que les zips avec des adhésifs vinyliques ne semblent pas sujets au phénomène de soulèvement. Cela semble cohérent avec la littérature. En effet, l'acétate de polyvinyle se dégrade peu sous l'effet de la lumière et n'est pas réticulé ou dégradé au contact de l'air. Cependant, les adhésifs vinyliques étant le résultat de mélanges, ils peuvent tout de même présenter des phénomènes d'oxydation. Par ailleurs, les adhésifs vinyliques sont sujet à l'écoulement à froid<sup>208</sup>, qui ne doit pas, dans le cas des zips être différencié des phénomènes de rétraction.

#### *Mise en perspective historique*

Pour remettre ces résultats dans une perspective historique, on peut dire que le comportement des adhésifs à base de cire – prompt au soulèvement – ainsi que leur forte présence au début de la période d'utilisation du zip, puis de leur raréfaction après les années 1970 (comme en témoigne leur quasi-absence de l'échantillonnier), renforcent l'hypothèse émise précédemment que les cires sont les adhésifs les plus anciens trouvés sur les zips.

Par ailleurs, la littérature souligne la sensibilité des cires aux rayonnements lumineux. Les dessins d'architecture sont des dessins techniques, même si la valeur esthétique de certains est indéniable. Ils n'ont donc probablement pas été exposés à la lumière par leur accrochage permanent. D'autant plus que leur format est parfois très imposant. Ces deux points sous-entendraient que la plupart d'entre eux aient été protégés de la lumière car non exposés et conservés pliés ou roulés pour une question de place. Alors, comment expliquer cette dégradation accrue des adhésifs à base de cire observés dans les collections ? Rappelons également que les effets de la lumière sont cumulatifs, et qu'il faut, pour les dégrader, « attaquer » par des expositions répétées ou intenses le « capital lumière » de la matière<sup>209</sup>.

---

<sup>206</sup> Propriété d'un matériau de se laisser déformer facilement. Larousse

<sup>207</sup> DELCROIX G., HAVEL M, 2000, *op. cit.*, p.80-81.

<sup>208</sup> L'écoulement à froid ou « *cold flow* » est la capacité de l'adhésif à s'étendre, à température ambiante, au-delà du support sur lequel il est couché, souvent du plastique ou du papier dans le cas des rubans adhésifs.

<sup>209</sup> MICHALSKI Stefan, *Agent de détérioration : Lumière, ultraviolet et infrarouge*, Ottawa : CCI-ICC, 2018.

L'explication peut être trouvée dans la pratique même des architectes avec le tirage des dessins sur calque. Le tirage des dessins se fait par insolation avec des sources de lumière, de plus en plus forte pour augmenter le rendement. Pour exemple, la tireuse S901 de la marque Regma, est annoncée dans une publicité avec un rendement de « 60 à 850 mètres/heure » avec des lampes ayant une puissance jusqu'à 6500W<sup>210</sup> (Figure 121). Il est par ailleurs amusant de noter que cette société, commercialisant des tireuses, est enregistrée sous le nom « La Cellophane ».

Ainsi, la recherche d'adhésifs résistants à la chaleur et à la lumière lors des tirages aurait conduit petit à petit à les abandonner au profit d'adhésifs tels que les acryliques ou les vinyliques. Cela peut être soutenu par l'observation dans les années 1970 de publicités vantant de nouveaux produits, dits « résistants » à la chaleur des tireuses<sup>211</sup>.



Figure 121 : Publicité pour des tireuses, vantant leur rendement, *L'Architecture d'aujourd'hui*, n° 163, 1972.

Enfin, les analyses menées sur les collections sont en accord avec l'évolution technologique concernant les adhésifs : les adhésifs acryliques sont développés à partir des années 1950 et les adhésifs vinyliques, la décennie suivante. La présence de cire plutôt que de résines élastomères, comme on en trouve pour les rubans adhésifs, est particulièrement intéressante et permet d'expliquer certaines dégradations observées.

## 2. Matérialité des rétractions

### Résultats croisés

Le croisement de l'évaluation de l'état de dégradation et des résultats des analyses sur les zips présentant des rétractions ne montrent pas de lien direct pour expliquer le phénomène.

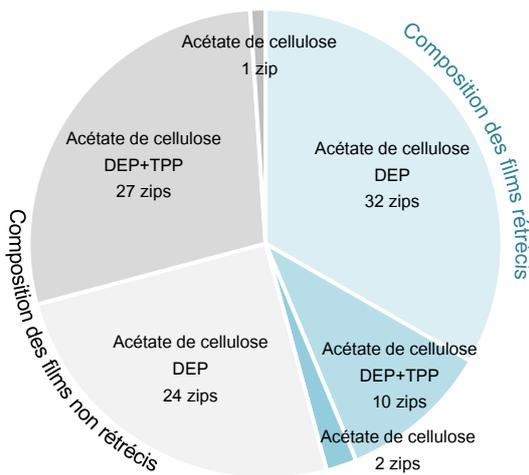
Dans les collections, les 44 films de zip présentant des rétractions sont majoritairement composés d'acétate de cellulose plastifié avec des phtalates, avec 65% des films rétrécis soit 33 zips (Graphique 24). Cependant, il n'est pas possible de dire que les films plastifiés avec des phtalates se rétractent systématiquement. En effet, seulement un peu plus de la moitié de ces films sont rétrécis, 33 contre 24 zips.

Les films composés d'acétate de cellulose plastifiés avec les deux plastifiants sont également sujet à la rétraction et représentent 22,5% des films rétrécis soit 10 zips. Contrairement, aux films avec des phtalates, les films plastifiés avec le mélange, présentent une plus grande proportion de films stables par rapport aux films rétrécis. En effet, environ trois fois plus de films avec le mélange sont stables et non rétrécis.

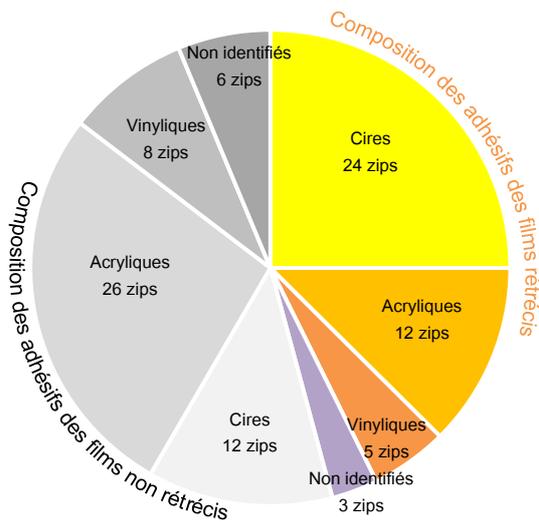
Enfin, les plastifiants de cinq des zips rétrécis et analysés ne sont pas identifiés.

<sup>210</sup> *L'Architecture d'aujourd'hui*, n° 163, 1972, p. LIII.

<sup>211</sup> Annonce dans la rubrique nouveaux produits de « films thermo-résistants », catalogue Mécanorma, n° 7, 1976, Bibliothèque nationale de France.



Graphique 24 : Répartition du phénomène de rétraction au sein des collections analysées et nature des films associés.



Graphique 25 : Répartition du phénomène de rétraction au sein des collections analysées et nature des adhésifs associés.

Comme cela a été présenté lors du constat d'état, il est apparu durant l'examen que l'adhésif semble avoir un impact en entravant la rétraction ou en la laissant libre de s'opérer. Les résultats des analyses réalisées dans les collections pour les adhésifs sont donc mis en relation (Graphique 25). Il est seulement possible de dire que les adhésifs à base de cire sont les adhésifs les plus associés à des phénomènes de rétraction et qu'ils sont plus représentés pour les zips rétrécis que pour les zips sans rétraction. Cette tendance est inversée pour les adhésifs acryliques et vinyliques, plus représentés sur les films non rétrécis que sur ceux dégradés. Ces résultats ne permettent cependant pas de tirer plus de conclusions en l'état.

### Discussion et mise en perspective de la littérature

La recherche sur la dégradation de l'acétate de cellulose commence dès les années 1970. Elle se concentre principalement sur les collections photographiques (négatifs et films). Pour la compréhension du comportement du film du zip, cette littérature est pertinente : les phénomènes de rétraction sont très courants dans les collections de négatifs photographiques et la littérature conséquente. Le choix de la bibliographie présentée ici est mené pour être au plus près des problématiques du zip.

#### *Description des stades de rétraction*

Le phénomène de rétraction des négatifs a été caractérisé dans plusieurs études. Il évolue selon 6 à 7 stades selon les études, ces stades pouvant parfois être concomitants. Les stades présentés ici sont ceux définis par le Centre Canadien de Conservation (ICC)<sup>212</sup>. Un des premiers symptômes, parfois même perceptible avant tout phénomène visible, est l'odeur de vinaigre qui se dégage des matériaux en acétate de cellulose, on parle alors de syndrome du vinaigre. Il semble qu'une dégradation du matériau bien engagée soit nécessaire afin qu'elle devienne perceptible. Sur les dessins avec zips, il est possible de percevoir une légère odeur de vinaigre. Cette odeur est bien plus importante pour les zips conservés en liasse dans les fins de stocks des magasins de Beaux-Arts. En effet, le syndrome du vinaigre est perceptible pour les feuilles de zip conservées en paquet, mais il n'est que peu présent dans les tiroirs des réserves où sont rangés les dessins avec zips sûrement car l'acide acétique est en partie absorbé par le papier des dessins, les cartons de montage et les pochettes de conditionnement. Le deuxième stade est le rétrécissement du négatif, sans que cela ne perturbe encore sa planéité. Un gauchissement du négatif apparaît ensuite, il est caractéristique du 3<sup>ème</sup> stade. Les observations des collections d'architecture présentent des comportements un peu différents en raison du caractère auto-

<sup>212</sup> HILL Greg, « Le soin des collections de négatifs sur support en plastique », dans *Bulletin technique* n°35, CCI-ICC, 2020.

adhésif du zip qui peut avoir tendance à entraver la rétraction. Aussi sur les dessins gauchis, on n'observe pas le jour en périphérie qui indique de manière manifeste la rétraction. Au stade suivant, la surface se craquelle. Le 5<sup>ème</sup> stade est caractérisé par la migration des plastifiants, résultant en un dépôt blanchâtre le long des bords<sup>213</sup>. Enfin, le dernier stade de dégradation est caractérisé par un si fort rétrécissement que les matériaux se séparent par endroit créant un phénomène dit « de tunnel ». Les dégradations décrites pour ces trois derniers stades ne sont pas observées au cours de notre étude.

#### *Mécanismes conduisant à la rétraction*

La détérioration de l'acétate de cellulose menant à des phénomènes de rétraction peut s'expliquer par deux mécanismes chimiques et/ou un mécanisme physique<sup>214</sup>. Bien entendu, ces mécanismes peuvent avoir lieu de façon concomitante et imbriquée.

L'hydrolyse de l'acétate de cellulose<sup>215</sup>, aussi appelée désacétylation ou dés-estérification<sup>216</sup>, est l'inverse de l'acétylation, qui est le mécanisme contribuant à la fabrication de l'acétate de cellulose à partir de la cellulose. La fonction ester du groupement acétate est hydrolysé et remplacé par un groupe hydroxyle sur la molécule de cellulose<sup>217</sup>. L'hydrolyse de l'ester avec l'humidité de l'atmosphère forme une fonction acide, de l'acide acétique. Cette perte des groupes acétates n'est pas aléatoire et suit un ordre particulier sur les sites de la molécule<sup>218</sup>. La formation d'acide acétique est l'origine du « syndrome du vinaigre »<sup>219</sup>.

La réaction s'accélère dans un environnement acide. La libération d'acide acétique contribue donc à l'accélération de la dégradation de l'acétate de cellulose jusqu'au point d'autocatalyse. L'autocatalyse est moindre sur les films car il n'y a pas le même effet de confinement que pour des objets : le rapport entre la surface et le volume est grand et permet une meilleure évacuation de l'acide acétique<sup>220</sup>.

En présence d'énergie lumineuse et/ou thermique<sup>221</sup>, les chaînes polymériques constituant la molécule de cellulose sont cassées. Cela engendre la baisse du poids moléculaire, l'augmentation de la solubilité de la molécule<sup>222</sup> et la réduction de sa viscosité, à la fragilisation du polymère et peut induire son rétrécissement. L'acétate devient de plus en plus acide en se détériorant, ce qui contribue à alimenter la dégradation<sup>223</sup>. Enfin, la scission des chaînes de polymères favorise l'oxydation des groupes carbonyles des cétones et les groupes aldéhydes et contribuant ainsi à la formation de chromophores qui sont la cause du jaunissement<sup>224</sup>.

<sup>213</sup> Il faut noter que la couleur des dépôts est liée à la nature des plastifiants, certains peuvent être incolore et/ou collants.

<sup>214</sup> ALLEN Norman, EDGE Michele, JEWITT Terrence, et al, "Stabilization of Cellulose Triacetate Base Motion Picture Film", dans *Journal of Imaging Science and Technology*, vol 36, n°1, 1992, p. 4-12.

<sup>215</sup> SHASHOUA Yvonne, *Conservation of Plastics, materials science, degradation and preservation*, Amsterdam, Boston : Betterworth-Heinemann, 2008, 286 p., p.180-184.

<sup>216</sup> HILL G., 2020, *op. cit.*

<sup>217</sup> SHASHOUA Y., 2008, *op. cit.*

<sup>218</sup> La perte intervient d'abord sur le 2<sup>ème</sup> carbone du cycle, puis le n°6 et enfin le 3. DEHRAM M., EDGE Michele, WILLIAMS D. et al, "The Degradation of cellulose triacetate studied by nuclear resonance spectroscopy and molecular modelling, in *Postprints of Polymers in Conservation conference*, 17-19 juillet 1991, Manchester, Royal Society of Chemistry, 1992, p.125-137.

<sup>219</sup> HILL G., 2020, *op. cit.*

<sup>220</sup> COUVERCELLE Jean-Pierre, « Dégradation de l'acétate de cellulose », présentation lors de la journée d'étude *L'acétate de cellulose dans tous ses états*, organisée conjointement par l'Inp et le C2RMF, le 22 mai 2018.

<sup>221</sup> LAVEDRINE B., FOURNIER A., MARTIN G., 2012, *op. cit.*

<sup>222</sup> RAM Tulsi, "Archival preservation of Photographic Films – a perspective" dans *Polymer Degradation and stability*, n°29, 1990, p.3-29.

<sup>223</sup> HILL G., 2020, *op. cit.*

<sup>224</sup> RAM A. T., 1990, *op. cit.*

Les plastifiants ajoutés au plastique pour améliorer ses propriétés peuvent migrer ou s'évaporer avec le vieillissement du matériau<sup>225</sup>. La perte des plastifiants est liée à deux mécanismes. D'une part, la compatibilité moyenne entre l'acétate de cellulose et le plastifiant concourt à un phénomène de démixtion. D'autre part, l'évaporation par pression de vapeur des plastifiants en surface crée un gradient de composition. Cela implique la migration de plastifiants vers la surface du matériau dans une recherche d'équilibre et d'homogénéité des composants. Le gradient de composition peut également être créé par l'extraction des plastifiants en surface, au contact avec un solvant par exemple. La perte des plastifiants contribue à réintroduire le caractère hydrophile de l'acétate de cellulose ce qui participe à la désacétylation qui contribue elle-même à affaiblir le couple acétate de cellulose/plastifiants et par là contribue à la migration des plastifiants. La perte des plastifiants entraîne une rétraction du film et une baisse de sa résistance mécanique<sup>226</sup>. Par ailleurs, la migration des plastifiants à la surface du matériau peut contribuer à modifier ses qualités de surface en provoquant une exsudation poisseuse dans le cas des phtalates et la possible formation d'efflorescence dans celui du phosphate de triphényle<sup>227</sup>. Aucun de ces deux phénomènes n'a été observé sur les collections. Enfin, la dégradation du phosphate de triphényle en phosphate de diphenyle et en phénol augmente l'acidité du matériau ce qui contribue à dégrader le matériau<sup>228</sup>.

Cependant, certaines études montrent que bien que la perte de plastifiants soit importante à ses débuts, elle tend à se stabiliser et il semblerait qu'il reste toujours un peu de plastifiants<sup>229</sup>. Cela implique que si aucun plastifiant n'est détecté, il est plus probable qu'il ne rentre pas dans la composition du film analysé plutôt qu'il ait entièrement disparu.

#### *Conditions environnementales favorisant la rétraction*

La dégradation des acétates de cellulose est décrite comme présentant une longue période d'induction avant une phase de dégradation accélérée et autocatalytique<sup>230</sup>. Des conditions environnementales avec une humidité relative haute accélèrent le processus de dégradation d'hydrolyse et celles sous forte chaleur favorisent la migration des plastifiants et catalysent la réaction d'hydrolyse. L'étude montre que pour des négatifs conservés dans le noir, dans des conditions de 25°C et 40% d'humidité relative, la perte de dimension est de 1 à 1,6% en un an.

La lumière, hormis les rayonnements ultra-violet (UV) lointains, ne semble pas jouer de rôle de dégradation déterminant pour les films d'acétate de cellulose<sup>231</sup>. Cependant la présence d'adjuvants dans les films peut néanmoins induire des réactions avec les UV.

Par ailleurs, la question est souvent posée pour les plastiques, de savoir s'il faut un conditionnement ouvert ou clos. Pour les acétates de cellulose, il semble préférable d'avoir une circulation d'air ou des absorbeurs pour éviter le confinement des produits acides et réduire l'effet d'autocatalyse<sup>232</sup>. Ainsi, le relativement bon état des films de zips est peut-être dû à leur petite surface au regard des dimensions des papiers sur lesquels ils sont collés et dans lesquels ils sont conditionnés.

<sup>225</sup> COUVERCELLE J.-P., 2020, *op. cit.*

<sup>226</sup> SHASHOUA Y., 2008, *op. cit.*

<sup>227</sup> RICHARDSON E., *et al.*, 2014, *op. cit.*, p. 231-236.

<sup>228</sup> SHINAGAWA Y., MURAYAMA M., SAKAINO Y., "Investigation of the archival stability of cellulose triacetate film: The effect of additives to CTA support", dans *Postprints of Polymers in Conservation conference*, 17-19 juillet 1991, Manchester, Royal Society of Chemistry, 1992, p.125-137.

<sup>229</sup> YARSLEY Victor, FLAVELL William, ADAMSON Peter, *et al.*, *Cellulosic plastics*, London: The Plastics Institute, 1964, 220 p.

<sup>230</sup> WAENTIG Frederike, « Cellulose acetate », in *Plastics in Art, A study from the conservation point of view*, Petersberg : Michael Imhof, 2008, p. 216-221.

<sup>231</sup> COUVERCELLE J.-P., 2020, *op. cit.*

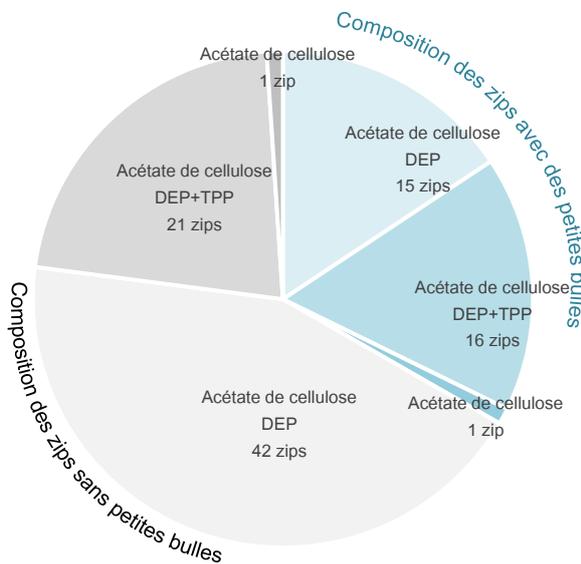
<sup>232</sup> EDGE Michele, ALLEN Norman, JEWITT Terrence, *et al.*, "Cellulose Acetate an Archival Polymer Falls Down", dans *Modern Organic Materials*, preprint, The Scottish Society for conservation & restoration, Edinburgh, 1988, p.67-80.

3. Matérialité des bulles

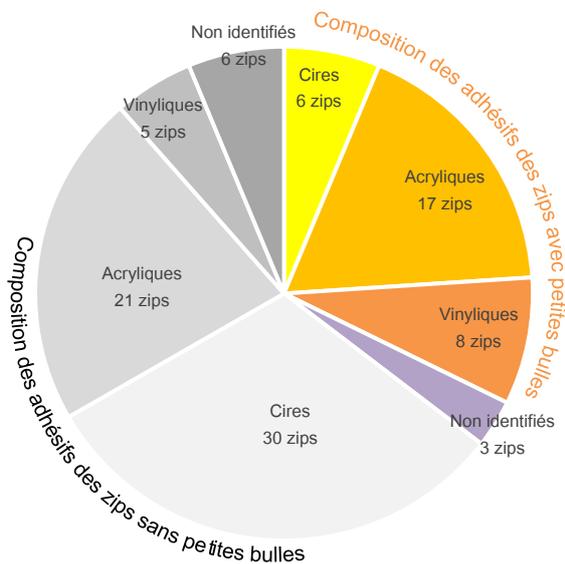
**Résultats croisés**

Il a été évoqué que les bulles rondes semblent survenir quand la zone recouverte du zip n'est pas propre et présente de petites particules en surépaisseur. La caractérisation de certains zips en collection est l'occasion de regarder si une tendance se précise ou si les analyses ne dégagent pas de tendance et vont donc dans le sens de cette hypothèse.

Les petites bulles sont présentes sur les deux types de film en proportions proches (Graphique 26). On remarque que le nombre de films dégradés est moindre que celui des films non dégradés pour des compositions équivalentes. Par ailleurs, les rétractions peuvent intervenir quelle que soit la nature de l'adhésif (Graphique 27).

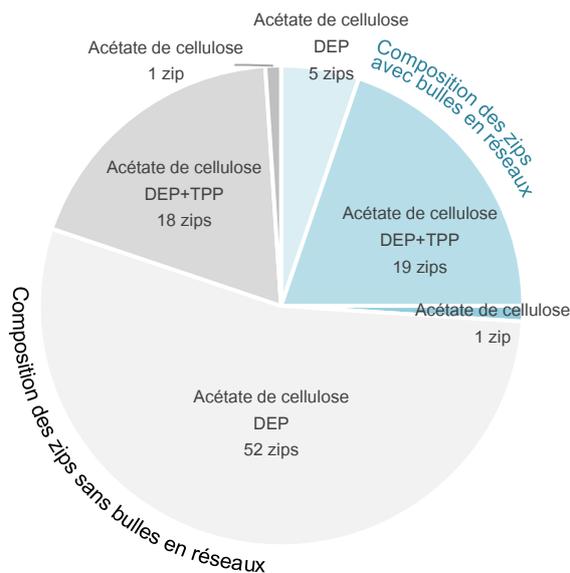


Graphique 26 : Répartition de la présence des petites bulles au sein des collections analysées et nature des films associés.

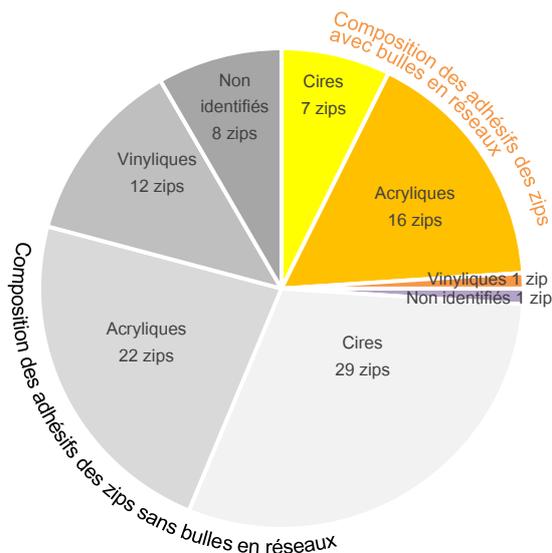


Graphique 27 : Répartition de la présence des petites bulles au sein des collections analysées et nature des adhésifs associés.

Pour les bulles en réseaux, les résultats des analyses sont différents, ce qui peut confirmer que les causes de constitution de ces deux types de bulles ne sont pas similaires. Les bulles en réseaux se retrouvent en grande majorité sur des films d'acétate de cellulose plastifiés avec le mélange des phtalates et du phosphate de triphényle (Graphique 28). Sur les zips analysés étant plastifiés avec le mélange, environ la moitié présente des bulles en réseaux. Par ailleurs, parmi les zips analysés qui présentent des bulles en réseaux, les adhésifs sont à base d'acrylique en majorité et à base de cire. Aucun adhésif vinylique n'est analysé sur les zips prélevés et présentant des bulles en réseaux.



Graphique 28 : Répartition de la présence de bulles en réseaux au sein des collections analysées et nature des films associés.



Graphique 29 : Répartition de la présence de bulles en réseaux au sein des collections analysées et nature des adhésifs associés.

### Discussion et mise en perspective de la littérature

Dans la littérature relative à la dégradation du matériel photographique, les phénomènes se rapprochant des bulles en réseaux observées sur les zips sont appelés *channelling* en anglais<sup>233</sup>. Ils constituent la dernière étape de rétraction des films des négatifs en acétate de cellulose<sup>234</sup>. Cependant, cette dégradation suit les étapes de rétraction précédemment mentionnées dont les gauchissements et le retrait dimensionnel. Sur les zips, les phénomènes des bulles en réseaux, et ce quelles que soit leur morphologie, ne présentent ni contrainte sur le papier de support ni rétraction visible. Par ailleurs, les bulles en réseaux parallèles ne sont pas décrites pour les négatifs. Il se pourrait donc que cette dégradation soit provoquée par d'autres mécanismes que ceux précédemment évoqués pour la rétraction des films en acétate de cellulose. Tout en donnant lieu à une morphologie semblant similaire. Il n'a pas été possible de trouver des explications de ce phénomène dans la littérature.

Une hypothèse pour la formation des bulles en réseaux, qui n'a cependant pas pu être approfondie, serait la création de cette dégradation par glissement du zip contraint sous l'effet de la conservation en rouleaux des supports en papier et papier calque. Le fait que les bulles en réseaux ne soient observées que sur des supports souples permet d'envisager cette piste. Cependant, la morphologie en grille de certaines bulles en réseau fragilise cette hypothèse.

<sup>233</sup> Le terme de *channelling* peut être traduit en français par « formation de galeries ou tunnels ».

<sup>234</sup> Cellulose Acetate Working Group, *Assessment Guidelines for managing Cellulose Acetate Collections*, 2001, 25 p.

### **Conclusion**

La caractérisation des matériaux constitutifs la matérialité dans les collections permet la mise en relation de la littérature spécifique à la dégradation des acétates de cellulose et des adhésifs identifiés avec les dégradations relevées sur les zips. Par ailleurs, ces résultats d'analyse permettent de rechercher des informations dans d'autres domaines que celui du dessin d'architecture et de considérer la littérature abondante concernant le patrimoine photographique.

La comparaison de la nature des matériaux de l'échantillonnier et de ceux des collections permet de valider que les zips collectés sont bien le même produit graphique que l'on trouve dans les collections. Le matériel de l'échantillonnier est donc un candidat éligible à la réalisation d'éprouvettes pour la mise en place de tests en vue de l'intervention sur les dessins. La présence dans l'échantillonnier de toutes les combinaisons analysées permet d'orienter le choix des zips pour la réalisation des éprouvettes vers une sélection représentative.

### Ce qu'il faut retenir de ce chapitre

- La caractérisation du zip se fait en deux temps : l'analyse d'un échantillonnier de 753 références non utilisées de zip et l'analyse de 96 zips sur 41 dessins des collections.
- Le film et l'adhésif sont analysés par spectroscopie IRTF soit en microscopie soit en mode ATR, si besoin la caractérisation est précisée par Py-GC-MS.
- Dans l'échantillonnier : les films sont tous en acétate de cellulose. Trois-quarts des films sont plastifiés avec des phtalates et un quart avec un mélange de phtalates et du triphényle phosphate. Les adhésifs sont majoritairement des adhésifs vinyliques mais on trouve également des adhésifs à base de cire, d'acrylique et d'élastomère.
- Dans les collections : les films sont tous en acétate de cellulose. Deux tiers des films sont plastifiés avec des phtalates et un tiers avec un mélange de phtalates et du triphényle phosphate. Les adhésifs sont majoritairement des adhésifs acryliques et à base de cire mais on trouve également des adhésifs vinyliques.
- Les phénomènes de soulèvement sont liés en grande majorité à un adhésif à base de cire qui réticule et s'oxyde principalement sous l'effet de la lumière.
- Les phénomènes de rétraction interviennent sur les deux types de films mais avec une prédominance des films plastifiés seulement aux phtalates. La rétraction est liée à la dégradation de l'acétate de cellulose et à la migration de ses plastifiants. Les adhésifs majoritairement présents sur les films rétrécis sont à base de cire et d'acrylique. Il semble en effet qu'une forte adhésion contribuerait à la contraindre.
- Les phénomènes de bulles rondes ne semblent pas liés préférentiellement à une matérialité du film ou de l'adhésif.
- Les phénomènes de bulles en réseaux semblent liés préférentiellement aux films plastifiés avec le mélange des phtalates et du triphényle phosphate et intervenir sur des films enduits d'adhésifs à base de cire ou d'acrylique.





**ÉLABORATION DE PROTOCOLES DE  
TRAITEMENTS POUR LA  
CONSERVATION-RESTAURATION DU ZIP**



## CHAPITRE 4 : DEFINITION DU PROJET DE CONSERVATION-RESTAURATION DES ZIPS

---

L'étude des sources historiques et celle des collections permettent de mieux comprendre l'usage que les architectes ont fait du zip dans leur production graphique. Par ailleurs, quand elle est croisée avec l'étude de la matérialité, l'évaluation des collections permet une meilleure compréhension du comportement des matériaux, de leurs sensibilités et des dégradations qu'ils peuvent présenter. Ces informations sont primordiales pour pouvoir poser un diagnostic.

Les dégradations soulevant le plus de questions en amont d'une possible intervention sont les dégradations intrinsèques des matériaux constitutifs du zip : la dégradation des adhésifs entraînant des phénomènes de soulèvement, la dégradation du film et de ses plastifiants provoquant sa rétraction ou encore une dégradation du film facilitée par l'adhésif qui contribue à la formation de bulles en réseaux.

Par ailleurs, aucun traitement n'est systématique. Il est nécessaire d'évaluer si une intervention de conservation-restauration est nécessaire ou non : si, par exemple, le risque représenté par l'intervention, sur le court ou le long terme, est jugé trop grand, le traitement n'est pas engagé. Dans d'autres cas, une intervention peut ne pas être envisagée si l'œuvre dégradée est stable et que sa perception n'est pas altérée. La décision d'intervenir comme celle de ne pas intervenir, est réfléchie et prise de façon collégiale avec les responsables de l'œuvre mais de fait, le conservateur-restaurateur porte la responsabilité de son exécution<sup>235</sup>. Dans l'optique de préserver les biens culturels, de les rendre accessibles au plus grand nombre ainsi qu'aux générations futures<sup>236</sup>, il doit par ailleurs être en mesure de reconnaître qu'une intervention est au-delà du champ de ses compétences et que des recherches préliminaires ou expérimentations sont nécessaires.

Le cahier des charges pour les interventions à mener est établi en suivant une méthodologie adaptée, afin d'avoir une vision globale et de pouvoir anticiper les différentes étapes. Il dresse un état des contraintes, des fragilités et autres éléments à prendre en compte. Enfin, il annonce les tests nécessaires et les moyens mis en œuvre pour la réalisation des interventions.

---

<sup>235</sup> European Confederation of Conservator-Restorers' Organisations, E.C.C.O., *Professional Guidelines II, The Code of Ethics*, 2003, 4 p.

<sup>236</sup> European Confederation of Conservator-Restorers' Organisations, E.C.C.O., *Compétences for access to the conservation-restoration profession*, 2011, 27 p.

## **Rappel des principes de déontologie de la conservation-restauration**

### **Pérennité du traitement**

L'intervention de conservation-restauration doit favoriser un traitement pouvant durer dans le temps. En effet, chaque intervention sur une œuvre présente des risques et un coût, leur récurrence est donc à limiter autant que possible.

### **Stabilité des matériaux**

Les matériaux ajoutés lors de l'intervention de conservation-restauration doivent être si possible neutres et stables dans le temps. Il faut s'assurer que les matériaux apportés au moment de l'intervention et mis en contact avec les matériaux d'origine, ne vont pas se dégrader trop vite et entraîner des dégradations qui ne seraient pas apparues sans eux.

### **Innocuité et compatibilité du traitement avec les matériaux d'origine**

Il est nécessaire de veiller à ce que les matériaux mis en contact avec les matériaux d'origine n'induisent pas de dégradations. Ces matériaux de restauration doivent être adaptés aux sensibilités des matériaux d'œuvre.

### **Minimalisme**

L'intervention doit être la plus minimale possible. Dans le cas où aucun traitement n'est pleinement satisfaisant et où l'action de restauration risque d'entraîner plus de dommages que de bénéfices, il est de la responsabilité du conservateur-restaurateur de ne pas intervenir.

### **Lisibilité de l'intervention**

L'intervention de conservation-restauration doit être lisible par un autre professionnel. L'intervention ne doit pas chercher à tromper l'œil sur l'état réel de l'œuvre. Par ailleurs, les produits utilisés et les méthodes employées doivent être documentés dans un rapport ou une fiche d'intervention afin de pouvoir laisser une trace sans omettre ou cacher des éléments. Ainsi, lors d'un examen ou d'une future intervention, le professionnel peut avoir accès à une partie de l'histoire de l'œuvre, afin de préciser la nature du nouveau traitement.

### **Respect de l'intention du créateur**

L'intervention doit être menée de sorte à respecter au mieux l'intention du créateur sans surinterpréter. Pour la bonne conservation des objets il est parfois nécessaire de faire des compromis mais le contexte de création et la démarche artistique doivent toujours être pris en compte.

### **Réversibilité**

L'intervention de conservation-restauration doit autant que faire se peut, pouvoir être inversée pour retourner à un état de l'œuvre aussi proche que possible de celui avant l'intervention. Il est aujourd'hui admis que la réversibilité n'existe pas. Cependant, il doit être possible de dérestaurer, de retirer ce qui a été ajouté, en vue de pouvoir éventuellement retraiter si le traitement initial n'assure plus son objectif, pour diverses raisons.

## I. Réflexions autour de la nécessité d'une intervention

### A. Phénomènes de soulèvements

Le traitement visant à stabiliser les phénomènes de soulèvement induit le recours à un adhésif. En effet, il s'agit de pallier le matériau dégradé dont le rôle n'est plus assuré. L'intervention présente des avantages et des inconvénients qui doivent être évalués pour envisager ou non une intervention.

#### 1. Principe du collage en art graphique

Le collage est une opération fréquente dans le domaine de la restauration des œuvres sur papier : il peut intervenir pour la consolidation du support papier déchiré ou de couche picturale fragilisée, pour le montage des œuvres avec la pose de charnière ou encore pour préparer et isoler une zone destinée à recevoir une retouche.

Dans le cas des zips comme pour la plupart des collages, les surfaces à coller doivent être propres et saines afin d'en assurer la pérennité<sup>237</sup>. Repositionner un zip soulevé implique donc le nettoyage préalable des surfaces du zip et du papier. Par ailleurs, la couche d'adhésif ne tenant plus son rôle ne peut être considérée comme saine : il s'agit d'une couche dégradée qui serait une zone privilégiée pour une future rupture si laissée en place lors d'un nouveau collage. Le retrait de la couche d'adhésif d'origine semble donc nécessaire.

La deuxième étape de l'intervention est d'appliquer un adhésif de substitution. Cet adhésif doit être stable dans le temps pour assurer une conservation sur le long terme, neutre chimiquement et mécaniquement afin de ne pas engendrer de dégradation sur les matériaux d'origine, papier et technique graphique, plastique et encre d'impression du zip. Enfin, ce collage doit pouvoir être démonté sans risquer de dégrader le zip ou le support durant ce retrait pour répondre aux principes de dérestauration et de retraitabilité.

#### 2. Arguments en faveur d'une intervention

Les phénomènes de soulèvement et le risque de perte de zip qu'ils représentent, posent différents problèmes au regard de la destination du dessin, de son contexte de création et de la préservation des collections nationales.

#### **Préserver l'intention du dessinateur**

Comme nous l'avons vu, le zip est utilisé préférentiellement sur des dessins de rendu. Ces dessins ont pour vocation de transmettre la vision de l'architecte, de séduire et de convaincre. Ainsi, si on perd le zip, le message véhiculé par son impression disparaît et le message de l'architecte en est modifié.

Plusieurs cas montrent le décollement total de morceaux de zip mais un seul dessin, jusqu'à présent, présente la perte totale du zip qui le recouvrait. Le dessin est aujourd'hui sans zip mais il est pourtant compréhensible. Cependant, une photographie d'archive prise avant son entrée dans les collections nationales en 1996 en donne une vision toute différente (Figure 122). Le contexte du décollement des trois morceaux de zip n'est pas connu, ni le moment auquel il est advenu, avant son entrée en collection ou après. Mais on peut imaginer que

---

<sup>237</sup> DOWN J., 2015, *op. cit.*

des morceaux de cette taille ne tombent pas sans être visibles. D'autant que le changement visuel est saisissant et le rendu particulièrement éloigné.

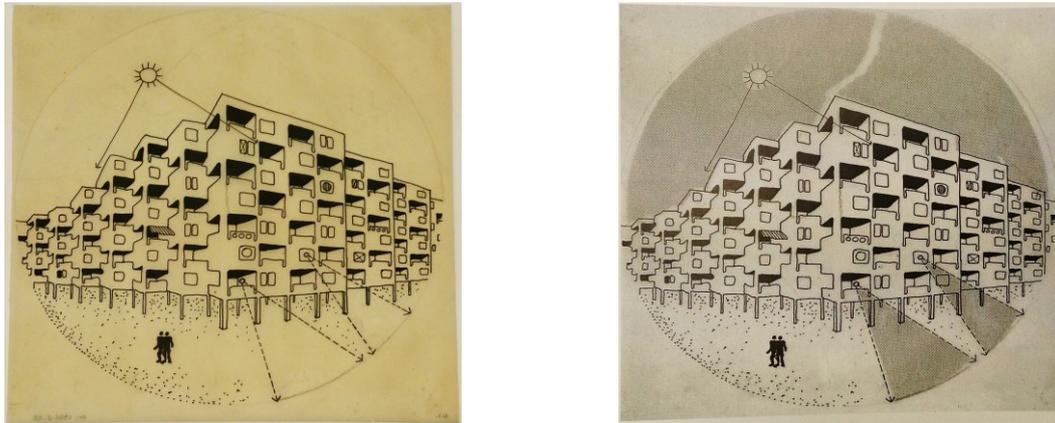


Figure 122 : Cliché du dessin de Candilis, AM 1996-2-42, datant de septembre 2014, à gauche, et photographie d'archive d'avant 1996<sup>238</sup>, à droite.

Par ailleurs, c'est une de nos hypothèses, le zip ne serait pas utilisé uniquement pour son image mais également pour sa matérialité. Son aspect brillant et son caractère industriel sont particulièrement forts visuellement, mais ils inscrivent également le dessin et par là l'architecte et son architecture dans une dynamique moderne, avant-gardiste. Il s'agit d'une position affirmée, parfois en révolte contre l'académisme, parfois novatrice et osée. En perdant le zip, ce n'est ainsi pas seulement l'image de celui-ci que l'on perd mais également ce qu'il représente en tant qu'outil graphique.

Par ailleurs, dans le cas présent, il existe une trace du dessin tel que l'architecte l'a pensé. Cependant dans la plupart des pertes de zip, il n'est pas possible de savoir quelle référence était collée et donc quel était l'aspect voulu par le dessinateur.

### Perte de lisibilité

Les interruptions de motifs et d'aplats colorés ou la perte de morceaux entiers impactent la perception du dessin à différents niveaux. L'estimation de ces manques est cependant possible, dans plusieurs cas, grâce à la documentation photographique ou aux tirages d'époque. La vue d'intérieur de la maison les Jours Meilleurs, dite de l'Abbé Pierre, de Jean Prouvé en est le parfait exemple (Figure 123). La présence d'un contre-calque d'état intermédiaire, réalisé au moment de la création du dessin, permet aujourd'hui d'évaluer les manques et de mesurer à quel point la perte de zip altère la compréhension du dessin.

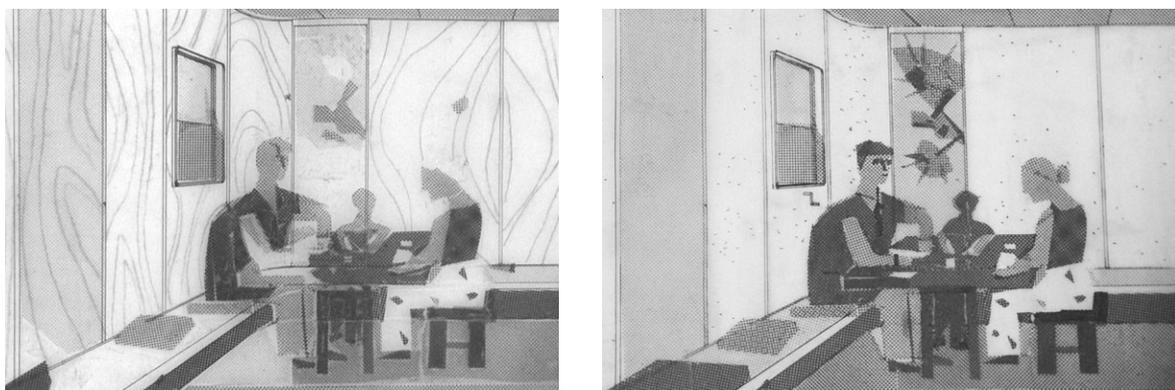


Figure 123 : Détails de l'original et du contre-calque de la perspective intérieure de la *Maison des Jours Meilleurs*, AM 2007-2-415 (0001 et 0002).

<sup>238</sup> Reproduction issue de GUIHEUX Alain (dir.), *Collection d'architecture du centre Georges Pompidou, Projets d'architecture*, Paris : Éditions du Centre Pompidou, 1998, 352 p., p.72.

L'existence de ce contre-calque permet à la fois de connaître le dessin dans sa version d'origine, mais également d'évaluer l'impact que peuvent avoir des soulèvements et la perte du zip sur l'appréciation d'un dessin. Par ailleurs, la question de la consolidation se pose afin de stabiliser les éléments en train de se soulever mais il peut être estimé que les dommages sont déjà tellement importants que le dessin n'a plus l'impact visuel que Prouvé lui destinait.

### Perte d'informations techniques dans le cas des dessins prescriptifs

Les réflexions précédemment posées peuvent entrer en résonance avec la question du risque de perte de zip dans les dessins prescriptifs. Dans ces dessins, le zip porte des informations techniques que ce soit pour le choix de matériaux ou la définition d'espaces spécifiques (Figure 124). Le zip est alors aussi important que d'autres éléments permettant de comprendre le dessin et le projet qu'il sous-tend, au même titre par exemple que les cotes.

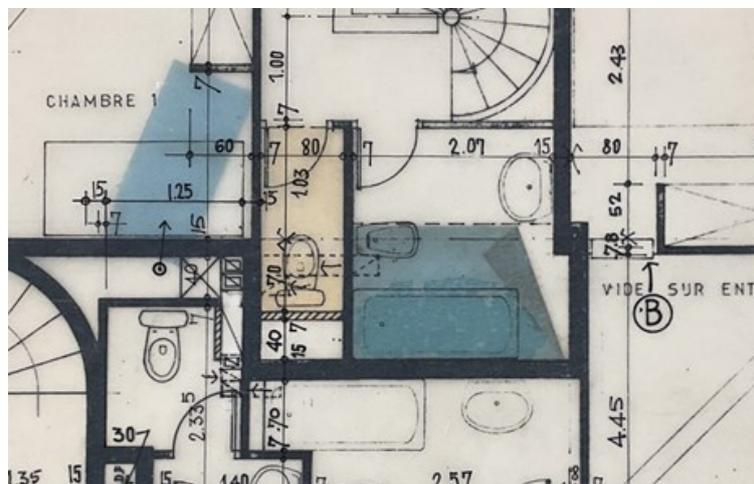


Figure 124 : Détails de zips détachés et en cours de soulèvement, appliqués pour délimiter des espaces spécifiques, AM 2009-2-196.

Dans certains cas, les résidus d'adhésif sur le papier permettent de maintenir l'idée d'un zip aujourd'hui disparu. Cependant, la question de son aspect, dès lors qu'il est perdu reste ouverte. En effet, si le dessin ne présente qu'un type de zip, il est possible d'imaginer qu'il s'agit du même zip. Mais, il est également juste de penser que le zip manquant est d'une autre référence, peut-être même d'une nature différente, ce qui pourrait expliquer qu'il soit manquant tandis que l'autre référence est toujours présente.

### Confusion entre dégradation et retrait intentionnel

Le soulèvement des zips et leur perte peuvent induire des confusions quant à l'intention du créateur sur le rendu du dessin. Le cas se pose notamment avec un dessin de Le Corbusier sur le système de proportion du Modulor (Figure 125).

Ce dessin est réalisé à l'encre noire avec cinq références de zip, sur un papier vélin assez fort. Les zips illustrent la succession et répétition des séquences de proportions. Les éléments les plus grands de chaque répétition montrent des traces d'adhésif, aujourd'hui bien visibles car encrassées. Cependant, les éléments de zip subsistent dans les deux plus petites séquences (en bleu plus clair). Il est alors possible de s'interroger sur le contexte dans lequel les éléments de zip les plus gros sont dissociés du dessin. En effet, il semble, en premier lieu, que ces zips aient été retirés par Le Corbusier à la suite d'un changement d'idée ou face à une représentation finale ne lui convenant pas. Cependant, pourquoi deux éléments subsistent ? Il aurait enlevé les plus grands et aurait estimé que les petits ne changeaient pas grand-chose visuellement. Une autre hypothèse serait que ces éléments se sont soulevés et ont été perdus. Mais dans ce cas-là, cette dégradation serait spécifique à ce zip et ne toucherait que les grands éléments. Les différentes hypothèses sont permises.

Ainsi, la question des soulèvements et leur évolution vers la perte totale des éléments de zip peut se retrouver au centre de réflexions avec des enjeux plus profonds que la simple perte matérielle.

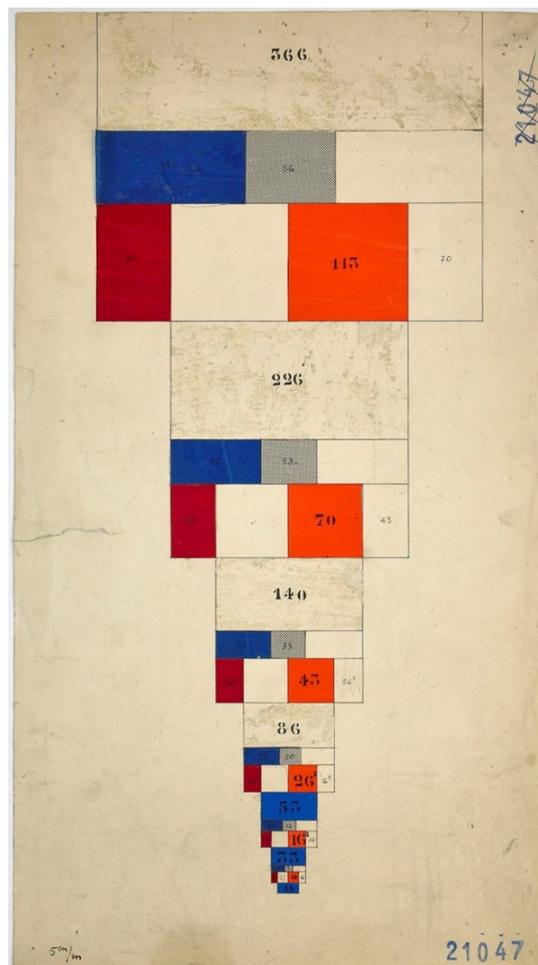


Figure 125 : Séquence de proportion du Modulor présentant l'emploi de zip, FLC 21047. ©FLC

### Perte d'informations technologique

Enfin, la perte d'éléments de zip des dessins sur lesquels il était utilisé, concourt à une perte d'information sur la matière même du zip. Si des résidus d'adhésif peuvent être observés sur le papier, cela ne permet pas d'extrapoler la nature ou l'état du film ni les caractéristiques de l'impression. Ces informations ne sont pas forcément nécessaires à la mise en place de traitement de restauration mais elles permettent d'améliorer les connaissances sur le zip.

Ces arguments en faveur d'une intervention pour stabiliser les zips décollés sont nombreux et soulèvent des points cruciaux pour conserver le zip tant pour son image que pour sa matérialité.

Cependant, il existe également des arguments défavorables à une intervention de conservation-restauration.

### 3. Arguments contre une intervention

#### Incompatibilité avec le principe de réversibilité

L'intervention de conservation-restauration doit suivre le principe de réversibilité. Cela implique qu'il doit être possible, après une intervention, de revenir à l'état de l'œuvre antérieur à cette intervention. Ce principe énoncé

dans les années 1990, a petit-à-petit laissé la place aux principes de dérestauration<sup>239</sup> et de retraitsabilité<sup>240</sup>. Il est effectivement difficile de parler de réversibilité ne serait-ce que pour le traitement le plus immédiat du dépoussiérage : il semble incongru d'imaginer conserver la poussière dans l'éventualité où l'on voudrait la réappliquer sur l'œuvre. Ainsi, la retraitsabilité induit plutôt l'idée que tous produits apportés par le conservateur-restaurateur comme un adhésif ou une retouche, doit pouvoir être retiré sans dégradation de l'œuvre.

Dans le contexte du traitement des soulèvements, l'intervention ne peut pas se conformer à la réversibilité car un collage nécessite le retrait de l'ancienne couche d'adhésif et la pose d'un nouvel adhésif. Ainsi se pose la question de la conservation de la matière originale. Par ailleurs, il est important d'envisager une approche pouvant permettre la dérestauration à savoir, la dépose du zip du support et le retrait du nouvel adhésif appliqué et la retraitsabilité à savoir la possibilité d'appliquer un autre adhésif pour reposer le zip à nouveau.

### **Modification de la technologie**

Par ailleurs, on pourrait objecter que le changement de l'adhésif induit une modification de la technologie d'origine. Cela peut être avancé si l'on considère le zip dans son ensemble, comme un tout dont on ne pourrait changer tout ou partie. Ce point de vue défendrait la matérialité du zip en la faisant primer sur la défense de l'intégrité du dessin et sur ses visées esthétiques. Cela peut s'entendre pour les dessins prescriptifs mais ne semble pas adapté aux dessins de rendus pour lesquels le visuel prévaut.

### **Absence de solution de traitement**

Enfin, l'argument majeur qui s'oppose à une intervention de conservation-restauration pour le traitement des soulèvements est lié au fait que les connaissances ou l'expérience ne permettent pas en l'état d'engager une intervention sans risque sur le court ou long terme pour les matériaux en présence.

### **Mise en perspective des arguments opposés à l'intervention**

Les arguments précédemment évoqués sont tout à fait valables. Cependant, il faut noter que si le traitement des soulèvements ne peut pas soutenir le principe de réversibilité, il peut tout à fait être en accord avec le principe de retraitsabilité ou dérestauration. La question de la conservation de la matière n'est pas nécessairement opposée au retrait de l'adhésif. Il arrive couramment de garder un échantillon de matière retirée lors d'une restauration, conservé par la suite dans le dossier d'œuvre. Ainsi, il peut être envisagé de récupérer une partie de l'adhésif d'origine lors de son retrait et de le garder dans un sachet avec le rapport d'intervention, par exemple.

Par ailleurs, il est vrai que le changement de l'adhésif change la technologie du zip. Mais cette intervention est documentée par un rapport décrivant les interventions exécutées sur l'œuvre afin d'éviter toute accusation de falsification de la matérialité. Certes, l'aspect matériel du zip est important, et il faut conserver sa stratigraphie, mais la nature chimique de l'adhésif (si variée sur les zips) ne semble pas devoir primer sur l'impact visuel recherché par son utilisation.

Enfin, le dernier argument est le plus solide : sans traitement préalablement testé pour s'assurer qu'il ne présente pas de risque pour les dessins et les zips, aucune intervention ne devrait être engagée. Cependant, la réalisation de tests et l'obtention de résultats satisfaisants peut permettre de rendre caduque ce dernier argument.

---

<sup>239</sup> La dérestauration est le fait de retirer ce qui a été ajouté par le conservateur-restaurateur.

<sup>240</sup> La retraitsabilité est le fait de pouvoir intervenir sur l'objet déjà restauré à une date ultérieure, l'intervention de restauration initiale n'empêchant pas tout autre traitement.

## B. Phénomènes de rétraction

L'acétate de cellulose n'est pas un matériau fréquemment rencontré par les conservateurs-restaurateurs d'art graphique. Cependant, la remise à plat des œuvres d'art est une pratique courante pour le traitement des œuvres en 2D. Cette intervention étant assez lourde, il semble judicieux d'évaluer le pour et le contre.

### 1. Principe d'un traitement dimensionnel

Encore une fois, aucun traitement n'est systématique et une telle intervention ne peut être envisagée sans l'évaluation préalable du rapport gain/risque et de la pertinence d'une telle intervention. Elle peut être obtenue par pression ou par tension. L'intervention de remise à plat peut être précédée ou accompagnée d'une relaxation des matériaux par augmentation de l'humidité relative, apport de chaleur ou les deux cumulés. En restauration des œuvres sur papier, le choix se porte sur un apport d'humidité<sup>241</sup> et celui-ci se fait en fonction de la technique graphique, du type de support et de l'aspect des déformations de la planéité<sup>242</sup>. L'enjeu est de réaliser le séchage suivant l'humidification et la stabilisation du substrat en contrainte afin que les forces s'équilibrent dans la position recherchée.

Dans le cas d'éléments collés, ou de différentes épaisseurs, des solutions doivent être mises en place pour éviter de générer de nouvelles contraintes créant de nouvelles déformations. Souvent, il est préconisé de dissocier les éléments collés, de les remettre à plat séparément et de les remonter ensuite. Par ailleurs, il peut devenir nécessaire de retirer l'adhésif, rendu inutilisable par le décollage forcé et d'en changer.

### 2. Arguments en faveur d'une intervention

#### Préserver l'intégrité physique du zip

Comme cela a été précédemment mentionné, le zip par sa dégradation intrinsèque, induit des contraintes lors de sa rétraction sur lui-même et sur le support sur lequel il est fixé par l'intermédiaire de la couche d'adhésif (Figure 126). A partir d'un certain stade, le papier sous-jacent n'a plus assez de place pour absorber la diminution dimensionnelle et se décolle du zip par endroits. C'est à partir de ce stade que le rapport de force évolue. En effet, le papier en excès et décollé, n'est donc plus contraint par le zip mais va par là même, induire des tensions sur le zip tendu, ce qui le rend plus vulnérable à la rupture (Figure 127).



Figure 126 : Détail du dessin FLC 30192, où le papier sous le zip se détache sous la contrainte de la rétraction.

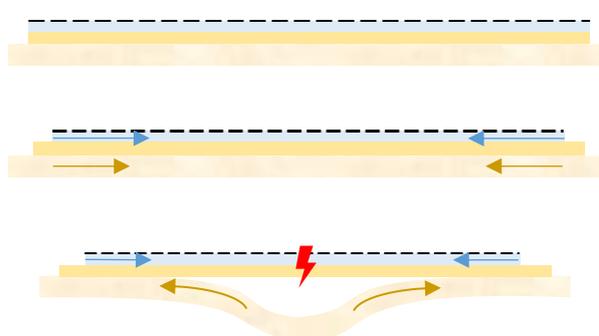


Figure 127 : Schéma des étapes conduisant au risque de rupture du zip, d'un état stable à l'état le plus dangereux.

<sup>241</sup> La fabrication du papier est réalisée en milieu humide, la remise dans un contexte avec une forte humidité permet de lubrifier les fibres pour qu'elles se réorganisent dans un état proche de celui d'origine.

<sup>242</sup> MUÑOZ-VIÑAS Salvador, "Understanding Paper Flattening. Principles and Problems of Common Flattening Techniques", dans *Arché*, n°1, 2006, p.145-150.

Ainsi, ces zones sont à risque du fait de leur tension et de l'absence de soutien du papier, mais en sus, elles sont plus vulnérables à l'impact de leur environnement et donc probablement sujettes à une dégradation plus rapide.

#### **Prévenir la perte des zips**

Les contraintes exercées par le zip pourraient devenir tellement importantes que l'adhésif ne serait plus suffisamment fort pour maintenir l'ensemble. Cela résulterait en une rupture entre le film et le support, occasionnant le risque de perte de zip comme dans le cas des soulèvements. Ce cas de figure, en cas de perte effective du zip serait par ailleurs très difficile à évaluer une fois le zip perdu.

#### **Prévenir des dégradations du support**

Les décollements du papier du film sont également un risque pour le papier. En effet, les dessins d'architecture sont conservés à plat pour les formats qui rentrent dans des meubles à plan ou en rouleaux pour les formats plus grands. Les dessins conservés en meuble à plan sont empilés : ils peuvent être organisés en pochette, montés sur carton, conditionnés avec des intermédiaires ou non. Le poids d'un dessin est négligeable mais le papier en liasse devient vite lourd. Aussi, dans le cas des dessins avec un zip dégradé ayant conduit au décollement du papier du zip, le papier décollé est « en trop » pour la planéité du dessin et peut être écrasé et plié si le poids qui lui est imposé est important. Il faut ici noter qu'un pli dans du papier correspond à la cassure des fibres. Bien qu'une remise à plat soit possible, la matière est cassée de façon irréversible. Cela peut être discret sur certains papiers mais sur le calque, la cassure des fibres induit une perte de transparence qui se traduit visuellement par un trait blanc. Par ailleurs, le problème peut se présenter également pour le conditionnement en rouleau où s'il est trop serré, le papier décollé et déformé peut être plié.

#### **Restituer la lisibilité de l'ensemble**

Le phénomène de rétraction peut également poser des problèmes de compréhension et de lisibilité des dessins concernés. L'exemple le plus parlant est un plan d'ensemble de Le Corbusier, réalisé pour l'unité d'habitation de Rezé en 1952. Ce plan est un grand format, sur lequel les alentours arborés de l'unité d'habitation et la pièce d'eau sont figurés avec des zips. La taille du dessin est telle que l'étendue est constituée de feuilles de zip raboutées puisqu'une aussi grande dimension n'était pas commercialisée. Le résultat devait être jugé satisfaisant par l'architecte et adapté à la diffusion de sa vision tant architecturale que graphique, car il pose, tenant ce même dessin, pour une photographie publiée en pleine page du numéro 7 de la revue *Zodiac*, en 1960 (Figure 128). En effet, le côté « mise en scène » de la photographie illustre le résultat de choix assumés, tant pour le dessin et la pose que pour l'arrière-plan.

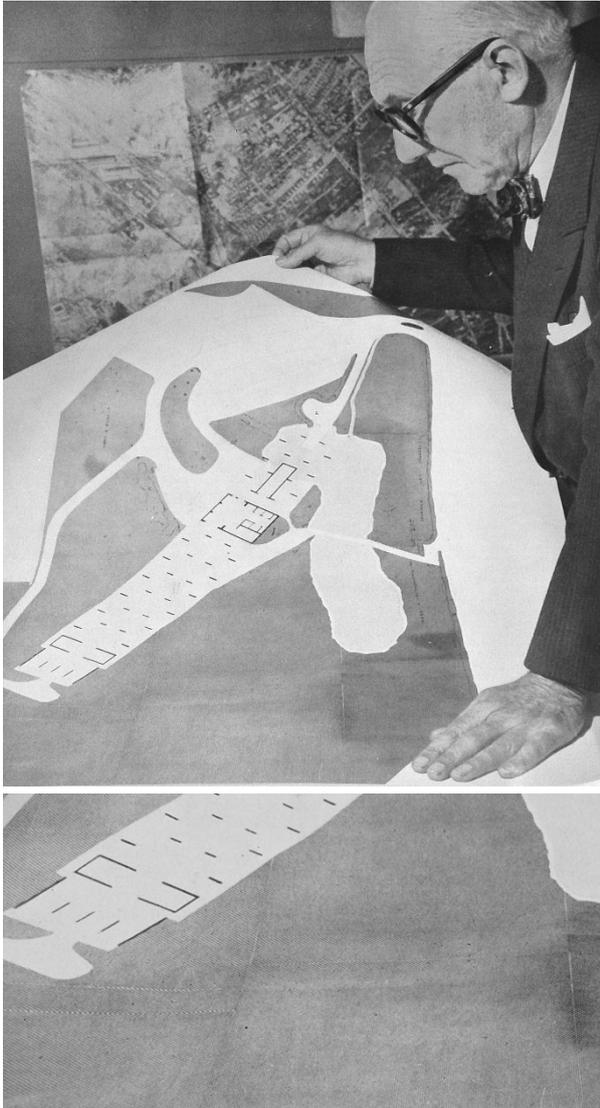


Figure 128 : Photographie publiée dans la revue *Zodiac* en 1960 et détail.



Figure 129 : Photographie du dessin FLC 31064 ©FLC, dans son état actuel et un détail.

Or, il se trouve que ce dessin est aujourd'hui très altéré (Figure 129). Les feuilles de zip figurant la végétation présentent d'importantes rétractions avec des détachements de papier nombreux et étendus : les zones plus sombres, visibles sur le dessin sont toutes des décolllements. Au-delà de son caractère dangereux pour l'intégrité physique des zips et le risque de les voir se détacher, ces rétractions entraînent un décalage entre les zips, qui peut mesurer plus d'un centimètre. Le résultat visuel de cette dégradation donne à voir un parcellaire. L'idée de la représentation initiale d'un grand espace continu de végétation est totalement perdue. D'autant plus que le plan parcellaire est par ailleurs un type de représentation en urbanisme. La dégradation fausse donc la lisibilité et par là, la compréhension de l'idée créatrice.

### 3. Arguments contre une intervention

#### **Pérennité non assurée**

Le phénomène de rétraction étant évolutif et lié à la dégradation intrinsèque du matériau, il semble que même dans le cas d'une intervention de remise en forme réussie, le phénomène pourrait revenir. Dès lors, l'intervention semble remise en question : il ne serait pas pensable de traiter les zips rétractés dans les collections tous les cinq ou dix ans.

### **Minimalisme**

Si dans les cas présentés précédemment le risque encouru par le dessin n'est pas remis en cause, pour d'autres où la dégradation n'induit pas autant de dangers la nécessité d'intervention n'est pas si évidente. En effet, le danger de la rétraction est concentré sur les tensions qu'elle provoque sur le support et l'éventuel décollement de celui-ci. Dans le cas de dessins sur carton ou carte, la rétraction n'implique pas de décollement puisque le support n'est pas souple. Ainsi, la rétraction s'exprime par un retrait dans le plan et par un décalage entre les zips et le tracé de contour. Le jour peut être gênant et une intervention peut être envisagée. Cependant, il ne s'agirait pas d'une intervention concernant le film dont la stabilité est bonne mais plutôt de s'orienter vers une réintégration colorée. En effet, les interventions de conservation-restauration doivent être guidées par le principe de minimalisme. Ce n'est pas parce qu'on peut faire quelque chose qu'il faut obligatoirement le faire, comme c'est le cas en médecine de l'« acharnement thérapeutique ». En effet, chaque action entraînant des conséquences, parfois inattendues et indésirées, il est préférable de ne pas intervenir s'il n'y a pas une nécessité indiscutable ou une solution adaptée.

### **Maîtrise de l'intervention**

Il est admis que certaines œuvres sur papier nécessitent une mise en tension ou une remise à plat. Cependant, les conservateurs-restaurateurs ont bien conscience que cette opération modifie toujours les dimensions de l'œuvre, que ce soit dans un sens ou dans les deux sens du papier. Cette modification, souvent de l'ordre du millimètre, ne joue que rarement face à la recherche de planéité et le traitement est entrepris en connaissance de cause. Dans le cas des zips rétrécis, l'augmentation des dimensions est l'objectif recherché. Mais que ce passe-t-il si la mise en tension fonctionne mieux qu'anticipée et que le zip se retrouve alors plus grand que l'espace qu'il lui a été destiné originellement ? Il semble alors que la solution serait de recouper ce qui dépasse. Cette idée va à l'encontre de la déontologie et ne peut être soutenue. De même, qu'en est-il du motif si le zip prend une plus grande dimension ? La question d'une remise en dimension homogène se pose également. Un traitement de mise en tension permet-il une répartition équilibrée des contraintes de sorte que le motif soit étiré de façon homogène ?

Par ailleurs, il est nécessaire de vérifier que le zip peut supporter un tel traitement au regard de sa résistance mécanique. Si le traitement provoque la rupture du zip, il ne devrait pas être considéré.

### **Mise en perspective des arguments opposés à l'intervention**

Il ne semble ni raisonnable ni justifié de démonter des zips dont l'adhésion est bonne et dont la rétraction n'induit pas de déformation ou de contrainte sur le matériau de support. En revanche, s'il était possible de s'assurer que la remise en forme soit pérenne, que le zip puisse supporter le traitement et qu'il soit suffisamment maîtrisé pour garantir une remise à la forme exacte d'origine (en supposant que cela soit possible), alors le traitement pourrait être envisagé. Cependant, aucun de ces aspects ne peut être garanti sans tests préalables présentant des résultats satisfaisants.

Par ailleurs, dans la mesure où l'adhésif du zip décollé risque de devoir être changé, cette intervention n'est pas envisageable sans un traitement satisfaisant de changement d'adhésif.

### C. Phénomènes de bulles en réseaux

En comparant ce phénomène à celui des cloques entre deux feuilles de papier collées comme le cas peut se présenter en restauration d'œuvres sur papier, il est possible d'imaginer un traitement. Comme pour les dégradations présentées précédemment, un traitement éventuel soulève des arguments en sa faveur ainsi que des arguments qui lui sont opposables.

#### 1. Principe d'un traitement d'atténuation des déformations

Les causes de la formation de ces bulles restent encore indéterminées. Les bulles n'induisent pas de tensions sur le support puisque c'est le zip qui semble se dilater. Il n'est pas possible d'affirmer qu'une dilatation soit la cause de cette dégradation mais le fait que le zip ne présente pas de décalage au niveau des bords, élimine l'idée d'un phénomène de glissement.

On peut considérer que l'absence de connaissances concernant l'identification des causes des bulles en réseaux empêche un traitement fondamental de cette dégradation. Il est possible, en revanche, d'imaginer traiter le zip pour les atténuer. Ainsi, comme dans le cas de cloques, il s'agit de séparer les deux couches, de les mettre à plat séparément et de les recoller ensemble après. Comme lors du démontage des zips rétrécis, le décollage forcé du zip là où il colle encore, peut empêcher de réutiliser l'adhésif et il est alors nécessaire d'en changer.

#### 2. Arguments en faveur d'une intervention

##### Restituer la lisibilité et l'impact visuel

Le principal problème causé par les bulles en réseaux est une dépréciation de l'impact visuel des dessins qui en présentent. En effet, ce type de bulles crée des rythmes et des effets tout autres que l'intention de l'architecte. Par ailleurs, elles gênent la lisibilité des dessins en induisant des informations qui n'ont pas lieu d'être et sont difficilement compréhensibles. Quand le zip est posé au recto, les bulles entraînent un aspect accidenté de la surface et l'apparition de reflets le long des bulles (Figure 130). L'aplat de zip devient chaotique et les reflets interfèrent avec les jeux de lumière imaginés par le dessinateur.



Figure 130 : Bulles en réseaux allant contre l'effet plan recherché avec l'usage du zip, AM 2007-2-38.



Figure 131 : Bulles en réseaux interrompant l'aplat continu du zip, lorsque celui-ci est collé au verso du calque, AM 2007-2-43.

Le problème de lisibilité est également présent lorsque le zip est collé au verso mais il intervient différemment (Figure 131). Comme cela a déjà été évoqué lors du constat d'état, la formation de bulles au verso induit d'importants changements chromatiques. En effet, le contact entre l'adhésif du zip et le papier calque induit une certaine saturation de l'impression de son motif ou de sa couleur. Comme dans le cas des pertes d'adhésion, le soulèvement lié à la bulle crée une discontinuité de cette surface. Les bulles forment alors de nouveaux motifs dont la présence fait parfois passer au second plan ceux du dessin lui-même.

### **Prévenir la perte des éléments avec des bulles**

Il est difficile de savoir comment évoluent les bulles en réseaux, ne sachant pas comment elles apparaissent en premier lieu. Cependant, il est probable que le phénomène soit évolutif. Dans ce cas-là, les bulles pourraient finir par couvrir toute la surface. Il est alors possible d'imaginer que l'étape suivante serait le décollement du zip dans les quelques zones restant en contact. Comme pour les rétractions entraînant un décollement du support papier, cela pourrait provoquer la perte de zip. Par ailleurs, le stockage des dessins superposés dans les meubles à plan pourrait contribuer à l'écrasement des bulles résultant soit en plis sur le zip soit à étendre le décollement à la périphérie des bulles.

### 3. Arguments contre une intervention

Le cas des bulles en réseaux présente des similitudes avec le cas des rétractions dans la mesure où la dégradation implique des traitements en aval comme le changement de l'adhésif.

#### **Absence de danger immédiat**

Les phénomènes des bulles en réseaux ne semblent pas dangereux pour l'intégrité physique des œuvres concernées, hormis les risques de plis qui sont liés au conditionnement. L'intervention vise à améliorer l'aspect visuel. On pourrait donc dire que tant que l'œuvre n'est pas en danger, une intervention n'est pas nécessaire et l'incompréhension visuelle suscitée par les bulles pourrait être expliquée par un cartel lors d'une exposition ou une notice dans un catalogue. Ce phénomène peut être comparé à la présence de craquelures sur des peintures anciennes qui ne choque pas l'appréciation des visiteurs.

#### **Conséquences en chaîne**

Par ailleurs, les endroits sans bulle présentent une adhésion satisfaisante. Une intervention pour remettre à plat le zip implique de démonter un élément dégradé mais stable pour le traiter à part. D'autant plus que ce décollage forcé peut à son tour nécessiter le retrait de l'adhésif original qui assurait jusque-là son rôle et l'application d'un nouvel adhésif. Enfin, que se passe-t-il si le zip remis à plat dépasse de la zone qu'il couvrait précédemment ? Comme pour les rétractions, il est inenvisageable de couper l'excédent. Ceci est vrai pour les bulles en lignes mais qu'en est-il des grilles ? La remise à plat n'est peut-être pas possible en raison de déformations qui vont induire des contraintes hétérogènes. Dans quelle mesure, cette intervention peut-elle être alors considérée au départ ?

Il est possible également que les bulles, dans le même temps que leur formation entraîne une modification du motif. La possibilité de remise à plat pourrait alors poser des effets d'ondes dans le motif standardisé.

#### **Pérennité de l'intervention**

En l'absence de compréhension du mécanisme de ces dégradations et de leur cause, il faut envisager la possibilité qu'elle soit évolutive. Un traitement d'aplanissement de ces bulles ne serait alors pas pérenne et le

retour de bulles là où elles étaient visibles avant ou à d'autres endroits serait inévitable. Dans ce cas-là, il est préférable d'attendre de mieux connaître la dégradation avant de penser à intervenir.

**Mise en perspective des arguments opposés à l'intervention**

Il semble que le principe de traitement imaginé ne soit pas en accord avec la réalité matérielle et les considérations déontologiques. En effet, la succession de dépose du zip et d'aplanissement avant repose ne semble pas adaptée au traitement de la dégradation. Une intervention *in situ*, localisée sur les bulles pourrait être plus pertinente pour traiter cette altération. Cependant, ce type d'intervention ciblerait le phénomène ayant induit les dégradations. Comme celui-ci n'est pas identifié, nous retombons au point de départ.

Enfin, comme précédemment mentionné, dans la mesure où l'adhésif du zip décollé risque de devoir être changé, cette intervention n'est pas envisageable sans un traitement satisfaisant de changement d'adhésif.

## II. Définition d'un cahier des charges pour le traitement des zips

Les réflexions relatives à la pertinence ou non d'une intervention et à sa confrontation avec la déontologie, permettent de poser un champ possible d'expérimentation. En effet, l'absence de possibilité de traitement invalide de fait, tous les arguments favorables à une intervention. Avant d'imaginer les tests de restauration qui pourraient palier ces manques, il faut poser un cahier des charges, une ligne directrice prenant en considération les différents points évoqués mais également les questions qui pourraient être soulevée au cours de la démarche et les confronter aux contraintes propres au contexte d'intervention sur du zip sur des dessins d'architecture.

### A. Méthodologie de la démarche et questions soulevées

La partie précédente fait ressortir que l'enjeu premier des recherches est de se concentrer sur le traitement des phénomènes de soulèvement : d'une part car cette dégradation est instable et dangereuse et d'autre part, car l'intervention du changement d'adhésif est également nécessaire au traitement complet des rétractions et des bulles en réseaux.

#### 1. Démarches d'intervention pour les soulèvements

L'ensemble des étapes peut être illustré visuellement par un diagramme (Figure 132). Il s'agit d'un chemin méthodologique théorique et sujet à la faisabilité et à l'exercice de la déontologie en fonction des cas de figure. Dans le cas présent, face à l'urgence de trouver des solutions pour stabiliser les dessins, il est établi que les éléments sans perte d'adhésion ne nécessitent pas d'intervention. Ainsi, même dans le cas d'un adhésif jauni, si celui-ci assure son rôle, il n'y pas de raison de le décoller. La question esthétique du jaunissement ne sera pas traitée comme une priorité dans le cadre de cette recherche. L'intérêt se porte donc sur les adhésifs qui n'assurent plus leur rôle entraînant ainsi la formation de soulèvements.

Dans le cas où le zip est complètement soulevé, le chemin de la démarche présente deux options. Dans la première option, l'adhésif peut être retiré afin de nettoyer la surface et assurer un bon collage. Il faut noter que le retrait doit se faire partout où il y a des résidus d'adhésif. Il faut donc trouver une méthode de retrait qui soit adaptée aux sensibilités du zip, du support sur lequel il est collé et des techniques graphiques présentes. Si une seule méthode n'est pas possible, il faut penser à en développer une pour chaque substrat.

Une fois l'adhésif retiré et la surface prête à recevoir un nouveau collage, il faut définir un adhésif adéquat.

L'adhésif doit remplir des critères de conservation et d'esthétique. Il doit être :

- adapté aux deux substrats pour permettre un collage effectif, particulièrement en traction ;
- stable dans le temps pour ne pas devoir réintervenir trop fréquemment sur l'œuvre ;
- chimiquement neutre pour ne pas causer de dégradation sur les matériaux en présence, ni par son application ni par sa présence ;
- d'une épaisseur suffisante pour résister au clivage mais sans créer des différences de niveaux à la surface du dessin.
- dérestaurable et retraitable, et donc pouvoir être retiré sans induire de dommage au zip ou au support, et ce à court comme à long terme, afin de pouvoir supporter un nouveau traitement.

Enfin, il doit présenter des qualités optiques compatibles avec le zip. Il doit être :

- transparent afin de conserver cet aspect si spécifique du zip ;
- clair pour ne pas changer la perception chromatique du dessin ou modifier les niveaux de gris ;
- adapté à l'indice de réfraction de l'adhésif d'origine pour ne pas modifier la saturation entre les éléments traités et les autres, en particulier pour le cas des zips collés sur le verso de calque.

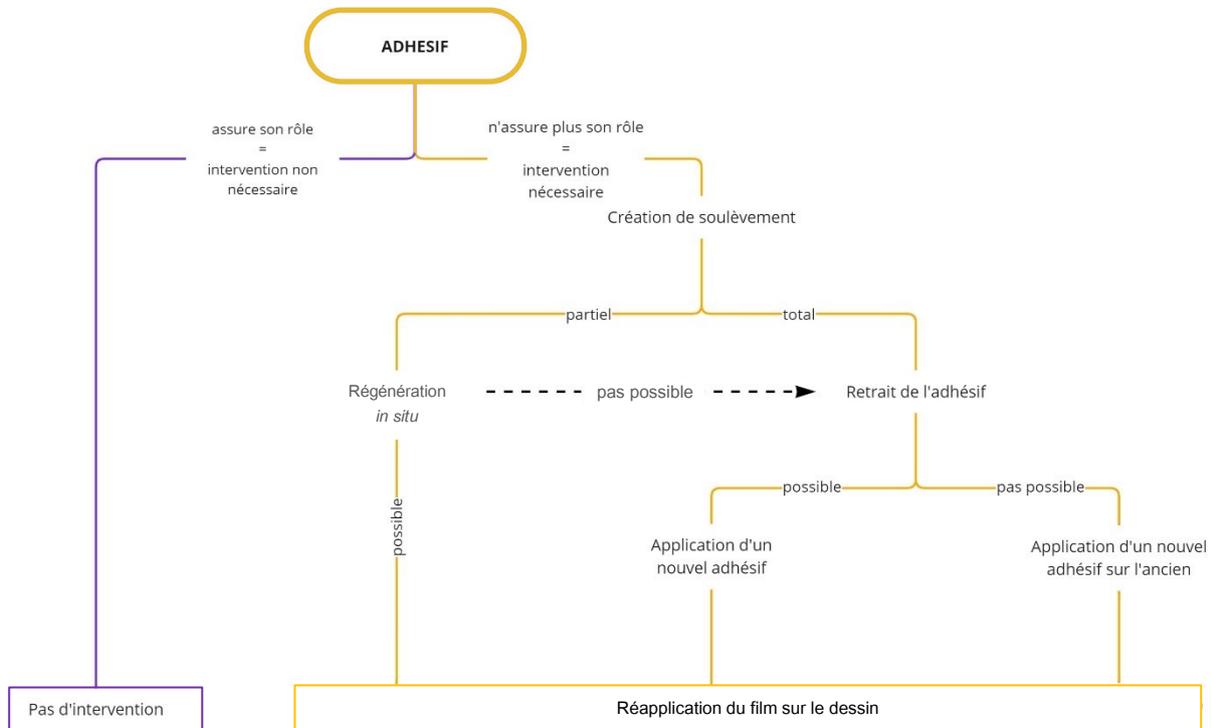


Figure 132 : Diagramme des étapes successives pouvant être rencontrées dans le contexte de traitement de soulèvements<sup>243</sup>.

Dans la deuxième option, le retrait de l'adhésif n'est pas possible, soit parce que les possibilités techniques sont trop risquées pour le zip soit parce que l'impression est entre le film et l'adhésif et que le retrait de l'adhésif entraînerait le retrait de l'encre noire ou colorée. Dans ce cas précis, il faut trouver un adhésif qui soit compatible avec l'adhésif d'origine et le zip, si l'adhésif est sur le papier, et compatible avec le papier, si l'adhésif est sur le zip. Cet adhésif doit remplir les différents critères précédemment évoqués en prenant en compte la présence de l'adhésif d'origine et de ses spécificités propres.

Enfin, si toutes ces conditions sont remplies, le zip peut être reposé sur le papier à l'endroit d'origine.

Dans le cas où le soulèvement est partiel, l'approche varie un peu. Si le zip est de petite taille ou que le soulèvement partiel est à plus de 50 % de la pièce, un décollage du zip peut être envisagé. En effet, l'intervention risque, par les manipulations, de finir de décoller le zip et si ce n'est pas le cas, l'adhésif non traité risque de lâcher à court terme et il faudra à nouveau intervenir. Dans le cas où un soulèvement serait localisé et que le reste de la zone présente une bonne adhésion, il est possible d'envisager une intervention *in situ*. Dans un souci de minimalisme, une démarche *in situ* sans dépose est à privilégier si elle est possible. La meilleure solution serait de pouvoir régénérer l'adhésif d'origine, à savoir de réactiver ses propriétés adhésives.

<sup>243</sup> Les diagrammes des étapes de traitements sont réalisés avec le logiciel en ligne miro.

Il faut que cette intervention soit également adaptée aux sensibilités du zip, de l'adhésif, du papier et des techniques graphiques présentes.

Si la régénération n'est pas possible, il est envisageable de retirer l'adhésif et de le remplacer ou de rajouter l'adhésif sur celui d'origine. Ces deux options sont envisageables mais ne sont pas satisfaisantes dans le contexte d'une intervention *in situ* et localisée. Le dégagement d'un adhésif sur un film soulevé semble difficile à mettre en œuvre car cela empêche de bien surveiller son geste et la zone de travail. Par ailleurs, cela suppose de trouver une méthode pour pouvoir exercer une certaine pression sur le film et définir jusqu'où il est possible de retirer l'adhésif. Les mêmes difficultés se posent pour l'application de l'adhésif. Cela implique également que le film serait collé avec deux types d'adhésifs, présentant des comportements différents et ne maintenant pas le film de la même manière. L'ajout d'un nouvel adhésif sur l'ancien semble plus simple à mettre en œuvre, cependant cela entraînerait une surépaisseur qui peut être gênante dans le cas d'un film brillant. Les mêmes questions relatives aux comportements de deux zones traitées différemment se posent.

Cette possibilité ne supporte pas les arguments de mise en œuvre.

Si la régénération n'est pas possible, il peut être envisagé de décoller le film pour le traiter dans sa totalité. Dans ce cas, le cheminement reprend celui des zips complètement soulevés.

## 2. Démarches d'intervention pour les rétractions

Les étapes d'intervention pour le traitement des rétractions suivent également un chemin méthodologique théorique et sujet à la faisabilité et à l'exercice de la déontologie en fonction des cas de figure (Figure 133).

Il est toujours bon de préciser que lorsque le film du zip ne présente ni rétraction ni bulles en réseaux, aucune intervention n'est envisagée.

Pour les rétractions intervenant sur un support rigide, aucun traitement n'est envisagé, pour les raisons évoquées précédemment. En revanche, la rétraction du zip sur un support souple mérite de faire l'objet d'investigations plus poussées : qu'elle entraîne des décollements du papier de support, quand l'adhésion ne tient plus face aux contraintes exercées, ou qu'elle provoque des déformations, quand l'adhésif la contraint.

Dans le cas où l'adhésion est satisfaisante, un démontage n'est pas préconisé. Si le zip présente des déformations, un traitement ciblé de remise à plat peut être envisagé. Il reste à déterminer ce qu'il est possible de mettre en œuvre au regard des fragilités et sensibilités du support et du zip.

Dans le cas où l'adhésion n'est pas suffisante pour maintenir zip et papier liés sous la contrainte de la rétraction, le papier se décolle. Afin de traiter ces déformations du support, un démontage est nécessaire. En effet, une mise en tension du papier de support est risquée pour le zip et une mise à plat entraînerait des plis du papier. Une fois les éléments, zip et papier, séparés il est possible de tenter une mise en tension du film de zip pour lui redonner sa taille d'origine. En parallèle, le papier libéré de la contrainte, peut être remis à plat selon une méthode adaptée à sa nature. Enfin, une fois ces traitements réalisés, le zip doit être reposé sur le papier. Pour ce faire, l'intervention suit les différentes étapes précédemment évoquées pour les soulèvements (Figure 133).

## Chapitre 4 – Définition du projet de conservation-restauration des zips

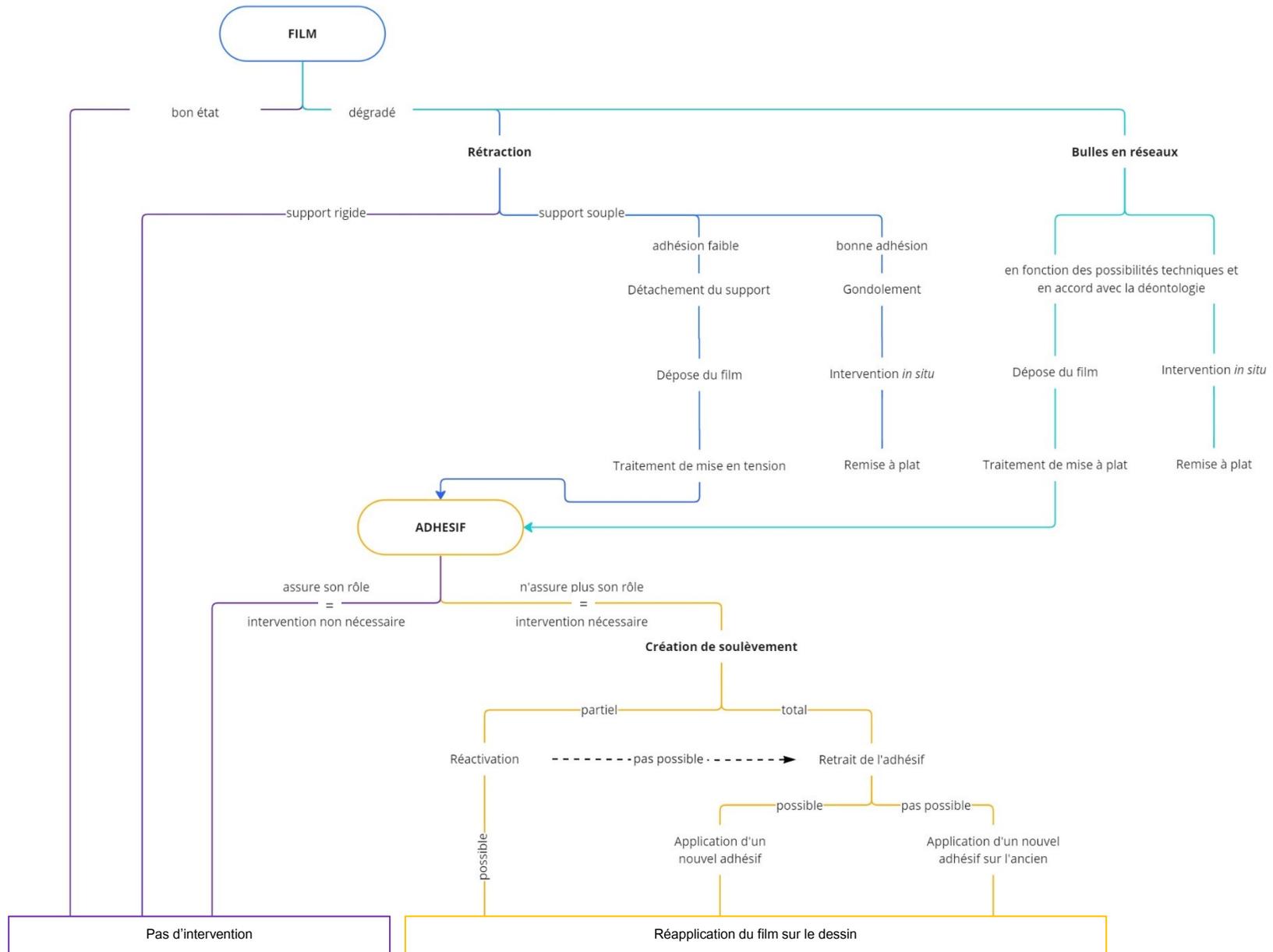


Figure 133 : Diagramme des étapes successives pouvant être rencontrées dans le contexte de traitement de zip.

### 3. Démarches d'intervention pour les bulles en réseaux

En l'absence de connaissances permettant de comprendre les causes des bulles et les mécanismes conduisant à leurs différentes morphologies, il est difficile de se projeter dans un éventuel traitement. Il a été précédemment évoqué que la dépose des éléments de zip dont l'adhésion est satisfaisante ne semblait pas pertinente ni adaptée. Cependant, un démontage en amont du traitement pourrait s'avérer nécessaire. L'impossibilité de poser un diagnostic empêche la mise en place de chemin d'intervention autre que les options d'un traitement *in situ* et donc localisé sur les bulles ou d'un traitement de la pièce de zip entière avec un démontage précédent. Il est donc nécessaire de poursuivre les recherches pour caractériser le processus de dégradation et pouvoir cibler des choix d'intervention.

#### **B. Difficultés techniques propres au zip sur les dessins d'architecture**

Certains points spécifiques au zip et aux dessins d'architecture et pouvant conditionner l'intervention de conservation-restauration méritent d'être précisés.

##### 1. Le zip, la complexité d'une multitude de produits

#### **Des natures chimiques variées**

Le conservateur-restaurateur peut se fier à son œil, aidé ou non d'outils d'examen comme des lampes à lumière blanche ou à rayonnement UV, des loupes ou des microscopes, afin d'évaluer les différents matériaux présents sur une œuvre. Il est possible, dans certains cas, d'effectuer de petits tests, des micro-tests pour estimer la sensibilité des matériaux ou pour définir plus précisément leur nature. Une des plus grandes difficultés posées par les zips, et qui a précédemment été présentée, est la multiplicité des natures d'adhésifs et de plastifiants pour les films. Cette difficulté est d'autant plus grande que sans équipement scientifique adapté, il n'est pas possible de discriminer certains matériaux comme les plastifiants par exemple. Si l'identification avec certitude de la nature chimique des adhésifs est difficile par l'observation visuelle seule, leur état peut permettre de donner des pistes d'identification. De même, leurs dégradations multiples ne permettent pas toujours de les différencier. Enfin, l'évolution technologique au cours de la seconde moitié du XX<sup>e</sup> siècle, pourrait donner des indications sur leur matérialité en fonction de la datation du dessin. Cependant, la possibilité de rajouter les zips à tout moment de la vie du dessin, voire des dizaines d'années après faussent les pistes. De même, la possibilité pour un dessinateur de récupérer des films anciens ou importés ne permet pas de s'appuyer de façon certaine sur la datation des dessins pour extrapoler sur leur nature chimique.

#### **Un produit industriel et transparent**

Il a été précisé précédemment que le zip est transparent et que sa production industrielle lui confère un caractère standardisé et homogène. Ces deux caractéristiques peuvent induire des difficultés dans le cas d'une intervention de conservation-restauration. Les problèmes posés dans ce cas sont plutôt d'ordre technique. Il ne faut pas que l'intervention provoque une diminution de la transparence ou une baisse de la clarté du film. De même, tout matériau rajouté ne doit pas induire de jaunissement ou de changement coloré dans la perception du film ou de l'impression. Le caractère industriel du zip implique également de trouver des méthodes pouvant offrir un résultat le plus régulier possible. En effet, l'aspect systématique et homogène ne pardonne pas la moindre irrégularité. Ainsi, dans l'éventualité d'une reprise de motif ou de couleur, le rendu ne doit pas avoir

l'air d'être réalisé à la main. D'autant qu'au-delà de considérations de rendu visuel, cela induit un autre niveau de lecture et peut donner une place plus importante à l'intervention de restauration qu'elle ne doit avoir.

### **Pluralité de motifs et d'effets visuels**

Ce n'est pas seulement la composition chimique qui varie d'un zip à l'autre, mais également les différences d'aspect qui peuvent modifier l'approche du conservateur-restaurateur ou son intervention. Cela a été mentionné précédemment : la question de l'encre et de l'aspect de surface est primordiale, donc à prendre en compte en amont de toute action. En effet, en fonction de la face imprimée, l'approche ne pourra pas être identique. Lorsque la face imprimée est à l'extérieur – c'est le cas le plus courant pour les films avec un motif à l'encre noire et la moitié du temps pour les films de couleur – il est nécessaire de prendre toutes les précautions pour ne pas l'altérer mécaniquement par le contact avec un outils métallique par exemple, ou chimiquement par l'apport d'un solvant contribuant à sa solubilisation. Lorsque l'impression est entre le film et l'adhésif, les considérations sont toutes autres. D'après les observations menées sur les collections, l'encre semble être amalgamée à l'adhésif. Peut-être que cela est dû à une meilleure adhésion avec ce dernier qu'avec le plastique dès le départ ou que le temps a contribué à une migration de l'encre dans la couche adhésive. Dans les deux cas, les dégradations de l'adhésif se répercutent directement sur l'encre et réduisent considérablement les possibilités d'intervention. En effet, la rupture entre le film et l'adhésif induit par la même, la séparation du film et du motif. Le traitement de l'adhésif est nécessaire pour consolider le film, mais dans le même temps, il est inenvisageable en l'état, par la présence du motif sur le papier. De même, le traitement du jaunissement de l'adhésif, gênant quand hétérogène, ne peut pas être envisagé quand cette coloration touche également la zone colorée.

Par ailleurs, l'aspect de surface du zip peut induire une approche différente que la surface soit brillante ou mate. En effet, s'il est nécessaire de coller un élément sur la face extérieure du zip ou dans l'éventualité d'une réintégration d'un élément perdu, l'aspect de surface est à prendre en compte et doit se trouver au centre des réflexions.

## 2. Complexités inhérentes aux dessins d'architecture

### **Multiplicité de supports**

Les supports pour les dessins d'architecture présentant l'usage de zip sont variés. On rencontre de façon prédominante des papiers transparents, souvent appelés calques par facilité de langage. Mais les papiers, appartenant à cette même famille, sont d'une grande variété de grammages et de couleurs, présentent des azurants optiques ou une émulsion en vue d'une reproduction effective ou envisagée. De même, les papiers vélins ou cartons offrent une multitude de matériaux, de textures, de couleurs, de résistances, etc.

Cette diversité implique une intervention spécifique pour chaque cas en tenant compte de ce qui est possible ou non pour tel ou tel support. Par exemple, le caractère particulièrement réactif à l'humidité et à l'apport d'eau liquide des papiers calques est une propriété bien connue. L'apport d'eau engendre d'importantes déformations si le séchage n'est pas encadré de manière adéquate. Cependant, l'apport d'humidité contrôlé peut être envisagé dans certains cas, notamment pour la remise à plat. Il faut noter que les papiers, en général, ne retrouvent pas leur dimension d'origine quand ils sont mis à plat. Cela est particulièrement vrai pour les papiers calques qui se dilatent de façon anisotrope : un calque une fois mouillé entièrement, ne retrouve plus les mêmes proportions, ce qui peut être particulièrement gênant pour des dessins à l'échelle.

Il n'est pas rare de rencontrer des dessins de grands formats voir des dessins hors-format<sup>244</sup>, dans les collections de dessins d'architecture. Les dessins avec zip s'inscrivent pleinement dans cette constatation. Au-delà des difficultés ou fragilités qu'un grand format peut induire, le mode de conditionnement influe également sur l'approche des conservateurs-restaurateurs. Un traitement sur un dessin conservé à plat ne sera pas le même que pour un dessin conservé roulé.

### **Sensibilité des tracés**

Les techniques graphiques présentes sur les dessins d'architecture sont variées, choisies en fonction des préférences du dessinateur ou suivant l'effet visuel recherché. Cela a été mentionné précédemment, le zip est utilisé sur des dessins de présentation et des documents prescriptifs, qu'ils soient des originaux ou des tirages. Les techniques graphiques les plus communément rencontrées sont l'encre noire, le crayon graphite, les feutres et marqueurs, les stylos à bille, les crayons de couleur, les lettres transferts et les tracés réalisés par tirage par diazotypie ou autres. Il est bien entendu possible de trouver d'autres types de techniques graphiques sur les dessins. Or, ces *media* n'ont pas les mêmes sensibilités et n'induisent donc pas les mêmes précautions et contraintes pour une intervention. Les tracés pulvérulents sont sensibles aux frottements tandis que les feutres et marqueurs sont potentiellement solubles dans certains solvants. Enfin, les papiers préparés pour la reproduction, peuvent voir leur imprégnation réagir avec les adhésifs des zips ou des rubans adhésifs et créer des dégradations visuelles. C'est pourquoi, dans ces cas-là comme avant chaque intervention, tout matériau mis en contact du dessin doit faire l'objet préalable de tests.

### **Grands corpus**

Les collections de dessins, encore plus celles dédiées à l'architecture, présentent généralement des fonds riches en nombre d'items. Le zip n'est pas présent sur tous les types de dessins d'architecture mais, quand les collections se compte en millions de dessins, 0,1% représente déjà beaucoup. Les interventions sur de larges corpus impliquent nécessairement une action ciblée. D'une part car les budgets ne sont pas illimités et d'autre part car cela n'a pas forcément de sens de s'attarder sur des séries ou des multiples comme cela se fait pour des dessins uniques et isolés. Ainsi, même si certains temps sont incompressibles et qu'il ne s'agit pas d'abattre du travail à la chaîne, il semble judicieux de prendre en compte le temps comme critère dans la mise en place de protocole de traitement.

## 3. Mises en œuvre des zips

### **Format et forme**

Suivant l'étude des collections, la majorité des éléments de zip observés sur les dessins d'architecture, sont de petit format. Cette observation est rassurante dans l'objectif d'intervention de conservation-restauration. En effet, il est plus facile de traiter un petit format qu'un grand format présentant les mêmes problèmes. Tout d'abord en termes de manipulations car elles constituent toujours un risque même en prenant un maximum de précautions, et ensuite en termes de comportement car le format joue souvent sur l'ampleur des contraintes et des dégradations. Cependant, sur certains dessins, les éléments de zip sont parfois grands. Au regard de la fragilité du film et de son comportement, au-delà de 10 cm, le traitement se complique. Il est donc essentiel de garder à l'esprit que certains traitements envisagés pour de petites pièces devront être adaptés pour des

---

<sup>244</sup> De façon simplifiée : un grand format est manipulable à une personne sans risque, tandis qu'il y a besoin de minimum deux personnes pour la manipulation sans risque d'un dessin hors-format, HINCELIN Emmanuelle, « Le montage des œuvres contemporaines sur papier hors format », dans *Support/Tracé*, n°10, 2010, p.47-55.

dimensions supérieures. Ces considérations peuvent s'étendre aux zips aux formes biscornues par rapport aux éléments géométriques simples comme le carré ou le rectangle. En effet, les petites découpes sont autant de zones de fragilité surtout quand les zips portent les traces des amorces de découpe.

#### **Recto, verso et jeu de transparence**

En amont d'une intervention, il faut prendre en considération le côté du dessin sur lequel le zip est collé : recto, verso, ou les deux. Rappelons ici que les qualités optiques de l'adhésif n'ont pas le même impact visuel suivant le côté sur lequel le zip est collé. Par ailleurs, cela joue également pour des interventions à mener sur le dessin et qui ne concerne pas le zip. La consolidation de déchirures se fait dans la majorité des cas sur le verso mais comment faire si un zip bloque l'accès. L'adaptation de la pratique, comme cela se passe fréquemment, est nécessaire pour être la plus pertinente au regard du cas de figure spécifique et de la singularité des œuvres, même faisant partie de séries.

Par ailleurs, un autre cas assez récurrent pour les dessins avec zip, soulève des questions du même ordre : la consolidation des incisions formées au moment de la découpe du zip lors de sa mise en œuvre. Ces incisions suivent la forme du zip et posent des problèmes quand les zips se trouvent au verso. En effet, quand le zip est au recto, le papier incisé peut être consolidé par le verso. Mais quand le zip est collé au verso, il faut y réfléchir en amont. Les questions qui se posent sont alors de savoir : s'il est possible de consolider par la face ou non ; si la consolidation doit se faire par le verso ; ou s'il est possible de coller une charnière sur le zip ou non. Peut-être faudra-t-il envisager une charnière recto-verso ou trouver encore une autre solution ?

Ces questions ne peuvent pas obtenir de réponses générales mais sont à garder à l'esprit pour une intervention sur du zip et à adapter au cas particulier de chaque dessin.

## Conclusion

La mise en place d'un cahier des charges permet d'envisager les interventions futures et d'orienter le choix des matériaux. La prise en compte des spécificités propres aux dessins d'architecture et présentant l'usage de zip favorise une approche adaptée à ses questions. Il a, pour ce faire, fallu s'inspirer de l'expérience de dessins plus « classiques ». Les questions en suspens nécessitent donc la validation de notre protocole théorique par la réalisation d'un protocole expérimental. Ces essais de mises en œuvre de traitements de conservation-restauration requièrent la présence d'éprouvettes représentatives des collections et des dégradations que l'on y rencontre.

### Ce qu'il faut retenir de ce chapitre

- L'évaluation du pour et du contre d'un traitement de consolidation des soulèvements, pousse à engager des tests pour élaborer un protocole de traitement.
- L'évaluation du pour et du contre d'un traitement de rétraction, montre que le principe même de l'intervention est plus discutable. La recherche d'un protocole parfaitement adapté et prenant en compte les réserves émises pourrait permettre de faire évoluer ces réflexions.
- L'évaluation du pour et du contre d'un traitement des bulles en réseaux, conclut qu'un traitement dans l'état actuel des connaissances ne peut pas être envisagé. Par ailleurs, le manque d'informations sur les mécanismes de ces dégradations empêche la mise en place d'un chemin d'intervention.
- Une intervention sur des zips dans les collections d'architecture doit prendre en compte les différentes compositions chimiques des films et adhésifs des zips, leur caractère transparent et industriel, leur aspect de surface et leur stratigraphie complexes et multiples.
- Les dessins d'architecture présentent eux-mêmes des complexités inhérentes : la sensibilité des supports (calque et des papiers imprimés) et des tracés ; le traitement de grands corpus parfois de grands formats.

## CHAPITRE 5 : REPRODUCTION DES PHENOMENES DE DEGRADATIONS EN LABORATOIRE

---

Afin de pouvoir intervenir sur les collections, sur les phénomènes de soulèvement, rétraction et formation de bulles en réseaux, il est nécessaire de pouvoir apporter des réponses aux nombreuses questions soulevées dans les précédents chapitres. La réalisation de tests pour s'y confronter ne peut se faire directement sur les collections, en raison du risque qu'ils représentent.

Il est préférable de mener au préalable des tests sur des éprouvettes. Ces-dernières doivent être représentatives des zips dégradés observés dans les collections. La pertinence des éprouvettes repose donc sur deux facteurs : les matériaux qui la composent et leur dégradation. Il est envisagé dans un premier temps d'essayer de reconstituer la stratigraphie à partir de matériaux distincts, mais il est vite apparu que le recours à de la matière originale serait plus pertinent. Cela est possible grâce à la constitution de la collection de zips non utilisés, ayant servi à créer l'échantillonnier pour la base de références des analyses et qui par ailleurs présente les combinaisons film/adhésif mises en évidence dans les dessins des collections.

Il reste ensuite à obtenir ou provoquer les dégradations. Sur les collections patrimoniales, elles sont les traces de la vie de l'objet, ponctuelles comme un accident ou sur la durée comme la dégradation intrinsèque du matériau ou dues à ses conditions de conditionnement. Les soulèvements, rétractions et réseaux de bulles sont le résultat du vieillissement de la matière sur la durée, soumise à un environnement spécifique. Il est inenvisageable d'imposer aux éprouvettes un vieillissement naturel d'une trentaine d'année en les changeant régulièrement de lieux de stockage et de conditions environnementales. Quand bien même cela serait possible, ce ne serait pas nécessairement représentatif des conditions rencontrées par tel ou tel dessin.

Il est nécessaire de réduire ce temps et de systématiser la méthode : il s'agit donc, de forcer les principaux paramètres de dégradation<sup>245</sup> de façon systématique et rigoureuse. Il est ainsi possible d'influer sur la lumière, la température et l'hygrométrie, dans des enceintes de vieillissement artificiel<sup>246</sup> permettant de contrôler leur intensité et leur variation. Cela assure par ailleurs la reproductibilité du protocole de création d'éprouvettes.

La littérature s'accorde sur l'impact prédominant de la température et de l'humidité relative pour le vieillissement de l'acétate de cellulose<sup>247</sup>. En effet, l'augmentation de la température entraîne la perte des plastifiants tandis qu'une hausse d'humidité relative provoque l'hydrolyse du matériau. Par ailleurs, le recours à la lumière et la température est préconisé pour le vieillissement artificiel des adhésifs<sup>248</sup>. Dans l'optique de reproduire trois phénomènes de dégradation avec des mécanismes différents, il semble nécessaire de couvrir le plus de combinaisons de paramètres possibles, tout en les restreignant (faute de temps et de matière) aux plus pertinents au regard des autres études déjà menées sur les matériaux en présence. Cependant, dans le cas présent, la complexité découle des interactions entre ces matériaux. C'est pourquoi, il importe de se placer dans les mêmes conditions que celles des collections à savoir des références de zips variées, des supports différents et des conditions de stockage qui, bien que normées aujourd'hui, ont pu être multiples et inadaptées à la conservation, par le passé.

Sur trois ans, des vieillissements artificiels ont été engagés pour trouver le protocole qui permettrait d'obtenir les mêmes dégradations que celles des zips des dessins d'architecture et ainsi de produire des éprouvettes sur lesquelles des essais pour restauration pourraient être réalisés puis transposés dans le cas de résultats satisfaisants, aux collections. La dizaine de vieillissements effectuée résulte d'une avancée à tâtons, basée sur la littérature, où les paramètres de lumière, d'humidité et de température sont testés et ajustés au-fur-et-à-mesure pour se rapprocher au plus près des observations menées dans les collections.

---

<sup>245</sup> FELLER Robert, ENCKE David, "Stages in deterioration: the examples of rubber cement and transparent mending tape", dans *Studies in Conservation*, Volume 27-sup1, 1982, p.19-23.

<sup>246</sup> Nous préférons le terme « artificiel » à « accéléré », car il n'est pas possible de certifier que les mécanismes sont exactement les mêmes.

<sup>247</sup> LAVEDRINE B., *et al.*, 2012, *op. cit.*

<sup>248</sup> DOWN J., 2015, *op. cit.*

## I. Vieillissements artificiels

### A. Vieillissement à la lumière

#### 1. Matériel et méthode

##### **Éprouvettes**

###### *Choix des références de zips*

Le vieillissement à la lumière est le premier à être engagé. Aussi, les éprouvettes sont réalisées dans cet esprit de représentativité. Pour ce vieillissement, les zips sont sélectionnés pour présenter autant que possible les différentes combinaisons film/adhésif ainsi que les différentes marques les ayant commercialisés : 26 références de zips de 9 marques sont sélectionnées pour représenter les différents types d'adhésifs (11 à base vinylique, 11 à base acrylique et 4 à base de cire) et ce à travers 2 catégories de produits (10 motifs et 16 couleurs) présents dans les collections<sup>249</sup>.

###### *Choix du support*

Le support est choisi au regard des dégradations pressenties et pour s'adapter aux tests de suivis sélectionnés. Un support blanc est préférable afin de pouvoir évaluer au mieux tout changement de couleur. De plus il faut qu'il soit chimiquement neutre et sans additif pour ne pas interférer avec la dégradation des zips. Le support sélectionné est un papier filtre Whatman™ de grade 5. En effet, le papier Whatman™ est réputé très stable car il est composé en majorité d'alpha cellulose. Son usage en tant que filtre en laboratoire est possible car il est fabriqué pour ne pas présenter d'impuretés. Il est donc moins susceptible de se dégrader que le zip et il ne risque pas d'émettre des produits de dégradation, pouvant interagir avec le zip lors du vieillissement.

###### *Morphologie des éprouvettes*

La morphologie des éprouvettes est pensée pour permettre d'avoir, sur un même échantillon, une partie exposée à la lumière et l'autre protégée de la lumière mais soumise à la chaleur produite par le vieillissement en enceinte (Figure 134). L'étude s'intéressant, entre autres, aux modifications chromatiques, les éprouvettes doivent permettre d'évaluer s'il y a un changement de couleur de l'encre, mais également de vérifier si ce changement est distinct ou non du changement de couleur du film plastique, de la couche d'adhésif ou encore du papier de support. Par ailleurs, leurs dimensions sont aussi conditionnées par la place disponible en enceinte et l'économie de matière première pour les premiers tests.

---

<sup>249</sup> ANNEXE 4 p. 371, Tableaux des références soumises aux vieillissements à la lumière.

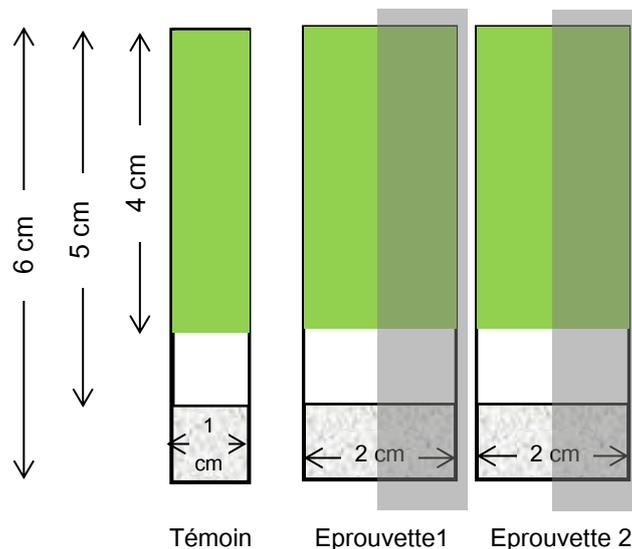


Figure 134 : Schéma des éprouvettes soumises au vieillissement à la lumière, avec leur dimension et la zone protégée de la lumière, à échelle 1.

Suivant ce cahier des charges, les zips sont découpés afin de présenter des zones encrées (4 cm de long) et des zones vierges (environ 1 cm, en fonction de la taille des feuilles d'origine). Ils sont ensuite décollés du papier de protection, déposés sur le papier Whatman™, puis appliqués fermement au plioir. Les morceaux de zip sont prélevés dans les deux sens du film afin de comparer, s'il y a lieu, des comportements différents : l'éprouvette 1 est prélevée dans le sens de la hauteur de la feuille de zip telle qu'elle est commercialisée et l'éprouvette 2 est prélevée dans le sens de la largeur.

### Paramètres du vieillissement

Les éprouvettes sont exposées dans une chambre SUNTEST XLS+ équipée d'une lampe Xénon dont l'éclairage est fixé à sa puissance maximale, à savoir 765W/m<sup>2</sup>, avec un filtre infrarouge, pendant 120 heures avec des cycles d'insolation de 10 minutes (Figure 135). Cette chambre permet également le contrôle de la température au cours de l'exposition, entre 35°C et 100°C au niveau du corps noir présent au niveau des échantillons. Pendant le vieillissement artificiel, la surface des échantillons est maintenue à 35°C, la température minimum permise par l'enceinte.



Figure 135 : Vue de l'enceinte de vieillissement à la lumière avec les éprouvettes installées.

L'enceinte de vieillissement à la lumière n'offre pas une grande surface d'exposition 32,5 x 33 cm, moins la zone réservée au corps noir. Les échantillons sont installés au préalable sur un carton neutre, découpé à la taille de l'espace disponible afin de pouvoir l'optimiser (Figure 136). Les éprouvettes sont installées sur le carton avec une partie exposée et l'autre protégée de la lumière par des bandes de carton neutre, maintenues par des aimants. Elles sont disposées en quinconce afin que le côté insolé soit toujours le côté droit.



Figure 136 : Disposition des échantillons dans l'enceinte de vieillissement lumière.

## 2. Méthodes de suivi du vieillissement

Le suivi du vieillissement à la lumière est réalisé avant la mise en enceinte, à la sortie de l'enceinte et après trois mois dans le noir. Ce dernier suivi a pour but de vérifier si le caractère cumulatif de la lumière a un impact sur la dégradation des zips.

### Prise de vue

Chaque référence de zip, témoin et deux éprouvettes, fait l'objet d'une prise de vue, sur papier millimétré, dans une boîte photographique normée<sup>250</sup> en éclairage naturel et rasant dans les deux sens. En effet, les soulèvements, suivant leur morphologie, peuvent être mis en évidence par un éclairage avec une incidence spécifique.

### Mesures colorimétriques

Un suivi colorimétrique est engagé sur chaque échantillon, témoins compris, grâce à un spectrorimètre portable<sup>251</sup>. Ce suivi vise à appréhender d'éventuels changements, notamment la décoloration des encres ou le jaunissement des matériaux. Les mesures sont réalisées avec une ouverture de 3 mm ; en réflexion spéculaire incluse et exclue.

En amont du suivi, un protocole est engagé pour déterminer un seuil type de variation entre différentes zones d'une même feuille de zip afin de voir la fiabilité de l'impression industrielle face à la mesure colorimétrique. Les éprouvettes sont mesurées dans 8 différentes zones : les parties supérieure et inférieure de la zone encrée, sur le côté insolé et celui non-insolé ; la partie de film sans encre (parfois sans adhésif), sur le côté insolé et celui non-insolé ; et le papier de support, sur le côté insolé et celui non-insolé. Les différences de mesures avant et après vieillissement sont ainsi calculées et comparées en se basant sur les calculs du Delta E-00<sup>252</sup>.

<sup>250</sup> POIROT Marie, *Étude et conservation-restauration d'un recueil de textes poétiques provenant de l'abbaye de Saint-Benoît-sur-Loire de Fleury, XIe-XIVe siècle (médiathèque d'Orléans). L'aplanissement du parchemin en présence d'encres métallo-galliques : recherche et évaluation de systèmes applicables dans une structure reliée*, mémoire Institut national du patrimoine, 2015, p.74.

<sup>251</sup> Spectrorimètre CM2600d, Konica Minolta Sensing®.

<sup>252</sup> Commission internationale de l'éclairage, 2000.

## Analyses IRTF-ATR

Afin de suivre l'évolution du matériau à une échelle moléculaire, et notamment d'observer une éventuelle modification de l'adhésif pouvant expliquer la perte d'adhésion, des analyses en spectrométrie infrarouge<sup>253</sup> (IRTF, mode ATR) ont été réalisées sur la surface de l'adhésif avant, après vieillissement et après un an dans le noir.

## B. Vieillissements température et humidité

### 1. Matériel et méthode

#### Éprouvettes

##### *Choix des références de zips*

Pour les vieillissements artificiels jouant sur les paramètres de température et d'humidité relative, la sélection se porte dans un premier temps sur quelques références avec des combinaisons différentes pour pouvoir prendre la mesure des tendances :

- Un film plastifié avec des phtalates et recouvert d'un adhésif à base vinylique,
- Deux films avec des phtalates et du phosphate de triphényle, l'un recouvert d'un adhésif cireux et l'autre acrylique.

Par la suite, il est décidé de compléter cette sélection d'autres références représentatives des collections, afin d'avoir au moins un représentant de chaque combinaison à savoir :

- Des films d'acétate de cellulose plastifiés avec des phtalates et recouvert d'un adhésif cireux et un adhésif acrylique ;
- Des films d'acétate de cellulose plastifiés avec des phtalates et du phosphate de triphényle et recouvert d'un adhésif vinylique.

Comme pour le vieillissement à la lumière, la présence de ces combinaisons film/adhésif commercialisées par plusieurs marques augmente un peu le nombre de films testés<sup>254</sup>.

##### *Choix des supports*

Pour les vieillissements thermo-hygro-métriques, le choix des supports est dicté par d'autres critères que ceux du vieillissement à la lumière. Il semble nécessaire de pouvoir comparer le comportement d'une même référence de zip sur différents types de support, afin de vérifier si leur aspect de surface et leur réactivité modifient les dégradations des zips. Par ailleurs, ils sont choisis en fonction des supports observés sur les collections.

---

<sup>253</sup> Spectromètre Frontier, Perkin Elmer®.

<sup>254</sup> ANNEXE 4 p. 371, Tableaux des références soumises aux vieillissements climatiques. ANNEXE 5, p. 369-370, tableaux récapitulatifs des vieillissement climatiques.

Huit supports différents sont donc sélectionnés ( et Figure 138) :

- Deux supports rigides, à savoir un carton bois rugueux<sup>255</sup>, (A) et un carton mousse lisse<sup>256</sup> (B),
- Deux papiers aux épaisseurs intermédiaires, à savoir un papier à dessin stable et rugueux<sup>257</sup> (C) et un papier imprimante lisse et réactif<sup>258</sup> (D),
- Un papier vergé à fibres longues, stable et rugueux<sup>259</sup> (E),
- Trois papiers transparents, à savoir un calque épais, anciennement enduit, tiré et présentant une déformation d'enroulement<sup>260</sup> (F), un papier calque lisse et réactif<sup>261</sup> (G) et un calque polyester, support plastique lisse et stable<sup>262</sup> (H).

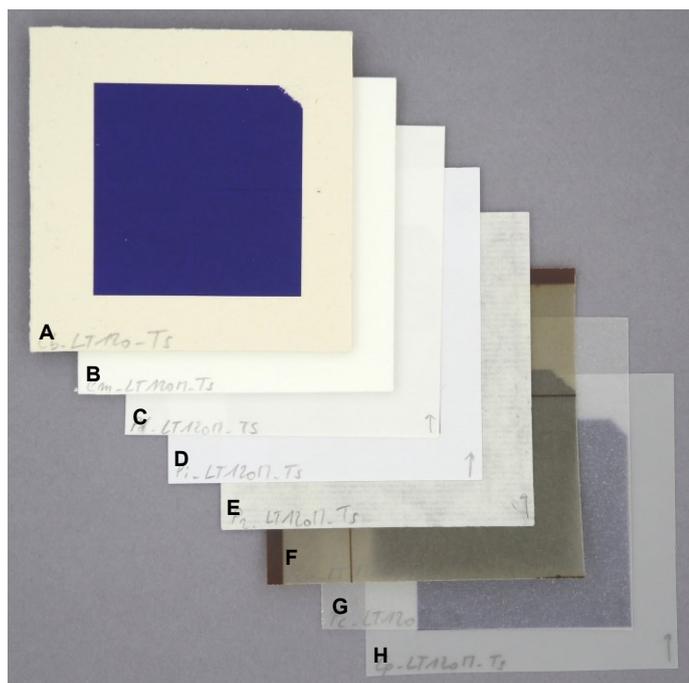


Figure 137 : Exemple de la série d'éprouvettes sur différents supports pour une référence de zip.

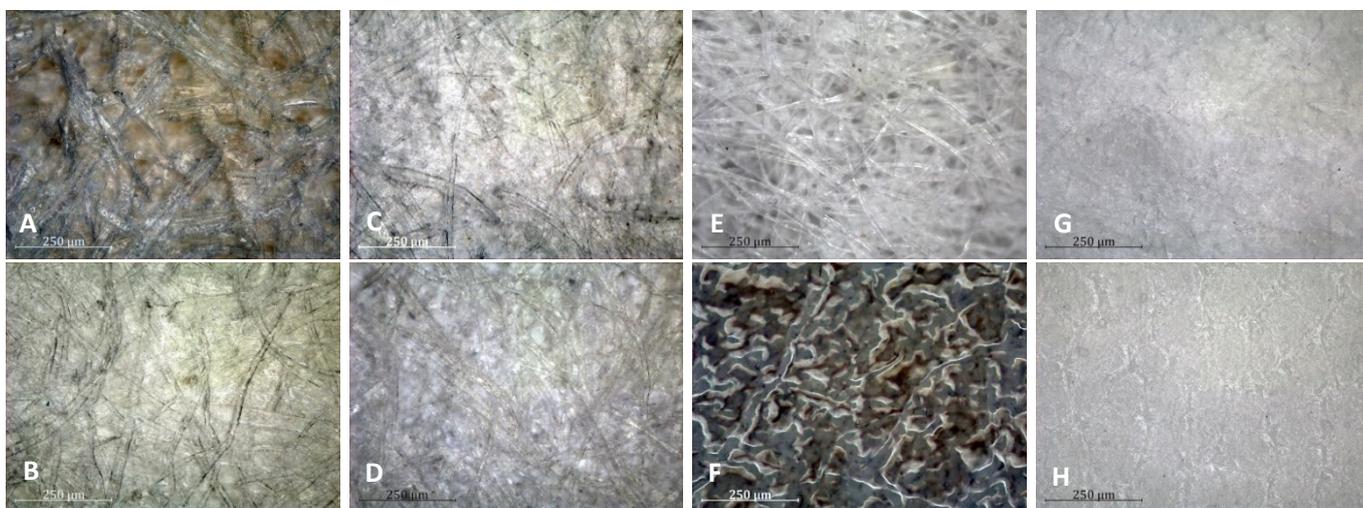


Figure 138 : Photographies prises sous microscope de la surface des supports (x60, lumière rasante).

<sup>255</sup> Carton de bois, 1 190g/m<sup>2</sup> Hermet.

<sup>256</sup> Carton mousse Canson®, 3 mm d'épaisseur.

<sup>257</sup> Papier à dessin « C » à grain®, Canson®, 125 g/m<sup>2</sup>.

<sup>258</sup> Papier imprimante Clairalfa®, Clairefontaine®, 80 g/m<sup>2</sup>.

<sup>259</sup> Papier vergé vendu comme « papier chinois » pour calligraphie, Herbin.

<sup>260</sup> Papier récupéré dans un stock d'architecte, pas de référence.

<sup>261</sup> Papier calque, Clairefontaine, 40-45 g/m<sup>2</sup>.

<sup>262</sup> Calque polyester Esprit papier, 140 µm.

*Morphologies des éprouvettes*

Contrairement aux éprouvettes vieilles à la lumière qui sont découpées le long des bords des feuilles, les éprouvettes soumises aux vieillissements climatiques sont prélevées dans le centre des feuilles d'origine. On essaye ainsi de limiter des phénomènes d'oxydation ou de pollution éventuelle qui touchent en premier la périphérie des feuilles. Afin d'avoir un accès au film plastique lors du suivi, l'encre sur l'angle supérieur droit est grattée. La taille de la zone de zip (4 cm par 4 cm) est doublée par rapport aux éprouvettes vieilles à la lumière, afin de pouvoir apprécier visuellement l'évolution des dégradations. Pour mettre en avant d'éventuelles variations dimensionnelles et/ou des comportements différents suivant le sens de la feuille, les zips, sont incisés pour former un carré de 2 cm, qui sert de témoin et pour induire un sens sur la forme coudée en L (Figure 139).

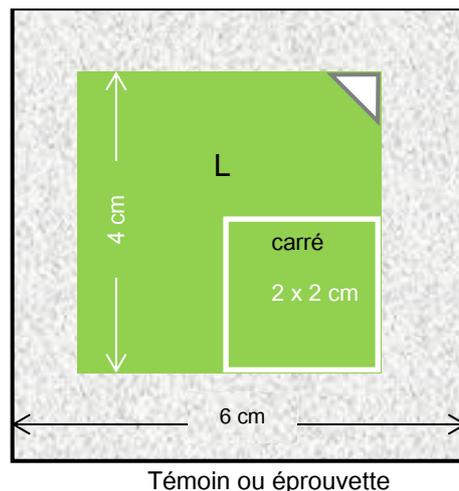


Figure 139 : Morphologie des éprouvettes dédiées au vieillissement thermo-hygrométrique, à échelle 1.

**Paramètres des vieillissements**

Les vieillissements climatiques sont répartis entre deux enceintes : une enceinte Binder KBF240<sup>263</sup>, aux paramètres fixes au laboratoire de l'Inp, et une enceinte Memmert CTC 256, au laboratoire de la BnF, qui a la possibilité de faire des vieillissements avec des paramètres fixes et en cycle<sup>264</sup>.

Les différents vieillissements, leur paramètres (température en °C et humidité relative, HR, en %), leur durée et l'enceinte dans laquelle ils sont réalisés, sont synthétisés dans le tableau ci-dessous (Tableau 6).

Tableau 6 : Synthèse des vieillissements climatiques réalisés.

Paramètres de vieillissement	Durée	Enceinte
35°C – 50 % - paramètres fixes	74 jours	Binder KBF240
35°C – 70% - paramètres fixes	124 jours	Binder KBF240
40°C – 30% - paramètres fixes	107 jours	Binder KBF240
30/45°C – 50 % - en cycle de 24 heures	126 jours	Memmert CTC 256
40°C -30/70% - en cycle de 24 heures (Changement progressif de 3 heures et stabilisation durant 9 heures)	112 jours	Memmert CTC 256

2. Méthodes de suivi des vieillissements

L'impact des vieillissements artificiels sur les éprouvettes est suivi par différentes techniques d'évaluation. Le suivi est réalisé de manière systématique, avant la mise en enceinte, puis tout au long des vieillissements à intervalles de temps réguliers et ce jusqu'à la sortie définitive de l'enceinte. Pour des questions de temps,

<sup>263</sup> Cette chambre permet le contrôle de la température et de l'humidité au cours du conditionnement avec une précision de la consigne de  $\pm 1^\circ\text{C}$  pour la température et de  $\pm 3\% \text{HR}$  pour l'humidité relative.

<sup>264</sup> Cette chambre permet le contrôle de la température et de l'humidité au cours du conditionnement avec une précision de la consigne de  $\pm 0.5^\circ\text{C}$  pour la température et de  $\pm 3\% \text{HR}$  pour l'humidité relative.

certaines techniques d'évaluation ne sont pas utilisées à chaque suivi mais une fois sur deux ou avant et après, en fonction de leur pertinence<sup>265</sup>.

### Prises de vue

Lors de chaque sortie d'enceinte, le suivi s'attache à la réalisation de prises de vue macroscopique<sup>266</sup>, dans une cabine photographique normée<sup>267</sup> en éclairage direct et rasant (en une seule direction), sur un fond blanc et sur un fond gris.

### Prises de vue sous microscope ou loupe binoculaire

Ces prises de vue peuvent être complétées par des photographies sous un microscope en lumière directe naturelle avec un grossissement x50<sup>268</sup>. Pour certains suivis, la disponibilité des équipements a conduit à réaliser les prises de vue sous loupe binoculaire.

### Mesures dimensionnelles

Chaque suivi comprend également la mesure des échantillons à l'aide d'un réglet métallique à 0,5 mm de précision. Ces mesures sont prises le long des quatre côtés de l'éprouvette. Ces mesures permettent par la suite de comparer le périmètre ou la surface des éprouvettes. Il faut noter ici que l'erreur de mesure est 0,25 mm, la précision du réglet étant de 0,5 mm.

### Suivi IRTF-ATR

Des analyses en spectrométrie infrarouge<sup>269</sup> (IRTF, mode ATR) sont réalisées dans l'angle du film où l'encre a été préalablement grattée, lors des suivis. Les échantillons sur carton ne permettent pas d'obtenir une pression suffisante pour l'analyse. Pour chaque mesure IRTF-ATR, un petit morceau de film est donc gratté (pour ne pas avoir l'interférence de l'encre) et décollé pour réaliser une analyse exploitable. Ces analyses sont complétées à la fin du vieillissement par celles de l'adhésif quand il est accessible.

### Mesures colorimétriques

Un suivi colorimétrique, moins régulier, grâce à un spectrocolorimètre portable<sup>270</sup>, permet d'évaluer d'éventuels changements de couleur, notamment le jaunissement de l'adhésif. Les mesures ont été réalisées sur une surface de 8 mm en deux points pour chaque éprouvette ; en réflexion spéculaire incluse et exclue.

### Mesures de pH et de conductivité

Enfin, le pH<sup>271</sup> et la conductivité<sup>272</sup> de la surface du film sont mesurés avant et après vieillissement afin d'évaluer l'impact engendré par de telles dégradations. Les mesures ne sont pas représentatives du matériau dans sa totalité mais de sa surface. Elles sont réalisées avec une pastille d'agarose préparé à 4% dans de l'eau déminéralisée<sup>273</sup>.

---

<sup>265</sup> ANNEXE 5, p. 369-370, Tableaux récapitulatifs des vieillissement climatiques.

<sup>266</sup> Appareil photographique Panasonic Lumix DMC-FZ300 réglé en mode manuel (ISO 250 ; focale 5,6 et vitesse d'obturation 1/50)

<sup>267</sup> Cabine HAVOX HPB-40D.

<sup>268</sup> Microscope Zeiss Axioskop et loupe binoculaire Zeiss Stemi SV11.

<sup>269</sup> Spectromètre Frontier, Perkin Elmer®.

<sup>270</sup> CM2600d, Konica Minolta Sensing®

<sup>271</sup> pH mètre Horiba, LAQUAtwin pH-11.

<sup>272</sup> Conductimètre Horiba, LAQUAtwin EC-22.

<sup>273</sup> L'agarose est un polysaccharide extrait d'une algue rouge, et hautement purifié. Il a la propriété de former un gel rigide quand chauffé dans de l'eau. Une fois refroidi en gel, il se comporte comme une éponge.

## II. Reproduction des phénomènes de dégradation

La réalisation de ces vieillissements successifs a pour objectif la création d'éprouvettes dégradées représentatives de ce que l'on trouve dans les collections patrimoniales. L'exploitation des résultats et leur présentation seront donc orientées pour ces dégradations plutôt qu'une présentation des résultats par type de vieillissement. Par ailleurs, certaines observations peuvent constituer une base pour la compréhension des phénomènes de dégradation mais ne prétendent pas s'ériger en conclusions dans la mesure où l'exploitation des résultats n'a pas été réalisée en ce sens.

Cette partie a pour objectif de présenter les résultats des différents vieillissements réalisés, à savoir les paramètres les plus à même de provoquer des soulèvements, des rétractions ou des bulles en réseaux.

### A. Phénomènes de soulèvement

Comme il a été mentionné précédemment, les soulèvements sont les dégradations les plus présentes dans les collections. Il semble donc juste de postuler que les films ont une tendance marquée au soulèvement et donc qu'engendrer en laboratoire cette dégradation doit être accessible. C'est pour cela que le soulèvement a fait l'objet des premières investigations<sup>274</sup>.

#### 1. Lumière et chaleur comme cause des soulèvements

#### **Typologies des vieillissements et *monitoring* des soulèvements**

##### *Vieillissement à la lumière*

Le vieillissement à la lumière provoque des soulèvements très rapidement (Figure 140). Il constitue également le premier vieillissement entrepris au cours de cette recherche. Les paramètres choisis le sont donc afin d'être un peu extrêmes, pour voir jusqu'où il est possible de pousser la matière, sans toutefois la détruire à ce point qu'il n'y ait plus rien à observer. Les échantillons sont placés dans les conditions décrites précédemment<sup>275</sup>, durant 168 heures, soit 5 jours. A la sortie de l'enceinte, des soulèvements sont déjà visibles et certains échantillons commencent à se soulever dans les jours qui suivent.

---

<sup>274</sup> CINQUALBRE Marion, PELLIZZI Eleonora, BOUVET Stéphane, *et al.*, « Les altérations du zip : focus sur les pertes d'adhésion et reproduction de ces phénomènes en laboratoire », dans *Technè*, 50, 2020, p. 114-123.

<sup>275</sup> Enceinte lumière à 765W/m<sup>2</sup> et 35°C.

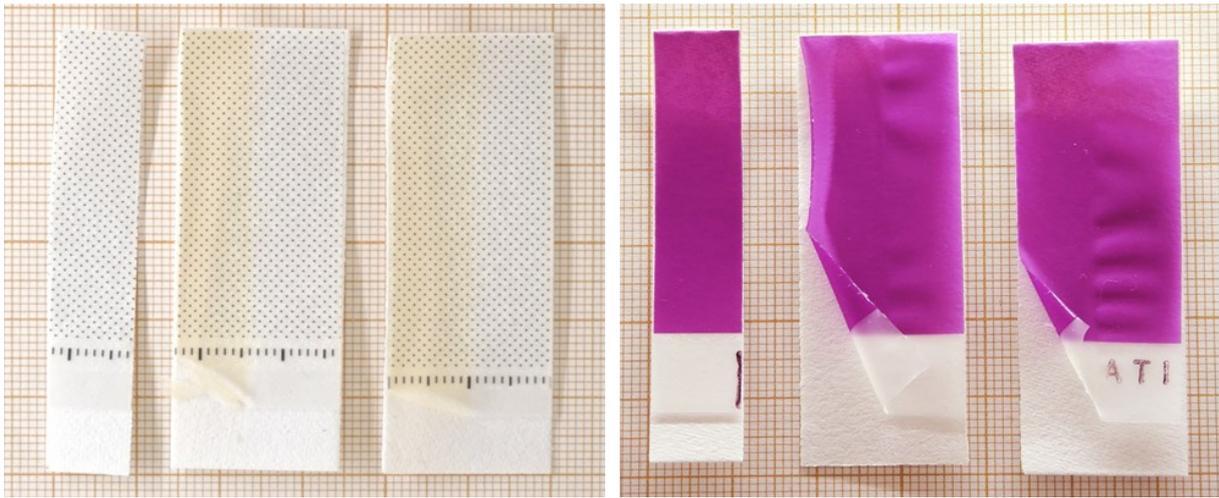


Figure 140 : Épreuves JT-00, DEP+TPP+Cire, à gauche, et N2S 5633 F1, DEP+TPP+aA, après vieillissement à la lumière, à droite.

Dans la plupart des exemples de soulèvements, il faut noter qu'ils sont accompagnés de tensions sur la partie qui était restée protégée de la lumière. Ces tensions sont souvent spécifiques à une des deux épreuves et mettent en avant un comportement anisotrope du zip. Il n'est cependant pas possible à ce stade de préciser si ces tensions sont induites par le soulèvement ou si elles sont engendrées par les mêmes mécanismes qui poussent le film à se soulever.

Le suivi par spectroscopie IRTF-ATR confirme qu'une dégradation a bien été amorcée : les spectres des adhésifs après cette phase d'exposition présentent certaines modifications. Étant spécifiques aux familles d'adhésifs des zips, elles seront développées dans la partie suivante.

#### *Vieillissements climatiques*

Les vieillissements artificiels en enceinte climatique influent sur deux paramètres de dégradation, la température et l'humidité relative. Les conditions pour l'obtention des soulèvements les plus marqués sont une température de 40°C avec une variation de l'humidité relative entre 30 et 70%. Lors de ce vieillissement, les soulèvements apparaissent avant le premier suivi à 28 jours (Figure 141). Par la suite, ils s'accroissent mais n'évoluent pas drastiquement. Toutes les épreuves d'une même référence de zip sont concernées, avec un résultat très net. Les adhésifs des films soulevés conservent leur caractère souple. Cette constatation induit la possibilité que le soulèvement est lié à une tension dans le film ou le papier de support et qu'il est rendu possible par la souplesse de l'adhésif.

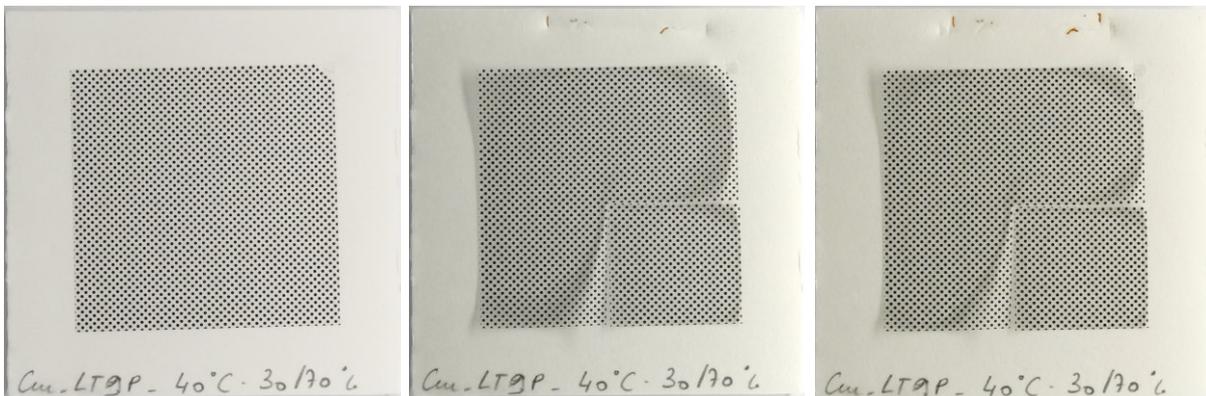


Figure 141 : Épreuve LT9P, DEP+aA sur carton mousse avant, à gauche, après 28 jours, au centre, et après 112 jours de vieillissement en cycle de 30 à 70% HR et à 40°C stable, à droite.

Cela s'observe également pour le vieillissement climatique à 40°C et 30% d'HR, soit un vieillissement chaud et sec. Les soulèvements sont visibles après 77 jours en enceinte et ils sont localisés préférentiellement au niveau des incisions, une zone de stress du matériau, et de très petite ampleur, 1 à 2 mm de largeur (Figure 142). Par ailleurs, les supports semblant les plus propices à ces soulèvements sont lisses. Ces pertes d'adhésion présentent une rupture entre l'adhésif et le papier de support. Les propriétés adhésives restent bonnes et le film, s'il est réappliqué, adhère de nouveau au support, du moins temporairement. Contrairement aux données obtenues sur les échantillons vieillis à la lumière, les spectres réalisés sur le film et l'adhésif des échantillons vieillis en enceinte climatique ne présentent pas de modifications significatives.

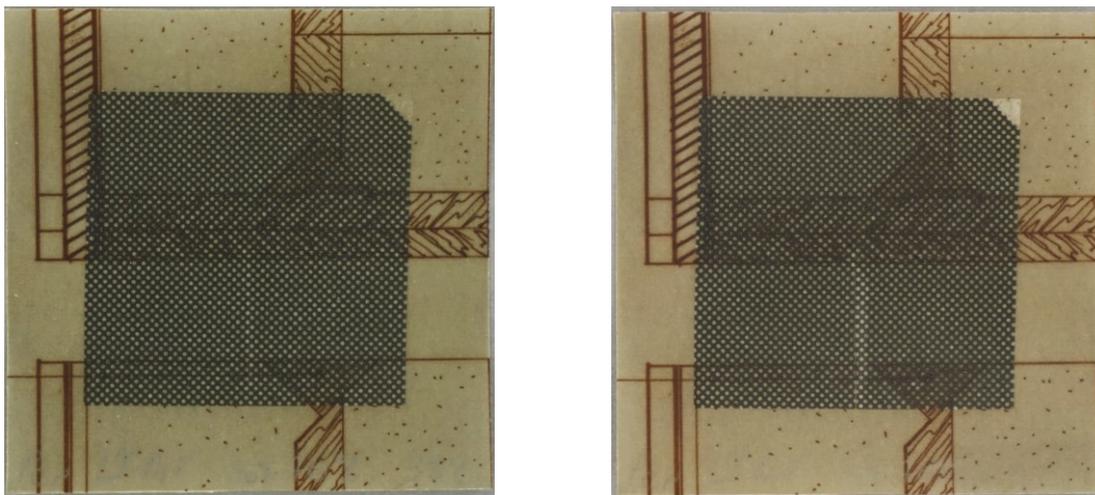


Figure 142 : Épreuve LT14P, DEP+aA avant, à gauche, et après 77 jours de vieillissement à 40°C et 30% HR, à droite.

On peut noter que les autres vieillissements, en milieu chaud et humide (avec une HR minimum de 50%), n'ont pas induit de soulèvements. Cela peut s'expliquer par une absence apparente de contraintes liée à la détente des matériaux.

#### Références de zip sensibles aux soulèvements

Que ce soit lors des vieillissements à la lumière ou ceux en enceinte climatique, les deux typologies de films susceptibles de se soulever sont ceux présentant des adhésifs cireux et acryliques. Les adhésifs vinyliques ne présentent aucun soulèvement, quel que soit le vieillissement mis en œuvre.

Les adhésifs à base de cire sont très stables dans un environnement humide, mais sont sensibles à la chaleur sèche. Les échantillons vieillis en enceinte climatique à 30% HR montrent des petits soulèvements qui seraient probablement accentués pour des temps de vieillissement plus longs (supérieurs à trois mois) mais ne présentent pas de soulèvements marqués lors du vieillissement en cycle (40°C - 30/70% HR). Il est donc possible que ces soulèvements soient également le résultat d'une tension dans le film. En enceinte lumineuse, tous les adhésifs à base de cire sont devenus cassants et n'assurent plus leurs propriétés d'adhésion (Figure 143).

La dégradation de la cire par la lumière est en adéquation avec ce qui a pu être trouvé dans la littérature<sup>276</sup>.

<sup>276</sup> DELCROIX G., HAVEL M., *op cit.*, p.68-69.

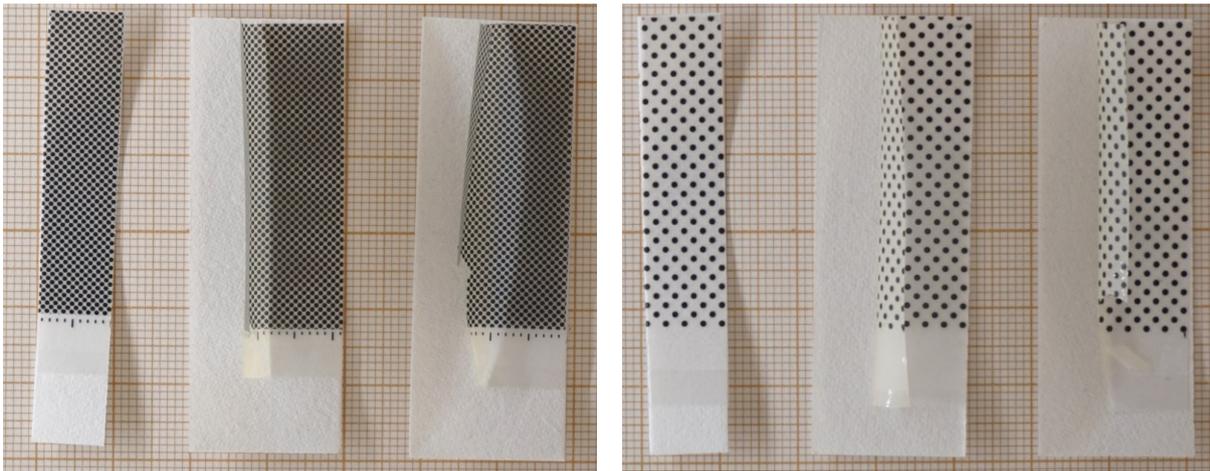


Figure 143 : Échantillons après insolation, références Design-Tone TH-25, DEP+TPP+Cire, à gauche, et Maxon CB 301, DEP+TPP+Cire, à droite (témoin, sens longueur, sens largeur), lumière rasante par la gauche.

Les références de zip avec un adhésif acrylique se soulèvent lors des vieillissements climatiques : légers soulèvements sous une chaleur sèche, qui pourraient évoluer, comme les adhésifs cireux, sur un temps plus long et des soulèvements nombreux et dramatiques lors du vieillissement en cycle (Figure 144). Les soulèvements sont localisés le long des bords pour les échantillons sur des supports rigides (A) et (B) alors qu'ils sont localisés au centre des échantillons pour les papiers souples (C) et (D). La perte d'adhésion est manifeste et probablement accentuée par des tensions dans le film, le papier de support, ou les deux.

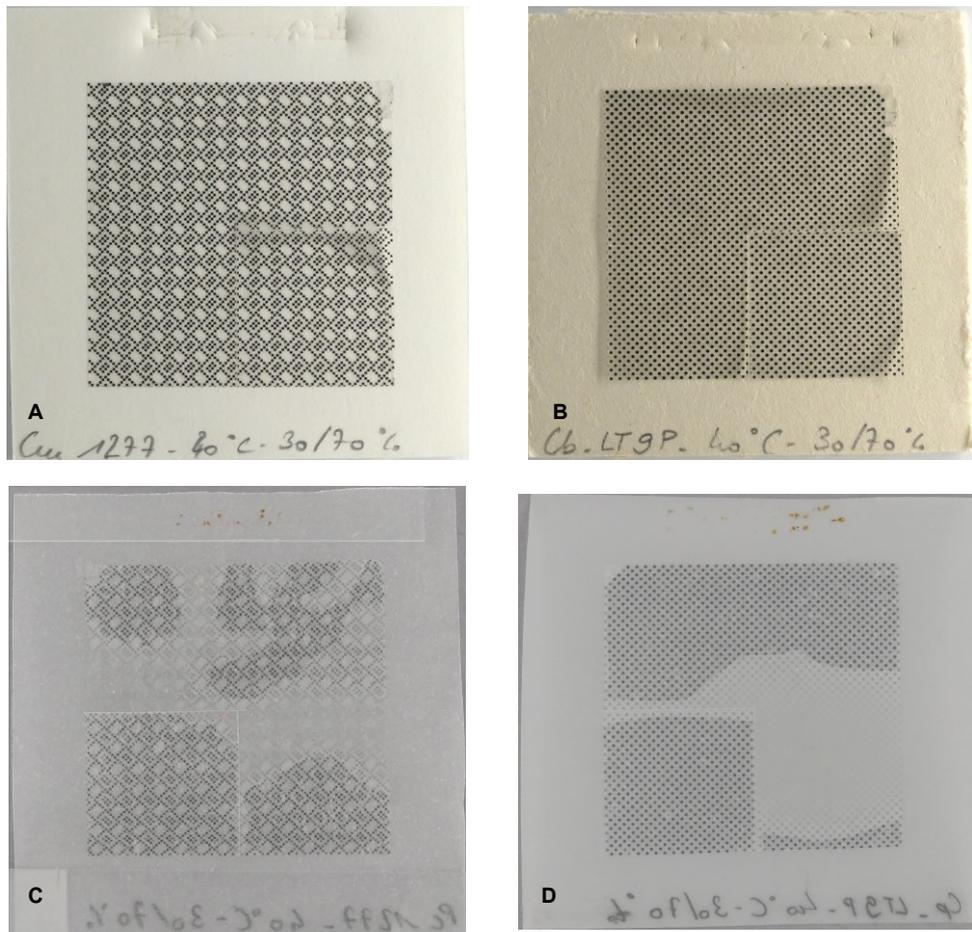


Figure 144 : Échantillons 1277, DEP+aA, à gauche, sur carton mousse (A) et papier calque (C) et LT9P, DEP+TPP+aA, à droite, sur carton bois (B) et calque polyester (D).

Les supports rigides (A) et (B), sont photographiés en lumière rasante par la droite et les supports souples et transparents sont photographiés au verso sur fonds gris pour augmenter les contrastes.

Le vieillissement à la lumière entraîne le soulèvement de toutes les références de zips à motifs encollés avec une base acrylique. Cependant, cela ne se confirme pas pour les références de couleur où seulement quelques références se soulèvent. Il est alors possible d'imaginer que l'impression colorée offre une certaine protection contre la lumière, mais il s'agit seulement d'une hypothèse.

Le vieillissement en enceinte lumière permet par ailleurs de préciser une hypothèse posée au moment de l'examen et de l'analyse des collections : le niveau stratigraphique où intervient la rupture de l'adhésif pourrait être lié à la nature des composants du zip. Lors de l'évaluation des collections, aucune tendance liée à la nature chimique de l'adhésif ou d'autres informations telle que la date de création n'a pu être mise en évidence. Cependant, à la suite des vieillissements artificiels, un critère jusque-là non considéré se dégage : la composition du film, plus précisément la nature des plastifiants présents dans les films d'acétate de cellulose pourrait être corrélés avec des niveaux de rupture spécifique. Il semblerait que les zips composés de films plastifiés aux phtalates présentent une rupture entre le film et l'adhésif, laissant l'adhésif sur le papier de support, tandis que les zips composés de films plastifiés avec un mélange de phtalates et de phosphate de triphényle présentent une rupture entre l'adhésif et le papier de support. Les types de plastifiants ne jouent peut-être pas de rôle direct mais sont le révélateur d'un autre processus de fabrication qui conduit à ce niveau de rupture. Cette hypothèse est à investiguer avant de pouvoir tirer des conclusions.

### **Mise en perspective des résultats des vieillissements avec l'évaluation des collections**

Les dégradations des adhésifs conduisant à des soulèvements sont donc provoquées par la lumière dans le cas des cires et la chaleur dans le cas des acryliques. Ces résultats sont en accord avec les observations faites dans les collections : l'hypothèse de la tireuse comme facteur de dégradation semble se vérifier. De même, le comportement des éprouvettes soumises à la chaleur sèche peut conforter l'idée d'une évolution technique des matériaux du zip pour répondre à ce problème.

Le phénomène de soulèvement des adhésifs souples conservant toutefois encore un caractère adhésif a aussi été observé dans les collections, parfois de façon significative, jusqu'à la moitié de la surface des pièces. Ce comportement pourrait être lié au caractère repositionnable des films, voulu par les fabricants dès la conception, afin de faciliter la mise en œuvre des utilisateurs. Dans les collections, ce genre de comportement s'observe sur des adhésifs de type acrylique, qui conservent encore à ce jour un aspect souple et transparent. Ce comportement a pu être mis en évidence sur les éprouvettes soumises aux vieillissements artificiels.

Enfin, l'absence de soulèvements observés sur les références de zip avec des adhésifs vinyliques est confirmé par les résultats des vieillissements, et ce quels que soient les conditions et paramètres choisis. Le recours aux adhésifs vinyliques dans les zips serait l'aboutissement des recherches des industriels pour assurer le bon maintien des zips sur le dessin.

## 2. Protocole de vieillissement pour la création des éprouvettes

Pour la réalisation des éprouvettes de traitement, il convient d'avoir recours à un vieillissement artificiel efficace afin de pouvoir produire rapidement de nouvelles éprouvettes en fonction de l'évolution du protocole. Par ailleurs, la question de la disponibilité des machines au sein des laboratoires et l'espace au sein des enceintes et donc de la taille des éprouvettes sont également à prendre en compte.

Les deux vieillissements produisant les plus forts soulèvements sont le vieillissement à la lumière (5 jours) et le vieillissement climatique en cycle de 24 h à 40°C avec une variation de 30 à 70% d'humidité relative (28 jours). Le recul sur le vieillissement à la lumière montre que son impact est trop fort sur le long terme : les adhésifs changent tous de couleur, du jaune pour les films de couleur au brun pour les films à motifs, indifféremment de la nature des adhésifs ; les films, quant à eux, s'ils ne sont pas cassés quand ils sortent de l'enceinte, le deviennent rapidement jusqu'à perdre toute cohésion et tomber en morceaux. Le vieillissement en enceinte climatique est, quant à lui, long. Peut-être que les soulèvements apparaissent avant 28 jours mais il faudrait refaire un vieillissement de cette durée avec des suivis plus fréquents pour le vérifier, ce qui demande également du temps.

Par ailleurs, le vieillissement à la lumière permet d'induire des soulèvements pour les adhésifs à base de cire et à base d'acrylique, tandis que le vieillissement climatique ne les produit que sur les acryliques. Afin d'obtenir des soulèvements représentatifs des observations des collections, le vieillissement à la lumière semble pertinent. D'autant qu'il reproduit une étape clé de la vie des dessins, et un évènement de possible dégradation, à savoir le tirage.

Pour des raisons de temps, de disponibilité et de praticité, il est donc décidé d'optimiser le vieillissement à la lumière. Le premier vieillissement est réalisé pendant 5 jours à 765W et 35°C. Des essais sont menés en jouant sur les paramètres de durée et de l'insolation. Finalement, en gardant les paramètres de lumière au maximum et de température au minimum, il est possible de provoquer des soulèvements en 24 heures. Cela permet de réaliser les éprouvettes sur deux jours consécutifs sans occuper l'enceinte pendant une semaine.

## B. Phénomène de rétraction

### 1. Rétraction de l'acétate de cellulose quel que soit le vieillissement

#### **Typologies des vieillissements et *monitoring* des variations dimensionnelles**

Tous les vieillissements engendrent des phénomènes de variations dimensionnelles, qu'ils soient à la lumière ou climatique<sup>277</sup>.

Ces phénomènes de variations dimensionnelles sont visibles à l'œil nu et repérables aisément au niveau de l'incision. En effet, les changements en périphérie n'offrent pas de repères visuels là où le niveau de l'incision crée une rupture dans le motif, un liseré blanc contrasté avec le zip (Figure 146). Par ailleurs, on peut observer un décalage du motif de l'élément en L par rapport au carré incisé. Ces variations sont par ailleurs suivies, comme cela a été mentionné précédemment par des mesures des quatre côtés des carrés de zip sur les éprouvettes et la prise de vue de la zone incisée sous microscope<sup>278</sup> (Figure 145).

---

<sup>277</sup> Cependant comme l'objectif, dans les vieillissements à la lumière, n'étant pas de suivre les variations dimensionnelles aucun suivi n'est engagé et ces changements ne pouvant être quantifiés, ils ne rentreront pas dans l'exploitation des résultats.

<sup>278</sup> Pour le premier vieillissement, les prises de vue sous microscope sont centrées sur un angle, avant que les observations visuelles ne nous poussent à reconsidérer la zone la plus pertinente à enregistrer.

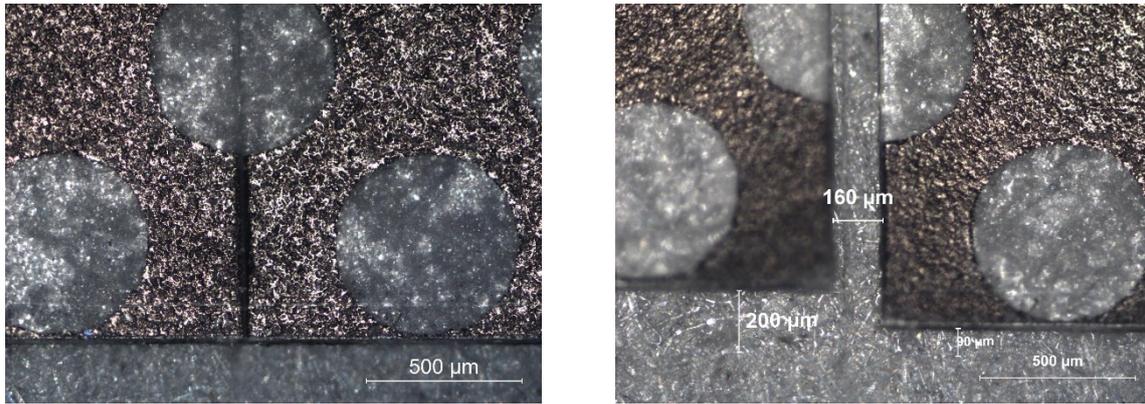


Figure 145 : Photographie sous microscope de l'incision en bas de l'éprouvette LT13NY, DEP+aV, (lumière naturelle, grossissement x5), avant, à gauche, et après 119 jours de vieillissement à 40°C et 30% HR, à droite.

Ces rétractions sont visibles dès le 14<sup>ème</sup> jour pour le vieillissement en conditions sèche et chaude (40°C et 30% HR). Même, le premier vieillissement aux conditions les plus douces (35°C et 50% HR), provoque des rétractions visibles au bout de 32 jours en enceinte. Le vieillissement chaud et avec une humidité fluctuante (en cycle à 40°C stable et variations de 30 à 70% HR sur 24h) induit les plus grandes rétractions et ce, dès le premier suivi à 28 jours en enceinte (Figure 146).

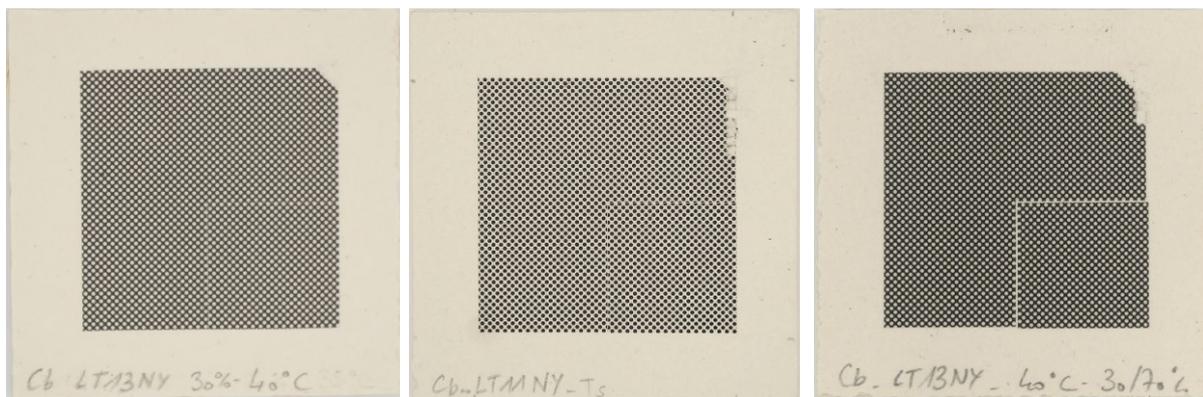
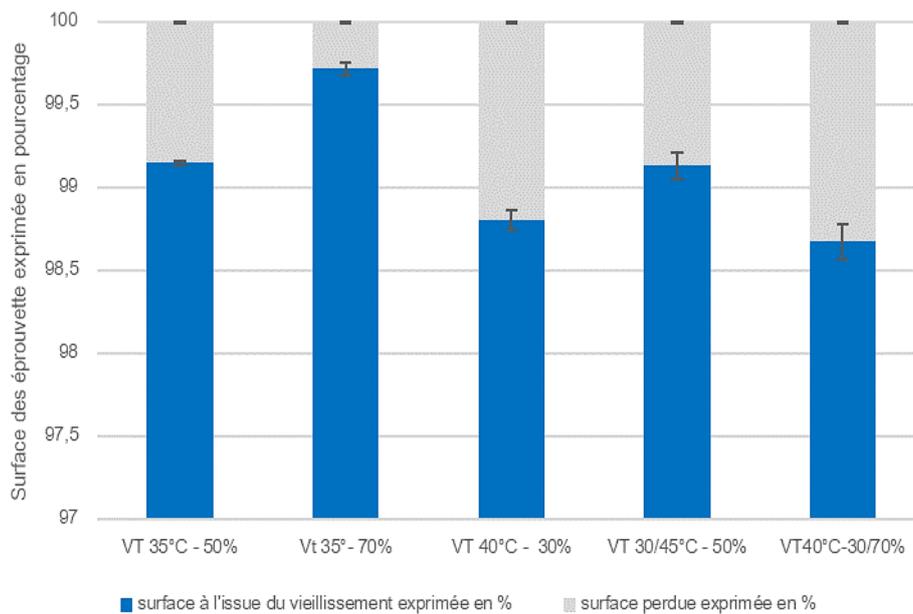


Figure 146 : Éprouvettes de DEP+aV, présentant une rétraction plus ou moins visible. De gauche à droite : LT13NY après 14 jours à 40°C et 30%HR ; LT11NY après 72 jours à 35°C et 50% HR ; LT13NY après 112 jours à 40°C stable et une humidité en cycle entre 30 et 70% HR.

Afin de visualiser l'impact des différents types de vieillissements climatiques, les mesures des échantillons sont rapportées à l'aire, exprimées elles-mêmes en pourcentage pour une lecture plus aisée<sup>279</sup>. Par ailleurs, les changements autour de l'incision ne sont pas pris en compte pour des questions d'homogénéité.

La comparaison se fait sur une durée similaire, fixée à 65 jours pour couvrir l'ensemble des vieillissements, afin de pouvoir comparer l'impact des différents paramètres sur les rétractions (Graphique 30). La valeur de la surface correspond à la moyenne des aires de tous les échantillons du vieillissement, quelles que soient les références et les types de support. Les barres d'erreur de la surface totale sont celles de l'erreur de mesure humaine, tandis que les barres d'erreur de la surface à l'issue du vieillissement prennent également en compte les différences entre les éprouvettes.

<sup>279</sup> Les éprouvettes étant coupées à la main, elles ne font pas toutes exactement 4 x 4 cm.



Graphique 30 : Variations dimensionnelles des éprouvettes sur 65 jours, exprimées en pourcentage, en fonction du type de vieillissement.

Sur une même durée de vieillissement de 65 jours, les pourcentages de perte dimensionnelle varient. Le vieillissement, où l'humidité relative est la plus haute, à 70%, présente une perte dimensionnelle qui passe presque sous le seuil d'erreur<sup>280</sup> : la variation dimensionnelle est minime. Une perte d'un peu moins d'1% de la surface totale est observé pour le vieillissement à 35°C et 50% HR et celui en cycle de 30 à 45°C à une humidité stable de 50%. Les conditions pour ces deux vieillissements ne sont en effet pas très éloignées. Enfin, les deux vieillissements avec une température de 40°C avec une humidité stable à 30% ou en cycle de 30 à 70%, présentent les plus grands phénomènes de rétraction.

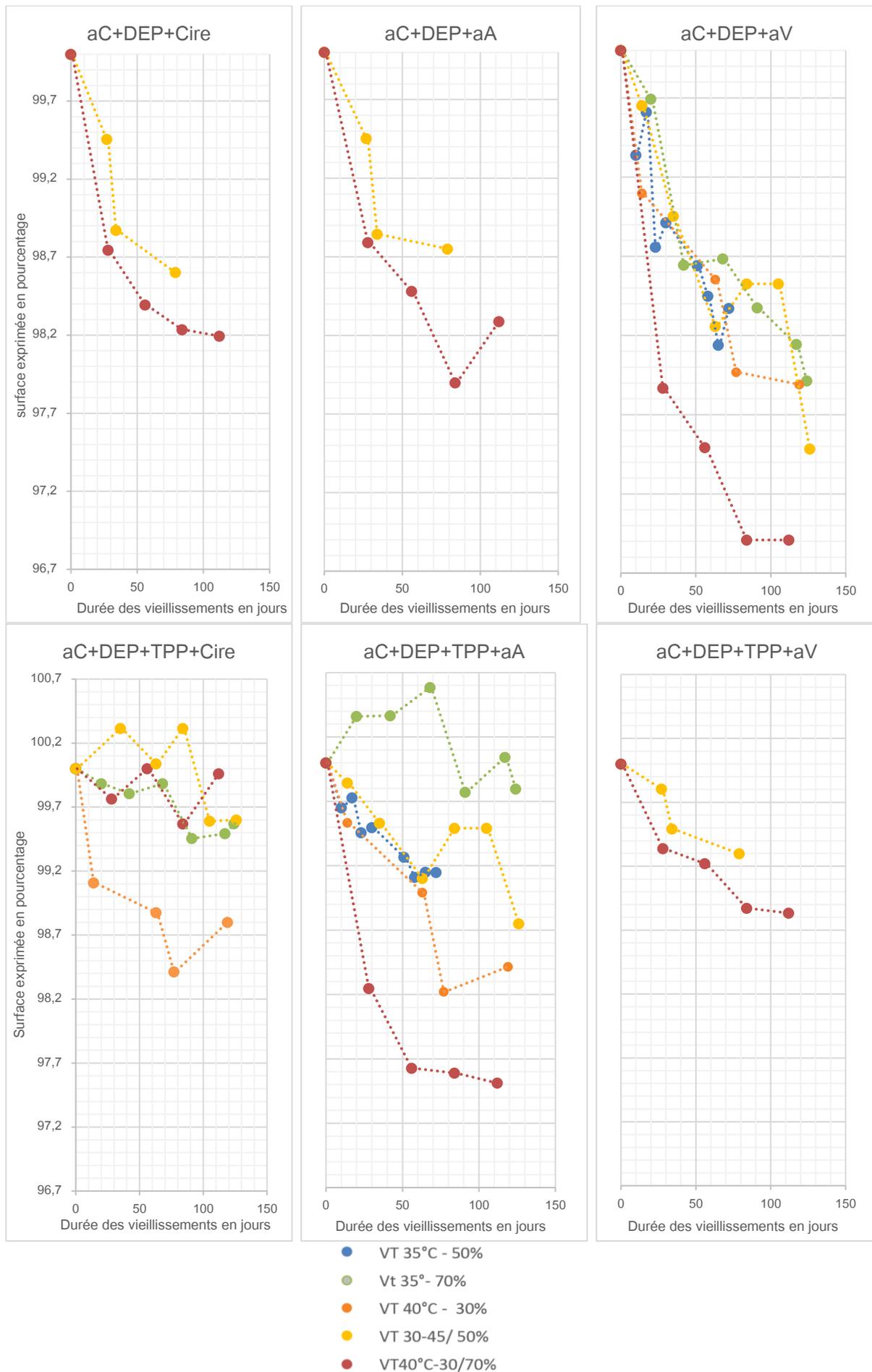
Ces valeurs peuvent sembler faibles mais la discontinuité du motif est perceptible à l'œil nu, même pour le vieillissement à 35°C et 70% HR.

Par ailleurs, il faut noter que de nombreuses éprouvettes sont sujettes à des gauchissements. Cependant, cet aspect n'a pas été évalué quantitativement et n'est appréciable, dans le cadre de cette étude que par l'aspect visuel documenté par les prises de vue.

### Références de zip sensibles aux rétractions

Si tous les paramètres choisis pour les vieillissements climatiques permettent des phénomènes de rétractions, toutes les références de zips testées n'y sont pas sensibles de la même façon (Graphique 31).

<sup>280</sup> L'erreur de mesure est 0,25 mm, la précision du régllet étant de 0,5 mm. La mesure des écarts dus aux rétractions n'a pas pu être réalisée sous microscope pour chaque suivi. Aussi afin de pouvoir comparer les rétractions liées aux différents vieillissements, les valeurs sont celles mesurées avec le régllet.



Graphique 31 : Pertes dimensionnelles mesurées sur différentes combinaisons film/adhésif de zip soumises aux vieillissements climatiques.

Les graphiques présentent les rétractions mesurées pour chaque combinaison film/adhésif : les films plastifiés avec des phtalates sont présentés dans la partie supérieure, ceux avec des phtalates et du phosphate de triphényle dans la partie inférieure ; les adhésifs à base de cire, d'acrylique et de vinylique sont répartis, respectivement, en haut comme en bas, de gauche à droite. Les graphiques présentent les résultats dans le temps en fonction de l'évolution de la surface exprimée en pourcentage. Pour une meilleure lisibilité, l'axe des ordonnées est borné de 100,7%, 100% étant la valeur de départ, à 96,7 % qui inclue les plus grandes variations observées.

Il faut noter que ces valeurs sont le résultat de la mesure des 4 côtés des échantillons à un temps  $t$ , avec une erreur humaine de mesure de  $\pm 0,25$  mm par côté. La moyenne des côtés permet ensuite d'obtenir l'aire de la surface, l'erreur humaine de mesure est donc de  $\pm 0,7\%$ .

Les films plastifiés avec des phtalates présentent des variations dimensionnelles avec une baisse de la surface de zip mesurée. La pente de ces phénomènes de rétraction assez proche pour tous ces films à travers les différents types de vieillissements. Le vieillissement en cycle à 40°C et une hygrométrie variant de 30 à 70% induit cependant des rétractions plus importantes, pour tous ces films, avec un impact plus fort pour la référence recouverte avec un adhésif vinylique.

Le comportement des films plastifiés avec des phtalates et du phosphate de triphényle est moins homogène. La référence recouverte avec un adhésif cireux présente des variations passant dans la fourchette d'erreur, pouvant donc être considérées comme négligeables. Seul le vieillissement stable à 40°C et 30% d'humidité relative induit une perte dimensionnelle notable. Les zips avec les deux plastifiants et un adhésif acrylique montre des baisses dimensionnelles différentes en fonction des vieillissements, en accord avec les tendances générales présentées précédemment : à 35°C et 70% d'HR le changement est compris dans le seuil d'erreur et donc non discriminant, les autres vieillissements induisent une diminution de l'aire de la moins importante à la plus marquée, respectivement : en cycle 30/45°C et 50% HR, stable à 35°C et 50% HR, stable à 40°C et 30% HR, enfin en cycle à 40°C et 30/70%. Enfin, le zip avec les deux plastifiants et un adhésif vinylique présente un phénomène de baisses dimensionnelles proche avec les deux vieillissements, d'ampleur moyenne.

Si l'on se penche sur une durée de 65 jours, la majorité des tendances est similaire à ce qui est observé sur les vieillissements complets (Tableau 7). Il faut noter que pour le film plastifié avec des phtalates et encollé à l'acrylique, le vieillissement à 35°C et 70% HR entraîne à 65 jours, une augmentation dimensionnelle qui disparaît dans la poursuite du vieillissement.

Tableau 7 : Valeur de perte de dimensions en pourcentage pour l'ensembles des vieillissements à 65 jours.  
Les valeurs en dessous du seuil de l'erreur de mesure à 0,35% sont figurées en gris.

Vieillissements Références	35°C - 50%	35°C - 70%	40°C - 30%	30/45°C - 50%	40°C - 30/70 %
DEP+Cire				1,40	1,61
DEP+aA				1,25	1,52
DEP+aV	1,86	1,32	1,45	1,48	2,86
DEP+TPP+Cire		0,12	1,12	-0,32	0,00
DEP+TPP+aA	0,85	-0,61	1,01	0,90	2,37
DEP+TPP+aV				0,70	0,78

Les vieillissements présentent des résultats en accord avec ce qui a été observé dans les collections : des films rétrécis en majorité plastifiés aux phtalates. Cependant, comme dans les collections, des phénomènes de rétraction peuvent être observés sur des références de zip plastifiés au mélange.

Par ailleurs, l'évaluation des collections laisse penser que les adhésifs à base de cire et d'acrylique permettent au film de rétrécir de façon plus aisée qu'avec les adhésifs vinyliques. Les vieillissements en laboratoire montrent que la faible représentation des adhésifs vinyliques ne se justifie peut-être qu'au regard du faible nombre de zip analysés présentant ce type d'adhésif et non à la capacité de celui-ci à freiner la rétraction.

Enfin, la diversité des supports ne permet pas lors de ces vieillissements de mettre en avant un comportement plutôt qu'un autre.

### Corrélation entre taille des éprouvettes et variations dimensionnelles

Comme expliqué précédemment, les valeurs de rétraction sont petites, bien que visibles et sont assez proches des écarts types. Afin de voir si la taille influe sur l'ampleur de la rétraction, comme certains dessins observés peuvent le laisser supposer, un test complémentaire est mené avec des éprouvettes portant la même référence de zip mais de différentes dimensions. Par ailleurs, la question du sens dans la feuille de zip, soulevée lors de l'étude des collections, est relancée par l'observation d'un décalage du motif mis en évidence lors des vieillissements et présentant un caractère anisotrope (Figure 147). Cet aspect est donc également pris en compte dans cette expérimentation complémentaire.

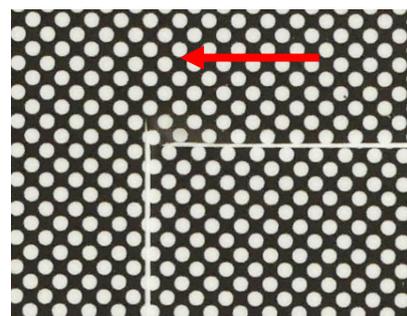


Figure 147 : Détail de l'incision au centre de l'éprouvette LT13NY, DEP+aV, sur un support en carton mousse, après 112 jours de vieillissement à 40°C et 30/70% HR. La flèche rouge met en avant le sens de rétraction préférentiel visible par les décalages des points.

### Matériel et méthodes

Une série de 5 éprouvettes est réalisée : trois éprouvettes carrées, une similaire à celles définies pour les vieillissements climatiques de 4 x 4 cm, le double de sa surface 8 x 8 cm et son carré 16 x 16 cm ; et deux éprouvettes rectangulaires prélevées dans les deux sens de la feuille de zip, au format les plus grands possibles, de 16 x 22 cm et 22 x 16 cm. Le carré incisé est toujours de 2 x 2 cm et sert de témoin.

Au moment où cette investigation est lancée, le vieillissement en cycle à 40°C et 30/70% d'humidité relative n'a pas encore été fait. Les paramètres engendrant les rétractions les plus fortes sont alors ceux du vieillissement en cycle de 30 à 45°C avec une humidité relative stable de 50%. Ces éprouvettes sont donc soumises à ces conditions pendant 112 jours.

Le zip choisi pour cette expérience complémentaire est une combinaison avec des phtalates et un adhésif vinylique, le LT23NY. En plus d'un choix par la combinaison film/adhésif, la nécessité d'une référence avec plusieurs feuilles a guidé le choix.

Les méthodes de suivi sont identiques à celles des vieillissements climatiques, à savoir : des prises de vue, des mesures dimensionnelles, et surtout, une attention particulière est portée à l'observation sous microscope avec la mesure des écarts. Le microscope utilisé est un Hirox<sup>281</sup>. Il s'agit d'un appareil différent de celui des suivis, qui permet une exploitation facilitée des données observées.

### Rétraction et format

<sup>281</sup> Microscope Hirox KH-8700.

Très vite, les rétractions sont visibles et très importantes sur les grandes éprouvettes, jusqu'à 1,19 mm d'écart entre les bords du plastique de part et d'autre de l'incision. Sur l'éprouvette de 4 x 4 cm, le décalage du film par rapport à l'incision, qui sert ici de marqueur, est de même grandeur entre celui du carré de 2 x 2 cm et la partie en L de l'éprouvette (Figure 148). En revanche, pour les éprouvettes où le L est plus grand que le carré témoin, l'éloignement à l'incision est différent. Ainsi, pour l'éprouvette dont la taille est le double, l'écart du carré témoin à l'incision est semblable à celui de l'éprouvette 4 x 4 cm, mais l'écart est bien plus important du côté du L (Figure 149).

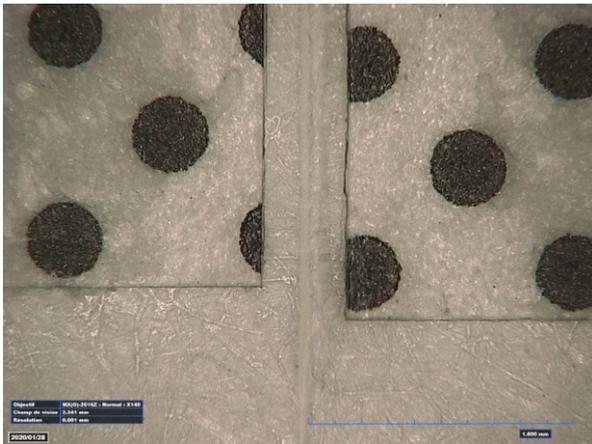


Figure 148 : Éprouvette 4 x 4 cm à l'issue du vieillissement, incision en partie basse observée au Hirox (grossissement x140).

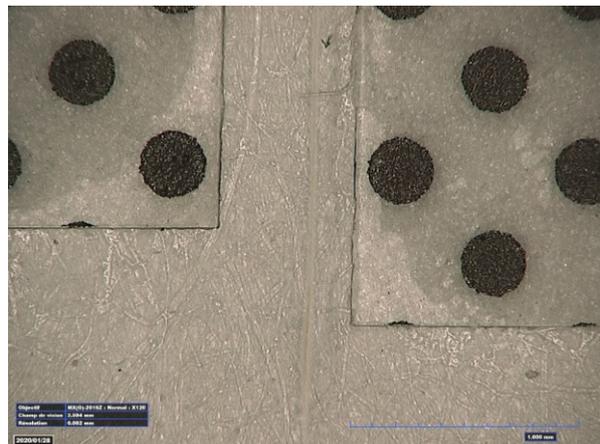
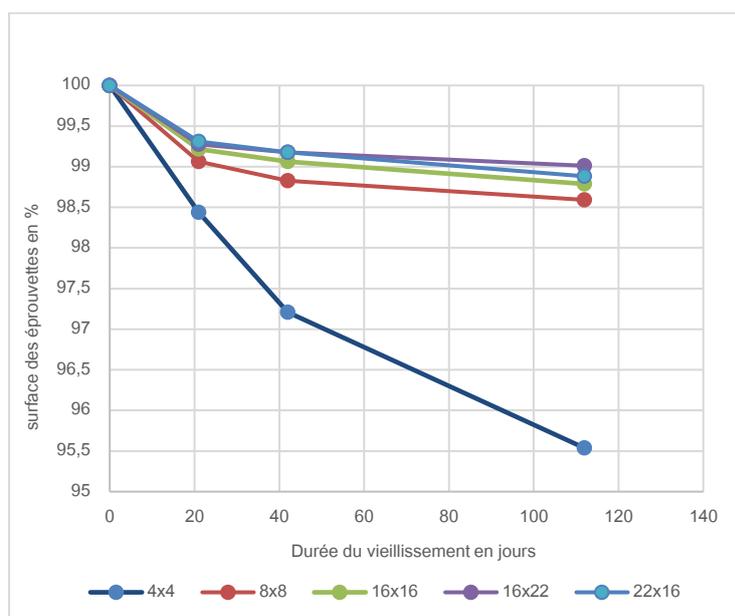


Figure 149 : Éprouvette 8 x 8 cm à l'issue du vieillissement, incision en partie basse observée au Hirox (grossissement x120).

Plus l'éprouvette est grande plus la rétraction est importante. Ainsi, pour l'éprouvette la plus petite, la rétraction mesurée entre le L et le carré est de 0,29 mm en moyenne, tandis que pour l'éprouvette carrée la plus grande, celle de 16 x 16 cm, l'écart est de 0,98 mm en moyenne.

Cependant, en exprimant les surfaces en pourcentage, il apparaît que la rétraction est proportionnellement de plus grande ampleur pour une petite éprouvette (Graphique 32).



Graphique 32 : Ampleur de la rétraction en fonction de la surface exprimée en pourcentage.

*Rétraction et sens*

Par ailleurs, la comparaison des écarts dans un sens et dans l'autre de la feuille permet d'illustrer que le plastique présente un sens. Les changements dimensionnels s'opèrent préférentiellement dans le sens opposé à celui de la feuille. Cela signifie que les feuilles commercialisées pour la marque Letraset®, présentent un format vertical qui n'est pas celui du sens de fabrication. Il est donc fort probable que le zip soit produit sur une machine plate et que les feuilles soient ensuite coupées dans le sens perpendiculaire au sens de la table papetière. Cette observation est extrêmement intéressante d'un point de vue technologique mais dans la mesure où il n'est pas possible de connaître le sens des éléments de zip cela ne permet que d'être vigilant sur cet aspect.

Cette prédisposition semble toutefois contrebalancée par la morphologie des éprouvettes. En effet, la taille de l'éprouvette influe et plus une longueur est grande plus elle semble imposer des contraintes engendrant une rétraction importante, même contre le sens de la feuille de plastique (Figure 150).

Cela est souligné par la comparaison des mesures des deux éprouvettes de mêmes dimensions : celle prélevée dans le sens préférentiel de variation de la feuille connaît une plus grande rétraction, que celle dont le sens est inverse à sa plus grande longueur (Tableau 8).

Taille des éprouvettes	Rétraction perpendiculaire sens de la feuille de zip	Rétraction parallèle sens de la feuille de zip	Rétraction moyenné
4 x 4 cm	0,3 mm	0,28 mm	0,29 mm
8 x 8 cm	0,6 mm	0,54 mm	0,57mm
16 x 16 cm	1,06 mm	0,9 mm	0,98 mm
16 x 22 cm	1,19 mm	0,92 mm	1,055 mm
22 x 16 cm	0,92 mm	1,09 mm	1,005 mm

Tableau 8 : Valeurs d'écart entre les bords du plastique de part et d'autre de l'incision, en millimètres.

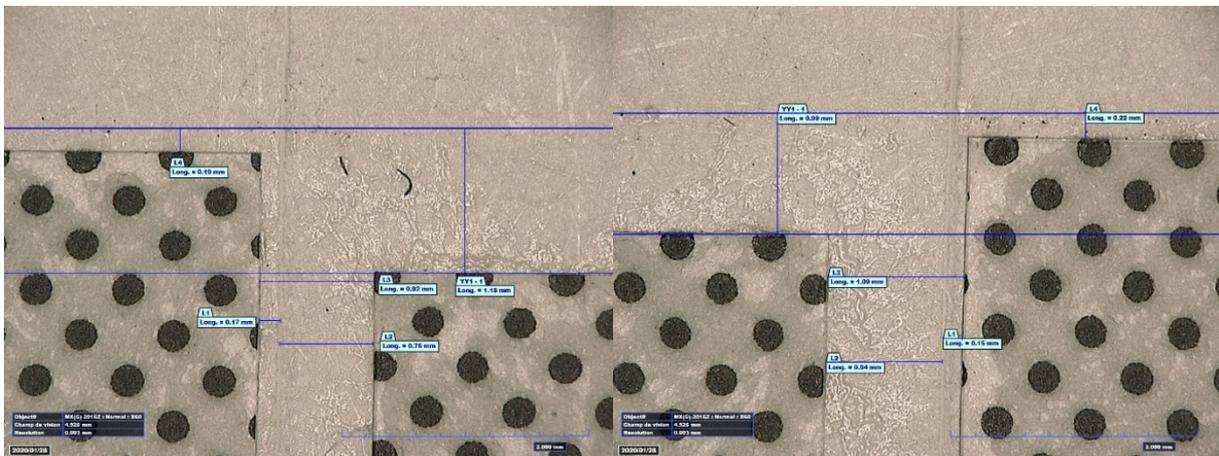


Figure 150 : Prises de vue sous microscope avec mesures d'une même éprouvette, 22 x 16 cm, au niveau de l'incision, présentant la rétraction dans le sens perpendiculaire du sens de la feuille, à gauche, et dans le sens de la feuille, à droite.

2. Protocole de vieillissement pour la création des éprouvettes

Les rétractions les plus marqués apparaissent lors du vieillissement en cycle à 40°C avec une humidité relative variant de 30 à 70% sur 24 h. Cependant, ces résultats sont obtenus au bout de 112 jours, soit presque 4 mois. Cela est trop long dans le contexte d'une recherche sur un temps bien défini. Il est donc décidé de s'arrêter à 84 jours. En effet, l'ampleur des rétractions est déjà visible et elles n'évoluent que peu pendant le mois suivant. Une économie d'un mois n'est pas négligeable mais elle n'est pas suffisante.

L'idée est donc de favoriser la rétraction par la forme de l'éprouvette, en jouant sur le caractère anisotrope du film et de la pièce de zip comme nous venons de le montrer. La morphologie de l'éprouvette sera précisée dans la partie dédiée aux tests de restauration.

La référence de zip sélectionnée pour obtenir la plus forte rétraction doit présenter une combinaison d'un film d'acétate de cellulose plastifié avec des phtalates avec un adhésif à base de vinylique. Ce type de film est en effet celui qui donne les rétractions les plus marquées. L'adhésif vinylique, quand bien même peu présent dans les collections, offre néanmoins les plus grandes rétractions dans les conditions les plus propices à leur création.

### C. Bulles en réseaux

#### 1. Difficultés à reproduire la dégradation

Il n'est pas possible de créer des bulles en réseaux lors des vieillissements artificiels, de façon reproductible. En effet, des bulles en ligne apparaissent sur des éprouvettes lors d'un vieillissement à 35°C et 30% HR. Cependant, lors de ce vieillissement, le premier entrepris dans l'enceinte climatique de la BnF, un problème de fabrication de l'enceinte a occasionné la projection de gouttes d'eau sur les éprouvettes. Un vieillissement avec des conditions approchantes à savoir 40°C et 30% HR est engagé pour voir si d'une part, 5°C peuvent permettre d'accélérer les processus de dégradation et d'autre part si vérifier si la formation des bulles est due aux paramètres de vieillissement ou aux projections. Les résultats de ce vieillissement montrent un comportement très différent des éprouvettes : la formation de rétraction plutôt que des bulles.

Le comportement des zips en réaction aux projections d'eau, laisse espérer qu'un vieillissement avec une haute chaleur et une forte humidité relative pourrait produire des bulles. Toutefois, le vieillissement à 35°C et 70% HR, n'engendre que très peu de dégradations, les seules présentes sont des rétractions sur les films avec des phtalates et un adhésif vinylique.

Le vieillissement en cycle à 40°C stable et une variation de 30 à 70% HR ne permet pas non plus de produire ces dégradations.

Une autre explication de cette incapacité à reproduire ce type de dégradation, au-delà des paramètres de vieillissement, est la taille et la morphologie des éprouvettes. En effet, par souci d'économie de la matière, les éprouvettes sont d'une taille intermédiaire : elles sont suffisamment petites pour ne pas utiliser trop de matière mais elles sont suffisamment grandes pour permettre d'évaluer visuellement des dégradations. Néanmoins, elles sont peut-être trop petites pour laisser apparaître des bulles. Par ailleurs, une forme carrée n'est peut-être pas la plus adaptée. En effet, sur certaines éprouvettes on peut discerner des comportements différents au niveau de l'angle interne du L. Ces pistes restent à étudier.

#### 2. Protocole de vieillissement pour la création d'éprouvettes

En l'absence de modélisation des bulles en réseaux lors des vieillissements artificiels, il n'est pas possible de proposer un protocole de vieillissement permettant d'obtenir ces dégradations de façon reproductible. L'incapacité à produire des éprouvettes implique l'abandon de cette dégradation pour les prochaines étapes de la recherche.

## Conclusion

Les paramètres testés lors des différents vieillissements artificiels favorisent la formation de dégradations similaires et proches de celles observées dans les collections pour les phénomènes de soulèvements et de rétractions. La modélisation de ces dégradations par un protocole reproductible permet d'envisager la production d'éprouvettes fiables pour la réalisation de tests en vue de l'élaboration de traitement de conservation-restauration. Par ailleurs, les nombreux suivis et les informations collectées n'ont pas fait l'objet, dans le cadre de cette étude d'investigations plus poussées en termes de compréhension des mécanismes de dégradation. Les données étant déjà collectées, ces recherches pourraient être engagées ultérieurement.

### Ce qu'il faut retenir de ce chapitre

- Des phénomènes de soulèvement sont produits sur des éprouvettes par des vieillissements à la lumière et en enceinte de vieillissement à 40°C stable et une variation de l'humidité relative entre 30 et 70%.
- Le protocole défini pour la création des éprouvettes pour les traitements des tests de soulèvement est : 24 h en enceinte lumineuse à 765W et 35°C.
- Des phénomènes de rétraction sont produits sur des éprouvettes par la plupart des vieillissements et sur les deux types de film. Les films plastifiés avec des phtalates présentent une diminution de leur surface systématique et importante. La tendance est moins claire pour les films plastifiés avec le mélange.
- Le protocole défini pour la création des éprouvettes pour les traitements des rétractions est : 84 jours en enceinte de vieillissement à 40°C stable et une variation de l'humidité relative entre 30 et 70%.
- Des phénomènes de bulles en réseaux ont été produits sans que le protocole ne puisse être reproductible. Il n'est donc pas possible de réaliser des éprouvettes pour les tests de traitement.

## CHAPITRE 6 : PROTOCOLES DE TRAITEMENT DES PHENOMENES DE SOULEVEMENT

---

Les phénomènes de soulèvement sont les dégradations les plus représentées dans les dessins présentant du zip dans les collections. Ils sont par ailleurs les plus dangereux au regard de la perte d'éléments de zip et ainsi une dépréciation de l'esthétique et de l'information véhiculée par le dessin. C'est pour cela qu'il est nécessaire de développer un protocole de traitement permettant leur consolidation.

La difficulté est qu'un bon collage se fait sur des surfaces propres et nettoyées. Ainsi, il est nécessaire de trouver une méthode pour retirer l'adhésif d'origine du film et, le cas échéant, du papier de support. Cependant, le film est fragile et sensible aux mêmes agents qui pourraient être envisagés pour retirer l'adhésif. La littérature et l'expérience professionnelle permet de choisir les pistes à investiguer mais le zip est particulièrement complexe, et la présence d'encre, complique sérieusement les possibilités d'action.

La définition d'une mise en œuvre sûre et maîtrisée pour retirer l'adhésif est primordiale pour pouvoir envisager la repose du film dans des conditions pérennes. À ce stade, d'autres recherches sont nécessaires pour pouvoir sélectionner un adhésif dont les propriétés répondent au cahier des charges établi.

Par ailleurs, il a déjà été mentionné que pour certains zips où l'encre est entre le film et l'adhésif, un retrait de ce dernier n'est pas envisageable au risque de faire disparaître le motif ou la couleur. Dans ces cas de figure, l'application d'un adhésif de restauration peut s'envisager.

En plus de critères de stabilité et de neutralité chimique, les adhésifs doivent présenter un aspect visuel satisfaisant quand le zip est recollé. Ils doivent en plus pouvoir être réactivés pour être démontés à plus ou moins long terme.

Les protocoles élaborés et testés au cours de ce chapitre se concentrent donc sur le retrait de l'adhésif et l'application d'un adhésif de restauration pour pouvoir reposer le film (qu'il ait été préalablement nettoyé de l'adhésif d'origine ou non) (Figure 151, encadré rouge).

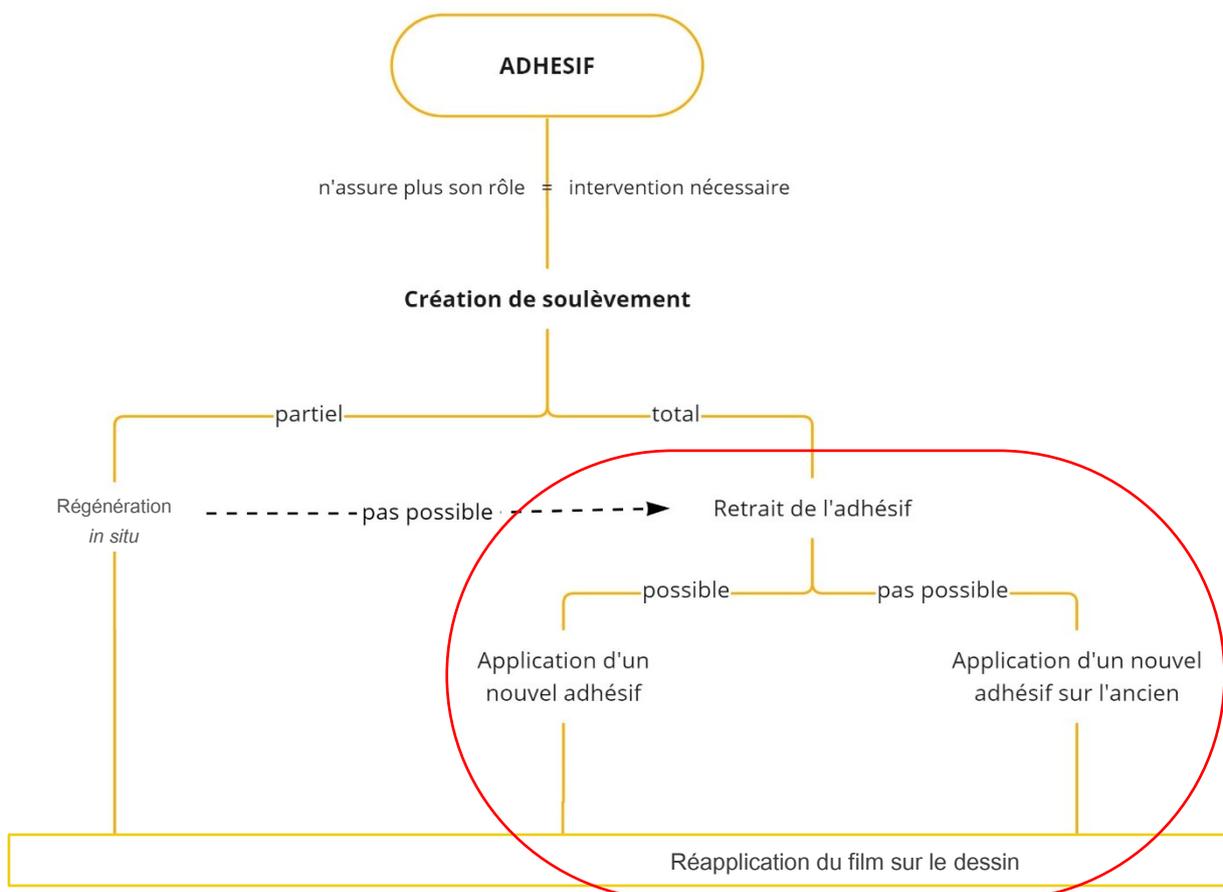


Figure 151 : Diagramme des étapes successives pouvant être rencontrées dans le contexte de traitement de soulèvements.

## I. Dégagement de l'adhésif d'un film auto-adhésif

Il a été déjà mentionné à plusieurs reprises au cours de ce manuscrit que le zip ne fait l'objet que de peu de publications. Ainsi, il n'est pas surprenant d'observer cette même rareté dans la littérature dévolue à sa restauration et à sa conservation. Cependant, il est possible de s'appuyer, en complément des quelques publications sur le zip, sur des publications lui faisant écho tant d'un point de vue matériel que des problématiques rencontrées. L'état de l'art s'attache dans un premier temps à présenter les informations dont le conservateur-restaurateur peut s'inspirer pour définir des protocoles de tests. Les différentes étapes du protocole expérimental pour le retrait chimique de l'adhésif du film de zip seront ensuite présentées (Figure 152, encadré rouge foncé).

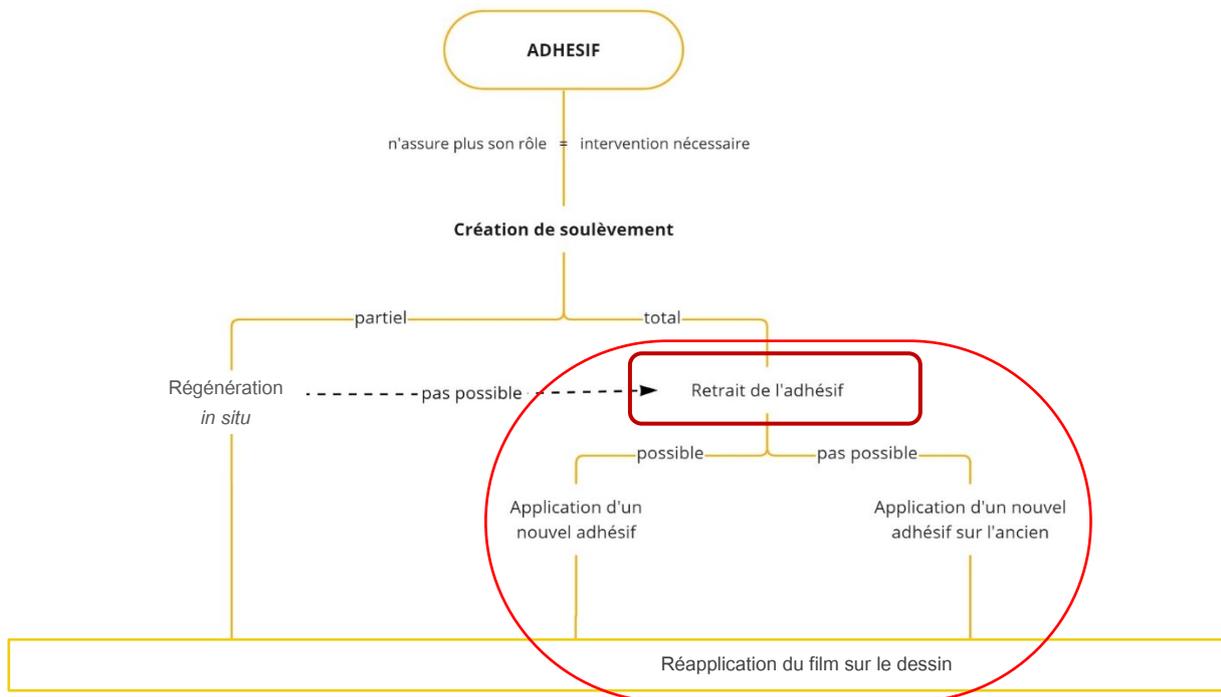


Figure 152 : Diagramme des étapes successives pouvant être rencontrées dans le contexte de traitement de soulèvements.

### A. Etat de l'art

*L'état de l'art est illustré de photographies prises dans le cadre d'interventions de restauration réalisées au cours de notre vie professionnelle pour faciliter la compréhension des termes techniques.*

Le retrait d'une couche d'adhésif est une opération assez courante dans le domaine de la conservation-restauration, et plus particulièrement des arts graphiques. En effet, la grande majorité des œuvres sur papier sont présentées, montées et encadrées en raison de leur fragilité, et ce type de présentation implique l'usage d'un adhésif ou d'un ruban adhésif, et de leur retrait lors d'interventions de restauration. Par ailleurs, les dessins sont des œuvres relativement fragiles qui ont pu être réparées au cours du temps par des rubans adhésifs dont la nature n'est pas toujours en accord avec les règles déontologiques en matière de pérennité et de stabilité (Figure 153). Dans tous ces cas de figures, l'âme du ruban (plastique ou papier) ne fait pas l'objet d'égard car l'œuvre prime.



Figure 153 : Détail du verso du nuancier pour les peintures de la série du *Boulevard des Italiens*, de Gérard Fromanger, 1971. Les déchirures sont consolidées au verso par du ruban adhésif.

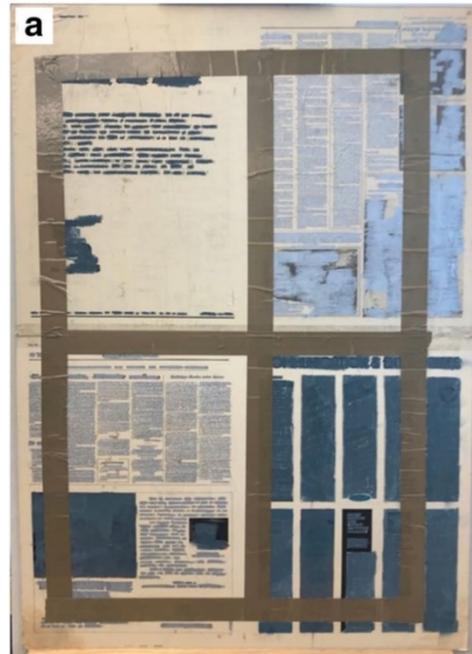


Figure 154 : *Les très riches heures de P.B.* par Pierre Buraglio, 1982. Visuel extrait de l'article d'Antonio Mirabile<sup>282</sup>. Les rubans adhésifs sont partie intégrante de l'œuvre.

En revanche, dans certains cas, les rubans adhésifs font partie de l'œuvre ou de la vie de l'objet et doivent donc être conservés (Figure 154). C'est sur la littérature relative à ce contexte que les recherches de protocole de retrait d'adhésif sur les zips s'appuient. Il faut par ailleurs noter que la dépose de rubans adhésifs est généralement réalisée en deux étapes : le retrait de l'âme du ruban puis l'élimination des résidus d'adhésif.

### 1. Décoller l'âme du ruban du support papier

La dépose de l'âme, papier ou plastique, du ruban adhésif est réalisée avec une action mécanique parfois seule, mais souvent couplée à une action thermique ou chimique.

#### **Retrait mécanique de l'âme du ruban adhésif**

Le retrait mécanique consiste à passer une lame (scalpel, cutter, couteau) dans le sens perpendiculaire du ruban, dans la couche adhésive<sup>283</sup>. L'âme du ruban se décolle bien si l'adhésif est dégradé. L'intervention est plus délicate pour un adhésif encore pégué ou souple et l'intervention mécanique est souvent couplée à la chaleur appliquée par contact, avec l'usage d'une spatule chauffante<sup>284</sup> ou un fer à souder à embout en brunissoir<sup>285</sup> ; ou à distance, avec un sèche-cheveu ou un pistolet/stylo à air chaud<sup>286</sup> (Figure 155). Dans le cas de la spatule chauffante, celle-ci a le double rôle d'outil et d'apport de chaleur alors que l'usage du sèche-cheveu ou du pistolet est à coupler avec des pinces ou un scalpel pour retirer le ruban.

<sup>282</sup> MIRABILE Antonio, CHELAZZI David, FERRARI Pamela, et al., "Innovative methods for the removal, and occasionally care, of pressure sensitive adhesive tapes from contemporary drawings", dans *Heritage Science*, vol. 8, article n°42, 2020, 16 p.

<sup>283</sup> SMITH Merrily A., JONES Norwell M.M., PAGE Susan L., et al., "Pressure-Sensitive Tape and Techniques for its Removal from Paper", dans *Journal of American Institute for Conservation*, vol. 23, n°2, article n°3, 1984, p.101-113.

<sup>284</sup> *Ibid.*

<sup>285</sup> MINTER William, "Special Tool for Removal of Pressure Sensitive Tape", dans *10th Anniversary Conference: new direction in paper conservation*, 14-18 April 1986, Leigh : The Institute, 1986, p. D79.

<sup>286</sup> STANLEY Ted, « A Tool for Pressure Sensitive Tape Removal: The AirPencil », dans *Postprint The Book and Paper Group Annual*, n°17, 1998, p.111-112.

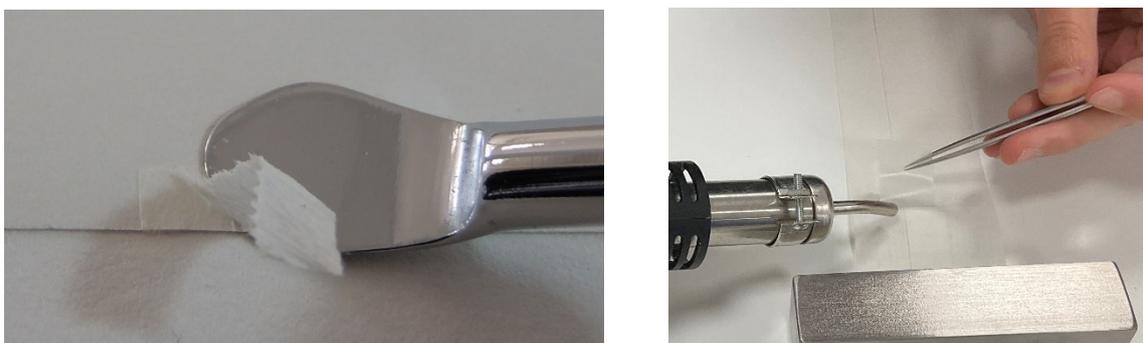


Figure 155 : Retrait d'adhésif avec une spatule chauffante, à gauche, et avec un pistolet à air chaud, à droite.

Une autre possibilité pour un apport de chaleur, est la plaque chauffante<sup>287</sup>. La chaleur étant appliquée en dessous du dessin, cela laisse les mains libres aux restaurateurs pour intervenir (contrairement aux systèmes avec air soufflé où une main est nécessaire pour tenir l'appareil). Cependant il semble que le ramollissement de l'adhésif avec un apport de chaleur pour retirer le film peut, par la suite, gêner son retrait avec un solvant<sup>288</sup>.

### Retrait chimique de l'âme du ruban adhésif

Le recours au solvant peut être envisagé lorsque les interventions précédemment présentées ne fonctionnent pas. Le solvant peut être appliqué à travers le papier sur lequel le ruban adhésif est collé. Une application du solvant à l'interface entre le ruban adhésif et le papier peut être envisagée au fur et à mesure du retrait<sup>289</sup>. Une autre méthode mentionnée par Smith *et al.*, pour les objets présentant un important nombre d'adhésif est l'immersion dans un solvant. Les auteurs formulent de nombreuses mises en garde pour ce choix d'intervention. Ce type d'opération, s'il peut présenter des avantages par rapport aux tensions induites sur le dessin, ne doit pas être prise à la légère du point de vue de l'impact sur le papier, les tracés, les tampons ou tout autre élément sensible du dessin, et du risque que cela peut représenter, de la toxicité pour les personnes et l'environnement. Il s'agit d'une intervention de dernier recours.

Les systèmes de compresses et de gels sont également mentionnés dans la littérature, pour la mise en œuvre des solvants afin de retirer les rubans adhésifs. Cependant, comme ces méthodes sont particulièrement utilisées pour retirer les résidus d'adhésif seuls, les protocoles issus de la littérature seront décrits dans la partie dédiée à ce type de retrait. Enfin, deux articles mentionnent le recours aux chambres de solvants réalisées sous Gore-Tex®<sup>290</sup> pour le retrait du ruban<sup>291</sup>.

Une fois l'âme du ruban déposée, le retrait des résidus d'adhésif sur le papier peut être entrepris. Dans certains cas, l'âme du ruban, papier ou plastique, peut également être débarrassée des résidus d'adhésifs en vue d'être reposée.

<sup>287</sup> O'LOUGHLIN Elissa, STIBER Linda S., "A Closer Look at Pressure-Sensitive Adhesive Tapes: updates on Conservation Strategies", dans *Journal of American Institute for Conservation*, 1992, p. 280-287.

<sup>288</sup> DAUGA Nadège, « Dessins scotches au Magic Tape 810TM : quels solvants utiliser ? », dans *Nouvelles de l'ARSAG*, n°13, 1997, p.21-22.

<sup>289</sup> SMITH M.A., *et al.*, 1984, *op. cit.*

<sup>290</sup> La membrane Gore-Tex® ou Sympa-Tex® sont des membranes imperméables dans un sens mais laissant passer la vapeur dans l'autre. Elles sont utilisées en conservation-restauration pour des traitements d'humidification ou par vapeurs de solvants.

<sup>291</sup> O'LOUGHLIN E., STIBER L. S., 1992, *op. cit.*

## 2. Retrait mécanique des résidus d'adhésif

Dans le cas d'adhésif encore plastique et/ou péguéux, l'usage de la gomme crêpe (ou d'autres types de gommes similaires) permet de retirer les résidus d'adhésif en les amalgamant sur eux-mêmes et en les tirant en dehors du papier d'œuvre<sup>292</sup> (Figure 156). Cependant cette action implique une importante contrainte sur le papier, et risque de l'épidermer et/ou de le délaminer<sup>293</sup>. Par ailleurs, la gomme crêpe peut être utilisée pour retirer l'adhésif d'un ruban adhésif de type ruban de masquage<sup>294</sup>. La littérature ne donne pas d'information qu'une intervention de ce genre ait été menée sur des rubans avec une âme plastique.



Figure 156 : Retrait de l'adhésif d'un film double face, à l'aide de gomme crêpe, sur une affiche de la Fondation Air France, Marjorie Williams, Inp 2010.

Il est également possible de recouvrir la zone d'adhésif encore collant avec de la poudre de cellulose pour favoriser son retrait en l'amalgamant petit à petit à la poudre, et en réduisant ainsi son adhésion sur le papier. La pâte obtenue peut ensuite être pelée avec les doigts ou avec une gomme<sup>295</sup>.

## 3. Retrait des résidus d'adhésif à l'aide de solvants

### Retrait des résidus d'adhésif du papier

#### *Mise en œuvre sur table aspirante*

La table aspirante est régulièrement citée pour le traitement des résidus d'adhésif laissés par les rubans adhésifs dans le papier, et ce qu'elle soit utilisée seule ou en complément d'autres méthodes. Ce paragraphe présente les exemples tirés de la littérature où elle est utilisée seule. Un des principaux avantages de la table aspirante est qu'elle limite la diffusion latérale du solvant et donc prévient l'apparition d'auréoles. Suivant les études, différents solvants sont utilisés. L'exemple donné est celui du toluène pour retirer les résidus d'adhésifs huileux ou celui de l'acétone pour les résidus d'adhésif oxydés et cassants<sup>296</sup>. Les solvants peuvent également être utilisés en mélange, par exemple 65% toluène, 15% acétone et 20% acétate d'éthyle, pour retirer l'adhésif laissé dans le papier de support par le Magic Tape 810™ de la marque 3M<sup>297</sup>. Les mises en œuvre pour appliquer le solvant sont variées<sup>298</sup> : compte-goutte, pinceau, seringue (Figure 157).

<sup>292</sup> STANLEY T., 1998, *op. cit.*

<sup>293</sup> DAUGA N., 1997, *op. cit.*

<sup>294</sup> CINQUALBRE M., 2012, *op. cit.*

<sup>295</sup> O'LOUGHLIN E., STIBER L. S., 1992, *op. cit.* et MATTHEUS Hannelore, « Les problèmes des rubans adhésifs : une recherche sur la restauration des œuvres d'art contemporain sur papier », dans *Support/Tracé*, n°8, 2008, p.76-82.

<sup>296</sup> SMITH M.A., *et al.*, 1984, *op. cit.*

<sup>297</sup> DAUGA N., 1997, *op. cit.*

<sup>298</sup> MÜLLER Leonie, HENNIGES Ute, SCHULTZ Julia, *et al.*, "Pressure-sensitive Tape Removal in Paper Conservation: A Review", dans *Journal of Paper Conservation*, Journal of Paper Conservation, vol. 23, 2022, p.59-75.

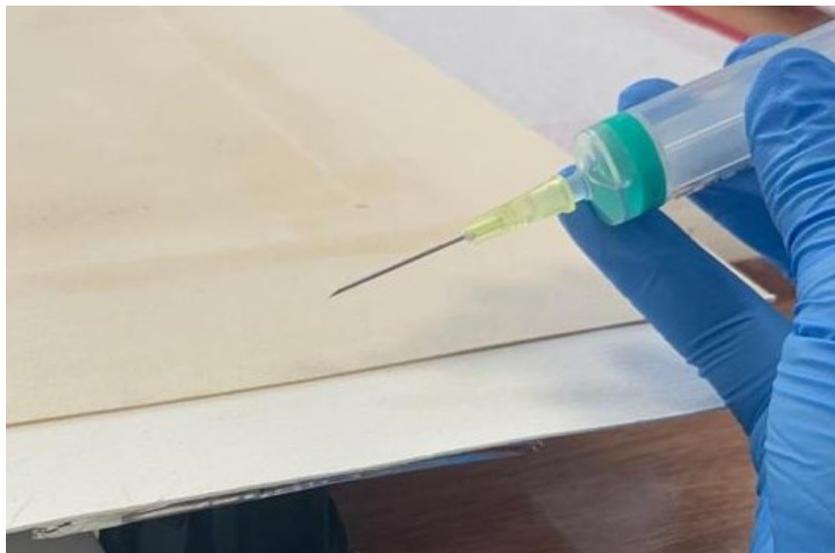


Figure 157 : Retrait des résidus d'adhésif au recto d'une œuvre sur table aspirante avec application du solvant à l'aide d'une seringue.  
©AnaïsDiez

#### *Mise en œuvre à l'aide de compresses*

Le recours aux compresses à base d'argile (Figure 158), de silice ou de matériaux cellulosiques comme le buvard, permet, comme la table aspirante, de limiter la formation d'auréoles mais également d'augmenter le temps de pose du solvant<sup>299</sup>. Les solvants peuvent être mélangés aux matériaux de la compresse en amont ou imbiber la compresse déjà posée. La présence de ces matériaux absorbants, au contact de l'adhésif permet dans un premier temps de garder le solvant en contact de la surface en ralentissant son évaporation, aidé par la pose d'un élément barrière comme une plaque de verre ou un Mylar®<sup>300</sup> ; et dans un deuxième temps, de faire évaporer le solvant afin que la compresse puisse pomper de façon concomitante l'adhésif ramolli. Dans la littérature, seule la mise en œuvre est décrite, le choix du solvant variant d'un ruban adhésif à un autre.

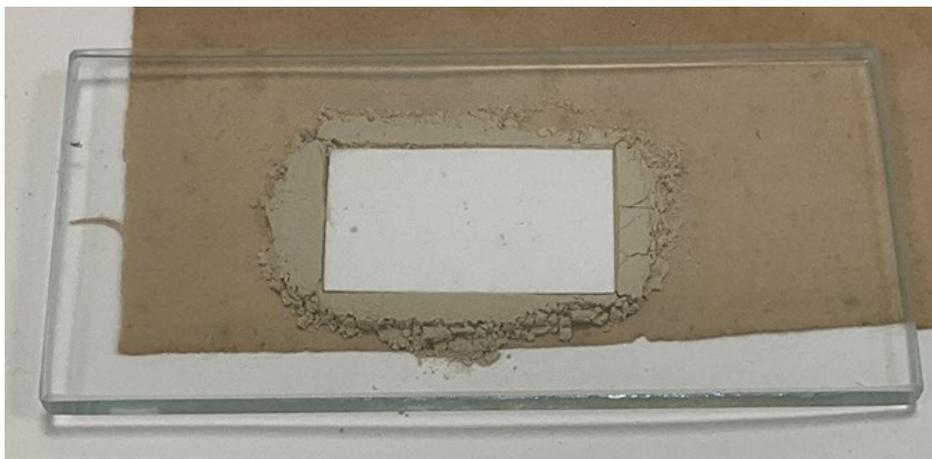


Figure 158 : Essai de retrait de résidus d'adhésif à l'aide d'une compresse de terre de sommière, le solvant est apporté par un buvard imbibé.

#### *Mise en œuvre avec des gels*

Le développement des gels de solvant connaît un véritable essor à partir des années 2000 sous l'influence de la recherche en conservation-restauration des peintures à travers notamment le travail de Richard Wolbers<sup>301</sup>.

<sup>299</sup> SMITH M.A., *et al.*, 1984, *op. cit.* et O'LOUGHLIN E., STIBER L. S., 1992, *op. cit.*

<sup>300</sup> Le Mylar® est un film de polytéréphtalate d'éthylène (PET, d'après le nom anglais *polyethylene terephthalate*), transparent et stable, employé fréquemment et pour de nombreux usages comme la réalisation de relevés, d'intermédiaire, de barrière ou encore de conditionnement.

<sup>301</sup> STULIK Dusan, MILLER David, KHANJIAN Herant, *et al.*, *Solvent gels for the cleaning of works of art: the residue question*, Los Angeles : Getty Conservation Institute, 2004, 162 p. Les gels sont détournés de l'industrie cosmétique (gels à base de polyacryliques), ou alimentaire (gels à base d'épaississants naturels).

La recherche sur les gels de solvants et les gels rigides commence dans le domaine des arts graphiques dans la décennie suivante. L'objectif principale de leur usage est le retrait des rubans adhésifs (Figure 159).

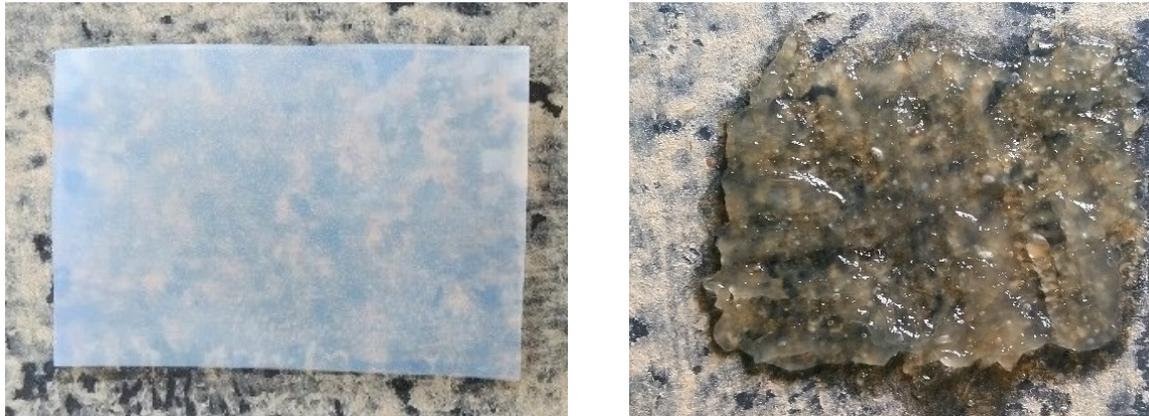


Figure 159 : Exemples de tests menés sur une œuvre en vue du retrait de l'adhésif et des résidus de fibres du panneau d'isorel.  
A Gauche, un gel rigide d'agar agar à 4% et à droite, un gel de Carbopol® d'acétone.

L'étude menée par Heidi Lennig pour son mémoire de fin d'étude en 2007 et publiée en 2010, présente différents gels physiques, facilement réalisables dans un contexte d'atelier et pouvant recevoir des solvants organiques<sup>302</sup>. Elle compare la fabrication, l'utilisation et la pertinence d'emploi de sept polymères : Klucel™ MF, ethylcellulose, Nastrosol™ 250 HHX, PolySurf™ 67CS, Carbopol 980 NF, Tixogel™ MPZ et Laponite™ RD. Son choix se porte sur le PolySurf™ 67CS à 7% dans l'eau. Le gel peut ensuite être chargé d'un mélange acétate d'éthyle (AE) : éthanol (50 : 50). Les résidus d'adhésif en surface sont gonflés par vapeurs du mélange de solvants dans une chambre, raclés ensuite avec une spatule métallique. Pour extraire l'adhésif ayant pénétré dans le papier, elle utilise le gel de PolySurf™ préalablement chargé du mélange de solvants, posé sur la zone à traiter à travers un intissé, au recto et au verso du papier, le tout recouvert d'un Mylar®. Après 6 applications de 45 minutes, elle obtient un bon résultat qu'elle améliore encore par un passage sur table aspirante, durant 10 minutes. La mise en œuvre d'étapes successives est donc complexe.

Une avancée très importante tant pour la recherche sur les gels que pour les solvants utilisés est le résultat du projet européen Nanorestart (de 2015 à 2018). Les recherches conduites ont fait l'objet de nombreuses communications et publications ainsi que la mise sur le marché d'une gamme de produits<sup>303</sup>. Les gels présentés sont des gels chimiques obtenus par des cycles successifs de congélation/décongélation, capables d'absorber des solvants ou des mélanges de solvants<sup>304</sup>. Ils ont une forte rétention et diffusent ainsi les solvants très lentement sur la surface sur laquelle ils sont posés<sup>305</sup>. Dans une publication de 2017, les premiers organogels utilisés pour le retrait des rubans adhésifs sont composés de polymères synthétiques. Deux familles de polymères sont testées : les poly(méthyl méthacrylate) (PMMA) et les poly(éthyl méthacrylate) (PEMA)<sup>306</sup>. Cinq gels sont évalués, trois à base de PMMA et deux à base de PEMA avec différentes propriétés en ce qui concerne le pourcentage de solvant absorbable et la vitesse de diffusion<sup>307</sup>. Ils sont tous imprégnés de

<sup>302</sup> LENNIG Heidi, « Solvent Gels for Removing Aged Pressure-Sensitive Tape from Paper », in *Restaurator*, vol.31, Issue 2, 2010, p. 92-115.

<sup>303</sup> Le projet est présenté sur le site internet <http://www.nanorestart.eu/>.

<sup>304</sup> Gels développés initialement dans le domaine médicale (par exemple les lentilles de vue).

<sup>305</sup> HOURDET Dominique, « Les gels dans tous leurs états », communication orale à *la journée des rencontres de l'ARSAG*, le 18 mars 2021.

<sup>306</sup> TRABACE Maddalena, MIRABILE Antonio, MONTALBANO Letizia, et al., « An Innovative Method to Remove Pressure-Sensitive Tape from Contemporary Felt-tip Pen and Ballpoint Pen Drawings on Paper. The Case Studies of Federico Fellini from Rimini film Library », dans *Le Nuove Frontiere del Restauro*, - Trasferimenti, Contaminazioni, Ibridazioni - XXXIII<sup>e</sup> Convegno Internazionale Scienza e Beni Culturali Bressanone, Italy, 27 - 30 giugno 2017, 10 p.

<sup>307</sup> En décembre 2022, à la date du 23/12/2022, ces gels ne sont toujours pas commercialisés bien qu'ils figurent dans la liste des projets en cours du groupe CSGI [www.csqi.unifi.it](http://www.csqi.unifi.it) (consulté le 23/12/2022).

carbonate de diéthyle (DEC), solvant introduit en restauration dans le cadre de ce projet européen, pour son impact faible sur l'environnement, et son innocuité sur les media graphiques. Des tests réalisés sur des éprouvettes<sup>308</sup>, montrent de meilleurs résultats avec le gel de PMMA E3 (pourcentage de solvant absorbable à 75% et la vitesse de diffusion la plus lente) chargé avec un mélange de 5% d'acétate éthylique et 95% de DEC : l'âme du ruban et la majorité de l'adhésif sont retirés. Sur les œuvres sur lesquelles sont testés les protocoles, l'intervention est réalisée en deux temps : une première pose de gel pour retirer l'âme et l'adhésif en surface, puis une seconde pose de gel pour retirer l'adhésif qui a pénétré dans le papier. Deux types de gels sont testés, un PMMA E3 et un PEMA ED50, tous deux chargés avec du DEC, et mis en contact 10 minutes. Enfin, le traitement est achevé sur table aspirante avec application de solvants purs (DEC et acétate d'éthyle).

Dans un deuxième article, datant de 2020 et présentant les avancées de la recherche du projet, les tests sont nombreux<sup>309</sup>. Le cas d'étude présenté dans cette publication se rapprochant le plus des zips concerne des rubans adhésifs avec une âme d'acétate de cellulose et un adhésif à base d'acrylate présent sur une œuvre de Maria Helena Vieira da Silva. Le gel utilisé pour les retirer est à base de poly(hydroxyéthyle méthacrylate) (pHEMA) avec un réseau semi-interpénétrant avec du polyvinylpyrrolidone (PVP) (commercialisé sous le nom d' « *hydrogel dry* ») chargé d'un mélange d'acétate d'éthyle et de carbonate de propylène. Il est posé pendant 5 minutes avant d'être enlevé et le ruban retiré mécaniquement sans action sur la surface peinte de l'œuvre.

### Retrait des résidus d'adhésif d'un film plastique

Le retrait des résidus d'adhésif présents sur des films plastiques, notamment les supports des rubans adhésifs (en l'occurrence des films d'acétate de cellulose ou de cellulose régénérée), présenté dans la littérature, est réalisé à l'aide d'un bâtonnet de coton imbibé d'un solvant. Ainsi est proposé le recours à l'éthanol<sup>310</sup>, à l'isopropanol<sup>311</sup> ou à l'acétone<sup>312</sup>. Lors de ces études, des tests de solubilité sont conduits afin de sélectionner le solvant adéquat. En effet, les formulations variant d'un fournisseur à l'autre et dans le temps, un test préliminaire est toujours nécessaire. D'autant plus que les paramètres de solubilité peuvent varier entre les di-acétates et les tri-acétates de cellulose par exemple. A l'état neuf, les premiers sont solubles dans l'acétone alors que les seconds ne le sont pas<sup>313</sup>. Certaines études montrent une sensibilité des objets patrimoniaux aux solvants, plus grande que celle annoncée par la littérature<sup>314</sup>. Une attitude prudente doit toujours être adoptée.

<sup>308</sup> Les éprouvettes sont réalisées avec un support de papier Fabriano, des traits réalisés avec des feutres de différentes marques : éprouvette n° 1 stabilo permanent, giotto turbo color et Carioca Doudles Italy ; éprouvette n°2 Tombow ABT, éprouvette n°3 Caran d'Arches fabriqués en Suisse, éprouvette n°4 bic, Staedtler noris stick 434M, PilotG-2 07. Les éprouvettes sont en partie recouvertes de ruban de masquage (âme en papier et adhésif de caoutchouc) et un ruban dit ordinaire (âme en polypropylène et un adhésif acrylique).

<sup>309</sup> MIRABILE A., CHELAZZI D., FERRARI P., et al., 2020, *op. cit.*

<sup>310</sup> REMAZEILLES Elodie, *Étoffe de papier, vêtements éphémères : trois robes en papier de Paco Rabanne (musée de la Mode et du textile, Les Arts décoratifs, Paris). Étude de l'impact de traitements humides sur un papier laminé et gaufré, mémoire*, Paris : Institut national du patrimoine, 2010, 181 p.

<sup>311</sup> SHASHOUA Y., 2008, *op. cit.*

<sup>312</sup> DUVAL Constance, *K (Il est une fois), Frédérique Devaux, 2001, Centre national du cinéma et de l'image animée. Conservation restauration d'un objet filmique composite du cinéma expérimental (pellicules à développement chromogène, ruban adhésif). Recherche d'un adhésif de réencollage à sec des rubans adhésifs originaux pour le remontage des pellicules et fragments désolidarisés*, mémoire, Paris : Institut national du patrimoine, 2015, 315 p.

<sup>313</sup> MOSSMAN S., "Simple Methods of Identifying Plastics", dans *Modern Organic Plastic*, in *Modern Organic Materials*, preprint, Edinburgh : The Scottish Society for conservation & restoration, 1988, p.41-46.

<sup>314</sup> Dans son article, Sharon Blank présente les tests réalisés sur des objets en acétate de cellulose et annonce des sensibilités aux cétones, alcool, hydrocarbures chlorés, eau, acide, bases. BLANK Sharon, "Practical answers to plastic problems", in *Modern Organic Materials*, preprint, Edinburgh : The Scottish Society for conservation & restoration, 1988, pp.115-121.

#### 4. Retrait de l'adhésif sur des films de zip

Une étude est réalisée, par Marie Poisbelaud, sur le zip dans le contexte de la bande dessinée où l'on s'y réfère sous le nom de trame. En effet, dans ce contexte, les zips sont utilisés pour les motifs de points afin de fixer les niveaux de gris en vue de la reproduction<sup>315</sup>. Lors de cette recherche, la question des pertes d'adhésion du zip est soulevée. Pour y répondre, des tests de retrait de l'adhésif à l'aide de solvant ont été engagés<sup>316</sup>. Les tests de solubilité sont menés en deux phases : une immersion totale du matériau, pendant 3 minutes, pour observer l'action du solvant sur les différents éléments du zip (encre/film/adhésif), puis la mise en œuvre du solvant appliqué au bâtonnet de coton pour évaluer l'apport d'une action mécanique en surface en se plaçant dans le contexte d'une intervention en conditions réelles. Neufs solvants, ne solubilisant pas l'acétate de cellulose, sont sélectionnés à partir de la littérature relative à ce matériau en prenant en compte son degré de substitution : hexane, acétone, acétate d'éthyle, tetrahydrofurane (THF), dichlorométhane, butanone, éthanol, méthanol, isopropanol. Les conclusions générales mettent en évidence que seuls les alcools ne dissolvent pas le film d'acétate de cellulose tout en ayant une action sur l'adhésif, et parmi eux, l'isopropanol est le seul n'ayant pas d'impact sur l'encre. C'est donc ce dernier qui est retenu pour le retrait de l'adhésif des films dans la suite des expérimentations de ce projet.

#### 5. Conclusions de l'état de l'art et perspectives de recherche

Le retrait des rubans adhésifs (âme et adhésif) peut se faire avec un apport de chaleur ou avec des solvants<sup>317</sup>. S'il n'est pas nécessaire de s'interroger sur une mise en œuvre pour la dépose des zips, puisque la nécessité découle du constat qu'ils ne collent plus, l'usage de ces paramètres précise les sensibilités des adhésifs.

Depuis le début des recherches sur les rubans adhésifs et leur retrait, dans les années 1980, les types d'interventions n'ont pas beaucoup changé mais certaines approches ont drastiquement évolué comme c'est le cas de l'usage des solvants. Les recherches concernant les solvants se sont orientées vers des solutions de moins en moins toxiques. En effet, les solvants halogénés chlorés, tels que le chloroforme ou le trichloroéthylène, et les solvants aromatiques, comme le toluène et le xylène, ont progressivement été abandonnés au profit des cétones ou des esters. Les plus couramment utilisés sont l'acétate d'éthyle, l'acétone et la méthyle éthyle cétone mais tous trois solubilisent l'acétate de cellulose. Les recherches de Marie Poisbelaud présentent l'isopropanol comme efficace pour le retrait de l'adhésif du zip et sans action nocive sur le film. Depuis quelques années, les considérations se tournent également vers les risques pour l'environnement en sus de celui pour la santé des utilisateurs<sup>318</sup>. Ainsi, des études ont familiarisé les conservateur-restaurateurs avec le diéthyle carbonate (le diméthyle commençant à peine à apparaître dans la littérature et le dibutyle n'étant pas encore étudié).

Par ailleurs, la littérature présente plusieurs mises en œuvre des solvants pour le retrait des adhésifs : des applications au coton-tige, avec des gels ou des compresses ou liquide sur table aspirante. La première méthode est la plus courante et elle est adaptée au retrait de résidus en surface, ce qui est le cas de l'adhésif des zips. Les gels et compresses en augmentant le temps de traitement et de contact entre les solvants et les résidus à retirer, sont tout indiqués pour extraire des résidus imprégnés dans les fibres d'un papier poreux.

---

<sup>315</sup> Les trames étaient posées lors de la publication par l'éditeur suivant les instructions du dessinateur. Entretien avec Marie Poisbelaud, le 17 octobre 2022.

<sup>316</sup> POISBELAUD M., COUVERCELLE J.-P., 2018, *op. cit.*

<sup>317</sup> MÜLLER L., *et al.*, 2022, *op. cit.*

<sup>318</sup> FIFE Gwendoline (dir.), *Greener solvents in conservation, An introductory Guide*, London : Archetype Publishing, 2021, 88 p.

L'aspect de surface, la sensibilité à l'humidité et la porosité du zip et du papier calque ne présentent pas la nécessité de recourir à des gels. Enfin, la table aspirante ne permet pas de drainer les solvants à travers le zip ou le calque. Néanmoins, elle peut s'avérer pertinente pour faciliter le travail sur des matériaux fragiles en les plaquant de manière homogène et sans contrainte.

Cette étude de la littérature offre donc des pistes de réflexions pour mettre au point des tests de dégagement de l'adhésif, les plus adaptés aux matériaux et à leurs fragilités.

Les vieillissements artificiels permettent de soulever les films. Cependant, ils n'induisent pas d'oxydation suffisante de l'adhésif pour le rendre cassant. Des tests de dégagement mécanique avec ou sans apport de chaleur sont réalisés pour valider par l'expérience un *a priori* du conservateur-restaurateur, à savoir que le retrait mécanique d'un adhésif d'un film n'est pas possible mécaniquement lorsque l'adhésif est encore souple. Cependant, il peut être envisagé quand l'adhésif est devenu cassant. Pour plus de fluidité dans le texte, ces tests sont renvoyés en annexe<sup>319</sup>.

---

<sup>319</sup> ANNEXE 6, p. 371-374, Expérimentations de dégagement physique.

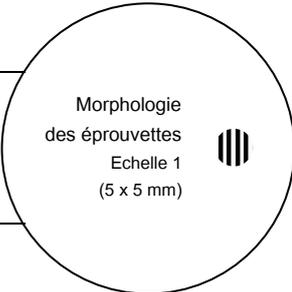
## B. Sélection de solvants pour le dégageant chimique de l'adhésif d'un film

Le retrait d'un adhésif avec un solvant est un cas de figure souvent rencontré en restauration notamment dans le cas des œuvres sur papier. Cependant, en général, il s'agit de retirer un adhésif d'un papier, matériaux dont les solubilités sont très éloignées. Dans le cas du zip, la difficulté vient des solubilités proches du film et de l'adhésif. Le cahier des charges pour la sélection du solvant impose :

- Son innocuité au contact de l'encre d'impression
- Son innocuité sur le film (absence de déformation du film même après séchage, de perte ou de migration de plastifiants, ou de changement dans sa composition moléculaire)
- Le retrait de l'adhésif par gonflement ou dissolution.

Le plan d'expérimentation des tests de solubilité par immersion est synthétisé dans le tableau ci-dessous (Tableau 9).

Tableau 9 : Présentation du plan d'expérimentation du test de solubilité.

<b>OBJECTIF</b>		<b>Sélectionner un solvant ayant une action chimique sur l'adhésif sans action néfaste sur le film et l'encre.</b>	
			
ÉPROUVETTES	Réalisation des éprouvettes	Matériel des éprouvettes	Nombres d'éprouvettes
	Découpe du zip à l'emporte-pièce de 5 mm de diamètre Positionnement sur du papier Whatman™ Vieillissement en enceinte lumière pendant 24 h à 765W et 35°C Séparation du support	aC+DEP+cire (HN272, motif tirets) aC+DEP+acrylique (LT 38P, motif points) aC+DEPP+vinylque (LT 916NY, motif points) aC+DEP+TPP+cire (ST 1064, motif points) aC+DEP+TPP+ acrylique (LT 9P, motif points inversés) aC+DEP+TPP+vinylque (rubine red, couleur rouge)	Pour chacune des 6 références de zip :  1 éprouvette témoin, non immergée 3 éprouvettes par solvant (8)  Soit 25 éprouvettes par zip et 150 en tout
EXPERIENCE	Méthode de l'expérimentation	Méthodes de suivi	
	Dans un verre de montre, rempli de 5 mL de solvant, le zip est immergé pendant 5 minutes, adhésif vers le haut. Les solvants de l'expérimentation sont : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Eau</li> <li>- Éthanol</li> <li>- Isopropanol</li> <li>- Alcool benzylique</li> <li>- Carbonate de diéthyle</li> <li>- Shellsol D40</li> <li>- Iso-octane</li> <li>- Cyclométhicone D5</li> </ul>	Pesée avant, en sortie d'immersion et après séchage  Prise de vue sous loupe binoculaire avant, au cours de l'immersion après 2 minutes, à la sortie de l'immersion et après séchage  Prise de vue sous microscope optique avant et après test  Mesure IRTF-ATR avant immersion et après séchage sur chacune des faces du zip	

Pour rappel : aC+DEP signifie un film d'acétate de cellulose plastifié avec des phtalates.

aC+DEP+TPP signifie un film d'acétate de cellulose plastifié avec des phtalates et du triphényle phosphate.

## 1. Tests de solubilité : matériel et méthode

### Objectif du test de solubilité

L'immersion permet d'avoir une vision macroscopique de l'interaction entre le solvant et les différents composants du zip (encre, film et adhésif), pour ensuite pouvoir sélectionner, le ou les solvants n'ayant pas d'action négative sur le plastique et sur les encres, tout en retirant l'adhésif.

### Réalisation des éprouvettes

Pour chaque zip, ce test d'immersion a été mené trois fois pour vérifier sa répétabilité. Les éprouvettes sont découpées en rond de 5 mm de diamètre, à l'emporte-pièce dans les feuilles de zip. 6 références de zip font l'objet de ces tests. Elles représentent les différentes combinaisons de film/plastifiants et d'adhésif :

-  une référence d'acétate de cellulose avec des phtalates et un adhésif à base de cire (HN272, motif tirets), aC+DEP+Cire ;
-  une référence d'acétate de cellulose avec des phtalates et un adhésif à base acrylique (LT 38P, motif points) ; aC+DEP+aA ;
-  une référence d'acétate de cellulose avec des phtalates et un adhésif à base vinylique (LT 11NY, motif points), aC+DEP+aV ;
-  une référence d'acétate de cellulose avec des phtalates et du phosphate de triphényle et un adhésif à base de cire (ST 1064, motif lignes), aC+DEP+TPP+Cire ;
-  une référence d'acétate de cellulose avec des phtalates et du phosphate de triphényle et un adhésif à base acrylique (LT 9P, motif points inversés), aC+DEP+TPP+aA ;
-  une référence d'acétate de cellulose avec des phtalates et du phosphate de triphényle et un adhésif à base vinylique (rubine red, couleur rouge), aC+DEP+TPP+aV.

Elles sont ensuite vieilles artificiellement sur un papier Whatman™ de grade 5, en enceinte lumière pour induire des phénomènes de soulèvement<sup>320</sup> et décollées du support avant l'expérience.

### Méthode du test

Les éprouvettes sont immergées dans 5 mL de solvant, dans un verre de montre, pendant 5 minutes. A l'issue de ces 5 minutes, l'éprouvette est sortie avec des pinces Brucelles, tapotée sur un papier absorbant pour retirer l'excédent de solvant, et laissée à sécher à l'air libre. Le séchage est estimé terminé au bout de 24 heures.

### Protocole de suivi

#### *Pesée*

Les éprouvettes sont pesées avant, en sortie de l'immersion et après séchage complet, sur une balance de précision. En effet, toute variation de masse permet d'évaluer la rétention de solvant et une éventuelle perte de matière.

#### *Documentation photographique*

Des photographies sous loupe binoculaire permettent de suivre la morphologie des éprouvettes avant, après deux minutes d'immersion, à la sortie de l'immersion et après le séchage (Figure 160).

<sup>320</sup> Vieillessement en enceinte lumière pendant 24 h à 765W et 35°C. Paramètres établis dans le Chapitre 5, II, A, 2 Protocole de vieillissement pour la création d'éprouvette, p.197.



Figure 160 : Exemple du Rubine Red (aC+DEP+TPP+aV), de gauche à droite, avant immersion dans l'isopropanol, après 2 minutes d'immersion et après séchage.

Une observation sous microscope optique et la réalisation de clichés permet de suivre l'impact du solvant sur l'aspect de l'adhésif avant et après immersion.

### Mesures IRTF-ATR

Enfin des mesures en spectroscopie IRTF en mode ATR sont réalisées avant immersion et après séchage de la matière. Une mesure est réalisée du côté de l'adhésif afin d'identifier si celui-ci est toujours présent, a subi des modifications à l'échelle moléculaire ou est solubilisé. Une mesure est réalisée du côté du film afin d'évaluer si le solvant a eu un impact sur la composition moléculaire du film et de ses plastifiants.

## 2. Solvants sélectionnés pour les tests de solubilité

Les solvants choisis pour les tests de solubilité sont sélectionnés en fonction de la littérature (Tableau 10).

Tableau 10 : Solvants sélectionnés pour les tests de retrait d'adhésif <sup>321</sup>.

	Polarité	Solvants N° CAS	Famille chimique	Formule brute	Structure moléculaire	Paramètres de solubilité			Sécurité
						fd	fp	fh	
Réf.	+	Eau osmosée 7732-18-5	-	H <sub>2</sub> O		18	28	54	
Solvants actifs		Éthanol 64-17-5	Alcool	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH		36	20	44	PPM : 1000 TLV (mg/m <sup>3</sup> ) : 1880 Acute Oral LD50 (mg/kg) : 10470
		Isopropanol 67-63-0	Alcool	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> O		41	16	43	PPM : 400 TLV (mg/m <sup>3</sup> ) : 983 Acute Oral LD50 (mg/kg) : 5480
		Alcool Benzylrique 100-51-6	Alcool	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> O		46	16	36	PPM : 10 TLV (mg/m <sup>3</sup> ) : 44 Acute Oral LD50 (mg/kg) : 1250
		Carbonate de diéthyle (DEC) 105-58-8	Ester	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub> O <sub>3</sub>		61	25	14	Données non disponibles
		Solvants de mise en œuvre	Shellsol D40 64742-48-9	Hydrocarbure aliphatique	C <sub>9</sub> H <sub>20</sub> à C <sub>11</sub> H <sub>26</sub>		96	2	2
Iso-octane 540-84-1			Hydrocarbure	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>		100	0	0	PPM : 1000 TLV (mg/m <sup>3</sup> ) : 1450 Acute Oral LD50 (mg/kg) : >2500
Cyclométhicone D5 541-02-6	Solvant siliconé		C <sub>10</sub> H <sub>30</sub> O <sub>5</sub> Si <sub>5</sub>		100	0	0	Données non disponibles	

Paramètres de solubilité : fd : force de dispersion ; fp : forces de polarité ; fh : liaisons hydrogènes.

Paramètre de toxicité : PPM : partie par million ; TLV : valeur limite d'exposition professionnelle sur une durée de 8h à raison de 40h/semaine ; Acute Oral : test de toxicité aiguë par voie orale ; LD50 : dose létale médiane, donc plus la valeur est petite plus le produit est dangereux.

<sup>321</sup> Sources du graphique : HORIE V., 2010, *op. cit.* et Sigma-Aldrich, fournisseur de produits chimiques, <https://www.sigmaaldrich.com/FR/fr>, consulté la dernière fois le 1<sup>er</sup> novembre 2022.

Les solvants sont sélectionnés parmi des solvants utilisés en conservation-restauration en fonction des différents composés du zip et pour leur action présumée sur les adhésifs, en prenant en compte leur toxicité, leur coût et leur impact sur l'environnement.

Les solvants sélectionnés sont au nombre de huit, allant d'une haute à une faible polarité : eau, éthanol, isopropanol<sup>322</sup>, alcool benzylique<sup>323</sup>, carbonate de diéthyle<sup>324</sup>, Shellsol D40<sup>325</sup>, isooctane, cyclométhicone D5<sup>326</sup>.

L'eau est sélectionnée comme solvant de référence. Il s'agit d'une eau osmosée<sup>327</sup>.

L'éthanol, l'isopropanol, l'alcool benzylique et le carbonate de diéthyle sont sélectionnés comme solvants actifs, ayant une action sur des matériaux comme les adhésifs. Sachant que les paramètres de solubilité de certains adhésifs sont proches de ceux du film et de ses plastifiants, l'impact de ces solvants est à évaluer avec attention. Le Shellsol D40, l'isooctane et le cyclométhicone D5 sont des solvants de mise en œuvre. Ils n'ont pas nécessairement d'action sur les adhésifs mais ne devraient également pas avoir d'action sur le film. Ils pourront donc être utilisés en mélange avec les solvants actifs pour limiter leur action ou allonger leur temps de pose<sup>328</sup>.

Les paramètres de solubilité des solvants présentés dans le tableau peuvent être représentés dans un triangle de Teas (Figure 161). Il s'agit d'une représentation bi-dimensionnelle, des trois paramètres en jeu dans la solubilité à savoir les liaisons hydrogènes, les forces de polarités et les forces de dispersion<sup>329</sup>. Cette représentation est simplifiée et ne prend pas en compte de nombreux paramètres des solvants, dont l'étude est particulièrement complexe, comme le temps de rétention ou le temps d'évaporation<sup>330</sup>. Cette représentation permet d'inclure les zones de sensibilité des différents matériaux constitutifs du zip aux paramètres de solubilité des solvants. La présence d'un solvant, dans la zone de solubilité d'un matériau, indique qu'il lui est possible de le dissoudre. On remarque par ailleurs que des zones de solubilité se superposant indique une sensibilité similaire et donc la possibilité pour un solvant de dissoudre l'ensemble. Il faut noter que les paramètres de solubilité des matériaux évoluent en fonction de leur état de dégradation, ce qui peut engendrer une sensibilité à des solvants considérés jusque-là comme sûrs<sup>331</sup>.

---

<sup>322</sup> Sélectionné d'après l'étude de Marie Poisbelaud.

<sup>323</sup> Sélectionné d'après les recherches de Chris Stavroudis.

<sup>324</sup> TRABACE M., *et al.*, 2017, *op. cit.*

<sup>325</sup> Essence minérale purifiée et sans aromatique.

<sup>326</sup> Solvant siliconé de mise en œuvre introduit dans le domaine de la conservation-restauration par Richard Wolbers.

<sup>327</sup> Eau ultra pure sans autres composés que les molécules d'H<sub>2</sub>O.

<sup>328</sup> Les solvants de mise en œuvre ont un temps de rétention plus important que les solvants sélectionnés comme « actifs ».

<sup>329</sup> HORIE V., 2000, *op. cit.*, pp. 41-43.

<sup>330</sup> MASSCHELEIN-KLEINER Liliane, *Les solvants*, Cours publié de l'Institut Royal du Patrimoine Artistique, Bruxelles : IRPA, 1994, 129 p.

<sup>331</sup> FELLER R., ENCKE D., 1982, *op. cit.*

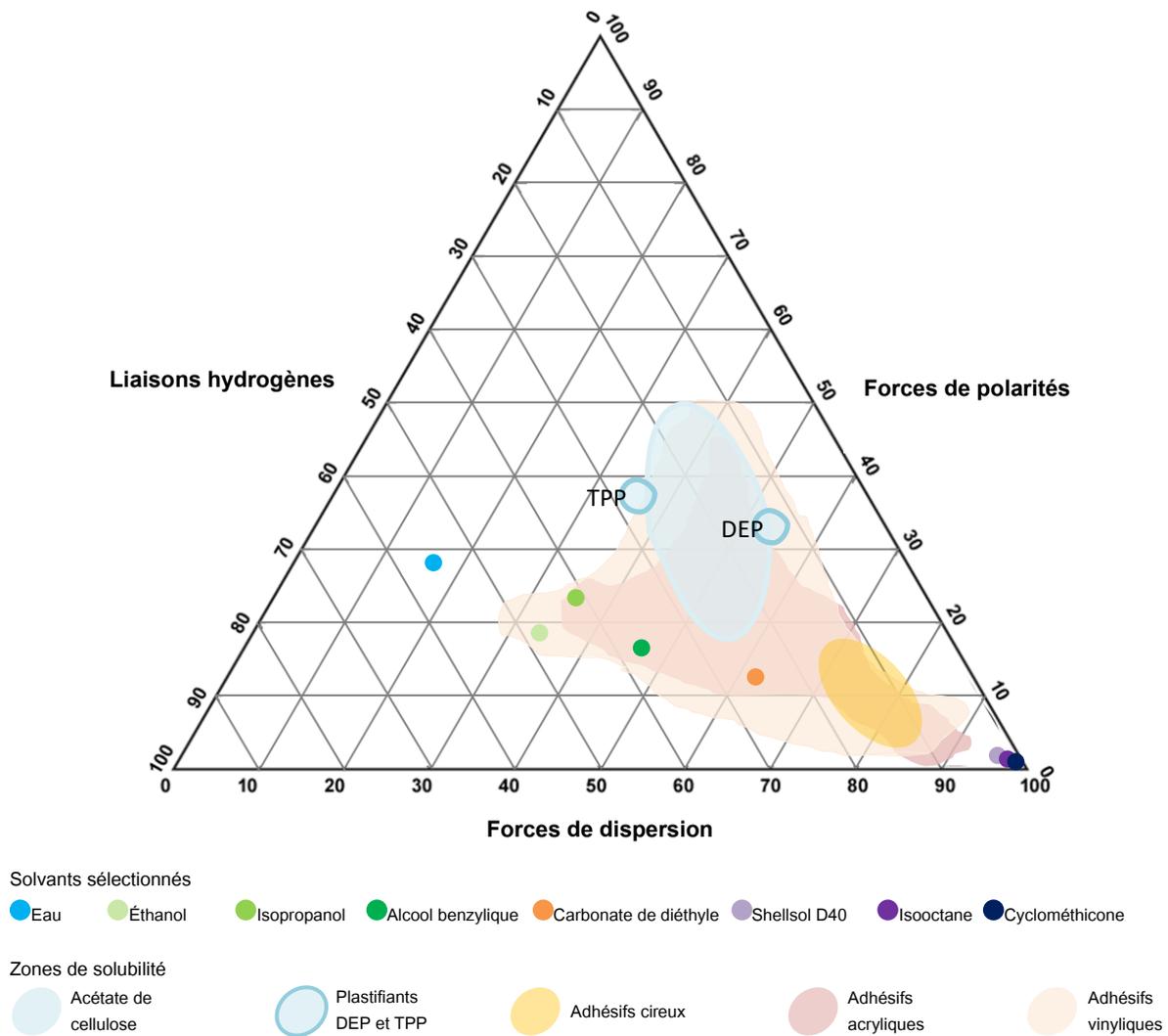


Figure 161 : Représentation des paramètres de solubilité des matériaux composant le zip et des solvants testés dans un triangle de Teas.

### 3. Résultats des tests de solubilité

#### Résultats des pesées

La taille des éprouvettes est conditionnée par leur observation sous loupe binoculaire : un format qui permet d'observer toute la surface de l'éprouvette sous la loupe. Cependant, le matériau étant très léger, cette petite taille implique que les différences de masse mesurées à la pesée avec la balance de précision disponible, à 0,1 mg, ne soient pas significatives ou soient inférieures au seuil de précision de l'appareil.

### Observations de l'effet des solvants sur l'encre

#### *Solubilité colorant bleu*

Lors de l'immersion dans l'alcool benzylique, et sur un seul échantillon dans un cas du carbonate de diéthyle, un voile bleu est observé dans le liquide (Figure 162). Il apparaît comme l'ombre des motifs à l'encre noire et n'est donc pas immédiatement identifiable. A la sortie de l'immersion dans ces solvants, l'encre est fragilisée et peut se déplaquer sous une pression extérieure. Cependant après séchage total, elle ne semble ni craquelée ni particulièrement fragile. La solubilité du colorant bleu est bien visible sur les zips où le motif est peu dense. Pour les autres, la solubilisation du colorant est surtout notable quand l'éprouvette est tamponnée à la sortie de l'immersion pour retirer l'excédent de solvant : la couleur bleue se dépose alors sur le papier absorbant.

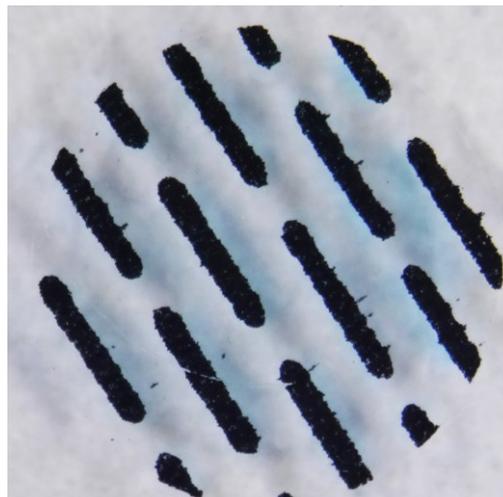


Figure 162 : Photographie sous loupe binoculaire pendant immersion de la référence aC+DEP+Cire dans l'alcool benzylique.

#### *Fissures*

Des fissures de l'encre sont visibles lorsque la zone d'encre est dense et que le film se déforme ou tuit sous l'action du solvant. Une fois le séchage terminé, les films s'aplanissent à nouveau et ce phénomène n'est plus visible. Il n'est observé qu'une fois pour la référence aC+DEP+TPP+aA dans l'éthanol et n'a pas pu être documenté de façon satisfaisante (la déformation du film immergé rend difficile une prise de vue nette dans la zone des fissures).

#### *Séparation de l'encre du plastique*

Le phénomène de séparation de l'encre du plastique lors de l'immersion n'est observé que pour les zips avec une couleur unie imprimée.

Il faut rappeler que sur la référence concernée, aC+DEP+TPP+aV, Rubine Red de Pantone™, l'encre se trouve sur l'autre côté du plastique que celui de l'adhésif. Au cours de l'immersion dans l'alcool benzylique, sous loupe binoculaire, il est possible d'observer une dilatation de la zone encrée par rapport au plastique (Figure 163). La couche d'encre se plisse et se froisse mais elle reste d'une taille proche de l'originale. Si elle est mise en contact avec un autre matériau, elle s'y dépose dans sa totalité, comme un feuil continu. Lors de l'immersion de la même référence dans l'éthanol (Figure 164), il y a également un phénomène de séparation de l'encre et du film mais les mécanismes (non précisés) ne semblent pas être les mêmes. La dimension de la couche d'encre n'est pas modifiée. Le solvant s'insère entre les deux couches et contribue à leur séparation. L'encre tuit un peu le long des bords. Au moment de la sortie du solvant, la récupération de l'encre n'est pas possible et elle se colle sur elle-même si elle est entraînée par le film. Mais elle peut également rester dans le solvant.

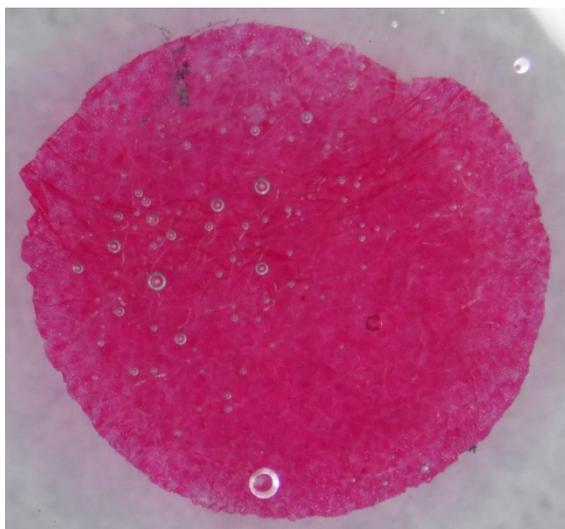


Figure 163 : Photographie sous loupe binoculaire pendant immersion de la référence aC+DEP+TPP+aV dans l'alcool benzylique.



Figure 164 : Photographie sous loupe binoculaire pendant immersion de la référence aC+DEP+TPP+aV dans l'éthanol.

### Observations de l'effet des solvants sur le film

#### *Perte de planéité du film*

Le phénomène de perte de planéité est le plus observé sur les films immergés dans les solvants. Il peut s'agir d'un tuilage léger où les bords remontent un peu (Figure 165) à un tuilage très important où l'éprouvette termine roulée sur elle-même comme une très fine cigarette (Figure 166).

Le phénomène apparaît sur certaines références dès le contact avec le solvant, notamment l'isopropanol (Figure 167), pour d'autres le tuilage intervient au moment du séchage de l'éprouvette (Figure 166).

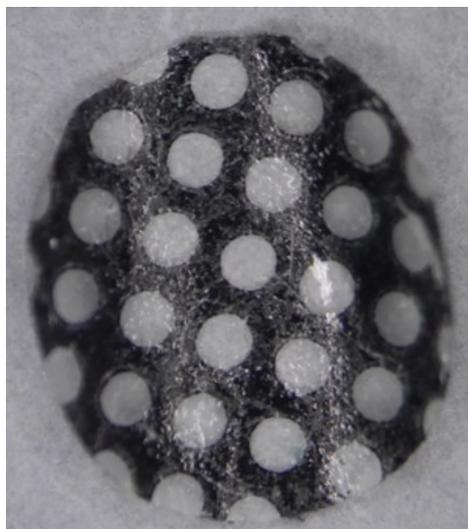


Figure 165 : Tuilage léger du zip aC+DEP+TPP+aA après immersion dans l'isopropanol.



Figure 166 : Tuilage en cigarette pour le zip aC+DEP+aV après immersion dans l'isopropanol et séchage.

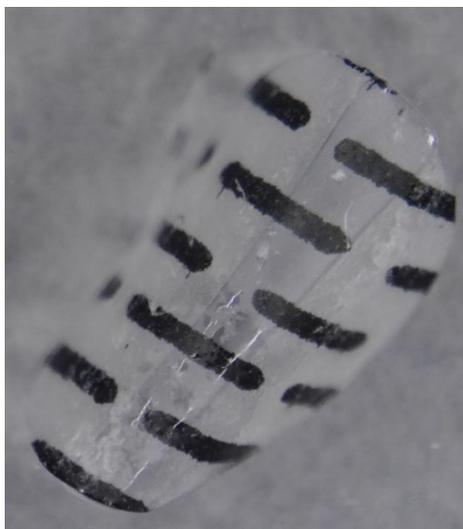


Figure 167 : Tuilage important pendant immersion du zip aC+DEP+Cire dans l'isopropanol.

#### *Perte intégrité physique du film*

L'immersion dans l'alcool benzylique pur pendant 5 minutes conduit pour la majorité des références à une déformation du film qui intervient au moment du séchage. Les déformations observées sont un gondolement (Figure 168) et une rétraction (Figure 169).



Figure 168 : Gondolement du zip aC+DEP+Cire après immersion dans l'alcool benzylique.



Figure 169 : Rétraction du zip aC+DEP+aV après immersion dans l'alcool benzylique.

Dans les deux cas, la déformation induit un changement dimensionnel. Dans le cas de la rétraction, le film perd environ 1 mm de diamètre. En raison des limites d'acquisition des spectres, précédemment évoquées, il n'a pas été possible de pousser leur interprétation pour mieux comprendre ces phénomènes.

#### Observations de l'effet des solvants sur l'adhésif

Le comportement de l'adhésif est modifié par l'action des solvants. Certains solvants n'ont pas d'action sur l'adhésif comme c'est le cas de l'eau, et ce quel que soit la nature de l'adhésif ou du D5 pour les adhésifs acryliques et vinyliques. Dans d'autres cas, les solvants peuvent modifier son aspect sans pour autant permettre de le retirer, comme c'est le cas de l'éthanol sur certains adhésifs acryliques ; modifier son aspect et contribuer ainsi à son retrait, comme c'est le cas de l'alcool benzylique ; ou encore le dissoudre lors de l'immersion, comme avec le DEC. Par ailleurs, il semble que les solvants apolaires, sans affinité avec les adhésifs acryliques et vinyliques, contribuent néanmoins à une séparation entre la couche adhésive et les films sur les zips plastifiés au DEP et TPP.

#### Aspect cristallisé

Cette modification d'aspect n'est observée que sur l'adhésif à base de cire d'une référence de zip présentant les deux types de plastifiants après immersion dans l'éthanol, l'alcool benzylique et le carbonate de diéthyle. L'adhésif très brillant et souple sur le témoin (Figure 170) devient blanc et craquant, comme cristallisé (Figure 171).

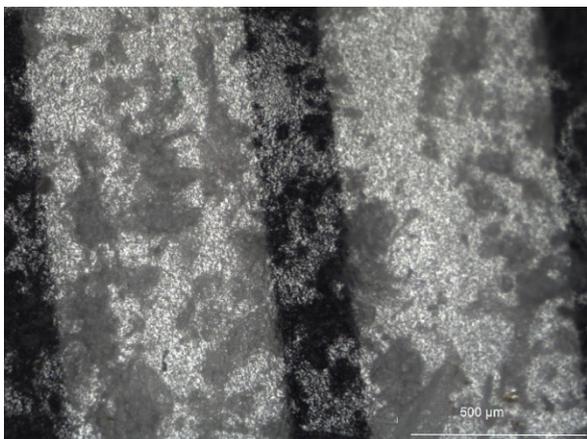


Figure 170 : Photographie du témoin du zip aC+DEP+TPP+Cire, ST1064, prise sous microscope optique.

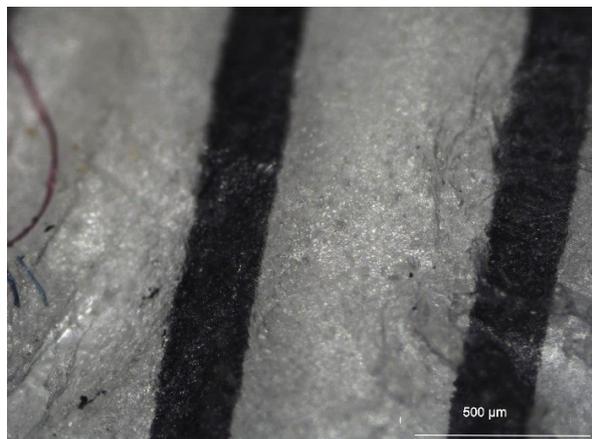


Figure 171 : Photographie du zip aC+DEP+TPP+Cire, ST1064, prise sous microscope optique après immersion dans l'éthanol.

*Aspect gélifié*

L'immersion dans l'alcool benzylique contribue à dissoudre les différents types d'adhésifs, en totalité ou partiellement. Pour certains, il est possible d'observer l'étape intermédiaire à la dissolution totale. Dans le cas des adhésifs acryliques et vinyliques, les photographies des témoins présentent un aspect hétérogène mais régulier, de petits amas couvrant l'ensemble de la surface (Figure 172). En sortie d'immersion dans l'alcool benzylique, la couche adhésive est plus épaisse et amalgamée sur elle-même, comme gélifiée (Figure 173).

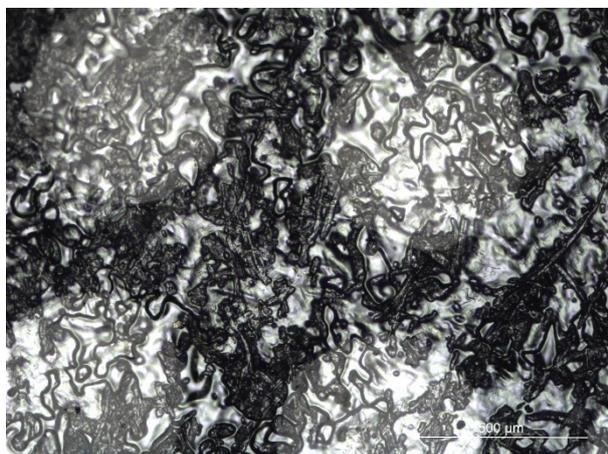


Figure 172 : Photographie du témoin du zip aC+DEP+TPP+aA, LT9P, prise sous microscope optique.

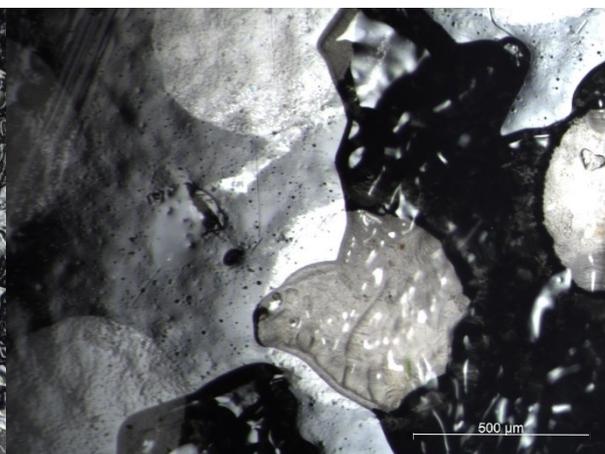


Figure 173 : Photographie du zip aC+DEP+TPP+aA, LT9P, prise sous microscope optique après immersion dans l'alcool benzylique.

*Adhésif dissous*

On observe que certains solvants, comme le carbonate de diéthyle, permettent la dissolution complète de l'adhésif. Contrairement à la surface du témoin qui présente un adhésif irrégulier et en épaisseur (Figure 174), la surface du zip nettoyé a un aspect blanchâtre sous lumière polarisante<sup>332</sup>, ce qui pourrait laisser penser à un voile laissé par l'adhésif (Figure 175). Cependant, les analyses confirment l'absence d'adhésif sur ces surfaces.

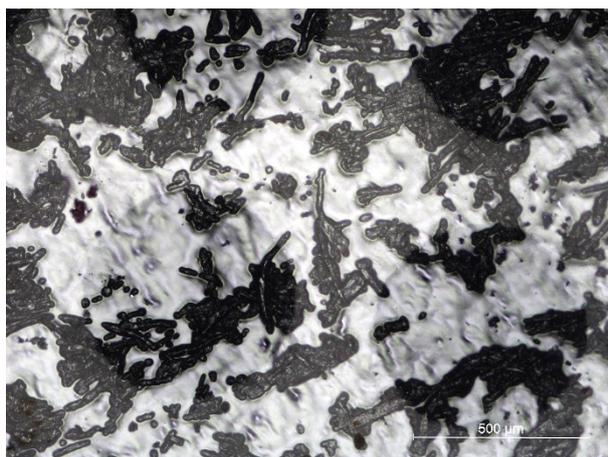


Figure 174 : Photographie du témoin du zip aC+DEP+aV, LT916, prise sous microscope optique.

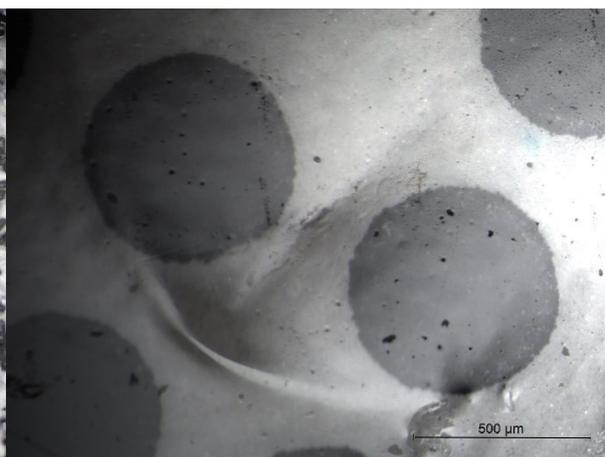


Figure 175 : Photographie du zip aC+DEP+aV, LT916, prise sous microscope optique après immersion dans le carbonate de diéthyle.

<sup>332</sup> La lumière polarisante permet de mettre en évidence l'aspect de surface par l'augmentation du contraste des reliefs.

### Résultats obtenus par l'échelle de valeur

Afin d'organiser les informations collectées par observation visuelle des éprouvettes après immersion dans les solvants et documentées par photographie, deux systèmes d'évaluation sensorielle sont construits. Le premier s'appuie sur des descriptions qualitatives présentées dans un tableau pour l'ensemble des résultats des différentes combinaisons (film/adhésif) soumises aux différents solvants<sup>333</sup>. Cependant, la quantité d'informations est importante et l'exploitation de ces données compliquées. Ainsi, l'orientation vers un système d'évaluation sensorielle chiffré est envisagée. Ce système s'inspire donc de la méthodologie développée par Bronwyn Ormsby pour les études sur le nettoyage des peintures<sup>334</sup>. Il s'agit de mettre en place une échelle de valeur progressive de 1 à 5 associées à des qualités (Tableau 11). Ainsi, les observations peuvent être transformées en données chiffrées pour être comparées plus facilement.

Tableau 11 : Qualités associées à l'échelle de valeur de 1 à 5 pour chaque paramètre, les cases en vert représentent l'objectif à atteindre.

échelle paramètres	mauvais 1	2	3	4	bon 5
stabilité de l'encre	complètement partie	+ de 3/4 partie	en partie enlevée	colorant visible dans le solvant	rien ne bouge
déformation du film	fondu sur lui-même	fondu en périphérie	roulé en cigarette	tuilage	rien ne bouge
film cassant	le film ne tient que par l'encre	effritement en morceaux moyens	gros morceaux	casse sous l'action du scalpel	reste en un seul morceau
retrait de l'adhésif	présence de fibres de papier à la surface	retrait des fibres mais adhésif présent	adhésif retiré le long des bords	adhésif retiré après l'immersion	adhésif dissout dans le solvant

Les notes obtenues lors de l'expérimentation sont compilées sous forme de tableaux pour les six combinaisons film/adhésif et présentant l'impact de chaque solvant sur les paramètres choisis<sup>335</sup>. Ces notes permettent de réaliser des moyennes afin de mettre en avant le comportement des différents composants du zip – encre, film et adhésif – lors des immersions. Les résultats obtenus par cette méthode peuvent être présentés dans un diagramme dit en radar.

Cette expérimentation est une étape préliminaire qui vise à sélectionner un nombre restreint de solvants en vue de les soumettre à des tests plus poussés. Afin, de choisir les meilleurs solvants au regard du cahier des charges, les graphiques illustrant les résultats sont, ici, présentés en fonction de l'innocuité sur l'encre, l'innocuité sur le film et l'efficacité à dissoudre l'adhésif. Chaque graphique présente ainsi les notes obtenues par chaque solvant pour chacune des six combinaisons film/adhésif. L'objectif n'est, bien entendu, pas de trouver un solvant ayant des résultats parfaits pour tous les paramètres et sur toutes les combinaisons mais plutôt d'éliminer les solvants ne permettant pas le retrait de l'adhésif ou présentant une action néfaste sur le film et l'encre. Par ailleurs, l'action des solvants pouvant être limitée par des méthode d'application, des solvants dont l'effet sur le film ou l'encre n'est pas satisfaisant mais dont l'effet sur l'adhésif est celui recherché, pourront néanmoins être considérés pour les tests futurs.

<sup>333</sup> ANNEXE 7, p. 375-376, Tableau de présentation des résultats.

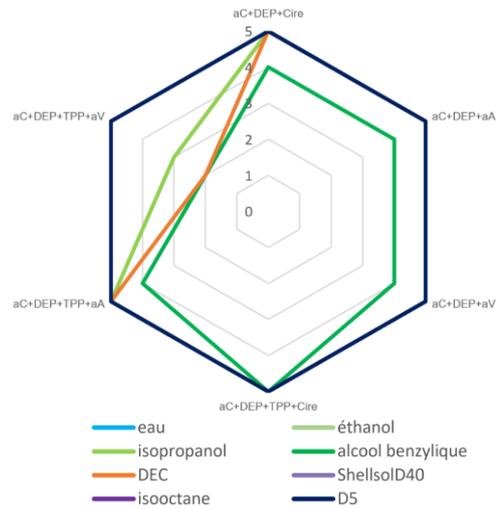
<sup>334</sup> ORMSBY Bronwyn, LEE Judith, BONADUCE Ilaria, et al., "Evaluating Cleaning Systems for Use on Water Sensitive Modern Oil Paints: A Comparative Study", dans VAN DER BERG Klass Jan (dir.) *Conservation of Modern Oil Paintings*, Cham : Springer, 2019, p.11-35.

<sup>335</sup> ANNEXE 8, p. 377, Tableau des résultats bruts de notation des tests d'immersion.

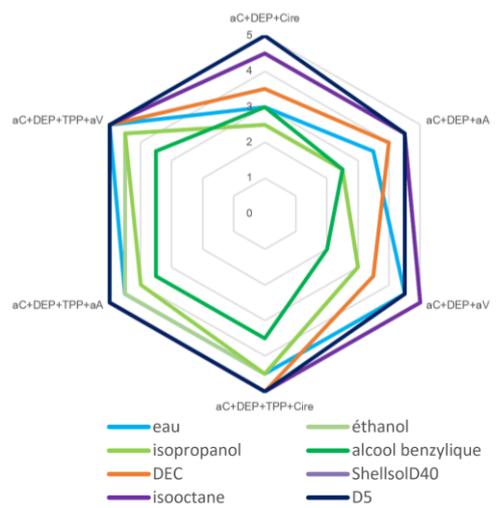
L'encre noire n'est pas dissoute par les solvants sélectionnés (Graphique 33). Elle dégage un composant bleu au cours des immersions dans l'alcool benzylique mais ne présente pas de changement visuel au séchage. En revanche, la référence imprimée en aplats d'encre rouge, aC+DEP+TPP+aV réagit aux solvant et est dissoute, jusqu'à 75% de la surface, lors de l'immersion dans l'isopropanol, l'alcool benzylique et le DEC.

Concernant l'impact de l'immersion dans le solvant pour la planéité et l'intégrité mécanique des films plastiques, on remarque que les films plastifiés avec les phtalates seuls sont plus sensibles (Graphique 34). L'alcool benzylique obtient les moins bons résultats. Il entraîne la déformation des bords des éprouvettes. L'isopropanol induit de fortes déformations et des phénomènes de tuilage voire d'enroulement en cigarette. Le DEC et l'eau induisent tous les deux des petites déformations et un changement dans la résistance mécanique du film. Enfin, les solvants de mise en œuvre, le Shellsol D40, l'isooctane et le D5 n'ont presque pas d'influence sur le film.

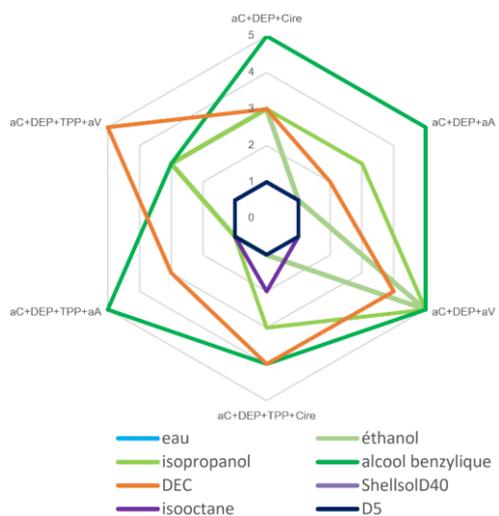
Les résultats obtenus pour le comportement de l'encre et du plastique aux solvants sont plutôt homogènes malgré quelques différences. Cela n'est pas le cas pour leur action de dissolution de l'adhésif où leur impact est assez hétérogène (Graphique 35). Les solvants de mise en œuvre ont un impact restreint sur l'adhésif. L'alcool benzylique est le solvant le plus efficace, en particulier pour les adhésifs sur des films avec des phtalates. Le DEC provoque le gonflement de l'adhésif vinylique qui permet de le retirer à la sortie de l'immersion. Son action est moins importante sur les adhésifs acryliques et la cire la plus ancienne. Les résultats de l'isopropanol sont un peu moins bons dans l'ensemble mais présentent une action satisfaisante sur l'adhésif vinylique sur le film d'acétate avec phtalates.



Graphique 33 : Impact des solvants sur l'encre<sup>336</sup>.



Graphique 34 : Impact des solvants sur le film plastique<sup>337</sup>.



Graphique 35 : Action des solvants sur l'adhésif<sup>338</sup>.

<sup>336</sup> Certains solvants présentent la même évaluation et sont donc superposés C'est le cas de l'éthanol et de l'isopropanol. De même le D5 se superpose à l'eau, au Shellsol D40, à l'iso-octane et au D5.

<sup>337</sup> Certains solvants présentent la même évaluation et sont donc superposés. C'est le cas du Shellsol D40 et de l'iso-octane pour l'évaluation de l'innocuité sur le film.

<sup>338</sup> Certains solvants présentent la même évaluation et sont donc superposés. C'est le cas de l'éthanol et de l'isopropanol en certains points, de même que l'eau et le D5.

### Résultats du suivi en spectroscopie IRTF-ATR

Les tendances observées à l'œil nu, sous loupe binoculaire et sous microscope sont affinées par un suivi en spectroscopie IRTF-ATR qui permet d'évaluer la présence de résidus d'adhésif et les éventuelles modifications moléculaires au sein du film (Figure 176).

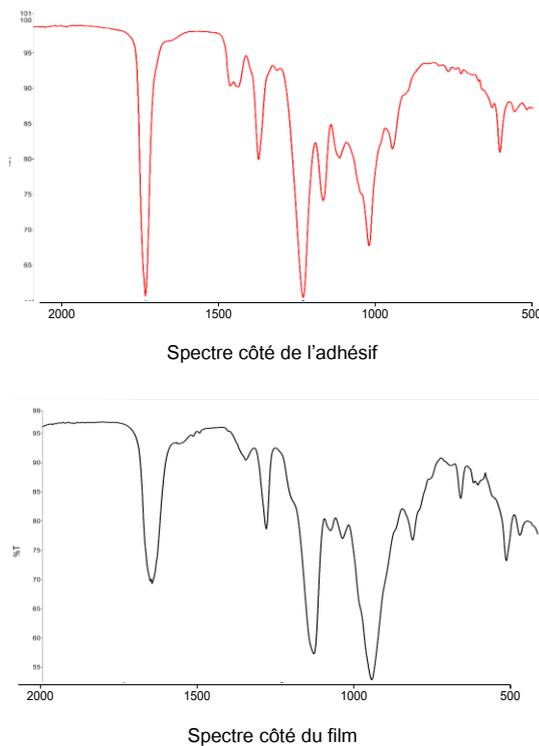


Figure 176 : Spectres du film et de l'adhésif du témoin de la référence LT916NY (aC+DEP+aV).

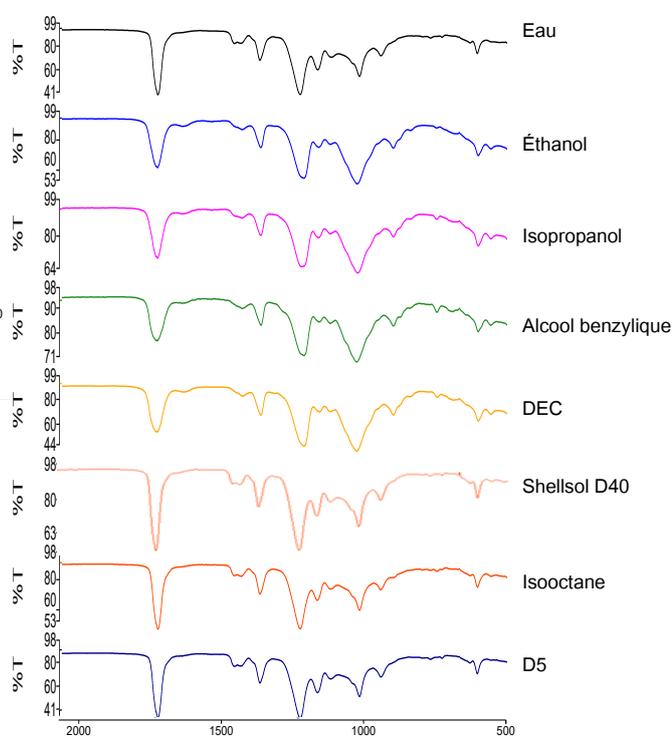


Figure 177 : Spectres IRTF de l'adhésif du zip LT916NY (aC+DEP+aV) après immersion dans chacun des solvants.

Par exemple, pour la référence combinant acétate de cellulose avec des phtalates et un adhésif vinylique, LT916NY, il est possible après l'immersion, d'obtenir la signature spectrale du film<sup>339</sup> du côté de l'adhésif<sup>340</sup>, indiquant que celui-ci est retiré en partie ou en totalité selon la morphologie du spectre obtenu (Figure 176 et Figure 177). Ainsi, il est possible de déduire de ces spectres que l'eau, l'isooctane et le D5 ne permettent pas de retirer l'adhésif. L'éthanol, l'isopropanol, l'alcool benzylique, le DEC et le Shellsol D40 ont quant à eux une action de dissolution de l'adhésif.

Une mesure IRTF-ATR est réalisée pour chaque échantillon, soit trois spectres acquis pour une référence de zip. A l'issue de l'immersion, les spectres pour une même référence de zip et un solvant donné sont comparés. Pour certains zips, le spectre des trois éprouvettes est parfaitement identique. Pour d'autres zips, la signature spectrale varie entre les trois échantillons d'une même référence pour un même solvant. Cela peut s'expliquer par une dissolution incomplète de l'adhésif. Ainsi, pour certains spectres, on observe la signature spectrale de l'adhésif alors que pour d'autres, on obtient celle du film. Ainsi, afin de rendre compte de ces disparités, les résultats sont présentés dans un tableau où « oui » signifie que les trois spectres présentent la signature du film, et donc le retrait de l'adhésif ; « non » signifie que les trois spectres présentent la signature de l'adhésif, et

<sup>339</sup> Pour rappel, les bandes d'absorption spécifiques de l'acétate de cellulose sont le cycle pyranose ( $\nu$  C-O-C asymétrique à  $1033\text{ cm}^{-1}$ ) ; les groupes acétates, à savoir les groupes méthyles ( $\delta$  CH<sub>3</sub> symétrique à  $1367\text{ cm}^{-1}$ ) et les groupes esters ( $\nu$  C=O asymétrique à  $1737\text{ cm}^{-1}$ ,  $\nu$  C-O-C asymétrique à  $1222\text{ cm}^{-1}$  et  $\nu$  C-O-C symétrique à  $1160\text{ cm}^{-1}$ ).

<sup>340</sup> Pour rappel, les bandes d'absorption spécifiques des groupements de l'acétate de vinyle sont  $\delta$  CH<sub>3</sub> symétrique à  $1371\text{ cm}^{-1}$ ,  $\nu$  C-O-C asymétrique à  $1230\text{ cm}^{-1}$  et  $\delta$  C-O-C à  $608\text{ cm}^{-1}$ .

implique l'inefficacité du solvant sur son retrait ; et « en partie » indique que la variété des spectres a mis en avant une dissolution partielle de l'adhésif d'un film à l'autre (Tableau 12).

Tableau 12 : Résultats des tests de solubilité synthétisés à partir des spectres infrarouges.

	Eau	Éthanol	Isopropanol	Alcool benzylique	DEC	Shellsol D40	Isooctane	D5
aC+DEP+Cire	non	non	en partie	oui	en partie	non	non	non
aC+DEP+aA	non	non	en partie	oui	non	non	non	non
aC+DEP+aV	non	oui	oui	oui	oui	non	non	non
aC+DEP+TPP+Cire	non	non	non	non	oui	en partie	en partie	non
aC+DEP+TPP+aA	non	non	non	oui	non	non	non	non
aC+DEP+TPP+aV	non	en partie	en partie	en partie	oui	non	non	non

L'observation des spectres permet d'évaluer si les plastifiants sont impactés ou non par le traitement d'immersion dans les solvants. Les spectres sont donc examinés pour chaque référence de zip et pour chaque solvant. Les pertes de plastifiants sont mises en évidence par la disparition d'un pic, précédemment visible sur les témoins. Ainsi, pour le zip aC+DEP+TPP+Cire, la diminution du pic de plastifiant TPP est visible uniquement sur les éprouvettes plongées dans l'éthanol et l'isopropanol (Figure 178).

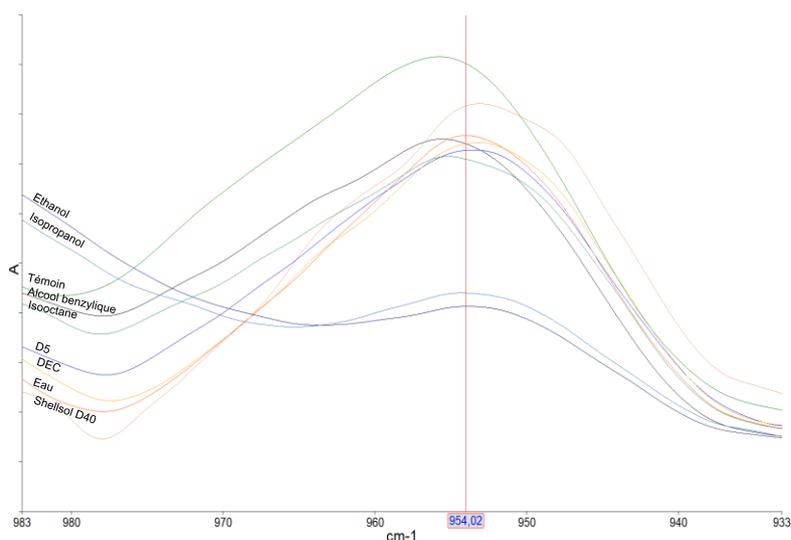


Figure 178 : Détails du pic du TPP, à 954 cm<sup>-1</sup>, des spectres du zip aC+DEP+TPP+Cire dans les différents solvants.

Par ailleurs, l'exploitation des spectres permet de noter que les films présentant les deux types de plastifiant, perdent le TPP mais conservent le DEP tandis que pour les mêmes solvants, éthanol et isopropanol, des films plastifiés uniquement avec du DEP, le perdent.

### Synthèse des résultats présentés par solvants

Les conclusions de l'expérimentation sont présentées par types de solvants.

L'**eau** ne permet pas de retirer les différents types d'adhésif. Elle fait tuler certaines éprouvettes, indifféremment du type de film, mais ne semble pas induire de perte de plastifiants. Elle n'est pas sélectionnée pour la poursuite des tests en raison de son inefficacité sur les adhésifs.

L'**éthanol** induit des modifications des adhésifs mais ne permet pas leur solubilisation ou un gonflement suffisant à leur retrait. Ce solvant entraîne un tuilage des films, certains dès l'immersion, et une perte de plastifiants : perte de DEP avérée pour le film aC+DEP+aA et une perte de TPP pour les films avec les deux plastifiants. L'éthanol n'est pas sélectionné pour la suite des tests en raison de son action limitée sur les adhésifs et de sa contribution à la perte de plastifiants.

L'**isopropanol** a une action notable sur les adhésifs cireux et vinylique. Son action est limitée sur les adhésifs acryliques. Il entraîne un tuilage sur tous les types de film. Il n'entraîne pas la perte du DEP mais celle du TPP. L'isopropanol est sélectionné pour la suite des tests en raison de son action efficace pour le retrait des adhésifs acryliques et vinyliques. Les tests suivants viseront à limiter son impact sur la perte des plastifiants.

L'**alcool benzylique** a une action très efficace sur le dégagement des différents adhésifs que ce soit en les faisant gonfler ou en les solubilisant. Son action, utilisé pur, engendre des modifications des films, plus marquées pour ceux avec un seul plastifiant mais inacceptable dans un contexte de restauration pour tous les films. De plus, le solvant induit la solubilisation d'un colorant bleu, la fragilisation de l'encre noire et la séparation de l'encre colorée du film. Seule la référence de aC+DEP+TPP+aV présente une perte de plastifiant après immersion. Ce solvant est malgré tout sélectionné pour son efficacité pour la suite des tests mais son usage pur est à proscrire<sup>341</sup> et les méthodes de mises en œuvre doivent viser à limiter son action et à éviter son contact avec l'encre.

Le **carbonate de diéthyle (DEC)** permet de solubiliser la plupart des adhésifs, seul les vinyliques sont encore présents à la sortie de l'immersion mais ils sont suffisamment gonflés pour pouvoir être retirés mécaniquement. Le film ne montre aucun signe de modification. Une référence présente la solubilisation d'un colorant bleu et l'encre de couleur est séparée du film. Le DEC n'engendre pas de perte de plastifiants. Il est sélectionné pour la suite des tests pour son efficacité sur les adhésifs, son innocuité sur le film. Les tests suivants viseront à optimiser son utilisation afin de veiller à ce qu'il ne rentre pas en contact avec l'encre.

Le **Shellsol D40** ne contribue pas à retirer l'adhésif car il est un des solvants sélectionnés pour la mise en œuvre. Cependant, il démontre une action sur les adhésifs cireux et facilite le détachement de l'adhésif des films avec les deux types de plastifiants. Il n'engendre ni modification visible des films ni perte de plastifiants. Il est retenu pour la suite des tests afin d'adapter la mise en œuvre des solvants actifs.

L'**iso-octane** présente des effets sur les zips immergés proches de ceux provoqués par le Shellsol D40. Il contribue à une action sur les adhésifs cireux et au glissement de l'adhésif sur le film dans les références avec des DEP et du TPP. Par ailleurs, il n'induit ni modification visuelle du film et de l'encre ni de perte de plastifiants. Il n'est pas retenu pour la suite des expérimentations. En effet, son action est proche de celle du Shellsol D40 mais légèrement moindre pour les cires.

Le **D5** n'induit pas de modification des films ou des adhésifs, acrylique et vinylique, mais contribue à une séparation entre les adhésif cireux et leur film. Il est sélectionné pour la suite des tests en raison de cette absence d'interaction avec les films.

---

<sup>341</sup> Comme cela est d'ailleurs le cas dans la pratique, où il est toujours utilisé en mélange et en faible concentration.

## Conclusions

Les tests d'immersion permettent d'obtenir une vision macroscopique des interactions entre un solvant et le zip. Ils mettent en lumière des phénomènes qui n'auraient peut-être pas pu être observés par la seule pose d'une goutte à la surface du matériau.

La pré-sélection des solvants pour les tests de solubilité peut être qualifiée de pertinente à l'issue des tests de solubilité. Les résultats sur les films et les adhésifs ne sont pas aberrants au regard des objectifs fixés. Les actions des huit solvants évalués lors du test de solubilité sont variées et pour certaines complémentaires. Ces tests permettent d'éliminer les solvants dont l'action est trop minime sur l'adhésif pour présenter un intérêt pour la suite du protocole, de préciser les nouveaux objectifs, notamment ceux liés à la mise en œuvre ou encore d'éliminer ceux dont l'action est redondante avec celle d'un autre solvant.

Au terme de ces expérimentations, les tests de solubilité permettent de sélectionner un nombre limité de solvants. Leur action sur les différents composants du zip est documentée et les risques qu'ils peuvent représenter sont bien précisés. Les solvants choisis pour les futures phases de tests sont l'isopropanol, l'alcool benzylique, le carbonate de diéthyle, le Shellsol D40 et le D5.

**Limites d'intervention** : Les tests de solubilité ont été uniquement réalisés sur des références de zip ayant la couche d'encre sur le côté opposé à celui de l'adhésif. En effet, des pré-tests ont montré que lorsque l'encre se trouve entre le plastique et l'adhésif, la couleur est dissoute dans le même temps que l'adhésif. Le retrait de l'adhésif pour des zips de ce type ne peut pas être envisagé en l'état des connaissances. Ainsi, il est primordial d'évaluer le côté imprimé avant toute intervention sur l'adhésif du zip.

### Résultats :

#### Les solvants retenus, leur intérêt et/ou leur marge d'amélioration :

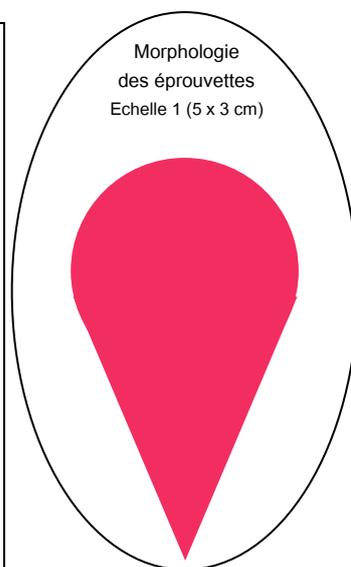
- **L'isopropanol** : bonne action sur l'ensemble des adhésifs  
réduire l'effet de tuilage des films, modérer la perte de TPP
- **L'alcool benzylique** : très bonne action sur l'ensemble des adhésifs  
réduire et maîtriser son action  
éviter le contact avec l'encre
- **Le carbonate de diéthyle** : excellente action sur les adhésifs  
innocuité pour les films  
éviter le contact avec l'encre
- **Le Shellsol D40** : peu d'action sur les adhésifs  
innocuité pour les films et l'encre
- **Le D5** : peu d'action sur les adhésifs  
innocuité pour les films et l'encre

### C. Evaluation des méthodes d'application des solvants sélectionnés

Avec une sélection réduite à trois solvants actifs, il est possible de pousser les investigations afin de définir des méthodes d'application adaptée au zip, dans un contexte de préservation du patrimoine. En effet, les solvants sélectionnés sont prometteurs mais leur mise en œuvre doit être précisée pour maîtriser au mieux leur action (Tableau 13).

Tableau 13 : Présentation du plan d'expérience pour sélectionner une méthode d'application.

<b>OBJECTIF</b>		<b>Vérifier l'action des solvants actifs sélectionnés (isopropanol, DEC et alcool benzylique) sur l'adhésif et les films par application côté adhésif seul et avec une action mécanique.</b>	
<b>ÉPROUVETTES</b>	<b>Réalisation des épreuves</b>	<b>Nombres d'épreuves</b>  Pour chacune des 6 référence de zip :  1 épreuve témoin 1 épreuve par solvant (3) et mode d'application (4)  Soit 13 épreuves par zip et 78 en tout	
	<b>Matériel des épreuves</b>		
	Découpe du zip au scalpel Positionnement sur du papier Whatman™ Vieillessement en enceinte lumière pendant 24 h à 765W et 35°C Séparation du support		
	aC+DEP+cire (HN272, motif tirets) aC+DEP+acrylique (LT 38P, motif points) aC+DEPP+vinylique (LT 11NY, motif points) aC+DEP+TPP+cire (ST 84, motif points) aC+DEP+TPP+ acrylique (LT 9P, motif points) aC+DEP+TPP+vinylique (rubine red, couleur rouge)		
<b>EXPERIENCE</b>	<b>Méthodes d'expérimentation</b>		<b>Méthodes de suivi</b>
	Roulage de coton-tige imbibé de solvant et préalablement essuyé sur buvard	Application d'une goutte de 10µL sur l'adhésif puis absorption à l'Evolon®	Chambre de solvant et spatule  Application d'une goutte et retrait à la spatule



Pour rappel : aC+DEP signifie un film d'acétate de cellulose plastifié avec des phtalates.

aC+DEP+TPP signifie un film d'acétate de cellulose plastifié avec des phtalates et du triphényle phosphate.

#### 1. Application des solvants sélectionnés : matériel et méthode

##### Objectif

Les résultats obtenus lors des tests de solubilité sont encourageants pour le retrait des adhésifs mais leur mise en œuvre est à adapter pour pouvoir envisager de les utiliser sur des œuvres d'art. L'objectif de cette expérimentation est de définir des méthodes d'application adaptées dans un premier temps et des mélanges de solvants si cela s'avère nécessaire, dans un second temps.

### Réalisation des éprouvettes

Les éprouvettes sont découpées au scalpel dans les feuilles de zip de 6 références de zip correspondant aux différentes combinaisons de film/plastifiants et d'adhésif (Figure 179).

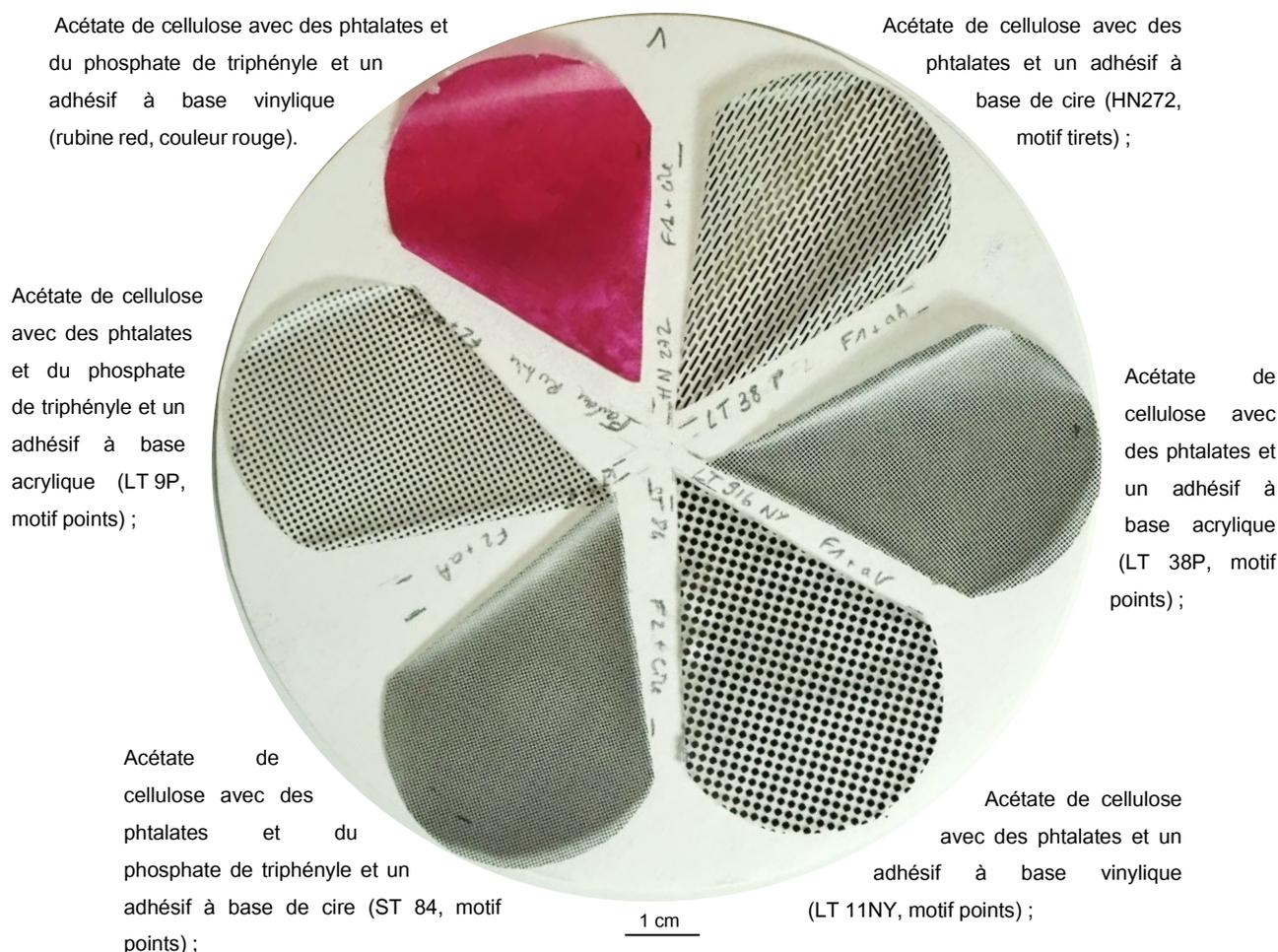


Figure 179 : Visuel de la fleur 1 après vieillissement et soulèvement, diamètre de 12 cm.

Les références de zip, chacune découpée en un pétale de 5 cm de long et 3 cm de diamètre pour la partie circulaire collées sur un cercle de papier Canson C à grain de 125 g/m<sup>2</sup> de 12 cm de diamètre, pour former une fleur. Les références sont agencées sur la fleur de telle manière que les deux types de film (acétate de cellulose avec phtalates ou acétate de cellulose avec phtalates et phosphate de triphényle) se retrouvent chacun sur une moitié de cercle et que les familles d'adhésifs similaires soient alignées par leur pointe en face à face. Après leur réalisation, les fleurs sont vieilles artificiellement en enceinte lumière pour induire des phénomènes de soulèvement<sup>342</sup>.

Après le vieillissement, les pétales sont décollés mécaniquement s'ils ne l'étaient pas déjà. Une fleur est gardée comme témoin à l'issue du vieillissement artificiel et ne reçoit pas de traitement. Chacune des 12 autres fleurs réalisées reçoit pour tous ses pétales le même traitement : un type de solvant et une mise en œuvre<sup>343</sup>. Sur chacune de ces fleurs, chaque pétale fait l'objet de trois zones de dégagement d'un cercle de 1 cm.

<sup>342</sup> Vieillissement en enceinte lumière pendant 24 h à 765W et 35°C. Paramètres établis dans le Chapitre 5, II, A, 2 Protocole de vieillissement pour la création d'éprouvette, p.197.

<sup>343</sup> Un fleur témoin est vieilles en enceinte avec les autres mais ne reçoit pas de traitement.

### Méthodes d'application des solvants purs

Quatre méthodes d'application pour les solvants purs sont comparées. Dans un premier temps, sont testées des méthodes avec un apport liquide et avec un apport vapeur. Dans un second temps, les résultats des mises en œuvre précédentes nous poussent à investiguer la combinaison de deux méthodes.

Afin de bien visualiser et circonscrire la zone d'intervention, un film siliconé est perforé d'une ouverture d'un centimètre de diamètre. Cette ouverture permet de s'assurer que les interventions ont lieu sur une surface équivalente et d'offrir un repère pour la prise de vue sous microscope.

#### Apport de solvant et absorption avec une compresse (G-E)

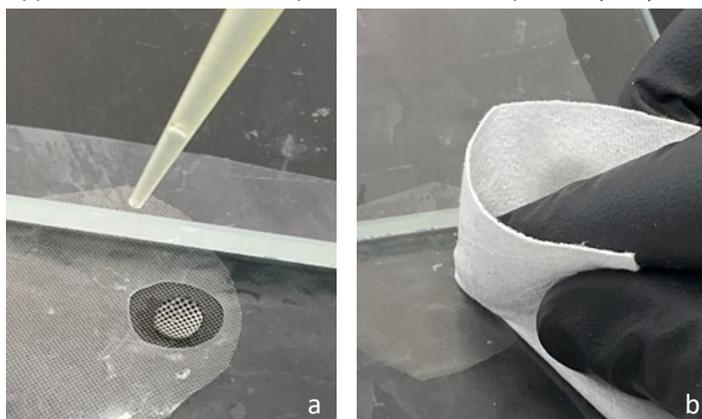


Figure 180 : Dépose d'une goutte de solvant, a, et absorption à l'aide d'Evolon®, b.

La première méthode permet d'évaluer l'action du solvant seul sur l'adhésif au fur-et-à-mesure de l'exposition. Une goutte de 5  $\mu\text{L}$  est déposée à la micropipette puis absorbée par pression avec un morceau d'Evolon®<sup>344</sup> (Figure 180, a et b). L'action de pose de la goutte et de son absorption est répétée jusqu'à retrait total de l'adhésif ou jusqu'à un nombre maximal de 30 passages. Après le test, la zone est laissée à sécher à l'air libre.

#### Apport de solvant liquide combiné à l'action mécanique du coton (CT)



Figure 181 : Détails du coton tige posé sur la surface à dégager et indication du mouvement.

Un coton tige industriel (Muji ®) est imbibé de solvant à l'aide d'une seringue pour être toujours porteur de la même quantité de liquide, à savoir 30  $\mu\text{L}$ . Le coton tige est ensuite appliqué sur la surface et roulé d'avant en arrière afin de décoller l'adhésif gonflé ou solubilisé (Figure 181). Le passage du coton tige est réalisé autant de fois que nécessaire pour retirer l'adhésif ou jusqu'à un nombre maximal de 30 passages. Après le test, la zone est laissée à sécher à l'air libre.

<sup>344</sup> L'Evolon® est un intissé de polyester/polyamide (70 :30), capable d'absorber jusqu'à 400 fois son poids et résistants à de nombreux solvants, notamment ceux de l'expérience, CXD France.

*Enceinte de vapeurs de solvant (CS-Sp)*

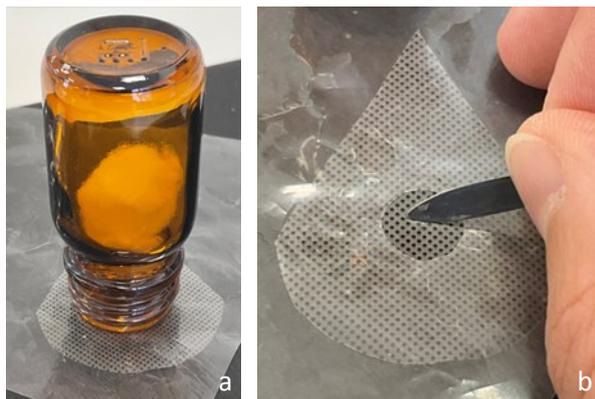


Figure 182 : Gonflement de l'adhésif en chambre, a, et dégagement à l'aide d'une spatule, b.

Un flacon, dont l'ouverture est d'un diamètre d'environ 1 cm, est garni d'un coton imbibé de solvants. Le coton est suffisamment imbibé mais pas assez pour goutter. Le flacon est retourné et son ouverture mise en contact avec la surface d'adhésif du zip (Figure 182, a). Régulièrement, le flacon est soulevé pour tester le gonflement de l'adhésif. Le flacon est laissé en place jusqu'à ce que le gonflement soit suffisant pour pouvoir le racler avec une spatule métallique dans la limite de 50 minutes (Figure 182, b). Après le test, la zone est laissée à sécher à l'air libre.

*Application de solvant liquide et dégagement de l'adhésif au coton tige (mouvement circulaire) (G-CT)*

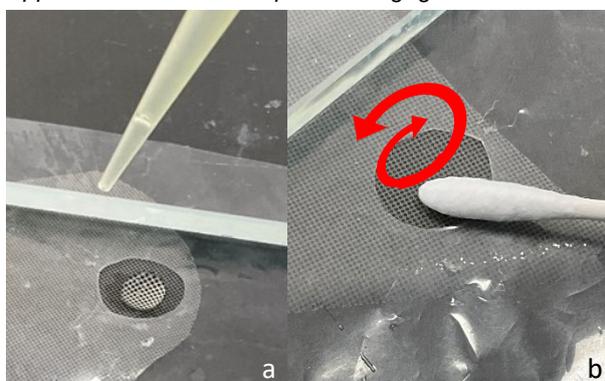


Figure 183 : Dépose de la goutte, a, et dégagement au coton tige, b.

Les observations et le ressenti lors des précédentes mises en œuvre nous encouragent à essayer une dernière mise en œuvre construite de ces expériences. Le solvant est appliqué à la micropipette pour déposer une goutte toujours équivalente de 5  $\mu\text{L}$  (Figure 183, a). Une fois, l'adhésif gonflé, il est ensuite retiré par mouvement circulaire à la surface à l'aide d'un coton tige industriel (Muji®) (Figure 183, b). Après le test, la zone est laissée à sécher à l'air libre.

**Suivis**

*Documentation photographique*

Le suivi est réalisé par une documentation photographique de chaque éprouvette avant et après traitement (après évaporation des solvants). Ces prises de vue sont complétées par des clichés réalisés sous microscope Dino-lite<sup>345</sup>, avant et après dégagement de chaque zone de test (film siliconé laissé en place comme repère) (Figure 184).

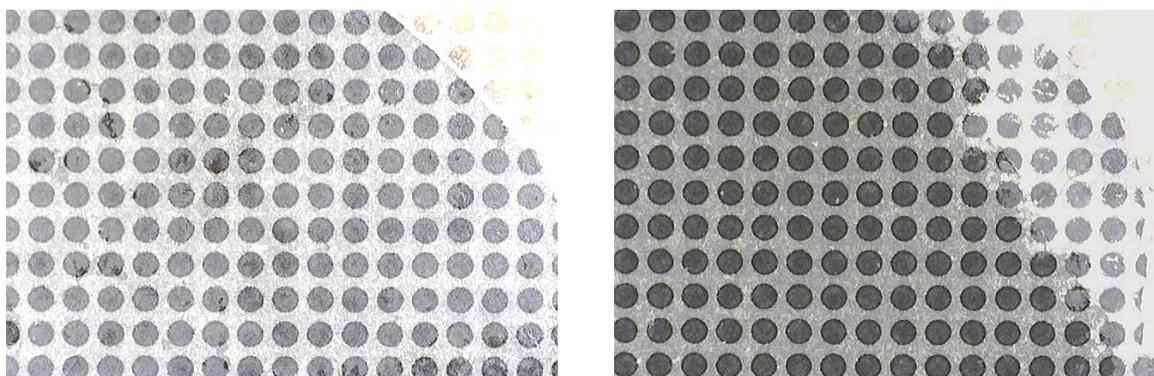


Figure 184 : Exemple de visuels au microscope, film aC+DEP+TPP+Cire avant, à gauche, et après retrait avec un coton tige imbibé de carbonate de diéthyle, à droite.

<sup>345</sup> Dino-Lite AF4115ZT adaptateur WF-20 (grossissement x20-220).

*Évaluation de la mise en œuvre*

L'évaluation de la mise en œuvre est réalisée avec une échelle de valeur progressive de 1 à 5 associées à des qualités, suivant la même méthode que celle des tests de sélection des solvants<sup>346</sup>. Les critères évalués sont définis spécifiquement pour ce test. En effet, les échelles d'évaluation ne sont pas transposables d'une expérience à l'autre car elles sont définies en fonction des objectifs et des moyens spécifiques à l'expérimentation.

Les paramètres d'évaluation sont scindés en deux catégories : l'adéquation du traitement et le confort de la mise en œuvre. Ils sont présentés dans un tableau général (Tableau 14).

Tableau 14 : Qualités associées à l'échelle de valeur de 1 à 5 pour chaque paramètre.

Les cases en vert sombre représentent l'objectif à atteindre, les cases en vert clair des résultats acceptables, les cases sans couleur des résultats insatisfaisants.

Paramètres		1 (mauvais)	2	3	4	5 (bon)	
Efficacité du traitement	Efficacité du dégagement d'adhésif (évalué à l'œil une fois le film sec)	adhésif non retiré	adhésif retiré superficiellement	adhésif en partie retiré (env. 1/2)	adhésif retiré mais reste quelques résidus	adhésif entièrement retiré	
	Stabilité de l'encre (évalué à l'œil une fois le film sec)	complètement partie	+ de 3/4 partie	en partie enlevée	perte d'un colorant	rien ne bouge	
	Perte de planéité du film (évalué à l'œil une fois le film sec)	fondu sur lui-même	fondu en périphérie	roulé en cigarette	tuilage léger	rien ne bouge	
	Perte de structure mécanique du film (évalué à l'œil une fois le film sec)	le film ne tient que par l'encre	effritement en morceaux moyens	gros morceaux	casse sous l'action du scalpel	reste en un seul morceau	
Confort de la mise en œuvre	Confort (évalué via le ressenti du restaurateur)	travail sous hotte nécessaire	port d'un masque à solvant nécessaire	gêne au niveau de l'odeur	confortable	agréable	
	Aisance de traitement (évalué via le ressenti du restaurateur)	long et impossible	long et difficile	rapide mais difficile	long et aisé	rapide et aisé	
	Temps d'application approprié en fonction de la mise en œuvre	temps pour nettoyer une zone de 1 cm <sup>2</sup> (action évaluée en min:sec)	au-delà de 10:00	5:01 à 10:00	02:01 à 5:00	01:01 à 02:00	0:00 à 1:00
		nombre d'application goutte+absorption jusqu'à retrait final (max 30)	25-30	19-24	13-18	6-12	0-5
		nombre de passage de coton tige jusqu'à retrait final (max 50)	31+	21-30	11-20	6-10	0-5
		temps de mise en chambre pour procéder au retrait (min:sec)	40:01 à 50:00	30:01 à 40:00	20:01 à 30:00	10:01 à 20:00	0:00 à 10:00
nombre de passage de coton tige jusqu'à retrait final (max 50)		31+	21-30	11-20	6-10	0-5	

L'adéquation du traitement reprend des critères d'évaluation déjà évoqués : efficacité du dégagement de l'adhésif, innocuité sur l'encre et le plastique. Le temps d'intervention pour dégager un cercle d'un diamètre de 1 cm est chronométré. Si au-delà de 10 min le cercle n'est pas dégagé, l'intervention est arrêtée et jugée infructueuse. Par ailleurs, pour chaque type de mises en œuvre, le nombre de passages (application de goutte

<sup>346</sup> ORMSBY B., *et al.*, 2019, *op. cit.*

et absorption, roulage de coton tige, temps de mise en chambre et tour de coton-tige) est limité pour permettre de clore l'expérimentation dans des conditions réalisables.

Le confort de la mise en œuvre s'intéresse aux conditions d'intervention dans la mesure où un travail avec des solvants n'est jamais anodin. Les méthodes de protection contre les risques liés aux solvants sont prises en compte au regard de l'organisation qu'elles imposent, particulièrement dans le cadre d'une intervention dans des institutions patrimoniales. Enfin, l'aisance de traitement est évaluée. Il s'agit de la combinaison du temps de traitement et de sa facilité.

## 2. Résultats

La méthode de cette expérimentation vise à préciser les conclusions obtenues lors des tests de solubilité. Ainsi les meilleurs solvants de l'étape précédente sont sélectionnés et l'échelle de valeurs réadaptée. L'évaluation de solvants ayant déjà passé une première étape de sélection implique de bons résultats pour le dégagement de l'adhésif, les autres paramètres évalués sont donc discriminants.

### Résultats obtenus par l'échelle de valeur

Les notes sur 5 des différents paramètres d'évaluation de l'efficacité du traitement, d'une part, et du confort de la mise en œuvre, d'autre part, sont additionnées pour donner deux notes globales sur 20<sup>347</sup> : la première note est égale à la somme de l'efficacité du dégagement de l'adhésif, de la stabilité de l'encre, de la perte de planéité du film et de sa perte de structure mécanique ; la deuxième note est égale à la somme du confort, de l'aisance du traitement, du temps d'intervention et du nombre d'intervention (passage de coton tige, absorption de goutte, durée en chambre).

Les résultats obtenus par l'échelle de valeur présentent un comportement assez homogène et similaire d'un solvant à l'autre ou d'une mise en œuvre à l'autre. Quelques tendances émergent néanmoins :

- l'efficacité du traitement est meilleure sur les films avec un seul type de plastifiant que sur ceux en présentant deux.
- les adhésifs à base de cire se retire mieux avec les paramètres d'expérimentation choisis que les deux autres adhésifs qui présentent des dégagements similaires.
- L'adhésif vinylique sur la référence avec les deux types de plastifiants est particulièrement difficile à dégager<sup>348</sup>.

### Résultats par solvant

Lors de cette expérimentation, les solvants obtiennent en moyenne des notes très homogènes de 16,8 à 17,2 sur 20. Cependant, le comportement des films de zip varie d'un solvant à l'autre.

- L'isopropanol et l'alcool benzylique imposent plus de déformations des films que le carbonate de diéthyle. L'alcool benzylique en particulier génère des tensions entre les zones traitées et non traitées. Il faut noter que les solvants sont utilisés purs pour être comparés mais que dans le cadre d'une intervention de conservation-restauration, l'alcool benzylique n'est jamais utilisé pur<sup>349</sup>. Tandis que

<sup>347</sup> ANNEXE 9, p. 378, Tableau des résultats bruts de notation des tests de mise en œuvre.

<sup>348</sup> Cette référence est sans doute l'une des plus récente présente dans l'échantillonnier. Marie Poisbelaud avait également noté cette différence et l'attribuait à l'épaisseur du film d'adhésif plus importante que sur les autres références.

<sup>349</sup> Mais comme cela a été précisé précédemment l'alcool benzylique n'est jamais utilisé pur en conservation-restauration.

l'isopropanol, le plus souvent utilisé pur en conservation-restauration, induit des contraintes de déformation mais également de tuilage.

- L'efficacité et le confort de l'isopropanol et de l'alcool benzylique sont très proches avec des notes d'efficacité de 17,7 et des notes de confort respectives de 15,9 et 16,7 sur 20.
- Les résultats du carbonate de diéthyle se détachent de ceux des deux autres solvants. Son efficacité est bien meilleure avec une note de 19,4. En revanche, ce solvant possède une odeur un peu douceuse qui peut vite gêner, l'utilisateur ou les personnes à proximité et lui confère une note inférieure à 15.

#### *Résultats par mise en œuvre*

Les notes d'efficacité sont assez proches, de 17,3 pour la chambre de solvant à 18,9 pour le dégagement réalisé avec un coton tige imbibé de solvant. Elles se distinguent par les déformations engendrées sur les films. Celles-ci proviennent d'une différence de comportement entre les zones soumises au solvant et celles préservées. La mise en œuvre avec dépose d'une goutte et absorption avec l'Evolon® produit le plus de déformation. Elle est parmi les plus longues, avec des apports de solvant conséquent. En comparaison, la mise en œuvre avec dépose d'une goutte essuyée par mouvement circulaire au coton tige permet une action plus rapide, un contact moins prolongé avec le solvant et cela amoindrit les déformations. La mise en œuvre avec chambre de solvant n'est pas adaptée aux les films cassants car la moindre action de la spatule induit des cassures.

Les notes de confort sont encore plus discriminantes pour l'évaluation des mises en œuvre en variant de 12,1 pour la chambre de solvant à 19,3 pour le dégagement au coton après dépose d'une goutte de solvant. La note est, dans ce cas-là, représentative de la facilité ou non de mise en œuvre. La chambre de solvant par exemple, fonctionne bien pour les films avec une bonne tenue, mais le temps pour faire gonfler l'adhésif est long. Cette méthode présentant par ailleurs un apport réduit de solvant pour le film, il est possible de l'utiliser pour des interventions de restauration où elle serait adaptée. Cependant dans le contexte de l'expérimentation, et les critères choisis, cette méthode ne sera pas retenue.

**Limites :** *Cette exploitation des résultats donne une bonne idée de l'action générale des traitements. Cependant, le recours à des moyennes ne permet pas de visualiser les disparités de comportements ni les facteurs discriminants : a-t-on des notes médianes partout ou une très bonne note pour le retrait de l'adhésif mais une très mauvaise pour l'état du film ? Malgré les résultats précis obtenus par l'échelle de valeur, il est difficile de représenter clairement et visuellement les comportements des six combinaisons film/adhésif de zip et les 12 mises en œuvre. Le traitement en histogrammes n'est pas le plus adapté à la mise en valeur de la pondération des points. Afin de prendre en compte la particularité des différents cas, il est nécessaire de s'appuyer sur les observations visuelles pour discriminer des traitements aux notes similaires et préciser leur impact pour chaque zip.*

### Comparaison des résultats de la notation et de l'observation

Les résultats des notations (pour rappel chaque critère est évalué de 1 à 5, quatre critères pour l'efficacité du traitement et quatre critères pour la mise en œuvre, soit deux notes sur 20) permettent de donner une idée d'ensemble sur le traitement. Comme il a été mentionné précédemment, les notes sont très hautes car les solvants ont déjà fait l'objet d'une pré-sélection. Ainsi, si un solvant dissout l'encre il reçoit une note de 1 pour ce critère, mais s'il obtient de bons résultats par ailleurs, la notation totale est de 16, ce qui est une bonne note et ne rend pas compte de son impact sur l'encre. Par ailleurs, une note de 3 pour le retrait de l'adhésif est acceptable tandis que la même note qui indique la perte d'encre ne peut être envisagée. La moyenne tend à gommer ces subtilités.

Les tableaux de notations sont donc repris, et les notes inférieures à ce qui a été définis comme acceptable dans le tableau présentant l'échelle de valeur, sont jugées éliminatoires. L'élimination peut advenir pour plusieurs raisons, car le retrait de l'adhésif n'est pas obtenu ou parce que le traitement affecte le film ou l'encre. Ce seuil de tolérance n'est pas mis en place précédemment car l'immersion dans un solvant n'est pas représentative d'une intervention de conservation-restauration. Certains critères qui peuvent être un frein pour une intervention de restauration comme par exemple, l'usage des solvants dans les institutions, sont indiqués comme possible mais avec des conditions indiquées par des astérisques (Tableau 15).

Tableau 15 : Récapitulatif des solvants et mises en œuvre pour chaque référence de zip.

Solvants et mise en œuvre Références zips	Isopropanol				Alcool benzylique				Carbonate de diéthyle			
	CT	G-E	CS-Sp	G-CT	CT	G-E	CS-Sp	G-CT	CT	G-E	CS-Sp	G-CT
aC+DEP+Cire	O	O	N	O	O	O	N	O	O	O**	N	O
aC+DEP+aA	O	N	N	O	N	N	N	N	O	O**	N	O
aC+DEP+aV	O	N	N	N	N	N	N	N	O	O**	N	O
aC+DEP+TPP+Cire	O	N	N	O	N	N	N	O	O	O**	N	O
aC+DEP+TPP+aA	O	N	N	N	N	N	N	N	O	O**	N	O
aC+DEP+TPP+aV	O*	N	N	N	N	N	N	N	O	N	N	O

Abréviations des colonnes : CT = coton tige imbibé ; G-E = goutte absorbée par Evolon® ; CS-Sp = chambre de solvant et spatule ; G-CT = goutte essuyée au coton tige.

Abréviation des résultats : O = retire l'adhésif sans impact négatif sur le film ; N = action négative sur le film et/ou l'encre malgré une bonne action sur l'adhésif ; O\* = pas d'action sur le film et/ou l'adhésif mais l'adhésif n'est pas bien retiré ; O\*\* = l'adhésif est retiré mais l'odeur du solvant est particulièrement gênante.

L'observation des fleurs après leur traitement permet d'évaluer l'impact des traitements à un niveau macroscopique (Figure 185).

La référence de aC+DEP+Cire présente les meilleurs résultats aux tests de dégagement. Hormis les chambres de solvant où le recours à la spatule induit des cassures dans le film, tous les tests de dégagements sont concluants. Cette grande fragilité du film est probablement liée à son « âge », cette référence est la plus ancienne testée et date des années 1960. Les autres films résistent bien sous l'action de la spatule.

La référence de aC+DEP+aA montre un bon retrait à l'isopropanol avec un coton tige (imbibé ou goutte) et le DEC avec les apports de solvant liquide.

Sur la référence de aC+DEP+aV, le traitement n'est satisfaisant qu'avec l'isopropanol, utilisé avec un coton tige imbibé et le DEC avec les apports de solvant liquide.

Les références avec les deux plastifiants montrent une efficacité des traitements légèrement moindre que celle observée sur ceux avec un seul plastifiant. Ainsi, la référence de aC+DEP+TPP+Cire est plus sensible à l'action de l'alcool benzylique et ne supporte que l'action de dégagement avec la goutte essuyée au coton tige.

L'isopropanol avec un coton tige (imbibé ou goutte) et le DEC avec les apports de solvant liquide permettent de retirer l'adhésif sans endommager le film.

La référence aC+DEP+TPP+aA ne montre de bons résultats qu'avec l'isopropanol avec un coton tige imbibé et le DEC avec les apports de solvant liquide.

Enfin, la référence aC+DEP+TPP+aV est la plus difficile à retirer, la seule méthode qui fonctionne pleinement est l'usage du DEC avec un coton tige (imbibé ou goutte).

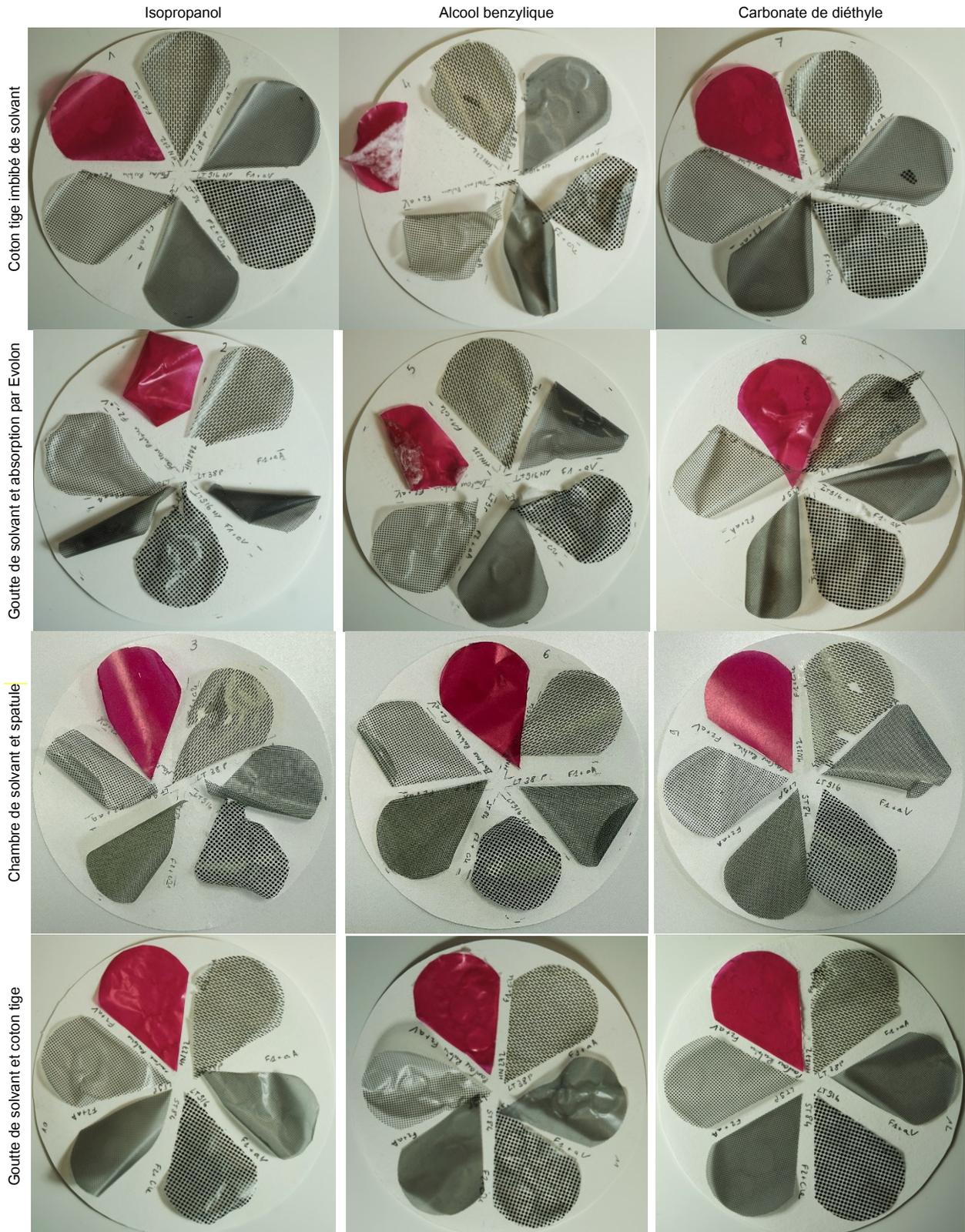


Figure 185 : Photographies des éprouvettes après traitement de comparaison des mises en œuvre de solvants purs.

### **Conclusion de l'évaluation des méthodes d'application et des solvants sélectionnés**

Il est possible de conclure de cette expérimentation que l'usage de carbonate de diéthyle pur appliqué au coton tige préalablement imbibé de 30 µL, est sûr pour tous les films et permet de retirer la majorité des adhésifs. Le recours à l'isopropanol est également possible, mais il faut noter que ce solvant a tendance à faire tiler le film. L'expérimentation montre par ailleurs l'impact négatif de l'alcool benzylique utilisé pur sur les films de zips. Cela conforte les précautions d'usage en restauration qui sont de toujours l'utiliser en mélange et en faible concentration.

Cependant, il faut garder à l'esprit que l'alcool benzylique est le meilleur solvant pour retirer la cire, que les acryliques réagissent mieux à l'isopropanol et que les adhésifs vinyliques sont mieux retirés par l'isopropanol et l'alcool benzylique. Si le carbonate de diéthyle a des résultats moins bons sur l'adhésif, il n'interfère pas ou très peu avec le film ce qui en fait le solvant le plus sûr.

#### **Résultats :**

**Les trois solvants testés, isopropanol, alcool benzylique et carbonate de diéthyle, permettent un dégagement satisfaisant des adhésifs.**

- **L'isopropanol a tendance à faire tiler le film.**
- **L'alcool benzylique engendre d'importantes dégradations du film. Il ne doit pas être utilisé pur.**
- **Le carbonate de diéthyle présente les résultats les plus satisfaisants sur le film et l'encre.**

---

**La mise en œuvre a un impact décisif sur le retrait de l'adhésif mais surtout sur le comportement du film.**

**Il est important de limiter la quantité de solvant déposée et son temps de pose.**

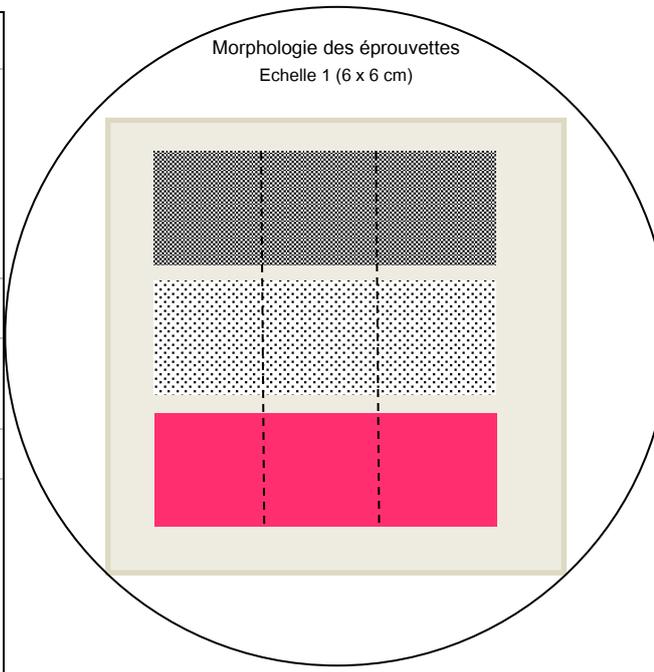
**Les deux méthodes les plus satisfaisantes sont le coton tige imbibé et la goutte essuyée avec un coton tige en mouvement circulaire.**

**Ces méthodes nécessitent encore d'être perfectionnées.**

### D. Impact sur le film des solvants et des mises en œuvre sélectionnés

Malgré de bons résultats généraux lors de l'expérimentation précédente, les résultats ne sont pas encore totalement satisfaisants en vue d'une intervention sur des œuvres et les mises en œuvre nécessitent encore d'être améliorées. Ainsi, une nouvelle série de tests vise à perfectionner l'usage des solvants en introduisant la possibilité de faire des mélanges avec les solvants de mise en œuvre retenus précédemment (Tableau 16).

Tableau 16 : Présentation du plan d'expérimentation pour évaluer l'impact des solvants et méthodes d'application sélectionnées.

<b>OBJECTIF</b>		<b>Observer l'impact des solvants et mises en œuvre sélectionnés sur le film une fois l'adhésif entièrement dégagé</b>			
<b>ÉPROUVETTES</b>	<b>Réalisation des épreuves</b>				
	Découpe du zip au scalpel Positionnement sur du papier Canson® « C » à grain® 125g/m² Vieillessement en enceinte lumière pendant 24 h à 765W et 35°C Séparation du support				
	<b>Matériel des épreuves</b>				
	aC+DEP+TPP+cire (ST 84, motif points) aC+DEP+TPP+ acrylique (LT 9P, motif points) aC+DEP+TPP+vinylque (rubine red, couleur rouge)				
<b>Nombres d'épreuves</b>	Pour chacune des 3 références de zip : 1 épreuve témoin 1 épreuve par mélange de solvant (5) et mode d'application (3)  Soit 16 épreuves				
<b>EXPERIENCE</b>	<b>Méthodes d'expérimentation</b>				
	Mise en œuvre 1 coton tige sur buvard + séchage libre	Mise en œuvre 2 coton tige sur buvard sur table aspi	Mise en œuvre 3 coton tige+evolon sur buvard, sur table aspi		
	<b>Mélanges de solvants testés</b>				
	Mélange 1 Isopropanol/Shellsol D40 (25:75)	Mélange 2 DEC/Shellsol D40 (50:50)	Mélange 3 Isopropanol/ Alcool benzylique/ Shellsol D40 (25:25:50)	Mélange 4 Shellsol D40/ Isopropanol/ Alcool benzylique (60 :30 :10)	Mélange 5 KSG/D5 (50 /50) +Alcool Benzylique 30%
	<b>Méthodes de suivi</b>				
Prise de vue d'ensemble avant et après expérience Tableau d'évaluation Suivi IRTF-ATR					

Pour rappel : aC+DEP signifie un film d'acétate de cellulose plastifié avec des phtalates.

aC+DEP+TPP signifie un film d'acétate de cellulose plastifié avec des phtalates et du triphényle phosphate.

## 1. Évaluation des solvants et des mises en œuvre : matériel et méthodes

### Objectif

Cette expérimentation a pour but de préciser la méthode de dégagement des adhésifs et de vérifier l'impact de cette mise en œuvre lors du dégagement de la totalité de la surface d'éléments de zip d'une taille représentative à ce que l'on trouve le plus souvent dans les collections.

### Réalisation des éprouvettes

La taille des éprouvettes est conditionnée par leur représentativité vis-à-vis des éléments de zip observés dans les collections et par la taille et la disponibilité de l'enceinte de vieillissement à la lumière. Trois références de zip sont sélectionnées pour la réalisation des éprouvettes. Toutes présentent un même type de film, à savoir un acétate de cellulose plastifié avec des phtalates, afin de pouvoir observer les différences de comportement des adhésifs : un adhésif à base de cire, un à base d'acrylique et un à base de vinylique.

Les références de zip choisies sont<sup>350</sup> :

- Une référence d'acétate de cellulose avec des phtalates et du phosphate de triphényle et un adhésif à base de cire (ST 84, motif points) ;
- Une référence d'acétate de cellulose avec des phtalates et du phosphate de triphényle et un adhésif à base acrylique (LT 9P, motif points) ;
- Une référence d'acétate de cellulose avec des phtalates et du phosphate de triphényle et un adhésif à base vinylique (rubine red, couleur rouge).

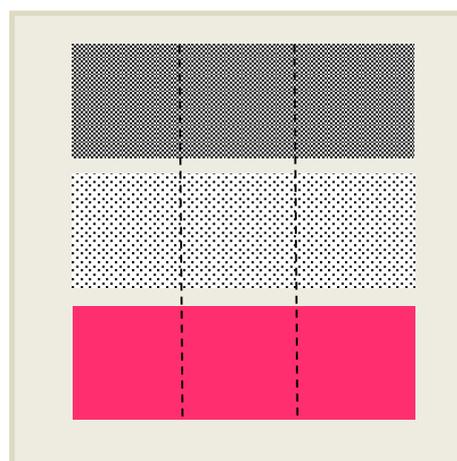


Figure 186 : Schéma d'une éprouvette carrée avec trois références de zip collées sur papier Canson®, soumises à la même expérience, échelle 1 (6 x 6 cm).

Les éprouvettes sont découpées au scalpel directement dans les feuilles de zip, en rectangle de 1,5 x 4,5 cm. Une éprouvette de chaque référence de zip est collée sur papier Canson® « C » à grain® de 125 g/m<sup>2</sup>, découpé en carré de 6 cm de côté (Figure 186). Les éprouvettes d'un carré, sont toutes soumises à la même expérience. Les tests étant localisés, chaque éprouvette supporte trois fois le test.

Après leur réalisation, les éprouvettes sont vieillies artificiellement en enceinte lumière pour induire des phénomènes de soulèvement<sup>351</sup>. Un carré est conservé comme témoin, deux sont dévolus au dégagement mécanique et deux au dégagement thermique, soit 5 carrés et donc 5 éprouvettes de chaque référence de zip.

<sup>350</sup> Le nombre de références de zip testées est réduit à trois : les différents adhésifs sur un même type de film plastifié avec le mélange de phtalates et de triphényle phosphate. Cela pour faciliter l'exploitation des résultats, dans la mesure où la nature chimique de l'adhésif est le caractère discriminant.

<sup>351</sup> Vieillissement en enceinte lumière pendant 24 h à 765W et 35°C. Paramètres établis dans le Chapitre 5, II, A, 2 Protocole de vieillissement pour la création d'éprouvette, p.197.

## Méthode de l'expérimentation

### *Méthodes d'application*

Les méthodes d'application sont définies en fonction des résultats de l'expérimentation précédente.

Mise en œuvre 1 (meo1) : la première mise en œuvre est sensiblement la même que précédemment : un coton tige est trempé dans le solvant, déchargé de son excédent sur un buvard, puis appliqué sur le côté adhésif du zip positionné sur un buvard. Le zip est ensuite laissé à sécher à l'air libre.

Mise en œuvre 2 (meo2) : suivant la réalisation des premiers tests, la mise en œuvre est précisée, afin de mieux maintenir le zip et de permettre son séchage en contrainte, le dégagement est réalisé comme la mise en œuvre précédente mais sur table aspirante<sup>352</sup>.

Mise en œuvre 3 (meo3) : dans une optique d'amélioration des résultats obtenus en réduisant encore la durée de contact avec le solvant, après l'application du solvant au coton tige, le solvant et l'adhésif gonflé sont essuyés à l'Evolon<sup>®353</sup>. L'intervention est réalisée sur buvard sur table aspirante, jusqu'à retrait total de l'adhésif.

### *Mélanges de solvants*

#### Prétests de mélanges

Afin de fonctionner de façon systématique et comme point de départ, chaque solvant actif est testé en mélange 50 :50 avec du Shellsol D40 (pour réduire les défauts des solvants actifs).

Mélange 1 : le mélange de l'isopropanol et du Shellsol D40 (50 :50) produit encore un tuilage important. Pour tenter de le réduire, le mélange qui fera l'objet des tests est un mélange Isopropanol / ShellsolD40 (25 :75) appelé mélange 1.

Mélange 2 : le mélange de DEC et de Shellsol D40 (50 :50) a pour objectif de diminuer la volatilité du solvant et donc la gêne qu'il peut entraîner tout en testant si son efficacité n'en est pas diminuée. Des essais préliminaires sont plutôt encourageants : l'efficacité semble inchangée pour les acryliques et vinyliques, et est légèrement meilleure pour les cires mais la gêne olfactive persiste néanmoins.

Mélange 3 : le premier mélange de l'alcool benzylique avec le Shellsol D40 montre une non-miscibilité aux proportions de 50 :50. Un deuxième essai pour le mettre en mélange et ainsi diminuer son action, est entrepris dans du D5 mais dans les mêmes proportions (50 :50), les deux ne se mélangent pas non plus. L'alcool benzylique est miscible dans les autres alcools. Un mélange à part égale avec de l'alcool benzylique, l'isopropanol et du Shellsol D40 est réalisé. Ce mélange induit encore des déformations des films. Les proportions respectives des solvants sont abaissées à 25 :25 :50.

Mélange 4 : lors des tests de mise en œuvre le mélange 3 fonctionne bien mais induit encore quelques déformations. Un dernier essai de modification des proportions avec les mêmes solvants est réalisé. Le mélange 4 est composé d'alcool benzylique, d'isopropanol et de Shellsol D40 aux proportions de 10 : 30 : 60.

---

<sup>352</sup> La table aspirante permet une aspiration sur une surface. Dans le cas du zip, le film n'est pas poreux, il n'est pas possible d'utiliser l'aspiration pour faciliter la pénétration et l'extraction du solvant. En revanche, l'aspiration permet le maintien du film à plat, adhésif vers le haut, le temps du traitement.

<sup>353</sup> Au cours des tests précédents, il a été noté que l'application de l'Evolon<sup>®</sup> en essuyant donnait de bons résultats par rapport à une action en tamponnant.

Mélange 5 : afin de réduire l'action de l'alcool benzylique, la solution est de l'utiliser en mélange. Cela est envisagé avec le D5 qui est un solvant siliconé qui n'a pas d'impact sur les matériaux du zip d'après les tests d'immersion<sup>354</sup>. Comme ces deux solvants ne sont pas miscibles, il est possible d'avoir recours à la fabrication d'une émulsion. Pour se faire, on utilise un émulsifiant siliconé le KSG 350 Z (Shin-Etsu)<sup>355</sup>. Ce produit peut être ajouté aux tests à cette étape car son action est la même que celle du D5, dont l'usage a précédemment été validé par les tests. Cet émulsifiant possède une phase continue stabilisée par du D5 (dans lequel il est soluble). Ce polymère siliconé peut émulsifier des solvants polaires, apolaires et siliconés ensemble. Pour émulsionner les solvants dans le KSG, il est nécessaire de les mixer. Une autre possibilité est de faire passer le mélange dans une seringue : la pression engendrée par la réduction de volume au niveau de l'orifice provoque une diminution physique du solvant et donc permet sa mise en suspension. Pour pouvoir passer dans la seringue, le KSG est d'abord dilué dans du D5 à 50 :50. L'alcool benzylique est ensuite ajouté à hauteur de 30%, il est mélangé avec un batteur pour être incorporé. Un passage du mélange dans une seringue avec une aiguille fine permet de réduire physiquement la taille des particules pour rendre l'émulsion plus homogène. Il faut noter qu'après application de ce mélange sur la surface, celle-ci doit être rincée avec du D5.

Les différentes mises en œuvre ainsi que les mélanges de solvants testés sont synthétisées pour plus de clarté (Tableau 17).

Tableau 17 : Récapitulatif des mises en œuvre et mélanges de solvant pour l'évaluation de l'impact du dégagement d'adhésif sur les films .

Récapitulatif des mises en œuvre	
Mise en œuvre 1 (meo1)	Coton tige sur buvard + séchage libre
Mise en œuvre 2 (meo2)	Coton tige sur buvard sur table aspirante
Mise en œuvre 3 (meo3)	Coton tige + Evolon® sur buvard table aspirante

Récapitulatif des mélanges de solvant	
Mélange 1	Isopropanol/Shellsol D40 (25:75)
Mélange 2	DEC/Shellsol D40 (50:50)
Mélange 3	Isopropanol/Alcool benzylique/Shellsol D40 (25:25:50)
Mélange 4	Shellsol D40/Isopropanol/ Alcool benzylique (60 :30 :10)
Mélange 5	KSG/D5 (50 /50) +Alcool Benzylique 30%

## Suivis

### Documentation photographique

L'impact sur le film reste le principal critère discriminant de l'évaluation, il est documenté par la prise de vue photographique de chaque éprouvette avant et après traitement (après évaporation des solvants).

### Evaluation de la mise en œuvre

L'évaluation de la mise en œuvre est réalisée avec la même échelle de valeur progressive de 1 à 5 que dans l'expérimentation précédente.

<sup>354</sup> Voir Chapitre 6, partie I, B. Sélection de solvants pour le dégagement chimique de l'adhésif d'un film, p.220-235.

<sup>355</sup> Echanges du 6 septembre 2021 avec des collègues spécialisés en nettoyage des couches picturales Alexia Soldano, Laetitia Desvois et Chris Stavroudis.

### *Mesures IRTF-ATR*

Afin de vérifier l'innocuité du traitement sur le film à un niveau moléculaire, des mesures en spectroscopie IRTF-ATR sont réalisées avant et après traitement et séchage de la matière.

## 2. Résultats

Les différentes mises en œuvre et mélanges de solvant permettent d'obtenir un dégagement satisfaisant de l'adhésif.

### **Impact sur le film et ses propriétés : évaluation visuelle**

Toutefois, on observe un impact négatif sur les films comme des phénomènes de déformations, dans la majorité des cas un tuilage qui peut être léger mais également très important, le zip finissant roulé sur lui-même comme une cigarette (Tableau 18). Les phénomènes de tuilage apparaissent avec l'usage de l'isopropanol et semblent accentuées dans les mélanges avec l'alcool benzylique.

Le mélange 1 induit la formation d'un tuilage léger lors de son application en suivant les mise en œuvre 1 et 2. La mise en œuvre 3 offre une bonne planéité des films après intervention.

Le mélange 2 est le plus satisfaisant au regard de son impact sur le film. Les films restent plans après traitement, quel que soit la référence et la mise en œuvre.

Aucune des mises en œuvre ne permet d'obtenir un résultat satisfaisant avec le mélange 3.

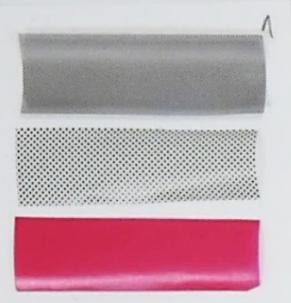
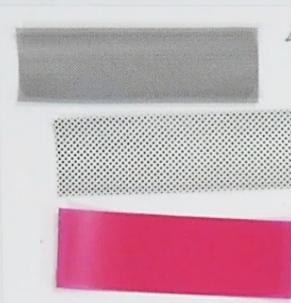
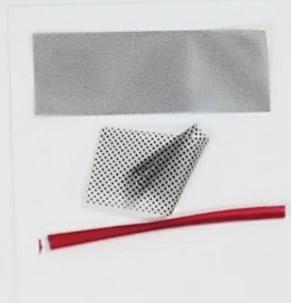
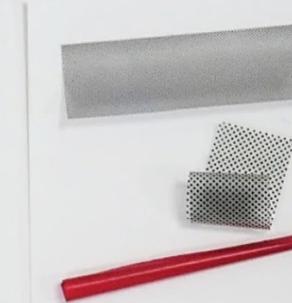
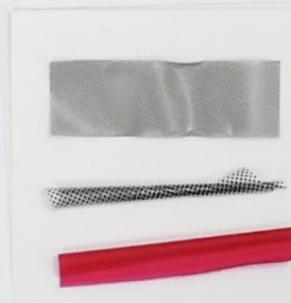
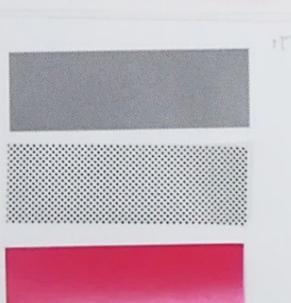
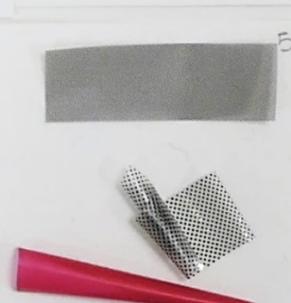
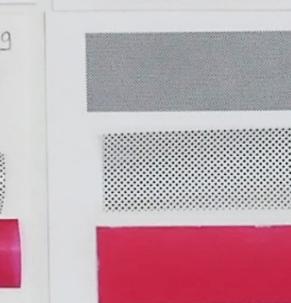
Le changement de mise en œuvre permet d'obtenir un bon résultat avec le mélange 4. En effet, la mise en œuvre 1 n'est pas adéquate, la méthode 3 offre un résultat correct mais pas entièrement satisfaisant comme l'est celui de la mise en œuvre 2.

Enfin avec le mélange 5, la mise en œuvre 1 n'est pas adaptée mais les 2 et 3 sont bonnes.

Les mélanges 3 et 4 ont un impact sur la planéité du film et sont donc éliminés. Ils ne seront donc pas abordés dans la présentation des résultats en suivi analytique et sur l'efficacité du retrait de l'adhésif.

## Chapitre 6 : Protocoles de traitement des phénomènes de soulèvement

Tableau 18 : Présentation des éprouvettes réalisation de l'expérimentation en fonction des mélanges de solvants et des mises en œuvre.

	Mélange 1 Isopropanol/Shellsol D40 (25:75)	Mélange 2 DEC/Shellsoll D40 (50:50)	Mélange 3 Shellsol D40/ Isopropanol/ Alcool benzylique (50:25:25)	Mélange 4 Shellsol D40/ Isopropanol/ Alcool benzylique (60 :30 :10)	Mélange 5 KSG/D5 (50 /50) +Alcool Benzylique 30%
Mise en œuvre 1 coton tige sur buvard + séchage libre					
Mise en œuvre 2 coton tige sur buvard sur table aspi					
Mise en œuvre 3 coton tige+Evolon sur buvard table aspirante					

**Impact sur le film et ses propriétés : suivi analytique**

Au niveau moléculaire, l'évaluation de l'innocuité du traitement sur le film et ses plastifiants se fait par comparaison des rapports des aires de pics. La spectroscopie IRTF en mode ATR ne permettant pas une analyse quantitative à proprement parler, les modifications du matériau mises en évidence par le spectre réalisé en IRTF-ATR aux différentes étapes du traitement peuvent être relevées par la comparaison des rapports des aires de pics caractéristiques à deux moments distincts<sup>356</sup>. Les spectres sont acquis sur les témoins (un par témoin, trois témoins par référence) et l'ensemble de l'échantillon (un par éprouvette, trois éprouvettes par référence pour chaque solvant) après séchage complet après l'immersion. Dans le logiciel d'acquisition et de traitement des spectres, Spectrum de PerkinElmer®, les lignes de base sont corrigées de façon systématique<sup>357</sup>. La sélection de l'aire des pics en vue du calcul du rapport est également systématique<sup>358</sup>. Dans le cadre de cette étude, deux rapports sont étudiés : celui du pic du cycle pyranose, dit le pic « étalon » car c'est le pic le plus stable de la molécule, par rapport au DEP et au TPP (les plastifiants) (Tableau 19).

Tableau 19 : Récapitulatif des pics et des limites d'aire servant pour l'évaluation du traitement sur les plastifiants.

Film avec DEP seul		
Cycle pyranose	Pic à 1030 cm <sup>-1</sup>	Limites d'aire à 1106 et 932 cm <sup>-1</sup>
DEP	Pic à 746 cm <sup>-1</sup>	Limites d'aire à 762 et 733 cm <sup>-1</sup>
Film avec DEP et TPP		
Cycle pyranose	Pic à 1030 cm <sup>-1</sup>	Limites d'aire à 1102 et 982 cm <sup>-1</sup>
DEP	Pic à 954 cm <sup>-1</sup>	Limites d'aire à 982 et 936 cm <sup>-1</sup>
TPP	Pic à 690 cm <sup>-1</sup>	Limites d'aire à 700 et 677 cm <sup>-1</sup>

Le rapport est donc calculé entre un pic intense et stable et un pic de faible intensité et susceptible d'évoluer. L'augmentation du rapport des aires de pics entre le témoin et l'éprouvette traitée révèle une perte de plastifiants, comme c'est le cas dans le graphique exemple (Graphique 36) pour la série 1 représentée en orange. Sa diminution, au contraire, suggère une augmentation de plastifiants, comme c'est le cas dans le graphique exemple (Graphique 36) pour la série 2 représentée en violet. L'analyse IRTF en mode ATR est une analyse de surface, cette diminution du rapport pourrait suggérer une migration des plastifiants à la surface du matériau. Cette hypothèse n'a pas donné lieu à des vérifications plus poussées.

Graphique 36 : Exemple de graphique présentant des rapports d'aires de pics.

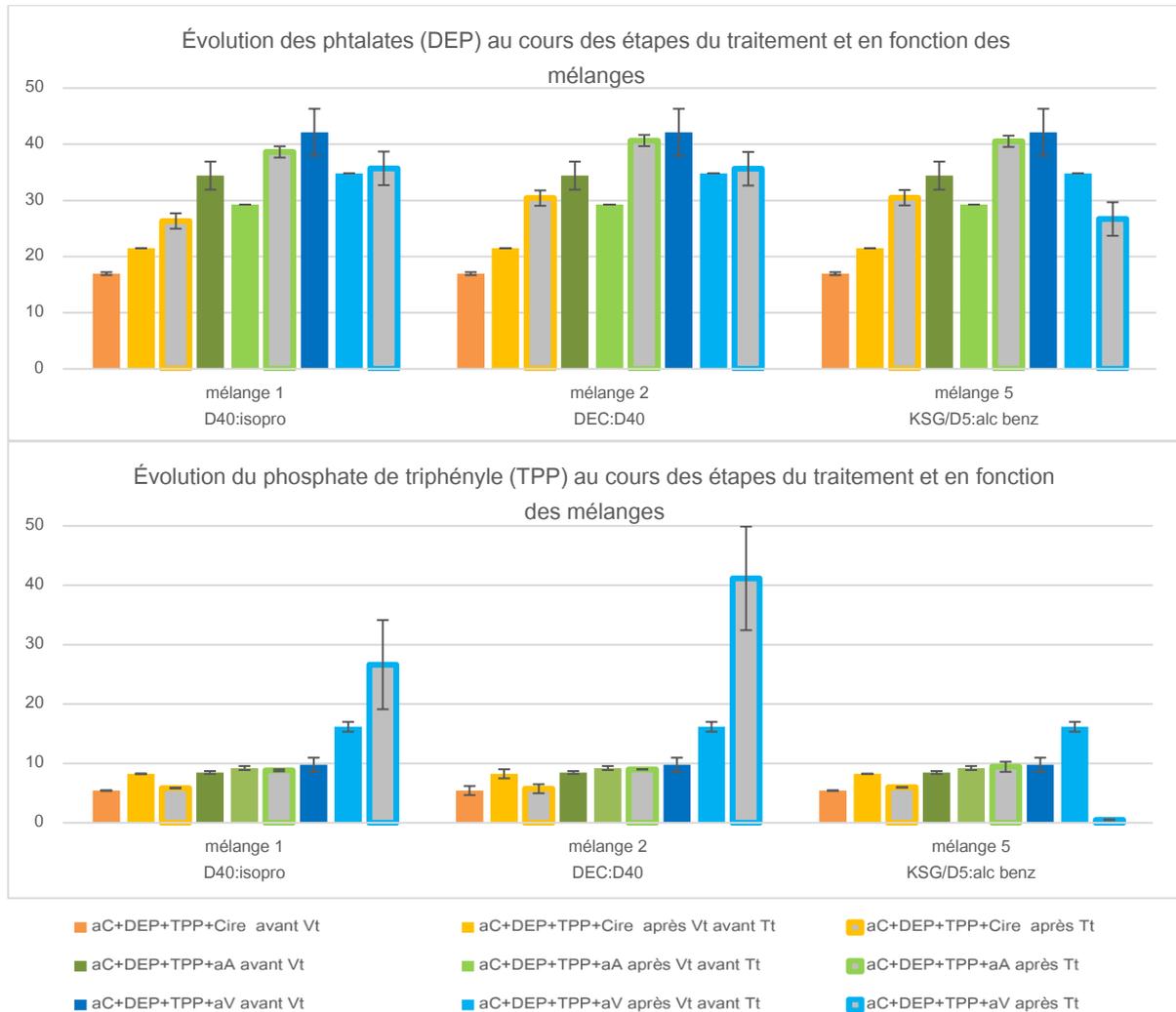
Les résultats du traitement des pics de l'expérimentation présentés dans cette partie, sont ceux des combinaisons mélanges/mises en œuvre présentant les meilleurs résultats visuellement : les mélanges 1, 2 et 5 appliqués avec la mise en œuvre 3 (Graphique 37). Les résultats présentés sont les moyennes des trois

<sup>356</sup> Les changements chimiques liés aux dégradations, peuvent être qualifiés en mesurant le changement d'intensité des pics significatifs, hauteur ou aire, proportionnels à la concentration des composants. SHASHOUA Yvonne, BONDE JOHANSEN Karin, "Investigation of ATR-FTIR spectroscopy as an alternative to the Water-Leach free acidity test for cellulose acetate-based film", dans *Preprint: ICOM-CC 14th Triennial Meeting*, La Haye, 2005, p. 548-555.

<sup>357</sup> La ligne de base est corrigée en trois points : 3960 cm<sup>-1</sup>, 2176 cm<sup>-1</sup> et 1830 cm<sup>-1</sup>.

<sup>358</sup> Après des tests préliminaires pour choisir les bornes de chaque pic : l'aire du pic du cycle pyranose à 1030 cm<sup>-1</sup> est calculée entre 1106 et 932 cm<sup>-1</sup> pour les films avec du DEP et 1102 et 982 cm<sup>-1</sup> pour les films avec du DEP et du TPP ; l'aire du pic du DEP à 746 cm<sup>-1</sup> est calculée entre 762 et 733 cm<sup>-1</sup> pour les films avec le DEP seul ; les aires des pics de plastifiants sont calculées entre 982 et 936 cm<sup>-1</sup> pour le DEP, pic à 954 cm<sup>-1</sup>, et 700 et 677 cm<sup>-1</sup> pour le TPP, pic à 690 cm<sup>-1</sup>.

témoins et des trois éprouvettes traitées. Les autres résultats n'ayant pas été jugés satisfaisants, ils ne font pas l'objet du traitement des spectres.



Graphique 37 : Rapports d'aires de pics pour évaluer l'impact des traitements avec les mélanges de solvant 1, 2 et 5 sur les phtalates, en haut, et sur le phosphate de triphényle, en bas, pour les trois références de zip testées.

**Cire** : les plastifiants du film de la référence de zip avec un adhésif à base de cire, se comportent de la même façon avec les trois mélanges de solvant (Graphique 37) : ils contribuent à une perte de phtalates. En revanche, il n'y a pas de tendance franche pour le comportement du phosphate de triphényle. On peut noter que cette perte est de l'ordre de celle observée à la suite du vieillissement. La perte de DEP est toutefois moindre avec le mélange 1 qu'avec les deux autres.

**Acrylique** : les tendances pour les plastifiants des films couvert d'un adhésif à base d'acrylique ne sont pas franches mais les comportements semblent identiques d'un solvant à l'autre (Graphique 37). Il semble que le vieillissement en amont des tests induisent une augmentation du DEP, probablement liée à une migration à la surface et que les trois mélanges de solvant contribuent à une perte de phtalates à l'issue du traitement, probablement liée au retrait des plastifiants ayant migré à la surface lors du vieillissement. On n'observe pas de changement pour le phosphate de triphényle, ni après vieillissement ni à l'issue du traitement.

**Vinylique** : le comportement des plastifiants du film avec un adhésif à base de vinylique est différent de celui des autres références de zip et varie en fonction des solvants (Graphique 37). Le vieillissement semble contribuer à la migration du DEP en surface et à une perte du TPP. Il n'est pas possible de parler de changement pour le DEP pour les mélanges 1 et 2. En revanche, le mélange 3 contribue à son augmentation. Pour le TPP,

le mélange 1 ne présente pas de changement tandis que le mélange 2 induit une perte du plastifiant et le mélange 3 une augmentation du plastifiant à la surface du matériau analysé.

**Limites :** l'exploitation des résultats montre une modification au niveau des plastifiants après un vieillissement artificiel, un traitement à base de solvant et un deuxième vieillissement artificiel. Toutes les opérations, les vieillissements artificiels et les traitements induisent des pertes de plastifiants. Il n'est pas possible de discriminer l'impact des solvants, du deuxième vieillissement ou des deux combinés quant à la modification des plastifiants.

### Efficacité du dégagement de l'adhésif

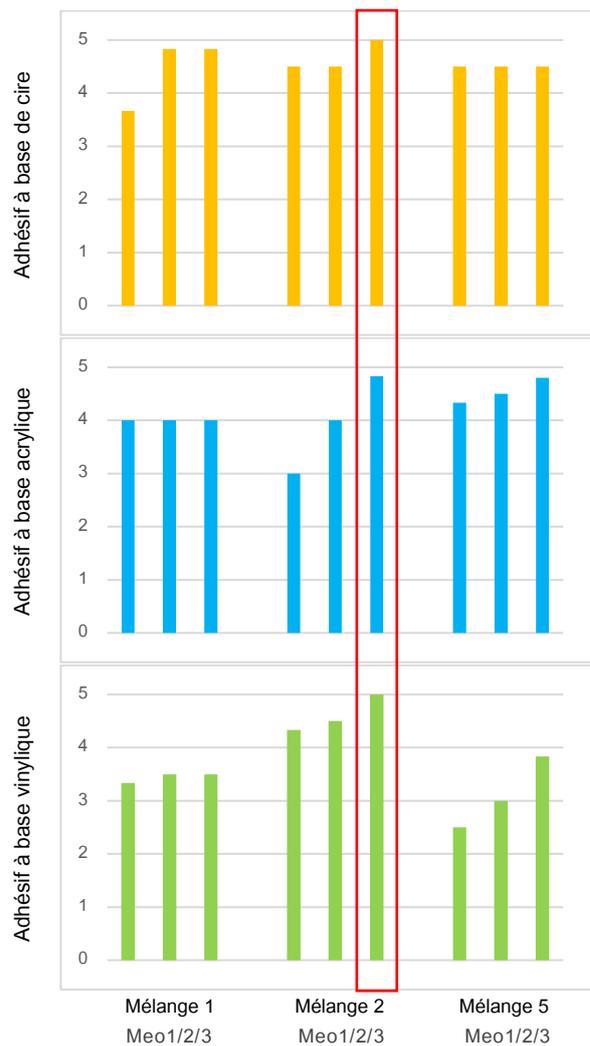
Les mises en œuvre et les mélanges de solvants sélectionnés pour leur innocuité sur le film présentent un dégagement de l'adhésif efficient, sur les trois différents types d'adhésif.

Les paramètres de l'échelle d'évaluation pris en compte pour la quantification de ce dégagement sont les points liés au retrait et les points liés au temps nécessaire pour effectuer ce retrait<sup>359</sup>. Les résultats sont présentés par type d'adhésif (Graphique 38).

**Cire :** les différents mélanges de solvant ont une très bonne action sur l'adhésif à base de cire (les notes sont au-dessus de 4,5 à part la mise en œuvre 1 avec le mélange 1).

**Acrylique :** le dégagement de l'adhésif est moins aisé que celui de l'adhésif à base de cire de façon générale (les notations se concentrent autour de 4).

**Vinylique :** les résultats de dégagement de l'adhésif à base vinylique sont plutôt hétérogènes (les notations varient d'un résultat moyen pour le mélange 5 à un bon résultat pour le mélange 2).



Graphique 38 : Résultats de la notation du critère « efficacité du retrait de l'adhésif » en fonction des mélanges de solvants et des mises en œuvre pour les trois familles d'adhésif. L'encadré rouge met en évidence les meilleurs résultats de cette expérimentation.

La présentation des résultats par mélange met en lumière les différences de comportement d'un adhésif à l'autre.

<sup>359</sup> ANNEXE 10, p. 379-381, Tableau des résultats bruts de notation des tests d'impact du traitement de retrait de l'adhésif.

Le mélange 1 (isopropanol/Shellsol D40 25 :75) montre de bons résultats sur le dégagement de la cire, dès lors qu'il est utilisé avec un coton tige sur table aspirante (meo2) ou qu'il est en plus essuyé avec de l'Evolon (meo3). Pour les deux autres adhésifs, la variation des mises en œuvre ne montre que peu de modifications dans le recours à ce mélange.

Le dégagement avec le mélange 2 (DEC/Shellsol D40 50:50) est nettement amélioré en fonction des mises en œuvre. L'application du mélange avec un coton tige sur table aspirante et le fait d'essuyer l'adhésif gonflé et l'excédent de solvant (meo3) permet d'obtenir les meilleurs résultats pour les 3 types d'adhésif.

Le dernier mélange, le 5 (KSG/D5 50:50 +Alcool Benzylque 30%), est satisfaisant pour le dégagement des adhésifs à base de cire et d'acrylique mais les résultats sur l'adhésif à base vinylique sont moyens, bien qu'ils s'améliorent avec les différentes mises en œuvre.

La précision des méthodes de mise en œuvre, de la 1 à la 3, montre une amélioration de l'efficacité du dégagement de l'adhésif pour la majorité des mélanges, jusqu'à 1,8 points d'augmentation pour le mélange 2 sur l'adhésif à base acrylique, et une stagnation pour les trois autres (mélanges 4 et 5 pour l'adhésif à base de cire et mélange 1 pour l'adhésif à base acrylique). Aucune diminution des notations n'est observée. La mise en œuvre 3 montre les meilleurs résultats et tout particulièrement en combinaison avec le mélange 2 (DEC/Shellsol D40 50:50).

Comme mis en avant sur les graphiques par l'encadré rouge, la meilleure combinaison de mises en œuvre et de mélange de solvant pour les trois types d'adhésif est le mélanges 2 (DEC/Shellsol D40 50 :50) appliqués selon la mise en œuvre 3, solvant appliqué au coton tige imbibé, solvant et adhésif gonflé essuyés à l'Evolon® sur buvard et table aspirante.

### Conclusion

L'expérimentation permet de retenir une mise en œuvre et trois mélanges de solvants. Ces méthodes de dégagement de l'adhésif efficaces et n'entraînant pas de modification de l'encre ni de perte de planéité ou de structure mécanique des films. Les trois méthodes retenues sont :

Application au coton tige imbibé de solvant, retrait du solvant et de l'adhésif gonflé à l'Evolon® sur buvard, sur table aspirante.

Mélange isopropanol/Shellsol D40 (25 :75)

Mélange DEC/Shellsol D40 (50 :50)

Mélange KSG/D5 (50 /50) + alcool benzylique à 30%

Ces combinaisons ont des efficacités différentes suivant les types d'adhésifs et offrent différentes qualités permettant de s'adapter au mieux à différents cas de figure. Leur efficacité n'est pas garantie mais leur impact sur les films et l'encre dans les conditions de mise en œuvre permettent une action sur les films sans danger.

Ces méthodes montrent cependant des changements au niveau des plastifiants du film plastique : une baisse des plastifiants expliquée par leur solubilisation ou une augmentation des plastifiants mesurées qui peut se comprendre par leur migration à la surface (aucun aspect poisseux ou dépôt n'a par ailleurs été observé sur les films). Cependant, ces modifications ne sont pas quantifiées. Des recherches en ce sens pourraient permettre d'affiner ces résultats.

### **Conclusion générale de la partie consacrée au retrait de l'adhésif d'origine**

Le protocole des tests de retrait de l'adhésif du film du zip nécessite de nombreuses étapes. En effet, il est primordial séquencer les tests afin de bien pouvoir isoler et évaluer chaque critère de suivi. Ainsi, les tests de solubilité par immersion du zip permettent de réduire les huit solvants de départ à cinq solvants (3 actifs et 2 de mise en œuvre). Les tests de mises en œuvre ont permis de définir un type d'application parmi trois évalués, et ce, pour les trois solvants actifs. Enfin, la comparaison de méthodes d'application précisées à partir de la mise en œuvre sélectionnée, affine les modalités de l'intervention. L'évaluation de mélanges de solvants (avec un ou deux solvants actifs et un solvant de mise en œuvre) améliore, quant à elle, les résultats déjà très bons des solvants seuls sur le retrait de l'adhésif, en les adaptant au mieux aux sensibilités aux solvants des films.

Les mélanges de solvants et la méthode d'application sélectionnés offrent de bons résultats de retrait, sans impact sur l'encre ou le film des zips. Cependant, à un niveau moléculaire, il est possible de voir des changements en ce qui concerne les plastifiants. Ces changements sont mis en évidence mais la méthode d'évaluation utilisée ne permet pas de les quantifier. Il serait intéressant d'engager des études plus poussées pour connaître les quantités impliquées dans ces changements afin de savoir si elles sont significatives ou au contraire minimales. En effet, les plastiques perdent leurs plastifiants au cours de leur vie, par eux-mêmes. Il faudrait donc savoir à quel seuil cette perte est dommageable. De même, il serait pertinent de savoir quelle perte est acceptable au regard du gain que le traitement entrepris confère à l'état de dégradation des dessins avec des zips soulevés.

#### **Résultats :**

##### **Mélanges pour retirer l'adhésif sans dommage sur l'encre et le film :**

- le mélange isopropanol/Shellisol D40 (25 :75)
- le mélange de carbonate de diéthyle/Shellisol D40 (50 :50)
- le mélange KSG/D5 (50:50) + alcool benzylique à 30%

##### **Méthode d'application sélectionnée pour des résultats optimaux :**

- sur un buvard et sur table aspirante, application sur l'adhésif avec un coton tige imbibé de solvant, et retrait du solvant et de l'adhésif gonflé à l'Evolon®.

## II. Application d'un nouvel adhésif

Les résultats satisfaisants obtenus lors du protocole de retrait de l'adhésif permettent de poursuivre les investigations. Il est mentionné précédemment que le retrait de l'adhésif d'origine en amont de l'application d'un nouvel adhésif n'est pas toujours envisageable. En effet, lorsque l'impression est entre le film et l'adhésif, elle a tendance à s'amalgamer avec ce dernier et le retrait de celui-ci signifie le retrait du motif ou de la couleur. La recherche d'un nouvel adhésif se propose donc d'investiguer les deux cas de figure : sélectionner un adhésif de restauration pour une surface nettoyée de l'adhésif d'origine et pour une surface encore couverte de l'adhésif d'origine (Figure 187, encadrement rouge foncé).

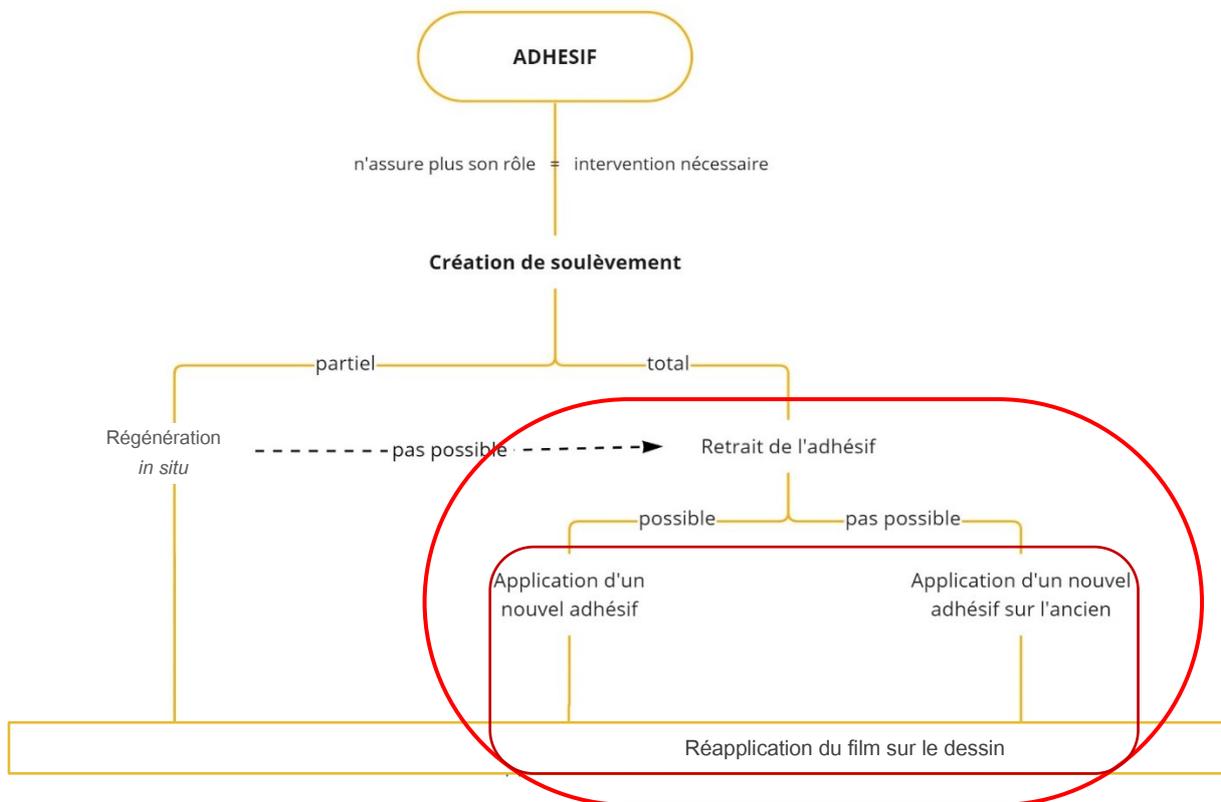


Figure 187 : Diagramme des étapes successives pouvant être rencontrées dans le contexte de traitement de soulèvements.

Par ailleurs, la mise en œuvre d'un adhésif doit être compatible avec les caractéristiques du film de zip et du papier de support. La majorité des zips sont collés sur des calques. Or, ce papier est particulièrement sensible à l'apport d'humidité, celui-ci est donc à limiter au maximum. Cette contrainte favorise donc une mise en œuvre en deux temps, application d'un film humide d'adhésif et sa réactivation avec un apport de chaleur ou le recours aux solvants. Ainsi, la mise en perspective de la littérature est orientée vers la repose de matériaux transparents et souples et des adhésifs repositionnables. Les tests seront dévolus à la recherche d'un adhésif et de sa mise en œuvre adaptée aux différentes exigences du zip et de la conservation dans le cas où l'adhésif d'origine peut être nettoyé et dans celui où il est conservé.

## A. État de l'art

### 1. Sélection d'un adhésif approprié

#### Adhésifs réactivables

La réactivation des adhésifs de restauration mis en œuvre se retrouve dans différents domaines de la restauration. Dans ce contexte, l'adhésif liquide est moulé pour faire un feuillet, employé par la suite par réactivation au moyen de chaleur, de solvant ou de vapeurs de solvants<sup>360</sup>.

Dans les spécialités textile, arts graphiques et photographie, les adhésifs les plus cités dans la littérature pour la réactivation à chaud sont les Lascaux® 360 HV, remplacée par la 303 HV depuis 2012<sup>361</sup>, et la 498 HV et le Plextol B500<sup>362</sup>. En restauration textile, les Lascaux® sont utilisées afin d'éviter un apport d'eau et ainsi la création d'auréole, comme pour le cuir<sup>363</sup>, et de consolider sans couture, dans le cadre d'intervention sur de la soie très altérée. Dans plus de la moitié des traitements, dès lors qu'il y a recours à un adhésif, la réactivation d'adhésif est utilisée, préférentiellement par apport de chaleur<sup>364</sup>. En restauration d'arts graphiques et de photographies, elles sont privilégiées lorsqu'un apport d'eau ou de solvant est déconseillé et sont utilisées à chaud<sup>365,366</sup>. Elles peuvent être utilisées pures ou en mélange comme dans l'étude de Constance Duval où un mélange de Lascaux® 303 HV/498 HV (2 : 1)<sup>367</sup> est utilisé pour le repositionnement de rubans adhésifs déposés. La possibilité de réaliser un film de Lascaux® permet sa mise en œuvre pour la préservation des rubans adhésifs d'origine avec un adhésif de conservation.

Dans son étude, Hannelore Mattheus teste différents adhésifs réactivables (Paraloïd F-10, Klucel™ G, Lascaux® 360 HV, Jade 403, Jade R, Plextol D498, Pritt, Gudy 871, 3M#924, Beva® 371, 3M#850) afin de repositionner des rubans adhésifs. Cependant, en conclusion, les rubans sont repositionnés dans un cas avec de l'amidon de blé et dans l'autre cas, ils sont remplacés par un ruban de conservation composés d'un film de Lascaux® 360 HV sur un support en Mylar®<sup>368</sup>. Il est intéressant de relever que la Beva® 371 incluse dans cette étude, est l'adhésif de prédilection pour la restauration de peinture pour éviter l'apport d'humidité<sup>369</sup>.

Les Lascaux® peuvent être réactivées à l'aide de solvants acétone ou un mélange d'éthanol et de méthanol commercialisé en Grande-Bretagne sous le nom IMS<sup>370</sup>. L'adhésif le plus couramment utilisé avec réactivation aux alcools, éthanol ou isopropanol pour les plus courants, est la Klucel™ G<sup>371</sup>. Il s'agit d'un dérivé cellulosique, hydroxypropyle cellulose, présentant une bonne affinité avec les fibres du papier, ou celles du textile.

<sup>360</sup> DOWN J., 2015, *op. cit.*

<sup>361</sup> *Ibid.*

<sup>362</sup> DOWN Jane, MACDONALD Maureen, TETREAUULT Jean et al., "Adhesive Testing at the Canadian Conservation Institute – An Evaluation of Selected Poly(vinyl acetate) and Acrylic Adhesives", dans *Studies in Conservation*, vol. 41, n°1, 1996, p.19-43.

DOWN Jane, GUILD Sherry, HILL Greg, et al., « Evaluation of Selected Adhesive Tapes and Heat-set Tissues – A Final Update », dans *Journal of Canadian Association for Conservation*, vol 38, Ottawa : Canadian Association for Conservation of Cultural Property, 2013, p.14-25.

<sup>363</sup> MARTY Célia, « *Les milles et un Gorytes* ». *Etude et conservation-restauration d'un étui à arc du Moyen-Orient (milieu du XVIe-XVIIe siècle ?*, Paris, Musée de l'Armée). *Recherche d'un adhésif compatible avec la colle ancienne, la soie et le cuir*, mémoire, Paris : Institut national du patrimoine, 2021, 296 p.

<sup>364</sup> MEDINA Célia, ROGERSON Cordelia, CAMPELO Johanna, « Solvent reactivation of adhesives in textile conservation: survey and comparison with heat reactivation », dans *Conservar Patrimonio*, vol. 3-4, 2006, p. 25-38.

<sup>365</sup> CINQUALBRE M., 2012, *op. cit.*

<sup>366</sup> DUVAL C., 2015, *op. cit.*

<sup>367</sup> *Ibid.*

<sup>368</sup> MATTHEUS H., 2008, *op. cit.*

<sup>369</sup> BERGER Gustav B., « Heat-seal Lining of Torn Painting with Beva® 371 », dans *Studies in Conservation*, vol 20, n°3, 1975, p. 126-151.

<sup>370</sup> MEDINA C., et al., 2006, *op. cit.*

<sup>371</sup> GILL Kathryn, BOERSMA Foekje, « Solvent reactivation of hydroxypropyl cellulose (Klucel G) in textile conservation: recent developments », dans *The Conservator*, n°21, 1997, p.12-20.

### Comparaison entre la réactivation à la chaleur et la réactivation aux solvants

La question qui revient fréquemment est celle concernant la méthode de réactivation. Les deux méthodes présentent des avantages et des inconvénients. La réactivation à chaud est souvent décrite comme plus efficace mais présentant l'inconvénient d'appliquer une pression sur l'objet<sup>372</sup>. Il semble cependant, que pour garantir le collage une pression est également nécessaire pour la mise en œuvre de réactivation avec les solvants<sup>373</sup>. Le mélange d'adhésif utilisé pour les essais de réactivation dans l'étude de Irene Karsten et Jane Down est un mélange Lascaux® 360 HV/498 HV (1 :2) pour encoller de la soie. Les mises en œuvre de réactivation par chaleur et solvant sont réalisées sur des échantillons similaires avec le même adhésif. Les paramètres étudiés sont : le temps de réactivation et le poids appliqué, pour les deux méthodes ; la température pour la réactivation à la chaleur ; la mise en œuvre des solvants sous forme de vapeurs. Les résultats de l'étude montrent que les deux méthodes peuvent être modulées pour obtenir les mêmes propriétés d'adhésion. La réactivation aux solvants est aussi efficace que celle à la chaleur, suivant un temps de réactivation et un poids suffisant.

### Adhésif pour repositionner des films de zip

Comme cela a déjà été évoqué, Marie Poisbelaud<sup>374</sup> a réalisé des expérimentations sur le zip dans le cadre d'une recherche sur les planches de bandes dessinées. Dans son rapport de recherche, elle décrit le système d'adhésif développé pour repositionner les zips après le retrait de leur adhésif original et permettant un démontage aisé. Les adhésifs étudiés sont les Lascaux® 360 HV<sup>375</sup>, 303 HV, 498 HV et l'Aquazol® 500 pour l'adhésion du zip, la Tylose® MH300P et la Culminal MC2000 pour l'enduction préalable du papier. Ceux sélectionnés pour les tests de mise en œuvre sur éprouvettes (papier et film de triacétate de cellulose) sont l'Aquazol® 500 pur ou en mélange avec la Lascaux® 303 HV appliqué liquide, avec un papier préalablement encollé à la Tylose® MH300P à 4%. Selon cette étude, la Lascaux® semble apporter le pouvoir adhésif et l'Aquazol® 500 le modérer. Les résultats des tests de pelage montrent que l'adhésion ne peut pas être rompue à température ambiante. A 40°C et 60°C, il est possible de démonter les systèmes recollés avec les mélanges de 1 à 8% de Lascaux®. Au-delà, l'adhésion reste forte et entraîne l'arrachage du papier quelle que soit la température. Ces résultats ne sont pas transposables à une mise en œuvre avec des trames de zip anciennes car le collage n'est pas satisfaisant probablement en raison d'une inadéquation entre l'adhésif et le film. L'adhésif testé est alors un mélange d'Aquazol® 500 à 30% dans l'eau (75% massique) et de Lascaux® 303 HV à 20% dans l'eau (25% massique) sur 4 types de papier de mise en œuvre, avec trois types de préparation (sans enduction préalable, avec une enduction de Tylose® MH300P à 4%, avec une enduction préalable de Culminal MC2000 à 3%) et avec 12 types de film plastique<sup>376</sup> (1 triacétate de cellulose de référence, 3 films de la marque Mécanorma, 6 films de la marque Letraset® et 2 films de la marque Alfac-tone). Les conclusions de cette étude s'orientent vers un mélange d'Aquazol® 500 et de Lascaux® 303 HV (75 : 25%) précédé d'une sous couche d'accroche de Tylose® MH300P à 4% pour les papiers non couchés. Cependant l'étude décrit les résultats de l'expérimentation comme non répétables.

<sup>372</sup> GILL K., BOERSMA F., 1997, *op. cit.*

<sup>373</sup> KARSTEN Irene, DOWN Jane, « The effect of adhesive concentration reactivation time, and pressure on the peel strength of heat and solvent reactivated Lascaux 360/498 HV bonds », dans VERGER Isabelle (dir.), *ICOM-CC 14th Triennial Meeting preprint*, The Hague 12-16 sept 2005, vol 2, 2005, Londres: James and James/Earthscan, p. 927-943.

<sup>374</sup> POISBELAUD M., COUVERCELLE J.-P., 2018, *op. cit.*

<sup>375</sup> La Lascaux® 303 HV n'est plus commercialisée, elle a été remplacée par la 303 HV. L'étude de Marie Poisbelaud a été menée au moment de la transition et permet de confirmer que le produit n'est pas exactement le même bien que la « teneur massique en acrylique [soit] la même ».

<sup>376</sup> Leur composition chimique a fait l'objet d'analyses : les films sont en acétate de cellulose et les adhésifs sont des acétates de polyvinyle et des acrylates de polyéthyle.

## 2. Méthodes de repose

Les trois méthodes de repose trouvées dans la littérature sont l'encollage direct et la mise en contact des deux éléments à coller, l'encollage d'un des éléments et la réactivation de la colle avant la mise en pression des deux éléments, et enfin, l'encollage d'un intermédiaire d'un côté ou des deux, avant encollages des deux éléments.

### Application de l'adhésif liquide

Dans son étude, Marie Poisbelaud décrit de façon très précise sa méthode de repose en deux temps<sup>377</sup>. Dans un premier temps, les papiers non couchés sont pré-encollés d'une sous couche de Tylose<sup>®</sup> MH300P, laissée à sécher à l'air libre. Une fois sèche, il faut procéder à la mise à plat du papier déformé par cette étape avant de pouvoir procéder à la suite. Le collage du zip sur le papier est réalisé avec l'adhésif encore humide. La zone à réencoller est reportée sur Mylar<sup>®</sup> et un pochoir découpé à sa forme. Le papier et le pochoir sont positionnés sur une table aspirante afin de ne pas risquer de décalage pendant la mise en œuvre. La suite des opérations est décrite comme telle :

« La colle est apposée en déplaçant une barre lisse qui étire la masse adhésive déposée à l'avant du pochoir. Dès que le pochoir est retiré, la trame est positionnée à l'endroit voulu sur le film de colle toujours humide, puis appliquée en s'aidant d'une spatule en téflon. L'opération est délicate, la pression ne doit pas être trop forte pour éviter tout déplacement d'adhésif hors de la trame. L'ensemble est mis à sécher sous presse entre buvard et feutre de laine une semaine »<sup>378</sup>.

### Repose par réactivation

Durant son mémoire de fin d'étude, Constance Duval a utilisé deux méthodes<sup>379</sup>. La première méthode permet d'insérer l'adhésif entre deux épaisseurs de film détachées. Pour cela, elle réalise un film d'adhésif en étirant avec une baguette en verre le mélange Lascaux<sup>®</sup> 303 HV/498 HV (2 :1) sur un film de Mylar<sup>®</sup> non siliconé. Le film est laissé à sécher pendant 3 semaines afin de s'assurer qu'il n'y a plus d'émission de COV. Le Mylar<sup>®</sup> est alors découpé pour insérer l'adhésif entre les deux épaisseurs avant de le réactiver à 65°C avec une spatule chauffante à travers un Bondina<sup>®380</sup>. Une fois l'adhésif réactivé pour adhérer au film, elle retire le support en Mylar<sup>®</sup> et réactive à nouveau l'adhésif pour coller les deux épaisseurs entre elles. La seconde méthode est le réencollage des rubans adhésifs préalablement nettoyés de leur adhésif. Ils sont encollés avec le même mélange d'adhésif que précédemment, appliqué avec un pinceau en silicone. L'adhésif est laissé à sécher pendant 3 semaines puis le ruban repositionné et réactivé à la spatule chauffante à 65°C à travers un Bondina<sup>®</sup>. La repose par réactivation peut également être mise en œuvre avec de la Beva<sup>®</sup> 371 en film<sup>381</sup> (Figure 188). La mise en œuvre est similaire, l'âme à réencoller est positionnée sur le film d'adhésif, l'adhésion réactivée à chaud à travers un Mylar<sup>®</sup> siliconé et l'excédent d'adhésif gratté autour du fragment de ruban.

<sup>377</sup> POISBELAUD M., COUVERCELLE J.-P., 2018, *op. cit.*

<sup>378</sup> *Ibid.*

<sup>379</sup> DUVAL C., 2015, *op. cit.*

<sup>380</sup> Le Bondina<sup>®</sup> est un tissé de polyester très lisse et fin utilisé comme intermédiaire lors de collage pour son caractère non adhésif ou comme interface pour le conditionnement.

<sup>381</sup> CINQUALBRE M., 2012, *op. cit.*



Figure 188 : Détails d'encollage d'un ruban adhésif déposé et nettoyé avec un film de Beva® 371 Film.

### Repose avec un intermédiaire

Afin de repositionner les rubans adhésifs jouant le rôle de couture sur des robes de Paco Rabane en ouate de cellulose, Elodie Remazeilles a pris le parti de garder les rubans adhésifs comme marqueurs de la mise en œuvre mais sans leur rendre leur caractère fonctionnel<sup>382</sup>. Ainsi, la zone de jonction des bords de la robe est maintenue avec un papier Japico et de la colle d'amidon de blé et le ruban est doublé de la même façon avant d'être repositionné à sa place d'origine. Ce type d'intervention est envisageable dans cette étude car le caractère transparent des rubans adhésifs n'y est pas primordial par rapport à leur mise en œuvre.

### 3. Application d'un nouvel adhésif sur l'ancien

Nous avons trouvé deux sources dans lesquelles la recherche d'un nouvel adhésif est conditionnée par la conservation de l'original en place. Dans la mesure où l'adhésif d'origine est un mélange de colle de peau de lapin et d'amidon, l'étude de Célia Marty est peu représentative des matériaux du zip. En revanche, l'étude de cas présentée dans le Journal of American Institute for Conservation par Ann Baldwin présente des parallèles intéressants<sup>383</sup>. *Drawing on Canvas for Vera* est une œuvre de Robert Rauschenberg réalisée en 1966. Un des fragments de journal est maintenu par des rubans adhésifs couvrant toute sa surface et dépassant pour le maintenir sur la toile. L'élément était en train de se décoller sous l'effet d'une importante déformation et de la perte d'adhésion de l'adhésif. L'ensemble a été déposé temporairement pour sa mise à plat puis remonté sans retirer l'ancien adhésif. En effet, à la suite d'un entretien avec l'artiste, celui-ci n'avait exprimé de réserve que sur l'état d'adhésion, et se disait non affecté par la coloration de l'adhésif, plaisantant sur le fait qu'il aimait bien la couleur. Les zones d'adhésif ont été réencollées par réactivation à chaud de Beva® 371 Film, prédécoupé exactement au format de la zone à encoller. L'adhésif de restauration est à nouveau réactivé à chaud, une fois l'élément remis à sa place sur l'œuvre.

### 4. Conclusions de l'état de l'art et perspectives de recherche

La repose de ruban adhésif n'est pas fréquente mais les défis qu'elle soulève lui valent d'apparaître régulièrement dans les publications. La possibilité d'avoir recours à des adhésifs réactivables à chaud et aux solvants est une aide précieuse quand les adhésifs aqueux sont à éviter. Par ailleurs les méthodes de repose décrites peuvent être adaptées pour d'autres adhésifs que ceux testés et aux différents cas de figure rencontrés.

<sup>382</sup> REMAZEILLES E., 2010, *op. cit.*

<sup>383</sup> BALDWIN Ann, « The Wayward Paper Object: Artist's Intent Technical Analysis, and Treatment of a 1966 Robert Rauschenberg Diptych, dans *Journal of American Institute for Conservation*, vol 38, 1999, p. 411-428.

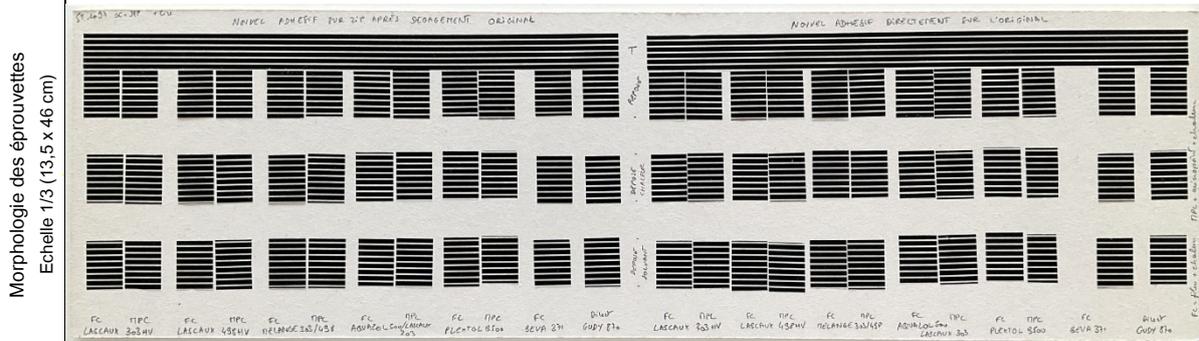
**B. Mise en œuvre d'un nouvel adhésif**

Pour rappel, le cahier des charges du nouvel adhésif à sélectionner pour la repose des zips doit répondre à des critères visuels (transparent et incolore), physiques (souplesse, finesse), de neutralité chimique (neutre, pas d'émission de composés organiques volatiles, COV), de stabilité dans le temps (vieillessement en adéquation avec les matériaux périphériques, pas de modification des caractéristiques visuelles), et de dérestauration. La mise en œuvre, quant à elle, doit prendre en compte les fragilités des matériaux acétate de cellulose et calque à la chaleur et à l'humidité.

Tableau 20 : Présentation du plan d'expérience pour la mise en œuvre d'un nouvel adhésif.

<b>OBJECTIF</b>	<b>L'objectif de ces expérimentations est de définir l'adhésif et la méthode d'application les plus adaptés au zip qu'il soit collé sur un papier opaque ou transparent.</b>
-----------------	--

	Réalisation des éprouvettes		Matériel des éprouvettes	Nombres d'éprouvettes
	Nouvel adhésif sur film nettoyé	Nouvel adhésif sur adhésif original		
<b>ÉPROUVETTES</b>	Découpe du zip au scalpel	Découpe du zip au scalpel	aC+DEP+cire (ST 1097, motif lignes épaisses)	Pour chacune des 3 références de zip : 2 éprouvettes, 1 sur calque et 1 sur carton  Soit 6 éprouvettes  Par éprouvette : 2 parties : adhésif d'origine nettoyé ou non (1 témoin pour chaque) 3 éléments par combinaisons adhésif/méthode (12)
	Nettoyage de l'adhésif avec un mélange DEC/Shellsol D40 50 :50	Encollage avec les différents adhésifs et méthodes	aC+DEP+ acrylique (N2S.5632 F1 couleur magenta)	
	Encollage avec les différents adhésifs et méthodes		aC+DEP+vinyle (LT 1 motif points)	



<b>EXPERIENCE</b>	Adhésifs sélectionnés					
	Lascaux® 303 HV	Lascaux® 498 HV	Lascaux® 303 HV et Lascaux® 498 HV (2 :1)	Aquazol® 500 (30% dans l'eau) et Lascaux® 303 HV (3 :1)	Plextol B500	Beva® 371 Film
	<b>Méthodes d'application</b>					
	FC	MPC	HC	HMPC	C	D
	Film d'adhésif réalisé par étirement et réactivé à chaud	Film d'adhésif réalisé à travers une crêpeline de soie et réactivé à chaud	Adhésif appliqué directement sur le zip au pinceau et réactivé à chaud	Film d'adhésif réalisé à travers une crêpeline de soie directement sur le zip et réactivé à chaud	Film réactivé à chaud	Application de l'adhésif par contact direct
<b>Méthodes de suivi</b>						
Prise de vue d'ensemble avant et après expérience						
Tableau d'évaluation						

Pour rappel : aC+DEP signifie un film d'acétate de cellulose plastifié avec des phtalates.

aC+DEP+TPP signifie un film d'acétate de cellulose plastifié avec des phtalates et du triphényle phosphate.

## Objectif du test

L'objectif de ces expérimentations est de définir l'adhésif et la méthode d'application les plus adaptés au recollage des zips qu'ils soient collés sur un papier opaque ou transparent. Les critères retenus pour le choix de l'adhésif seront la bonne adhésion, l'adéquation avec le support et avec le film du zip et l'aspect visuel, notamment la saturation et l'aspect en transparence.

### 1. Sélection des adhésifs à tester

Les adhésifs sélectionnés pour l'étude sont choisis à partir de la littérature et de notre expérience professionnelle, parmi ceux semblant les plus adaptés au zip et au contexte des dessins d'architecture (Figure 189). Les caractéristiques des différents adhésifs sont issues des études de Jane Down<sup>384</sup> et des fiches techniques des fabricants<sup>385</sup>.



Figure 189 : Aspect des adhésifs sélectionnés.

### Lascaux® 303 HV, Lascaux®

La Lascaux® 303 HV se présente sous forme d'émulsion épaissie avec une consistance de crème. Cet adhésif est blanc opaque sous forme liquide et devient transparent en séchant. Il garde un aspect pégueux à température ambiante et il est réactivable à chaud dès 50°C. Il est constitué d'un copolymère de 2-ethylhexylacrylate (EHA) et d'acrylate d'éthyle (EA)<sup>386</sup>. Le produit est mis sur le marché en 2012 pour remplacer la Lascaux® 360 HV. La littérature est, par conséquent moins fournie. D'autant que les propriétés de la 360 HV ne semblent pas pouvoir être transposées telles quelles à la 303 HV<sup>387,388</sup>. Le fabricant n'indique ni les différences entre les deux adhésifs ni leur composition ou proportions de leurs ingrédients. L'adhésif est décrit comme « adhésif acrylique épaissi avec de l'ester d'acide acrylique [...] [contenant] des agents de conservation »<sup>389</sup>. D'après l'étude de Jane Down, la Lascaux® 303 HV, passe le test d'activité photographique (PAT)<sup>390</sup>, là où la 360 HV ne le passe pas<sup>391</sup>.

<sup>384</sup> DOWN J., 2015, *op. cit.*

DOWN J., *et al.*, 2013, *op. cit.*

<sup>385</sup> ANNEXE 13, p. 384-391, Fiches techniques des adhésifs de conservation testés.

<sup>386</sup> DOWN Jane, IRACI Joe, HILL Greg, "Photographic Activity Tests of Various Adhesives Suggested for Use on Water Sensitive Photographs", dans *Photographic Preservation - The American Institute for Conservation of Historic & Artistic Works*, vol. 15, 2013, p. 475-483.

<sup>387</sup> DOWN J., *et al.*, 2013, *op. cit.* : la Lascaux® 360 HV est un mélange de polyacrylate de butyle acrylate et de poly méthacrylate de méthyle,

<sup>388</sup> POISBELAUD M., COUVERCELLE J.-P., 2018, *op. cit.*

<sup>389</sup> ANNEXE 13, p. 384-391, Fiches techniques des adhésifs de conservation testés.

<sup>390</sup> Norme ISO 14523, *Photography – Processed Photographic Materials – Photographic Activity Test for Enclosure Materials*, 1999. Cette norme est établie pour préciser la possible interaction entre l'émulsion photographique et un matériau dans un milieu clos.

<sup>391</sup> DOWN J., *et al.*, 2013, *op. cit.*

### Lascaux® 498 HV, Lascaux®

La Lascaux® 498 HV, comme la Lascaux® 303 HV, se présente sous forme d'émulsion épaissie avec une consistance de crème, blanc opaque sous forme liquide et devient transparente en séchant. A température ambiante, elle présente un feuil sec et il faut monter la température à 70-80°C pour le réactiver à la chaleur. La Lascaux® 498 HV est composée d'un mélange de polyacrylate de butyle acrylate (PBA) et de poly méthacrylate de méthyle (PMMA). Les informations indiquées par le fabricant sont identiques à celles mentionnées pour la Lascaux® 303 HV : « adhésifs acryliques épaissis avec de l'ester d'acide acrylique [...] [contenant] des agents de conservation »<sup>392</sup>. Cet adhésif semi-transparent est plutôt stable dans le temps, avec une variation assez faible du pH suite aux 4 ans de vieillissement dans le noir (22°C ± 2°C et 45%HR ± 5%HR) : d'un pH neutre de 7,29 ± 0,11 avant vieillissement à un pH légèrement acide de 6,45 ± 0,06. De même, lors du vieillissement dans le noir<sup>393</sup>, la couleur ne bouge pas de façon perceptible et varie d'un  $\Delta E$ <sup>394</sup> de 1,16 ± 0,2<sup>395</sup>. Cependant, au cours du vieillissement en enceinte<sup>396</sup> à température élevée, les variations du  $\Delta E$  sont très importantes : 9,79 ± 2,44. Par ailleurs, la Lascaux® 498 HV n'est pas validée par le test du PAT. Ceci ne constitue pas un critère d'élimination dans la mesure où les dessins d'architecture ne sont pas des photographies. Mais il est nécessaire de rappeler que certains tirages d'architecture sont issus de procédés photosensibles et donc pourrait y être sensible. Pour y palier, il est possible de préparer un film et de le laisser dégazer pendant 3 semaines<sup>397</sup>.

### Lascaux® 303 HV/498 HV en mélange 2 :1, Lascaux®

Le recours à un mélange des deux Lascaux® s'inspire des résultats de l'étude de Constance Duval et de ses recherches sur la réversibilité. Ainsi, les proportions choisies sont celles de son étude : 2 parts de Lascaux® 303 HV pour 1 part de Lascaux® 498 HV.

### Aquazol® 500/Lascaux® 303 HV (3 : 1), Kremer/Lascaux®

L'Aquazol® est un poly(2-ethyl-2-oxazoline) et le numéro associé dépend du poids moléculaire, 500 étant le haut commercialisé<sup>398</sup>. Cet adhésif utilisé pour la consolidation, en particulier de couche picturale pour sa versatilité d'aspect de surface, est vendu solide, sous forme de granules jaunes un peu poisseuses en présence d'humidité. Il se prépare en solution dans l'eau ou les alcools.

Le recours à un mélange d'Aquazol® 500 et de Lascaux® 303 HV s'inspire des résultats de l'étude de Marie Poibelaud et de ses recherches sur la repose des films de zip. Ainsi les proportions sont de 3 parts d'Aquazol® 500 à 30% dans l'eau et 1 part de Lascaux® 303 HV à 20% dans l'eau. Au cours de ses recherches, Marie Poibelaud, a mis en évidence l'intérêt d'une sous-couche à la Tylose® MH300 P pour les papiers non couchés. Ce protocole est visuellement très satisfaisant. Il présente par ailleurs une très bonne réversibilité. Cependant, le recours à des adhésifs aqueux, appliqués directement sur le papier, pour couvrir des aplats plus

<sup>392</sup> ANNEXE 13, p. 384-391, Fiches techniques des adhésifs de conservation testés.

<sup>393</sup> DOWN J., *et al.*, 2013, *op. cit.* Vieillissement dans le noir pendant 4 ans à une température ambiante de 22°C ± 2°C et une humidité relative de 45% ± 5%.

<sup>394</sup> *Ibid.* La nature du  $\Delta E$  n'est pas précisée dans l'article.

<sup>395</sup> Il est admis qu'une modification chromatique visible présente une variation du  $\Delta E$  supérieur à 2.

<sup>396</sup> DOWN J., *et al.*, 2013, *op. cit.* Vieillissement en enceinte Despatch Model LEA1-69, à une température de 80°C et 65% d'humidité relative pendant 28 jours.

<sup>397</sup> DUVAL C., 2015, *op. cit.*

<sup>398</sup> ZIEGLER Johanna, "Testing Aquazol®. An Evaluation of its suitability for the conservation of the Works on Paper", dans *Journal of Paper Conservation*, vol. 23, 2022, p.48-58.

ou moins étendus, n'est pas envisageable sur des papiers calques, particulièrement sensibles à l'apport d'humidité<sup>399</sup>, qui représente la majorité des supports dans les collections de dessins d'architecture.

Dans le cadre de notre étude, cette sous couche est laissée de côté pour les éprouvettes sur papier calque, d'autant que ces papiers étant peu fibreux, elle ne représente pas une nécessité.

### **Plextol B500, CTS**

Le Plextol B500 est une émulsion aqueuse de copolymères acrylate d'éthyle (EA) et de méthyle méthacrylate (MMA) (proportions respectives autour de 60 et 40%)<sup>400</sup>, qui est vendu sous forme d'un liquide laiteux bleuté. L'adhésif devient transparent en séchant mais garde cet aspect bleuté. La formulation a été établie dans les années 1980 (enregistrement en 1986) par Rohm&Haas, l'adhésif est depuis produit par de nombreuses sociétés (le fournisseur du Plextol B500 utilisé est CTS-Europe). Cet adhésif liquide et laiteux a un pH alcalin de 9-10.

D'après l'étude de Jane Down *et al.*, il passe le PAT dans deux cas sur trois, l'échec étant attribué à différents contextes d'évaluation<sup>401</sup>.

### **Beva® 371 Film, Kremer**

La Beva® 371 Film est composée d'un mélange d'éthylène – acétate de vinyle (EVA), de résine cétonique N, de paraffine et de phtalates. Le fabricant n'indique pas d'information supplémentaire concernant les proportions. Développée par Gustav B. Berger en 1975<sup>402</sup>, elle est aujourd'hui commercialisée en film transparent de différentes épaisseurs (pour l'étude, 65 µm). Cet adhésif semi-transparent est stable dans le temps, mais il est légèrement acide dès l'origine : d'un pH de  $6,73 \pm 0,21$  avant vieillissement à un pH plus acide de  $6,16 \pm 0,03$ . De même, lors du vieillissement dans le noir<sup>403</sup>, la couleur ne bouge pas de façon perceptible et varie d'un  $\Delta E$ <sup>404</sup> de  $0,95 \pm 0,1$ . Cependant, au cours du vieillissement en enceinte<sup>405</sup>, les variations du  $\Delta E$  sont très importantes :  $16,6 \pm 3,9$ . Par ailleurs, la Beva® 371 Film passe le PAT.

Enfin les tests de réversibilité menés dans le cadre de l'étude de Jane Down, indiquent une bonne réversibilité, avec une note de 83/100. Il faut néanmoins garder à l'esprit que les résultats de ces tests ne sont pas pertinents pour notre étude, les solvants mis en œuvre n'étant pas utilisables dans le cas du zip et les solvants testées dans le cadre de notre étude, non testés dans la sienne.

### **Gudy 870, Neschen**

Le Gudy 870 n'apparaît pas dans la littérature car il semble qu'il soit le produit de substitution du Gudy 871. Cependant il n'a pas été possible de trouver d'information fiable sur cette transition. Les éléments disponibles sont que le Gudy 871, fabriqué par Neschen, était un adhésif de contact sans âme et qu'il n'est plus possible de s'en procurer. En revanche, le fabricant ne propose qu'une seule référence avec les mêmes qualités de contact sans âme, le Gudy 870. Comme pour la Lascaux® 303 HV, il n'est pas possible d'extrapoler les qualités de l'un à l'autre. D'après les informations données par le fabricant, le Gudy 870 est une dispersion polyacrylate

---

<sup>399</sup> LAROQUE Claude, *Les papier transparents dans les collections patrimoniales : composition, fabrication, dégradation, conservation*, Thèse de doctorat : Histoire de l'art : Université Paris I, 2003, 407 p.

<sup>400</sup> DOWN J., IRACI J., HILL G., 2013, *op. cit.*

<sup>401</sup> *Ibid.*

<sup>402</sup> BERGER G. B., 1975, *op. cit.*

<sup>403</sup> DOWN J., *et al.*, 2013, *op. cit.* : vieillissement dans le noir pendant 4 ans à une température ambiante de  $22^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  et une humidité relative de  $45\% \pm 5\%$ .

<sup>404</sup> *Ibid.* La nature du  $\Delta E$  n'est pas précisée dans l'article.

<sup>405</sup> *Ibid.* Vieillissement en enceinte Despatch Model LEA1-69, à une température de  $80^{\circ}\text{C}$  et 65% d'humidité relative pendant 28 jours.

de 75  $\mu\text{m} \pm 5$  qui passe le PAT et dont le pH est neutre environ 7,0. Ses caractéristiques visuelles restent inchangées pendant 8 ans pour une utilisation en intérieur.

## 2. Présentation des mises en œuvre

La mise en œuvre privilégiée est la réactivation à chaud pour un contact avec le zip ou le support. Cependant lorsque cela n'est pas possible, car l'adhésif ne peut former un film dans les conditions du protocole<sup>406</sup>, l'adhésif liquide est appliqué directement sur le zip, laissé sécher à l'air libre et réactivé à la chaleur dans un deuxième temps.

### Adhésif appliqué liquide et réactivé à la chaleur (HC)

A l'aide d'un pinceau, l'adhésif est appliqué liquide directement sur la surface du zip, positionné sur un buvard (Figure 190, a). Il est ensuite laissé à sécher à l'air libre, le temps de séchage dépend du type d'adhésif et des conditions environnementales, mais ils sont tous secs après 2 heures dans les conditions de préparation. Une fois sec, l'élément de zip est positionné sur le papier de support (Figure 190, b). L'adhésif est réactivé à la spatule chauffante à 80°C, au travers du zip et d'un Mylar® siliconé (Figure 190, c). L'ensemble est placé sous poids pour refroidir graduellement.

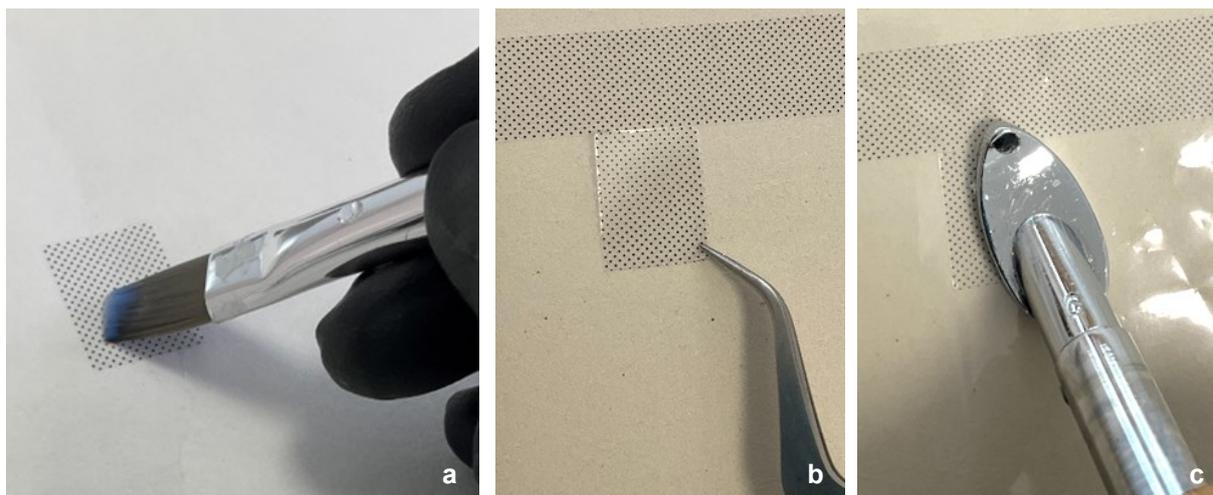


Figure 190 : Présentation des étapes de mise en œuvre pour l'application d'un adhésif liquide, réactivé ensuite à chaud.

Cette méthode est retenue pour le Plectol B500 et le mélange Aquazol® 500/Lascaux® 303 HV.

### Film réactivé à la chaleur (FC)

Il est décidé de se concentrer sur la réactivation à la chaleur et de ne pas étudier la réactivation par solvant dans ce contexte, pour limiter la toxicité. L'adhésif est appliqué sous forme aqueuse, liquide ou en émulsion, directement sur un film de Mylar® siliconé (Figure 191). Afin d'obtenir une épaisseur homogène et représentative du film d'adhésif industriel, des guides réalisés avec des rubans adhésifs sont disposés sur le Mylar® (Figure 191, a) et l'adhésif est étiré à l'aide d'un pinceau en silicone entre les guides (Figure 191, b). Il est ensuite laissé sécher à l'air libre. Une fois sec, l'adhésif apparaît transparent, l'élément de zip est positionné dessus (Figure 191, c) et l'adhésif est réactivé à travers le Mylar® siliconé (Figure 191, d). L'adhésif est incisé en suivant son contour (Figure 191, e) et il est ensuite soulevé du plastique (Figure 191, f). Il est, enfin, positionné sur le papier

<sup>406</sup> Il est possible de rajouter des tensio-actifs pour modifier la tension de surface et donc les propriétés d'étalement, mais cette piste n'est pas envisagée dans cette étude.

de support (Figure 191, g) et l'adhésif est réactivé à nouveau, au travers du zip et d'un Mylar® siliconé (Figure 191, h). L'ensemble est placé sous poids pour refroidir graduellement.

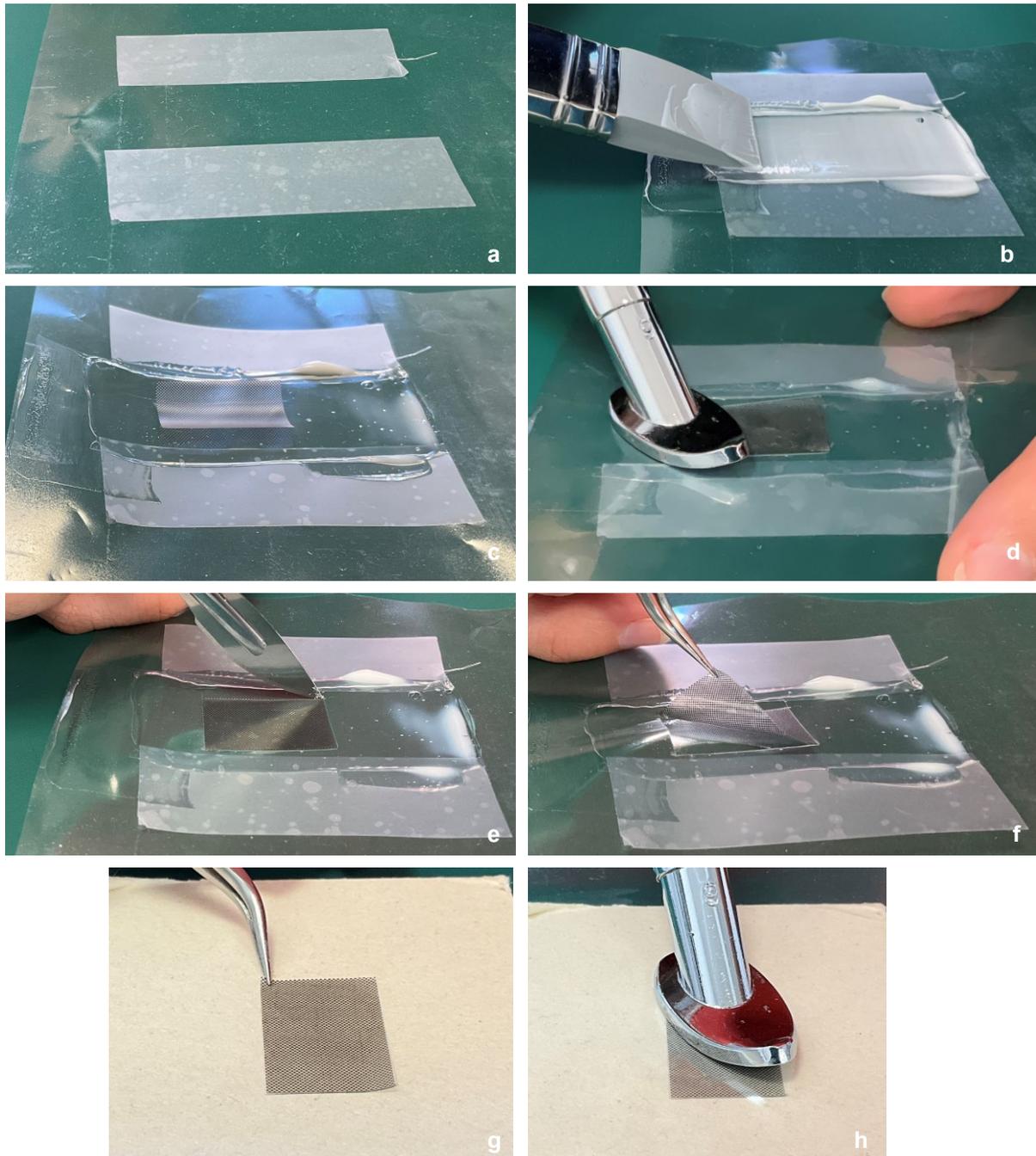


Figure 191 : Présentation des étapes de mise en œuvre pour la réalisation d'un film d'adhésif réactivable à la chaleur.

Cette méthode est retenue pour la Lascaux® 303 HV, la Lascaux® 498 HV, le mélange Lascaux® 303 HV/ Lascaux® 498 HV (2:1 en masse).

#### **Adhésif en trame, micro-points, réactivé à la chaleur (MPC et HMPC)**

##### *Sélection de la mise en œuvre*

Cette mise en œuvre permet de couvrir une surface avec un adhésif de façon régulière mais sans aplat ce qui, par la suite, facilite le retrait de la pièce s'il était nécessaire de retraiter l'élément de zip.

Des tests sont menés pour définir la meilleure mise en œuvre à adopter. Deux trames textiles sont utilisées : une crêpeline de soie et un crin de polyester (Figure 192).

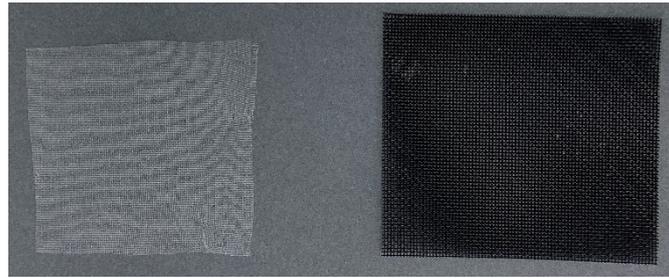


Figure 192 : Visuels des deux trames textiles utilisées pour la mise en œuvre, à gauche la crêpeline de soie et à droite, le crin de polyester.

Dans la première mise en œuvre testée, la colle est appliquée à travers la toile directement sur le support puis la toile est retirée. Dans la seconde, la trame est encollée et placée ensuite sur la surface à coller pour y déposer l'excédent de colle selon un motif régulier.

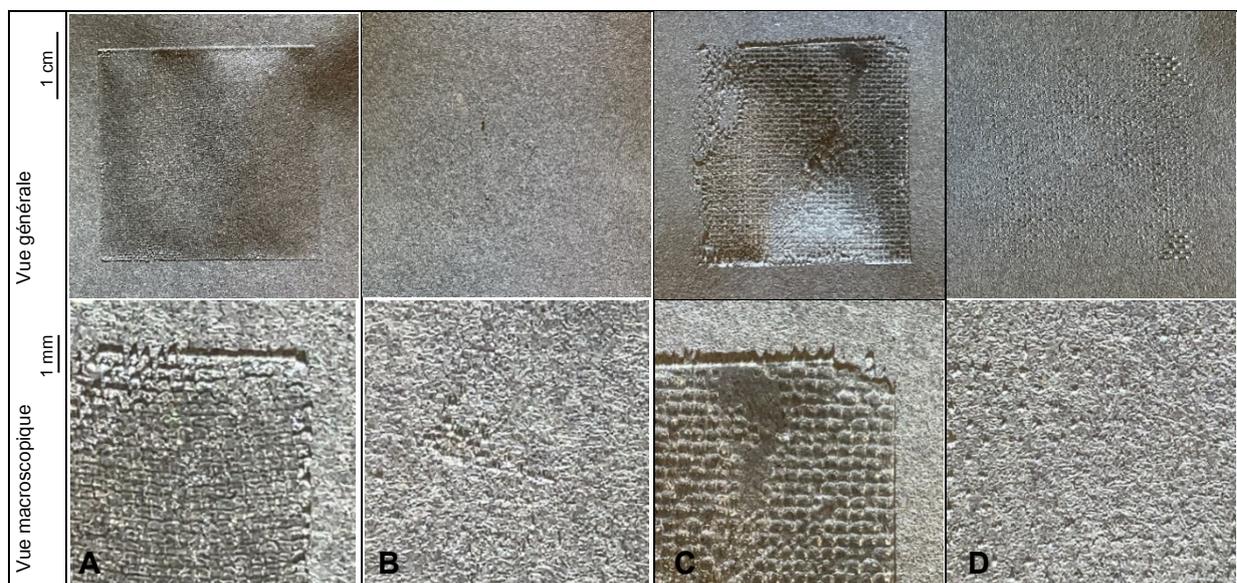


Figure 193 : Visuels des applications avec une trame vue générale et en macroscopie.

A- application à travers une crêpeline de soie ; B- application par tampon d'une crêpeline de soie préalablement encollée ;  
C- application à travers un crin de polyester ; D- application par tampon d'un crin de polyester préalablement encollée

Les résultats de ces mises en œuvre sont évalués visuellement (Figure 193).

La méthode du tampon ne fonctionne pas pour la crêpeline de soie et semble trop hétérogène et légère pour le crin de polyester. L'application au travers du crin de polyester est irrégulière en raison de l'épaisseur de la trame qui ne laisse pas bien passer les adhésifs en émulsion et l'épaisseur assez importante du film en raison de sa texture assez lâche.

Le résultat le plus homogène pour une application avec l'adhésif utilisé pour ces tests, la Lascaux® 303 HV est celui de l'application à travers la crêpeline de soie.

#### *Mise en œuvre sélectionnée pour les adhésifs en émulsion (MPC)*

L'adhésif est appliqué sous forme aqueuse, à travers la crêpeline de soie sur un Mylar® siliconé (Figure 194, a). Le tissu est ensuite retiré et le film d'adhésif laissé sécher à l'air libre (Figure 194, b). Une fois le feuil formé, l'élément de zip est positionné dessus (Figure 194, c). L'adhésif est réactivé à chaud à l'aide d'une spatule chauffante à travers un Mylar® siliconé. L'adhésif est incisé en périphérie du zip et peut être soulevé (Figure 194, d), il est positionné sur l'éprouvette et l'adhésif est réactivé à chaud à travers un Mylar® siliconé, à la spatule chauffante à 80°C (Figure 194, e). L'ensemble est placé sous poids pour le temps du séchage.

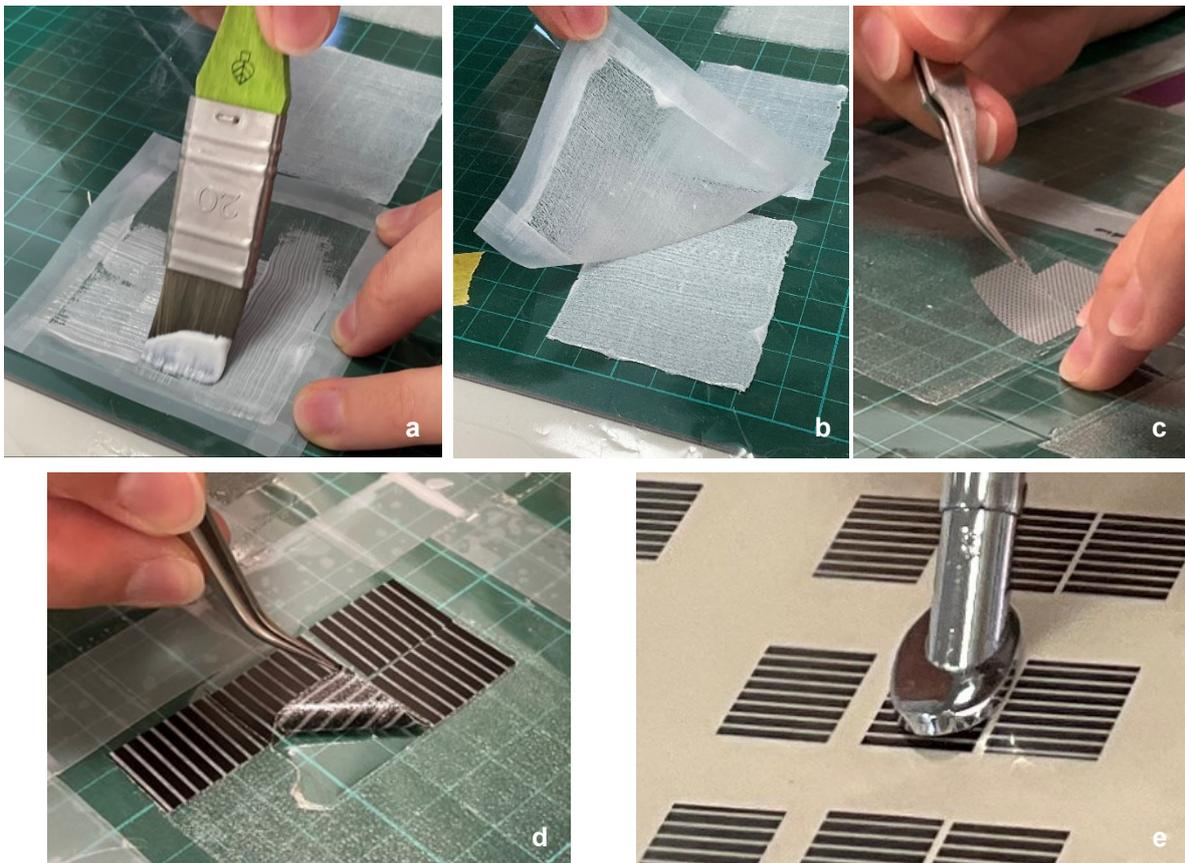


Figure 194 : Présentation des étapes de mise en œuvre pour la réalisation d'une trame d'adhésif réactivable à la chaleur.

Cette méthode est retenue pour la Lascaux® 303 HV, la Lascaux® 498 HV, le mélange des Lascaux® 303 HV et Lascaux® 498 HV (2:1 en masse).

*Mise en œuvre sélectionnée pour les adhésifs liquides (HMPC)*

Comme pour l'application liquide, l'adhésif est appliqué directement sur le zip. Dans cette mise en œuvre, l'application sur le zip se fait à travers la crêpeline de soie (Figure 195, a). Le zip est ensuite détaché de la toile et laissé à sécher à l'air libre (Figure 195, b). Pour des raisons de tensions de surface, il n'est pas possible de réaliser un film homogène à travers la crêpeline sur le Mylar® siliconé (Figure 195, c). Une fois sec, le zip est positionné sur le papier de support. L'adhésif est réactivé à nouveau, comme vu précédemment. L'ensemble est placé sous poids pour refroidir graduellement.

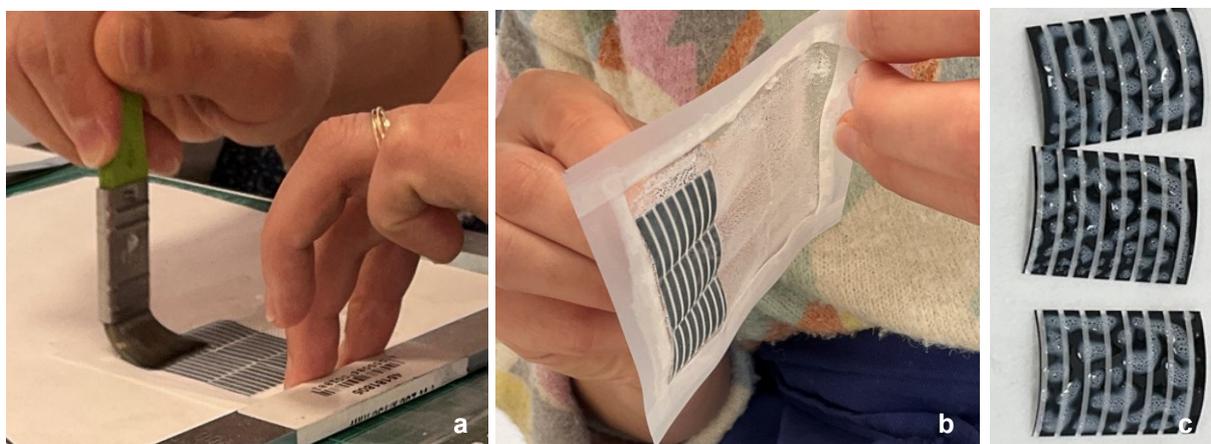


Figure 195 : Étapes de l'application de l'adhésif à travers la toile directement sur le zip.

Cette méthode est retenue pour le Plextol B500 et le mélange Aquazol® 500/Lascaux® 303 HV.

**Utilisation d'un film commercial, réactivé à la chaleur (C)**

La Beva® 371 Film est commercialisée en rouleau. Le feuil d'adhésif est conditionné entre un papier de protection siliconé et un film plastique de support (Figure 196, a). Dans un premier temps, il convient de retirer le papier, il faut ensuite positionner la face à encoller au contact de l'adhésif et chauffer à travers un Mylar® siliconé (Figure 196, b). Dans un second temps, le plastique de protection peut être retiré (Figure 196, c) et les excédents d'adhésifs découpés au plus près de la forme du zip (Figure 196, d). Le zip peut être positionné sur le support (Figure 196, e) et l'adhésif réactivé, à nouveau, à la spatule chauffante à 80°C à travers un Mylar® siliconé pour joindre les deux surfaces (Figure 196, f).

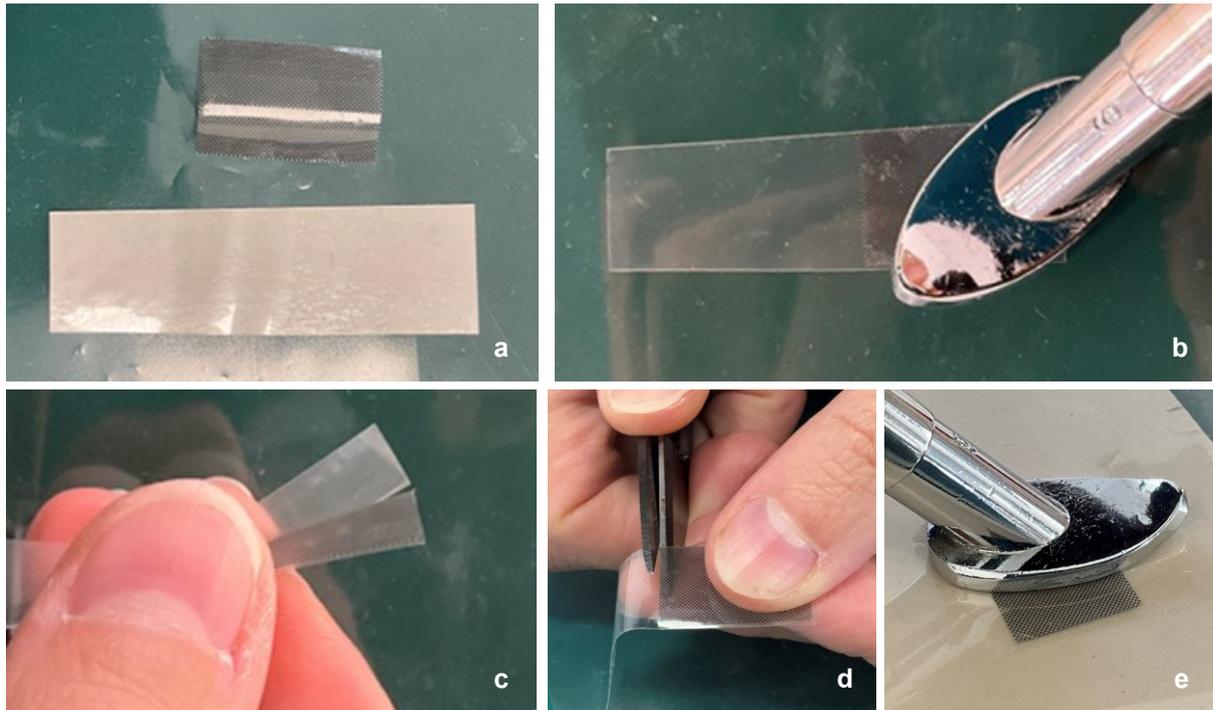


Figure 196 : Présentation des étapes de mise en œuvre de la Beva® 371 Film.

**Application par pression (D)**

Le Gudy 870 est un adhésif de contact. Il est commercialisé sous forme de rouleau. La couche d'adhésif est supportée par un papier siliconé blanc et se dépose sur toute surface avec laquelle elle est mise en contact. Il suffit donc de poser le zip sur une zone de colle, d'inciser l'adhésif sur le pourtour afin d'éviter de l'étirer, de le déformer (Figure 197, a) et de soulever le zip pour aller le positionner sur le support de papier (Figure 197, b et c). La pose et une simple pression sur la surface suffisent pour assurer une forte adhésion.

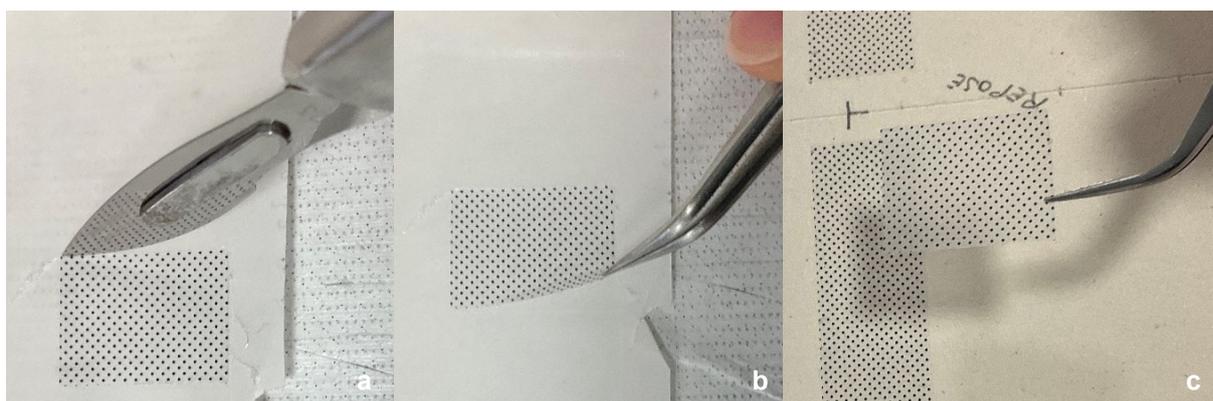


Figure 197 : Présentation des étapes de mise en œuvre du Gudy 871.

### 3. Protocole de dérestauration

#### **Objectif du test**

Un collage optimal est un collage permettant une bonne adhésion des éléments collés mais suffisamment faible pour que si rupture il y a, celle-ci ait lieu dans le joint de colle et non dans les matériaux d'origine. Dans la mesure, où les adhésifs sélectionnés ne sont pas pelables à température ambiante, il est nécessaire d'ajouter un facteur pour permettre leur retrait.

L'intervention de dérestauration vise à évaluer si un retrait des éléments recollés est possible à l'aide de chaleur ou de vapeurs de solvant.

#### **Dérestauration par apport de chaleur**

Comme cela a été vu précédemment, l'apport de chaleur peut être réalisé à distance, avec un pistolet à air chaud ou un sèche-cheveu, ou par contact, plaque ou spatule chauffante. Cependant, pour limiter les risques sur le film, la température doit être la plus basse possible.



Figure 198 : Mise en œuvre de dérestauration avec la spatule chauffante.

Afin d'avoir une action la plus ciblée possible, l'apport de chaleur est amené par spatule chauffante réglée à 60°C. La spatule est glissée entre le film et le support, au niveau de la couche adhésive (Figure 198).

Le test de dérestauration se limite au détachement du film du support. Le retrait de l'adhésif du film ayant fait l'objet de la partie précédente, cette intervention n'a pas été étudiée plus en détail dans le cas présent.

#### **Dérestauration par apport de vapeurs de solvant**

La technique de la chambre de solvant avait montré des résultats encourageants mais pas suffisamment pertinents dans le contexte du retrait d'adhésif de la surface du film de zip. Dans le cadre des tests de dérestauration, cette méthode est à nouveau envisagée. En effet, les solvants ne peuvent pas être appliqués liquides sur le film de zip au risque de modifier l'encre. Ils ne peuvent pas non plus être appliqués par le verso du papier : sur du carton, l'apport de solvant et son déplacement latéral dans la matière peut engendrer le déplacement de composés solubles au sein du matériau épais ; sur du calque, l'apport de solvant par le verso ne permet pas d'atteindre le recto de façon satisfaisante en raison du caractère fermé du papier. Il s'agit donc d'apporter le solvant par le recto mais sous forme de vapeur.

Afin de limiter l'étendue des combinaisons et donc des éprouvettes, un seul solvant est sélectionné : le carbonate de diéthyle. Ce solvant montrait les meilleurs résultats pour cette mise en œuvre : l'isopropanol ne

permettant pas un gonflement suffisant de l'adhésif et l'alcool benzylique entraînant un risque de déformation du film.

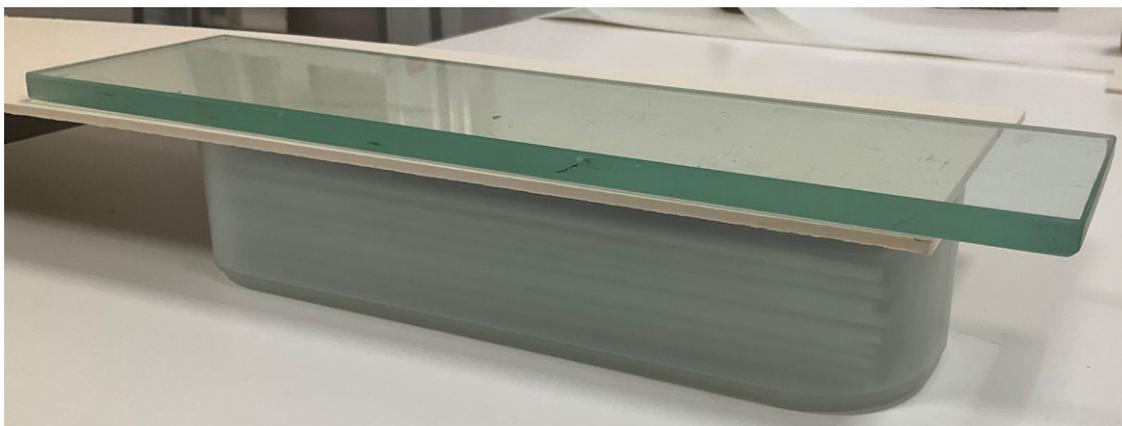


Figure 199 : Mise en œuvre de dérestauration par apport de vapeurs de solvant.

Le principe est le même que pour les tests de solubilité : placer l'échantillon dans une enceinte saturée en vapeurs de solvant. En raison de la petite taille des éléments de zip et de leur proximité, l'exposition au solvant est faite pour toute la série des adhésifs sur un même matériau (carton ou papier calque) et dans des conditions d'expérimentation similaires (retrait préalable de l'adhésif ou application du nouvel adhésif sur l'original). Les zones non destinées au test sont protégées par des feuilles de Mylar®. Les éprouvettes sont placées tête en bas, sur un récipient dont le fond est garni de buvard imbibé de solvant et laissées pendant 10 minutes (Figure 199). Les éprouvettes sur papier calque étant souples, elles sont fixées par deux fragments de ruban repositionnable sur un carton neutre. Une plaque de verre est posée sur l'éprouvette ou le carton pour garantir l'étanchéité de la chambre. Après exposition, un des angles est attrapé à l'aide d'une pince et levé en pelage à 90° : la possibilité de retrait est ainsi évaluée.

#### 4. Réalisation des éprouvettes

Les adhésifs et les mises en œuvre sont évalués sur des éprouvettes de zip présentés en six plaques différentes ; cette partie présente leur morphologie.

Deux types de supports sont choisis pour conduire les tests :

- Un carton bois, support rigide, opaque, fibreux et coloré ;
- Un papier calque, support fin (40 g/m<sup>2</sup>), translucide, fermé et blanc ;

Les références sont issues des papiers sélectionnés lors de la phase de vieillissements artificiels.

Trois types de zips sont choisis :



Un zip avec un adhésif à base de cire, à motif de lignes épaisses assez sombre, ST 1097 ;



Un zip avec un adhésif à base d'acrylique, à motif uni et brillant violet, N2S.5632 F1 ;



Un zip avec un adhésif à base de vinylique, à motif de points petits et espacés, assez clair, LT1.

Au-delà de la représentativité des adhésifs pour pouvoir trouver des solutions visuellement satisfaisantes, le choix des motifs et couleurs permet d'exacerber les défauts de collage. En effet, chaque irrégularité se voit sur la couleur unie et le sombre augmente le contraste lorsque les éprouvettes sont examinées par le verso.

Sur chaque éprouvette, comprenant une référence de zip et un type de support, les six mises en œuvre d'adhésif sont testées. Un témoin avec l'adhésif original est appliqué sur la longueur de l'éprouvette ( Figure 200).

Chaque combinaison de mise en œuvre est appliquée sur trois éléments de zip. Le premier est positionné à proximité du témoin pour évaluer l'aspect visuel. Le second permet de réaliser un test de dérestauration à la chaleur et le troisième à l'aide de solvant.

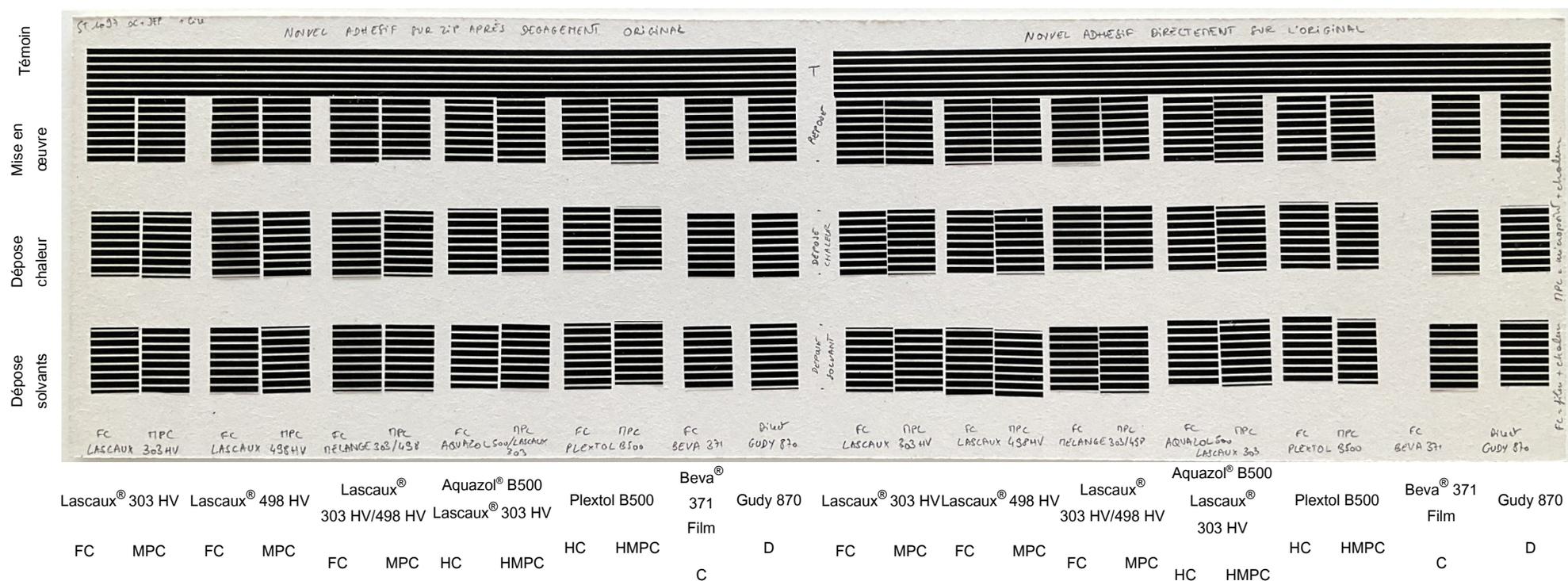
Enfin, sur la moitié de l'éprouvette, les mêmes tests sont réalisés sur des zips dégagés de leur adhésif (mélange DEC/Shellsol D40 50:50 appliqué au coton tige et essuyer à l'Evolon®) et sur l'autre moitié, les adhésifs sont appliqués sur l'adhésif original.

**Remarque :** *cette expérimentation n'est pas entreprise sur des éprouvettes vieilles. Il n'est pas question ici du retrait de l'adhésif mais de la sélection d'un nouveau. L'état des adhésifs retirés importe donc peu. Le témoin aurait pu faire l'objet d'un vieillissement artificiel, toutefois l'adhésif de restauration ne peut pas être choisi pour présenter les caractéristiques visuelles d'un adhésif vieilli (d'autant plus que cette intervention est entreprise pour des adhésifs n'assurant plus leur rôle). Enfin, la démarche est de se rapprocher d'un état antérieur à la dégradation, le plus proche possible de ce qui a été. Cependant, dans la mesure où les adhésifs sont difficilement identifiables à l'œil nu et que les analyses sont rarement accessibles (en dehors des projets de recherches), il est bon d'avoir une vision d'ensemble des différents adhésifs et de leur aspect visuel.*

## Chapitre 6 : Protocoles de traitement des phénomènes de soulèvement

Application d'un nouvel adhésif après retrait de l'original

Application d'un nouvel adhésif sur l'original



Abréviations : FC = film réactivé à la chaleur ; MPC = micropoints à travers la crépine réactivé à la chaleur ; HC = application liquide, réactivation à la chaleur ; HMPC = application liquide à travers la crépine directement sur le zip et réactivation à la chaleur

Figure 200 : Épreuve avec la référence aC+DEP+Cire, ST1097, réalisée en vue de l'expérimentation de repose et de dérestauration, avant réalisation des tests.

5. Protocole de suivi

**Documentation photographique**

Le suivi est réalisé par une documentation photographique de chaque éprouvette en lumière naturelle et en lumière rasante (afin d'évaluer l'aspect de surface des films). Les éprouvettes sur carton ne sont photographiées que de face. Les éprouvettes sur papier calque sont photographiées recto et verso sur fond blanc et sur fond gris.

**Évaluation par échelle de valeur**

L'évaluation de l'adhésif et de la méthode de collage est réalisée avec une échelle de valeur progressive de 1 à 5 spécifiquement définie pour cette expérimentation (Tableau 21). Les critères marqués d'un astérisque (\*) sont spécifiques à l'encollage du nouvel adhésif sur l'original. Ceux marqués du symbole degré (°) sont spécifiques aux éprouvettes réalisées sur papier calque et sont une information liée à la transparence du support.

Comme précédemment, le vert foncé indique la notation à atteindre, le vert clair met en valeur des critères jugés acceptables bien que non totalement satisfaisants.

Les paramètres sélectionnés sont relatifs à l'efficacité du collage (a), à son aspect (b, c, d et d°) et à sa proximité visuelle avec le zip original (e), à la facilité de mise en œuvre (f et g) et à la possibilité de déposer le collage après l'intervention (h et i).

Tableau 21 : Qualités associées à l'échelle de valeur de 1 à 5 pour chaque paramètre relatif à l'application d'un nouvel adhésif.

Paramètres	1 (mauvais)	2	3	4	5 (bon)	
a a*	Adhésion	pas d'adhésion	bord décollé	angle décollé	adhésif saute sous action mécanique	bonne adhésion
b b*	Jaunissement	brunissement	fort jaunissement	jaunissement	très faible jaunissement	aucun jaunissement
c c*	Assombrissement	très fort assombrissement	fort assombrissement	assombrissement visible	assombrissement perceptible	aucun assombrissement
d d*	Hétérogénéité application (vu par la face)	disparité d'adhésion très marquées	film irrégulier mais général	film visible mais régulier et grossier	film visible mais régulier et fin	film d'adhésif imperceptible
d° d°*	Hétérogénéité application (vu par le revers)	disparité d'adhésion très marquées	film irrégulier mais général	film visible mais régulier et grossier	film visible mais régulier et fin	film d'adhésif imperceptible
e e*	Proximité de rendu avec témoin (rendu effet adhésif et indice de réfraction)	différence inacceptable, impression de film différent	importante différence	différence nettement identifiable mais acceptable	dissociable mais proche	indissociable
f f*	Aisance de mise en œuvre du collage	long et impossible	long et difficile	rapide mais difficile	long et aisé	rapide et aisé
g	Compatibilité de mise en œuvre avec ancien adhésif	pas d'adhésion	colle difficilement/ancien adhésif bouge	ancien adhésif bouge/mise en œuvre compliquée	ancien adhésif réagit mais l'adhésion fonctionne	bonne compatibilité
h h*	Dérestauration à chaud	pas de retrait	support arraché/film déchiré	film marqué/fibres	film légèrement marqué/qq fibres	retrait satisfaisant
i i*	Dérestauration avec vapeur de solvant	pas de retrait	support arraché/film déchiré	film marqué/fibres	film légèrement marqué/qq fibres	retrait satisfaisant

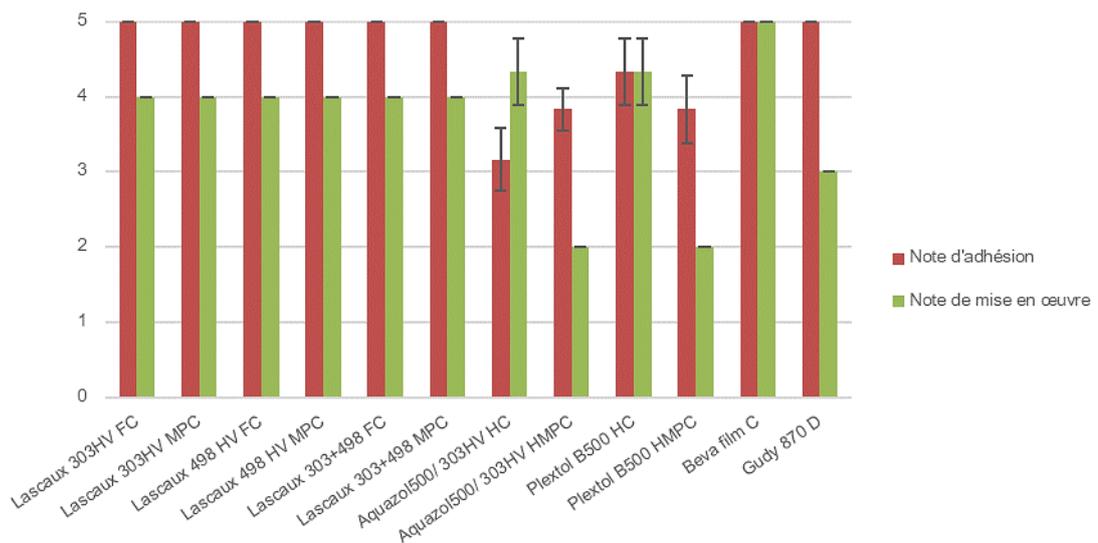
### C. Résultats<sup>407</sup>

Les résultats de cette expérimentation sont présentés selon différents critères : les résultats relatifs à l'efficacité du collage et à la mise en œuvre seront présentés en premier ; leur aspect visuel sera ensuite décrit ; enfin, les résultats des tests de dérestauration seront abordés. Et ceci, pour les films préalablement nettoyés de leur adhésif et pour ceux où l'adhésif original a été conservé.

#### 1. Présentation des résultats pour l'application d'un nouvel adhésif sur un film nettoyé

##### Résultats de l'efficacité du collage et de sa mise en œuvre (paramètres a et f)

L'évaluation de l'efficacité de l'adhésion est menée par l'observation de la surface et par un test de pelage dans l'angle des éléments recollés. Pour les films nettoyés préalablement de leur adhésif, l'adhésion se situe entre le film, le nouvel adhésif et le support. Les films testés sont tous plastifiés avec les deux types de plastifiants. Si leur composition n'est pas exactement la même, elle est suffisamment proche pour que les résultats puissent être comparés sans distinction des types de zip. Par ailleurs, ce critère ne présente pas de différence dans les résultats entre les différents supports, calque et carton. Les résultats concernant l'efficacité de l'adhésion sont donc présentés par type d'adhésif et de mise en œuvre (Graphique 39).



Graphique 39 : Résultats de l'adhésion (a) et des mises en œuvre de collage (f) pour les différents types d'adhésif.

Les adhésifs Lascaux®, purs ou en mélange, en film ou en trame, offrent la même très bonne adhésion. Leur mise en œuvre est aisée mais la réalisation d'un film en amont, puis de sa réactivation à la chaleur pour une repose en deux étapes, impose d'office un point en moins sur la notation, pour la facilité de mise en œuvre. Les résultats sont très homogènes d'un zip à l'autre et d'un support à l'autre.

<sup>407</sup> ANNEXE 11, p.382, Tableau des résultats bruts de notation des tests de sélection d'un adhésif de restauration et repose du zip.

Les résultats pour les adhésifs appliqués liquides sur les films de zip sont moins bons. L'adhésion du mélange Aquazol® 500/Lascaux® 303 HV n'est pas très bonne avec une réactivation à la chaleur. L'adhésion du Plextol B500 appliqué liquide et réactivé à la chaleur (HC) est meilleure mais pas pleinement satisfaisante. L'application de l'adhésif directement au pinceau sur le film de zip présente un avantage de rapidité. Mais il implique également une mise en œuvre plus difficile pour éviter que l'adhésif, très fluide, ne migre en périphérie du recto.

Enfin, l'encollage du zip à travers une trame (HMPC) est particulièrement compliqué car les films ont tendance à se déformer dès qu'ils sont en contact avec de l'humidité et la trame empêche de bien les maintenir. L'adhésif se retrouve au recto et tache l'éprouvette le long des bords ce qui induit des brillances visibles en blanc sur les éprouvettes (Figure 201).

Les mises en œuvre d'adhésif liquide présentent de grands écarts types qui sont représentatifs des différents résultats d'une éprouvette à l'autre et sont liés au passage ou non de l'adhésif au recto des éprouvettes, affectant négativement les notes de mise en œuvre et de rendu visuel.

Les deux autres adhésifs offrant une excellente adhésion sont la Beva® 371 Film et le Gudy 870. La Beva® 371 Film obtient une pleine notation pour sa simplicité et rapidité de mise en œuvre. Le Gudy 870 est assez simple d'utilisation. Cependant, son caractère électrostatique implique une attraction du zip vers le support qui ne peut pas toujours être contrôlée et complique son application à un endroit spécifique, d'autant qu'une fois en contact avec la surface, il est difficile à décoller. Leurs résultats sont homogènes d'un zip à l'autre et d'un support à l'autre.

#### **Résultats d'aspect visuel du collage (paramètres b, c, d, d° et e)**

Les résultats concernant l'aspect visuel des différents collages sont complexes à exploiter en raison du nombre de critères : adhésifs d'origine, adhésifs de restauration et supports.

Dans un premier temps, les résultats de l'ensemble des éprouvettes seront présentés puis les particularités propres à chaque zip seront approfondies.

De manière générale, les motifs denses et sombres ont une tolérance assez élevée pour les irrégularités ou les changements de couleur pour une observation par le recto. En revanche, la densité de l'encre induit un contraste très fort lors d'une observation par le verso et l'homogénéité est alors primordiale. Les films à motifs clairs présentent une exigence forte en termes de qualités optiques mais ont une bonne tolérance pour l'homogénéité de l'adhésif, que ce soit recto ou verso, tant qu'ils sont observés sur un fond clair. Enfin, les films avec un aplat coloré ne supportent aucune irrégularité du feuillet d'adhésif que ce soit par observation au recto ou au verso, sur un support translucide ou opaque. Par ailleurs, les assombrissements ou l'épaisseur de l'adhésif sont également visibles dès le moindre changement.

Les résultats obtenus via l'échelle de valeur pour l'évaluation sensorielle de l'aspect visuel des adhésifs et mises en œuvre de collage sont présentés sur un graphique en radar (Graphique 40) (pour rappel quels que soient les critères, la note de 5 correspond à l'effet recherché).

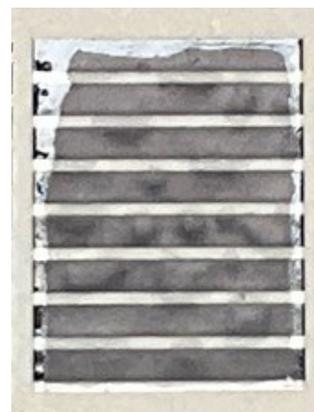
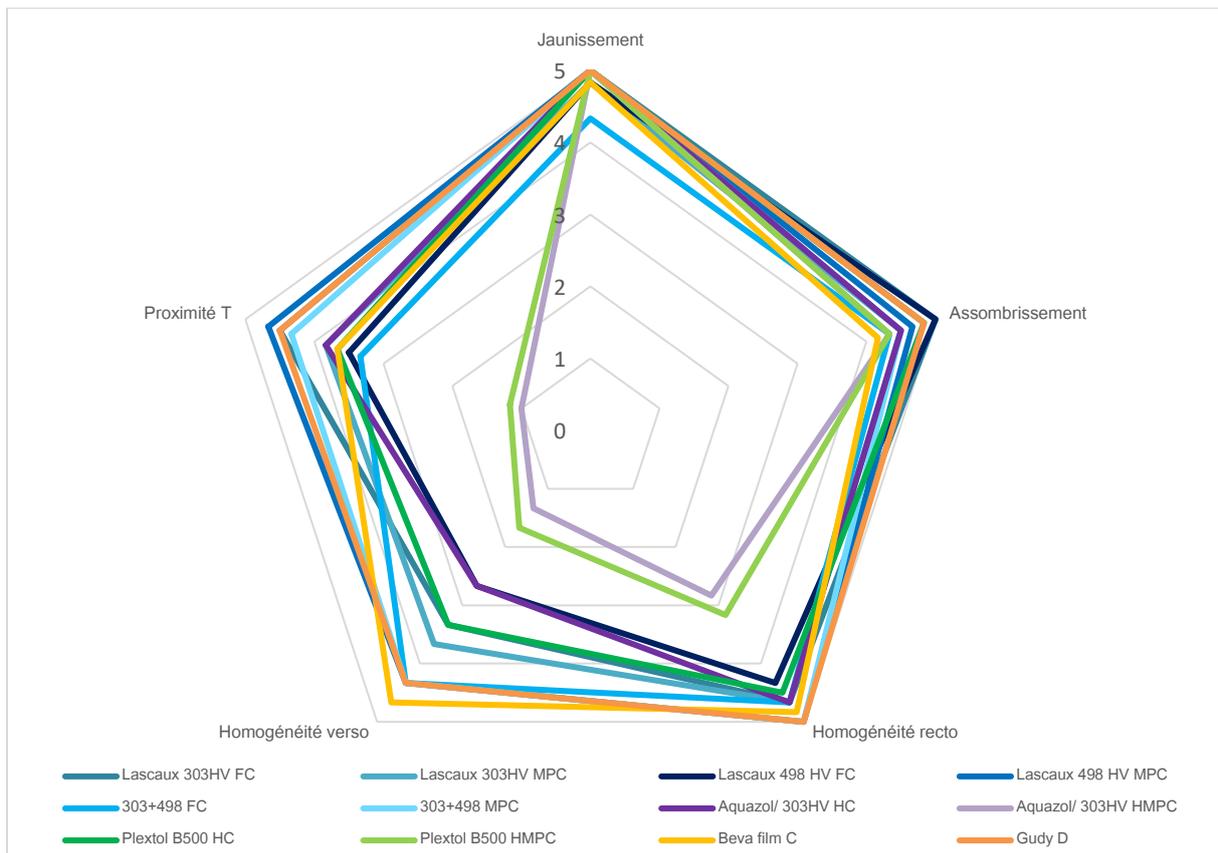


Figure 201 : Détail des éléments de zip de la référence aC+DEP+Cire recollés avec le mélange Aquazol® 500/Lascaux® 303 HV, application à travers la crêpeline à droite.



Graphique 40 : Évaluation de l'aspect des films repositionnés avec les différents adhésifs et méthodes d'encollage.

Deux mises en œuvre se distinguent par leurs moins bons résultats en termes d'homogénéité (recto et verso) et de proximité avec le témoin. Il s'agit des mises en œuvre des adhésifs liquides à travers une crêpeline de soie HMPC, Aquazol®500 en mélange avec de la Lascaux® 303 HV et le Plextol B500. L'application de l'adhésif liquide sur les films de zip empêche la bonne constitution du feuil car sa tension de surface est trop importante et il se regroupe sur lui-même laissant des zones sans adhésif (Figure 202). Par ailleurs, l'application à travers la crêpeline renforce ce phénomène.



Figure 202 : Visuels de l'aspect de l'Aquazol® 500 en mélange avec la Lascaux® 303 HV encore humide après application, à gauche, et une fois sec, à travers le zip, au centre, et à travers le papier calque, à droite.

Les résultats pour le jaunissement sont plutôt bons. Il est difficile d'évaluer le jaunissement pour le zip de couleur ou celui très encré. Le jaunissement se voit nettement pour le zip au motif le moins dense : la référence aC+DEP+aV (Figure 203). Le mélange des Lascaux® 303 HV et 498 HV, appliqué en film réactivé, est plus

jaune que les autres adhésifs. Le même mélange appliqué à travers la crêpeline n'est pas considéré comme jauni quand observé seul, bien qu'il semble l'être par observation des deux tests côte à côte.

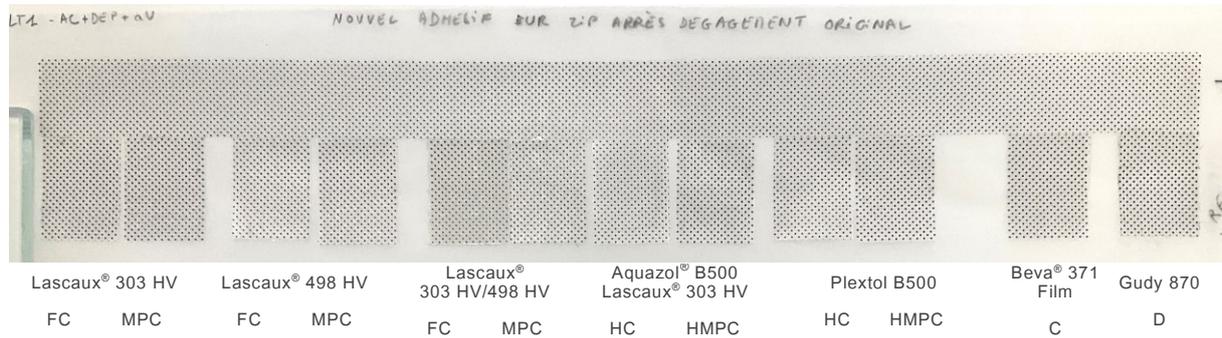


Figure 203 : Visuels des tests de recollage pour la référence aC+DEP+aV, sur papier calque.

Pour les autres adhésifs, aucun jaunissement n'est observé mais il est possible de noter un assombrissement de l'effet visuel du zip. Ce changement d'aspect est visible sur la référence claire (aC+DEP+aV) et sur celle présentant un aplat coloré (aC+DEP+aA). La référence à rayures larges (aC+DEP+Cire) ne permet pas de mettre en avant ces critères optiques. La mise en évidence visuelle des phénomènes d'assombrissement est illustrée par la référence aC+DEP+aA sur carton (Figure 204).

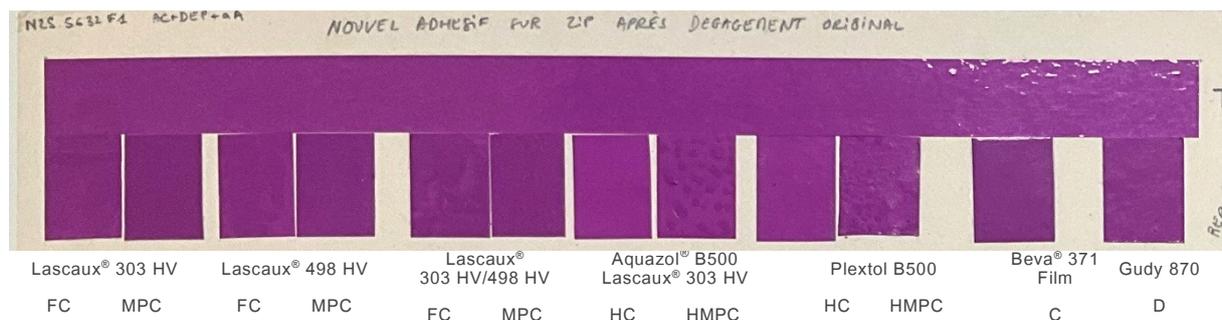


Figure 204 : Visuels des tests de recollage pour la référence aC+DEP+aA, sur carton.

Les applications à travers la crêpeline induisent un assombrissement léger, quand le feuil est homogène dans le cas des Lascaux® et très marqué pour les zones de patons<sup>408</sup> pour les adhésifs appliqués liquides. La Beva® 371 Film induit l'assombrissement le plus homogène et important. Le mélange d'Aquazol® 500 et de Lascaux® 303 HV et la Plextol B500 appliqués au pinceau, produisent un film d'adhésif fin, qui donne un aspect plus clair à ces éprouvettes, probablement liée à une épaisseur du feuil d'adhésif moindre que celle de l'adhésif d'origine.

Comme cela a été précédemment évoqué, l'homogénéité du feuil d'adhésif est peu visible par le recto pour les films avec motifs. Cela explique les bons résultats lors de l'évaluation générale. L'homogénéité du feuil est cependant un des critères majeurs pour les films avec des aplats colorés. Si l'on regarde les notations par type de zip pour le critère de l'homogénéité observée par le recto, les moyennes sont de 4,8 pour le zip à motif clair, de 4,5 pour le zip avec les lignes et de 4,2 pour le zip avec couleur. Dans la mesure où les mises en œuvre d'un zip à l'autre sont équivalentes, c'est la perception de ce critère qui change en fonction des types d'impression.

<sup>408</sup> Le terme « paton » décrit un amas de colle qui se produit dans le cas présent pour des raisons de tension de surface, mais qui peut être lié dans d'autres contextes à des problèmes de dilution, de préparation ou d'application.

Hormis les deux films précédemment mentionnés pour leur manque d'homogénéité, l'application en film tiré ou réalisé à travers la crêpeline puis réactivé à chaud offre de bons résultats pour l'obtention d'un feuil régulier, en particulier quand il est observé à travers le calque. Ces tests de mise en œuvre permettent également de montrer les défauts de mise en œuvre pouvant advenir. Ainsi, la réalisation du film d'adhésif sur un Mylar® dont la tension n'est pas parfaite, induit un film inexploitable pour une intervention pour le recollage d'un zip (Figure 205). Le film réalisé en Lascaux® 498 HV qui a servi à réencoller la référence aC+DEP+Cire est irrégulier, comme zébré.

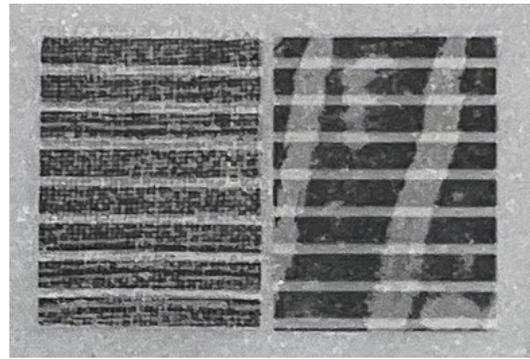


Figure 205 : Observation à travers le papier calque des zips repositionnés avec la Lascaux® 498 HV, appliqué à travers la crêpeline puis réactivés à chaud, à gauche et en film irrégulier réactivé à chaud, à droite.

Son hétérogénéité est d'autant plus visible en comparaison du même adhésif appliqué à travers la crêpeline qui montre une trame régulière. L'observation du collage à travers le papier calque permet de distinguer le moindre défaut de collage ou la plus petite irrégularité. Cela est d'autant plus vrai pour les références avec une encre couvrante ou lorsque le papier calque est posé sur une surface sombre (Figure 206).

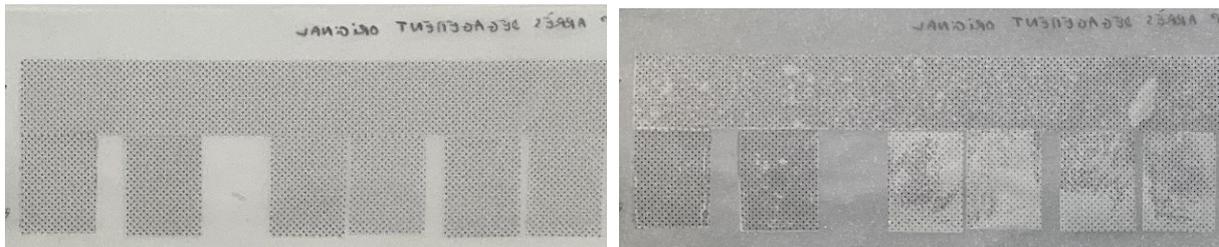


Figure 206 : Observation de la référence aC+DEP+aV sur papier calque observé par le verso, sur fond blanc et sur fond gris.

L'observation par le verso permet d'évaluer les différents critères du nouveau collage. En effet, les défauts de collage, l'homogénéité de la couche d'adhésif ainsi que sa saturation sont bien appréciables et permettent de mieux comprendre certaines observations faites par le recto. Par ailleurs, l'observation du verso permet également de juger des similitudes visuelles entre le nouveau collage et l'adhésif original. Il faut noter que les couches d'adhésif originale ne sont pas parfaitement homogènes, elles présentent des bulles et des différences de force d'application visibles d'une zone à l'autre (par des traces plus sombres) mais elles donnent néanmoins une impression de régularité, induite par leur production industrielle (Figure 207).

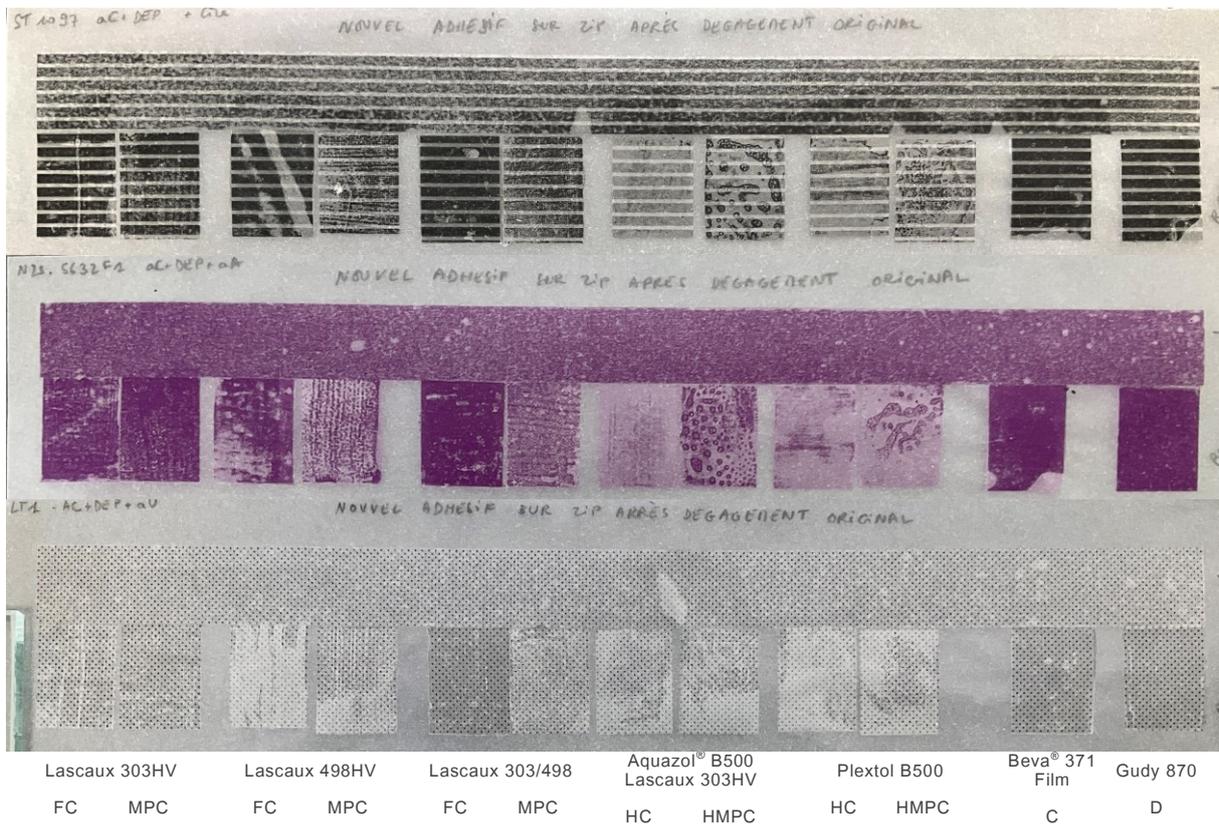


Figure 207 : Observation des trois références de haut en bas respectivement aC+DEP+Cire, aC+DEP+aA et aC+DEP+aV, sur papier calque, observés par le verso sur fond gris. Les clichés sont inversés en miroir numériquement.

Les films réalisés avec la Lascaux® 303 HV ne sont pas parfaitement homogènes mais ils présentent un aspect visuel plutôt cohérent avec celui de l'adhésif original, pouvant sûrement être amélioré par des films plus lisses. L'adhésif est trop péguéux et donne un aspect plus saturé que l'adhésif original, observé sur le témoin avec un adhésif à base de cire et celui à base d'acrylique. Cependant, sur le témoin du zip avec la cire, les zones à proximité du passage de la spatule chauffante sont plus denses visuellement. La Lascaux® 303 HV pourrait donc être visuellement satisfaisante pour des zips avec un adhésif à base de cire sur calque ayant été soumis à de la chaleur lors du tirage. Son aspect visuel est plutôt proche de l'adhésif d'origine à base de vinylique, surtout lorsque la mise en œuvre s'effectue à travers la crêpeline.

Les films de Lascaux® 498 HV réalisés par étirement présentent pour certains des défauts, précédemment mentionnés. Ces défauts ne sont ni liés à l'adhésif ni à la mise en œuvre mais sont le résultat d'une mauvaise préparation du Mylar® siliconé sur lequel le feuillet d'adhésif est préparé. L'exploitation des résultats n'est donc pas réalisable en l'état. Pour les films réalisés à travers la crêpeline, la mise en œuvre est correcte, de même que le résultat. L'aspect tramé ainsi que la densité de l'adhésif sont plutôt satisfaisants pour les films dont le zip original présente de la cire ou un adhésif vinylique. L'adhésif présente un effet blanchi : l'adhésion n'est pas efficace et la couleur du calque, observé sur un fond gris, ressort comme c'est le cas au niveau de la bulle sur l'éprouvette aC+DEP+aV.

Le mélange des deux Lascaux® présente une bonne homogénéité pour les deux types de mise en œuvre. Le mélange étiré en film est trop lisse et donne un aspect plat à l'adhésif. La part de Lascaux® 303 HV contribue à baisser la température de transition vitreuse et donne un aspect plus sombre quand l'éprouvette est observée sur un support sombre. L'application à travers la crêpeline de soie donne un résultat très satisfaisant pour toutes les références de zip.

Le mélange d'Aquazol® 500 et de Lascaux® 303 HV présente des résultats médiocres. Les éprouvettes montrent des zones blanches qui mettent en évidence les défauts d'adhésion. Par ailleurs, l'hétérogénéité de la couche d'adhésif implique des différences d'adhésion entre les zones des patons, sombres et collées, et le reste du morceau de zip, blanchi car non collé. Les défauts d'adhésion tant en termes d'homogénéité que de force, contribuent à une surface, blanchie, très éloignée visuellement des zips originaux.

Les mêmes observations peuvent être faites pour l'application du Plextol B500 suivant les deux méthodes d'application. L'adhésion n'étant pas bonne, le zip apparaît à travers le calque avec un voile blanc. L'application à travers la crêpeline donne un résultat hétérogène et visuellement très gênant.

La Beva® 371 Film offre un résultat très homogène. Cependant cet aspect très lisse et fermé ne ressemble pas du tout à l'effet produit par le zip. Cependant, comme pour la Lascaux® 303 HV, la Beva® 371 Film présente un aspect proche du témoin couvert d'un adhésif à base de cire et elle pourrait être utilisée dans le cas d'un dessin avec des zips couverts de cire, précédemment exposés à la chaleur.

Le Gudy offre une très bonne homogénéité mais comme la Beva® 371 Film, cette qualité tend à le desservir visuellement en densifiant la zone encollée plus que cela n'est le cas pour les adhésifs originaux. De même, il pourrait être utilisé dans le cas d'un dessin avec des zips couverts de cire, précédemment exposés à la chaleur.

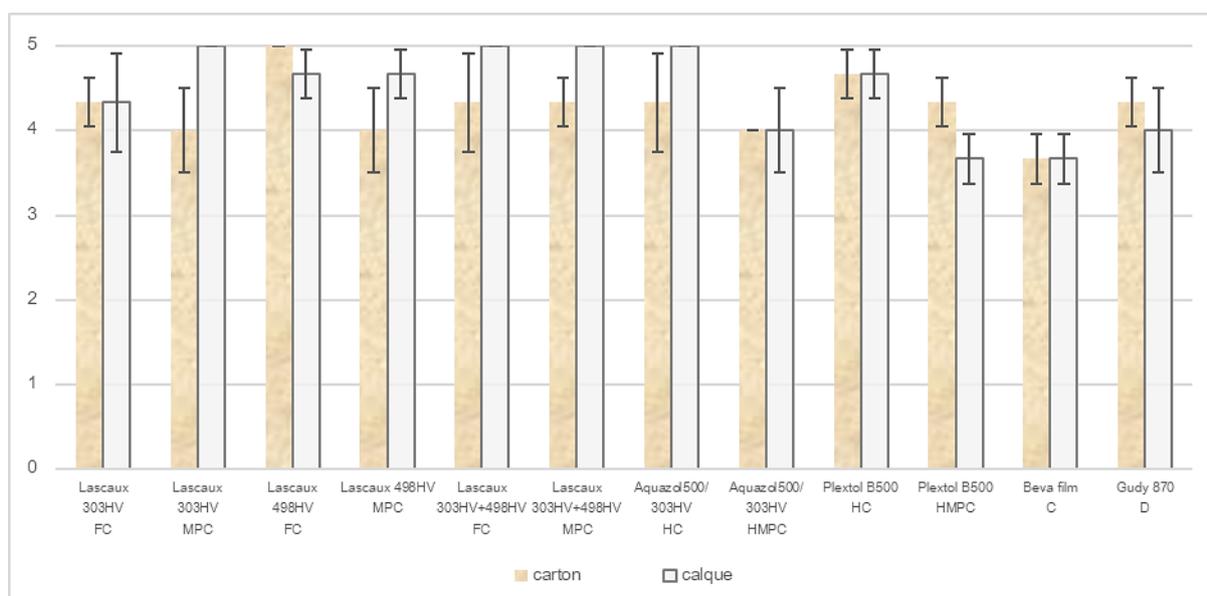
### **Résultats des tests de dérestauration (paramètres h et i)**

Les adhésifs ont été sélectionnés pour leur qualité relative à la conservation. En théorie, il est possible de démonter les films après qu'ils ont été recollés en réactivant l'adhésif. L'évaluation vise à vérifier un retrait possible et sans dommage pour le film.

#### *Dérestauration par apport de chaleur*

Dans l'ensemble, les adhésifs sont réactivables à la chaleur apportée, de 60°C par spatule chauffante insérée entre le film et le papier. Cependant, les qualités de l'adhésif peuvent rendre la dépose plus ou moins ardue, et en ce sens, plus ou moins sûre pour l'intégrité du film et du support. En effet, si l'adhésion est trop forte entre le support et l'adhésif, la rupture aura tendance à s'initier entre l'adhésif et le film plastique. Cela peut engendrer des marques et des plis du film. Si l'adhésion est plus forte avec le film, il faut s'assurer que la dépose n'engendre pas d'épidermage ou de délamination du support. Par ailleurs, les films irréguliers induisent une progression de la spatule par à-coup, ce qui peut également contribuer à marquer le plastique.

Aucun adhésif ne présente des résultats entièrement positifs selon l'échelle de valeur établie (Graphique 41). La Lascaux® 498 HV obtient la meilleure note mais cela est peut-être dû aux défauts présents sur certains des feuillets d'adhésif réalisés par étirement.



Graphique 41 : Notes de dérestauration à la spatule chauffante à 60°C, en fonction des différents adhésifs et des supports.

Les résultats sont meilleurs pour le retrait des zips lorsqu'ils sont collés sur un support calque. Cela peut s'expliquer par le caractère fermé et lisse de ce papier : l'évaluation ne prend alors en compte que les déformations du plastique et non d'éventuels épidermages. C'est l'inverse pour le retrait des zips du support carton. En effet, ce support, particulièrement fibreux et peu encollé, est plus sensible aux épidermages. Par ailleurs, il faut noter que les scores obtenus pour la retraitabilité ne différencient pas un épidermage d'une marque sur le film plastique.

La Beva® 371 Film présente les moins bons résultats quelque soit le support. Sa forte adhésion et l'épaisseur de son feuil entraîne un passage difficile de la spatule. Cette intervention assez lente augmente la chaleur reçue à un endroit ce qui contribue à ramollir le plastique et le rend plus susceptible de marquer.

Les résultats pour le Plextol B500 et le mélange Aquazol® 500/Lascaux® 303 HV appliqués liquides sont plutôt bon. Mais comme cela a été mis en évidence précédemment, ces collages offrent une faible adhésion ce qui favorise inévitablement une bonne dérestauration. En revanche, l'application à travers la crêpeline entraîne la concentration de l'adhésif liquide à certains endroits. Ce déséquilibre provoque des obstacles au passage régulier de la spatule qui mènent à la formation de plis dans le plastique à la limite de la colle.

Avec les différents types de Lascaux® et leurs applications variés, on obtient de bons résultats de dérestauration à la chaleur sur les papiers calques. Que ce soit par étirement ou à travers la crêpeline, les films obtenus réagissent bien à la chaleur et se défont en filaments souples. En revanche, les résultats sont moins homogènes pour la dérestauration des zips sur carton. Sur ce matériau de support, les fibres se soulèvent très facilement (la Lascaux® 498 HV présente le maximum de points en raison de sa faible adhésivité liée aux défauts de la mise en œuvre de son film). Sur ce support, les adhésifs Lascaux® appliqués à travers la crêpeline permettent une meilleure dérestauration qu'avec le film étiré.

Enfin, le Gudy 870 donne des résultats corrects, mais contrairement à la tendance générale, légèrement moins bons sur calque que sur carton. Cela pourrait s'expliquer par l'homogénéité de son film qui induit une sorte de succion sur le calque alors que l'adhésif se déforme sur un support poreux et fibreux comme le carton.

#### *Dérestauration par vapeurs de solvant*

Cette méthode après réalisation de l'expérimentation peut être considérée comme présentant trop de risques pour pouvoir l'envisager en restauration. Tout d'abord, les films avec une impression colorée sont sujets à des

modifications de l'encre sous l'effet des vapeurs. Certaines surfaces voient apparaître de manière spontanée des marbrures, d'autres ne semblent pas atteintes mais la moindre pression ou action mécanique avec la pince, fait bouger la couleur (Figure 208).

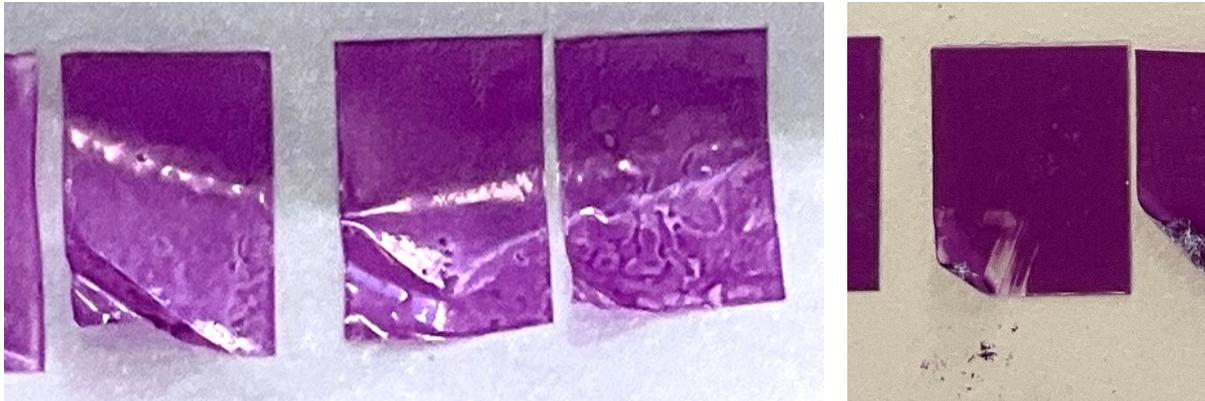


Figure 208 : Phénomène de moirage et d'étalement de la couleur imprimée à la surface du zip après exposition aux vapeurs de solvant.

Ensuite il faut noter que, sur les éprouvettes sur papier calque, le traitement de dérestauration en utilisant des vapeurs de solvant, conduit à d'importantes dégradations de la planéité de l'ensemble. Ce phénomène se produit pour les références de zip d'aC+DEP+aA et d'aC+DEP+aV (Figure 209). La contrainte sur le papier est unidirectionnelle<sup>409</sup>, plus ou moins forte suivant le pouvoir d'adhésion de l'adhésif de restauration.

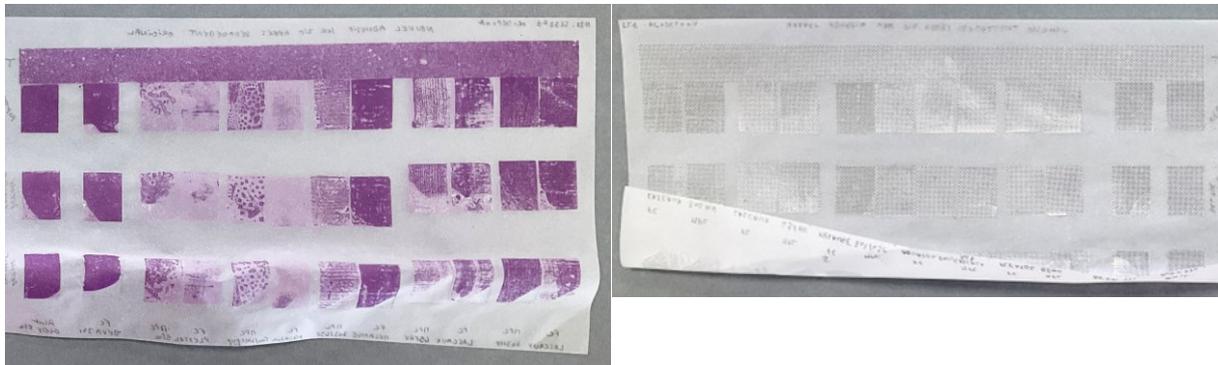


Figure 209 : Déformation dans la zone des tests de dérestauration aux vapeurs de solvants, des éprouvettes des références avec les adhésifs acryliques, vue du verso à gauche, et vinyliques, vue du recto, à droite.

Cette méthode ne peut donc pas être envisagée et les résultats de l'action des vapeurs de solvant sur l'adhésion ne sont pas exploités.

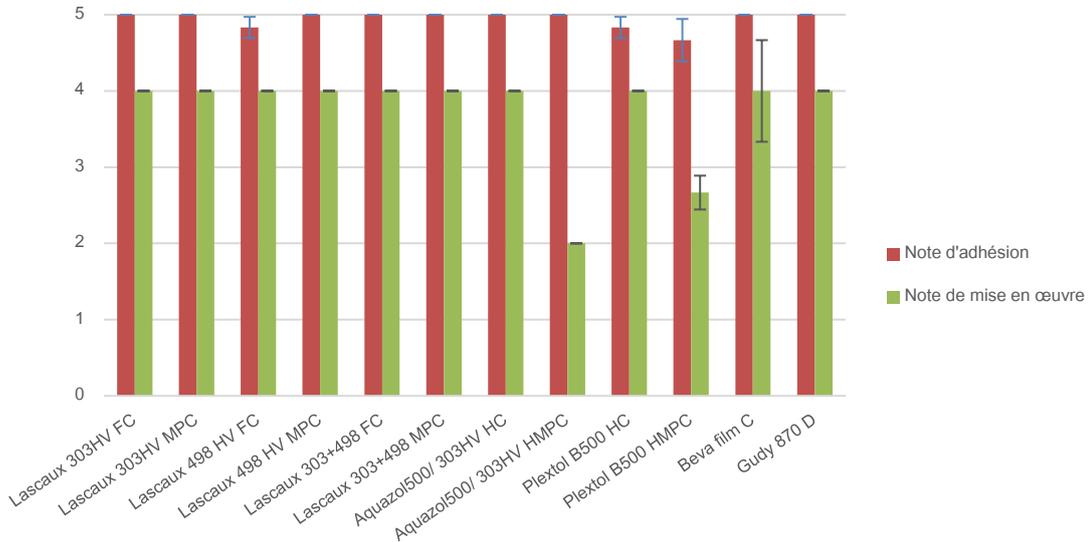
## 2. Présentation des résultats pour l'application d'un nouvel adhésif sur celui d'origine

Nous présentons les observations suivant les mêmes critères mais en nous concentrant à présent sur les zips dont l'adhésif d'origine n'est pas retiré.

<sup>409</sup> Pour rappel, tous les éléments sont coupés dans le même sens du plastique, lui-même anisotrope.

**Résultats de l'efficacité du collage et de sa mise en œuvre (paramètres a\* et f\*)**

L'évaluation de l'efficacité de l'adhésion est menée par observation de la saturation de l'éprouvette et par un test de pelage dans l'angle des éléments recollés. Pour les films sur lesquels l'adhésif original est laissé, l'adhésion se situe entre l'ancien et le nouvel adhésif, et entre le nouvel adhésif et le support. Les résultats concernant l'efficacité de l'adhésion sont donc présentés par type d'adhésif et de mise en œuvre (Graphique 42).



Graphique 42 : Résultats de l'adhésion et des mises en œuvre de collage pour les différents types d'adhésif sur l'adhésif original.

Les différentes mises en œuvre obtiennent de très bons résultats pour l'adhésion. Il faut rappeler ici que les adhésifs originaux n'ont pas été vieillis préalablement et présentent encore une bonne souplesse. Par ailleurs, la couche d'adhésif ancienne forme une surface rugueuse qui favorise probablement l'accroche mécanique du nouvel adhésif.

Les observations concernant les mises en œuvre sont sensiblement les mêmes que pour les films nettoyés. Des différences sont observables pour l'application de la Beva® 371 Film et du Gudy 870. La Beva® 371 Film glisse sur les adhésifs à base de cire, ce qui rend la pose très difficile au moment de la réactivation à la chaleur. L'application est aisée pour sa mise en œuvre avec les autres adhésifs originaux. Ces différences de comportement à la chaleur entre les adhésifs originaux expliquent l'écart type important. Le Gudy 870 présente un phénomène d'attraction avec la surface, un peu atténué quand il est présent sur des adhésifs d'origine ce qui permet une application moins difficile car mieux maîtrisée, sans que l'on puisse expliquer pourquoi.

**Résultats d'aspect visuel du collage (paramètres b\*, c\*, d\*, d\* et e\*)**

La tendance générale des résultats visuels de l'application d'un nouvel adhésif sur l'ancien adhésif sont les mêmes que pour les films nettoyés. Cependant, l'aspect visuel est amélioré, car il semble que l'application du nouvel adhésif sur celui d'origine contribue à lisser les irrégularités liées à la mise en œuvre (Figure 210).

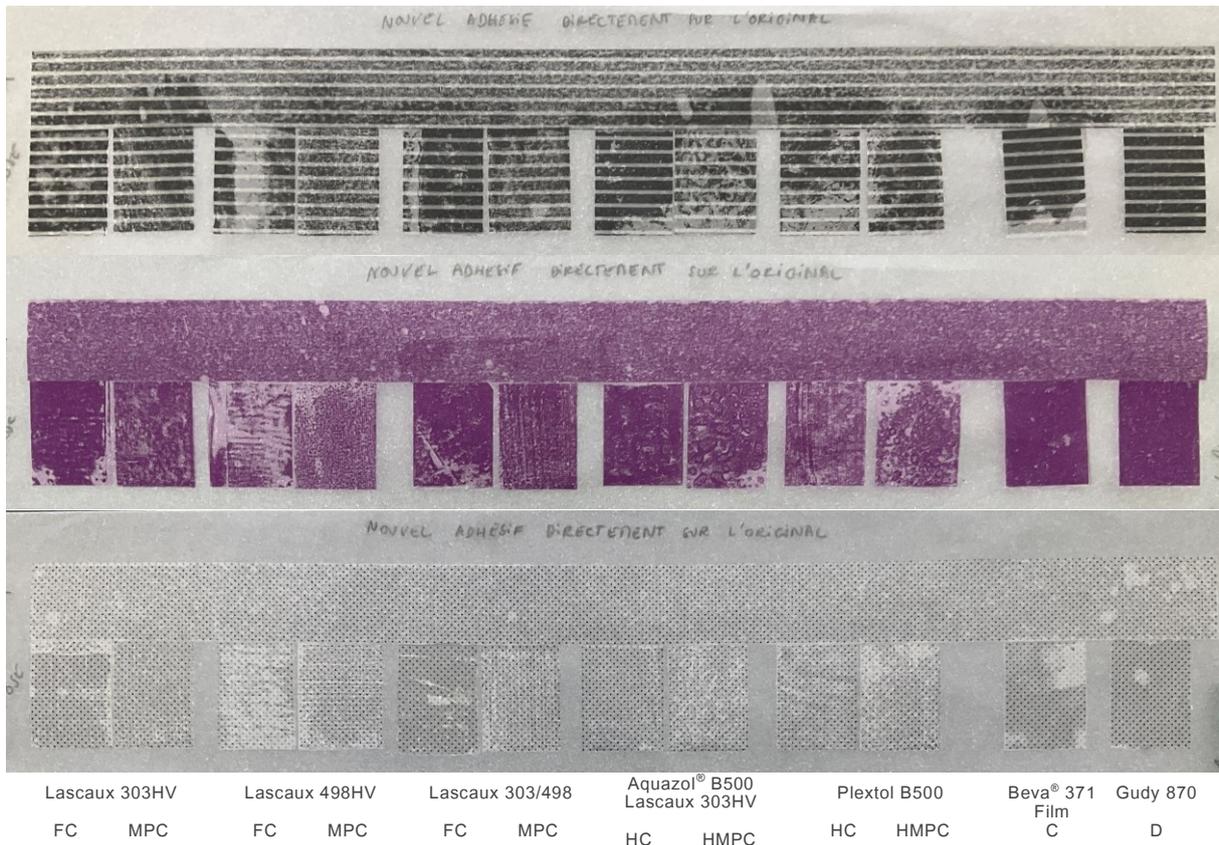


Figure 210 : Observation des trois références de haut en bas respectivement aC+DEP+Cire, aC+DEP+aA et aC+DEP+aV, sur papier calque, observés par le verso sur fond gris. Les clichés sont inversés en miroir numériquement.

Les films réalisés par étirement de la Lascaux® 303 HV ne donnent de résultats satisfaisants que pour son application sur un adhésif cireux. L'application du même adhésif à travers la crêpeline offre de bons résultats pour l'ensemble des références de zip.

Bien que certains films Lascaux® 498 HV réalisés par étirement présentaient des défauts que la présence d'un autre adhésif permet un peu de compenser, l'aspect visuel est encore très hétérogène. Pour les films réalisés à travers la crêpeline, l'aspect tramé ainsi que la densité de l'adhésif sont plutôt satisfaisants et proches visuellement des témoins de zips avec de la cire ou un adhésif vinylique, comme c'était le cas pour les films nettoyés. Cependant, le résultat pour la référence avec un adhésif acrylique est satisfaisant alors que ce n'était pas le cas pour le film nettoyé.

Le mélange des deux Lascaux® présente un aspect visuel assez bon pour l'application à travers la crêpeline mais moins satisfaisant pour les films étirés. Le mélange étiré en film est trop lisse et donne un aspect plat à l'adhésif. La part de Lascaux® 303 HV contribue à baisser la température de transition vitreuse et donne un aspect plus sombre.

Le mélange d'Aquazol® 500 et de Lascaux® 303 HV présentent une hétérogénéité et des effets de densité différents qui gênent leur appréciation visuelle et empêchent une bonne compatibilité pour les différentes références de zips. Cependant, les résultats sont moins mauvais que pour les films nettoyés.

La Beva® 371 Film et le Gudy 870 offrent des résultats très homogènes. Toutefois, comme cela avait été relevé pour les films nettoyés, cet aspect très lisse et fermé ne ressemble pas à l'effet observé sur le zip témoin. Ils pourraient être utilisés dans le cas d'un dessin avec des zips couverts de cire, précédemment exposés à la chaleur.

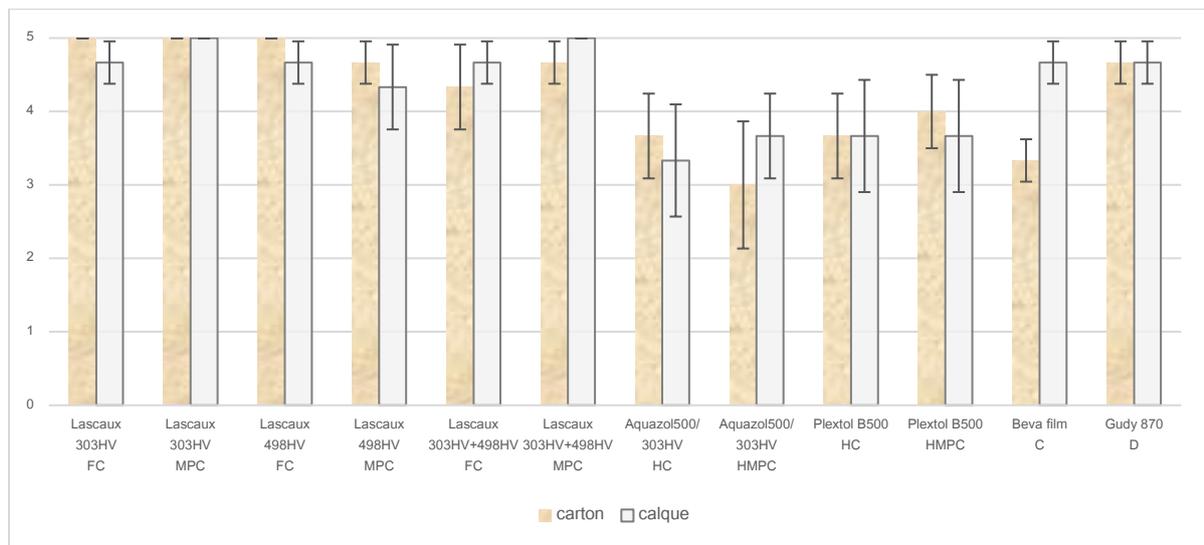
### Résultats des tests de dérestauration (paramètres h\* et i\*)

Les adhésifs ont été sélectionnés pour leur qualité relative à la conservation. Cependant, leur application sur un autre adhésif peut potentiellement induire un comportement différent ou une incompatibilité non anticipée.

#### Dérestauration par apport de chaleur

Comme cela a été mentionné précédemment, l'application d'un adhésif de restauration sur l'adhésif original du zip induit une meilleure adhésion que sur un film nettoyé. Cela est vrai dans le cadre de notre expérimentation où les adhésifs d'origine présentent encore un bon pouvoir d'adhésion et des propriétés de souplesse et de transparence tout aussi satisfaisantes. En revanche, il n'est pas possible, dans notre contexte, d'évaluer si la rupture intervient au sein de l'adhésif original, entre l'adhésif original et l'adhésif de restauration ou au sein de l'adhésif de restauration. Cette précision pourrait avoir son importance dans le cas où l'adhésif d'origine est préservé car il contient l'encre d'impression. Ainsi, il serait important d'obtenir une rupture localisée spécifiquement entre l'adhésif original et l'adhésif de restauration.

Les dérestaurations avec un apport de chaleur de 60°C à la spatule chauffante insérée entre le film et le support, donnent des résultats hétérogènes (Graphique 43).



Graphique 43 : Notes de dérestauration des films repositionnés avec leur adhésif d'origine. Test à la spatule chauffante à 60°C, présentés en fonction des différents adhésifs de restauration et des supports.

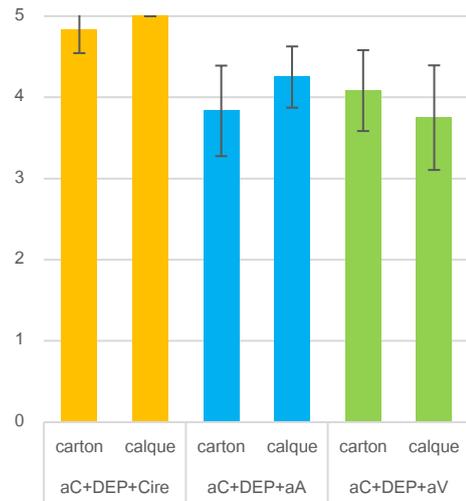
Les différentes Lascaux® permettent un retrait aisé des éprouvettes de zip, et ce quelle que soit leur méthode d'application.

Les adhésifs appliqués liquides, le mélange Aquazol® 500 et Lascaux® 303 HV et le Plextol B500, offrent une meilleure adhésion avec l'adhésif d'origine car celui-ci pallie les problèmes d'adhésion liés à l'hétérogénéité du feuil et à la réactivation à la chaleur qui n'est pas leur méthode de réactivation privilégiée. Cela induit une résistance à la dérestauration qui n'était pas observable sur les adhésifs de restauration appliqués sur le film nettoyé de son adhésif d'origine, avec une surface lisse. Cependant, comme pour les films nettoyés, la surface irrégulière du film d'adhésif induit une progression de la spatule par à-coup, ce qui contribue à marquer le plastique et explique les notes moyennes.

La Beva® 371 Film donne des résultats très différents selon que le zip se trouve sur le carton ou sur le calque. En effet, le caractère lisse du papier calque permet un passage aisé entre l'adhésif et le support, ce qui n'est pas possible avec le carton. Comme l'adhésion avec l'adhésif d'origine est très bonne, le passage de la spatule n'est pas possible ailleurs, ce qui induit des épidermages sur le support de l'éprouvette en carton.

Enfin, le Gudy 870 offre des résultats acceptables sur les deux supports.

Dans la mesure où cette expérimentation prend en compte le comportement de l'ensemble déjà étudié, avec une couche supplémentaire, celle de l'adhésif original, il est intéressant de se pencher plus particulièrement sur l'impact de la nature des adhésifs pour la dérestauration de ces films de zip (Graphique 44). Comme la proximité de leur composition pourrait le laisser présager, les références avec des adhésifs acryliques et vinyliques présentent des notes de dérestauration similaires bien que les comportements ne soient pas équivalents au regard des supports. Leur retrait entraîne de petits épidermages et des marques sur le plastique, quand les adhésifs de restauration sont l'Aquazol® 500, le Plextol B500, la Beva® 371 Film et le Gudy 870.



Graphique 44 : Notes de dérestauration à la chaleur pour les différents référents de zip sur les deux types de support.

La référence de zip avec un adhésif cireux montre des résultats excellents pour la dérestauration à la chaleur. En effet, la cire est particulièrement sensible à ce paramètre et rend la séparation avec l'adhésif de restauration très facile.

#### Dérestauration par vapeurs de solvant

Les problèmes engendrés par l'exposition aux vapeurs de solvant ont été présentés précédemment. Ils sont similaires que les références aient été nettoyés de leur adhésif ou que l'adhésif de restauration soit appliqué sur l'adhésif d'origine (Figure 211). La contrainte sur le papier est également unidirectionnelle et plus ou moins forte suivant le pouvoir d'adhésion de la combinaison adhésif de restauration/adhésif original.

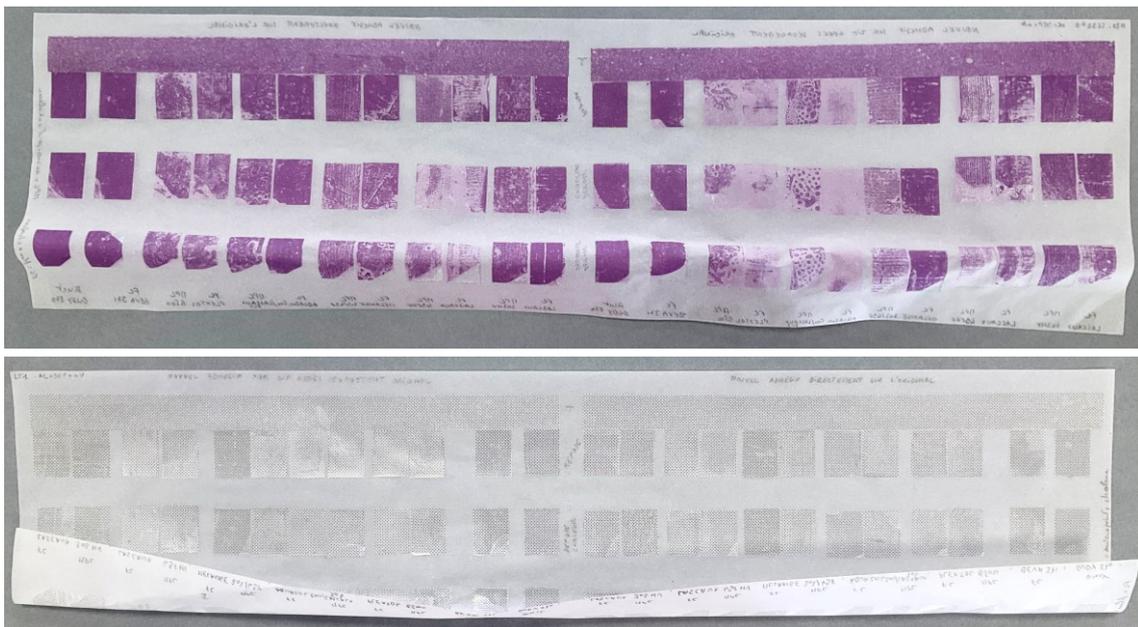


Figure 211 : Déformation dans la zone des tests de dérestauration aux vapeurs de solvants, des échantillons des références avec les adhésifs acryliques, vue du verso en haut, et vinyliques, vue du recto, en bas.

La méthode de dérestauration avec des vapeurs de solvants ne peut donc pas être envisagée et les résultats de l'action des vapeurs de solvant sur l'adhésion ne sont pas exploités.

### 3. Comparaison des résultats

L'expérimentation, précédemment décrite, a pour ambition de tenter de couvrir les différents cas de figure rencontrés au sein des collections où l'application d'un nouvel adhésif pourrait s'avérer nécessaire : une représentativité des éprouvettes du point de vue de la nature des adhésifs (cireux, acryliques ou vinyliques), des motifs (motif à l'encre noire claire, motif à l'encre noire dense et une couleur en aplat), des supports (opaque ou translucide), et de la possibilité de positionner un adhésif sur un film nettoyé ou sur l'adhésif d'origine. Par ailleurs, l'étude vise à tester une variété d'adhésifs de conservation avec différentes méthodes d'application, en privilégiant toutefois la réactivation à chaud.

Il faut noter que les conclusions de cette expérimentation sont formulées à partir des résultats obtenus pour une dérestauration à l'aide d'une spatule chauffante à 60°C. En effet, les résultats de la dérestauration à l'aide de vapeurs de solvant montrent une mise en œuvre dangereuse pour le plastique et le support.

#### **Adhésifs et méthodes d'application non retenues**

Il est possible de différencier deux groupes parmi les adhésifs testés : ceux qui ont des résultats plutôt bons et ceux qui présentent des résultats insatisfaisants sur de nombreux critères. Si les premiers peuvent être précisés en fonction des cas, les seconds peuvent déjà être éliminés des discussions. Il s'agit des adhésifs liquides, Plextol B500 et Aquazol® 500 en mélange avec la Lascaux® 303 HV, qui ont tendance à tacher le recto. Cela se produit surtout lors de l'application à travers une crêpeline, mais cela peut également s'observer quand l'adhésif est appliqué au pinceau.

Par ailleurs, la Beva® 371 Film présente un des plus mauvais scores pour la retraitabilité, elle est donc abandonnée.

Enfin, le Gudy 870 présente des résultats intéressants, bien que ses notes de réversibilité ne soient pas excellentes avec la méthode testée<sup>410</sup>. Sa mise en œuvre, envisageable pour des petites pièces ne peut nullement être transposée pour le traitement de repose de grands éléments de zip. En effet, le caractère électrostatique du produit induit une application très délicate et dont la mise en œuvre nécessite des tests complémentaires qui n'ont pas pu être menés dans le cadre de la thèse. Par ailleurs, le phénomène d'écoulement à froid observé sur les adhésifs en film réalisé industriellement, nous pousse à attendre les résultats de tests complémentaires.

Les résultats peuvent être présentés pour chaque référence de zip, et donc chaque type d'adhésif. Pour plus de clarté et de fluidité, l'ordre de présentation des supports est dicté par les exigences visuelles qu'ils imposent. Ainsi, le recollage sur un carton lisse est le cas où l'impact du type d'adhésif est le moins important visuellement alors que la repose d'un zip au verso d'un calque est bien plus sélective en termes d'adhésif. Lorsque cela n'est pas précisé, les résultats obtenus sont identiques sur les films nettoyés et sur ceux avec leur adhésif d'origine.

---

<sup>410</sup> L'expérience nous a montré que le Gudy 870, se retire bien avec un apport de chaleur au sèche-cheveu et avec une pince. Cependant, dans le contexte de cette expérimentation, le choix a été fait d'avoir une méthode par passage à l'interface d'une spatule chauffante et le pelage à la pince après expositions aux valeurs de solvant pour pouvoir comparer les deux actions et non seulement l'influence des facteurs chaleur et solvant, sur les adhésifs.

**Zip à motif sombre avec un adhésif d'origine à base de cire** (Figure 212)

**Repose sur une surface opaque et lisse :** les Lascaux® offrent une bonne retraitsabilité et sont donc à privilégier. Le choix de l'adhésif et de la méthode d'application est donc à adapter aux spécificités de l'œuvre.

**Repose sur surface opaque et fibreuse :** les Lascaux® offrent également une bonne retraitsabilité. Il est préférable de s'orienter vers la Lascaux® 498 HV ou un mélange de celle-ci. En effet, sa température de transition vitreuse et sa viscosité induisent à température ambiante, un feuil souple, résistant mais pas pégueux, moins susceptible de se lier aux fibres du support et donc plus aisé à retirer.

**Repose sur une surface transparente et lisse :** la transparence du support entraîne une meilleure appréciation de la saturation optique apporté par l'adhésif, et cela même pour un zip collé au verso d'un calque. Que ce soit pour un zip collé au recto ou au verso, les Lascaux en film réalisé par étirement donnent un aspect trop sombre au collage. Les meilleures solutions sont la Lascaux® 498 HV et le mélange des deux Lascaux® 303 HV et 498 HV appliqués à travers la crêpeline. La Lascaux® 303 HV seule appliquée en trame induit tout de même cet effet saturé. Sans doute en raison de sa viscosité importante.

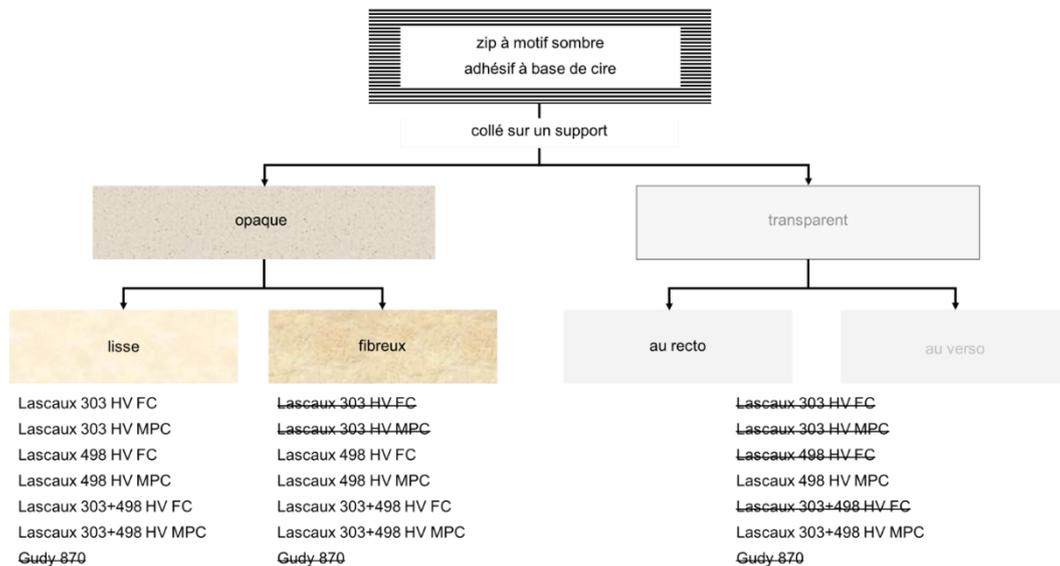


Figure 212 : Récapitulatif des résultats de l'expérimentation d'application d'un nouvel adhésif, pour la référence avec un motif sombre et un adhésif d'origine à base de cire.

**Zip à motif clair avec un adhésif d'origine à base vinylique** (Figure 213)

**Repose sur une surface opaque et lisse :** l'application des différentes Lascaux® à travers la crêpeline donnent de bons résultats. Ceci est également vrai pour la Lascaux® 498 HV étirée en film. Les films à base de Lascaux® 303 HV pure ou en mélange n'offrent pas une réversibilité satisfaisante.

**Repose sur une surface opaque et fibreuse :** les Lascaux® appliquées en trames offrent une moins bonne réversibilité. Les Lascaux® 303 HV et 498 HV, étirées en film sont satisfaisantes visuellement et permettent une dérestauration. Elle est plus aisée avec la Lascaux® 498 HV.

**Repose au recto d'une surface transparente et lisse :** le mélange des Lascaux® apparaît comme trop jaune. La Lascaux® 498 HV, étirée en film et appliquée à travers une crêpeline, présente une bonne adéquation visuelle avec le zip témoin. Par ailleurs, les deux applications offrent une bonne retraitsabilité. La Lascaux® 303 HV donne un film visuellement satisfaisant mais dont le retrait est moins aisé.

**Repose au verso d'une surface transparente et lisse :** les adhésifs appliqués en trames sont privilégiés. Les Lascaux® pures donnent de bons résultats tandis que le mélange des deux est un peu jaune. Lorsque l'adhésif

d'origine est encore présent, il est possible de rajouter l'Aquazol® 500 en mélange avec la Lascaux® 303 HV qui offre une bonne proximité visuelle mais peut présenter plus de difficulté de retraitabilité.

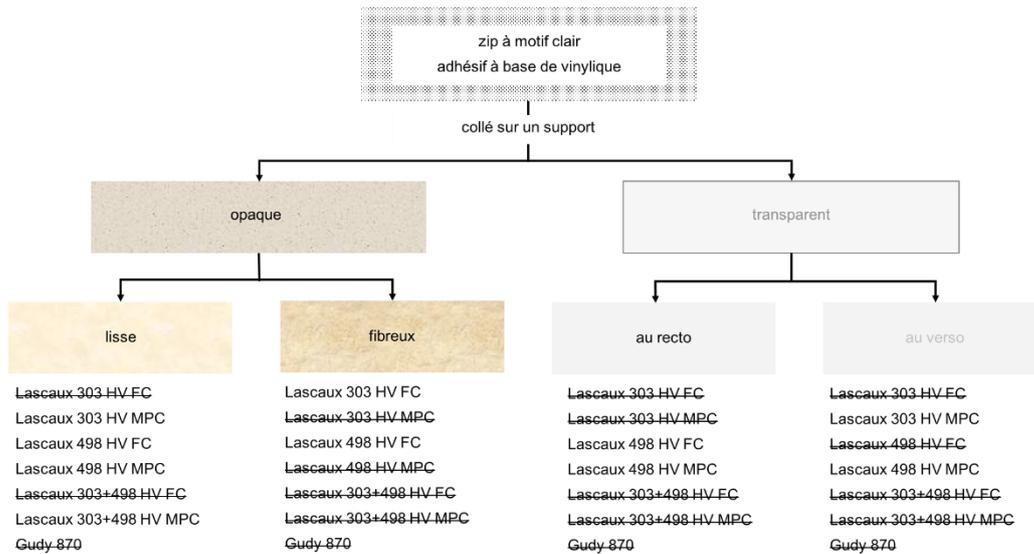


Figure 213 : Récapitulatif des résultats de l'expérimentation d'application d'un nouvel adhésif, pour la référence avec un motif clair et un adhésif d'origine à base vinylique.

**Zip à motif couleur avec un adhésif d'origine à base acrylique (Figure 214)**

**Repose sur une surface opaque :** les Lascaux® 303 HV et 498 HV, étirées en film, donnent les résultats les plus satisfaisants, tant d'un point de vue optique que de retraitabilité.

**Repose au recto d'une surface transparente et lisse :** les différentes Lascaux® et méthodes d'application sont similaires en termes de résultats. Lorsque l'adhésif d'origine est présent, les Lascaux® en mélange induisent un assombrissement.

**Repose au verso d'une surface transparente et lisse :** l'application en trame des Lascaux® 303 HV et du mélange des deux Lascaux® donnent les meilleurs résultats. La Lascaux® 498 HV appliquée à travers la crêpeline, offre également des résultats satisfaisants quand l'adhésif d'origine est laissé sur le zip.

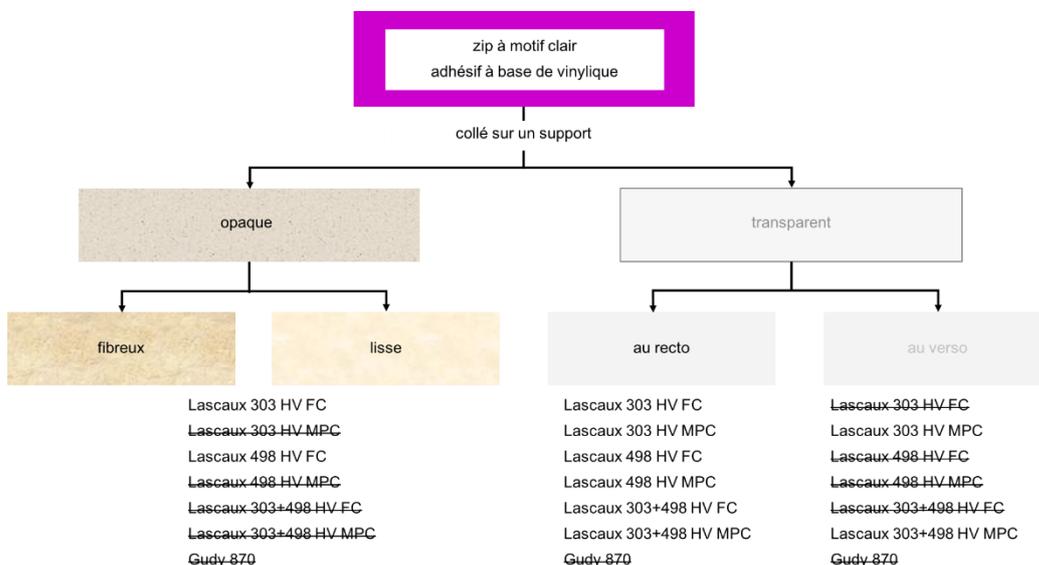


Figure 214 : Récapitulatif des résultats de l'expérimentation d'application d'un nouvel adhésif, pour la référence avec un aplat de couleur et un adhésif d'origine à base acrylique.

### **Conclusion relative à la sélection d'adhésif de restauration**

La sélection d'un adhésif adapté tant d'un point de vue de conservation que d'aspect permet, au regard de ses conclusions d'obtenir un éventail de solutions pour lesquels des paramètres jugés primordiaux ont été testés. Cependant, nous ne doutons pas que cette liste d'adhésifs et de mises en œuvre, si elle est déjà longue, ne sera pas forcément adaptée à tous les cas de figure et certaines œuvres nécessiteront de nouveaux tests. C'est le propre de la conservation-restauration – et une des raisons pour lesquelles ceux qui font ce métier le choisissent. Ces tests de sélection d'un adhésif présentent des conclusions pour les cas particuliers où ils sont évalués. Mais, les critères conduisant à leur sélection ou non, peuvent se poser en guide, non exhaustif, pour la recherche de nouveaux adhésifs, si ceux testés au cours de cette étude ne convenaient pas à la particularité d'une œuvre.

#### **Résultats :**

- **Les Lascaux 303 HV, 498 HV et en mélange, appliquées en film étiré ou à travers une crêpeline de soie offrent un bon éventail de résultats visuels pour les différents cas de figure présentés. Par ailleurs, en les adaptant au support, ils permettent une dérestauration satisfaisante.**
- **La réactivation de l'adhésif de restauration à l'aide de vapeurs de solvant s'avère dangereuse pour le zip et le support.**
- **Le Gudy 870 et la Beva® 371 Film peuvent être tentant pour leur homogénéité et leur simplicité d'emploi. Cependant, dans le cas des zips leur retraitabilité n'est très bonne, et dangereuse pour des films fragiles et leur aspect au verso ne fonctionne que pour quelques cas.**

## Conclusion générale du traitement des soulèvements

La volonté de trouver un traitement pouvant être appliqué sans danger dans les collections et ce, sans savoir précisément le type de plastifiant des films ou la nature des adhésifs est ambitieuse. En effet, une recherche pour définir un protocole pour le retrait d'un adhésif et la repose de ce même élément décollé est déjà en soi un long travail, s'échelonnant sur plusieurs étapes. Se confronter à six combinaisons de matériaux (film et adhésif) démultiplie d'autant les éprouvettes, les paramètres à observer et les données des résultats à exploiter. De plus, au-delà des références testées pour rendre compte des différentes compositions chimiques, il faut rappeler que l'aspect des zips testés (motif ou couleur) induit encore d'autres spécificités à prendre en compte. C'est pour ces raisons que le protocole présenté est étiré en étapes successives, chacune visant à fractionner et isoler les nombreux paramètres pour rendre l'approche plus pragmatique et tenter de simplifier l'ensemble, particulièrement complexe, des critères étudiés.

Par ailleurs, il n'est jamais question de trouver une solution de traitement à appliquer systématiquement sur des matérialités diverses. Ainsi, la multiplication des produits sélectionnés au départ des tests de retrait de l'adhésif et de la sélection d'un adhésif de restauration, vise à couvrir l'ensemble des spécificités des différents zips pour garantir l'émergence de solutions adaptées à la variété des cas.

Enfin, la dernière difficulté à surmonter, au-delà de celle de l'exploitation des résultats, est celle de leur présentation. En effet, la multiplication des paramètres implique une masse de données. Leur présentation par combinaison de composition chimique a été écartée ici au profit de résultats synthétisés, plus digestes sans nul doute pour le lecteur mais qui, dans le même temps, perdent un peu la subtilité des cas de figure. Cependant, les données, si leur présentation est parfois lisse, ont été analysées avec rigueur et méticulosité pour s'assurer que la sécurité des zips et des supports, prime avant tout.

### Ce qu'il faut retenir de ce chapitre

- Le protocole de retrait chimique de l'adhésif est réalisé en plusieurs étapes, permettant de préciser la solubilité des matériaux constitutifs du zip, les solvants adaptés et les méthodes d'application.
- La méthode sélectionnée pour des résultats optimaux : sur un buvard et sur table aspirante, application sur l'adhésif avec un coton tige imbibé de solvant, et retrait du solvant et de l'adhésif gonflé à l'Evolon®.
- Les trois mélanges utilisables pour retirer l'adhésif sans dommage sur le film ou l'encre : isopropanol/Shellsol D40 (25 :75) ; DEC/Shellsol D40 (50 :50) ; KSG/D5 (50 /50) + alcool benzylique à 30%
- La repose du zip est possible à l'aide des adhésifs acryliques Lascaux 303 HV et 498 HV, réactivés à chaud après une application en film ou en trame. Ils s'adaptent bien à l'aspect du zip qu'il soit collé sur support opaque ou translucide, sur le recto ou le verso. Ils offrent une dérestauration satisfaisante à la chaleur.

## CHAPITRE 7 : PROTOCOLE DE TRAITEMENTS DES PHENOMENES DE RETRACTION

---

La remise à plat des œuvres d'art est une pratique courante en conservation-restauration des œuvres bidimensionnelles. Aucun traitement n'est toutefois systématique et une telle intervention ne peut être envisagée sans l'évaluation préalable du rapport gain/risque et de la pertinence d'une telle intervention. La mise à plat peut être obtenue par pression ou par tension. L'intervention de remise à plat peut être précédée ou accompagnée d'une relaxation des matériaux par augmentation de l'humidité relative, apport de chaleur ou les deux cumulés. En restauration des œuvres sur papier, le choix se porte dans la majorité des cas, sur un apport d'humidité et celui-ci se fait en fonction de la technique graphique, du type de support et de l'aspect des déformations de la planité<sup>411</sup>.

L'idée même de mettre en tension un film d'acétate de cellulose, matériau sensible à la déchirure, peut ne pas sembler judicieuse ou pertinente. Cependant le papier est un matériau sensible à la déchirure et pourtant l'expérience a démontré que dans certains cas et dans des contextes bien particuliers, la mise en tension est envisagée, engagée et ses résultats tout à fait satisfaisants.

Par ailleurs, la mise à plat de systèmes non démontés au préalable semble compromise par la présence de couches de différentes épaisseurs et réagissant différemment, liées par un collage. Dans la pratique, il est préférable, quand cela est possible de dissocier les éléments et de les mettre à plat séparément pour ensuite les remonter. Ainsi, le traitement est pérenne et ne risque pas d'engendrer des contraintes là où l'intervention de conservation-restauration vise à les calmer.

Dans le contexte de cette recherche, avec l'accès à l'échantillonnier et la possibilité de faire des tests représentatifs, il semble intéressant de tenter l'expérience (Figure 215, encadré rouge). En effet, dans le cas du zip, la mise en tension et la mise à plat sans démontage semblent être les réponses aux problèmes rencontrés (perte dimensionnelle et déformation avec une bonne adhésion). Mais, dans le même temps, elles ne semblent ni réalisables ni pertinentes d'un point de vue du risque qu'elles présentent (déchirure du film, dans un cas et création de tensions dans la matière, dans l'autre). Par ailleurs, dans le cas où de tels traitements sont entrepris, il est nécessaire d'évaluer différents paramètres pouvant favoriser le traitement.

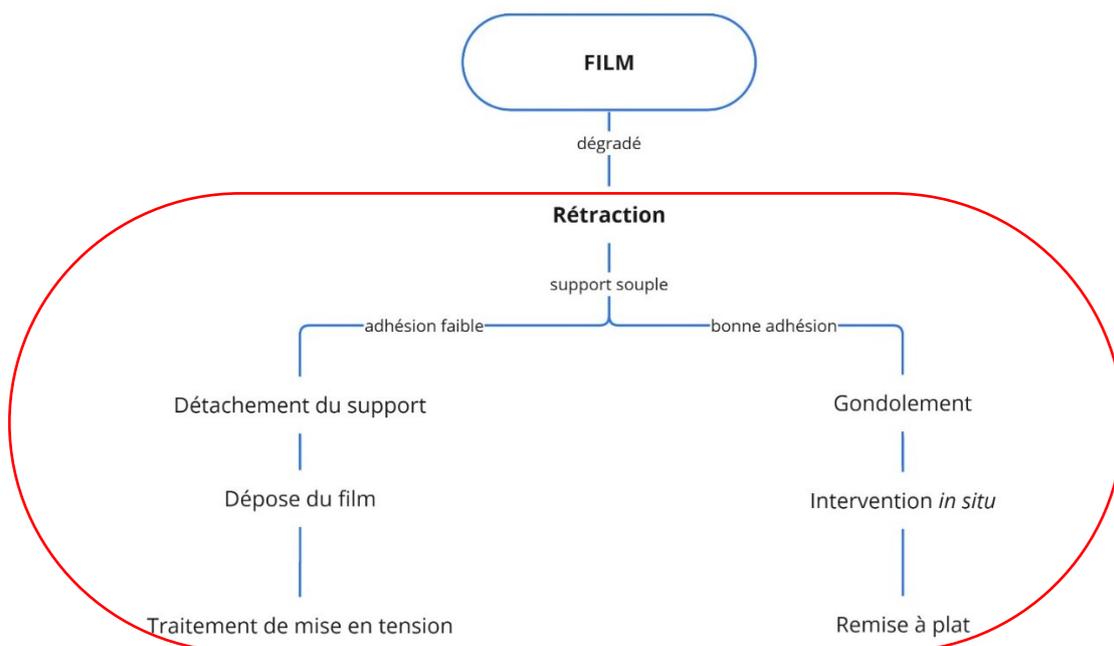


Figure 215 : Diagramme des étapes successives pouvant être envisagées dans le traitement des rétractions.

<sup>411</sup> MUÑOZ-VIÑAS S., 2006, *op. cit.*

## I. État de l'art

L'acétate de cellulose est un des premiers matériaux synthétiques étudié par souci de conservation et recherche de solutions de restauration. En effet, les films et négatifs photographiques sont parmi les premiers matériaux plastiques commercialisés. Composés de nitrate de cellulose dans un premier temps<sup>412</sup>, rapidement remplacés par l'acétate de cellulose, dans les années 1910<sup>413</sup>, pour ses propriétés ininflammables, ces matériaux suscitent des travaux de recherche pour comprendre leur dégradation, dès les années 1950<sup>414</sup> et trouver des solutions de conservation-restauration dès les années 1980<sup>415</sup>.

La littérature dédiée au traitement des films d'acétate de cellulose est donc principalement tournée vers le patrimoine photographique. Cependant, ces dernières années, elle s'est enrichie de productions s'intéressant aux objets fabriqués avec de l'acétate de cellulose en film, aux rubans adhésifs et autres<sup>416</sup>. Par ailleurs, la littérature s'intéresse principalement à des problématiques de remise à plat et ne traite pas d'essai de « redimensionnement » bien que le terme se rencontre.

### A. Traitement des films et négatifs photographiques en acétate de cellulose

Les traitements de films en acétate de cellulose, dans la littérature, sont principalement dédiés aux négatifs photographiques et aux pellicules de film. La proximité de leur nature avec les films de zip implique que l'on s'y intéresse dans le contexte du traitement des rétractions. Il existe deux cas de figures principaux : les bobines de film dont la rétraction interdit de les dérouler et donc de les lire, et le cas des négatifs dont la rétraction est telle qu'elle déforme l'acétate et empêche la compréhension de l'image visible en transparence.

#### 1. Détendre le film

Les écrits concernant le déroulement des bobines parlent de « *de-shrinking* » (dé-rétraction) ou de « *re-dimensioning* » (redimensionnement)<sup>417</sup>. Le déroulement des bobines de film est dans de nombreuses études, entrepris en chambre humide<sup>418</sup> ou dans une chambre à solvant (utilisant notamment le mélange

<sup>412</sup> HYATT John W., HYATT Isaiah S., "Improvement in Treating and Molding Pyroxylin", 1870, U.S.P.O.105,338.

<sup>413</sup> CAMEO Materials Database, Museum of Fine Arts Boston, article *Cellulose acetate*. L'acétate de cellulose est découvert en 1865 par Paul Schutzenberger, breveté en 1894 et commercialisé par la suite par les sociétés Eastman Kodak et Dreyfus.

<sup>414</sup> CALHOUN J.M., « Storage of Nitrate Amateur Still-Camera Film Negatives », dans *Journal of the Biological Photographic Association*, vol.21, n°3, 1953, p. 1-13.

<sup>415</sup> HORVATH David, "The Acetate Negative Survey, Final Report", dans *Topics in Photographic Preservation*, volume 2, 1987, p. 25-39.

<sup>416</sup> Les publications concernant les *cellulos* d'animation, ne mentionnent pas de phénomènes de rétraction que ce soit le projet de recherche entre le Walt Disney Animation Research Library et le Getty Conservation Institute : HOEYNG Katharina, ETYEMEZ Suzanna, MAZUREK Joy et al. « Observations from a condition survey of Walt Disney animation cels », dans *Postprints American Institute for Conservation of Historic and Artistic Works. Paintings Specialty Group*, vol 29, 2016, p. 155-168 et HOEYNG Katharina, ETYEMEZ Suzanna, McCORMICK Kristen et al., "Curling, ripples, dimples: observations from a condition survey of animation cels", dans *Studies in Conservation* 61.2-Supp, 2016, p. 294-296 ; ou encore le mémoire de fin d'étude LEMAIRE Bataille, *Les Maîtres du Temps, 1982, Pannonia Studio (Budapest) : étude et traitements de conservation de 32 celluloses d'animation produits pour le dessin animé Les Maîtres du Temps de René Laloux (Paris, Cinémathèque française). Recherche d'un matériau adapté à la conservation des celluloses d'animation*, Mémoire de fin d'étude, Paris : Institut national du patrimoine, 2020, 252 p.

<sup>417</sup> SILVA Joana, GARRUCHO Sandra, CARVALHO Filipa, "Unveiling Roland Oliveira's photographic images: development of an unrolling and flattening treatment for silver gelatine 35 mm negative films", dans *Conservar Património*, vol. 39, 2022, p.74.

<sup>418</sup> PIETSCH, Katrin, "Flattening Rolled Negatives on Filmbase", dans *Photographic Preservation*, n°16, 2015, p. 245-256.

eau/glycérol/acétone<sup>419</sup>) puis fixé par une mise sous poids. Cependant, il semble que, dans les différentes études, l'assouplissement du film nécessaire à son déroulement ne perdure pas dans le temps<sup>420</sup>. Certaines études cherchent à définir des conditions de traitements qui permettent la stabilisation définitive du film. Ainsi, il semble que « quelques heures » en chambre ne suffisent pas<sup>421</sup> : il faut plus de 24h en chambre dans l'étude de Silva *et al.*<sup>422</sup> et jusqu'à plusieurs semaines dans l'étude de Read et Meyer<sup>423</sup> pour obtenir une mise à plat pérenne.

## 2. Remise à plat

Pour obtenir la remise à plat d'un film qui présente des déformations, les différentes études évoquent la possibilité d'intervenir avec une mise sous contrainte ou une mise sous poids du film. Cela est proposé à la suite de la détente du matériau en enceinte d'humidification. Différentes méthodes de mises en contraintes sont comparées : les éprouvettes sont soit suspendus avec un poids, soit enroulées sur des supports plus larges que leur diamètre initial ou encore elles sont installées sur une structure favorisant leur extension<sup>424</sup>. Les résultats obtenus dans le cadre de cette étude montrent que la mise en contrainte avec un poids provoque des déformations perpendiculaires au sens d'enroulement, en demi-tube. Cette publication ne donne pas d'information précise concernant la masse du poids, le temps d'humidification et de séchage sous contrainte, l'humidité de la chambre et la solution saline utilisée pour l'atteindre. Cependant, elle met en garde sur les déformations pouvant être provoquées par une mise en tension.

L'étude de Silva<sup>425</sup> basée sur celle de Lopes<sup>426</sup> a recours à la mise à plat sous poids de 48h à la suite de l'humidification pour l'obtention de résultats jugés satisfaisant.

Par ailleurs, l'étude des caractéristiques et propriétés du zip réalisée par Marie Poisbelaud avec Jean-Pierre Couvercelle, présente des valeurs en traction meilleures que ce que la finesse du matériau ne laisse supposer<sup>427</sup>. En effet, leur étude montre que 1 m<sup>2</sup> de zip peut supporter jusqu'à environ 4 kg soit 41 N.m<sup>2428</sup>.

## 3. Dépose du support : le cas extrême des négatifs

Le phénomène de rétraction sur les négatifs peut être si important que l'image n'est plus lisible. Dans ce cas-là, l'intervention envisagée pour le sauvetage de l'image est de séparer la couche d'émulsion porteuse de l'image (gélatine) du support en acétate<sup>429</sup>. Le négatif est plongé dans un bain d'eau/éthanol et/ou acétone qui permet la séparation entre la couche d'émulsion gélatineuse et la pellicule de plastique. Le plastique peut être retiré et la couche d'émulsion sortie du bain sur un support siliconé pour être laissée à sécher à l'air libre puis reconditionnée sur un support transparent et pérenne. Ce traitement est extrêmement invasif et risqué. Il n'est

---

<sup>419</sup> GREEN, L. A., 'Retirement Can Be a Profitable Pastime', dans *Society of Motion Picture and Television Engineers Journal*, 1983, p. 951-953 ; READ Paul, MEYER Mark-Paul, *Restoration of Motion Picture Film*, Oxford : Butterworth-Heinemann, 2000, 368 p. ; LOPES Sandra, *Metodologias de tratamento em Microfilmes de Acetato de Celulose: Coleção da Filmoteca Ultramarina Portuguesa*, Master dissertation, Department of Conservation and Restoration, Lisbonne: Universidade Nova de Lisboa, 2014 et SILVA J., *et al.*, 2022, *op. cit.*

<sup>420</sup> HILL G., 2020, *op. cit.*

<sup>421</sup> LOPES, S., 2014, *op. cit.*

<sup>422</sup> PIETSCH, K., 2015, *op. cit.*

<sup>423</sup> READ P., MEYER M.-P., 2000, *op. cit.*

<sup>424</sup> PIETSCH, K., 2015, *op. cit.*

<sup>425</sup> SILVA J., *et al.*, 2022, *op. cit.*

<sup>426</sup> LOPES, S., 2014, *op. cit.*

<sup>427</sup> POISBELAUD M., COUVERCELLE J.-P., 2018, *op. cit.*, pp.21-28.

<sup>428</sup> La mise en contrainte en atelier, pour vérifier que cette valeur pouvait correspondre aux zips à disposition, a montré que l'éprouvette supporte jusqu'à 2 kg. Au-delà de ce poids, c'est le système de mise en contrainte qui ne tient pas.

<sup>429</sup> PIETSCH, K., 2015, *op. cit.*

à envisager que dans le cadre de sauvetage pour des artefacts de grandes valeurs<sup>430</sup>. Il reviendrait dans le cas des zips à réussir à déposer la couche imprimée du film. Cette intervention ne semble pas envisageable dans le cas des zips, d'un point de vue éthique ou technique.

#### 4. Impact des traitements aqueux

La dégradation intrinsèque des acétates de cellulose fait également l'objet de recherche en vue de les stabiliser, au-delà des recherches et préconisations en conservation préventive, pour tenter d'endiguer l'hydrolyse et prévenir l'arrivée au point d'autocatalyse. En effet, il est admis que l'un des principaux phénomènes de dégradations de l'acétate de cellulose est la désacétylation par hydrolyse chimique induite en présence d'eau et/ou d'acides<sup>431</sup>. Dans l'étude de Johansen et Johnsen<sup>432</sup>, il est question de l'impact des bains sur la conservation des films et négatifs, que ce soit au moment de leur développement ou pour des tentatives de retrait d'acidité. Les conclusions de l'étude sont tirées au regard de la production d'acide par le film. Pour un film neuf, l'impact de l'eau en bain est bénéfique. En revanche pour les films vieillis, l'immersion augmente la production d'acide par rapport à des films non-immergés, et, plus les films sont vieux, plus la dégradation survient rapidement après le bain.

Il faut noter que l'impact des traitements en chambre humide n'est pas évoqué ni même abordé alors que l'influence de l'humidité sur la dégradation du matériau est bien connue<sup>433</sup>.

## B. Traitement d'objets en acétate de cellulose

La dégradation des objets en acétate de cellulose est un problème récurrent et pour le moment insoluble<sup>434</sup>. Cependant, les objets soulèvent des questions différentes de celles d'objets bidimensionnels comme les films ou les plaques d'acétate de cellulose, conservés dans des collections d'arts graphiques, de livres ou encore de mobiliers. C'est pourquoi l'étude de la littérature se concentre précisément sur les acétates de cellulose en feuille, éventuellement présents sur des œuvres mais ne s'aventure pas vers les objets en acétate de cellulose.

#### 1. Traitement à la chaleur

Plusieurs études présentent un intérêt pour le traitement des zips à travers celui de films et feuilles d'acétate de cellulose de différentes épaisseurs par un apport de chaleur. Les matériaux évoqués sont plus épais que le zip, dont l'épaisseur pour rappel est d'environ 35 µm. Une étude sur un livre de Lourdes Castro, composé de feuilles d'acétate de 120 µm d'épaisseur, porte sur des essais d'aplanissement réalisés sur des éprouvettes de matériaux donnés par l'artiste<sup>435</sup>. Les mises à plat des éprouvettes sont réalisées sous presse à dorer, à 70°C pendant 30 secondes et avec une plastifieuse, à 85°C pendant 10 secondes. Le résultat avec la presse est infructueux car la température n'est pas uniforme mais les résultats avec la plastifieuse sont satisfaisants pour

---

<sup>430</sup> HILL G., 2020, *op. cit.*

<sup>431</sup> HILL G., 2020, *op. cit.*

<sup>432</sup> JOHANSEN K.B., JOHNSEN J.S., 2006, *op. cit.*

<sup>433</sup> CUDELL A., *et al.*, 2011, *op. cit.*

<sup>434</sup> MOSSMAN S., ABEL M.-L., "Testing treatments to slow down the degradation of cellulose acetate", in *Plastics. Looking at the future and learning from the past*, postprint Conference au Victoria and Albert Museum, 23–25 Mai 2008, Londres : Archetype Publications, 2009, p. 106–119.

<sup>435</sup> CUDELL A., *et al.*, 2011, *op. cit.*

les films seulement gauchis. Les déformations reviennent cependant rapidement pour les films les plus dégradés. Le mémoire de fin d'étude d'Olivier Béringuer décrit les traitements à la chaleur entrepris pour des feuilles d'acétate de cellulose de 3,5 mm d'épaisseur<sup>436</sup>. Son étude cherche à remettre à plat les feuilles d'acétate déformées à l'aide de chaleur apportée par une lampe infrarouge, à deux températures 50°C et 80°C et de comparer les effets des deux températures sur la structure chimique du matériau. Les remises à plat sont, dans le mémoire, uniquement réalisées sur des éprouvettes. La remise à plat est effective dès 50°C, température qui n'induit pas de dégradation sur le long terme comme cela semble le cas à 80°C. L'étude ne donne cependant pas d'échelle de durée. Les résultats de cette étude ont été repris pour la remise à plat de film de triacétate de cellulose plié<sup>437</sup>. Cette intervention avait été menée avec une spatule chauffante pour ajouter de la pression localisée : 50°C et autant de passages que nécessaire pour résorber le pli à travers un Mylar® de 100 µm d'épaisseur.

### 2. Croisement des approches

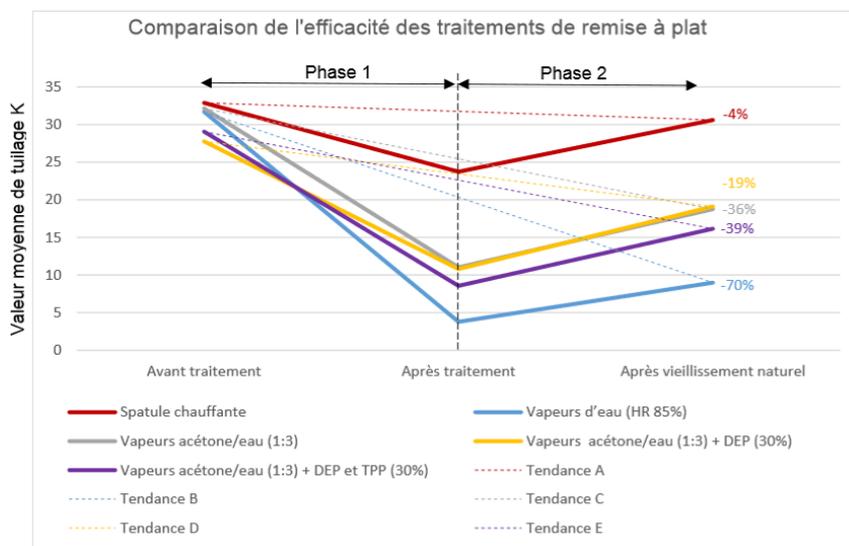
En 2018, Laury Grard intervient sur un étui de livre, création de Rose Adler, couvert d'un papier pelliculé d'un acétate de cellulose<sup>438</sup>. Son papier est soulevé et l'objectif est de le réappliquer sans risquer de casser la couche d'acétate. Son protocole fait une synthèse des interventions et tests trouvés dans la littérature pour traiter des éprouvettes tuilées. Ainsi, elle met en regard des traitements à la chaleur (lampe infrarouge, spatule chauffante), par vapeurs de solvants (eau, mélange acétone/glycérol/eau, mélange acétone/eau) et avec ajout de plastifiants par vapeurs de solvants. La première phase de tests permet de sélectionner ou préciser les paramètres évalués : la lampe infrarouge n'induit pas assez d'action pour ces éprouvettes, elle est donc écartée ; la spatule chauffante est sélectionnée ; une humidification à 85% (vapeurs d'eau) durant 8 h, est choisie au vue des résultats des enceintes à 97% et 74% (1h, 8h et 24h) et enfin l'emploi des vapeurs de solvant acétone/eau (1/3 : 2/3) pures et avec ajout de plastifiants (un avec du phtalate de diéthyle seul et un avec du phtalate de diéthyle 1/3 et phosphate de triphényle 2/3 en mélange) pendant 8h. A l'issue de ces différents tests, les éprouvettes sont placées sous poids pendant 12 jours puis laissées à l'air libre pendant 2 semaines afin d'évaluer le retour des déformations (Graphique 45).

---

<sup>436</sup> BERINGUER Olivier, « Etude de l'influence d'un traitement thermique de remise en forme sur le processus de la dégradation chimique d'une matière à base d'acétate de cellulose », in *Conservation-restauration des biens culturels*, n°21, 2003, p.47-50.

<sup>437</sup> CINQUALBRE Marion, « Saci de Tomi Ungerer : la restauration du film plastique d'une maquette d'affiche publicitaire », in *Patrimoine*, n°9, Paris : Editions de l'Epure, 2013, p.156-159.

<sup>438</sup> GRARD Laury, CINQUALBRE Marion, DURANTON Maroussia, « Rose Adler, la plastique du livre. Les films d'acétate de cellulose déformés : recherche d'un protocole de traitement curatif autour du cas de tableau de la mode », dans *Support/Tracé*, n°19, 2020, p.107 – 115.



Graphique 45 : Comparaison de l'efficacité des traitements de remise à plat selon la norme du tuilage. ©LauryGrard<sup>439</sup>

Les meilleurs résultats sont obtenus en chambre humide à 85°C (vapeur d'eau). Par ailleurs, le suivi réalisé avec des mesures en spectroscopie IRTF-ATR n'a pas mis en évidence de modification de la structure chimique des éprouvettes vieilles artificiellement et traitées. Cependant, l'étude n'évalue pas l'impact des traitements à l'issu d'un nouveau vieillissement comme l'ont fait Johansen et Johnsen<sup>440</sup>.

### C. Conclusions de l'état de l'art et perspectives de recherche

#### 1. Redimensionnement

Les termes de redimensionnement et de dé-rétraction, comme ils sont utilisés dans la littérature, renvoient au traitement de bobines de film roulées sur elles-mêmes et dont la rétraction empêche le déroulage. La seule mention d'une mise en tension est réalisée sur des éprouvettes suspendues et à l'aide de poids mais ce traitement induit leur tuilage à l'issu du traitement. Il faut donc trouver un système spécifique pour la mise en tension des zips : les films de zip ne sont pas d'une longueur comparable aux bobines et l'objectif est de pouvoir adapter la tension pour ne pas engendrer de tuilage.

#### 2. Mise à plat

Les méthodes pour la remise à plat des feuilles d'acétate de cellulose présentent toutes deux étapes : un conditionnement à certains paramètres susceptibles de détendre la matière, suivi de sa contrainte sous poids. Le poids imposé et la durée de la mise en contrainte varient : presse à bois sans information de temps<sup>441</sup> ; 24h sans précision du poids<sup>442</sup> ; 1 kg pendant 12 jours<sup>443</sup>.

La mise sous poids dépend de la typologie des feuilles d'acétate de cellulose en plaque ou en film. En effet, l'épaisseur du matériau influence la force nécessaire pour le contraindre.

<sup>439</sup> L'amplitude de tuilage est définie par la norme ISO 11556, *Papier et carton — Détermination du tuilage au moyen d'une éprouvette unique suspendue verticalement*, 2005.

<sup>440</sup> JOHANSEN, K.B., JOHNSEN, J.S., 2006, *op. cit.*

<sup>441</sup> BERINGUER O., 2003, *op. cit.*

<sup>442</sup> SILVA J., *et al.*, 2022, *op. cit.*

<sup>443</sup> GRARD L., *et al.*, 2020, *op. cit.*

### 3. Paramètres des traitements

Les conditions efficaces pour les traitements présentés dans la littérature sont soit une température élevée soit une humidité relative élevée. Cependant, l'augmentation de la température et de l'humidité relative peuvent être préjudiciables pour l'acétate de cellulose. C'est ainsi que les températures imposées soit par lampe infrarouge soit par spatule chauffante tendent à ne pas dépasser 50°C<sup>444</sup>. Quand elles sont au-delà, elles ne dépassent pas 80°C et l'exposition au paramètre est réduit à une trentaine de secondes<sup>445</sup>.

La mise en enceinte climatique pour un redimensionnement ou en amont d'une mise sous poids est très répandue. Au vu du comportement des zips lors des tests de dérestauration avec vapeurs de carbonate de diéthyle, par ailleurs peu dommageable en application directe, le recours à un traitement en chambre de solvant est écarté. L'option d'une chambre humide est gardée et se base sur les résultats de l'étude de Laury Grard où l'enceinte à 85% d'humidité relative présente les meilleurs résultats au bout de 8 heures, mais un conditionnement pendant 1 heure montre déjà des résultats prometteurs<sup>446</sup>. Il faut rappeler que cette étude s'intéressait à un film d'acétate de cellulose couché sur papier.

---

<sup>444</sup> BERINGUER O., 2003, *op. cit.* ; CINQUALBRE M., 2013, *op. cit.* ; GRARD L., *et al.*, 2020, *op. cit.*

<sup>445</sup> CUDELL A., *et al.*, 2011, *op. cit.*

<sup>446</sup> GRARD L., *et al.*, 2020, *op. cit.*

## II. Traitements de « redimensionnement »

Les informations tirées de la littérature permettent d'envisager des pistes de traitement pour le redimensionnement des zips. Cette intervention soulève, comme nous l'avons vu, de nombreux arguments défavorables d'un point de vue éthique. Cependant, les risques encourus par les zips rétrécis pour lesquels le papier de support se décolle sont importants et méritent que l'on s'y intéresse (Figure 216, encadré rouge foncé). Par ailleurs, la possibilité de réaliser des expériences sur du zip sans mettre en danger des matériaux patrimoniaux est une occasion très rare. La possibilité de soumettre de tels traitements à des évaluations systématiques semble pertinente pour estimer si ces traitements peuvent être suffisamment contrôlés pour être envisagés.

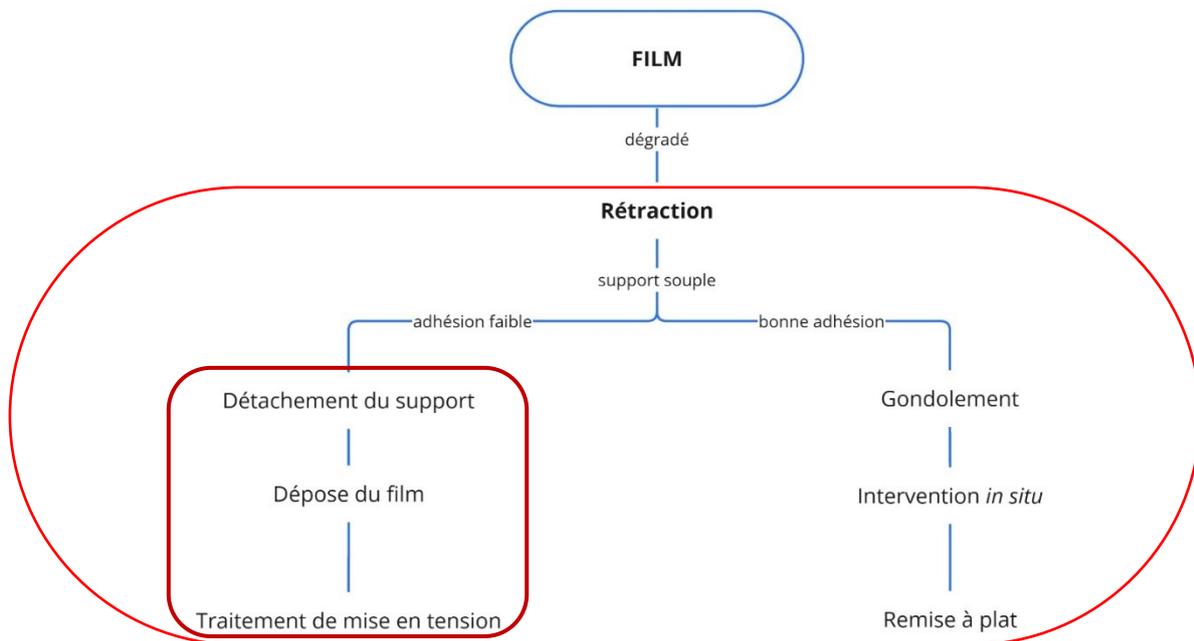
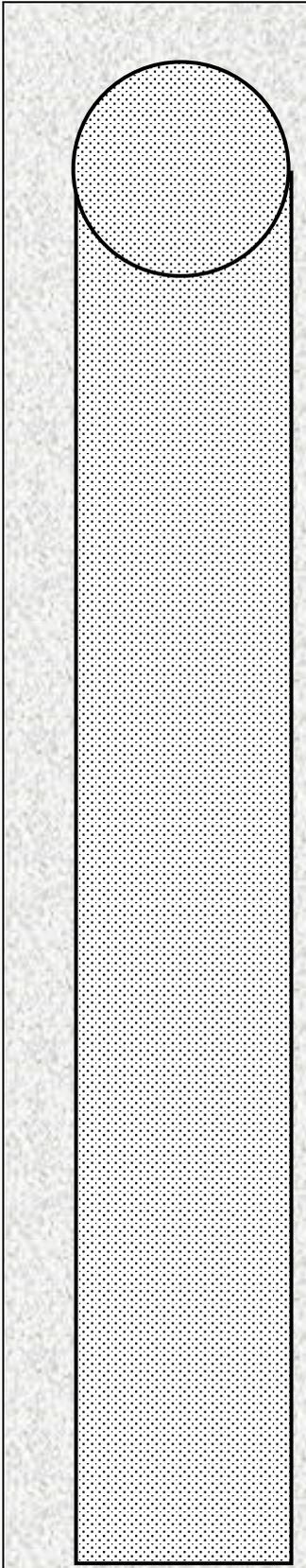


Figure 216 : Diagramme des étapes successives pouvant être envisagées dans le traitement des rétractions avec détachement du support.

Tableau 22 : Présentation du plan d'expérimentation pour le test de redimensionnement.

<p><b>L'objectif de ces expérimentations est d'évaluer s'il est possible de retrouver la taille du film rétracté par une mise en tension sans altérer son intégrité physique et chimique.</b></p>		<p>Morphologie des éprouvettes Echelle 1 (5 x 23 cm)</p> 	
<b>ÉPROUVETTES</b>	<b>Réalisation des éprouvettes</b>		
	<p>Découpe du zip au scalpel Application sur le papier de support, papier dit chinois Vieillessement artificiel : cycle de 24h avec une température stable à 40°C et une variation de l'humidité de 30% à 70% (variation sur 3h et stabilisation sur 9h) pendant 70 jours Film déposé pour être traité seul ou éprouvette conservée en système sur son support</p>		
	<b>Matériel des éprouvettes</b>		
	<p>aC+DEP+vinyle (LT 912 motif points)</p>		
<b>EXPERIENCE</b>	<b>Nombres d'éprouvettes</b>		
	<p>1 témoin 4 éprouvettes par conditions de mise en tension : 3 méthodes zip traité seul 1 méthode éprouvettes en système Soit 17 éprouvettes</p>		
	<b>Film déposé</b>		<b>Éprouvette traitée en système</b>
	<p>Préparation : Dépose du film Nettoyage de l'adhésif avec un mélange DEC/Shellsol D40 50 :50</p>		<p>Traitement en tension pendant 1 heure, 1 heure de repos et 1 semaine sous poids</p>
<p>Traitement à 85% et 20°C</p>	<p>Traitement à 45°C</p>	<p>Traitement à 85% et 45°C</p>	
<p>Réencollé avec un film de Lascaux® 498 HV et repositionné sur le papier de l'éprouvette</p>		<p>Traitement à 85% et 45°C</p>	
<p>Pour chaque mise en œuvre :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>1 éprouvette gardée comme témoin non vieillie</li> <li>3 éprouvettes mises en enceinte de vieillissement pour un cycle de 24h avec une température stable à 40°C et une variation de l'humidité de 30% à 70% (variation sur 3h et stabilisation sur 9h) pendant 70 jours.</li> </ul>			
<b>Méthodes de suivi</b>			
<p>Prise de vue d'ensemble avant et après expérience Documentation photographique et traitement par Photoshop® Mesures dimensionnelles Mesure IRTF-ATR</p>			

Pour rappel : aC+DEP signifie un film d'acétate de cellulose plastifié avec des phtalates.

### Objectif de l'expérimentation

Cette expérimentation vise à évaluer s'il est possible de retrouver la taille et la planéité d'origine du film rétréci par une mise en tension sans altérer son intégrité physique et chimique.

#### A. Matériels et méthode de l'expérimentation de redimensionnement

Dans le cas des zips, leur rétraction et déformation poussent à envisager une remise à plat. La mise à plat sous presse permet de résorber des déformations. Cependant, pour les zips qui présentent également une réduction de taille, le type de remise à plat sélectionné est la mise en tension.

##### 1. Morphologie des éprouvettes

Comme pour les éprouvettes conçues pour les tests de traitement des pertes d'adhésion, la morphologie des éprouvettes réalisées pour le traitement des phénomènes de rétraction est pensée en fonction de la dégradation à provoquer et des tests à réaliser<sup>447</sup>. Ainsi les éprouvettes sont conçues pour présenter rapidement et de façon prononcée des rétractions avec décollement du papier. Une bande (3 x 18 cm) est donc privilégiée avec un rapport important entre la longueur et la largeur : 6 fois plus longue que large afin de favoriser une rétraction de grande ampleur (Figure 217).



Figure 217 : Éprouvette témoin des tests (n°1) avant, en haut et après vieillissement, de face et de profil, en bas.

Elle est découpée dans le sens du film le plus prompt à la rétraction (vérifié préalablement sur une éprouvette carrée) et appliquée sur un papier de riz, souple et fibreux, pour reproduire le phénomène d'entraînement et de déformation du papier de support. Pour avoir un référentiel homogène, sur chaque éprouvette un cercle permet de visualiser les variations dans les deux sens. Par ailleurs, en vue des tests de restauration, il est nécessaire

<sup>447</sup> Voir Chapitre 5, II, B, 1, *Corrélation entre taille des éprouvettes et variations dimensionnelles*, p. 203-205.

d'avoir un format suffisant pour être manipulé et mis en tension. Afin de bien visualiser les changements de dimensions, un cerne au crayon graphite, appuyé le long de la forme, est tracé.

La référence de zip est sélectionnée pour obtenir d'une part, les plus fortes pertes dimensionnelles, et d'autre part, un adhésif suffisamment résistant qui ne se décolle pas du support sous la tension exercée par le film qui se rétracte<sup>448</sup>. Le choix se porte sur un film d'acétate de cellulose plastifié seulement avec du phtalate de diéthyle avec un adhésif vinylique. La référence pour créer les éprouvettes est un zip à motif de points, Letraset® LT912, trouvé à New York et dont la date de fabrication, la même pour toutes les feuilles, est le 22 juillet 1992. Après leur réalisation, les éprouvettes sont vieillies artificiellement en enceinte climatique en suivant le protocole mis en place en s'appuyant sur les résultats des différents vieillissements artificiels menés : à savoir un vieillissement en cycle de 24h avec une température stable à 40°C et une variation de l'humidité de 30% à 70% (variation sur 3h et stabilisation sur 9h) pendant 70 jours.

Une fois vieillies, les éprouvettes présentent une rétraction du film qui entraîne une déformation marquée du support qui gondole et se détache. Suivant les éprouvettes, il est possible d'observer deux ou trois zones de déformation. Bien que de même nature, ces déformations ne sont pas similaires d'une éprouvette à l'autre.

Les films de zip sont mesurés et présentent tous une rétraction moyenne dans le sens de la longueur de 5 mm et environ 1 à 2 mm sur la largeur totale. Comme cela a été observé lors de la comparaison de l'impact du format sur la rétraction, la perte en largeur est proportionnellement plus importante que celle en longueur.

## 2. Système de mise en tension

Afin de pouvoir évaluer de façon pratique si la mise en œuvre envisagée était adaptée, et si les éprouvettes pouvaient résister aux tests, le film d'une éprouvette a été mis sous contrainte. La mise en œuvre ne permet pas de pousser le test au-delà de 2 kg. Sous cette contrainte, l'éprouvette de zip ne présente pas de rupture<sup>449</sup>, ce qui correspond aux résultats des tests de l'étude de Marie Poisbelaud et Jean-Claude Couvercelle<sup>450</sup>. La mise en tension des éprouvettes ne semble donc pas contre-indiquée.

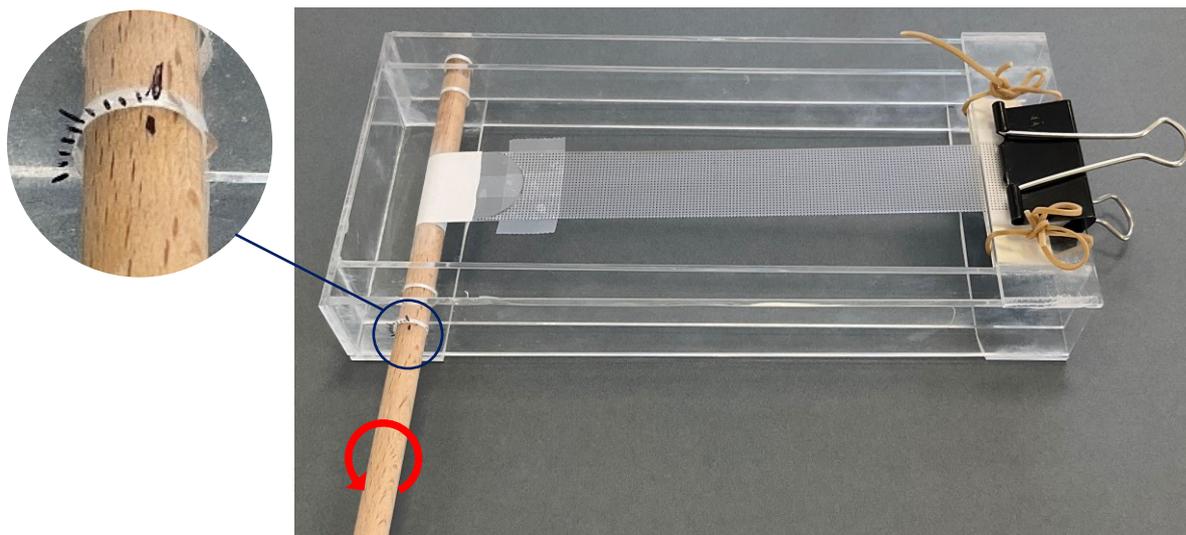


Figure 218 : Chevalet de mise en tension des éprouvettes et détail de la graduation pour la tension.

<sup>448</sup> Voir Chapitre 5, II, B, 2. Protocole de vieillissement pour la création des éprouvette, p. 205.

<sup>449</sup> La mise en contrainte en atelier, pour vérifier que cette valeur pouvait correspondre aux zips à disposition, a montré que l'éprouvette supporte jusqu'à 2 kg. Au-delà de ce poids, c'est le système de mise en contrainte qui ne tient pas.

<sup>450</sup> POISBELAUD M., COUVERCELLE J.-P., 2018, *op. cit.*, p.21-28.

Des chevalets sont construits pour l'expérimentation (Figure 218). Leurs dimensions sont à l'échelle des éprouvettes (24 x 12 x 3 cm). Ils sont en plexiglas pour supporter aussi bien les tests en humidité relative élevée que ceux sous chaleur. La zone fixe est obtenue avec une pince à dessin enserrant l'éprouvette entre le plexiglas et une mousse Ethafoam™ maintenue par un carton. Les élastiques visibles sur la photographie, permettent une installation plus facile de l'ensemble carton, mousse, éprouvette et pince. L'éprouvette est fixée d'un côté et la tension est appliquée de l'autre côté par enroulement autour d'un axe. L'axe mesure 30 cm pour assurer une bonne prise en main et un accès en dehors de la chaleur de la lampe et de l'enceinte humide. Une amorce en papier est pré-enroulée sur la poignée, la jonction avec l'éprouvette se fait par des rubans adhésifs Magic™ tape (3M) dont l'adhésion est satisfaisante en cisaillement pour résister à la traction mais moindre en pelage pour décoller l'éprouvette aisément.

### 3. Méthode de l'expérimentation de redimensionnement

#### Préparation des éprouvettes

##### *Traitement du film seul*

En amont des tests, les films sont déposés de leur support papier (les cercles sont eux laissés sur le support). Les éprouvettes ont un adhésif vinylique qui adhère encore sur certaines zones. La dépose du film, pour ne pas délaminer ou épidermer le papier de support se fait par imprégnation du papier au verso avec le mélange préalablement testé DEC/D40 (50 :50). L'adhésif du film est ensuite nettoyé avec le même mélange et le protocole développé dans la partie relative au traitement des pertes d'adhésion. Le film et le support papier sont laissés à sécher plus de 48h pour s'assurer de la complète évaporation du solvant avant d'entamer les tests. A l'issue du démontage, les zips qui étaient tendus sur le papier décollé, présentent d'importantes déformations dont la présence n'avait pas été anticipée. Elles peuvent être expliquées par une différence de tension entre les zones collées et décollées, mais il s'agit à ce stade seulement d'une hypothèse. Cependant, comme elles étaient présentes, l'étude s'est alors également concentrée sur leur atténuation.

##### *Traitement du système*

Le traitement d'éprouvettes non démontées correspond à un traitement *in situ*. Les éprouvettes sont installées sur le chevalet sans traitement préalable, directement après le vieillissement artificiel engendrant les dégradations. L'éprouvette en système est installée sur le chevalet, le film vers le bas afin que le support déformé soit bien visible. En effet, c'est l'observation d'un aplatissement progressif qui permettrait d'évaluer le traitement de redimensionnement du film au moment de la mise en tension.

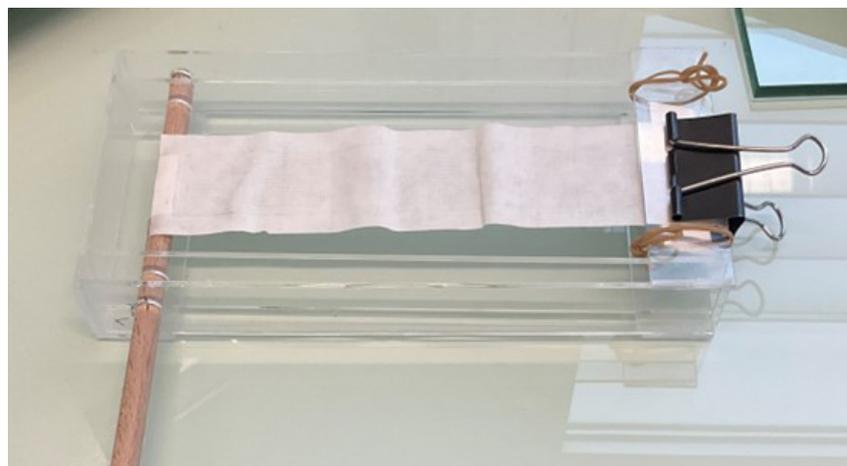


Figure 219 : Chevalet avec une éprouvette en système pour le traitement de mise en tension.

Les éprouvettes sont placées sur le chevalet avec le cercle au niveau de la pince, ainsi cette zone n'est pas soumise à la tension et l'ensemble de la bande rétrécie peut être traitée (Figure 219). La tension est appliquée en amont de la mise en enceinte.

### Mise en œuvre de l'expérimentation

Les conditions de réalisation des tests sont sélectionnées d'après la littérature : une humidité relative à 85%<sup>451</sup>, une exposition à la chaleur par lampe infrarouge<sup>452</sup>, à une chaleur de 45°C<sup>453</sup> et la combinaison des deux. Les éprouvettes sont exposées aux différentes conditions environnementales pendant 1 heure, une tension qui permet d'étirer le film de façon à résorber la rétraction provoquée par le vieillissement via la manivelle. Le système en tension est laissé une heure dans les conditions déterminées. Le système du chevalet avec l'éprouvette en tension est alors ramené dans des conditions de température et d'humidité ambiante et se stabilise pendant 24 h à l'air libre. L'éprouvette est ensuite démontée du chevalet et placée sous poids (1 kg) entre buvard pendant une semaine.

#### Installation à 85% d'humidité relative

Une enceinte est construite afin de pouvoir réaliser les tests dans un milieu avec une humidité de 85%<sup>454</sup> (Figure 220). L'enceinte comprend un bac d'eau libre pour l'apport en humidité, recouvert d'un écran de sérigraphie (cadre aluminium avec une toile mono-filament en polyester) qui laisse passer la vapeur d'eau tout en permettant la disposition du chevalet au-dessus de la source d'évaporation. Des montants sont fixés sur le cadre de l'écran au niveau des angles pour soutenir la bâche. Dans l'enceinte est installé un thermohygromètre à cheveux. La montée en humidité relative est réalisée sans échantillon à l'intérieur de l'enceinte. Une fois que la chambre atteint 85% d'HR, elle est ouverte et le chevalet est placé à l'intérieur. L'ouverture de la chambre induit une baisse de l'humidité relative. Le décompte du temps de traitement est donc lancé une fois que l'humidité est remontée à 85%

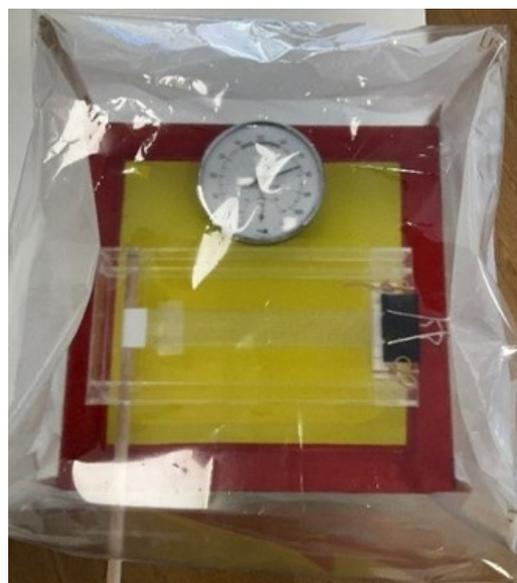
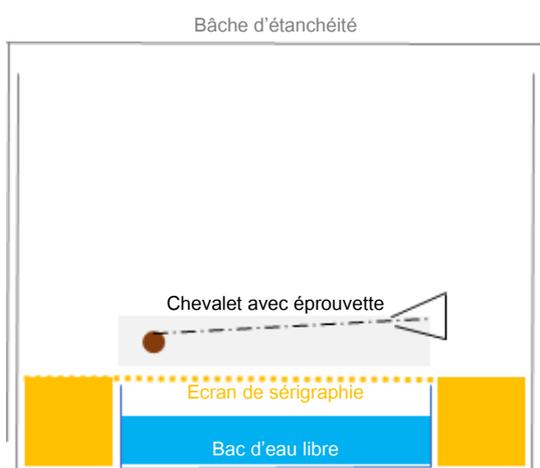


Figure 220 : Schéma en élévation, à gauche, et photographie de l'enceinte vue du dessus, à droite.

<sup>451</sup> GRARD L., *et al.*, 2019, *op. cit.*

<sup>452</sup> BERINGUER O., 2003.

<sup>453</sup> GRARD L., *et al.*, 2019, *op. cit.*

<sup>454</sup> *Ibid.*

### Installation à 45°C

L'installation pour les tests en condition de température à 45°C est réalisée avec une lampe munie d'une ampoule infrarouge<sup>455</sup>. La température est définie pour être bien inférieure aux températures de transition vitreuse de l'acétate de cellulose et de ses plastifiants<sup>456,457</sup>. Pour faciliter la mise en œuvre, la lampe est fixée sur un escabeau à 38 cm du montage, distance qui permet d'obtenir 45°C au niveau de l'éprouvette (Figure 221).



Figure 221 : Système de mise en œuvre de l'expérimentation à 45-47°C et détail de l'installation du thermomètre au mercure sur le chevalet.

### Installation combinant les deux facteurs

Pour combiner l'action de la température et celle de l'humidité, précédemment évaluées de façon isolées, les dispositifs disponibles en atelier ne sont ni assez performants ni assez fiables<sup>458</sup>. Dans le cadre de cette recherche doctorale, le recours à une enceinte climatique, solution moins accessible, permet d'obtenir les paramètres recherchés (Figure 222).



Figure 222 : Système de mise en œuvre pour combiner 45°C et 85% HR, à gauche, en atelier et à droite en laboratoire.

<sup>455</sup> Lampe Daylight™ avec système de pince, bras avec une partie fixe et une partie mobile et un abat-jour dont l'intérieur est recouvert d'un enduit réflecteur, achetée chez Boesner, munie d'une ampoule infrarouge Philips, incandescente 230-250V, BR125, 150W.

<sup>456</sup> La température de transition vitreuse de l'acétate de cellulose pur non vieilli est autour de 198°C mais baisse avec l'ajout de plastifiants et le vieillissement du matériau. Autour de 140°C pour la plus petite Tg mesurée sur des films de zip dans l'étude de Poisbelaud M. et Couvercelle J.-C. Il faut par ailleurs noter que la température de transition vitreuse du DEP est autour de 90°C, qui peut encore baisser avec le vieillissement du film.

<sup>457</sup> BERINGUER O., 2003, *op. cit.*

<sup>458</sup> Des essais sont menés avec une solution saline de nitrate de potassium KNO<sub>3</sub>, mais cette mise en œuvre ne permet pas d'atteindre une humidité relative supérieure à 60% à 45°C.

Une fois dans l'enceinte, il n'est pas possible d'ajuster régulièrement la tension imposée à l'éprouvette, car toute ouverture de la porte induit d'importants changements dans les conditions choisies. Les éprouvettes sont donc positionnées sur le chevalet avec une tension équivalente à leur rétraction en amont de leur installation dans l'enceinte climatique

### Protocole de suivi

#### Documentation photographique

Le suivi est réalisé par une documentation photographique de chaque éprouvette en lumière naturelle et rasante sur carton de fond gris afin d'évaluer la planéité des films. Les prises de vue sont réalisées tout au long de l'expérimentation, aux étapes clés (Figure 223).

Epreuves de film seul	Après le vieillissement initial	Après dépose du support	Après traitement de mise en tension	Après une semaine sous poids	Après repose sur le papier de support	Après second vieillissement
Epreuves en système	Après le vieillissement initial		Après traitement de mise en tension			Après second vieillissement

Figure 223 : Etapes faisant l'objet du suivi par prises de vue.

#### Traitement numérique

Afin de pouvoir quantifier la remise à plat, un traitement numérique des photographies est réalisé. D'autres mises en œuvre, tel un suivi avec scanner 3D aurait pu fonctionner mais pour des questions d'accessibilité cette piste n'a pas été poursuivie<sup>459</sup>. Le traitement numérique est simple : sur Photoshop®, les photographies des éprouvettes avant, après mise en tension et après mise sous poids, sont calibrées pour être comparables (taille de l'image, résolution et cadrage) ; un repère sous la forme d'une ligne horizontale est tracé au centre de l'éprouvette dans sa longueur ; enfin, chaque zone d'ombre au niveau du repère est mesurée : plus la valeur de l'ombre est grande, plus l'éprouvette est déformée. Ainsi, la mesure de l'ombre permet la mise en évidence du relief de l'éprouvette et la comparaison des éprouvettes entre elles<sup>460</sup>. Pour pouvoir discerner les éprouvettes avec de nombreuses petites déformations de celles avec quelques grandes, le nombre de zones d'ombre mesurées est également comptabilisé. La mise en regard des deux permet une bonne idée de la déformation de l'éprouvette (Figure 224).



Figure 224 : Exemple des visuels de l'éprouvette 4 utilisés pour le traitement des images, en rouge, les zones mesurées.

<sup>459</sup> DIEZ Anaïs., « Au fil de l'eau » : Étude et conservation-restauration d'une peinture traditionnelle chinoise (La remontée du fleuve lors du festival Qingming ; Paris, musée national des arts asiatiques - Guimet). Optimisation d'une chaîne de traitement pour la mise à plat et la stabilisation structurelle d'un rouleau horizontal de sept mètres en soie et papier, évaluée par imagerie 3D, mémoire, Paris : Institut national du patrimoine, 2022, p.261.

<sup>460</sup> La valeur mesurée avec l'outil règle est rapporté en pourcentage à la taille de l'éprouvette dans la longueur.

**Limites de mesure :** Les zones d'ombres sont mesurées à la suite d'une observation visuelle et avec la précision offerte par l'œil et le pointeur numérique. Afin de quantifier l'erreur humaine, les mesures sont réalisées sur une même éprouvette trois fois. La moyenne de l'erreur calculée, est actée erreur humaine et est intégrée par la suite comme écart type. Cependant, cette mesure de l'erreur humaine n'est faite que par un seul opérateur.

#### Mesures dimensionnelles

Avant le vieillissement réalisé pour provoquer les dégradations, un cerne au crayon de graphite est réalisé sur le pourtour des éléments de zip afin d'être le témoin de leur position initiale. Après le vieillissement artificiel, le phénomène de rétraction n'est pas visible sur les extrémités mais s'observe par le décollement du papier sous le zip. Les éléments de zip sont déposés et ensuite mesurés avec un régleur de précision 0,5 mm. En effet, la prise de dimension sur les éprouvettes déformées est moins fiable. Cependant, la mesure est réalisée, sans démontage, sur les éprouvettes traitées en système. Ils sont à nouveau mesurés après les traitements de mise en tension et une fois reposés.

#### Mesures IRTF-ATR

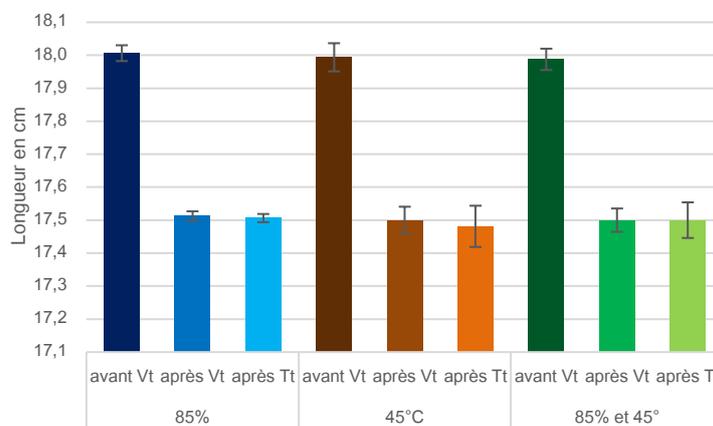
Afin de vérifier l'innocuité du traitement sur le film à un niveau moléculaire, des mesures en spectroscopie IRTF-ATR sont réalisées avant et après vieillissement, après traitement et après le second vieillissement.

## B. Résultats de l'expérimentation de redimensionnement<sup>461</sup>

Les moyennes des résultats des éprouvettes de chaque méthode permettent de comparer l'efficacité des paramètres environnementaux pour le traitement des rétractions.

### 1. Résultats de redimensionnement

Quelles que soient les conditions de mise en tension, les éprouvettes ne récupèrent pas leurs dimensions originales (Graphique 46) : à l'issue des tests, la perte est toujours de  $\pm 5$  mm pour l'ensemble des éprouvettes, pour une mesure réalisée avec un régleur d'une précision du demi-millimètre.



Graphique 46 : Longueur des éprouvettes mesurée en centimètre, avant et après le vieillissement, et après le traitement de redimensionnement.

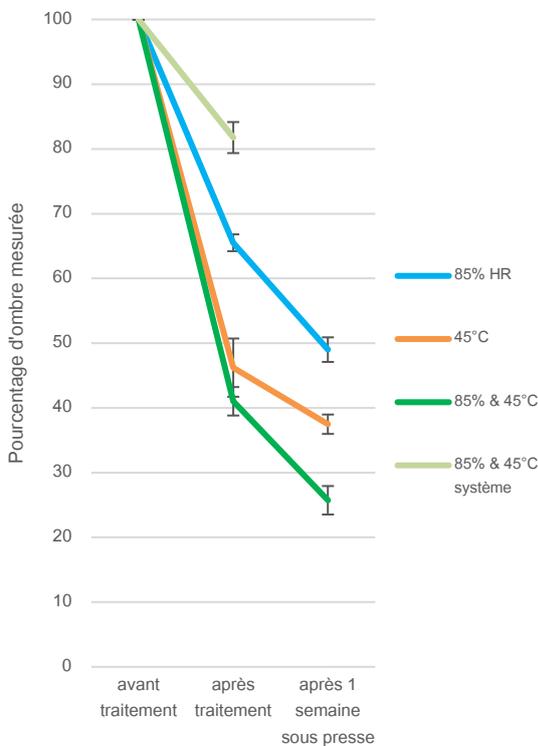
<sup>461</sup> ANNEXE 12, p. 383, Tableau des mesures des zips avant vieillissement, après vieillissement et à l'issue du traitement de redimensionnement.

Les écarts types prennent en compte l'erreur de mesure à savoir  $\pm 0,0125$  cm et la variation entre les éprouvettes d'une même mise en œuvre.

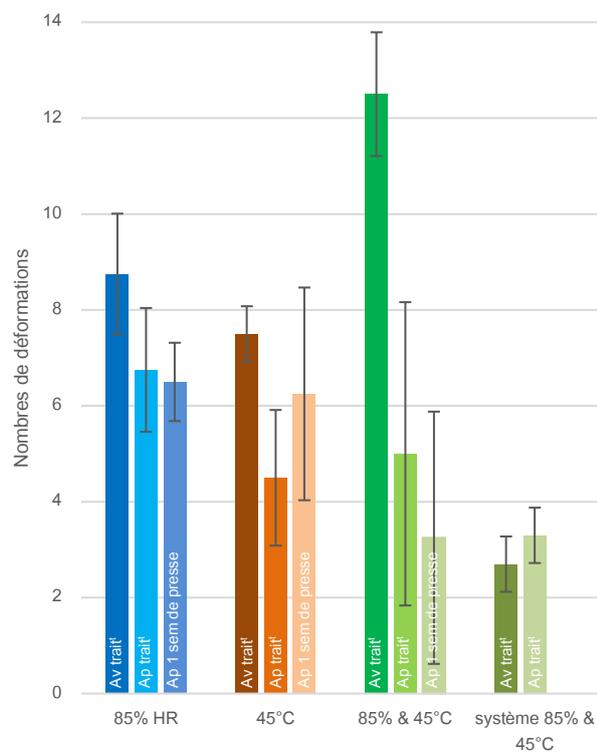
## 2. Résultats de planéité

Les mises en tensions ne présentent pas de résultats satisfaisants pour le redimensionnement mais les déformations observées sur les éprouvettes après dépose pour les films seuls et celles sur les papiers de support pour les éprouvettes en système sont atténuées par le traitement.

Les déformations, exprimées en pourcentage d'ombre mesurée, ramenées à 100% pour les éprouvettes avant traitement, sont présentées pour les différentes méthodes avant et après traitement, et après une semaine sous poids, excepté pour les éprouvettes traitées en système. La mise sous poids avait été envisagée pour les éprouvettes en système, cependant le traitement n'ayant pas permis de redimensionner les zips, une mise sous poids aurait eu pour effet d'écraser les zones de décollement du papier.



Graphique 47 : Évolution des déformations des éprouvettes au cours des différents traitements.



Graphique 48 : Évolution du nombre de déformations des éprouvettes au cours des différents traitements.

Les différentes méthodes ont un effet bénéfique sur l'atténuation des déformations et la mise sous poids après traitement favorise ce phénomène.

Il est possible d'avoir une idée de l'évolution de l'aspect des éprouvettes à travers les étapes du traitement en observant en parallèle la diminution de l'ombre (Graphique 47) et l'évolution du nombre de déformations (Graphique 48). Ces graphiques permettent de montrer une disparité dans le nombre de déformations des éprouvettes avant traitement. Ces données chiffrées peuvent être illustrées par les visuels des éprouvettes.

Le traitement à 85% et 45°C permet de réduire considérablement le nombre de déformations ainsi que leur ampleur. Cette mise en œuvre donne les meilleurs résultats sur les éprouvettes où le film est traité seul.

Cependant, les lignes de démarcation entre les zones anciennement collées/décollées ne sont pas atténuées (Figure 225).

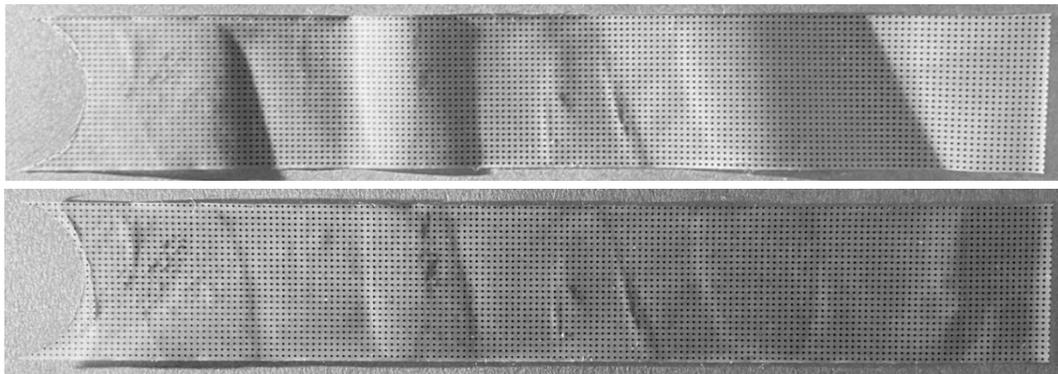


Figure 225 : Éprouvette 5, avant et après traitement en tension à 85% HR et 45°C.

Le traitement de redimensionnement sous forte humidité contribue à réduire le nombre de déformations en même temps que leur taille. Si les petites déformations disparaissent, les plus marquées s'estompent mais restent visibles (Figure 226).

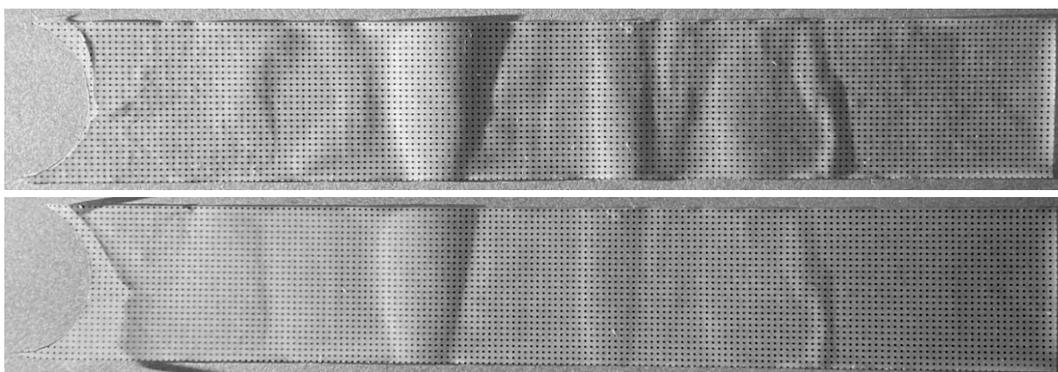


Figure 226 : Éprouvette 3, avant et après traitement en tension dans une enceinte à 85% d'humidité relative.

Comme cela est observé pour les éprouvettes traitées sous haute humidité relative, le traitement des éprouvettes traitées sous haute chaleur donne de bons résultats chiffrés pour des résultats visuels plus mitigés : les déformations plus amples sont résorbées mais pas les petites (Figure 227).

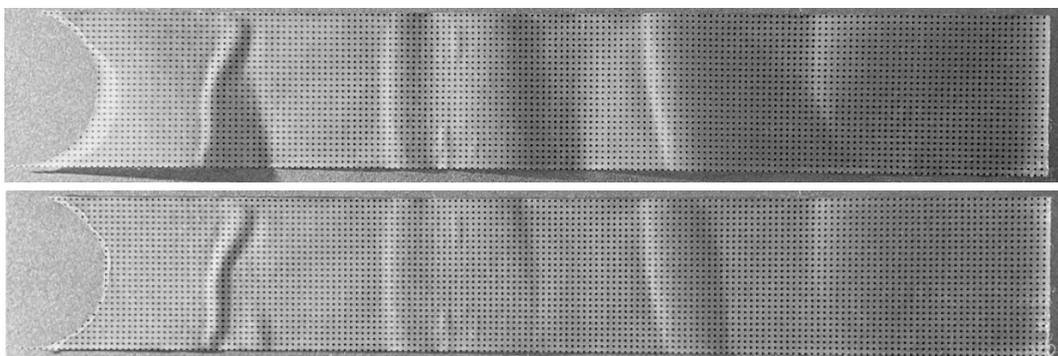


Figure 227 : Éprouvette 8, avant et après traitement en tension à 45°C.

La mise en tension du film seul, dans des conditions de haute humidité relative et de haute température obtient les meilleurs résultats pour la planéité. Cependant, les moins bons résultats sont obtenus avec les mêmes paramètres sur les éprouvettes traitées en système. Les déformations du papier de support sont moins marquées mais elles sont loin d'être résorbées et l'amélioration visuelle est assez peu visible (Figure 228).

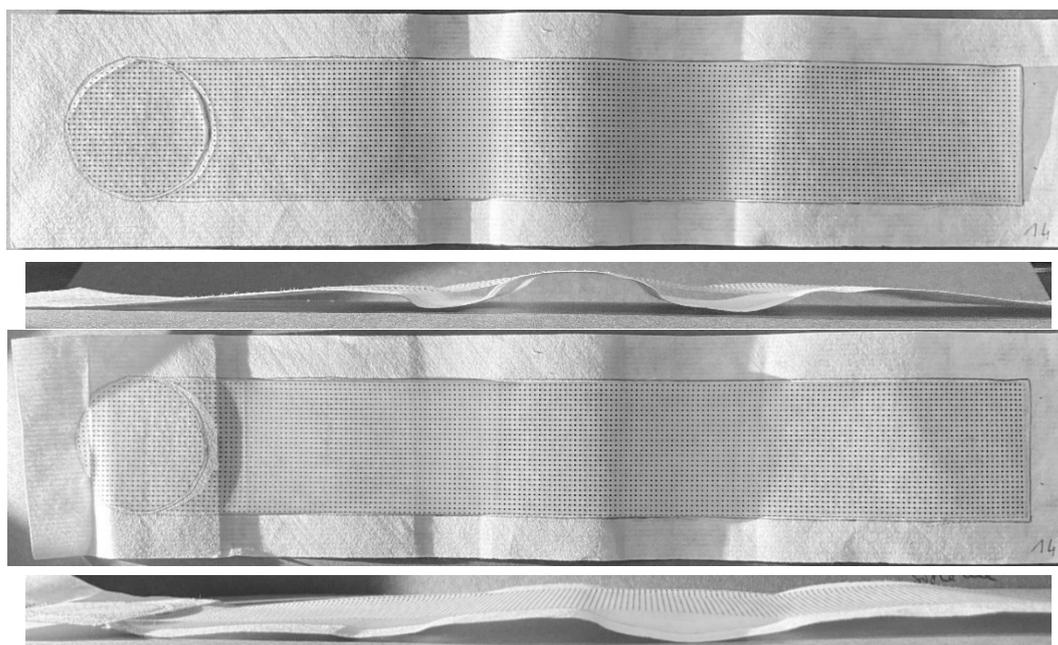


Figure 228 : Épreuve 14, vue de face et de profil, avant, en haut, et après, en bas, traitement en tension à 45°C et 85% HR

Enfin, la mise en tension du système, tel que mis en œuvre ici, engendre une nouvelle déformation au niveau de la fixation de l'éprouvette sur le chevalet (de part et d'autre du cercle).

La mise sous poids ne suit pas directement les mises en conditions climatiques spécifiques, puisque l'éprouvette est laissée à température et humidité relative ambiantes pour se stabiliser. Elle est pensée pour permettre au matériau de se rééquilibrer en dehors de la contrainte. Cependant son impact est bénéfique pour l'atténuation des déformations.

Pour les éprouvettes soumises à un traitement en conditions humides, à température ambiante et à 45°C, la mise à plat contribue à continuer à atténuer les déformations. Dans la plupart des cas, l'amélioration obtenue par le traitement se poursuit lors de la mise sous poids. Pour les éprouvettes traitées seulement à la chaleur, la mise sous poids ne contribue pas à améliorer la planéité et voit même laisse un léger retour des déformations.

**Limite de l'expérimentation :** *Au vu des résultats précédemment exposés, la mise sous poids joue un rôle dans l'atténuation des déformations. L'impact de la mise sous poids n'a pas été considérée dès la mise en place du protocole. Cette phase du protocole était prévue uniquement comme une stabilisation du traitement. Il serait bien de continuer les expérimentations pour évaluer si la mise sous poids seule, directement après exposition aux facteurs de température et d'humidité relative peut permettre une amélioration de la planéité. Par ailleurs, aucune série n'a été réalisée sans mise sous poids après 24h et l'éprouvette laissée à l'air libre car cela semblait contreproductif.*

Malgré l'amélioration observée de la planéité, le résultat n'est pas suffisant. Comme le zip est voué à être reposé, la question est de savoir si ces déformations seront encore visibles après l'application d'un nouvel adhésif et la repose de l'éprouvette sur son papier de support, ou si elles vont persister.

### C. Repose du film

Afin de pouvoir reposer les films traités en mise en tension dans des conditions similaires à celles d'une intervention de conservation-restauration, le traitement des supports doit être entrepris avant de procéder à la repose du film. Les supports en papier des éprouvettes sont donc remis à plat selon des méthodes de conservation-restauration des arts graphiques. Ils sont placés dans une chambre humide, afin d'être humidifiés à cœur et que le papier soit bien détendu puis mis sous presse entre deux intissés de polyester, deux buvards et des cartons. Plus la mise sous presse est longue plus la mise à plat sera pérenne. Pour les papiers de support des éprouvettes, elle dure deux semaines. Cette durée a été choisie pour permettre la réalisation d'un nouveau vieillissement de 2 mois à l'issue de l'ensemble des tests de traitement. Mais sans contrainte de temps, elle aurait été réalisée sur 1 mois.

#### 1. Choix de l'adhésif de repose

Le système de collage sélectionné découle de l'exploitation des résultats de l'expérimentation d'application d'un nouvel adhésif sur un film nettoyé. Les meilleurs résultats obtenus pour un zip avec un motif clair sur un support opaque et fibreux étaient ceux de la Lascaux® 303 HV et de la Lascaux® 498 HV en fil étiré. Les éprouvettes sont destinées à subir un nouveau vieillissement artificiel dans les conditions similaires à celles ayant permis de provoquer les phénomènes de déformations et de rétractions, à savoir en cycle de 24h avec une température stable à 40°C et une variation de l'humidité de 30% à 70% (variation sur 3h et stabilisation sur 9h) pendant 70 jours. L'objectif de ce nouveau vieillissement est de vérifier la stabilité du nouveau système film/adhésif, de s'assurer qu'il soit plus pérenne que le système film/adhésif de départ et d'observer si les films se comportent différemment en fonction des conditions dans lesquelles les mises en tension ont été réalisées.

La Lascaux® 303 HV est réactivable dès 50°C, ce qui semble un peu proche de la température du vieillissement. La Lascaux® 498 HV est donc sélectionnée car elle se ramollit autour de 68-76°C.

#### 2. Repose du film de zip avec un film de Lascaux® 498 HV

La préparation se fait comme précédemment mentionné (Figure 229). Sur un film de Mylar® siliconé, des zones, d'un ou deux millimètres de plus que la taille des pièces de zip à réencoller, sont délimitées avec des rubans adhésifs (pour une meilleure visibilité, ils sont choisis en papier) (a). Le film d'adhésif est étiré jusqu'à ce qu'il soit homogène et de l'épaisseur des rubans périphériques (b). Il est ensuite laissé à sécher à l'air libre. Une fois l'adhésif sec, les éléments de zip à recoller sont positionnés à son contact avec une légère pression (c). Les éléments de zip sont recouverts d'un autre Mylar® siliconé avant de retourner l'ensemble. Le verso du Mylar® siliconé est alors spatulé à une température autour de 70°C (d) puis l'ensemble est laissé à refroidir. Le contour des éléments de zip est incisé dans l'adhésif (e). L'élément de zip avec son nouvel adhésif peut être décollé du support siliconé (f) pour être positionné sur le papier de support de l'éprouvette (g). Il est appliqué au plioir avec une pression moyenne (h), puis l'éprouvette est retournée et le papier spatulé au verso à travers un Mylar® siliconé à 70°C (i).

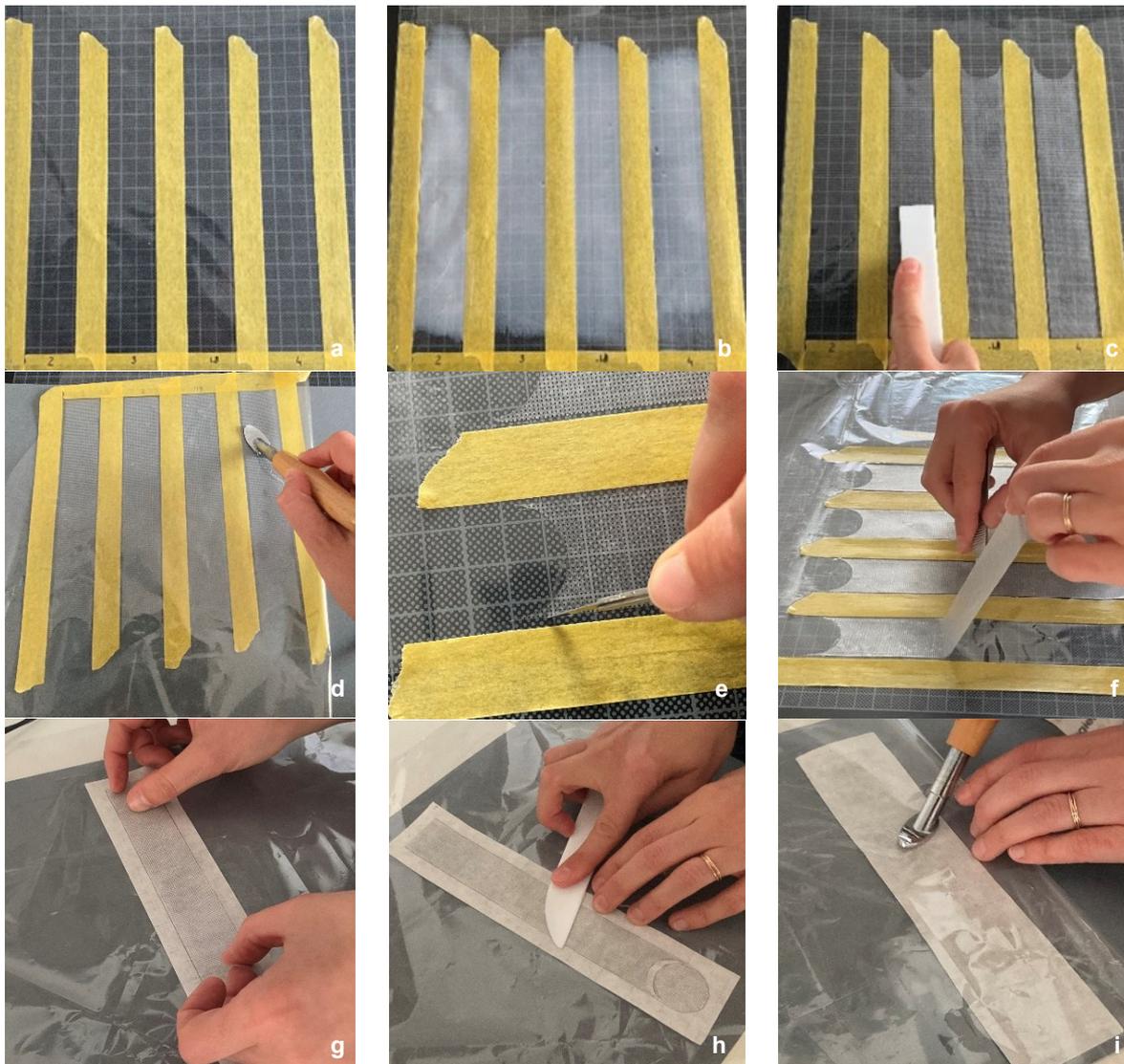


Figure 229 : Étapes de la repose du zip sur son papier de support.

### 3. Résultat de la repose avant nouveau vieillissement

#### Résultats de redimensionnement

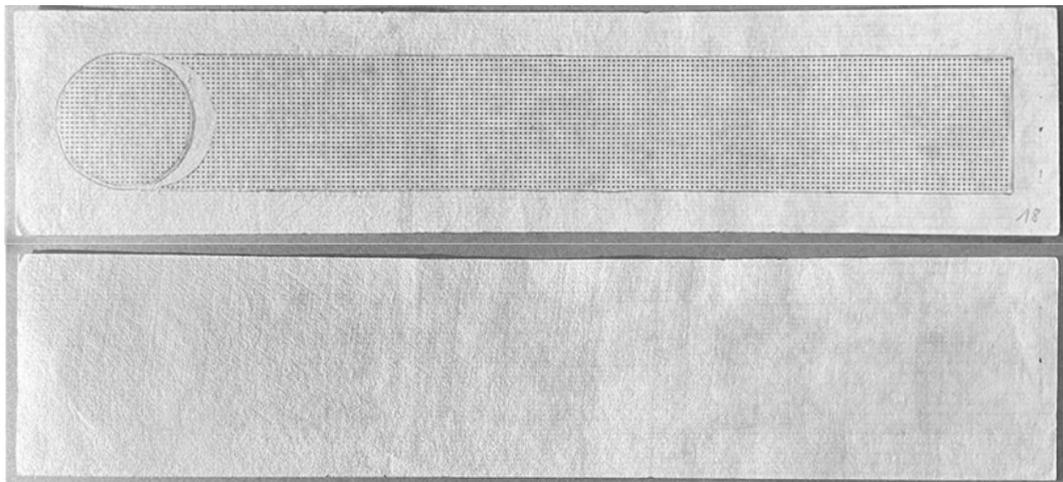
La repositionnement des films traités par mise en tension seule, n'induit pas de changement sur la dimension du zip. Visuellement, la rétraction est observable une fois les éprouvettes remontées sur leur support de papier : un écart entre le cercle de zip (non déposé) et la limite de l'éprouvette traitée subsiste. Le cerne au crayon graphite, témoin de la dimension originale, joue bien son rôle et permet d'évaluer la rétraction par simple observation.

#### Résultats de planéité

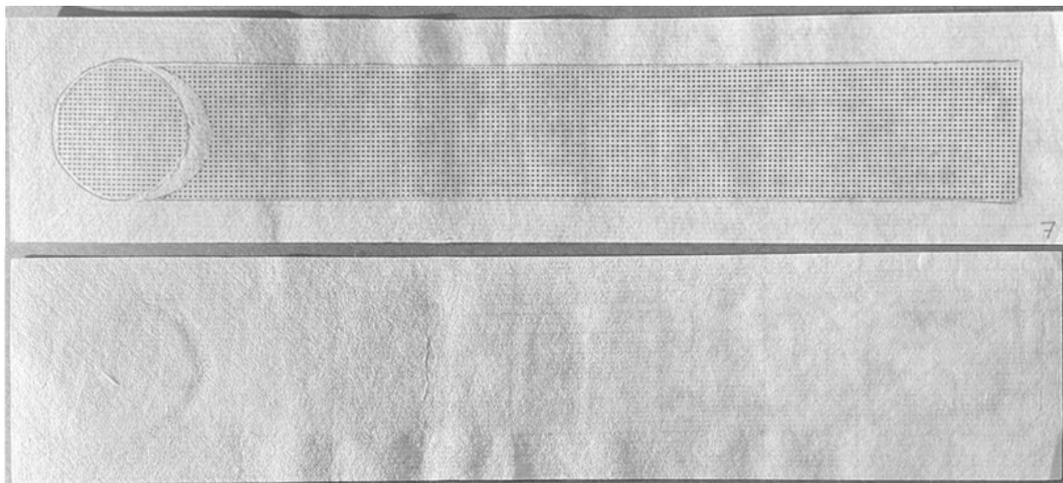
Après repositionnement, l'aspect général des éprouvettes est nettement amélioré. Une éprouvette de chaque série est présentée recto et verso, en noir et blanc pour faciliter l'appréciation de la planéité (Figure 230). Dans l'ensemble, le collage résorbe les dernières déformations subsistantes et donne un zip plan. Les déformations observées se trouvent en périphérie des éléments de zip, dans les marges du papier. Elles sont de faibles ampleurs et peuvent s'apparenter, dans la plupart des cas, à l'ondulation naturelle du papier. Pour certaines éprouvettes l'ondulation est plus prononcée.

Un nouveau vieillissement artificiel permet d'affiner ces premiers résultats. Il a pour objectif d'évaluer l'efficacité du traitement dans son ensemble, en fonction des différentes mises en œuvre. Il permettra également

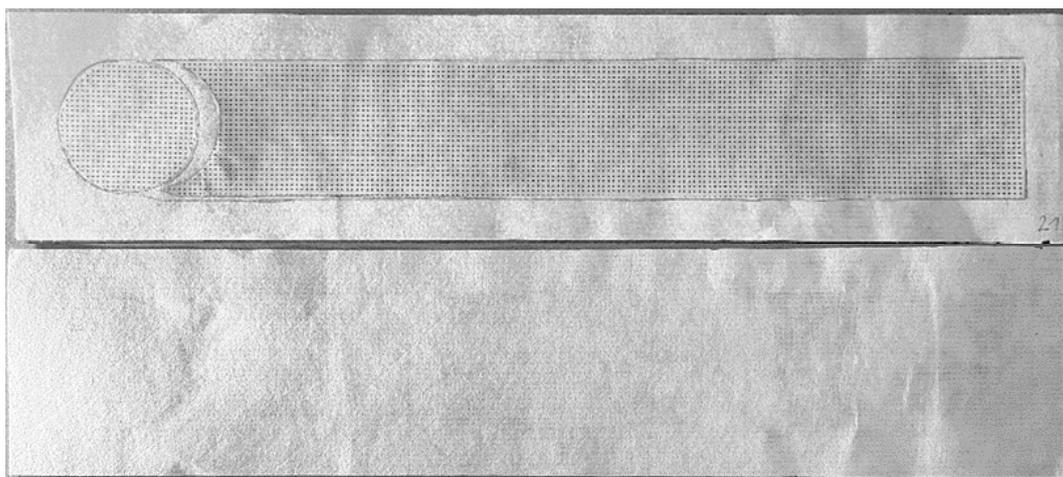
d'observer un éventuel impact des différentes conditions de tests sur le vieillissement des matériaux traités. Afin de pouvoir évaluer d'éventuelles nouvelles rétractions, un nouveau relevé au crayon, en périphérie de l'éprouvette est réalisé avant la mise en enceinte de vieillissement.



Éprouvette 18 (85% HR) recto (en haut) et verso (en bas)



Éprouvette 7 (45°C) recto (en haut) et verso (en bas)



Éprouvette 21 (85% HR et 45°C) recto (en haut) et verso (en bas)

Figure 230 : Éprouvettes à l'issue des différentes expérimentations de redimensionnement, observée en lumière rasante, recto et verso.

## D. Comportement des éprouvettes soumise à un second vieillissement

### 1. Dimension des éprouvettes en sortie du second vieillissement

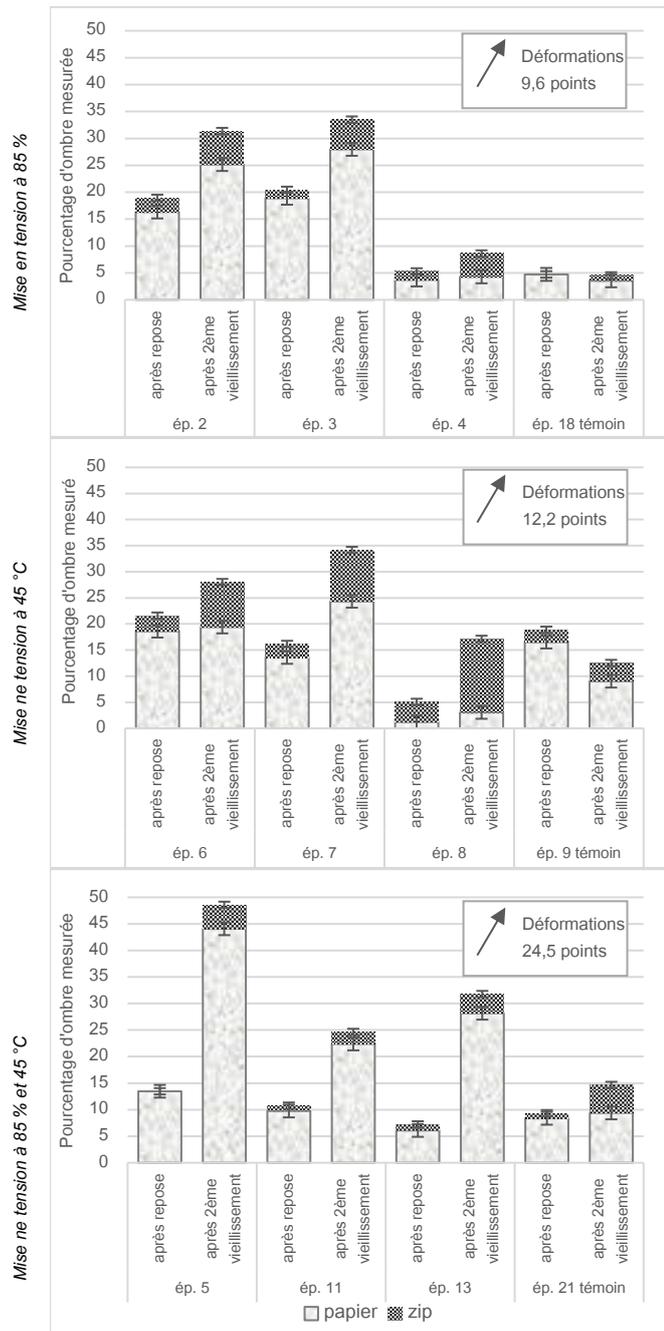
Les éprouvettes ne présentent pas de déplacement au niveau du cerne de crayon graphite après le deuxième vieillissement (Figure 231).



Figure 231 : Détail de l'éprouvette 11, le zip est encore aligné sur le cerne réalisé avant le deuxième vieillissement.

### 2. Présentation des résultats de planéité

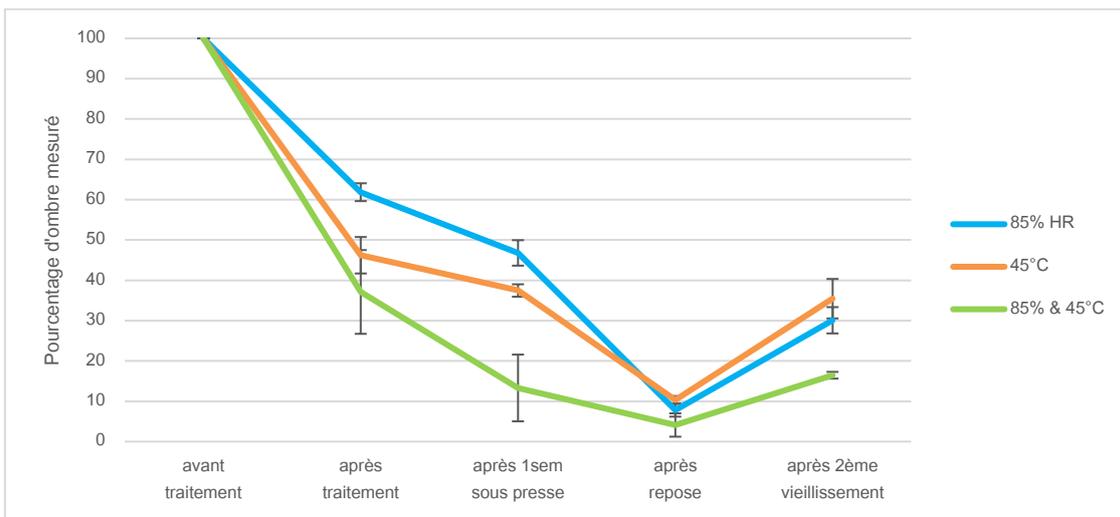
L'objectif du second vieillissement est double : il s'agit d'une part, d'évaluer l'impact des différents traitements sur le comportement du film et d'autre part d'observer si le processus de rétraction est encore suffisamment important pour créer à nouveau le détachement du papier de support sous la contrainte. Les résultats de planéité à l'issu du second vieillissement sont relatifs à la déformation du papier et à la déformation du zip (Graphique 49). Les déformations du support le long des bords du zip sont comptabilisées et permettent de quantifier les tensions exercées par le zip. Les déformations du film évaluées au centre de l'éprouvette affinent la compréhension des déformations du papier : l'absence de déformations sur le papier peut être due à un état d'équilibre ou à la déformation du zip sans tension sur le papier. Par ailleurs, les différences entre éprouvettes étant parfois importantes, les résultats sont présentés pour chaque éprouvette. Enfin, les éprouvettes témoins des traitements mais non vieilles après repose permettent une mise en perspective de l'impact du vieillissement artificiel. Les éprouvettes ayant été mises en tension sous forte humidité, montrent une augmentation des contraintes exercées sur le papier.



Graphique 49 : Déformations du papier en périphérie du zip et du zip des éprouvettes après la repose et après le 2<sup>nd</sup> vieillissement en fonction des conditions des mises en tension. L'encadré présente la moyenne des changements de planéité.

Cela s'observe également sur le zip qui gondole. L'éprouvette témoin ne montre pas de changement significatif. Les éprouvettes ayant été mises en tension sous une forte chaleur montrent d'importantes déformations du zip à l'issue du second vieillissement. Les tensions sur le papier, entraînant sa déformation sont visibles uniquement sur l'éprouvette n°7. L'éprouvette témoin ne présente pas une modification de la planéité du zip significative mais les déformations du papier se sont atténuées pendant sa conservation en pochette. Les éprouvettes ayant été mises en tension sous forte chaleur et humidité relative présentent de nombreuses déformations du papier exercées sous la contrainte du film de zip qui gondole légèrement. En revanche, le zip de l'éprouvette témoin, montre des déformations sous forme de ridules.

Malgré des déformations encore présentes à l'issue des traitements et mise sous poids, la repose du zip avec un adhésif de conservation sur son papier de support permet de les résorber et d'obtenir une planéité de surface du zip très satisfaisante. Cependant, le second vieillissement entraîne leur retour, parfois au même endroit et avec la même forme qu'à la sortie de la mise sous poids (Graphique 50). Quelles que soient les conditions de traitement, les déformations réapparaissent sur le zip et reviennent à un niveau proche de celui observé à l'issue du traitement et avant repose. Il faut noter que le collage est suffisamment fort pour empêcher des décollements comme sur les éprouvettes avant traitement mais également souple pour permettre un jeu du plastique sur le papier.



Graphique 50 : Déformations du zip seul aux différentes étapes de l'expérimentation en fonction des environnements de mise en œuvre.

Il est pertinent de quantifier ces observations visuelles afin de pouvoir les comparer et les classer. Les résultats visuels sont néanmoins très parlants (Figure 232) et pourraient être résumés comme suit :

- À l'issue du second vieillissement, les éprouvettes soumises à une mise en tension sous forte humidité relative et à température ambiante présentent le retour de déformations du support. Les dégradations du support semblent indiquer une contrainte de type rétraction exercée par le film sur le papier.
- Les éprouvettes soumises à la chaleur seule lors de leur mise en tension présentent après le second vieillissement des déformations du film de zip, visuellement proches des bulles en réseaux, sans contraintes exercées sur le film.
- Les éprouvettes mises en tension sous haute température et haute humidité relative présentent après le second vieillissement, des gondolements du support. Comme pour les éprouvettes traitées avec une haute humidité relative et à température ambiante, ces déformations semblent indiquer une contrainte de type rétraction exercée par le film sur le papier.

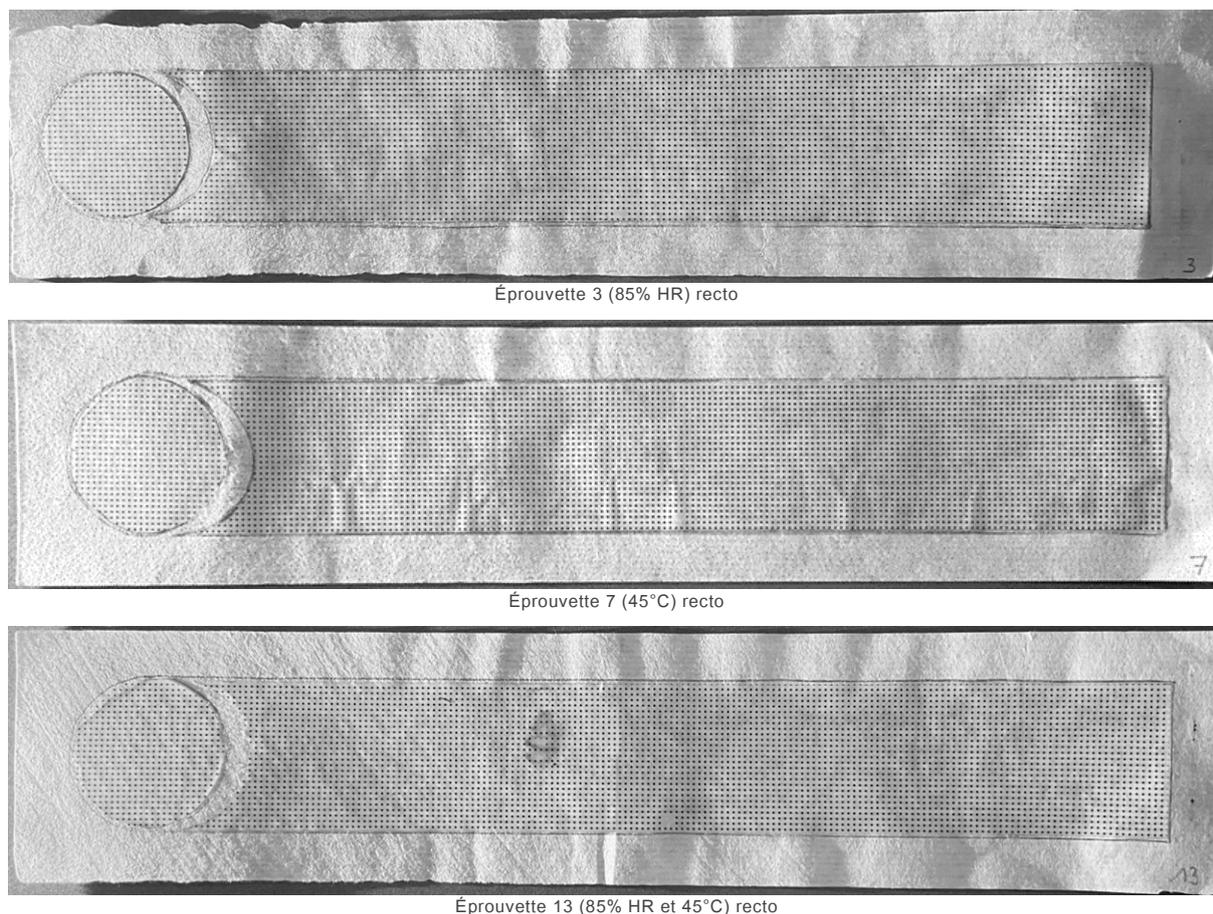


Figure 232 : Éprouvettes mises en tension avec les différentes méthodes à l'issue du second vieillissement, observée en lumière rasante.

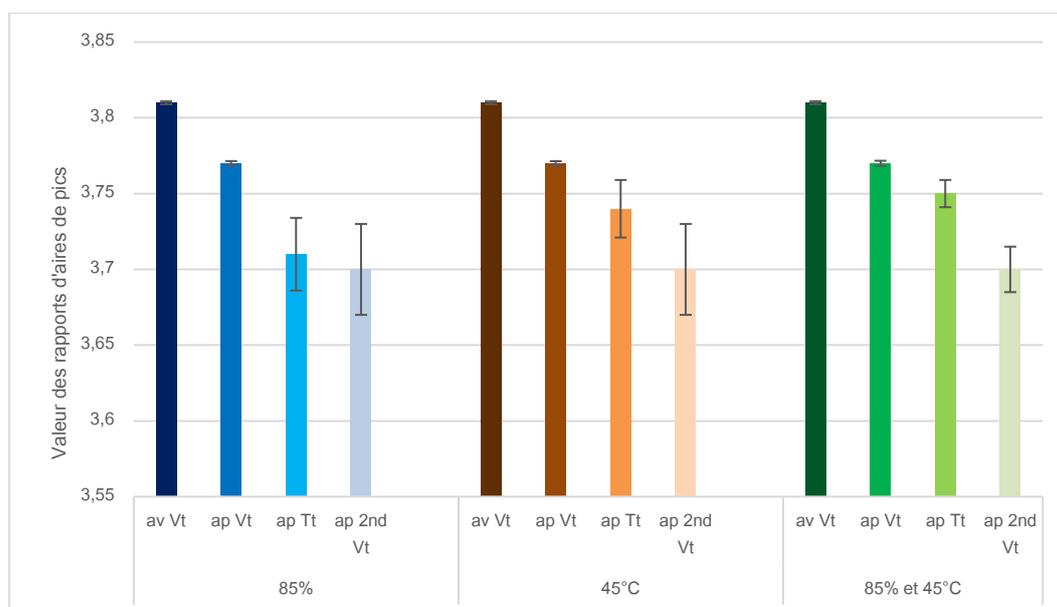
### 3. Impact des traitements à l'échelle moléculaire (spectroscopie IRTF-ATR)

Nous venons de voir que des déformations réapparaissent sur les éprouvettes précédemment traitées, après un second passage en enceinte climatique. Un suivi par analyse IRTF-ATR est réalisé en vue d'évaluer si les différents traitements et le second vieillissement ont un impact sur les films à un niveau moléculaire. En effet, il s'agit de déterminer si les traitements concourent ou non à la création de nouvelles dégradations, que ce soit à l'issue du traitement ou à long terme. Les deux aspects étudiés sont la désacétylation et la perte de plastifiants.

#### Évaluation de l'impact des traitements sur une potentielle désacétylation

L'évolution de la désacétylation peut être suivie par mesure IRTF-ATR grâce au calcul du rapport d'aire du pic C=O à  $1736\text{ cm}^{-1}$ , qui baisse sous l'effet de la désacétylation, sur le pic C-H à  $1366\text{ cm}^{-1}$  qui ne change pas : la dégradation intervient quand la valeur du rapport baisse jusqu'à atteindre des valeurs autour de  $2,15-2,3^{462}$ .

<sup>462</sup> SHASHOUA Y., *et al.*, 2005, *op. cit.*



Graphique 51 : Rapports des pics (C=O à 1736 cm<sup>-1</sup> sur C-H à 1366 cm<sup>-1</sup>) pour mettre en avant une potentielle désacétylation en fonction des différentes conditions de mise en tension.

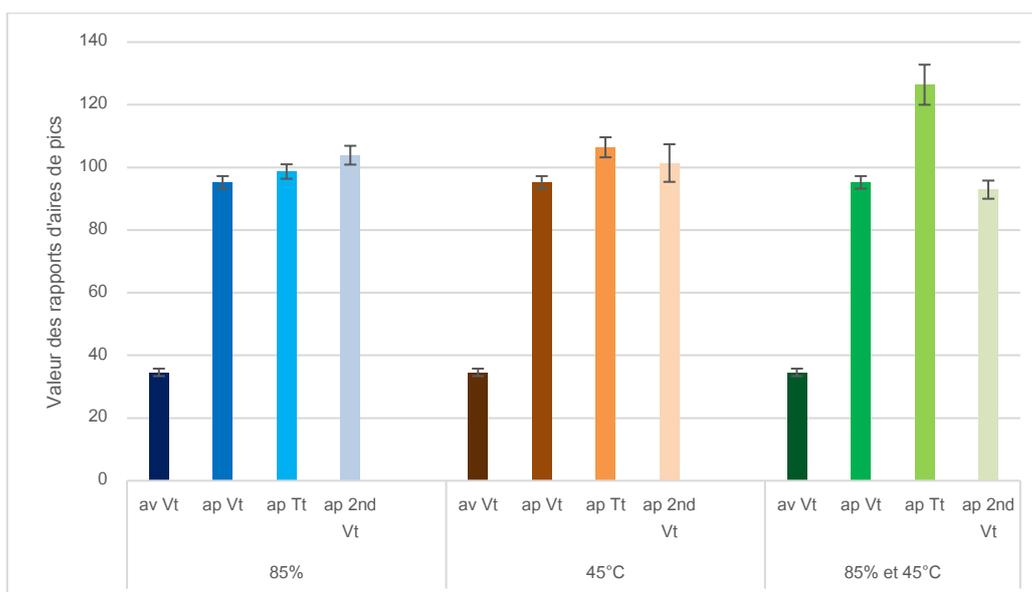
Les rapports d'aire de pics ne montrent pas de désacétylation : le rapport le plus bas se situe à 3,7 (Graphique 51). Cependant, les mesures IRTF-ATR et le traitement des pics permettent de montrer que l'ensemble des actions induit une baisse du rapport, que ce soit le premier vieillissement, le traitement ou le second vieillissement.

Les traitements provoquent une évolution du rapport quelles que soient les conditions dans lesquelles la mise en tension est réalisée. Cette baisse du rapport se poursuit au cours du second vieillissement. La perte des groupements ester est plus importante en présence d'une forte humidité, ce qui est en accord avec la littérature. Cependant, dans le cas des traitements avec une forte humidité couplée à une forte chaleur, cette baisse du rapport semble moindre. Le vieillissement après les tests accentue le phénomène.

### Évaluation de l'impact des traitements sur une potentielle perte de plastifiants

Le suivi des plastifiants dans les films de zip soumis à un traitement de redimensionnement est évoqué précédemment : la méthodologie est la même que celle utilisée pour l'évaluation de l'impact des solvants<sup>463</sup>. L'évaluation des plastifiants est calculée par le rapport d'aires de pics du cycle pyranose C-O-C à 1030 cm<sup>-1</sup>, sur le pic des phtalates à 690 cm<sup>-1</sup>.

<sup>463</sup> Voir Chapitre 6, I, D. Impact sur le film des solvants et des mises en œuvre sélectionnés , p. 247.



Graphique 52 : Rapports des pics (cycle pyranose C-O-C à 1030 cm<sup>-1</sup> sur phtalates à 690 cm<sup>-1</sup>) pour mettre en avant une potentielle perte de plastifiants en fonction des différentes conditions de mise en tension.

Le premier vieillissement induit la plus importante perte de plastifiants, visible par l'augmentation du rapport d'environ trois fois sa valeur initiale (Graphique 52).

Le traitement de redimensionnement sous haute humidité relative induit la plus faible perte de plastifiants. Ces valeurs sont assez proches de celles des éprouvettes soumises à une mise en tension en milieu chaud. Cependant, il faut noter que le second vieillissement climatique semble poursuivre la perte des plastifiants initiée par le traitement humide, bien que celui-ci soit ténu au regard des écarts types. En revanche, le traitement à la chaleur montrerait plutôt leur migration à la surface (la baisse du rapport correspondant à une augmentation des plastifiants mesurés à la surface). La mise en tension sous forte chaleur et haute humidité relative conduit à une perte plus importante des plastifiants et le vieillissement artificiel semble favoriser leur déplacement à la surface de façon tout aussi importante.

Il faut noter ici que ces variations de plastifiant sont limitées au regard de la perte provoquée par le premier vieillissement : passage d'un rapport de pic de 34,58 à 95,24 en moyenne.

### **Conclusions des essais de redimensionnement**

Ces expérimentations sont l'occasion de se rendre compte du comportement du zip sur un plan encore peu abordé dans cette étude, celui de la résistance mécanique. Contrairement à nos préjugés, le film a bien résisté à la traction et aucune rupture ne s'est produite sur le film. Ce dernier s'est d'ailleurs montré plus résistant à la traction que le papier de support. Cependant, la mise en tension ne permet pas de modifier la dimension des films. Une des craintes qui donnait un argument défavorable était la possibilité d'étendre le film au-delà de sa dimension d'origine. Elle n'est pas fondée puisqu'il n'est pas possible dans ces conditions de gagner ne serait-ce qu'un ou deux millimètres. Le traitement a néanmoins un impact positif sur les déformations, observées à l'issue du démontage. Comme leur présence n'avait pas été envisagée et que le nombre d'éprouvettes était spécifiquement calculé pour les tests dont les protocoles avaient été pensés en amont du vieillissement, nous ne disposons pas d'éprouvettes supplémentaires. Il aurait néanmoins été pertinent d'évaluer l'impact sur la planéité, d'une série avec dépose et repose sans traitement de mise en tension. En effet, dans la mesure où le traitement de redimensionnement ne fait pas gagner en dimension, peut-être que la repose seule permet de résorber les déformations observées.

Par ailleurs, dans la mesure où l'objectif premier de la mise en tension, à savoir rendre aux éprouvettes leur taille d'origine, n'est pas atteint, la mise en tension dans le seul but d'atténuer les déformations ne semble pas la plus pertinente. En effet, une remise à plat sous presse après une humidification, par exemple, pourrait être bien plus pertinente.

#### **Résultats :**

- **Échec du redimensionnement du zip avec les méthodes testées.**
- **Amélioration de la planéité pour les zips traités séparément avec les différentes méthodes, mais les déformations réapparaissent avec un vieillissement artificiel.**
- **Les méthodes ont toutes un impact, plus ou moins fort, sur la perte des groupements esters et celle des plastifiants.**

### III. Traitement de remise à plat

Les informations tirées de la littérature permettent d'envisager le traitement des déformations induites par la rétraction des films de zip par la mise sous presse. Nous avons déjà mentionné que le traitement de mise sous poids est, dans la plupart des cas, précédé d'une exposition à des paramètres (chaleur ou humidité) afin de détendre la matière pour qu'elle se réorganise ou se stabilise une fois sous poids. Cependant, il est souvent nécessaire de démonter des ensembles collés si l'on veut obtenir une remise à plat adéquate. En effet, les différences d'épaisseurs et les comportements différents des éléments (sans parler du caractère collé), peuvent induire de nouvelles contraintes et dégradations. Toutefois, dans le cas présent, le collage est bon et le démontage d'un collage en plein peut s'avérer traumatique pour la matière, surtout dans le cas de grandes surfaces. Ainsi, le parti pris pour l'expérimentation de remise à plat est de ne pas démonter le système zip/papier et de traiter les déformations en intervenant sur l'ensemble (Figure 233, encadré rouge foncé).

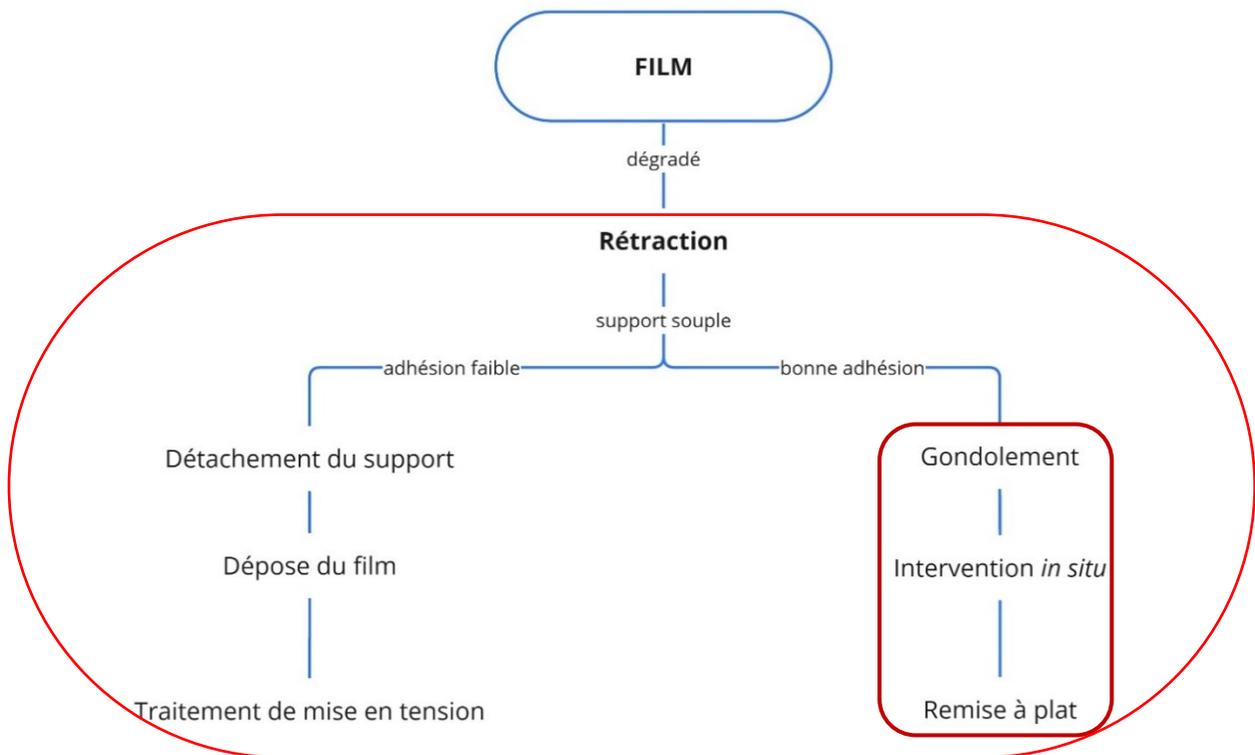
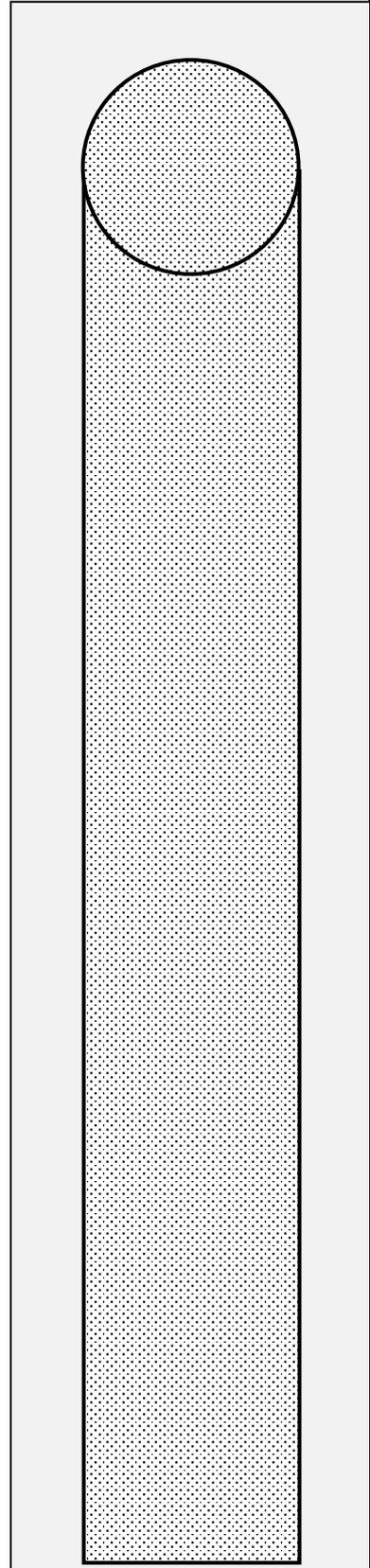


Figure 233 : Diagramme des étapes successives pouvant être envisagées dans le cas de traitement de remise à plat.

Tableau 23 : Présentation du plan d'expérimentation pour la mise en œuvre d'un traitement de remise à plat.

<p><b>L'objectif de ces expérimentations est d'évaluer s'il est possible de retrouver la planéité d'origine du film rétracté par une mise à plat sans induire de nouvelles contraintes.</b></p>		<p>Morphologie des éprouvettes Echelle 1 (5 x 23 cm)</p>
<b>ÉPROUVETTES</b>	<b>Réalisation des éprouvettes</b>	
	<p>Découpe du zip au scalpel Pose sur le papier de support, papier calque Vieillessement artificiel : cycle de 24h avec une température stable à 40°C et une variation de l'humidité de 30% à 70% (variation sur 3h et stabilisation sur 9h) pendant 70 jours.</p>	
	<b>Matériel des éprouvettes</b>	
	<p>aC+DEP+vinyle (LT 912 motif points)</p>	
<b>EXPÉRIENCE</b>	<b>Nombres d'éprouvettes</b>	
	<p>1 témoin 3 éprouvettes par méthode de remise à plat (5) Soit 16 éprouvettes</p>	
	<b>Méthodes de l'expérimentation</b>	
	<p>Pas de traitement préalable</p> <p>Humidification en chambre à 100%, pendant 1 minute Éprouvette avec le côté calque vers la source humide Éprouvette avec le côté zip vers la source humide</p> <p>Apport de chaleur, 80°C à la spatule chauffante appliquée en aller-retour, 30 sec Éprouvette avec le côté calque vers la source de chaleur Éprouvette avec le côté zip vers la source de chaleur</p>	<p>Mise sous presse « <i>hard-soft sandwich</i> » avec 100 kilos pour un mois</p>
<b>Méthodes de suivi</b>		
<p>Prise de vue d'ensemble avant et après expérience Mesures dimensionnelles Documentation photographique Mesure IRTF-ATR</p>		



Pour rappel : aC+DEP signifie un film d'acétate de cellulose plastifié avec des phtalates.

## Objectif

Les premiers stades de rétraction du zip peuvent donner lieu à des tensions du zip exercées sur le papier de support et engendrant des déformations. Dans ces cas-là, le zip ne présente pas de défauts d'adhésion. L'objectif de cette expérimentation est d'évaluer si une remise à plat est possible sans démonter le zip du support et dans quelles conditions, sachant que le zip et le papier calque sont sensibles à l'humidité, nécessaire pour relaxer les fibres et obtenir une mise à plat

### A. Matériel et méthode

#### 1. Morphologie des éprouvettes

À l'image des éprouvettes conçues pour les tests de redimensionnement, les éprouvettes sont conçues pour présenter rapidement et de façon prononcée des déformations nécessitant un traitement de remise à plat (Figure 234).

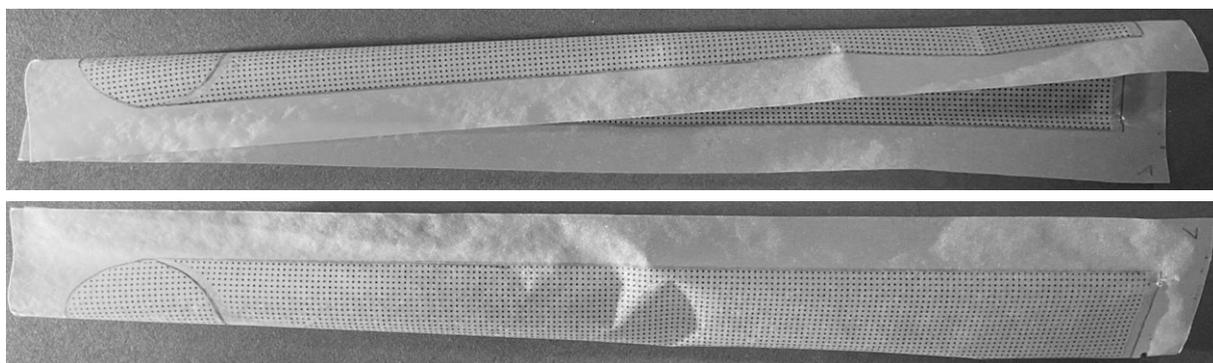


Figure 234 : Éprouvette témoin des tests (n°1) après vieillissement, vue de face en haut et de dos en bas.

Contrairement aux éprouvettes de redimensionnement, les éprouvettes sont réalisées sur un papier calque, souple et lisse<sup>464</sup>, pour reproduire le phénomène d'entraînement du papier de support en maintenant l'adhésion du zip pour pouvoir observer des déformations de l'ensemble. La référence de zip est la même que celle utilisée pour les tests précédents : un film d'acétate de cellulose plastifié seulement avec du phtalate de diéthyle avec un adhésif vinylique, Letraset® LT912, trouvé à New York, motif de points et date de fabrication le 22 juillet 1992. Après leur réalisation, les éprouvettes sont vieillies artificiellement en enceinte climatique selon des paramètres de vieillissement susceptibles de provoquer des déformations pour des éprouvettes avec une bonne adhésion entre le zip et le papier<sup>465</sup>.

Une fois vieillies, les éprouvettes présentent une déformation différente des celles observées sur les éprouvettes de la précédente expérimentation. Celle-ci est une déformation de l'ensemble, support et zip toujours collés, qui tuilent et se roulent sur elles-mêmes. Le zip induit la contrainte, les éprouvettes s'enroulent, zip vers l'intérieur dans le sens de la longueur. Les films de zip sont mesurés et présentent tous une rétraction moyenne dans le sens de la longueur de 3 mm, visibles par un décalage aux deux extrémités d'environ 1,5 mm. Dans le sens de la largeur, aucune perte dimensionnelle n'est visible.

<sup>464</sup> Calque 40 g/m<sup>2</sup>, le support des éprouvettes est découpé dans le même support ayant servi aux supports des tests de vieillissement.

<sup>465</sup> Vieillissement en cycle de 24h avec une température stable à 40°C et une variation de l'humidité de 30% à 70% (variation sur 3h et stabilisation sur 9h) pendant 70 jours.

## 2. Méthode de l'expérimentation

### Méthodes d'humidification

L'humidification se fait dans une chambre étanche (Figure 235) : une source humide, un Paraprint® imbibé d'eau, dans une enceinte close, réalisée avec une bâche scellée sur le pourtour par des plaques de verre, porte l'air de l'enceinte à saturation d'humidité. C'est dans ces conditions que sont placées les éprouvettes à humidifier. L'éprouvette est isolée de la source humide par une trame inerte laissant circuler la vapeur, et de la bâche par un intissé de polyester Cokon®, pour éviter toutes gouttes d'eau sur la surface de l'éprouvette dans le cas de condensation.

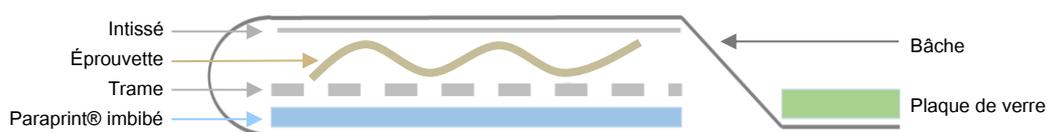


Figure 235 : Schéma de l'enceinte d'humidification.

L'humidification des papiers calques en vue de leur remise à plat, doit être limitée en raison de la grande sensibilité de ces papiers à l'eau. Les éprouvettes sont donc exposées aux vapeurs pendant une durée de 1 minute<sup>466</sup>. Une des séries est installée papier calque vers la source humide, une autre série est installée zip vers la zone humide. Les éprouvettes étant très déformées, elles sont déroulées et contraintes, le temps de fermer la bâche, pour avoir leur surface entièrement exposée à l'humidité, recto ou verso suivant les cas. Il est important de noter que ce type d'intervention est engagé globalement plutôt que localement. En effet, une humidification locale risque d'induire de nouvelles contraintes à la limite entre la zone humidifiée et le reste de l'objet.

### Méthodes d'application de chaleur

Les éprouvettes sont très déformées, une application de chaleur avec une lampe, comme mise en œuvre pour les mises en tension, est trop générale et ne permet pas une approche ciblée. Pour ce traitement, le choix se porte donc sur l'utilisation d'une spatule chauffante de grande dimension, pour une application la plus homogène possible. Une chaleur de 80°C est appliquée sur l'éprouvette à travers un Mylar® siliconé. La spatule est appliquée sur la totalité de l'éprouvette en passage aller-retour. Pour une série, cette application se fait du côté du zip et pour une autre série, elle se fait du côté du papier calque.



Figure 236 : Méthode d'application de chaleur à l'aide d'une spatule chauffante, du côté du zip.

<sup>466</sup> L'humidification dure de 20 à 50 secondes. GLÜCK Eva, BRÜCKLE Irene, BARKHOFEN Eva-Maria, *Paper – Line – Light, The Preservation of Architectural Drawings and Photoreproductions from the Hans Scharoun Archive*, Berlin : Akademie der Künste, 2011, p.159.

### Méthode de mise sous presse

Dans la suite immédiate de l'exposition à l'humidité et à la chaleur, les éprouvettes sont mises sous presse et y restent pendant un mois. Afin de pouvoir évaluer si la mise à plat est liée à la pression seule ou à l'apport d'humidité ou de chaleur, une série est mise sous presse sans exposition préalable à l'un des deux facteurs.

Généralement, sans que cela soit systématique, la presse est composée d'une succession de matériaux (Figure 237) : un carton bois (c), un buvard (b), un intissé de polyester du Cokon® (i), l'objet à remettre à plat (o), un intissé de polyester, un buvard. Le carton supérieur est recouvert d'une planche souvent de bois (p), elle-même chargée de poids. Le poids appliqué à la presse varie en fonction du type d'œuvre.

Pour la mise à plat des papiers calques, le type de presse diffère d'une presse dite classique : les interfaces autour du dessin ne doivent pas avoir les mêmes caractéristiques (dureté, souplesse, épaisseur) et le poids appliqué doit être le plus lourd possible. Cette technique dite du « *hard-soft sandwich* » (le sandwich dur-mou) a été popularisée par Hildegard Homburger<sup>467</sup> et Eva Glück<sup>468</sup> (Figure 238). L'œuvre est positionnée contre une surface dure et lisse, un carton bois (c) recouvert d'un intissé de polyester Holytex® (i). Elle est ensuite couverte par un autre intissé et par un feutre de polyester (f) pour le côté mou du sandwich. Enfin, le carton supérieur est recouvert d'une planche, souvent de bois (p), elle-même chargée du plus de poids possible.

C'est ce deuxième système qui est sélectionné pour l'expérimentation.

### 3. Protocole de suivi

#### Documentation photographique

Le suivi est réalisé par une documentation photographique de chaque éprouvette en lumière naturelle sur carton gris afin d'évaluer de possibles décollements et en lumière rasante sur carton de fond gris afin d'évaluer la planéité des films.

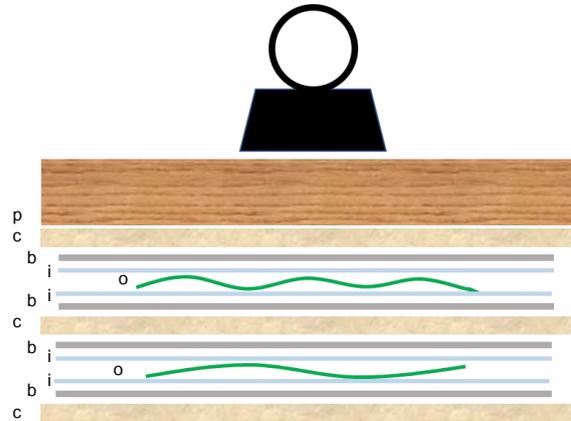


Figure 237 : Schéma d'une presse classique.

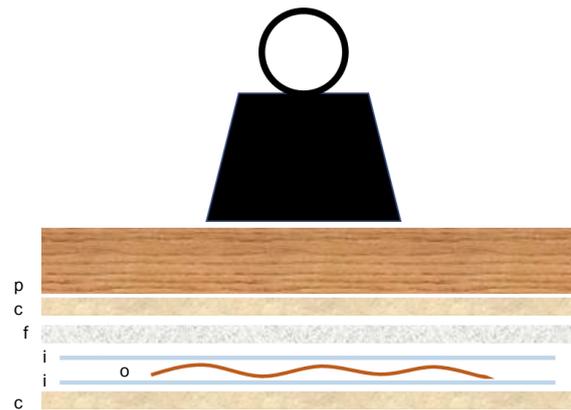


Figure 238 : Schéma d'une presse pour papier calque.

<sup>467</sup> HOMBURGER Hildegard, KORBEL Barbara, « Architectural Drawings on Transparent Paper : Modifications of Conservation Treatments », dans *The Book and Paper Group Annual*, Post-print, AIC, vol.18, 1999.

<sup>468</sup> GLÜCK E., *et al.*, 2011, *op. cit.*

### Mesures dimensionnelles

Au moment de la réalisation des éprouvettes, un cerne au crayon de graphite est réalisé sur le pourtour des éléments de zip afin d'être le témoin de leur position initiale. Après le vieillissement artificiel, le phénomène de rétraction est bien visible au niveau des extrémités de la forme de zip. Il est alors possible de mesurer la rétraction avec un régllet avec une précision du demi-millimètre.

### Mesure du tuilage

La mesure du tuilage s'appuie sur la mise en œuvre de Laury Gard pour son mémoire de fin d'étude, adaptée de la norme ISO 11556 :2005 (E), *Paper and board – Determination of curl using a single vertically suspended test piece*<sup>469</sup>. La norme est conçue pour des éprouvettes rondes ou carrées. Dans la mesure où les éprouvettes, bien que rectangulaires, ne tuilent que dans un sens, il n'y a pas de confusion sur les valeurs mesurées. Les mesures sont réalisées sur l'éprouvette et intégrées à la formule mathématique du tuilage pour obtenir K qui s'exprime en m<sup>-1</sup> (Figure 239).

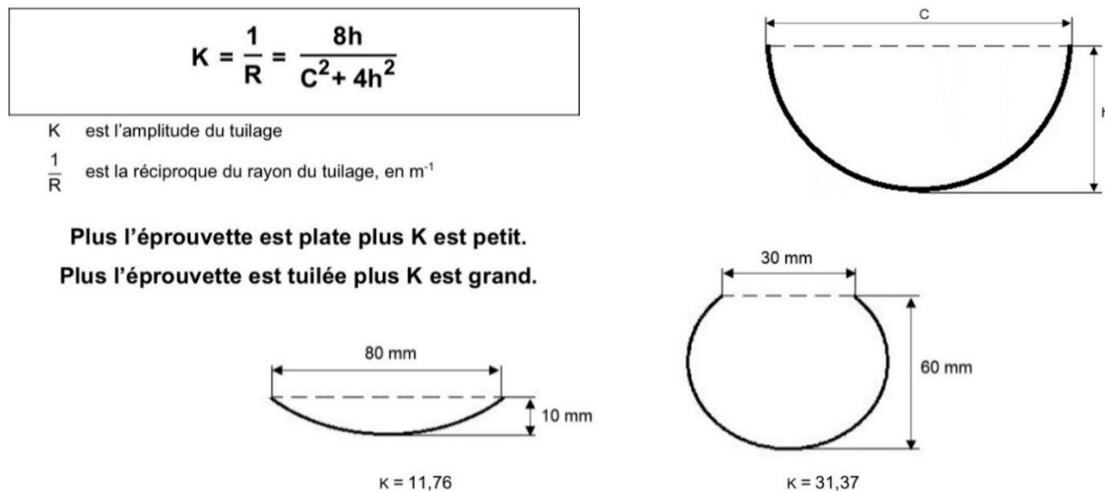


Figure 239 : Formule et méthodes de mesure du tuilage. ©LauryGard

### Mesures IRTF-ATR

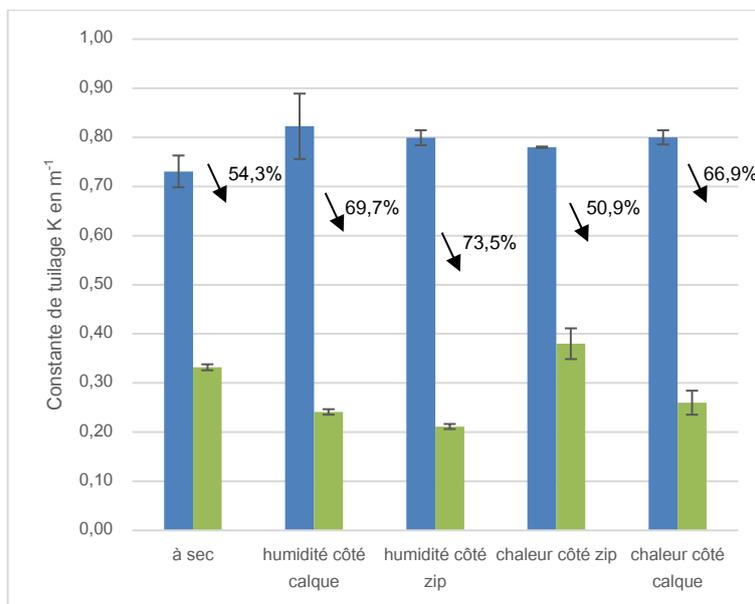
Afin de vérifier l'innocuité du traitement sur le film à un niveau moléculaire, des mesures en spectroscopie IRTF-ATR sont réalisées après vieillissement et après le traitement.

## B. Résultats de l'expérimentation de remise à plat

### 1. Comparaison de l'efficacité des différentes mises en œuvre

Les éprouvettes ne présentent pas toutes le même type de déformation à l'issue du vieillissement artificiel. Cependant, le calcul du tuilage donne un échantillon assez cohérent dans l'ampleur des déformations. La comparaison des différents traitements semble donc valable (Graphique 53). Il faut noter que l'ampleur de la déformation mesurée par le calcul du tuilage ne rend pas compte de l'aspect de surface de l'éprouvette mais de son aspect général.

<sup>469</sup> GRARD L., *et al.*, 2019, *op. cit.*



Graphique 53 : Comparaison des résultats des différentes mises sous presse et moyenne du pourcentage de perte.

Les mises en presse avec une humidification préalable offrent les meilleurs résultats. Une humidification du côté du zip semble plus bénéfique que l'humidification côté calque, bien que les résultats soient très proches : les éprouvettes voient leur tuilage diminuer de 73,5% en moyenne après la mise sous presse pour une humidification côté zip, contre 69,7% pour une humidification côté calque. Quel que soit le type de tuilage initial, le résultat de la mise à plat est très proche d'une éprouvette à l'autre. Les éprouvettes présentent néanmoins des tensions qui induisent des déformations à l'issue de la mise sous presse.

Les résultats d'un apport de chaleur avant la mise en presse donnent des résultats moins satisfaisants que l'humidification. L'apport de chaleur du côté du calque permet une amélioration des déformations de 66,9%, tandis que l'apport de chaleur du côté du zip ne diminue le tuilage qu'à 50,9%. Le résultat de la mise avec un apport de chaleur ne présente pas le même gain d'une éprouvette à l'autre.

Malgré l'absence de traitement préalable, les éprouvettes mises en presse directement présentent un gain dans leur planéité de 54,3 % en moyenne. Comme pour les séries précédentes, la morphologie de l'échantillon est assez homogène malgré des déformations initiales différentes d'une éprouvette à l'autre. Cependant, les déformations résiduelles laissent penser que ce mode de mise en œuvre nécessite un plus long temps de traitement.

## 2. Comparaison des décollements induits par les différentes mises en œuvre

Malgré l'amélioration de la planéité générale, les traitements de mise à plat induisent des décollements du papier calque. En effet, l'éprouvette est déformée dans son ensemble, enroulée sur elle-même avec le zip à l'intérieur de l'enroulement, probablement car c'est lui qui tire sur le papier et induit le tuilage. La remise à plat permet d'ouvrir l'éprouvette mais le temps court de l'intervention ne permet pas le glissement du calque sous le zip et accentue ainsi les décollements. Le traitement tel qu'il est mis en œuvre dans cette expérimentation ne permet pas de les résorber. Certains paramètres de mise en œuvre semblent renforcer ces tensions et par là aggraver ces décollements et déformations.

La mise à plat sans traitement préalable est celle qui contribue le moins à résorber les déformations. Cependant, cette mise en œuvre ne provoque que peu de phénomènes de décollement du papier du zip à l'issue du test (Figure 240).

La mise en presse après un apport d'humidité induit légèrement plus de décollements (Figure 241 et Figure 242).

Enfin, l'apport de chaleur contribue à augmenter les tensions de l'éprouvette et engendre d'importants décollements (Figure 243 et Figure 244). L'effet accidenté de la surface semble le résultat de tensions entre le zip et le papier de support. L'apport de chaleur avec une spatule chauffante provoque en plus la création de plis marqués dans le support en papier calque.

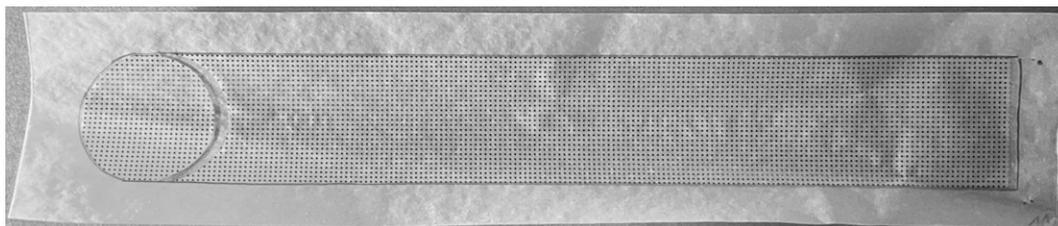


Figure 240 : Éprouvette 11, avant et après mise sous presse sans traitement préalable.

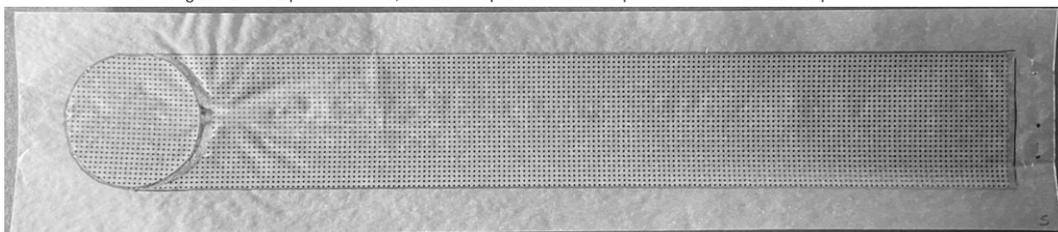


Figure 241 : Éprouvette 5, avant et après mise sous presse après humidification préalable côté calque.

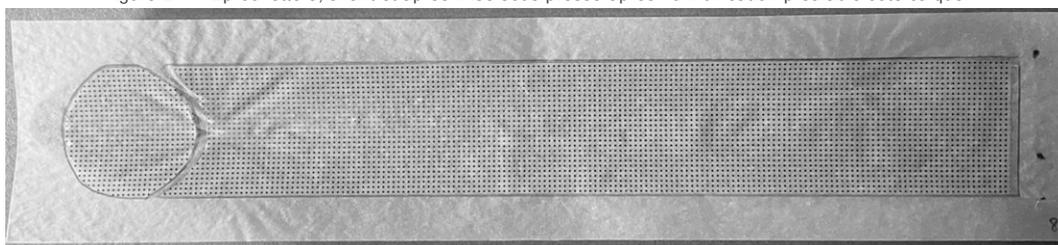


Figure 242 : Éprouvette 8, avant et après mise sous presse après humidification préalable côté zip.

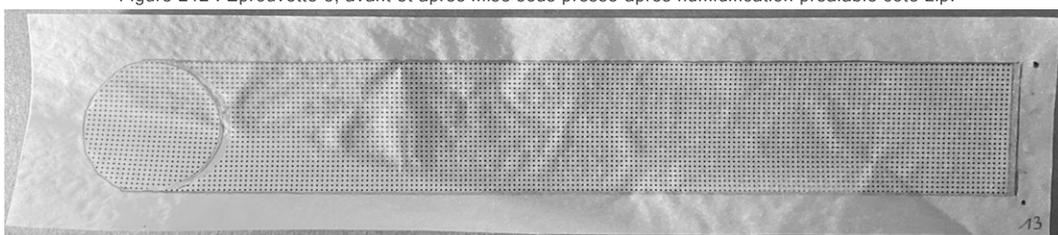


Figure 243 : Éprouvette 13, avant et après mise sous presse après apport de chaleur préalable du côté du zip.

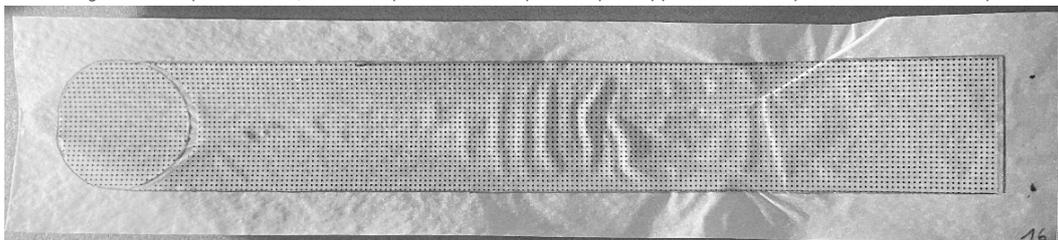


Figure 244 : Éprouvette 16, avant et après mise en presse après un apport de chaleur préalable côté calque.

### Conclusion de l'expérimentation de la mise à plat

La mise à plat sans démontage préalable et avec un apport d'humidité ou de chaleur, n'est pas envisageable pour des zips sur calque. Il faut noter que le calque est un papier particulièrement réactif et que sa mise à plat quand il est seul est déjà compliquée. La mise à plat sans mise en conditions préalables pourrait être envisagée.

Il semble qu'un système avec une contre forme pour dérouler l'éprouvette petit à petit et en faisant glisser les éléments, zip et papier, l'un sur l'autre, pourrait permettre de réduire encore les décollements du papier du zip au moment de sa remise dans le plan. Cette piste nécessite d'être plus approfondie. Il faut par ailleurs noter que les déformations observées sur les collections sont moins dramatiques que celles obtenues par le vieillissement artificiel.

**Résultats :**

- **La mise sous presse permet de résorber les déformations d'éprouvettes en système tuilée mais engendre des décollements.**
- **Un apport d'humidité préalable améliore la mise à plat mais peut aggraver les décollements.**
- **Un apport de chaleur ne permet pas une atténuation des déformations aussi grande et provoque de forts décollements.**

### **Conclusion générale du traitement des phénomènes de rétraction**

Le traitement des phénomènes de rétraction, ou du moins de leur résultat sur la planéité des zips et des supports, entrepris lors de ces expérimentations, nous conforte dans l'idée qu'une fois que la matière est modifiée, à l'échelle moléculaire même, il n'est pas possible de lui rendre un état d'origine. Si cela peut être envisagé pour des matériaux fibreux, et dans certains cas, ce n'est pas vrai, comme l'on pouvait s'y attendre, pour des matériaux amorphes. Cependant la confrontation avec l'expérimentation, a révélé la présence de déformations engendrées sur le zip par la tension exercée par le papier décollé. Jusque-là cette déformation de la matière ne nous était pas apparue. Ainsi, dans le cas où un zip devrait être démonté car contraignant le papier de support, un traitement de mise à plat devrait être prévu en amont de la repose. La réalisation de tests complémentaires sur l'impact de la repose seule pourrait, par ailleurs, permettre de confirmer la nécessité de ce traitement ou non. Enfin, les déformations peuvent être résorbées mais le temps long au cours duquel elles se sont formées induit une recherche d'équilibre par les matériaux et tenter de les résorber dans un temps trop réduit est souvent infructueux.

#### **Ce qu'il faut retenir de ce chapitre**

- Un redimensionnement des zips rétrécis n'est pas obtenu avec les méthodes testées (mise en extension à 85% HR, à 45°C et à 85% HR et 45°C).
- La mise en tension dans les différentes conditions permet de réduire les déformations mais celles-ci réapparaissent avec un nouveau vieillissement.
- L'exposition des zips aux différentes conditions a un impact plus ou moins fort, sur la perte des groupements esters et celle des plastifiants.
- La mise sous presse des zips non démontés de leur papier de support permet de résorber les déformations mais engendre des décollements
- Comme précédemment, l'exposition à une humidité ou une température élevée, induit des altérations.
- La mise à plat semble la méthode adaptée mais afin de prévenir l'apparition des décollements, il est nécessaire de définir un protocole sur un temps d'intervention plus long.



## CHAPITRE 8 : ÉTUDE DE CAS

---

Dès les prémices de la recherche, il s'est imposé à l'ensemble des différents partenaires du projet que l'objectif étant de trouver des protocoles de traitement pour restaurer les collections des dessins d'architecture avec des zips dégradés, l'ultime étape devait être leur mise en œuvre dans des conditions réelles, à savoir, sur des œuvres. Bien entendu, ces traitements ne seraient engagés que dans le cas où les résultats des tests réalisés sur des éprouvettes seraient parfaitement satisfaisants. La possibilité de la non-intervention restant toujours une réalité considérée. Au cours de l'évaluation des collections, certains dessins particulièrement altérés, que l'on pouvait en l'état qualifier de perdus, ou au contraire dans un état général satisfaisant mais présentant une zone dégradée, particulièrement gênante, se sont qualifiés comme candidats à de potentiels essais de restauration.

La réalisation des tests précédemment présentés, a favorisé la mise à jour des options pratiques disponibles pour le conservateur-restaurateur. Le traitement des phénomènes de soulèvement peut à présent être envisagé. Cependant, les expérimentations sur éprouvettes n'ont pas permis de définir des protocoles pour retirer l'adhésif des zips avec l'encre entre le film et l'adhésif. Si des tests ont été entrepris pour évaluer le collage d'un adhésif de restauration sur celui d'origine, leur poursuite est nécessaire pour évaluer la réversibilité de la repose et son impact sur la couche d'encre. Dans le cas des traitements relatifs à des phénomènes de rétraction, les interventions minimalistes sont à privilégier. Au regard des connaissances et des tests, pour les dessins où la rétraction est dangereuse et nécessite une intervention dans les meilleurs délais, une dépose et une repose après remise à plat du support, mais sans traitement du film, semblent les plus sûres. Enfin, les zips présentant des bulles en réseaux devront faire l'objet de mesures préventives en attendant que des recherches rendent possible une intervention maîtrisée.

Ce constat fait, il est décidé en concertation avec les responsables des œuvres du Centre Pompidou de choisir comme étude de cas un dessin si altéré que c'est à lui que l'on pense en premier quand on pense « zip dégradé » : le plan d'ensemble du projet d'Auroville de Roger Anger (Figure 245).

Ce dessin, « hors service » puisque son état ne permet ni de le présenter, ni de le publier, semble un candidat idéal : sa principale altération est la dégradation de l'adhésif de plusieurs zips allant de petites cloques au manque total de certaines pièces de zip, en passant par l'effet visuel le plus inquiétant de morceaux de zip à peine tenus et soulevés.

Ce chapitre est l'occasion de présenter les réflexions et les discussions suscitées par ce dessin et l'engagement dans une intervention de conservation-restauration. En effet, la nécessité d'intervenir sur les morceaux soulevés est actée mais ensuite ? Comment traite-t-on des zones de manques, faut-il les réintégrer, mettre en place une restitution numérique ou les laisser telles quelles ? Par ailleurs, les échanges ont montré que l'identification des problèmes et les enjeux n'était pas clair pour l'ensemble des partenaires.

L'ensemble des traitements entrepris sera présenté ainsi que les perspectives d'intervention sur ce dessin.

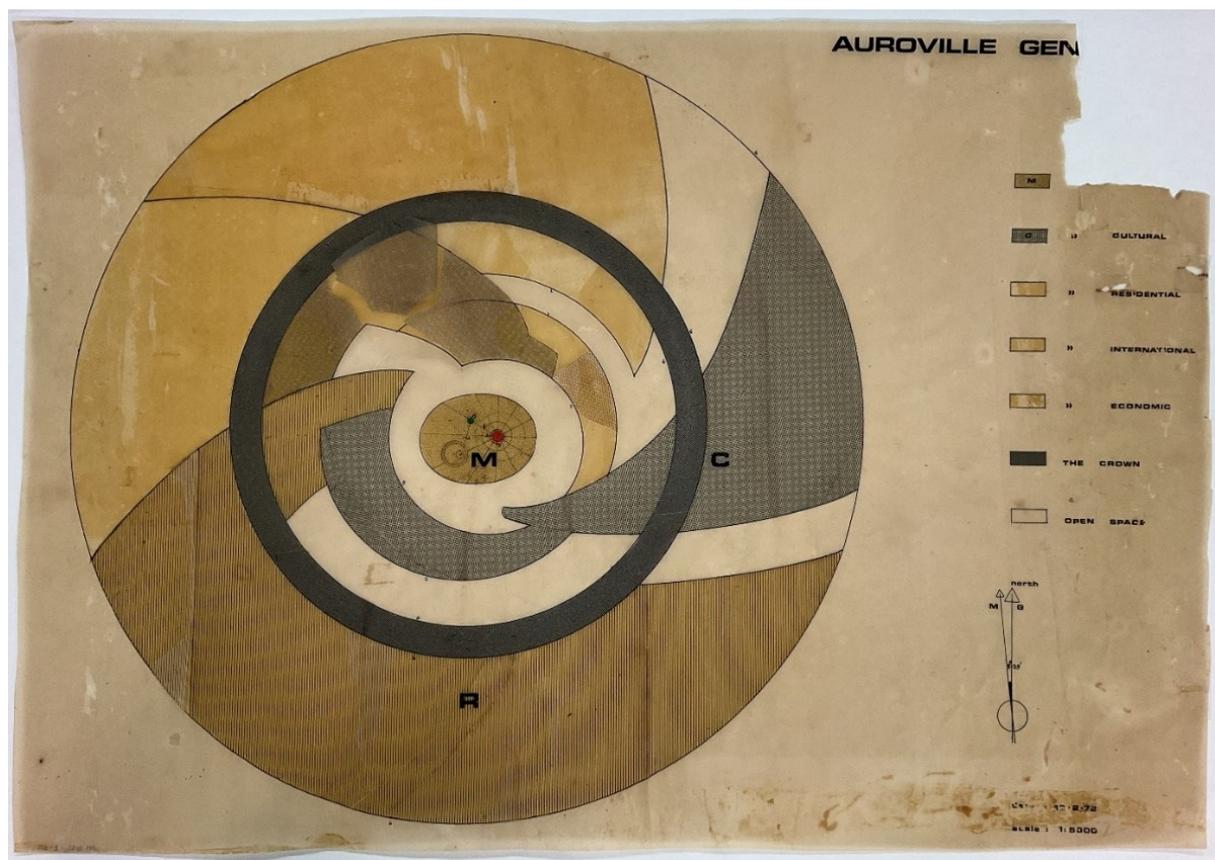


Figure 245 : Vue du plan de masse de la ville d'Auroville, Roger Anger, 1968-1970, 53,4 x 75,5 cm, AM 2015-2-184.  
©M.Cinqualbre/CentrePompidou

## I. Présentation du dessin et de ses altérations

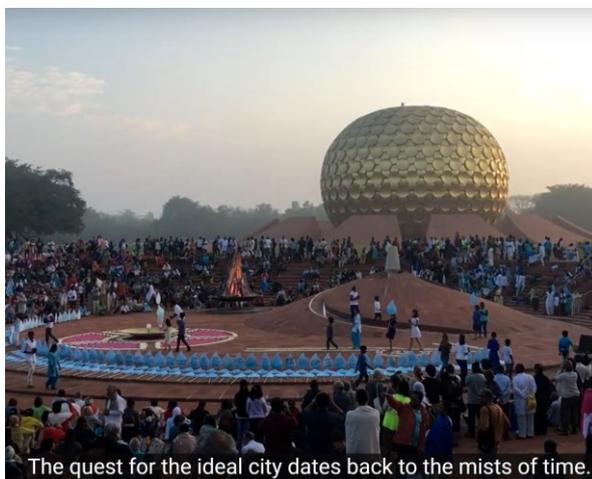
### A. Brève présentation du projet

Le projet de la ville d'Auroville (ville de l'aurore et du nom de son créateur Sri Aurobindo) naît dans les années 1968, avec le soutien de l'Unesco, au nord de la ville de Pondichéry en Inde. Sa création découle d'une volonté utopique de construire « une cité universelle où hommes et femmes apprendraient à vivre en paix, dans une parfaite harmonie, au-delà de toutes croyances, opinions politiques et nationalités »<sup>470</sup>.

Ce projet architectural et urbanistique est emblématique car il s'agit d'une utopie réalisée. L'architecte Roger Anger<sup>471</sup> le pense en « Galaxie » suivant la volonté des commanditaires. La symbolique du projet se traduit dans ces formes de cercles concentriques et son organisation rayonnante (Figure 246), émanant du temple du Matrimandir, qui recèle la salle de méditation (Figure 247). Par ailleurs, l'interaction entre la ville et la nature est au cœur du projet.



Figure 246 : Vue du ciel, de l'espace central, consacré au Matrimandir. © compte instagram arthiarchie



The quest for the ideal city dates back to the mists of time.  
Figure 247 : Capture d'écran du court métrage *Auroville, la ville dont la Terre a besoin ?* réalisé par Violette Drulang, Jérémie Mahendro et Alain Malaval.

Le plan d'ensemble est organisé selon sept espaces dont chacun à une fonction. Le Matrimandir, l'« âme de la cité » est au centre de la ville, et autour de lui s'organise les espaces dédiés à la culture, aux hébergements des habitants et aux activités économiques. La ville se veut une cité universelle, aussi accueille-t-elle une zone internationale où les nations peuvent construire des pavillons. La couronne est pensée comme un axe circulaire qui relie les différentes zones entre elles et les espaces ouverts équilibrent les zones constructibles et celles dédiées à la nature. De nombreux dessins représentent ce plan d'ensemble ainsi que ses évolutions avant le début du chantier. Dans la série d'environ 150 dessins, conservés au Centre Pompidou, on trouve de nombreux croquis et quelques dessins de présentations. Ces dessins de rendu sont réalisés à l'aide de zip pour figurer les différents espaces.

<sup>470</sup> FRICOT Pauline, « Inde : 50 ans après sa fondation, qu'est devenu la cité utopique d'Auroville ? », dans *Géo*, publié le 08/06/2021 mise à jour le 24/01/2022.

<sup>471</sup> Roger Anger (1923-2008), architecte français, internationalement connu pour la ville d'Auroville.

## B. Présentation des zips du dessin

### 1. Identification des zips

Le dessin présente 6 références de zip pour figurer les différentes zones du plan, hors espaces ouverts. Il présente une légende sur le côté droit, qui suit la succession des espaces dans le sens des aiguilles d'une montre (Figure 248). Tous les zips sont des références à motifs (Figure 249). Le centre, la zone M du plan, est identifiée par des points aléatoires. La zone C du plan, est réalisée avec un zip à points, superposé en deux couches pour obtenir un motif moiré. La zone R est couverte d'un zip imprimé de lignes parallèles. La zone I est remplie d'un motif de petits points alors que la zone E présente un zip avec des points plus gros. Enfin, la couronne est matérialisée par une densité plus grande obtenue par zip à motif de points inversés.

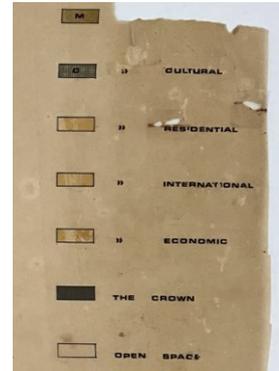


Figure 248 : Légende des espaces.

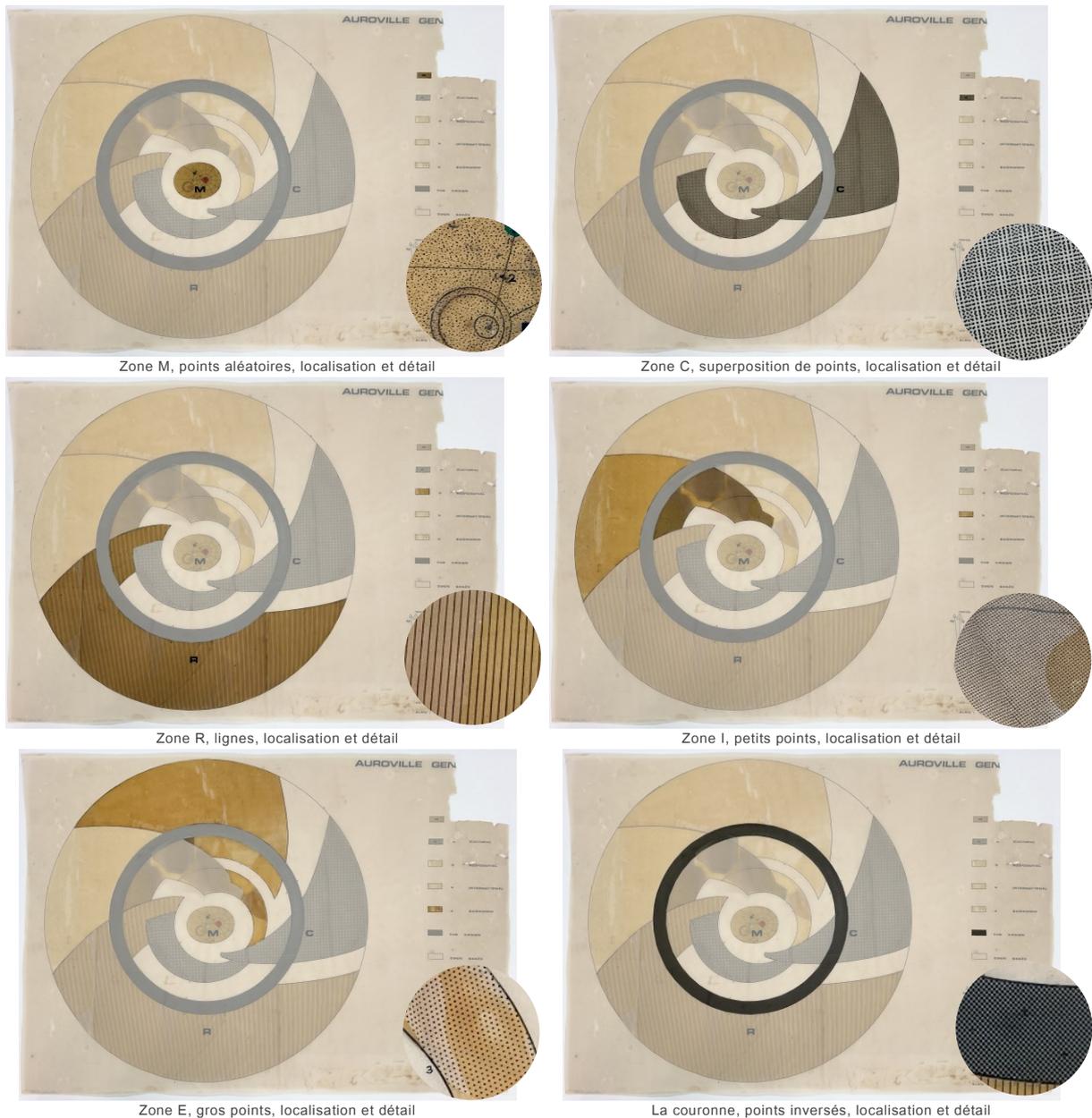


Figure 249 : Localisation et aspect des différents zips présents sur le dessin.

## 2. Constat d'état relatif aux éléments de zip

Bien que les références soient différentes, les dégradations laissent penser qu'il y a deux types d'adhésifs sur les zips du dessin.

### Dégradation de l'adhésif

#### *Phénomènes de soulèvement*

La dégradation qui est directement perceptible est le soulèvement de quatre morceaux de zip en partie centrale (Figure 250).



Figure 250 : Soulèvements des zips au centre du dessin.

Un des morceaux est totalement détaché tandis que les trois autres tiennent encore par de petites zones. La perte des propriétés adhésives s'accompagne de déformation en tuile qui contribue à faire sortir les zips du plan du dessin. Cette dégradation en plus d'être visuellement gênante, est particulièrement dangereuse pour ces zips, tant d'un point de vue du risque de perte que de celui de déchirure. Par ailleurs, en l'état, le verso est difficilement accessible en toute sûreté.

On peut observer la différence de saturation entre les zones encore collées et les zones déjà soulevées (Figure 251). Cette différence visuelle permet également de mettre en avant la dégradation de l'adhésif sur une autre référence de zip. Sur le zip avec les lignes, des zones apparaissent plus claires. Le plastique n'est pas soulevé car elles sont entourées de zones encore collées. Cependant, la moindre action mécanique casse l'adhésion entre le film et l'adhésif très oxydé.

Il faut noter que la couche d'adhésif pour sa grande majorité reste sur le papier calque.



Figure 251 : Zones plus claires où le film est détaché de l'adhésif.

### Manques

La dégradation de l'adhésif a déjà causé la perte de plusieurs morceaux de zip dégageant une zone sans motif d'environ un tiers de la surface de zip (Figure 252). La présence même de l'adhésif témoigne de cette disparition. Il faut également relever que plusieurs éléments de zip constituant la légende sont manquants. Ces manques perturbent d'une part l'appréciation de la vision de l'architecte et d'autre part l'impact visuel du plan rayonnant. Néanmoins, malgré toutes ces pertes de zips, toutes les références sont présentes. La référence pour la zone E est la plus lacunaire cependant, un fragment subsiste et permet de rendre compte du motif initialement choisi pour cette zone.



Figure 252 : Zone présentant l'ensemble des pertes de zip.

### Jaunissement de l'adhésif

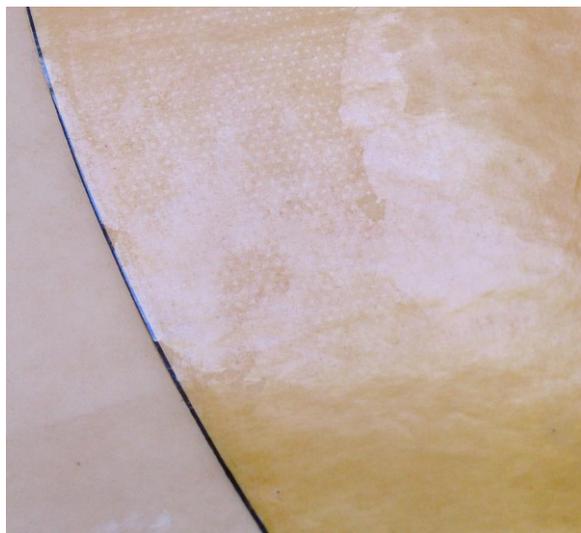


Figure 253 : Détail d'une zone d'adhésif jauni où l'ancien motif est visible et d'une zone sans adhésif (à gauche du tracé).

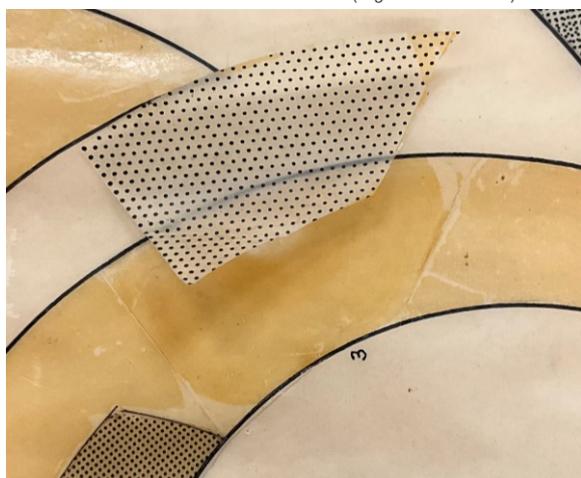


Figure 254 : Détails d'un élément de zip décollé présentant des résidus d'adhésif en miroir de ceux sur le papier. Cette photographie montre également des zones de rabotage entre des morceaux de zips.

Enfin, l'adhésif, en plus de ne plus assurer sa fonction, est très fortement jauni dans ces zones. Dans les zones où le film est perdu, l'adhésif est encore présent sur le papier et présente une surface jaune-orangée et brillante (Figure 253). La couleur est tellement prononcée que l'on pourrait croire qu'il s'agit d'un lavis ou de l'encre de couleur d'un zip qui serait restée sur le papier. Il n'en est rien : la photo-oxydation de l'adhésif montre par endroit, en négatif, le motif du zip qui y était posé. Le jaunissement n'est pas homogène. Par endroit, on discerne le calque dans des lacunes d'adhésifs ce qui laisse penser que la rupture est cohésive et que les résidus d'adhésif, sont, à ces endroits sur le zip (Figure 254). Enfin, le jaunissement de l'adhésif permet de voir les zones où plusieurs morceaux de zips étaient rabotés afin de créer un motif continu.

Cependant, il n'est pas possible dans ces zones de savoir si le motif était posé pour être parfaitement aligné ou légèrement décalé. Il faut également noter que l'adhésif a vraisemblablement taché le papier calque, en effet, on observe des reports de jaunissement sur d'autres dessins en contact.

Les références sans décollement ne présentent pas non plus de jaunissement. Cette observation permet d'avancer la thèse de deux types d'adhésifs différents.

### Dégradation du film

#### *Perte de structure mécanique*

Une des références soulevées présente une déchirure (Figure 255). Cette perte de structure mécanique est localisée au niveau d'une zone de faiblesse : entre une zone étroite et en partie collée et une zone qui s'élargit et qui est entièrement détachée. Il semble qu'à la suite du soulèvement, les contraintes de mouvement induites sur la pièce soulevée aient contribué à la déchirure du matériau en zigzag et sur toute la largeur. Cette dégradation confirme que le risque de déchirure des zips soulevé est bien réel.

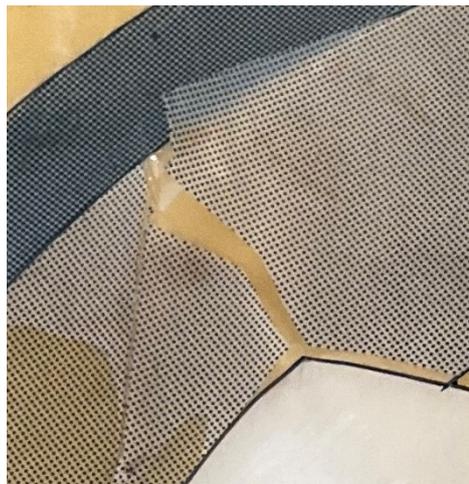


Figure 255 : Détail de la déchirure en zigzag dans le zip figurant l'espace international.

#### *Plis*

Par ailleurs, le soulèvement de grandes pièces de zip induit la formation de plis (Figure 256). Ils sont indiqués sur la photographie par deux flèches rouges.

Ces plis peuvent être engendrés par le glissement de dessins les uns sur les autres ou parce que le zip soulevé risque d'être écrasé suivant la position dans laquelle il se coince au moment de l'empilement des dessins. Avec le poids, certaines zones peuvent être pliées avec une marque nette de la matière. Cette cassure est irréversible et ne pourra pas être résorbée même s'il est possible de remettre le zip dans le plan.

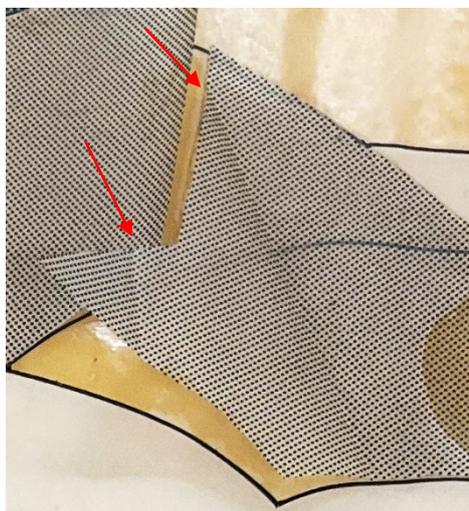


Figure 256 : Plis situés sur une des pièces de zip soulevée.

#### *Rétraction et tension*

Les zips ne présentant ni perte d'adhésion ni jaunissement, montrent quant à eux des phénomènes de rétraction (Figure 257).

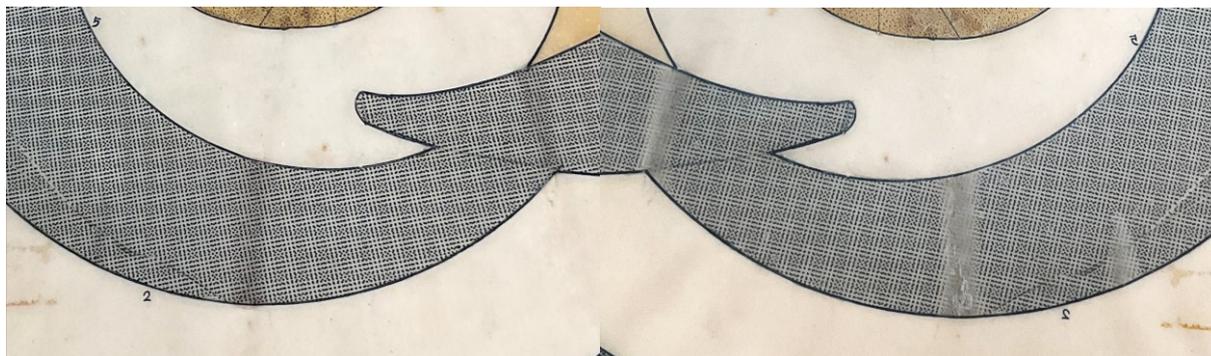


Figure 257 : Détails des décollements du papier sous l'effet de la rétraction du zip observés au recto, à gauche, et au verso du calque, à droite.

Comme précédemment observé, ces tensions sont perpendiculaires à la longueur de la pièce de zip. Peut-être le sens du papier joue-t-il également un rôle si les zips sont collés dans son sens préférentiel. Les marqueurs de ces rétractions sont les contraintes exercées sur le papier jusqu'à son décollement. Il n'y a pas d'écart entre les zips et le tracé. Les décollements du papier sont linéaires et apparaissent sans doute dans des zones où l'adhésion était moins bonne ou l'application présentait des faiblesses. Les décollements ne sont pas de très grande ampleur : environ 1 cm au plus large et jusqu'à 3 mm d'écart avec le zip.

### 3. Analyses de caractérisation

La morphologie des altérations donne des pistes pour déterminer la nature chimique des composés des zips du dessin. Dans le cadre professionnel, il est assez rare d'avoir accès à de la caractérisation souvent par faute de temps avec des délais particulièrement courts d'intervention, les résultats d'analyses parviennent après la réalisation de l'intervention et souvent parce que le commanditaire n'est pas disposé à payer pour ces analyses. Le conservateur-restaurateur a cependant gain de cause quand la nature des matériaux ne peut être déterminée autrement que par analyse et que l'intervention est conditionnée par ce savoir. Dans le cas de la thèse, l'accès à des équipements et la participation de scientifiques est une opportunité précieuse.

#### **Hypothèses formulées à partir de la morphologie des dégradations**

La date du projet induit que toutes les combinaisons film/adhésif peuvent être présentes.

La première famille de zip est celle pour laquelle les zips se soulèvent car les adhésifs photo-oxydés n'assurent plus leur rôle. Ces adhésifs sont par ailleurs particulièrement jaunis. Cette couleur si prononcée et découlant probablement d'une oxydation à la lumière (mise en évidence par des zones de points protégées par l'encre qui sont restées claires) laissent penser qu'il s'agit d'un adhésif à base de cire. Le film est sûrement un acétate de cellulose, comme aucune autre composition n'a été analysée jusqu'à maintenant et que son comportement correspond à ce qui a déjà été observé dans les collections<sup>472</sup>. La nature des plastifiants n'est en revanche pas possible à déterminer sans analyse. Même si la caractérisation des collections a montré que les adhésifs à base de cire se retrouvent préférentiellement sur des films avec un seul type de plastifiant, ils sont néanmoins également présents sur les films avec les mélanges de plastifiants.

La deuxième famille de zip est celle sur lesquels on observe les rétractions. L'adhésif assure son rôle et il est transparent. L'hypothèse est alors que ces adhésifs sont des acryliques ou des vinyliques car ils sont transparents. La très bonne adhésion et la localisation des rétractions laissent penser à un adhésif vinylique. Cependant, ces adhésifs étant des copolymères, il est juste de dire qu'il s'agit de l'un ou l'autre sans que cela ne change l'approche de façon drastique. Les films sont en acétate de cellulose, sans trop de doute, d'une part car ils sont les seuls trouvés jusque-là et par l'observation des rétractions qui trahissent leur présence. La nature des plastifiants est impossible à déterminer sans analyse. Cependant, le phénomène de rétraction ayant été observé principalement sur des films avec des phtalates seuls, cela pousse vers cette hypothèse.

#### **Analyses des différents zips du dessin**

De micro-prélèvements sont réalisés sur les différents zips (film/adhésif et adhésif seul), selon la méthode présentée précédemment.

---

<sup>472</sup> En cas de doute, pour savoir si un film est un dérivé cellulosique ou un plastique issu du pétrole, il est possible de réaliser un test simple d'observation en transparence du matériau entre deux filtres polarisants à la perpendiculaire : les dérivés cellulosiques offrent une surface homogène quand ceux issus du pétrole présentent des effets moirés et arc-en-ciel comme on l'observe sur l'essence.

L'hypothèse selon laquelle il y a deux types de famille de zip sur le dessin est validée. Les zips présentant des soulèvements et des jaunissements sont tous composés de la même typologie d'adhésif et de film. De même, les films sans soulèvement ni jaunissement présentent les mêmes familles d'adhésif et de film.

Pour les adhésifs, les hypothèses formulées à partir de l'observation des dégradations sont confirmées : les adhésifs jaunis et décollés sont à base de cire et les adhésifs non dégradés sont de la famille des vinyliques. Il faut rappeler ici, que dans la classification initiale, la famille des vinyliques est composée d'adhésifs en copolymères de groupements issus d'acides acryliques et de l'acétate de vinyle.

Les films sont des acétates de cellulose pour tous les films du dessin. Ils sont plastifiés avec des phtalates seuls pour le groupe des zips avec des adhésifs dégradés et avec des phtalates et du phosphate de triphényle en mélange pour le groupe des zips rétrécis. La caractérisation ne valide qu'une hypothèse concernant la nature des plastifiants (dont les arguments s'appuient sur les tendances observées sur une trentaine de dessins). Ainsi, l'observation des dégradations des zips ne permet pas de connaître la nature des plastifiants. Le recours à l'analyse est nécessaire.

Cependant, les tests de restauration et l'évaluation de l'impact des solvants sur les plastifiants montrent que quel que soit le type de plastifiants, une perte s'opère avec le vieillissement des matériaux et que les traitements n'ont pas un impact négatif si significatif au regard de l'évolution intrinsèque du matériau.

La connaissance des plastifiants est importante au regard de l'histoire de la fabrication des zips et des évolutions technologiques de la deuxième moitié du XX<sup>e</sup> siècle dans ce domaine mais leur caractérisation en amont d'une intervention de restauration ne semble pas toujours nécessaire.

### **C. Propositions d'intervention**

Pour rappel, le dessin de l'étude de cas a été choisi entre autres car il ne peut ni être exposé ni publié car son état de dégradation est tel qu'il est difficile de percevoir le dessin pour lui-même. Les différents échanges avec les responsables de la conservation de ce dessin montrent que les dégradations sont tellement prononcées qu'il est difficile de les comprendre comme telles. Il semble donc juste de dire que le public ne comprendrait pas qu'on lui présente un dessin dans cet état. Les objectifs de l'intervention sont donc discutés entre les différents partenaires, responsable de collection, restauratrice du Centre Pompidou et restauratrice-chercheuse. Par ailleurs, la question de savoir où doit s'arrêter l'intervention est discutée en amont.

Les objectifs de l'intervention, de façon unanime, sont de stabiliser les zips soulevés en les consolidant. Ils sont néanmoins amenés à évoluer en fonction des résultats des tests et des possibilités techniques qui se présentent.

L'étape nécessaire du retrait de l'adhésif oxydé soulève des questions. En effet, une crainte des commanditaires souvent rencontrée par les conservateurs-restaurateurs est celle d'une possible « remise à neuf ». Cette crainte n'est pas celle des professionnels de la conservation-restauration de papier où les possibilités d'action sont parfois si restreintes qu'une atténuation est déjà un bon résultat. Cependant, l'éventuel retrait du jaunissement étant perçu comme le fait d'effacer une partie de la vie de l'objet, il est donc décidé dans un premier temps de ne retirer l'adhésif qu'à l'emplacement spécifique des zips soulevés.

## II. Traitement de conservation-restauration

### A. Tests de solubilité de l'adhésif et des sensibilités des matériaux

La première étape de l'intervention consiste à évaluer la solubilité des adhésifs dégradés tout en s'assurant que le traitement peut être entrepris sans risque sur le film du zip, l'encre et le support du dessin. Si ces tests sont concluants, le traitement peut être entrepris suivant la méthodologie présentée précédemment.

#### 1. Solubilité des adhésifs

La zone centrale comporte deux références de zip soulevées. L'aspect de leurs adhésifs est similaire et la caractérisation a montré qu'ils appartiennent à la même famille, celle des adhésifs à base de cire.

Cependant, les deux zones font l'objet de tests de solubilité. Les tests sont réalisés sur l'adhésif resté sur le papier, en périphérie de la zone avec les zips. Par ailleurs, les tests sont entrepris à proximité de zones hétérogènes. Cela permet d'une part d'avoir une amorce et d'autre part de rendre les tests de dégageant plus discrets, dans le cas où le retrait de l'adhésif serait finalement abandonné.

Les mélanges sélectionnés à l'issue de la recherche scientifique de ce travail doctoral sont l'isopropanol dans le Shellsol D40 (25 :75), le mélange de carbonate de diéthyle (DEC) et de Shellsol D40 (50 :50) et l'alcool benzylique à 30% dans le KSG, dilué dans le D5. Les mélanges sont appliqués au bâtonnet de coton entraînant le gonflement de l'adhésif. Les restes de solvants sont essuyés à l'Evolon®.



Figure 258 : Résultats des tests de solubilité de l'adhésif dégradé.

Les tests sont concluants et deux méthodes permettent de retirer l'adhésif du calque (Figure 258). Le mélange d'isopropanol et de Shellsol D40, ne permet pas de retirer l'adhésif, mais contribue seulement à amincir sa couche. En effet, les proportions impliquent des paramètres de solubilité en dehors de la zone des cires. Le mélange DEC/D40 fonctionne très bien sur les zones des deux références de zip. Cependant, ce mélange ne permet pas de bien retirer les résidus d'adhésif en épaisseur. L'alcool benzylique dans l'émulsion de KSG/D5 permet de retirer les adhésifs des deux références de zip. Par ailleurs, il permet également, en augmentant le temps de pose du solvant, de retirer les résidus d'adhésif en épaisseur.

## 2. Fragilité du film

Une évaluation sensible (observation visuelle et ressenti au toucher) des films soulevés permet d'évaluer leur fragilité ainsi que ce qu'ils peuvent supporter en termes d'action mécanique.

Le retrait de l'adhésif du film pourrait être réalisé à la spatule car l'adhésif est cassant et se déplaque. Cependant, le film est jugé trop fragile pour cette méthode d'intervention qui implique un risque trop important d'une action mécanique avec un outil dur. Par ailleurs, les tests de solubilité de l'adhésif montrent que les deux mélanges DEC/D40 et alcool benzylique dans le KSG/D5 permettent de retirer les résidus d'adhésif de manière satisfaisante. Le mélange avec l'alcool benzylique a néanmoins besoin d'être rincé au D5 qui entraîne une action mécanique supplémentaire sur le film, non négligeable. Ce mélange semble donc moins adapté.

Le mélange DEC/D40 est donc retenu pour retirer l'adhésif du film car il ne nécessite qu'un seul passage.

## 3. Sensibilité des tracés et comportement du calque

Le dégagement mécanique de l'adhésif du calque a été envisagé mais le risque de provoquer des lustrages avec un outil métallique sur un calque est quasi certain. Un retrait aux solvants est donc la méthode la plus adaptée. Sur les zones où les tests sont entrepris, il n'est pas possible d'observer de réaction du calque. Ceci s'explique par l'absence d'eau des mélanges mais leurs interactions avec le support doivent tout de même être vérifiées. Par ailleurs, les mélanges sont testés sur le tracé à l'encre noire afin de vérifier leur innocuité en amont de l'intervention. Les deux mélanges ne provoquent pas de diffusion de l'encre autour du tracé mais le mélange à base d'alcool benzylique permet le transfert d'encre sur le bâtonnet de coton. Si celui-ci est préconisé pour le retrait de l'adhésif sur le calque dans les zones avec amas d'adhésif, il est primordial d'éviter la proximité immédiate des tracés. Aucun dépôt d'encre n'est observé sur le bâtonnet de coton imbibé du mélange DEC/D40.

### **B. Retrait des résidus d'adhésifs**

#### 1. Sur le film

Le test est réalisé sur la pièce de zip complètement décollée. La plus grande partie des résidus d'adhésif sont sur le papier claqué, ne laissant que quelques résidus hétérogènes d'adhésif sur le film (Figure 259). Un petit test est réalisé dans un angle. Il est concluant et le traitement est entrepris sur la pièce dans sa totalité. L'opération est réalisée sur buvard. Les résidus d'adhésif sont retirés à l'aide d'un bâtonnet de coton imbibé du mélange DEC/D40 (50 :50), poussés vers l'extérieur du film, sur le buvard (Figure 260). L'excédent de solvant est retiré en tamponnant doucement un morceau d'Evolon®.

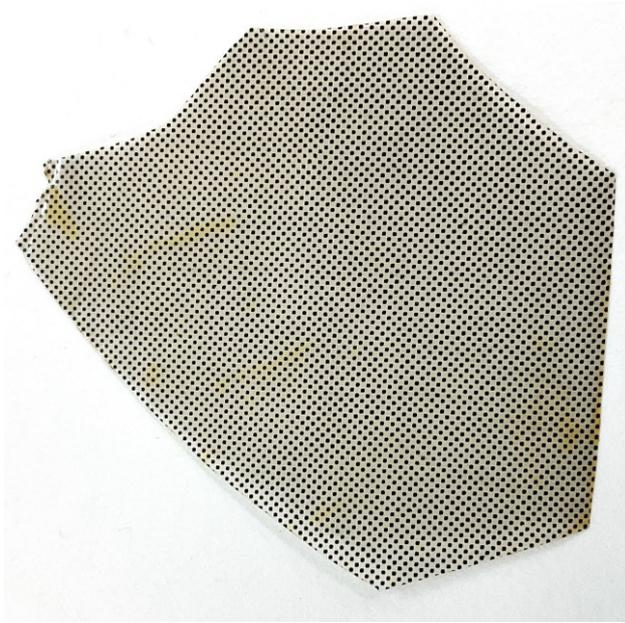


Figure 259 : Pièce de zip avec les résidus d'adhésif jauni perceptibles.

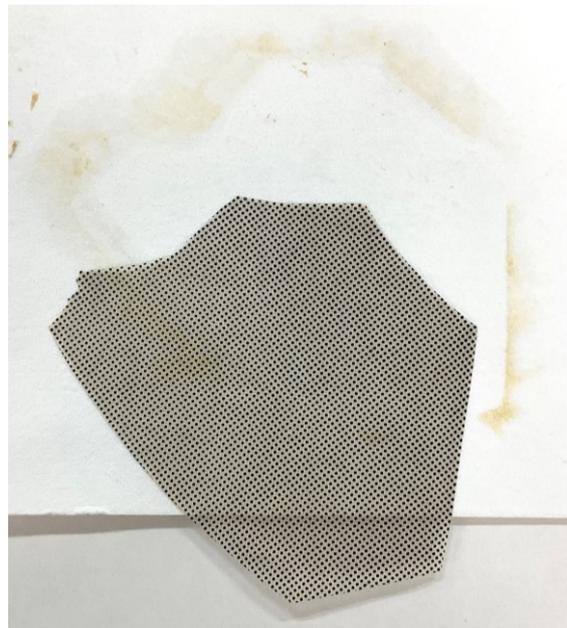


Figure 260 : Pièce de zip après retrait des résidus d'adhésif et buvard de traitement.

L'observation de la pièce en lumière rasante pendant le traitement a provoqué quelques inquiétudes sur l'impact du mélange de solvant sur le film. En effet, le nettoyage a contribué à détendre le film de zip et à le faire gondoler. Cependant, l'évaporation du solvant laisse le film dans le même état tuilé qu'avant l'intervention (Figure 261).

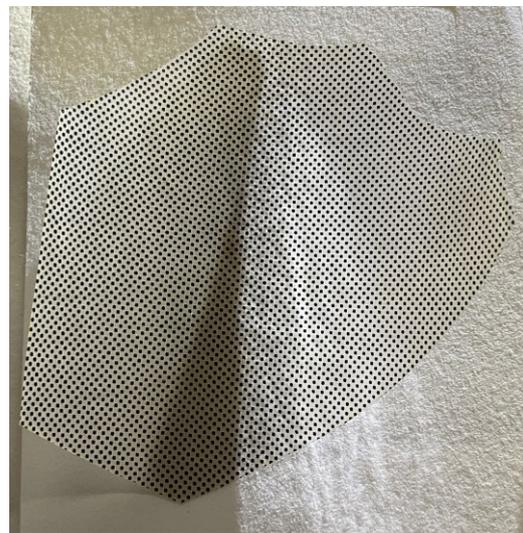
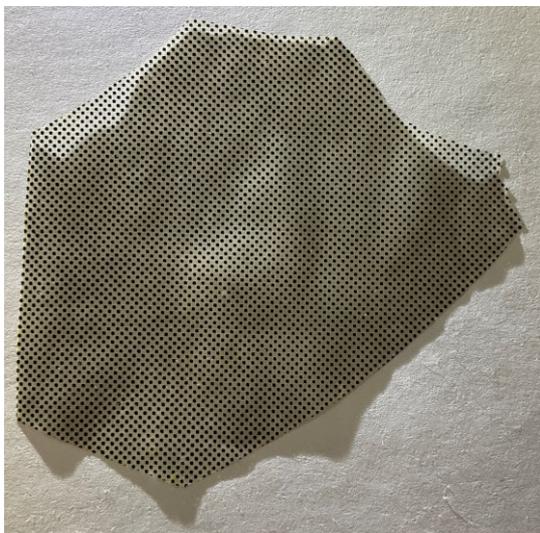


Figure 261 : Élément de zip juste après application du mélange et après évaporation complète des solvants, observé sous lumière rasante.

L'intervention sur les autres éléments de zip en partie décollés débute par la dépose des zones collées. Pour cela, une spatule est glissée entre l'adhésif qui reste sur le papier de support et le film. Les éléments sont tous nettoyés suivant le protocole décrit précédemment.

## 2. Sur le papier calque

Le retrait de l'adhésif du support se fait suivant les résultats des tests de solubilité. Le mélange de DEC/D40 est appliqué au bâtonnet de coton et l'excédent de solvant et l'adhésif gonflé est essuyé avec un morceau d'Evolon® (Figure 262). Une attention particulière est apportée pour le traitement à proximité des autres références de zip.

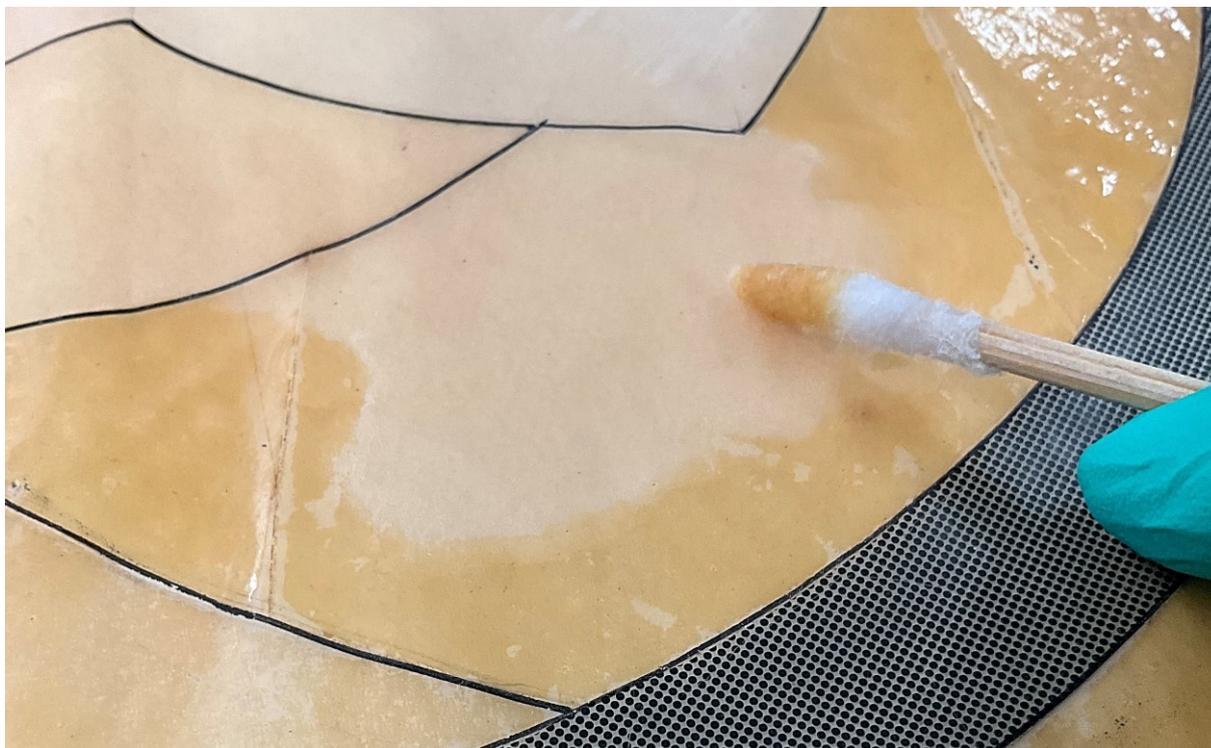


Figure 262 : Retrait de l'adhésif à la surface du papier de support.

Le retrait de l'adhésif permet de retrouver une zone plus homogène et moins présente visuellement. Cependant, le jaunissement de l'adhésif a contribué à modifier durablement la couleur du papier de support. Il présente une couleur légèrement plus soutenue dans les endroits où l'adhésif était présent. Ce jaunissement est induit par la dégradation d'une partie de l'adhésif ayant pénétrée dans le papier de support. Aucun traitement n'est envisagé pour le traiter. D'autant que le gain visuel à l'issue du retrait de l'adhésif est déjà significatif.

### C. Repose des éléments de zip

Une fois que le solvant appliqué pour nettoyer les films s'est complètement évaporé, il est possible d'entamer les étapes de repose. Comme pour le papier calque, l'aspect du zip n'est pas parfaitement uniforme (Figure 263). En raison de la nature de l'adhésif, de type cireux, il est décidé d'utiliser un feuil de Lascaux® 498 HV. Les tests de mise en œuvre d'adhésif ont montré que l'aspect le plus homogène était obtenu par le même adhésif mais en trame. Cependant, les films de zip étant fragiles et la trame légèrement moins facile à dérestaurer que le feuil, c'est ce dernier qui est retenu. Par ailleurs, dans la mesure où toutes les zones couvertes par l'adhésif à base de cire sont jaunies avec un adhésif dégradé, la question de la proximité d'aspect avec l'adhésif d'origine ne se pose pas.

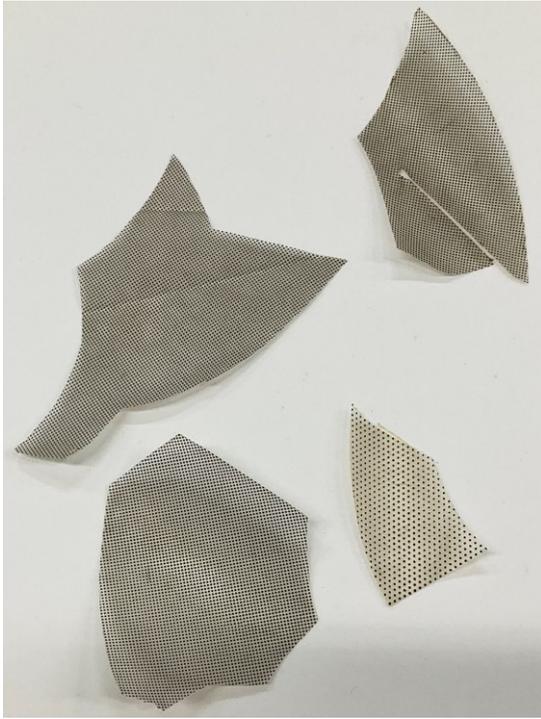


Figure 263 : Éléments de zip après le retrait de leurs résidus d'adhésif.



Figure 264 : Encollage des zips sur le feuil de Lascaux® 498 HV.

Un feuil est tiré sur un Mylar® siliconé en s'assurant que la couche d'adhésif soit homogène. Les éléments de zips sont positionnés sur le feuil de Lascaux® une fois sec (Figure 264), le feuil est réactivé à chaud par le verso, à travers le Mylar® à 60°C. Les pièces sont détournées au scalpel, positionnées à leur emplacement d'origine. L'adhésif est réactivé à nouveau à travers un Mylar® et le zip. En raison de la taille du dessin et pour garantir le positionnement exact des pièces, la réactivation par le verso, à travers le papier de support est écartée (Figure 265).

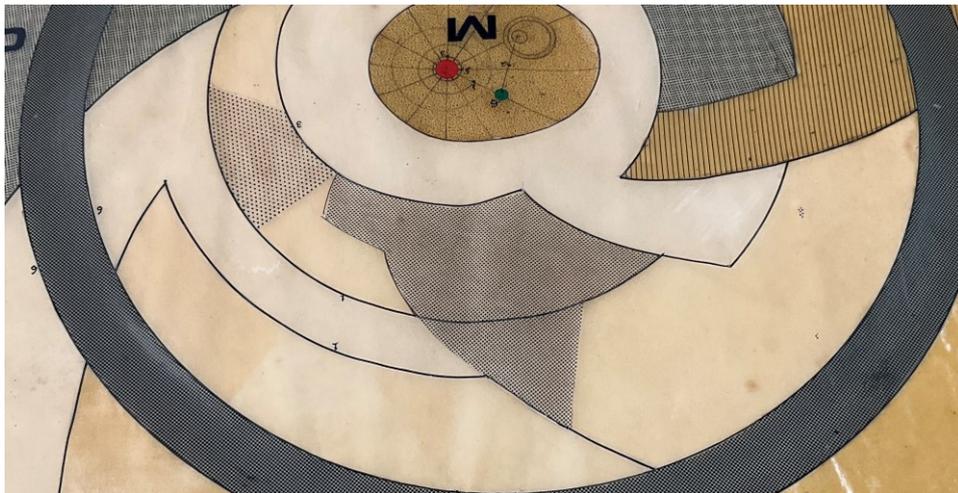


Figure 265 : Reprise des éléments de zip en cours d'intervention.

## D. Conclusion de l'intervention

### 1. Aspects positifs

L'intervention est jugée satisfaisante. Les points positifs sont nombreux. Le traitement permet la consolidation et la stabilisation de l'ensemble des éléments jusqu'ici soulevés et présentant donc le risque de subir de nouvelles dégradations (Figure 266). Le verso est désormais accessible. En effet, le soulèvement des éléments rendait l'observation du verso difficile en raison du danger de la manipulation. Le retrait de l'adhésif et l'atténuation du jaunissement qu'il implique, permet de diminuer l'impact visuel de la dégradation tout en gardant la trace des zones anciennement avec zip. Cela limite également l'attention portée aux éléments manquants. L'aspect visuel de la zone centrale est particulièrement changé après l'intervention (Figure 267). Les tonalités de l'ensemble sont plus froides et se rapprochent sans doute de l'état d'origine. Enfin, pour l'un des éléments de zip, le feuillet d'adhésif de restauration a été jugé trop irrégulier à l'issu de l'intervention. La pièce a été déposée, débarrassée de l'adhésif inégal, puis reposée suivant le même protocole. A l'issu de cette reprise d'intervention, l'aspect de la pièce est satisfaisant et l'intervention est prouvée réversible et retraitable à court terme.



Figure 266 : Détail de la zone traitée avant et après intervention, vue en plongée.

À l'issue des tests de solubilité réalisés en périphérie et en présence de résultats satisfaisants, il a été décidé de traiter l'ensemble de la zone centrale et de retirer l'adhésif même là où le zip est manquant.

Le traitement de la zone centrale a permis de familiariser les équipes à un changement visuel majeur et de donner une idée de ce qu'un traitement pourrait engendrer comme modifications visuelles.



Figure 267 : Zone centrale avant, pendant et après intervention.

## 2. Aspects négatifs

Quelques aspects négatifs sont observés, certains pouvant faire l'objet d'amélioration et d'autres moins. À l'issue de l'intervention on peut observer en lumière rasante des liserés brillants de l'adhésif entre les pièces de zip et au niveau de leur périphérie (Figure 266). Cela ne gêne pas l'observation de face et les gratter est jugé trop dangereux. Il est décidé de les laisser bien que cela puisse être une zone privilégiée pour l'empoussièrément, car le dessin est conservé en pochette et fait l'objet d'une surveillance importante. Enfin, la repose des zips ne permet pas complètement de résorber les plis et le nettoyage ne rend pas l'aspect régulier parfait de la trame. Cependant, dans le cadre d'une présentation au public, l'œuvre serait présentée protégée par un verre ou un capot en plexiglas et les brillances et le risque d'empoussièrément serait alors très négligeables.

### III. Perspectives d'intervention

La possibilité de stabiliser l'ensemble des éléments de zip avec un traitement qui allie à la fois la préservation du film et un bon rendu visuel, n'était pas acquise comme postulat. Aussi cette réussite ouvre la voie à d'autres interrogations, comme celle de la réintégration, sujet à débat, jusque-là uniquement abordée sur une base hypothétique.

#### A. Envisager la stabilisation des zips rétrécis

Les films de zip dont l'adhésif à base de vinylique assure son rôle sont, comme nous l'avons évoqué dans le constat d'état, rétrécis. Ils induisent donc en certains endroits une contrainte du papier telle qu'il se décolle. Les expérimentations de redimensionnement ne donnant pas de résultat probant, un traitement de mise en tension n'est pas envisagé. Il faut d'ailleurs rappeler que l'un des motifs est obtenu par la superposition de deux zips, ce qui rendrait ce traitement encore plus complexe. Il pourrait tout de même être envisagé de déposer les zips et de les remettre à plat, de remettre à plat le support et enfin de remonter l'ensemble. Cependant, cette intervention pourrait vite devenir compliquée. En effet, si l'on remet à plat un zip rétréci sur un papier remis à plat, il est très probable que dans le meilleur des cas, on observerait un décalage entre le motif du zip et le tracé de contour de la zone. Dans le moins bon scénario, la rétraction impliquerait que le zip n'est plus à l'intérieur du tracé pour l'ensemble de la pièce, mais en sort par endroit. Comme cela serait probablement le cas avec le zip de la couronne, dont la rétraction induirait une diminution du cercle. La dépose des éléments rétrécis est donc soigneusement à considérer avant d'entamer l'intervention.

Si l'on se remet dans le meilleur scénario, celui où le zip rétréci reste à l'intérieur de la zone, il faudrait avoir une possibilité de réintégration en amont de la dépose. En effet, l'intervention modifierait l'aspect général par création d'un espace entre le tracé et le zip et serait dommageable visuellement. Les rétractions n'étant que peu gênantes, ce qui va être gagné en planéité risque d'être perdu en lisibilité.

#### B. Envisager la réintégration des lacunes

La réintégration colorée est un sujet controversé<sup>473</sup>. L'enjeu est de rendre la lisibilité de l'objet, de permettre sa bonne compréhension et son appréciation tout en ne surinterprétant pas. Dans le cas des zips, le caractère standardisé du motif pourrait laisser penser que la réintégration ne laisse pas place à l'interprétation. Cependant c'est la question même de savoir s'il faut remettre du motif là où il n'y en a plus qui pose question.

Comme nous l'avons vu dans le cas du dessin de Le Corbusier représentant une progression de proportion liées au Modulor<sup>474</sup>, des zones de zip manquantes ne permettraient pas de statuer si celles-ci étaient le résultat d'une perte ou d'un retrait volontaire. Dans le cas du plan général d'Auroville, la question de la perte n'est pas remise en cause. Les doutes quant à la réintégration proviennent de différents points : la grande taille des lacunes (qui dans le même temps est également l'argument principal en faveur d'une réintégration), l'assurance de réintégrer avec le même motif que celui d'origine et le fait de coller une grande surface en plein.

<sup>473</sup> POULSSON Tina Grette, *Retouching of Art on Paper*, Londres : Archetype publishing, 2008, 127 p.

<sup>474</sup> Voir le Chapitre 4, I, A, 2, Confusion entre dégradation et retrait intentionnel p.163-164

En effet, les dégradations de ce dessin induisent beaucoup de changements visuels du fait des grandes zones lacunaires et de la coloration jaune marquée des résidus d'adhésif.

C'est d'ailleurs la présence du jaunissement seul qui semble poser un problème dans un premier temps plus que l'absence de motif. Avant de savoir s'il serait possible de le retirer, il est envisagé de réintégrer la zone au-dessus du jaunissement afin de retrouver un aspect proche de la zone R<sup>475</sup>. Concernant le même aspect, la restauratrice attachée à la collection d'architecture estime qu'il serait préférable de retirer l'adhésif de cet endroit sans nécessairement réintégrer le zip<sup>476</sup>. L'idée serait alors de restituer l'état d'origine du dessin par un relevé digital ou une reconstitution virtuelle<sup>477</sup>. Le dessin resterait dans son état et le cartel illustré assurerait la communication avec le visiteur<sup>478</sup>.

Cependant, l'action de nettoyer la zone d'adhésif sans réintégrer le motif peut soulever d'autres problèmes : le retrait de l'adhésif enlève le témoignage que la zone était couverte avec un zip, elle apparaît alors comme une zone choisie pour ne pas porter de message ce qui tend à « faire jouer à la lacune un rôle qu'elle n'a pas »<sup>479</sup>.

La question du motif se résout facilement dans le cas présent car il reste des morceaux des deux références lacunaires. Sur cette base, il est possible de s'y fier pour pouvoir utiliser le même motif pour la réintégration.

La crainte associée à l'action de coller une réintégration sur le dessin découle sans doute de l'inquiétude que les choix de réintégration ne conviennent pas. Pour répondre à ces questionnements, il est possible d'une part de mettre en œuvre une réintégration dont la dérestauration est possible par le choix de l'adhésif, comme nous l'avons établi dans le cahier des charges. La possibilité d'une réintégration amovible est en revanche plus difficile à concevoir d'un point de vue pratique s'il faut également qu'elle soit pérenne.

La réintégration du motif est donc envisageable si les questions pratiques peuvent être résolues.

### C. Réflexions sur la possibilité pratique d'une réintégration

L'intervention de réintégration semble compatible avec la déontologie, mais encore faut-il que la réalisation pratique réponde aux critères précédemment évoqués pour pouvoir l'envisager. Le problème à résoudre est « avec quoi réintégrer du zip ? ». Dans le cas présent, il faudrait un matériau transparent avec un aspect de surface proche des zips environnants ou du moins qu'il ne choque pas par sa différence. Enfin, se pose la question de reproduction exacte du motif.

Les différentes options, leur avantages et inconvénients, pouvant être envisagées à ce stade sont les suivantes :

- Réintégrer avec un zip de l'échantillonnier

Tout d'abord, cela laisse supposer que la référence exacte du motif est présente au sein de l'échantillonnier. Il faut également être en mesure de l'identifier précisément. Dans le cas où le motif serait répertorié dans l'échantillonnier, d'autres questions se posent. Tout d'abord, est-il possible d'envisager le recours à un zip de l'échantillonnier ou cela pourrait être interprété comme une falsification ? En effet, cela implique que dans le futur, on puisse interpréter la réintégration comme originale (malgré le rapport de restauration). Par ailleurs,

---

<sup>475</sup> Entretien avec Olivier Cinqualbre, le 07/10/2021.

<sup>476</sup> Entretien avec Clotilde Cooper, le 25/02/2022.

<sup>477</sup> *Ibid.*

<sup>478</sup> Entretien avec Stéphanie Quentin-Biancalani, le 10/11/2021.

<sup>479</sup> Entretien avec Clotilde Cooper, le 25/02/2022.

alors que les zips se dégradent, est-il éthique de réintégrer avec un support de motif et un adhésif, potentiellement instables ? Il est possible d'argumenter que les matériaux de réintégration seront toujours à un stade de dégradation moins avancé que les zips présents à l'origine sur le dessin. Dans ce cas-là, faut-il se tourner vers des zips ayant une composition similaire si cela est possible ? Cela ne semble pas judicieux et le choix d'un zip avec un adhésif vinylique, le plus stable observé, pourrait être plus pertinent.

- Réintégrer avec un zip en remplaçant l'adhésif d'origine par un adhésif de restauration

La possibilité de retirer l'adhésif d'origine pour le remplacer par un adhésif de restauration en amont de la réintégration peut servir deux objectifs. Tout d'abord, assurer la pérennité du collage et limiter les matériaux instables au film seul. Le changement de l'adhésif ne permet pas d'empêcher de futures probables rétractions du film<sup>480</sup>. Ensuite, cela permettrait d'évacuer la confusion avec les zips d'origine, d'un point de vue de la matérialité.

- Réintégrer avec un autre matériau

Afin d'éliminer les risques de falsification matérielle et d'instabilité des zips, il est possible d'envisager une réintégration avec un autre matériau. Il pourrait s'agir d'un papier calque, d'un calque polyester ou encore d'un autre type de film plastique mat, comme un PET poncé par exemple. Dans ce cas, l'aspect de surface est à considérer autant que la question de l'impression. En effet, *a priori*, ces supports sont tous imprimables avec une imprimante jet d'encre ou une imprimante laser<sup>481</sup>. Mais alors, comment obtenir par impression le même motif, régularité, densité et taille ? Et s'il est possible de reproduire le motif exact, faut-il envisager son impression « un ton en-dessous » comme cela est souvent envisagé pour les réintégrations sur les œuvres en papier ?

La recherche d'une possibilité d'obtenir un motif « un ton en-dessous » pourrait passer par un collage du zip au verso. On pourrait aussi imaginer, à l'image des dessins de Le Corbusier pour l'Ambassade de France à Brasilia d'imprimer le motif sur un papier de fond, sur lequel le dessin d'Auroville serait présenté. Le motif apparaîtrait alors à travers le calque. Cependant, le risque serait alors de donner à la réintégration un aspect différent du reste du dessin et d'attirer l'œil sur celle-ci. Enfin, l'idée d'une réintégration sur une feuille transparente posée par-dessus le dessin d'origine, comme le principe d'un calque de Photoshop® peut se concevoir. Mais sa présence implique un intermédiaire à l'observation de la matière originale du dessin.

Le débat reste ouvert.

---

<sup>480</sup> Le retrait de l'adhésif avec des solvants pouvant retirer des plastifiants pourrait participer à la rétraction du film sur le long terme.

<sup>481</sup> Tests réalisés au cours de l'étude mais à un stade trop peu avancé pour être présentés ici.

**Conclusion**

L'intervention sur un dessin antérieurement jugé « perdu » et de fait candidat idéal car ne pouvant que bénéficier d'une opération de conservation-restauration, s'est avérée l'aboutissement de cette recherche (Figure 268). Sa réalisation a permis de valider en conditions réelles le cahier des charges établi lors de cette étude, avec les responsables de l'œuvre. Cela a également été l'occasion de vérifier la pertinence des protocoles testés dans les expérimentations de restauration. Enfin, l'étude de cas a aussi souligné les possibilités et limites de la transposition directe des résultats d'une étude scientifique à la pratique.



Figure 268 : Vue générale du recto du dessin de Roger Anger avant, en haut, et après intervention, en bas.

**Ce qu'il faut retenir de ce chapitre**

- Les protocoles de retrait de l'adhésif du film et de la repose de ce dernier après application d'un adhésif de conservation sont transposables à une intervention *in situ* en institution.
- L'intervention est très satisfaisante et contribue à libérer le dessin de son statut d'œuvre « perdue ».
- Des recherches sont encore nécessaires afin de pouvoir envisager de stabiliser des zones où les rétractions entraînent le papier de support et de trouver une technique et des matériaux de réintégration satisfaisants tant d'un point de vue esthétique que déontologique.



## CONCLUSION

---

Cette recherche se conclue en janvier 2023, après neuf années passées à s'interroger sur la conservation-restauration du zip, dont les trois dernières dans le contexte du doctorat par le projet. Comme ce mémoire en témoigne, pour arriver jusqu'aux étapes de restauration, il a fallu passer par de nombreux chemins et faire des incursions dans des domaines qui, s'ils nous sont familiers, n'en sont pas pour autant les nôtres. Que peut-on alors retenir de ce chemin parcouru, jalonné d'obstacles, d'impasses et de chemins de traverses inattendus ? Le moment semble surtout bien choisi pour décider si nous avons atteint ou non notre destination.

La recherche historique et technique a commencé sur un rythme assez lent. En effet, dans ses premiers temps, l'objet de l'étude, le zip, n'était pas tout à fait clair. Ses contours se sont précisés au-fur-et-à-mesure et avec l'accumulation de savoirs. Aussi, cet axe de recherche a suivi la quasi-totalité du déroulé de l'étude, et notre aptitude à cibler l'information a donné lieu à des avancées de plus en plus pertinentes. Il nous est possible aujourd'hui de repérer du zip sur des dessins dans les publications sans place au doute alors que dans les premiers temps, avec un œil encore neuf, la présence de zip était présumée dès qu'une trame photographique était perceptible. Le travail pour replacer le zip dans un contexte de production industrielle et de création graphique a permis de donner une vision assez précise – bien que non exhaustive – de son histoire, de sa création aux États-Unis par Havy Q. R. Crowder à son arrivée en France après la Seconde Guerre mondiale puis à son adoption dans les agences avant son abandon dans les années 1990 avec la généralisation des ordinateurs. Ces recherches ont également permis de préciser ses procédés de fabrication, mis en place par les différentes marques comme Zip-a-Tone™, Letraset® ou encore Mécanorma, pour n'en citer que trois parmi une quinzaine, pour produire jusqu'à 28 gammes de produits, et environ 4478 références. Enfin, l'étude des collections et de l'évolution du style des dessins d'architecture a favorisé, nous l'espérons, une meilleure appréciation de la recherche visuelle des dessins d'architecture défendue et obtenue par l'usage du zip. En effet, le caractère technique, et parfois multiple, des dessins ainsi que leur inscription dans une chaîne de production graphique avant d'aboutir à la construction « en dur », réveille encore le débat plurisécularisé où les dessins réduits à l'étude ou au carton préparatoire sont dépréciés par rapport à un aspect original et une finalité propre. A l'issue de ces recherches, de nombreuses questions restent en suspens, comme de savoir par quel biais le zip arrive en France.

Si notre recherche partait initialement d'une curiosité personnelle, les publications et les communications dans des colloques que nous avons pu faire dans cette période ont initié l'intérêt porté au sujet et suscité chez d'autres le désir de développer de nouvelles recherches. Ainsi, dans le projet lancé en 2018 par Het Nieuwe Instituut, l'institut néerlandais d'architecture, la numérisation de leur collection s'accompagne de recherche sur la matérialité. Le zip fait l'objet des recherches d'Ellen Smit, conservatrice. En 2014, la conférence *Technical Drawings and their Reproduction*, où notre recherche sur le zip faisait l'objet d'une première communication, avait été l'occasion de sensibiliser les participants qui ne le connaissaient pas déjà, et de les aider à identifier le zip en tant que tel dans leur collection lors d'atelier pratique. Il est par ailleurs amusant de noter que le nom « zip » qui est le surnom français, est maintenant utilisé par des non francophones pour s'y référer là où les uns et les autres ont peut-être des surnoms spécifiques dans leur langue<sup>482</sup>.

La création du corpus et l'étude des collections a grandement accéléré la familiarisation avec le zip. Si la sélection préalable s'est avérée complexe et laborieuse, et qu'il reste encore des dessins avec du zip que nous n'avons pas pu observer dans les collections étudiées, elle a contribué à pointer un problème récurrent à savoir celui du vocabulaire. Ce sujet, au centre des préoccupations de toutes les personnes dont l'objectif est de transmettre une information, se trouve complexifié quand les mots ne sont pas précisés ou que les concepts

---

<sup>482</sup> Les architectes italiens utilisent le nom de *Retino* qui vient de *rete* qui signifie grillage. *Retino* est donc une petite grille, entretien Valentina Moimas, le 18/03/2015.

qu'ils sous-tendent ne sont pas clairs. La multiplication des profils des personnes collectant l'information au sein des musées illustre particulièrement cette difficulté. L'efficacité et la pertinence des échanges reposent grandement sur la capacité à trouver un vocabulaire commun. Il est nécessaire que chacun prenne du recul et soit en mesure de définir et partager son jargon, qu'il soit architecte, historien de l'architecture, conservateur d'architecture, régisseur, scientifique de la conservation ou conservatrice-restauratrice. L'étude du zip au sein des collections, si elle est mue par une volonté d'examiner un large panel pour affiner au mieux les tendances et les connaissances, et s'appuie ici sur un corpus de 520 dessins, réalisés entre 1945 à 1997, n'a jamais été pensée dans un souci d'exhaustivité. L'idée était plutôt de mettre en place un protocole et de le vérifier afin qu'il puisse servir pour d'autres collections et que les données ainsi collectées soient compilables avec celles existantes. Avec le recul, il semble dommage de ne pas avoir été en mesure de créer une base de données pour les dessins, regroupant des visuels et des informations d'identification, d'état de conservation et d'analyse. Ceci pourrait être réalisé *a posteriori*, mais devrait faire l'objet d'un autre projet, ce qui impliquerait du temps, de l'argent, et la nécessité d'avoir recours en traitement de données informatiques. Il est aussi vrai, que le premier essai de base de données<sup>483</sup> pour l'échantillonnier ne s'est pas avéré un grand succès et, malgré le temps nécessaire à sa conception, n'a que peu servi car peu adapté. Cependant, la constitution de l'échantillonnier, comptant 753 références de zip, en lui-même est une des grandes réussites de cette recherche. L'accès à autant de matière originale est une ressource précieuse et rare pour la connaissance technologique et l'opportunité de réaliser des tests et des analyses.

Les conservateurs-restaurateurs n'ont pas, dans leur vie professionnelle quotidienne, d'échanges avec les scientifiques. Les contacts s'opèrent pour des demandes particulières ou des projets spécifiques. Ainsi, le travail en collaboration rapprochée avec des scientifiques et pendant une si longue période est assez atypique, bien que non exceptionnel. L'immersion de l'autre côté du miroir s'est avérée riche en découvertes. Si le principe des appareils d'analyses est connu des conservateurs-restaurateurs, rares sont ceux qui rencontrent des spectres autrement que dans le rapport d'analyse qui est inséré en annexe du rapport de restauration. La possibilité de réaliser des analyses sur l'échantillonnier et les collections était un point crucial pour la compréhension des dégradations observées, les plus problématiques étant les phénomènes de soulèvement, de rétraction et de bulles en réseaux. Être en mesure de comprendre ces dégradations mises en évidence par l'évaluation des collections et d'émettre des hypothèses quant à leurs origines est une avancée majeure et le résultat du croisement de nombreuses informations. L'étude des catalogues de vente laissait supposer un film en acétate de cellulose mais cela n'a pu être vérifié de façon sûre et systématique uniquement par les analyses. Jusque-là aucune autre nature chimique de film n'a été identifiée. La caractérisation a même favorisé l'identification de deux types de plastifiants (phtalates et mélange de phtalates et de phosphate de triphényle). Ainsi, des phénomènes comme les rétractions peuvent être mis directement en corrélation avec la composition des films. Par ailleurs, l'identification de différentes compositions chimiques d'adhésif permet d'expliquer les phénomènes de soulèvement ainsi que les aspects variés des adhésifs observés sur des dessins de différentes périodes. De plus, l'étude de l'évolution des dégradations suivant la nature chimique des adhésifs pourrait favoriser une identification des adhésifs par un examen visuel. Mais surtout, ces observations et les conclusions qui ont pu en être tirées permettaient d'ouvrir la possibilité de rechercher des solutions de conservation-restauration : but ultime et tant attendu.

Malgré l'impatience de s'atteler aux tests de traitements, une étape longue, incompressible, parfois frustrante dans ce qu'elle a de répétitif, mais néanmoins inévitable méritait d'être engagée : les vieillissements artificiels

---

<sup>483</sup> Base de données réalisée par Jérôme Baudin lors de son stage de Master.

et la reproduction des dégradations sur des éprouvettes. Les vieillissements artificiels et leurs suivis impliquent un systématisme et une grande rigueur afin de s'assurer de ne rater aucun élément au risque de devoir recommencer le vieillissement. L'exploitation de la masse de données collectées a également été fastidieuse, glissant par moment vers les statistiques. À l'issue de ce travail, il a été possible de reproduire les phénomènes de soulèvements par un vieillissement à la lumière 24 h en enceinte lumineuse à 765W et 35°C ; les phénomènes de rétraction par un vieillissement climatique de 84 jours en enceinte à 40°C stable et une variation de l'humidité relative entre 30 et 70% ; les phénomènes de bulles en réseaux n'ont pas été produits et il n'est donc pas possible de réaliser des éprouvettes, de façon reproductible, pour les tests de traitement. Ce n'était pas l'objectif au sein de cette recherche mais l'étude du zip aurait encore à gagner à continuer à dépouiller les nombreuses données collectées lors de ces vieillissements.

Cette phase a également été l'occasion de manipuler le zip pour la création des éprouvettes et de le voir évoluer au fil du temps en fonction des paramètres auxquels il était soumis. L'observation poussée de chaque éprouvette à chaque suivi participe à sa propre amélioration : plus le zip est observé et plus l'œil devient expert dans son examen, discerne les plus petites variations et s'appuie sur les éléments discriminants. Ainsi, cette étape a contribué à affiner notre observation et notre ressenti pour pouvoir aborder les tests de conservation-restauration.

La conservation-restauration est une discipline rigoureuse et méticuleuse, réfléchie et précautionneuse. La réflexion et l'intervention s'appuient sur les connaissances théoriques, l'expérience propre à chaque professionnel, l'analyse quand elle est possible, le savoir-faire, la dextérité et le ressenti (une approche sensorielle qui se nourrit de toutes les précédentes). La validation de la nécessité d'intervenir et la précision de la méthode d'intervention s'est avérée être un des chapitres les plus difficile à écrire en cela que ces réflexions sont souvent menées de façons intuitive et automatique. Décrire ce cheminement de pensée, ainsi que les savoirs nécessaires à l'élaborer nous a incité à nous recentrer sur notre pratique et à s'attarder sur la mécanique sous-jacente aux interventions. Le recours à des expérimentations scientifiques a permis de valider de manière objective de tests réalisés au quotidien de façon empirique. Ces tests ont pu parfois nous apparaître contre-intuitifs, comme celui de plonger un zip dans un solvant. Par ailleurs, la complexité liée à la multiplicité des combinaisons film/adhésif et des nombreux paramètres à prendre en compte – impression de motif ou couleur, à l'extérieur ou à l'intérieur du film, aspect mat ou brillant – nécessitait une approche rigoureuse et méthodique pour ne pas risquer de se perdre dans les expérimentations ou le traitement des résultats. Cette approche a permis de développer des protocoles pour le retrait chimique de l'adhésif du film et de la repose de ce dernier après application d'un adhésif de conservation, qui ont pu ensuite être transposés de façon satisfaisante à une intervention *in situ* en institution. Ainsi, les différents adhésifs peuvent être retirés avec un éventail de trois mélanges (sûrs pour l'encre et le film) : isopropanol/Shellsol D40 (25 :75) ; DEC/Shellsol D40 (50 :50) ; KSG/D5 (50 /50) + alcool benzylique à 30% à appliquer côté adhésif avec un coton tige imbibé de solvant, zip positionné sur buvard sur table aspirante, et retrait du solvant et de l'adhésif gonflé à l'Evolon®. La repose des zips peut ensuite être entreprise avec des adhésifs acryliques Lascaux 303 HV et 498 HV, réactivés à chaud après une application en film ou en trame. Ceux-ci s'adaptent bien à l'aspect du zip qu'il soit collé sur support opaque ou translucide, sur le recto ou le verso et offrent une dérestauration satisfaisante à la chaleur. De plus, la description des protocoles, matériaux et suivis de façon détaillée permet la reproductibilité des mises en œuvre et ainsi la possibilité pour d'autres professionnels de la conservation-restauration de bénéficier des résultats et des méthodes.

Enfin, dans la mesure où l'étude de la littérature, la réalisation d'analyses et la définition d'un cahier des charges sont réalisés au préalable, la recherche de solutions de traitement s'appuie sur des bases solides. Dans ce

cadre d'expérimentation préétabli, la meilleure intervention est souvent affinée au cas par cas. L'étude de cas en est ainsi exemplaire et une réussite ayant contribué à libérer le dessin de son statut d'œuvre « perdue ».

Les axes de recherche à mener au sujet de la restauration du zip sont encore nombreux même si de grandes étapes sont déjà réalisées. La question des bulles en réseaux, abandonnée faute de réussir à les reproduire sur des éprouvettes, représente, à notre sens, le plus grand défi.

Il n'est pas possible de savoir de quoi le futur sera fait, cependant il est déjà possible de définir la direction de nos futurs choix. Notre désir, à présent, est de nous confronter avec de nouveaux cas d'études, certains nous attendant déjà depuis plusieurs années maintenant. L'application des protocoles et leur adaptation si besoin permettront de nourrir les résultats obtenus durant cette recherche, qu'il s'agisse de la réflexion autour du zip ou de sa conservation-restauration. Les nouveaux enjeux soulevés seront autant de pistes à explorer. Cependant, il sera sûrement nécessaire de prendre le temps pour valoriser et communiquer les nombreuses avancées déjà réalisées durant ce doctorat. En effet, il nous semble que la dissémination de ces résultats, dont nous avons parfois diminué l'importance, celle-ci s'estompant tant « on a le nez dedans », méritent bien de faire l'objet des priorités futures.



## ANNEXES

---

**ANNEXE 1 : Tableau des dimensions des feuilles commercialisées pour les différentes marques répertoriées et en fonction des gammes à motif ou couleur.**

<b>Marques</b>	<b>Dimensions des feuilles à motifs</b>	<b>Dimensions des feuilles en couleur</b>
Zip-a-tone	25,4 x 35,6 cm	50,8 x 71,1 cm
Chart-pak	26,6 x 33,1 cm	48,2 x 38,2 cm
Contak	31 x 23 cm	31 x 23 cm
Craftint	25 x 35 cm	25 x 35 et 35 x 50 cm
Bourges	-	24,8 x 32 cm
Zell	33 x 24 cm	-
Letraset	38,2 x 25,4 cm – 35,9 x 24,6	50,8 x 66,8 cm
Cello-tak	-	-
Mécanorma	32 x 40 cm	46,7 x 35,2 cm
Alfac-tone	35 x 24,8 cm	-
Deletec	36,3 x 25,4 cm	-
Maxon	22,6 x 16,5 - 35,6 x 24,9 cm	25,5 x 33 cm
Desig-tone	36,4 x 25,5 cm	-
J-Tone	36,3 x 25,4 cm	-
IC Screen	35,4 x 25 cm	-

## ANNEXE 2 : Tableau des données de collectes

Marques	Produits	Nombres de références	Date de collecte	Lieu de collecte	Provenance géographique
Chart-pak®	Pattern Film	14	Mai 2016	TechniGraph 805 Early Street Santa Fe 87504	Santa Fe, Nouveau Mexique, USA
	Color overlay	2			
Bourges Color Inc.	Cutocolor™	5	Mars 2014	Adam Montmartre 96, rue Darémont 75018 Paris	Paris, France
		23	Février 2014	Battle et Vittori architectes D.P.L.G	Paris, France et New York, USA
Letratone®		17	Mars 2014	Lavrut Choisel 52, passage Choisel 75002 Paris	
		250	Mars 2017	Arts & Letters 130 W 37th Street NewYork 10018	
Letraset®		11	Janvier 2021	IN4-Bruno Person	
		16	Mars 2014	Adam Montmartre 96, rue Damrémont 75018 Paris	Paris, France
	Pantone™ by Letraset®	160	Octobre 2014	Maison Gattegno 13, rue de la Grande Chaumière 75006 Paris	Paris, France
				2	Mars 2014
	Letravisio®	3	Mars 2014	52, passage Choisel 75002 Paris	Paris, France
				11	Octobre 2018
	Normatone™	2	Mars 2014	Paul Maymont don par Jacques Rougerie	Paris, France
		32		Adam Montmartre 96, rue Darémont 75018 Paris	Paris, France
Mécánorma™	Normacolor™	151		Lavrut Choisel 52, passage Choisel 75002 Paris	
Alfac-tone™	Alfac-tone®	16	Mars 2014	Lavrut Choisel 52, passage Choisel 75002 Paris	Paris, France
Deleter	Screen	11	Octobre 2018		Tokyo, Japon
Maxon	Comic pattern®	10	Octobre 2018		Tokyo, Japon
Design-tone	-	9	Octobre 2018		Tokyo, Japon
J-Tone	-	2	Octobre 2018		Tokyo, Japon
ICScreen	-	10	Octobre 2018		Tokyo, Japon
<b>Total : 10 marques</b>	<b>17 produits</b>	<b>753 références</b>			

### ANNEXE 3 : Tableau des zips analysés, résultats d'analyses et état de dégradation suivant les trois phénomènes étudiés

#### Légende pour les analyses

**Adhé** = nature chimique adhésif

? = nature non déterminée

**Cire** = adhésif à base de cire (le signe « +? » indique un mélange dont la nature n'est pas identifiée)

**aA** = adhésif à base d'acrylique

**aV** = adhésif à base de vinyliques

**Film** = nature chimique des films

**CA** = acétate de cellulose dont les plastifiants ne sont pas caractérisés

**F1** = acétate de cellulose plastifié aux phtalates

**F2** = acétate de cellulose plastifié au mélange de phtalates et phosphate de triphényle.

#### Dégradations observées catégorisées en trois grandes typologies

Phénomènes de soulèvement (orange)

**D** = décollement

**RA** = résidus adhésif

**MD** = morceaux déplacés

**J** = jaunissement

Phénomènes de bulles (vert)

**B** = bulles rondes

**Br** = bulles réseaux

Phénomènes de rétraction (bleu)

**G** = gondolement

**R** = retrait

**TP** = tension sur le papier

**C** = cassure

inv	date	architecte	type zip	Adhé	Film	D	RA	MD	J	B	Br	G	R	TP	C	support
1000.1965	1929	MVDR	points	?	F1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	carton
97.1989	1949	Paul Rudolph	points	cire	F1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	carton
5306.45	1952	MVDR	rouge	cire	F1	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	papier
5306.45	1952	MVDR	jaune	cire	F1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	papier
AM 2007-2-415(0003)	1956	Jean Prouvé	rouge	cire	F1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	papier tirage
AM 2007-2-415(0003)	1956	Jean Prouvé	lignes	cire	F1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	papier tirage
AM 2007-2-415(0003)	1956	Jean Prouvé	bleu	cire	F1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	papier tirage
AM 2007-2-415(0003)	1956	Jean Prouvé	jaune	cire	F1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	papier tirage
AM 2007-2-415(0001)	1956	Jean Prouvé	gros points	cire	F1	1	1	1	0	0	0	1	1	0	1	calque
AM 2007-2-415(0001)	1956	Jean Prouvé	petits points	cire	F1	1	1	1	0	0	0	1	1	0	1	calque
AM 2007-2-415(0001)	1956	Jean Prouvé	points inverses	cire	F1	1	1	1	0	0	0	1	1	0	1	calque
5902.122	1959	MVDR	croix	cire+?	CA	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	carton
5906.15	1959	MVDR	points	cire+?	F1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	papier
5906.17	1959	MVDR	points	cire+?	F1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	papier
5906.4	1959	MVDR	gris	cire?	F1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	papier
5906.4	1959	MVDR	points	cire	CA	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	papier
6008.13	1961	MVDR	vert	cire	F1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	calque
6204.113	1962	MVDR	jaune	aA	F1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	carton
6204.115	1963	MVDR	orange 1	aA	F1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	carton
6204.115	1963	MVDR	orange 2	aA	F1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	carton
6204.115	1963	MVDR	orange 3	aA	F1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	carton
6204.115	1963	MVDR	orange 4	aA	F1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	carton
6204.115	1963	MVDR	gris 1	aA	F1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	carton
6204.115	1963	MVDR	gris 2	aA	F1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	carton
6204.115	1963	MVDR	gris 3	aA	F1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	carton
6204.115	1963	MVDR	gris 4	aA	F1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	carton
1237.2000	1964	Cedric Price	rouge	cire	F1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	papier

## Annexes

inv	date	architecte	type zip	Adhé	Film	D	RA	MD	J	B	Br	G	R	TP	C	support
1237.2000	1964	Cedric Price	points inv rouge	cire	F1	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	papier
1237.2000	1964	Cedric Price	points	cire+?	F2	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	papier
1237.2000	1964	Cedric Price	croix	cire	F2	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	papier
6503.40	1965	MVDR	points	cire +?	F1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	calque
6503.40	1965	MVDR	points	cire +?	F1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	calque
SC380.2011	1965	Le Corbusier	orange	cire	F1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	papier
SC380.2011	1965	Le Corbusier	jaune	aV	F2	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	papier
SC380.2011	1965	Le Corbusier	bleu	cire+?	F1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	papier
SC380.2011	1965	Le Corbusier	jaune sombre	cire+?	F2	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	papier
SC381.2011	1965	Le Corbusier	gris	cire+?	F1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	papier
6402.15	1966	MVDR	points	cire+?	F1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	calque
AM 2007-2-425	1966	Jean Prouvé	bleu	cire+?	F1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	calque
676.2014.1	1968	Bryce Cooper Graa nicolini Arquitectos	points	?	F2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	calque
676.2014.1	1968	Bryce Cooper Graa nicolini Arquitectos	points inversés	aA	F2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	calque
676.2014.1	1968	Bryce Cooper Graa nicolini Arquitectos	points inv. denses	cire+?	F2	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	calque
676.2014.1	1968	Bryce Cooper Graa nicolini Arquitectos	taches	aA	F2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	calque
691.2014.1	1969	MSGSSV	orange	aV	F2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	calque
691.2014.1	1969	MSGSSV	rouge	aV	F2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	calque
692.2014.4	1969	MSGSSV	ondulation	aA	F2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	calque
692.2014.4	1969	MSGSSV	points	aA	F2	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	calque
692.2014.4	1969	MSGSSV	points épais	aA	F2	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	calque
692.2014.4	1969	MSGSSV	points inv.	aA	F2	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	calque
670.2014.2	1971	Ramiro Bascans	lignes	aA	F2	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	papier
670.2014.2	1971	Ramiro Bascans	points	aA	F2	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	papier
670.2014.2	1971	Ramiro Bascans	points inv.	aA	F2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	papier
AM 2007-2-38	1971	Jacques Rougerie	gros points	aA	F2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	calque
AM 2007-2-38	1971	Jacques Rougerie	petits points	aA	F1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	calque
AM 2007-2-38	1971	Jacques Rougerie	petits points denses	aA	F1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	calque
694.2014.5	1972	MSGSSV	points	aA	F2	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	calque
694.2014.5	1972	MSGSSV	points inv.	aA	F2	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	calque
694.2014.5	1972	MSGSSV	points épais	aA	F2	0	1	0	0	1	1	0	1	0	1	calque
2366.2001.14	1972	Peter Eisenman	rouge	cire+?	F1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	papier
2366.2001.14	1972	Peter Eisenman	vert	cire+?	F2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	papier
2366.2001.10	1972	Peter Eisenman	blanc	cire	F1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	papier
2366.2001.10	1972	Peter Eisenman	rouge	cire	F1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	papier
AM 2015-2-184	1973	Roger Anger	lignes	cire+?	F1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	calque
AM 2015-2-184	1973	Roger Anger	points	?	F2	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	calque
AM 2015-2-184	1973	Roger Anger	points aléatoires	?	F1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	calque
AM 2015-2-184	1973	Roger Anger	points desnses	cire+?	F1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	calque
AM 2015-2-184	1973	Roger Anger	points espacés	cire+?	F1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	calque
AM 2015-2-184	1973	Roger Anger	points inverses	aV	F2	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	calque

Annexes

inv	date	architecte	type zip	Adhé	Film	D	RA	MD	J	B	Br	G	R	TP	C	support
680.2014.1	1974	Teodoro Gonzalez	points	aA	F2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	calque
680.2014.1	1974	Teodoro Gonzalez	arbres	aA	F2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	calque
680.2014.1	1974	Teodoro Gonzalez	gris clair	aA	F2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	calque
680.2014.1	1974	Teodoro Gonzalez	gris sombre	aA	F2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	calque
680.2014.2	1974	Teodoro Gonzalez	points	aA	F2	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	calque
680.2014.2	1974	Teodoro Gonzalez	arbres	aA	F2	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	calque
680.2014.2	1974	Teodoro Gonzalez	gris clair	aA	F2	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	calque
680.2014.2	1974	Teodoro Gonzalez	gris sombre	aA	F2	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	calque
697.2014.2	1976	MSGSSV	lignes	aA	F1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	calque
697.2014.2	1976	MSGSSV	points inv.	aA	F1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	calque
697.2014.2	1976	MSGSSV	points	?	F2	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	calque
697.2014.2	1976	MSGSSV	points larges	aA	F1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	calque
1251.2000	1978	Cedric Price	jaune	aA	F2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	cellulo
1251.2000	1978	Cedric Price	ligne métal	aV	F2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	cellulo
1251.2000	1978	Cedric Price	orange	aA	F2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	cellulo
1251.2000	1978	Cedric Price	violet	aV	F1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	cellulo
1251.2000	1978	Cedric Price	points	?	F2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	cellulo
4.1995	1980	Bernard tschumi	rouge	?	F1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	carton
337.2004	1989	Jesse Reiser	points	aV	F1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	carton
191.1998	1992	neil M. Denari	point	aV+?	F1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	calque
191.1998	1992	neil M. Denari	cercle évidé	aV	F1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	calque
191.1998	1992	neil M. Denari	points	aV	F1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	calque
191.1998	1992	neil M. Denari	points inv	aV	F1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	calque
191.1998	1992	neil M. Denari	points	?	F1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	calque
476.1997.3	1997	oMA	bleu sombre	aV	F1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	calque
476.1997.3	1997	oMA	bleu clair	aV	F1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	calque
476.1997.3	1997	oMA	gris sombre	?	F1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	calque
476.1997.3	1997	oMA	gris clair	aA	F1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	calque

**ANNEXE 4 : Vieillissements – Tableaux des références****Vieillissement à la lumière**

Nom de la marque	Référence	Type de zip	Composition film	Composition adhésif
Letraset®	Letratone LT38 P	motif	aC+DEP	aA
	Letratone LT11 NY	motif	aC+DEP	aV
	Letratone LT11 P	motif	aC+DEP+TPP	aA
	Letratone LT 916 NY	motif	aC+DEP+TPP	aV
	Letrafilm 214 M	couleur	aC+DEP	aA
	Letrafilm 120 M	couleur	aC+DEP	aA
	Pantone 206-A tint 1 (70-30)	couleur	aC+DEP+TPP	aV
	Pantone 300-A tint 1 (70-30)	couleur	aC+DEP+TPP	aV
	Pantone 116-A tint 1	couleur	aC+DEP+TPP	aV
	Pantone Rubine red	couleur	aC+DEP+TPP	aV
	Pantone 831-A	couleur	aC+DEP	aV
	Pantone 310-A	couleur	aC+DEP	aV
	ScreenTone 1203	motif	aC+DEP+TPP	Cire
Mécanorma	Normatone 277	motif	aC+DEP	aA
	Normacolor N2s. 5633 F1	couleur	aC+DEP	aA
	Normacolor N2s. 9695 F1	couleur	aC+DEP	aA
	Normacolor N2s. 6512 F1	couleur	aC+DEP	aA
	Normacolor N2s. 5633 F2	couleur	aC+DEP	aA
	Normacolor N2s. 9695 F2	couleur	aC+DEP	aA
	Normacolor N2s. 6512 F2	couleur	aC+DEP	aA
Alfactone	Alfac-Tone 05108	motif	aC+DEP	aV
Bourges color	Cutocolor 50% process red	couleur	aC+DEP	aB
	Cutocolor Ten blue 100%	couleur	aC+DEP	aB
Chart-pak	Pattern film PT 172	motif	aC+DEP	?
	Color overlay PF 02	couleur	aC+DEP	aV
	Color overlay PF 09	couleur	aC+DEP	aA
Maxon	CB 301	motif	aC+DEP+TPP	Cire
Design-Tone	TH 25	motif	aC+DEP+TPP	Cire
J-Tone	00	motif	aC+DEP+TPP	Cire

**Vieillissement climatique**

Nom de la marque	Référence	Type de zip	Composition film	Composition adhésif
Letraset®	Letratone LT9 P	motif	aC+DEP+TPP	aA
	Letratone LT11 NY	motif	aC+DEP	aV
	Letratone LT11 P	motif	aC+DEP+TPP	aA
	Letratone LT13 NY	motif	aC+DEP	aV
	Letratone LT14P	motif	aC+DEP	aA
	Letratone LT41	motif	aC+DEP	aA
	Letrafilm LT188	couleur	aC+DEP+TPP	aV
	Letrafilm 120 M	couleur	aC+DEP	aA
	ScreenTone 1203	motif	aC+DEP+TPP	Cire
Mécanorma	Normatone 277	motif	aC+DEP	aA
Alfactone	Alfac-Tone 05745	motif	aC+DEP	aV
Crafton	-	motif	aC+DEP	Cire

aC : acétate de cellulose ; DEP : phtalates ; TPP : phosphate de triphényle ; Cire : adhésif à base de cire ; aA : adhésif à base d'acryliques ; aV : adhésif à base de vinyliques.

**ANNEXE 5 : Vieillesse climatique – Récapitulatif****35°C et 50% HR stable**

Conditions : 35°C et 50 % HR stable	aC+ DEP + aV : LT11NY
Durée : 74 j	aC + DEP + TPP + aA : LT11P et LT120M
Lieu : INP	

Récapitulatif des suivis :

	T0	T1 / 11j	T2 / 18j	T3 / 25j	T4 / 32j	T5 / 53j	T6 / 60j	T7 / 67j	T8 / 74j
Dates	16.11.18	26.11.18	03.12.18	10.12.18	17.12.18	07.01.19	14.01.19	21.01.19	28.01.19
Prises de vue	x		x		x	x	x		x
Microscope	x		x		x	x			x
Mesures	x	x	x	x	x	x	x	x	x
IRTF-ATR	x	x	x	x	x	x	x		x
Colorimétrie	x	x	x	x	x	x			
pH	x		x		x	x			x
Conductivité	x		x		x	x			x

**35°C et 70 % HR stable**

Conditions : 35°C et 70 % HR stable	aC + DEP + aV : LT11NY
Durée : 124 j	aC + DEP + TPP +aA : LT11P
Lieu : INP	aC + DEP + TPP +aA : LT120M
	aC + DEP + TPP +aA : ST1203

Récapitulatif des suivis :

	T0	T1 / 20j	T2 / 42j	T3 / 68j	T4 / 91j	T5 / 117j	T6 / 124j
Dates	22.05.19	11.06.19	03.07.19	29.07.19	21.08.19	16.09.19	23.09.19
Prises de vue	x	x	x	x	x	x	x
Microscope	x						x
Mesures	x	x	x	x	x	x	x
IRTF-ATR	x			x			x

**35°C et 30 % HR stable – Conditions non respectées**

Conditions : 35°C et 30 % HR stable	aC + DEP + aV : LT11NY
Durée : 123 j	aC + DEP + TPP +aA : LT11P
Lieu : BnF	aC + DEP + TPP +aA : LT120M
	aC + DEP + TPP +aA : ST1203

Récapitulatif des suivis :

	T0	T1 / 22j	T2 / 63j	T3 / 123j
Dates	15.03.19	05.04.19	16.05.19	16.07.19
Prises de vue	x	x	x	x
Microscope	x			x
Mesures	x	x	x	x
IRTF-ATR	x	x	x	x
Colorimétrie	x			x
pH	x			x
Conductivité	x			x

**40°C et 30 % HR stable**

Conditions : 40°C et 30 % HR stable	aC + DEP + aV : LT13NY
Durée : 105 j	aC + DEP + TPP + aA : LT14P
Lieu : Inp	aC + DEP + TPP + aA : LT120M
	aC + DEP + TPP + aA : ST1203

Récapitulatif des suivis :

	T0	T1 / 32j	T2 / 63j	T3 / 105j
Dates	14.10.19	15.11.19	16.12.19	27.01.20
Prises de vue	x	x	x	x
Microscope	x			x
Mesures	x	x	x	x
IRTF-ATR	x	x	x	x

**30-45°C cycle 24 h et 50 % HR stable**

Conditions : 30-45°C cycle 24 h et 50 % HR stable	aC + DEP + TPP + aA : LT14P
Durée : 126 j	aC + DEP + aV : LT13NY
Lieu : BnF	aC + DEP + TPP + cire : ST1203
Conditions : 30-45°C cycle 24 h et 50 % HR stable	aC + DEP + aA : LT41 & MN 1277
Durée : 79 j	aC + DEP + aV : 05745
Lieu : BnF	aC + DEP + Cire : Crafton
	aC + DEP + TPP + aV : LT188

Récapitulatif des suivis :

initial	T0	T1 / 13j	T2 / 34j	T3 / 61j	T4/82j	T5/103j	T6/126j
Dates	17.07.19	30.07.19	20.08.19	17.09.19	08.10.19	29.10.19	19.11.19
Prises de vue	x	x	x	x	x	x	x
Microscope	x						x
Mesures	x	x	x	x	x	x	x
IRTF-ATR	x	x	x	x	x	x	x
complément	T0	T1 / 27j	T2 / 34j	T3 annulé	T4/79j		
Dates	03.09.20	30.09.20	03.11.20		18.12.20		
Prises de vue	x	x	x		x		
Microscope	x						
Mesures	x	x	x		x		
IRTF-ATR	x	x	x		x		

**40°C stable et 30-70 % HR cycle 24 h**

Conditions : 40°C stable et 30-70°C en cycle 24 h	aC + DEP + Cire : Crafton	aC + DEP + TPP + cire : ST1062
Durée : 112 j	aC + DEP + aA : LT41 & MN 1277	aC + DEP + TPP + aA : LT9P
Lieu : BnF	aC + DEP + aV : LT13NY	aC + DEP + TPP + aV : LT188
	aC + DEP + aV : 05745	

Récapitulatif des suivis :

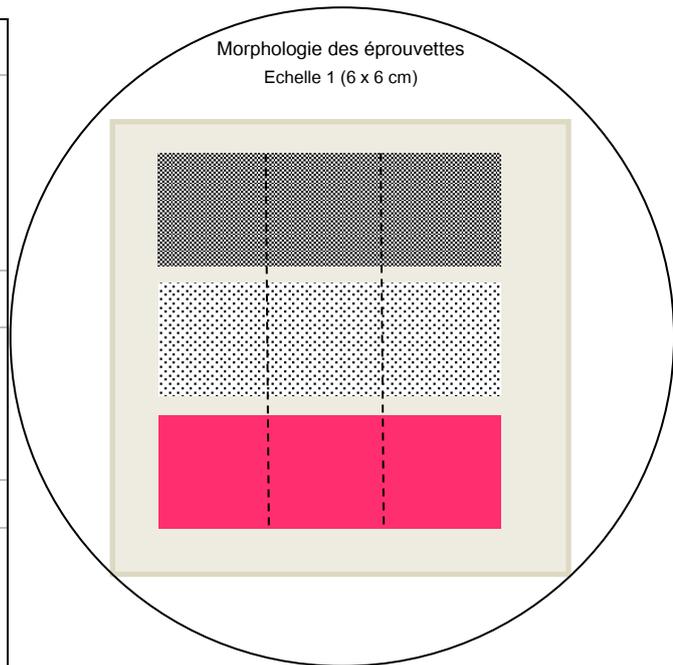
initial	T0	T1 / 28j	T2 / 56j	T3 / 84j	T4/112j
Dates	10.03.20	06.04.21	04.05.21	01.06.21	29.06.21
Prises de vue	x	x	x	x	x
Microscope	x				x
Mesures	x	x	x	x	x
IRTF-ATR	x	x	x	x	x

## ANNEXE 6 : Expérimentation de dégagement physique de l'adhésif d'un film

Les expérimentations de retrait de l'adhésif du film de zip dans le cadre de ce doctorat, débute par la réalisation des tests physiques dont le résumé du plan d'expérimentation est présenté dans le tableau ci-dessous (Tableau). Un retrait physique, qu'il soit mécanique et/ou thermique, peut s'envisager pour des films dont la résistance mécanique est suffisante. Dès que le film est fragile et se casse facilement, les actions de ce type sont à proscrire.

Tableau A : Présentation du plan d'expérimentation du dégagement physique.

<b>OBJECTIF</b> <b>Évaluer si l'adhésif d'un film de zip peut être retiré mécaniquement avec ou sans apport de chaleur</b>					
<b>ÉPROUVETTES</b>	<p style="text-align: center;"><b>Réalisation des épreuves</b></p> <p>Découpe du zip au scalpel Positionnement sur du papier Canson C à grain 125g/m<sup>2</sup> Vieillessement en enceinte lumière pendant 24 h à 765W et 35°C Séparation du support</p>				
	<p style="text-align: center;"><b>Matériel des épreuves</b></p> <p>aC+DEP+TPP+cire (ST 84, motif points) aC+DEP+TPP+ acrylique (LT 9P, motif points) aC+DEP+TPP+vinylique (rubine red, couleur rouge)</p>				
	<p style="text-align: center;"><b>Nombres d'épreuves</b></p> <p>Pour chacune des 3 références de zip : 1 épreuve témoin 1 épreuve par mise en œuvre (4)  Soit 5 épreuves</p>				
<b>EXPERIENCE</b>	<p style="text-align: center;"><b>Méthodes d'expérimentation</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 25%;">Dégagement à l'aide d'un scalpel manche 3 et lame 15</td> <td style="width: 25%;">Dégagement à l'aide de gomme crêpe</td> <td style="width: 25%;">Dégagement au scalpel manche 3 et lame 15 avec un apport de chaleur au pistolet à air à 80°C</td> <td style="width: 25%;">Dégagement au scalpel manche 3 et lame 15 avec un apport de chaleur au pistolet à air à 120°C</td> </tr> </table>	Dégagement à l'aide d'un scalpel manche 3 et lame 15	Dégagement à l'aide de gomme crêpe	Dégagement au scalpel manche 3 et lame 15 avec un apport de chaleur au pistolet à air à 80°C	Dégagement au scalpel manche 3 et lame 15 avec un apport de chaleur au pistolet à air à 120°C
	Dégagement à l'aide d'un scalpel manche 3 et lame 15	Dégagement à l'aide de gomme crêpe	Dégagement au scalpel manche 3 et lame 15 avec un apport de chaleur au pistolet à air à 80°C	Dégagement au scalpel manche 3 et lame 15 avec un apport de chaleur au pistolet à air à 120°C	
	<p style="text-align: center;"><b>Méthodes de suivi</b></p>				
<p style="text-align: center;">Prise de vue sous microscope avant et après expérience</p>					



### 1. Dégagement mécanique : méthode et résultats

#### Méthode du dégagement mécanique

##### Objectif du test

L'intervention de dégagement de l'adhésif d'un film ne semble pas, *a priori*, réalisable à l'aide d'une action mécanique seule. L'expérience vise à vérifier si l'instinct du restaurateur est juste ou s'il s'agit de préjugés et que le retrait mécanique est possible.

*Mises en œuvre de l'expérimentation*

Le dégagement mécanique est mené d'une part avec un scalpel et d'autre part avec une gomme crêpe :

- Le scalpel est un manche 3 avec une lame n°15. Les mouvements sont parallèles au petit côté de l'éprouvette, localisés au centre de l'élément de zip.
- La gomme crêpe, en caoutchouc, est utilisée par l'étirement de l'adhésif. Les mouvements sont parallèles au petit côté de l'éprouvette, partant du centre vers l'extérieur du fragment de zip.

*Protocole de suivi*

Le suivi est documenté par des prises de vue sous microscope Dino-lite (AF4115ZT adaptateur WF-20, grossissement x20-220), avant et après intervention, dans l'objectif d'évaluer l'efficacité du retrait de l'adhésif du film.

**Résultats du dégagement mécanique**

*Résultat du dégagement au scalpel*

Les essais de dégagement mécanique au scalpel ne permettent pas de retirer l'adhésif, quelle que soit sa nature. A l'issue du vieillissement artificiel appliqué dans ce protocole, les adhésifs sont encore souples. La lame du scalpel étire ou écrase la matière mais ne la détache pas du support (Figure A).

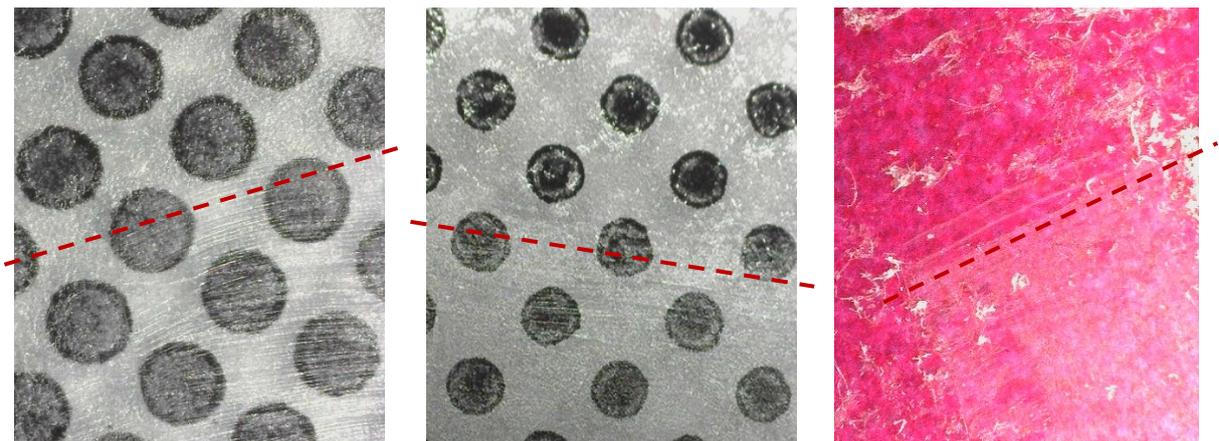


Figure A : Détails de la limite entre les zones d'adhésif avant, au-dessus des tirets rouges, et après dégagement au scalpel, en-dessous des tirets, photographie avec le microscope à un grossissement de x50.

*Résultats du dégagement à la gomme crêpe*

L'usage de la gomme crêpe ne semble pas adaptée pour le dégagement de l'adhésif des zips. En effet, la pression nécessaire à étirer et amalgamer l'adhésif sur lui-même induit des fissures du film allant jusqu'à sa déchirure (Figure B). En revanche, si l'adhésif est resté sur le support, et que celui-ci le supporte, l'usage de la gomme crêpe est possible pour en retirer les résidus.

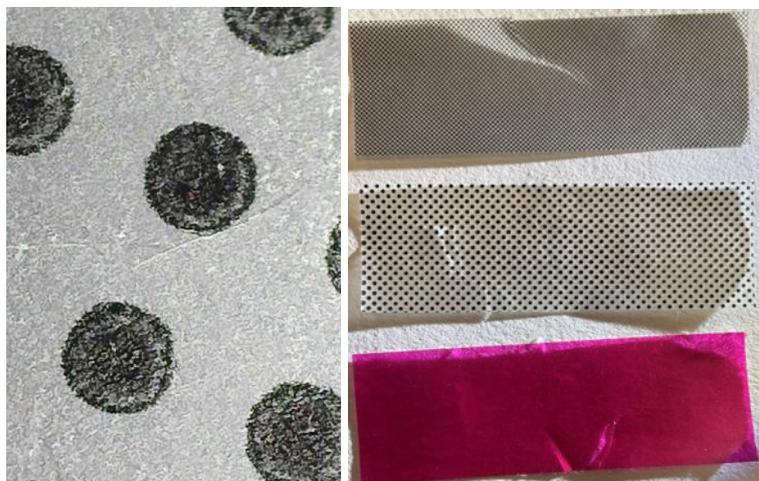


Figure B : Détails des fissures du film observables sous microscope (x50), à gauche, et des déchirures des films de l'éprouvette, à droite.

### Conclusion du dégagement mécanique

Le dégagement mécanique n'est pas envisageable pour les adhésifs encore plastiques présents sur des films de zip. L'expérimentation ne présente pas de résultats probants pour cette mise en œuvre, dans la mesure où tous les adhésifs sont encore souples à l'issue du vieillissement artificiel et que l'action mécanique ne contribue qu'à les écraser ou les étaler.



Figure C : Retrait de l'adhésif devenu pulvérulent sur le zip d'un dessin de Henri Ciriani, n° inv : MMF2017-13.17, Cité de l'architecture et du patrimoine.

Cependant, scalpel ou une spatule peuvent permettre un très bon dégagement de l'adhésif quand celui-ci est cassant et/ou pulvérulent (Figure C). Les outils métalliques facilitent le clivage de l'adhésif et d'en faire sauter les écailles. Cette intervention est à adapter en fonction de la fragilité mécanique du film.

## 2. Résultats du dégagement thermique

L'apport de chaleur augmente la souplesse de l'adhésif. Contrairement au dégagement mécanique seul où l'adhésif est plastique et revient en place, dès 80°C la chaleur permet un ramollissement qui facilite le retrait mécanique. A l'œil nu, l'apport de chaleur semble permettre de retirer l'adhésif : la lame récupère de l'adhésif et un amas de colle est observable à la limite de la zone de dégagement. Cependant, sous microscope, on note que malgré le retrait d'une partie de l'adhésif, la surface ne peut pas être considérée comme dégagée (Figure D).

Avec un apport de chaleur de 120°C, l'épaisseur d'adhésif sensible à l'action du scalpel est plus importante qu'avec une température moindre. En effet, il est possible de voir l'adhésif gonfler sous l'effet de la chaleur comme c'est le cas pour la référence avec un adhésif vinylique, mis en évidence par le contraste avec la surface colorée du zip. Cependant, cet apport de chaleur induit également une déformation du support. Elle ne semble pas durer mais peut gêner le retrait de l'adhésif et l'usage du scalpel de façon sécurisée.

Enfin, il faut noter que le scalpel doté d'une lame 15, bien que très précis, n'est peut-être pas le meilleur outil pour ce type d'intervention : sa lame est irrégulière et dotée de petites stries qui ne permettent pas un retrait homogène.

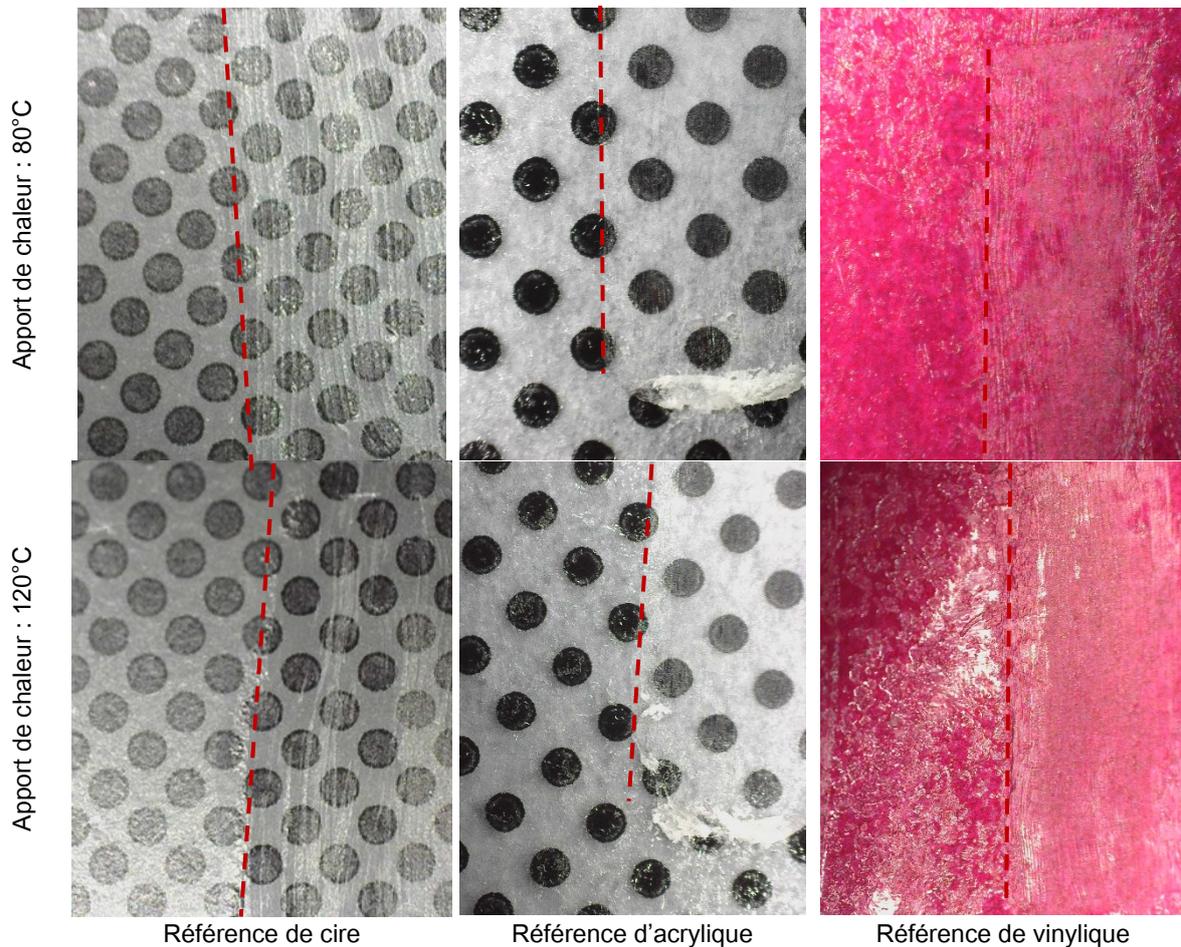


Figure D : Détails de la limite entre les zones d'adhésif avant, à gauche des tirets rouges, et après dégagement au scalpel, à droite des tirets, photographie avec le microscope (x50).

### Conclusion du dégagement thermique

Le dégagement thermique n'est pas envisageable sur des adhésifs sur des films de zip. En effet, l'adhésif, quelle que soit sa nature, n'est retiré que superficiellement. Une chaleur proche de la  $T_g$  de l'adhésif montre un meilleur retrait. Cependant, l'augmentation de la chaleur induit des déformations du film. L'expérimentation ne présente pas de résultats probants pour cette mise en œuvre.

### Conclusion générale du dégagement physique

Le dégagement physique (mécanique et/ou thermique) n'est pas adapté dans le contexte des zips avec des adhésifs souples. En effet, un retrait efficace de l'adhésif avec ces méthodes nécessite d'imposer une certaine force au support, que le film de zip ne peut pas supporter. En revanche, quand l'adhésif est cassant, il est possible de le déplaquer avec un outil métallique, spatule ou scalpel si le film le supporte.

**ANNEXE 7 : Présentation des résultats pour chaque zip immergé dans les 8 solvants.**

Réf	Stratigraphie	Eau	Ethanol	Isopropanol	Alcool benzylique	DEC	Shellsol D40	Iso-octane	D5
aC+DEP+Cire	Encre (observation)	-	-	-	Solubilité colorant bleu (1/3)	-	-	-	-
	Film (observation)	Film cassé après IRTF (1/3)	Film tuile en cigarette côté adhésif	Film tuile côté adhésif	Film déformé et cassé après IRTF (2/3)	Film cassé après IRTF (1/3)	-	-	-
	Plastifiants (IRTF) N.B. : pas de DEP sur les témoins	DEP présent	Pas de DEP	Pas de DEP	DEP présent	Pas de DEP	Pas de DEP	DEP présent (1/3)	DEP présent (1/3)
	Adhésif	-	-	Adhésif solubilisé	Adhésif gonflé, facilement retiré au scalpel	Adhésif solubilisé	Adhésif glisse sur le film	Adhésif rigidifié en copeaux blancs	Adhésif comme cristallisé, copeaux blancs
	<b>Conclusions :</b> L'encre perd un composé bleu de l'encre quand elle est immergée dans de l'alcool benzylique pur pendant 5 minutes. Le film tuile avec les alcools : éthanol et isopropanol. La mesure IRTF en mode ATR induit une pression qui casse le film en plusieurs morceaux. Cependant, le film étant très cassant avant l'immersion, son bris au moment de la mesure IRTF ne peut être imputé à l'action seule des solvants. Les spectres des témoins ne montrent pas la présence du DEP, sa présence ou absence dans les films immergés ne peut donc pas être liée à l'action des solvants. L'adhésif cireux est sensible aux solvants actifs : isopropanol, alcool benzylique et carbonate de diéthyle ; et au solvant de mise en œuvre : Shellsol D40, iso-octane et D5.								

Réf	Stratigraphie	Eau	Ethanol	Isopropanol	Alcool benzylique	DEC	Shellsol D40	Iso-octane	D5
aC+DEP+aA	Encre (observation)	-	-	-	Solubilité colorant bleu (1/3)	-	-	-	-
	Film (observation)	Film tuile	Film tuile en cigarette côté adhésif	Film tuile en cigarette côté adhésif Film cassé après IRTF (1/3)	Film déformé et cassé après IRTF (1/3)	-	-	-	-
	Plastifiants (IRTF)	DEP présent	Pas de DEP	DEP présent	DEP présent	DEP présent	DEP présent	DEP présent	DEP présent
	Adhésif	-	Adhésif en voile blanc	Adhésif se détache-blanchâtre	Adhésif solubilisé	Adhésif solubilisé	-	-	-
	<b>Conclusions :</b> L'encre perd un composé bleu de l'encre quand immergée dans de l'alcool benzylique pur pendant 5 minutes. Le film tuile pendant et après immersion dans l'eau, l'éthanol et l'isopropanol. Il est rendu cassant par l'isopropanol et l'alcool benzylique et perd son plastifiant avec l'éthanol. L'adhésif acrylique est sensible aux solvants actifs : éthanol, isopropanol, alcool benzylique et carbonate de diéthyle.								

Réf	Stratigraphie	Eau	Ethanol	Isopropanol	Alcool benzylique	DEC	Shellsol D40	Iso-octane	D5
aC+DEP+aV	Encre (observation)	-	-	-	Solubilité colorant bleu (3/3)	Solubilité colorant bleu (1/3)	-	-	-
	Film (observation)	Film tuile	Film tuile en cigarette côté adhésif	Film tuile en cigarette côté adhésif	Film déformé et tuilé	-	-	-	-
	Plastifiants (IRTF)	DEP présent	DEP présent	DEP présent	DEP présent	DEP présent	DEP présent	DEP présent	DEP présent
	Adhésif	-	Adhésif se détache en voile blanc	Adhésif se détache en voile blanc	Adhésif gélifié	Adhésif solubilisé	-	-	-
	<b>Conclusions :</b> L'encre perd un composé bleu de l'encre quand immergée dans de l'alcool benzylique et le diéthyle carbonate pur pendant 5 minutes. Le film tuile pendant et après immersion dans l'eau, l'éthanol, l'isopropanol et l'alcool benzylique. Ses bords sont fondus après immersion dans l'alcool benzylique. Aucune perte de plastifiant n'est relevée. L'adhésif acrylique est sensible aux solvants actifs : éthanol, isopropanol, alcool benzylique et carbonate de diéthyle.								

Annexes

Réf	Stratigraphie	Eau	Ethanol	Isopropanol	Alcool benzylique	DEC	Shellsol D40	Iso-octane	D5
aC+DEP+TPP+Cire	Encre (observation)	-	-	-	-	-	-	-	-
	Film (observation)	-	Film tuile côté plastique	Film tuile côté plastique	Film tuile côté plastique	-	-	-	-
	Plastifiants DEP (IRTF)	DEP présent	DEP présent	DEP présent	DEP présent	DEP présent	DEP présent	DEP présent	DEP présent
	Plastifiants TPP (IRTF)	TPP présent	Perte de TPP	Perte de TPP	TPP présent	TPP présent	TPP présent	TPP présent	TPP présent
	Adhésif	-	Adhésif cristallisé, s'enlève au scalpel	Adhésif s'étire	Adhésif cristallisé, s'enlève au scalpel	Adhésif cristallisé, s'enlève au scalpel	Adhésif solubilisé	Adhésif solubilisé	Adhésif gonflé se retire au scalpel
<p><b>Conclusions :</b></p> <p>Le film tuile côté plastique avec les alcools : éthanol, isopropanol et alcool benzylique.</p> <p>Les immersions dans les différents solvants ne conduisent pas à une perte de DEP mais l'immersion dans l'éthanol et l'isopropanol induit une perte de TPP.</p> <p>L'adhésif cireux est sensible aux solvants actifs : isopropanol, alcool benzylique et carbonate de diéthyle ; et au solvant de mise en œuvre : Shellsol D40, iso-octane et D5.</p>									

Réf	Stratigraphie	Eau	Ethanol	Isopropanol	Alcool benzylique	DEC	Shellsol D40	Iso-octane	D5
aC+DEP+TPP+aA	Encre (observation)	-	Encre fissurée	-	Solubilité colorant bleu (1/3)	-	-	-	-
	Film (observation)	-	Film tuile	Film tuile	Film déformé	-	-	-	-
	Plastifiants DEP (IRTF)	DEP présent	DEP présent	DEP présent	DEP présent	DEP présent	DEP présent	DEP présent	DEP présent
	Plastifiants TPP (IRTF)	TPP présent	Perte de TPP	Perte de TPP	TPP présent	TPP présent	TPP présent	TPP présent	TPP présent
	Adhésif	-	-	Adhésif gonflé	Adhésif se retire comme de la gelée	Adhésif solubilisé	Adhésif glisse sur le film	Adhésif glisse un peu sur film	-
<p><b>Conclusions :</b></p> <p>L'encre se fissure quand immergée dans l'éthanol et perd un composé bleu de l'encre quand immergée dans de l'alcool benzylique pur pendant 5 minutes.</p> <p>Le film tuile pendant et après immersion dans l'eau, l'éthanol et l'isopropanol. Il se déforme sous l'action de l'alcool benzylique. Les immersions ne conduisent pas à une perte de DEP observée mais l'immersion dans l'éthanol et l'isopropanol induit une perte de TPP.</p> <p>L'adhésif acrylique est sensible aux solvants actifs : alcool benzylique et carbonate de diéthyle. Les solvants de mise en œuvre, Shellsol D40 et iso-octane contribuent à son détachement du film.</p>									

Réf	Stratigraphie	Eau	Ethanol	Isopropanol	Alcool benzylique	DEC	Shellsol D40	Iso-octane	D5
aC+DEP+TPP+aV	Encre (observation)	-	Séparation de l'encre et du film	Séparation de l'encre et du film si frottement	Séparation de l'encre et du film si frottement	Séparation de l'encre et du film si frottement	-	-	-
	Film (observation)	Film tuile	Film tuile	Film tuile	-	-	-	-	-
	Plastifiants DEP (IRTF)	DEP présent	DEP présent	DEP présent	DEP présent	DEP présent	DEP présent	DEP présent	DEP présent
	Plastifiants TPP (IRTF)	Pic décalé à 944 cm <sup>-1</sup>	Perte de TPP	Perte de TPP (1/3), pic décalé à 944 cm <sup>-1</sup> (1/3)	Perte TPP (2/3)	Perte TPP (1/3)	Pic décalé à 944 cm <sup>-1</sup>	Pic décalé à 944 cm <sup>-1</sup>	Pic décalé à 944 cm <sup>-1</sup>
	Adhésif	-	Adhésif en partie solubilisé	Adhésif en partie solubilisé	Adhésif gonflé retiré par contact	Adhésif gonflé retiré par contact	Adhésif se pèle assez bien	Adhésif se pèle bien	-
<p><b>Conclusions :</b></p> <p>L'immersion dans les solvants actifs conduit au gonflement de l'encre et à sa dissociation du film quand en contact avec une autre surface.</p> <p>Le film tuile pendant et après immersion dans l'eau, l'éthanol, l'isopropanol. Les immersions ne conduisent pas à une perte de DEP observée mais l'immersion dans les solvants actifs peut conduire à une perte de TPP. Par ailleurs, on observe un décalage du pic de TPP de 954 à 944 cm<sup>-1</sup>.</p> <p>L'adhésif vinylique est sensible aux solvants actifs : éthanol, isopropanol, alcool benzylique et carbonate de diéthyle. Les solvants de mise en œuvre, Shellsol D40 et iso-octane contribuent à son détachement du film</p>									

**ANNEXE 8 : Résultats de notation pour les zips immergés dans les 8 solvants**

évaluations réalisées après immersion et séchage des échantillons																													
échelle paramètres	mauvais 1	2	3	4	bon 5																								
stabilité de l'encre	complètement partie	+ de 3/4 partie	en partie enlevée	perte d'un colorant	rien ne bouge																								
déformation du film	fondu sur lui-même	fondu en périphérie	roulé en cigarette	tuilage	rien ne bouge																								
état du film	le film ne tient que par l'encre	effritement en morceaux moyens	gros morceaux	casse sous l'action du scalpel	reste en un seul morceau																								
retrait de l'adhésif	présence de fibres de papier à la surface	retrait des fibres mais adhésif présent	adhésif retiré le long des bords	adhésif retiré après l'immersion	adhésif dissout dans le solvant																								
						14 et +						3 et +																	
aC+DEP+Cire vieilli					aC+DEP+aA vieilli					aC+DEP+aV vieilli					aC+DEP+TPP+Cire vieilli					aC+DEP+TPP+aA vieilli					aC+DEP+TPP+aV vieilli				
encre noire	déformation du film	Film cassant	dissolution de l'adhésif		encre noire	déformation du film	Film cassant	dissolution de l'adhésif		encre noire	déformation du film	Film cassant	dissolution de l'adhésif		encre noire	déformation du film	Film cassant	dissolution de l'adhésif		encre rouge	déformation du film	Film cassant	dissolution de l'adhésif						
eau	5	4	2	1	eau	5	4	3	1	eau	5	4	5	1	eau	5	4	5	1		eau	5	5	5	1				
éthanol	5	4	1	3	éthanol	5	3	2	1	éthanol	5	3	3	5	éthanol	5	4	5	1		éthanol	5	4	5	1				
isopropanol	5	4	1	3	isopropanol	5	3	2	3	isopropanol	5	3	3	5	isopropanol	5	3	5	3		isopropanol	5	3	5	3				
alcool benzilique	4	2	4	5	alcool benzilique	4	2	3	5	alcool benzilique	4	2	2	5	alcool benzilique	4	2	5	5		alcool benzilique	4	2	5	3				
DEC	5	4	3	3	DEC	5	5	3	2	DEC	5	4	3	4	DEC	5	5	5	4		DEC	5	5	5	4				
ShellsolD40	5	5	4	1	ShellsolD40	5	5	4	1	ShellsolD40	5	5	5	1	ShellsolD40	5	5	5	2		ShellsolD40	5	5	5	2				
isooctane	5	5	4	1	isooctane	5	5	4	1	isooctane	5	5	5	1	isooctane	5	5	5	2		isooctane	5	5	5	1				
D5	5	5	5	1	D5	5	5	4	1	D5	5	5	4	1	D5	5	5	5	1		D5	5	5	5	1				
total					total					total					total						total								

**ANNEXE 9 : Résultats de notation pour la mise en œuvre des solvant sélectionnés sur le retrait des adhésifs**

Paramètres		1 (mauvais)	2	3	4	5 (bon)	
Efficacité du traitement	Efficacité du dégagement d'adhésif (évalué à l'œil une fois le film sec)	adhésif non retiré	adhésif retiré superficiellement	adhésif en partie retiré (env. 1/2)	adhésif retiré mais reste quelques résidus	adhésif entièrement retiré	
	Stabilité de l'encre (évalué à l'œil une fois le film sec)	complètement partie	+ de 3/4 partie	en partie enlevée	perte d'un colorant	rien ne bouge	
	Perte de planéité du film (évalué à l'œil une fois le film sec)	fondus sur lui-même	fondus en périphérie	roulé en cigarette	tuilage léger	rien ne bouge	
	Perte de structure mécanique du film (évalué à l'œil une fois le film sec)	le film ne tient que par l'encre	effritement en morceaux moyens	gros morceaux	casse sous l'action du scalpel	reste en un seul morceau	
Confort de la mise en œuvre	Confort (évalué via le ressenti du restaurateur)	travail sous hotte nécessaire	port d'un masque à solvant nécessaire	gêne au niveau de l'odeur	confortable	agréable	
	Aisance de traitement (évalué via le ressenti du restaurateur)	long et impossible	long et difficile	rapide mais difficile	long et aisé	rapide et aisé	
	Temps d'application approprié en fonction de la mise en œuvre	temps pour nettoyer une zone de 1 cm <sup>2</sup> (action évaluée en min:sec)	au-delà de 10:00	5:01 à 10:00	02:01 à 5:00	01:01 à 02:00	0:00 à 1:00
		nombre d'application goutte+absorption jusqu'à retrait final (max 30)	25-30	19-24	13-18	6-12	0-5
		nombre de passage de coton tige jusqu'à retrait final (max 50)	31+	21-30	11-20	6-10	0-5
		temps de mise en chambre pour procéder au retrait (min:sec)	40:01 à 50:00	30:01 à 40:00	20:01 à 30:00	10:01 à 20:00	0:00 à 10:00
nombre de passage de coton tige jusqu'à retrait final (max 50)		31+	21-30	11-20	6-10	0-5	

DEP		points efficacité et impact sur le film (sur 20)	point mise en œuvre et confort (sur 20)	total	DEP+TPP	points efficacité et impact sur le film (sur 20)	point mise en œuvre et confort (sur 20)	total	
DEP+Cire	isopro+cotonlige	19,7	18,0	18,8	DEP+TPP+Cire	isopro+cotonlige	20,0	18,0	19,0
DEP+Cire	isopro+absorption	18,7	15,0	16,8	DEP+TPP+Cire	isopro+absorption	15,3	12,0	13,7
DEP+Cire	isopro+chambre	13,3	10,0	11,7	DEP+TPP+Cire	isopro+chambre	16,8	14,0	15,4
DEP+Cire	isopro+pinceau coton	19	20	19,5	DEP+TPP+Cire	isopro+pinceau coton	18,3	20,0	19,2
DEP+Cire	alc benz+cotonlige	19	20,0	19,5	DEP+TPP+Cire	alc benz+cotonlige	19,3	19,3	19,3
DEP+Cire	alc benz+absorption	19,0	15,5	17,3	DEP+TPP+Cire	alc benz+absorption	20,0	16,0	18,0
DEP+Cire	alc benz+chambre	18,0	12,0	15,3	DEP+TPP+Cire	alc benz+chambre	18,3	12,8	15,6
DEP+Cire	alc benz+pincaucoton	20	20	20	DEP+TPP+Cire	alc benz+pincaucoton	19,0	20,0	19,5
DEP+Cire	DEC+cotonlige	20	15,0	17,5	DEP+TPP+Cire	DEC+cotonlige	20,0	16,0	18,0
DEP+Cire	DEC+absorption	19,7	12,3	16,0	DEP+TPP+Cire	DEC+absorption	20,0	11,0	15,5
DEP+Cire	DEC+chambre	14,3	10,0	12,2	DEP+TPP+Cire	DEC+chambre	17,6	11,1	14,4
DEP+Cire	DEC+pincaucoton	19,7	18,0	18,8	DEP+TPP+Cire	DEC+pincaucoton	20,0	17,7	18,8
moyenne		18,4	15,5	17,0	moyenne		18,7	15,7	17,2
écart type		2,2	3,8	2,8	écart type		1,5	3,4	2,1
DEP+aA	isopro+cotonlige	20,0	18,0	19,0	DEP+TPP+aA	isopro+cotonlige	20,0	18,0	19,0
DEP+aA	isopro+absorption	15,7	12,3	14,0	DEP+TPP+aA	isopro+absorption	16,0	14,7	15,3
DEP+aA	isopro+chambre	18,0	11,7	14,8	DEP+TPP+aA	isopro+chambre	15,6	11,3	13,5
DEP+aA	isopro+pinceau coton	18	20	19	DEP+TPP+aA	isopro+pinceau coton	18	20	19
DEP+aA	alc benz+cotonlige	17,7	20,0	18,8	DEP+TPP+aA	alc benz+cotonlige	16,7	19,0	17,8
DEP+aA	alc benz+absorption	17,3	17,7	17,5	DEP+TPP+aA	alc benz+absorption	16,7	18,0	17,3
DEP+aA	alc benz+chambre	17,6	13,1	15,4	DEP+TPP+aA	alc benz+chambre	17,2	13,3	15,3
DEP+aA	alc benz+pincaucoton	16,7	20	18,3	DEP+TPP+aA	alc benz+pincaucoton	18	20	19
DEP+aA	DEC+cotonlige	20,0	16,0	18,0	DEP+TPP+aA	DEC+cotonlige	20,0	16,0	18,0
DEP+aA	DEC+absorption	20,0	13,3	16,7	DEP+TPP+aA	DEC+absorption	20,0	12,7	16,3
DEP+aA	DEC+chambre	18,7	11,7	15,2	DEP+TPP+aA	DEC+chambre	18,2	11,2	14,7
DEP+aA	DEC+pincaucoton	19,7	18,0	18,8	DEP+TPP+aA	DEC+pincaucoton	19,7	18	18,8
moyenne		18,3	16,0	17,1	moyenne		18,0	16,0	17,0
écart type		1,4	3,4	1,8	écart type		1,6	3,3	1,9
DEP+aV	isopro+cotonlige	20,0	18,0	19,0	DEP+TPP+aV	isopro+cotonlige	18,3	16,0	17,2
DEP+aV	isopro+absorption	17,3	16,0	16,7	DEP+TPP+aV	isopro+absorption	16,0	14,0	15,0
DEP+aV	isopro+chambre	17,5	13,0	15,3	DEP+TPP+aV	isopro+chambre	18,0	11,7	14,8
DEP+aV	isopro+pinceau coton	17	20	18,5	DEP+TPP+aV	isopro+pinceau coton	18,0	20,0	19,0
DEP+aV	alc benz+cotonlige	17,3	19,7	18,5	DEP+TPP+aV	alc benz+cotonlige	13,0	13,0	13,0
DEP+aV	alc benz+absorption	16,7	16,7	16,7	DEP+TPP+aV	alc benz+absorption	17,0	15,7	16,3
DEP+aV	alc benz+chambre	16,2	13,2	14,7	DEP+TPP+aV	alc benz+chambre	17,6	13,1	15,4
DEP+aV	alc benz+pincaucoton	18	20	19	DEP+TPP+aV	alc benz+pincaucoton	17,3	20,0	18,7
DEP+aV	DEC+cotonlige	20,0	16,7	18,3	DEP+TPP+aV	DEC+cotonlige	20,0	16,0	18,0
DEP+aV	DEC+absorption	19,3	15,3	17,3	DEP+TPP+aV	DEC+absorption	18,7	15,0	16,8
DEP+aV	DEC+chambre	18,2	13,8	16,0	DEP+TPP+aV	DEC+chambre	18,7	11,7	15,2
DEP+aV	DEC+pincaucoton	18,7	18,0	18,3	DEP+TPP+aV	DEC+pincaucoton	19,7	17,7	18,7
moyenne		18,0	16,7	17,4	moyenne		17,7	15,3	16,5
écart type		1,3	2,5	1,5	écart type		1,8	2,8	1,9



# Annexes

Matériel et méthode						Evaluation mise en œuvre										Moyenne des notes			
solvants	méthodes d'application	éprouvettes	combinaisons	points de tests	état de sortie vieillissement	Efficacité du retrait d'adhésif (évalué à l'œil une fois le film sec)	stabilité de l'encre (évalué à l'œil une fois le film sec)	Perte de planéité du film (évalué à l'œil une fois le film sec)	Perte de structure mécanique du film (évalué à l'œil une fois le film sec)	Confort (évalué via le ressenti du restaurateur)	Aisance de traitement (évalué via le ressenti du restaurateur)	temps d'application approprié (pour chaque méthode d'application)	Points associés au temps	temps pour nettoyer un pétale (action évaluée en min:sec)	points efficacité et impact sur le film (sur 20)	point mise en œuvre et confort (sur 15)	point de mise en œuvre (rapporté sur 20)	total	
mélange 3 isopro/alcbenz/D40 (25:25:50)	meo 2 coton tige sur buvard sur table aspi	carré bandes 6	cire	Point 1	pas de soulevement	5	5	4	5	5	5	00:26	5	18,7	14,3	19,1	18,9		
				Point 2	5	5	4	5	5	5	00:46	4							
				Point 3	5	5	3	5	5	5	00:47	4							
			aA	Point 1	pas de soulevement	5	5	2	5	5	5	00:52	4	16,7	13,3	17,8	17,2		
				Point 2	5	5	1	5	5	5	00:46	4							
				Point 3	5	5	2	5	5	5	01:51	2							
			aV	Point 1	pas de soulevement	5	5	2	5	5	5	01:28	3	16,7	12,7	16,9	16,8		
				Point 2	5	5	1	5	5	5	01:21	3							
				Point 3	5	5	2	5	5	5	01:58	2							
mélange 4 D40/isopro/alcbenz 60:30:10)	meo 1 coton tige sur buvard	carré bandes 7	cire	Point 1	pas de soulevement	5	5	5	5	5	5	00:19	5	20,0	15,0	20,0	20,0		
				Point 2	5	5	5	5	5	5	00:27	5							
				Point 3	5	5	5	5	5	5	00:26	5							
			aA	Point 1	pas de soulevement	5	5	5	5	5	5	00:42	4	19,7	13,7	18,2	18,9		
				Point 2	5	5	5	5	5	5	01:20	3							
				Point 3	5	5	4	5	5	5	00:56	4							
			aV	Point 1	pas de soulevement	5	5	5	5	5	5	01:23	3	19,7	12,7	16,9	18,3		
				Point 2	5	5	5	5	5	5	01:30	3							
				Point 3	5	5	4	5	5	5	01:50	2							
mélange 2 DEC: shell soil (50:50)	meo 3 coton tige+Evolon sur buvard sur table aspi	carré bandes 8	cire	Point 1	soulevement angle sup droit	5	5	5	5	5	5	00:07	5	20,0	15,0	20,0	20,0		
				Point 2	5	5	5	5	5	5	00:07	5							
				Point 3	5	5	5	5	5	5	00:13	5							
			aA	Point 1	soulevement angle inf gauche	5	5	5	5	5	5	00:32	4	20,0	14,7	19,6	19,8		
				Point 2	5	5	5	5	5	5	00:21	5							
				Point 3	5	5	5	5	5	5	00:28	5							
			aV	Point 1	pas de soulevement	5	5	5	5	5	5	00:25	5	19,7	15,0	20,0	19,8		
				Point 2	5	5	4	5	5	5	00:12	5							
				Point 3	5	5	5	5	5	5	00:29	5							
mélange 4 D40/isopro/alcbenz 60:30:10)	meo 3 coton tige+Evolon sur buvard sur table aspi	carré bandes 9	cire	Point 1	soulevement angle sup droit	5	5	4	5	5	5	00:07	5	19,3	15,0	20,0	19,7		
				Point 2	5	5	4	5	5	5	00:07	5							
				Point 3	5	5	5	5	5	5	00:09	5							
			aA	Point 1	soulevement angle inf gauche	5	5	3	5	5	5	00:12	5	18,0	15,0	20,0	19,0		
				Point 2	5	5	3	5	5	5	00:20	5							
				Point 3	5	5	3	5	5	5	00:25	5							
			aV	Point 1	pas de soulevement	5	5	3	5	5	5	00:24	5	18,0	14,3	19,1	18,6		
				Point 2	5	5	3	5	5	5	00:35	4							
				Point 3	5	5	3	5	5	5	00:58	4							
mélange 5 KSG/D5 (50:50) + alcbenz 30%	meo 1 coton tige sur buvard	carré bandes 10	cire	Point 1	soulevement angle inf gauche	5	5	5	5	5	5	00:48	4	20,0	14,0	18,7	19,3		
				Point 2	5	5	5	5	5	5	00:38	4							
				Point 3	5	5	5	5	5	5	00:50	4							
			aA	Point 1	pas de soulevement	5	5	5	5	5	5	00:50	4	20,0	13,7	18,2	19,1		
				Point 2	5	5	5	5	5	5	00:50	4							
				Point 3	5	5	5	5	5	5	01:28	3							
			aV	Point 1	pas de soulevement	4	4	5	5	5	5	03:56	1	18,7	11,0	14,7	16,7		
				Point 2	4	5	5	5	5	5	02:52	1							
				Point 3	4	5	5	5	5	5	03:10	1							

# Annexes

Matériel et méthode						Evaluation mise en œuvre								Moyenne des notes					
solvants	méthodes d'application	éprouvettes	combinaisons	points de tests	état de sortie vieillissement	Efficacité du retrait d'adhésif (évalué à l'œil une fois le film sec)	stabilité de l'encre (évalué à l'œil une fois le film sec)	Perte de planéité du film (évalué à l'œil une fois le film sec)	Perte de structure mécanique du film (évalué à l'œil une fois le film sec)	Confort (évalué via le ressenti du restaurateur)	Aisance de traitement (évalué via le ressenti du restaurateur)	temps d'application approprié (pour chaque méthode d'application)	Points associés au temps	points efficacité et impact sur le film (sur 20)	point mise en œuvre et confort (sur 15)	point de mise en œuvre (rapporté sur 20)	total		
												temps pour nettoyer un pétale (action évaluée en min:sec)							
mélange 2 DEC: shell soll (50:50)	meo 2 coton tige sur buvard sur table aspi	carré bandes 13	cire	Point 1	soulèvement	5	5	5	5	5	5	00:28	5	19,7	14,3	19,1	19,4		
				Point 2	nt angle inf	5	5	5	4	5	5	00:55	4						
				Point 3	gauche	5	5	5	5	5	5	01:00	4						
			aA	Point 1	pas de	5	5	5	5	5	5	5	5	00:16	5	20,0	15,0	20,0	20,0
				Point 2	soulèvement	5	5	5	5	5	5	5	5	00:20	5				
				Point 3	nt	5	5	5	5	5	5	5	5	00:25	5				
			aV	Point 1	pas de	5	4	5	5	5	5	5	5	01:10	3	19,3	13,3	17,8	18,6
				Point 2	soulèvement	5	5	5	5	5	5	5	5	01:20	3				
				Point 3	nt	4	5	5	5	5	5	5	5	00:40	4				
mélange 5 KSG/D5 (50:50) + alcbenz 30%	meo 2 coton tige sur buvard sur table aspi	carré bandes 14	cire	Point 1	soulèvement	5	5	5	5	5	5	00:55	4	19,7	14,0	18,7	19,2		
				Point 2	nt angle	5	5	5	4	5	5	5	5					00:52	4
				Point 3	supérieur	5	5	5	5	5	5	5	5					00:45	4
			aA	Point 1	pas de	5	5	5	5	5	5	5	5	00:52	4	20,0	14,0	18,7	19,3
				Point 2	soulèvement	5	5	5	5	5	5	5	5	00:59	4				
				Point 3	nt	5	5	5	5	5	5	5	5	00:57	4				
			aV	Point 1	pas de	5	4	5	5	5	5	5	5	03:20	1	18,7	11,0	14,7	16,7
				Point 2	soulèvement	4	5	5	5	5	5	5	5	03:47	1				
				Point 3	nt	4	4	5	5	5	5	5	5	02:55	1				
mélange 1 Isopropanol : shellsol (25:75)	meo 2 coton tige sur buvard sur table aspi	carré bandes 15	cire	Point 1	pas de	5	5	5	5	5	5	00:28	5	20,0	15,0	20,0	20,0		
				Point 2	soulèvement	5	5	5	5	5	5	5	5					00:25	5
				Point 3	nt	5	5	5	5	5	5	5	5					00:22	5
			aA	Point 1	pas de	5	5	5	5	5	5	5	5	01:02	3	20,0	13,0	17,3	18,7
				Point 2	soulèvement	5	5	5	5	5	5	5	5	01:16	3				
				Point 3	nt	5	5	5	5	5	5	5	5	01:12	3				
			aV	Point 1	pas de	5	5	5	5	5	5	5	5	01:58	2	20,0	12,3	16,4	18,2
				Point 2	soulèvement	5	5	5	5	5	5	5	5	01:43	2				
				Point 3	nt	5	5	5	5	5	5	5	5	01:25	3				
mélange 5 KSG/D5 (50:50) + alcbenz 30%	meo 3 coton tige+Evolon sur buvard sur table aspi	carré bandes 16	cire	Point 1	soulèvement	5	5	5	5	5	5	00:45	4	19,7	14,0	18,7	19,2		
				Point 2	nt angle	5	5	5	4	5	5	5	5					00:57	4
				Point 3	supérieur	5	5	5	5	5	5	5	5					00:42	4
			aA	Point 1	pas de	5	5	5	5	5	5	5	5	00:42	4	20,0	13,7	18,2	19,1
				Point 2	soulèvement	5	5	5	5	5	5	5	5	00:58	4				
				Point 3	nt	5	5	5	5	5	5	5	5	01:12	3				
			aV	Point 1	pas de	5	4	5	5	5	5	5	5	03:44	1	18,7	11,0	14,7	16,7
				Point 2	soulèvement	5	4	5	5	5	5	5	5	03:33	1				
				Point 3	nt	4	4	5	5	5	5	5	5	03:58	1				
mélange 4 D40/Isopro/ alcbenz 60:30:10)	meo 2 coton tige sur buvard sur table aspi	carré bandes 31	cire	Point 1	soulèvement	5	5	5	5	5	5	00:22	5	20,0	14,7	19,6	19,8		
				Point 2	nt angle	5	5	5	5	5	5	5	5					00:35	4
				Point 3	sup droit	5	5	5	5	5	5	5	5					00:20	5
			aA	Point 1	soulèvement	5	5	5	5	5	5	5	5	00:42	4	20,0	14,0	18,7	19,3
				Point 2	nt angle inf	5	5	5	5	5	5	5	5	00:37	4				
				Point 3	gauche	5	5	5	5	5	5	5	5	00:58	4				
			aV	Point 1	pas de	5	5	5	5	5	5	5	5	00:38	4	20,0	13,7	18,2	19,1
				Point 2	soulèvement	5	5	5	5	5	5	5	5	00:52	4				
				Point 3	nt	5	5	5	5	5	5	5	5	01:10	3				

**ANNEXE 11 : Résultats de notation pour la sélection d'un adhésif de restauration et repose du zip**

Paramètres	1 (mauvais)	2	3	4	5 (bon)
a Adhésion sur film nettoyé	pas d'adhésion	bord décollé	angle décollé	adhésif saute sous action mécanique	bonne adhésion
a* Adhésion sur ancien adhésif	pas d'adhésion	bord décollé	angle décollé	adhésif saute sous action mécanique	bonne adhésion
b Jaunissement	brunissement	fort jaunissement	jaunissement	très faible jaunissement	aucun jaunissement
c Assombrissement	très fort assombrissement	fort assombrissement	assombrissement visible	assombrissement perceptible	aucun assombrissement
d Hétérogénéité application (vu par la face)	disparité d'adhésion très marquées	film irrégulier mais général	film visible mais régulier et grossier	film visible mais régulier et fin	film d'adhésif imperceptible
d* Hétérogénéité application (vu par le revers)	disparité d'adhésion très marquées	film irrégulier mais général	film visible mais régulier et grossier	film visible mais régulier et fin	film d'adhésif imperceptible
e Proximité de rendu avec témoin (rendu effet adhésif et indice de réfraction)	différence inacceptable, impression de film différent	importante différence	différence nettement identifiable mais acceptable	dissociable mais proche	indissociable
f Aisance de mise en œuvre du collage	long et impossible	long et difficile	rapide mais difficile	long et aisé	rapide et aisé
g Compatibilité de mise en œuvre avec ancien adhésif	pas d'adhésion	colle difficilement/ancien adhésif bouge	ancien adhésif bouge/mise en œuvre compliquée	ancien adhésif réagit mais l'adhésion fonctionne	bonne compatibilité
h Retraitabilité à chaud sur film nettoyé	pas de retrait	support arraché/film déchiré	film marqué/fibres	film légèrement marqué/qq fibres	retrait satisfaisant
h* Retraitabilité à chaud sur film avec ancien adhésif	pas de retrait	support arraché/film déchiré	film marqué/fibres	film légèrement marqué/qq fibres	retrait satisfaisant
i Retraitabilité avec vapeur de solvant sur film nettoyé	pas de retrait	support arraché/film déchiré	film marqué/fibres	film légèrement marqué/qq fibres	retrait satisfaisant
i* Retraitabilité avec vapeur de solvant sur film avec ancien adhésif	pas de retrait	support arraché/film déchiré	film marqué/fibres	film légèrement marqué/qq fibres	retrait satisfaisant

	a	a*	b	c	d	d*	e	f	g	h	h*	i	i*	TOTAL/60	MOYENNE	écart type	médiane	
Lascaux 303HV FC	5	5	5	5	5	5	5	4	5	4	5	4	3	55	4,6	0,3	5	
Lascaux 303HV MPC	5	5	5	5	5	5	5	4	4	5	3	5	3	55	4,6	0,4	5	
Lascaux 498 HV FC	5	4	5	5	4	5	4	4	5	5	5	5	5	56	4,7	0,2	5	
Lascaux 498 HV MPC	5	5	5	5	5	5	5	4	5	3	5	3	4	54	4,5	0,4	5	
303+498 FC	5	5	5	5	5	5	5	4	5	5	5	3	2	54	4,5	0,5	5	
303+498 MPC	5	5	5	5	5	5	5	4	5	4	5	5	2	55	4,6	0,5	5	
Aquazol/ 303HV APPLI HU	4	5	5	5	5	5	5	3	5	5	5	3	5	55	4,6	0,4	5	
Aquazol/ 303HV APPLI mp	4	5	5	5	5	5	5	1	2	5	4	5	4	47	3,9	0,7	4	
Plextol 8500 appli humide	5	4	5	5	5	5	5	4	3	5	5	5	4	55	4,6	0,3	5	
Plextol 8500 appli mp	4	3	5	5	5	5	5	1	2	5	5	4	4	46	3,8	0,7	4	
Beva film	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	3	2	5	54	4,5	0,5	5	
Gudy	5	5	5	5	5	5	5	3	5	5	5	3	3	54	4,5	0,5	5	
<b>TOTAL/60 MOYENNE écart type médiane</b>																		
Lascaux 303HV FC	5	5	5	5	4	3	4	4	4	5	5	5	3	4	57	4,4	0,4	5
Lascaux 303HV MPC	5	5	5	5	5	4	4	4	5	5	5	2	3	57	4,4	0,5	5	
Lascaux 498 HV FC	5	5	5	5	3	1	1	4	5	5	5	2	4	50	3,8	0,8	5	
Lascaux 498 HV MPC	5	5	5	5	5	5	5	4	5	5	5	2	5	61	4,7	0,4	5	
303+498 FC	5	5	5	5	5	4	3	4	5	5	5	1	4	56	4,3	0,6	5	
303+498 MPC	5	5	5	5	5	4	4	4	5	5	5	2	4	58	4,5	0,4	5	
Aquazol/ 303HV APPLI HU	4	5	5	5	3	3	3	3	5	5	5	5	3	54	4,2	0,5	5	
Aquazol/ 303HV APPLI mp	4	5	5	5	3	1	1	2	5	5	5	3	5	49	3,8	0,8	5	
Plextol 8500 appli humide	5	5	5	5	3	3	3	3	5	5	5	5	5	57	4,4	0,5	5	
Plextol 8500 appli mp	5	5	5	5	3	1	1	2	5	4	5	1	5	47	3,6	0,9	5	
Beva film	5	5	5	4	5	4	3	5	2	4	5	2	2	51	3,9	0,6	4	
Gudy	5	5	5	5	5	5	4	3	5	4	5	1	2	54	4,2	0,7	5	
<b>TOTAL/65 MOYENNE écart type médiane</b>																		
Lascaux 303HV FC	5	5	5	5	4	5	5	4	5	4	5	3	3	47	4,4	0,4	5	
Lascaux 303HV MPC	5	5	5	5	4	4	4	4	5	4	5	2	2	44	4,0	0,6	4	
Lascaux 498 HV FC	5	5	4	5	5	5	4	4	5	5	5	4	4	47	4,6	0,3	5	
Lascaux 498 HV MPC	5	5	5	4	5	5	5	4	5	5	5	4	3	47	4,5	0,3	5	
303+498 FC	5	5	5	4	4	5	2	4	4	5	3	2	2	40	3,7	0,6	4	
303+498 MPC	5	5	5	4	5	4	4	4	5	4	4	3	2	45	4,2	0,5	4	
Aquazol/ 303HV APPLI HU	3	5	5	4	5	4	4	5	3	3	3	5	2	41	4,0	0,5	4	
Aquazol/ 303HV APPLI mp	3	5	5	4	1	5	1	2	4	4	2	4	3	31	3,2	0,7	3,5	
Plextol 8500 appli humide	3	5	5	5	5	5	5	5	5	4	3	4	3	45	4,3	0,4	5	
Plextol 8500 appli mp	4	5	5	4	2	5	2	2	4	4	3	4	3	35	3,5	0,5	4	
Beva film	5	5	5	3	4	5	4	5	3	3	3	3	3	42	4,0	0,5	4	
Gudy	5	5	5	5	4	5	5	3	5	4	5	3	3	46	4,3	0,4	5	
<b>TOTAL/60 MOYENNE écart type médiane</b>																		
Lascaux 303HV FC	5	5	5	5	5	3	5	4	5	3	5	3	2	50	4,2	0,5	5	
Lascaux 303HV MPC	5	5	5	5	4	3	4	4	5	4	5	2	2	51	4,2	0,6	5	
Lascaux 498 HV FC	5	5	5	5	4	3	4	4	5	4	5	5	3	49	4,4	0,4	5	
Lascaux 498 HV MPC	5	5	5	5	5	3	5	4	5	5	5	5	3	52	4,6	0,4	5	
303+498 FC	5	5	5	5	5	4	3	4	5	5	4	3	1	50	4,2	0,6	5	
303+498 MPC	5	5	5	5	5	4	4	4	5	5	5	4	2	52	4,5	0,4	5	
Aquazol/ 303HV APPLI HU	2	5	5	3	5	3	4	5	5	5	3	5	3	45	4,1	0,6	5	
Aquazol/ 303HV APPLI mp	4	5	5	2	1	1	1	2	5	3	3	5	3	32	3,1	0,8	3	
Plextol 8500 appli humide	3	5	5	4	4	3	4	5	5	5	4	5	1	47	4,1	0,6	4	
Plextol 8500 appli mp	2	5	5	2	2	1	1	2	5	4	4	5	3	33	3,2	0,8	3	
Beva film	5	5	5	5	5	5	3	5	3	5	3	4	3	50	4,3	0,5	5	
Gudy	5	5	5	5	5	3	5	3	5	3	4	1	1	48	3,8	0,8	5	
<b>TOTAL/60 MOYENNE écart type médiane</b>																		
Lascaux 303HV FC	5	5	5	5	5	5	5	4	5	5	5	3	3	55	4,6	0,4	5	
Lascaux 303HV MPC	5	5	4	4	5	5	3	4	5	5	5	3	4	52	4,3	0,4	4,5	
Lascaux 498 HV FC	5	5	5	5	5	5	5	4	4	5	5	4	5	58	4,8	0,2	5	
Lascaux 498 HV MPC	5	5	3	4	5	5	4	4	5	4	4	4	4	53	4,4	0,3	4	
303+498 FC	5	5	5	4	4	5	4	4	5	5	5	3	2	49	4,1	0,5	4	
303+498 MPC	5	5	3	3	5	3	4	4	5	5	5	3	2	52	4,3	0,5	5	
Aquazol/ 303HV APPLI HU	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	3	5	3	55	4,6	0,4	5	
Aquazol/ 303HV APPLI mp	5	5	5	5	4	5	1	2	5	4	2	5	2	45	3,8	0,8	4,5	
Plextol 8500 appli humide	5	5	5	5	5	5	4	5	5	5	3	5	3	55	4,6	0,4	5	
Plextol 8500 appli mp	5	5	5	5	5	5	1	2	5	4	4	5	3	49	4,1	0,7	5	
Beva film	5	5	5	4	5	5	4	5	5	4	4	3	4	53	4,4	0,3	4,5	
Gudy	5	5	5	5	5	5	3	3	5	4	4	4	3	53	4,4	0,4	5	
<b>TOTAL/65 MOYENNE écart type médiane</b>																		
Lascaux 303HV FC	5	5	5	5	5	4	3	4	5	5	4	5	2	57	4,4	0,5	5	
Lascaux 303HV MPC	5	5	5	4	4	4	4	4	5	5	5	4	1	55	4,2	0,5	4	
Lascaux 498 HV FC	5	5	5	5	5	4	3	4	5	5	4	5	4	59	4,5	0,3	5	
Lascaux 498 HV MPC	5	5	5	5	5	5	5	4	5	4	3	5	5	61	4,7	0,3	5	
303+498 FC	5	5	3	3	5	5	3	4	5	5	5	4	4	56	4,3	0,4	5	
303+498 MPC	5	5	5	4	5	5	4	4	5	5	5	3	3	59	4,5	0,4	5	
Aquazol/ 303HV APPLI HU	2	5	5	5	5	2	2	5	5	5	2	5	3	51	3,9	0,7	5	
Aquazol/ 303HV APPLI mp	3	5	5	5	5	2	1	2	5	4	3	5	3	48	3,7	0,7	4	
Plextol 8500 appli humide	3	5	5	5	4	3	4	2	5	5	3	2	5	53	4,1	0,7	5	
Plextol 8500 appli mp	3	5	5	4	5	4	1	2	5	3	2	5	1	45	3,5	0,7	3	
Beva film	5	5	4	4	5	5	5	5	4	5	5	2	5	57	4,4	0,5	5	
Gudy	5	5	5	5	5	5	3	3	5	5	5	2	1	54	4,2	0,7	5	

**ANNEXE 12 : Tableau des mesures des zips avant et après vieillissement et après traitement de redimensionnement**

		Longueur ép av VT	Longueur ep ap VT	Longueur ap tt	différence ap VT-av VT	différence ap tt-ap VT
85%	2	17,975	17,5	17,5	-0,48	0,00
	3	18	17,525	17,5	-0,48	-0,02
	4	18,025	17,5	17,5	-0,52	0,00
	18	18,025	17,525	17,525	-0,50	0,00
	moy	18,01	17,51	17,51	-0,49	-0,01
	écart type	0,02	0,01	0,01	-0,01	0,00
45°C	6	17,95	17,45	17,4	-0,50	-0,05
	7	17,975	17,5	17,5	-0,48	0,00
	8	18	17,5	17,475	-0,50	-0,02
	9	18,05	17,55	17,55	-0,50	0,00
	moy	17,99	17,50	17,48	-0,49	-0,02
	écart type	0,04	0,04	0,06	0,00	0,02
85%et45°	5	18,025	17,55	17,575	-0,47	0,02
	11	17,95	17,5	17,5	-0,45	0,00
	13	18	17,475	17,475	-0,52	0,00
	21	17,975	17,475	17,45	-0,50	-0,03
	moy	17,99	17,50	17,50	-0,49	0,00
	écart type	0,03	0,04	0,05	0,00	0,02
Général moyenne		18,00	17,50	17,50		
Général écart type		0,03	0,03	0,05		

**ANNEXE 13 : Fiches techniques - Adhésifs de restauration utilisés pour la repose des zips**



**81000 Lascaux® Acrylic Glue 303 HV**

**Technical Data:**

Thermoplastic copolymeric butyl-methacrylate-dispersion, thickened with acrylic ester acid. The pH-value is stabilized at 8-9 and is treated with preservatives.

**Film-formation:**

Minimal film-formation temperature:	approx. 0°C
Glass transition temperature:	approx. - 35°C
Elongation at break:	> 1000 %
Minimal sealing temperature:	approx. 50°C
Dry film:	sticky

**Solubility:**

- dilutable with water, after drying: water-insoluble
- permanently soluble in acetone, alcohols, toluene, xylene.
- slightly soluble in white spirit.

**Application:**

For light and ageing-resistant, non-cross-linking agglutination such as re-lining, marouflage, lamination, collages etc. Applicable as wet or reactive dry technique, on absorbent and non-absorbent grounds such as paper and cardboard, textiles, wood and fibreboards, polyester boards, gypsum plaster and concrete, glass and acrylic glass, aluminium, etc.

Lascaux® Acrylic glue 303 HV is extremely elastic. The dry film stays permanently sticky. It is suitable for warm sealing when re-lining. May be used as contact adhesive.

**Storage:**

Store in tightly closed containers at 5 – 25°C.



## 81002 Lascaux® Acrylic Glue 498 HV

### Technical Data:

Thermoplastic copolymeric butyl-methacrylate-dispersion, thickened with acrylic ester acid. The pH-value is stabilized at 8-9 and is treated with preservatives.

### Film-formation:

Minimal film-formation temperature:	approx. 5°C
Glass transition temperature:	approx. 13°C
Elongation at break:	approx. 400 %
Minimal sealing temperature:	68 - 76°C
Dry film:	hard elastic

### Solubility:

- dilutable with water, after drying: water-insoluble
- permanently soluble in acetone, alcohol, toluene, xylene.
- insoluble in white spirit.

### Application:

For light and ageing-resistant, non-cross-linking agglutination such as re-lining, marouflage, lamination, collages etc. Applicable as wet or reactive dry technique, on absorbent and non-absorbent grounds such as paper and cardboard, textiles, wood and fibreboards, polyester boards, gypsum plaster and concrete, glass and acrylic glass, aluminium, etc.

Lascaux Acrylic Glue 498 HV dries as a viscous elastic film, it is extremely tensile. It is suitable for wet and dry application (reactivation with solvents). Standard type for relining and marouflages.

### Storage:

Store in tightly closed containers at 5 – 25°C.

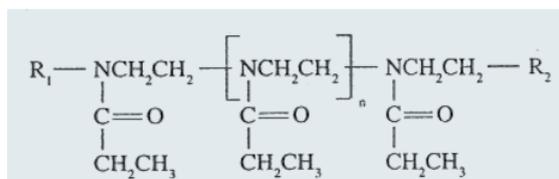


## 63901 - 63905 Aquazol®

### General Characteristics

Poly(2-ethyl-2-oxazoline) AQUAZOL®

CAS Number: 25805-17-8



Product Grade	Target Molecular Weight	Poly-Dispersity Range	Kinematic Viscosity Range
63901 Aquazol® 50	50,000	3 – 4	5 – 7 cSt
63902 Aquazol® 200	200,000	3 – 4	18 – 24 cSt
63905 Aquazol® 500	500,000	3 – 4	60 – 80 cSt

### Physical Data

Appearance:	Light yellow solid
Specific gravity:	1.14
pH of aqueous solutions:	neutral
Solubility:	freely soluble in water
Glass temperature, TG:	69 – 71°C (amorphous)
Melt viscosity at 200°C:	130 Sec-1 shear rate, 400,000 CPS (mPa.S)
Refractive Index:	1.52
Degradation Onset:	> 380°C (TGA in air)

### Solubility of Aquazol® in Various Solvents

Aquazol® has unusually broad solubility in water and polar organic solvents. A few solvents and their solubility parameter are listed below.

Solubility Parameter (cal/cm <sup>3</sup> ) <sup>1/2</sup>	Solvent	Solubility* of Aquazol®
7.0	n-Pentane	P
8.9	Toluene	P
9.3	Methyl ethyl ketone	S
9.7	Methylene chloride	S
9.9	Acetone	S
12.0	Propylene chloride	S
12.7	Ethanol	S
14.5	Methanol	S
23.4	Water	S

\*P < 2% by wt S > 25% by wt



### Properties

Water soluble:	Recyclability: Reduced need for organic solvents.
Polymer compatibility:	Broad ability to promote adhesion and lamination.
Low viscosity:	Fewer deformities in ceramics.
Thermoplastic:	Forms a good film.
Thermal & Shear Stability:	Retains good performance and aesthetic characteristics at typical processing temperatures.
Plasticization:	Softening temperature can be readily controlled.
Low Hazard:	U.S. FDA approval for Indirect Food Additives: Adhesives under 21. CFR 175.105. Also, not found to be in any hazard category defined by SARA Title III, Sections 311 and 312.

### Applications

Aquazol's excellent water solubility and thermal stability makes it a preferred substitute for PVOH and PVP in high temperature applications. Currently, it is used in a variety of hot-melt and pressure-sensitive adhesive products. In addition, it is gaining acceptance in the ceramics industry as a greenware binder because of the clean burn-out and non-ionic nature of this polymer.

Other applications include, but are not limited to: coatings, textile and fibreglass sizing, lubricants, plasticizers, compatibilizers and films.



**C.T.S. S.R.L.**  
Via Piave, 20/22 - 36077 Altavilla Vicentina (VI) - Italy  
Tel. +39 0444 349088 - Fax +39 0444 349039  
www.ctseurope.com - cts.italia@ctseurope.com

**Milano**  
Via A.F. Stella, 5 - 20125  
Tel. +39 02 67493225  
Fax +39 02 67493233  
cts.milano@ctseurope.com

**Firenze**  
Via L. Gordiniani, 54 - 50127  
Tel. +39 055 3245014  
Fax +39 055 3245078  
cts.firenze@ctseurope.com

**Roma**  
Via G. Fantoli, 26 - 00149  
Tel. +39 06 55301779  
Fax +39 06 5592891  
cts.roma@ctseurope.com

**Napoli**  
Via delle Puglie, 228 int.4 - 80143  
Tel. +39 081 7592971  
Fax +39 081 7593118  
cts.napoli@ctseurope.com

**SINCERT**  
UNI EN ISO 9001:2008  
CERTIFICATION & MEMBERSHIP OF THE INTERNATIONAL ISO  
CERTIFICATION  
SISTEMA DI GESTIONE  
QUALITÀ CERTIFICATO

## PLEXTOL B 500

### Description :

Aqueous emulsion of a thermoplastic, pure acrylic resin.

### Storage :

Keeps for 1 year if tightly closed, protected from frost and strong heat.

### Produce properties :

Solids content (DIN 53 189)	50 ± 1 %
Actual viscosity at 20°C (Brookfield viscosimeter II/6)	1100 – 4500 mPa.s
Ionic character	non ionic
Ph value (DIN 53 785)	9.5 ± 0.5
Density	1.08 g/cm <sup>3</sup>
Average particular diameter	~ 0,1 µm
Minimum film-forming temperature (MFT) (DIN 53 787)	~ 7°C

### General information :

Film Properties (after air-drying, unpigmented)

Tensile test (DIN 53 455)

(cross – head speed : 100mm/min)

Tensile strength	~ 7,5N/mm <sup>2</sup>
Elongation at break	~ 600%

Torsion pendulum test (DIN 53445) (frequency : 1 Hz)

Temperature at the damping maximum	~ + 29°C
Shear modulus	~ 130Nmm <sup>2</sup>

### Application :

Binders for the manufacture of weather – resistant, non – saponifiable and non – yellowing coatings.

Plextol B 500 is suitable for the manufacture of abrasion – resistant interior paints, aqueous primers for absorbent Substrates, synthetic resin – bound plasters, additives for hydraulic compounds and for the formulation of emulsion paints resistant to mineral oils.

Plextol B 500 is particularly proven as a binder for high – quality coatings of aerated concrete.



## 87051 BEVA<sup>®</sup> 371 FILM (thick, 65 µm)

Quality control of our BEVA<sup>®</sup> 371 Film is exercised by their inventor Gustav B. Berger. As an improvement, our film is attached to a silicone-coated Mylar (Melinex) which makes both the film and the release sheet fully transparent.

- BEVA<sup>®</sup> 371 film is solvent-free and does not produce any harmful solvent vapors during application.
- The transparent support allows the film to be cut precisely any shape and to place it exactly where desired. This is particularly useful in the consolidation of collages and sensitive materials.
- Since BEVA<sup>®</sup> 371 does not adhere to anything before it is activated with either heat or solvents, it can be inserted into loose areas, and delaminating paint can be properly aligned while the adhesive is inactive. The adhesive is then activated with a hot air blower up to 150°F (65°C). This procedure eliminates any staining and is least harmful to the texture of the paint.
- BEVA<sup>®</sup> 371 forms a cushion which prevents weave interference. A double layer of the film may be used where the weave is pronounced.
- BEVA<sup>®</sup> 371 film is ideally suited for transparent linings.
- BEVA<sup>®</sup> 371 is equally useful for textile and paper conservators. Since it is not a liquid, it can be applied to small, clearly defined areas without fear of spreading.
- BEVA<sup>®</sup> 371 can be removed from absorbent surfaces by using hexane or acetone, provided these solvents do not damage the art work involved. These solvents do not dissolve the film but merely swell it and, therefore, do not contaminate or stain absorbent materials.
- Strict product quality of BEVA<sup>®</sup> products is exercised by their inventor Gustav A. Berger. No other producer can make this claim.

## gudy 870

### Allgemeine Information

- hauchdünner **permanenter** transparenter Transferkleber
- besteht aus einem lösungsmittelfreien, alterungsbeständigen und dauerelastischen Acrylatkleber, der weder austrocknet noch durchfettet

### Einsatzbereiche

- Aufziehen von Fotos, InkJet- und Digitaldrucken auf unterschiedlichste Untergründe wie z.B. Hartschaumplatten (Kapa, Gatorfoam, etc.), glatte PVC-Oberflächen, Polystyrol®, Polycarbonat, beschichtete Spanplatten, Aluminium, etc.
- im Möbelbau zur Kaschierung von Resopalplatten auf Unterschränke und Blenden
- universell im Innen- und Außenbereich einsetzbar

### Verarbeitungshinweise

- Bitte beachten Sie, dass in den vielen Einsatzbereich der Materialien (z.B. in Verbindung mit unterschiedlichen Folien, PVC- Platten oder anderen Applikationsuntergründen) physikalisch bedingte Dimensionsschwankungen auftreten können, die u. U. durch Temperaturschwankungen während der Verarbeitung und/oder Applikation ausgelöst werden. Aus diesem Grund gelten alle in unseren Technischen Informationen gemachten Angaben als Referenz, jedoch ausdrücklich nicht als Basis für Gewährleistungen oder Garantien. Da es unmöglich ist, das Material in jeder denkbaren Druck/ Applikations- Kombination zu testen, empfehlen wir den Kunden Eigentests zur Qualifikation für die konkrete Endanwendung vorzunehmen
- da der Kleber einen leicht gelblichen Farbton aufweist, ist das Material für transparente Anwendungen nicht geeignet.
- Rollen IMMER zusammen mit dem Etikett / dem Label aufbewahren – ohne Batchnummer / Stücknummer können keinerlei Rückfragen bzw. Reklamationen bearbeitet werden!
- einführende und weitergehende Verarbeitungshinweise finden sich auf unserer Homepage [www.neschen.de](http://www.neschen.de)

### General information

- wafer- thin, carrier free, transparent **permanent** adhesive film
- coated with a solvent-free, age-resistant- and permanently elastic acrylate adhesive, which does not brittle or bleed.

### Areas of application

- mounting film for photos, inkjet- and digital prints on several surfaces such as hardfoam (e.g. Kapa. Gatorfoam), smooth PVC- surfaces, polystyrene®, polycarbonate, chipboard laminated, aluminium, etc.
- in furniture construction to laminate Resopal panels on covers and base cabinets
- universally applicable for indoor and outdoor use

### Processing & Handling

- Please note that due to the multiple areas of application of this material (combined with various films, sheets of PVC or other application substrates) physically- determined dimensional fluctuation might occur that can possibly be triggered by fluctuations in temperature during processing and/or during actual application. For this reason, all specifications in our technical information are meant as references, and explicitly not intended as a basis for warranty or guarantee. Because it is impossible to test every possible print -application combination, we recommend customers conduct their own tests to see if the material is qualified for the actual end-use.
- because of the yellowish colour of the adhesive, the material is not suitable for transparent applications
- ALWAYS store the rolls together with the label respectively batch number! Without batch number or production number, no requests or claims can be accepted!
- please refer to the general application tips on our homepage [www.neschen.de](http://www.neschen.de)

## gudy 870

### Vorteile / Besonderheiten

- trägt kaum auf
- kein Hochreißen des Klebers beim Sägen, Schneiden oder Abziehen der Abdeckung
- PAT- Zertifizierung analog ISO 18916 Rochester Institute of Technology, NY, USA
- weitere Informationen bzw. ein Überblick der Neschen Produktpalette finden Sie auf [www.neschen.de](http://www.neschen.de)

### Haltbarkeit:

Innenbereich: bis zu 8 Jahren exzellentes Erscheinungsbild.  
 Außenbereich: bis zu 5 Jahren exzellentes Erscheinungsbild.  
 Diese Daten sind aufgrund von Prüfungen im Normaklima gemäß 23/50-2, DIN 50014 ermittelt worden.

### Anmerkung:

Angaben über die Lebensdauer sind aufgrund künstlicher Alterungstests und Außenanwendungs- Studien in vertikaler Verklebung unter „normalen“ mitteleuropäischen Bedingungen ermittelt worden. Anwendungen in Regionen mit hoher Luftfeuchtigkeit und hoher UV-Strahlung, wie z.B. in Süd- Europäischen Ländern, in tropischen- und subtropischen- sowie in Wüsten- Regionen verursachen einen schnelleren Alterungsprozess. Dies trifft ebenfalls zu auf Anwendungen in Umgebungen mit starker Luftverschmutzung, in großen Höhen und in Süd- Richtung.

### Advantages / Special Features

- very thin
- no tearing up when sawing, cutting or removing the backing
- PAT-certification in accordance with ISO 18916 Rochester Institute of Technology, NY, USA
- more information and an overview about Neschen products you can find at [www.neschen.de](http://www.neschen.de)

### Durability:

Indoor: excellent optical characteristics up to 8 years  
 Outdoor: excellent optical characteristics up to 5 years  
 All tests conducted under controlled climatic conditions; 23/50-2, DIN 50014

### Note:

These end-use life estimates are based on accelerated ageing studies and outdoor exposure, under conditions experienced in vertical exposure and in "normal" Central European climate. Exposure to severe humidity and ultraviolet light, as e.g. in southern Europe countries, and also in tropical, sub-tropical or desert regions will cause a more rapid deterioration. This also applies to polluted areas, high altitude and southfacing exposure

## gudy 870

### Technische Daten / Technical Data

#### Kleber / Adhesive

<b>Basis / Adhesive type</b>	Polyacrylat Dispersion polyacrylate dispersion		
<b>pH-Wert / pH-value</b>	ca. / approx. 7,0		
<b>Klebkraft / Adhesive strength [N/25 mm]</b>	10 min: > 5,4	24h: > 8,8	AFERA 4001

#### Abdeckung / Masking

<b>Materialtyp / Type</b>	beidseitig silikonisiertes Glassine-Papier, weiß on either side siliconised Glassine paper, white		
<b>Dicke / Thickness [µm]</b>	75± 5	approx. 3 mil	
<b>Flächengewicht / Weight [g/m<sup>2</sup>]</b>	93± 5		
<b>Trennkraft / Removal force [mN/cm]</b>	25± 8	Abzugsgeschwindigkeit / speed 300 mm/min	

#### Weitere Angaben / Others

<b>Lagerbedingungen / Storage conditions</b>	18° - 25°C/ 64 - 77°F; 40 bis 65% relative Luftfeuchtigkeit / relative humidity
<b>Lagerzeit [Jahre] / Shelf Life [Years]</b>	4
<b>Raumbedingungen beim Verarbeiten/ indoor conditions for processing</b>	5 - 40°C/ 41- 104°F

Die Prüfungen erfolgten im Normalklima gemäß 23/50-2, DIN 50014.  
All tests were performed in accordance with 23/50-2, DIN 50014.

Die Angaben in dieser technischen Information bezüglich der Produkte basieren auf unseren Kenntnissen und Erfahrungen in der Praxis. Wegen der Fülle möglicher Einflüsse bei der Verarbeitung und Anwendung sind eigene Tests unerlässlich. Der Käufer trägt das alleinige Risiko für den Einsatz des Produktes. Wir haften für Schäden nur bis zur Höhe des Kaufpreises unter Ausschuss aller mittelbaren und zufälligen Schäden. Alle angegebenen Daten dienen allein der Produktbeschreibung und sind nicht als zugesicherte Eigenschaften im Rechtsinne aufzufassen. Spezifikationen und Angaben können ohne Ankündigung geändert werden, Irrtümer und Änderungen vorbehalten.

Rechtsgültig und verbindlich ist ausschließlich die deutsche Version.

Published information concerning our products is based upon practical knowledge and experience. Purchasers should independently determine, prior to use, the suitability of each material for their specific purpose. The purchaser must assume all risks for any use, operation and application of the material. We are liable for damage only upon the amount of the purchase price under exclusion of indirect and accidental damage. All information given serves only to describe the product and is not to be regarded as assured properties in the legal sense. Specifications subject to change without notice, errors and omissions excepted.

The German version is solely and exclusively valid and legally binding.





## SOURCES

---

**Brevet d'enregistrement**

- Zip-a-Tone USPO, n° 402 487, 27 juillet 1943.  
USPO, n° 456 830, 14 novembre 1942.
- Chart-Pak USPO, n° 667 158, 1958.  
USPO, n° 684 802, 8 septembre 1959.
- Letraset UKPO, n° 00000760113, 1957.
- Mécanorma USPO, n° 959 420, 1973.  
USPO, n° 1 013 548, 1975.
- Alfac-Tone Benelux Merk, n° 0411659, 1985.

**Brevet d'innovation – accessible via Google Patents**

- HYATT John W., HYATT Isaiah S., "Improvement in Treating and Molding Pyroxylin", 1870, U.S.P.O.105,338.
- WALKER Benjamin, "Transfer decorating", 1903, U.S.P.O. 741,746.
- CROWDER Havy Q. R., "Process for indicating shading and coloring in the production of pictures", 1914, U.S.P.O 1,175,614.
- CROWDER Havy Q. R., "Drawing sheet and method of making same", 1923, U.S.P.O. 1,469,554.
- CROWDER Havy Q. R., "Transfer sheet and method of making same", 1931, U.S.P.O. 1,820,867, 1931.
- DREW Richard G./3M, "Adhesive sheeting", 1932, U.S.P.O 1,856,986.
- HOLMBERG Albert W./The Naugatuck Chemical Cie, "Manufacture of adhesives", 1933, U.S.P.O 1,932,624.
- KUBIN Frank, "Transfer and process of preparing and applying designs", 1934, U.S.P.O 1,946,865.
- MULL Arthur B./Marathon Paper Mills Cie, "Removable adhesive unit", 1937, 2,080,734.
- DREW Richard G./3M, "Adhesive sheet and method of making", 1941, U.S.P.O 2,236,527.
- DREW Richard G./3M, "Adhesive sheeting", 1941, U.S.P.O 2,236,567.
- DREW Richard G./3M, "Adhesive sheet and method of making", 1942, U.S.P.O 2,269,712.
- DREW Richard G./3M, "Composite sheet material and method of making the same", 1943, U.S.P.O 2,330,814.
- DREW Richard G./3M, "Coating composition and adhesive resulting therefrom" 1944, U.S.P.O 2,350,732.
- REED Raymond E./The Kendall Cie, "Pressure-sensitive adhesive laminate", 1944, U.S.P.O 2,358,761.
- MORRIS Vlon N./Industrial Tape Corp, "Pressure-sensitive adhesive tapes", 1947, U.S.P.O 2,424,996.
- CROWDER Havy Q. R., BRONSON Edward A., "Apparatus for applying wax to thin sheets", 1949, U.S.P.O 2,470,093.
- BJERREGAARD LAVANCHY Patricia /Permacel Tape Corp, "Pressure sensitive adhesive tape and method of making same", 1957, U.S.P.O 2,795,515.
- MACKENZIE Frederick W., "Application of typographic and other designs to showcards, and other articles", 1962, U.S.P.O 3,055,787.
- MACKENZIE Frederick W./Letraset Limited, "Adhesive transfers", 1964, U.S.P.O 3,131,106.
- LEFEVRE Llyod E./The Dow Chemical Cie, "Method of producing colored plastic film or sheet", 1969, U.S.P.O 3,423,498.

- SILVER Spencer F., WINSLOW Louis E., ZIGMAN Alvin R./3M, "Removable pressure-sensitive adhesive sheet material", 1975, U.S.P.O. 3,922,464.
- BROWN Francis W., WINSLOW Louis E./3M, "Removable pressure-sensitive adhesive tape", 1985, EU 180,434.
- BROWN Francis W., WINSLOW Louis E./3M, "Removable pressure-sensitive adhesive tape", 1986, U.S.P.O. 4,629,663.
- WINSLOW Louis E., BENNETT Richard E., OVERSTREET Thomas S./3M, "Removable pressure-sensitive adhesive tape", 1987, U.S.P.O. 4,645,711,
- MIYASAKA Hiroyasu, KITAZAKI Uasuaki/Nichiban Cie Limited, "Removable adhesive sheet", 1988, U.S.P.O 4,735,837.
- BERNARD Margaret, BERMAN Stansliv/Avery International Corp, "Removable pressure-sensitive adhesive compositions comprising acrylic based emulsion polymers", 1994, EU 0401226B1.

### Catalogues de vente

- Catalogue Zip-A-Tone 1973, bibliothèque Forney.
- Catalogue Letraset® 1986, bibliothèque Forney.
- Catalogue Letraset® 1988, Adam Montmartre, 96, rue Damrémont, 75018 Paris.
- Catalogue Letraset® 1995, Adam-Lavrut, 52, passage Choiseul, 75002 Paris.
- Catalogue Letraset® s.d., archives Marion Cinqualbre.
- Catalogue Mécanorma n°12, 1968, bibliothèque Forney.
- Catalogue Mécanorma 1969, Bibliothèque nationale de France.
- Catalogue Mécanorma 1970, Bibliothèque nationale de France.
- Catalogue Mécanorma n°7, 1976, Bibliothèque nationale de France.
- Catalogue Mécanorma N°12, 1986, Adam Montmartre, 96 rue Damrémont, 75018 Paris.
- Catalogue Mécanorma 1987, Bibliothèque nationale de France.
- Catalogue Mécanorma N°14, 1988, Dalbe 47 Rue Claude Bernard, 75005 Paris.
- Catalogue Mécanorma 1993, Bibliothèque nationale de France.
- Catalogue Alfac-Tone Adam-Lavrut, 52, passage Choiseul, 75002 Paris.
- Catalogue Craftint 1958, Musée des Tissus de Lyon.
- Catalogue Racher n°861, 1961, Getty Research Institute.
- Catalogue Chart-Pak 1962, Getty Research Institute.
- Catalogue Chart-Pak 1963, Getty Research Institute.
- Catalogue Paratone s.d., Getty Research Institute.

### Périodique

- Blue print* d'octobre 1983 à mars 1988, n°1 à 45.
- L'Architecture d'Aujourd'hui* du n° 1, 1930 au n°242, 1985.
- De 8 en Opbouw* des numéros de 1932 à 1943 (réédition 1982).
- Graphis* de 1944 à 2005.
- Arts & Architecture* du n°1, janvier 1945, au n°12 décembre 1951.
- Zodiac* de 1957 à 1970, du n°1 à 20.

### **Publications internes de la société Mécanorma**

Lettre d'information, MN news, n°1, 1974.

Lettre d'information, MN news, n°5, 1975.

Lettre d'information, MN news, n°9, 1978-79.

Lettre d'information, MN news, n°10, 1979.

Prospectus pour les 10 ans de la société, 1974.

### **Manuel de dessin d'architecture**

FORSETH Kevin, *Graphics for Architecture*, New York : John Wiley & Sons, 1980, 224 p.

PORTER Tom, Greenstreet Robert, *Manual of graphic techniques 1*, New York : Charles Scribner's sons, 1980, 128 p.

PORTER Tom, Goodman Sue, *Manual of graphic techniques 2*, New York : John Wiley & Sons, 1982, 128 p.

PORTER Tom, Goodman Sue, *Graphic design techniques for architectural drawing*, New York : Charles Scribner's sons, 1990, 144 p.

PORTER Tom, *Architecture drawing, Masterclass, graphic techniques from the world's leading architects*, New York : Charles Scribner's sons, 1993.

DUDLEY Leavitt, *Architectural illustration*, New Jersey : Prentice-Hall, 1977, 300p.

ZIMMERSCHIED Gerd, *Effets graphiques dans les plans de construction*, Paris : Editions Dunot, 1962, 226 p.

### **Normes**

Norme ISO 14523, "Photography – Processed Photographic Materials – Photographic Activity Test for Enclosure Materials", 1999.

Norme ISO 11556, "Paper and board – Determination of curl using a single vertically suspended test piece", 2005.

### **Correspondances**

Lettre d'André Sive à Oscar Nitschké du 7 juin 1948, archives particulières

Lette de 1959 de Le Corbusier à Salubra, inv. R3-2-252, Fondation Le Corbusier

### **Ouvrages de et sur Le Corbusier – sources iconographiques**

LE CORBUSIER, *Modulor 2*, Paris : les éditions de L'Architecture d'Aujourd'hui, 1955, 343 p.

LE CORBUSIER, *Catalogue raisonné : Œuvre complète*, 8 vol., BOESIGER Willy (dir.), Paris : Les éditions d'architecture, 1919-1965.

LE CORBUSIER, *Ronchamp*, Zürich : édition Girsberger, 1957.

### **Sources Diverses**

BATAILLE Michel, *Sans toit ni loi*, Paris : Calmann-Levy, 1974, 101 p.

Dossier enseignant, Appartement-Atelier de Le Corbusier, Fondation Le Corbusier, 18 p.

*Le poème de l'angle droit et 17 tapisseries de Le Corbusier*, Paris : Tériade, 1955, 150 p.

### Sources déontologiques

European Confederation of Conservator-Restorers' Organisations, E.C.C.O., Professional Guidelines II, The Code of Ethics, 2003, 4 p. [https://www.ecco-eu.org/wp-content/uploads/2021/03/ECCO\\_professional\\_guidelines\\_II.pdf](https://www.ecco-eu.org/wp-content/uploads/2021/03/ECCO_professional_guidelines_II.pdf) (consulté pour la dernière fois le 09/11/2022).

European Confederation of Conservator-Restorers' Organisations, E.C.C.O., Compétences for access to the conservation-restoration profession, 2011, 27 p. [https://www.ecco-eu.org/wp-content/uploads/2021/01/ECCO\\_Compétences\\_EN.pdf](https://www.ecco-eu.org/wp-content/uploads/2021/01/ECCO_Compétences_EN.pdf) (consulté pour la dernière fois le 10/11/2022).

### Sites internet consultés

Base de données de la collection du Centre Pompidou : <https://collection.centrepompidou.fr/artworks>

Site internet de la Fondation Le Corbusier : <http://fondationlecorbusier.fr/>

Site internet de la Cité de l'architecture et du patrimoine : [www.citedelarchitecture.fr](http://www.citedelarchitecture.fr)

Site de recherche associé au MoMA <https://research.moma.org/ALRC-Online-Resources>

Base de données de la collection du MoMA : <https://www.moma.org/collection/>

Site des numéros *Arts&Architecture* numérisés : <https://www.art-architecture.fr>

Site internet de *l'Architecture d'Aujourd'hui* : <https://www.larchitecturedaujourd'hui.fr>

Site internet du fournisseur de produit chimique Sigma-Aldrich : <https://www.sigmaaldrich.com>

Site du fournisseur de matériel de restauration Kremer : <https://www.kremer-pigmente.com/fr>

Site du fournisseur de matériel de restauration CTS : <https://ctsconservation.com/fr>

Site du fournisseur des produits développés lors du projet Nanorestart : [www.csgi.unifi.it](http://www.csgi.unifi.it)

Getty Research Institute : <https://www.getty.edu/research/>

RCE – SBMK, Outil d'identification des plastiques : <https://plastic-en.tool.cultureelerfgoed.nl/info/project>

Notes de l'institut Canadien de Conservation (CCI-ICC) : <https://www.canada.ca/en/conservation-institute/services/conservation-preservation-publications/canadian-conservation-institute-notes.html>

Ressources en ligne sur la conservation-restauration de l'American Institute for Conservation : <https://cool.culturalheritage.org/>

Site de Cameo, Materials Database, Museum of Fine Arts Boston, Cellulose acetate, <cameo.mfa.org>.



CORPUS D'ETUDE

---

## A. Dessins de la Fondation Le Corbusier

FLC30202	1945	Urbanisme, Marseille, France
FLC00601	1950	Urbanisme, Bogota, Colombie
FLC00602	1950	Urbanisme, Bogota, Colombie
FLC00603	1950	Urbanisme, Bogota, Colombie
FLC00604	1950	Urbanisme, Bogota, Colombie
FLC00605	1950	Urbanisme, Bogota, Colombie
FLC00621	1950	Urbanisme, Bogota, Colombie
FLC00101	1951	Carton pour tapisserie présence
FLC29060	1951	Urbanisme, Chandigarh, Inde
FLC30663 A	1951	Concours de Strasbourg pour 800 logements, Strasbourg, France
FLC30664 A	1951	Concours de Strasbourg pour 800 logements, Strasbourg, France
FLC30665 A	1951	Concours de Strasbourg pour 800 logements, Strasbourg, France
FLC30666	1951	Concours de Strasbourg pour 800 logements, Strasbourg, France
FLC31064	1952	Unité d'habitation, Rezé, France
FLC31064	1952	Unité d'habitation, Rezé, France
FLC00113 PC	1954	Les maitres
B1 2 220	1955	Vitrail Ronchamp
FLC24615	1955	Musée national d'art occidental, Tokyo, Japon
FLC00420	1956	Stade, Bagdad, Irak
FLC00424	1956	Stade, Bagdad, Irak
FLC00425	1956	Stade, Bagdad, Irak
FLC23978	1956	Concours international d'Urbanisme, Berlin
FLC24157	1956	Étude 2.26 x 2.26, Roquebrune-Cap-Martin, France
FLC24158	1956	Étude 2.26 x 2.26, Roquebrune-Cap-Martin, France
FLC24159	1956	Étude 2.26 x 2.26, Roquebrune-Cap-Martin, France
FLC24165	1956	Étude 2.26 x 2.26, Roquebrune-Cap-Martin, France
FLC24284	1956	Unité d'habitation, Berlin, Allemagne
FLC32313	1956	Stade, Bagdad, Irak
FLC32417	1956	Stade, Bagdad, Irak
FLC102	1957	Carton pour tapisserie « une corde tomba du ciel »
FLC23988	1957	Concours international d'Urbanisme, Berlin, Allemagne
FLC23989	1957	Concours international d'Urbanisme, Berlin, Allemagne
FLC23996	1957	Concours international d'Urbanisme, Berlin, Allemagne
FLC24051	1957	Concours international d'Urbanisme, Berlin, Allemagne
FLC24052	1957	Concours international d'Urbanisme, Berlin, Allemagne
FLC24053	1957	Concours international d'Urbanisme, Berlin, Allemagne
FLC24054	1957	Concours international d'Urbanisme, Berlin, Allemagne
FLC31161	1958	Unité d'habitation, Boé, France
FLC16781 A	1959	Unité d'habitation, Firminy, France
FLC16782 A	1959	Unité d'habitation, Firminy, France
FLC16788 A	1959	Unité d'habitation, Firminy, France
FLC16790 A	1959	Unité d'habitation, Firminy, France
FLC16799 A	1959	Unité d'habitation, Firminy, France
FLC16800 A	1959	Unité d'habitation, Firminy, France
FLC16801 A	1959	Unité d'habitation, Firminy, France
FLC16802 A	1959	Unité d'habitation, Firminy, France
FLC16803 A	1959	Unité d'habitation, Firminy, France
FLC16804	1959	Unité d'habitation, Firminy, France
FLC16805	1959	Unité d'habitation, Firminy, France
FLC17130	1959	Unité d'habitation, Firminy, France
FLC17133 A	1959	Unité d'habitation, Firminy, France
FLC17161	1959	Unité d'habitation, Firminy, France
FLC17163 A	1959	Unité d'habitation, Firminy, France
FLC30192	1959	Unité d'habitation, Firminy, France
FLC18043	1960	Unité d'habitation, Roussillon France
FLC24094	1960	Unité d'habitation, Boé, France

## Corpus d'étude

FLC24283 A	1960	Unité d'habitation, Villacoublay, France
FLC11761	1961	Orsay-Paris, projet pour un centre de Culture, Paris, France
FLC11762	1961	Orsay-Paris, projet pour un centre de Culture, Paris, France
FLC11763	1961	Orsay-Paris, projet pour un centre de Culture, Paris, France
FLC11765	1961	Orsay-Paris, projet pour un centre de Culture, Paris, France
FLC11771	1961	Orsay-Paris, projet pour un centre de Culture, Paris, France
FLC23420 A	1961	Centre international d'art, Erlenbach-sur-Main, All
FLC23421 A	1961	Centre international d'art, Erlenbach-sur-Main, All
FLC23421 B	1961	Centre international d'art, Erlenbach-sur-Main, All
FLC23422	1961	Centre international d'art, Erlenbach-sur-Main, All
FLC23423 A	1961	Centre international d'art, Erlenbach-sur-Main, All
FLC23424	1961	Centre international d'art, Erlenbach-sur-Main, All
FLC30947	1961	Orsay-Paris, projet pour un centre de Culture, Paris, France
FLC30949	1961	Orsay-Paris, projet pour un centre de Culture, Paris, France
FLC30951	1961	Orsay-Paris, projet pour un centre de Culture, Paris, France
FLC30952	1961	Orsay-Paris, projet pour un centre de Culture, Paris, France
FLC30954	1961	Orsay-Paris, projet pour un centre de Culture, Paris, France
FLC30955	1961	Orsay-Paris, projet pour un centre de Culture, Paris, France
FLC11622	1962	Palais des congrès, Strasbourg, France
FLC11625	1962	Palais des congrès, Strasbourg, France
FLC11626	1962	Palais des congrès, Strasbourg, France
FLC11697	1962	Palais des congrès, Strasbourg, France
FLC14719	1962	Centre de calculs électroniques Olivetti, Rho, Italie
FLC14727	1962	Centre de calculs électroniques Olivetti, Rho, Italie
FLC14845	1962	Centre de calculs électroniques Olivetti, Rho, Italie
FLC14847	1962	Centre de calculs électroniques Olivetti, Rho, Italie
FLC14851	1962	Centre de calculs électroniques Olivetti, Rho, Italie
FLC14853	1962	Centre de calculs électroniques Olivetti, Rho, Italie
FLC14878	1962	Centre de calculs électroniques Olivetti, Rho, Italie
FLC14881	1962	Centre de calculs électroniques Olivetti, Rho, Italie
FLC14889	1962	Centre de calculs électroniques Olivetti, Rho, Italie
FLC14905	1962	Centre de calculs électroniques Olivetti, Rho, Italie
FLC14906	1962	Centre de calculs électroniques Olivetti, Rho, Italie
FLC25048 A	1962	Pavillon d'exposition, Palais Ahrenberg, Stockholm, Suède
FLC25049 A	1962	Pavillon d'exposition, Palais Ahrenberg, Stockholm, Suède
FLC21063	1963	Ambassade de France, Brasilia, Brésil
FLC21064	1963	Ambassade de France, Brasilia, Brésil
FLC21065	1963	Ambassade de France, Brasilia, Brésil
FLC21066	1963	Ambassade de France, Brasilia, Brésil
FLC21067	1963	Ambassade de France, Brasilia, Brésil
FLC21068	1963	Ambassade de France, Brasilia, Brésil
FLC21069	1963	Ambassade de France, Brasilia, Brésil
FLC21070	1963	Ambassade de France, Brasilia, Brésil
FLC21071	1963	Ambassade de France, Brasilia, Brésil
FLC21072	1963	Ambassade de France, Brasilia, Brésil
FLC21073	1963	Ambassade de France, Brasilia, Brésil
FLC21074	1963	Ambassade de France, Brasilia, Brésil
FLC21075	1963	Ambassade de France, Brasilia, Brésil
FLC21076	1963	Ambassade de France, Brasilia, Brésil
FLC21077	1963	Ambassade de France, Brasilia, Brésil
FLC25047 B	1963	Pavillon d'exposition, Palais Ahrenberg, Stockholm, Suède
FLC28430	1963	Ambassade de France, Brasilia, Br
FLC28236 A	1964	Nouvel hôpital, Venise, Italie
FLC32200	1964	Nouvel hôpital, Venise, Italie
FLC16660 A	1965	Stade, Firminy, France
FLC16673 A	1965	Stade, Firminy, France
FLC23455	1965	Théâtre spontané

## B. Dessins de la collection du Mnam-CCI, Centre Pompidou

Adalberto Libera	AM 2002-2-428	1959	Immeubles d'habitation « Italsider »
André Bruyère	AM 1994-1-69	1968	Laboratoire d'électronique d'Orsay
	AM 1994-1-73	1971	Concours Beaubourg
	AM 1994-1-74	1971	Concours Beaubourg
	AM 1994-1-86	1978	Concours Beaubourg
Antoine Grumbach	AM 1996-2-164	1979	Xe arrondissement Paris
	AM 1996-2-167	1979	Xe arrondissement Paris
	AM 1996-2-168	1979	Xe arrondissement Paris
	AM 1996-2-171	1979	Xe arrondissement Paris
	AM 1996-2-193	1980	Secteur Mare et cascades
Archigram	AM 1992-1-289	1964	Capsule homes
A.U.A.	AM 1997-2-88	1968	Villeneuve Grenoble
	AM 1997-2-92	1971	Villeneuve Grenoble
Carlo Aymonino	AM 2007-2-541 (0001)	1962	Immeubles et centre administratif Bologne
	AM 2007-2-556	1964	Théâtre Paganini
	AM 2007-2-569	1967	Chambre députés, Montecitorio
	AM 2007-2-630	1967	Monte Amiata « planificateur sur Retino » NIX 81
	AM 2007-2-704	1971	Université de Florence
	AM 2004-2-100	1990	Nouveau palais du cinéma
	AM 2004-2-101	1990	Nouveau palais du cinéma
Carlo Aymonino et Costantino Dardi	AM 2007-2-573	1967	Hôpital psychiatrique
Carlos Bratke	AM 2009-2-423	1982	Immeuble Oswaldo-Bratke
Christian Portzamparc	AM 1993-1-672	1983	Opéra Bastille
	AM 1993-1-673	1983	Opéra Bastille
	AM 1993-1-674	1983	Opéra Bastille
	AM 1993-1-676/1	1983	Opéra Bastille
Claude HÄUSERMANN-COSTY	AM 2015-2-152 (0009)	1973	Villa-atelier unal
Edouard Albert	AM 1994-1-287(1)	1964	Hôtels suspendus
	AM 1994-1-289	1964	Façade nord sud
	AM 1994-1-290	1964	Orientation 1
	AM 1994-1-291	1964	Orientation 2
Fernando Albarez	AM 2013-2-257	1970	Projet d'unités sociales d'urgence
Franco Stella	AM 2012-2-448	1972	Bureaux « estel »
François Deslaugiers	AM 2003-2-86	1973	Centre régional d'informatique
	AM 2003-2-87	1973	Centre régional d'informatique
	AM 2003-2-91	1973	Centre régional d'informatique
	AM 2003-2-95	1973	Centre régional d'informatique
Frédéric Borel	AM 1998-2-53	1989	Immeuble d'habitation rue Oberkampf
Hiromi Fujii	AM 2010-2-673	1988	Série mizoe
G.R.A.U.	AM 2009-2-558	1966	Institut technico-commercial
	AM 2009-2-576	1967	Concours chambre des députés Rome
	AM 2009-2-615	1968	Concorso per un liceo
	AM 2009-2-616	1968	Concorso per un liceo
	AM 2010-2-73	1968	Institut technico-commercial
	AM 2009-2-626	1969	Casa Lambert
G.R.A.U.	AM 2009-2-690	1970	Casa a Montepulciano
	AM 2009-2-697 (0003)	1970	Casa a Montepulciano
	AM 2009-2-697 (0004)	1970	Casa a Montepulciano
Georges Candilis	AM 1996-2-10	1953	Habitat musulman
	AM 1996-2-12	1953	Habitat musulman
	AM 1996-2-13	1953	Habitat musulman
	AM 1996-2-14	1953	Habitat musulman

Corpus d'étude

	AM 1996-2-20	1953	Habitat musulman
	AM 1996-2-21	1953	Habitat musulman
	AM 1996-2-22	1953	Habitat musulman
	AM 1996-2-23	1953	Habitat musulman
	AM 1996-2-24	1953	Habitat musulman
	AM 1996-2-6	1953	Habitat musulman
	AM 1996-2-9	1953	Habitat musulman
	AM 1996-2-29	1961	Zup du Mirail, Toulouse
	AM 1996-2-30	1961	Zup du Mirail, Toulouse
	AM 1996-2-31	1961	Zup du Mirail, Toulouse
	AM 1996-2-52	1967	Université Zurich
Giacomel, Mazzarotto, Dalla Mora, Rado	AM 2012-2-114(2)	1978	Centre historique Portogruaro
Giancarlo De Carlo	AM 2004-2-8	1963	Collegio del colle
	AM 2004-2-28	1969	Village Matteotti
	AM 2004-2-14	1981	Centre hospitalier de Mirano
	AM 2004-2-38	1984	Université de Catania
Guy Rottier	AM 2007-2-57	1958	Maison de vacances UV
	AM 2007-2-59	1958	Maison de vacances UV
	AM 1999-2-45	1964	Cité de vacances sur le fil
	AM 1999-2-61	1969	Nice futur
	AM 1999-2-63		Fondation MAEGHT
Hans Hollein	AM 1995-2-52(1)	1963	Hollein
	AM 1995-2-52(2)	1963	Hollein
	AM 1995-2-52(3)	1963	Hollein
	AM 1995-2-52(4)	1963	Hollein
	AM 1995-2-52(5)	1963	Hollein
	AM 1995-2-52(6)	1963	Hollein
Henri Edouard Ciriani	AM 1997-2-61	1968	Aéroport de Luxembourg
	AM 1997-2-62	1968	Aéroport de Luxembourg
Ibos et Vitart	AM 2010-2-18 (0002)	1990	Palais des beaux-arts de Lille
	AM 2010-2-18 (0003)	1990	Palais des beaux-arts de Lille
	AM 2010-2-19 (0001)	1990	Palais des beaux-arts de Lille
	AM 2010-2-19 (0002)	1991	Palais des beaux-arts de Lille
	EC 2010-1-AR002(1)	1991	Palais des beaux-arts de Lille
Jean Prouvé	AM 2011-2-414	1955	Immeubles
	AM 2007-2-407(0001)	1956	J.M.
	AM 2007-2-407(0002)	1956	J.M.
	AM 2007-2-408(0001)	1956	J.M.
	AM 2007-2-409(0001)	1956	J.M.
	AM 2007-2-409(0003)	1956	J.M.
	AM 2007-2-410(0001)	1956	J.M.
	AM 2007-2-410(0002)	1956	J.M.
	AM 2007-2-413(0001)	1956	J.M.
	AM 2007-2-413(0002)	1956	J.M.
	AM 2007-2-414	1956	J.M.
	AM 2007-2-415(0001)	1956	J.M.
	AM 2007-2-415(0003)	1956	J.M.
	AM 2007-2-308	1957	Ben m 175
	AM 2007-2-309	1957	Ben m 175
AM 2007-2-310	1957	Ben m 175	
AM 2007-2-311	1957	Ben m 175	
AM 2007-2-312	1957	Ben m 175	
AM 2007-2-313	1957	Ben m 175	
AM 2007-2-314	1957	Ben m 175	
AM 2007-2-315	1957	Ben m 175	
AM 2007-2-316	1957	Ben m 175	

Corpus d'étude

	AM 2007-2-318	1957	Ben m 175
	AM 2007-2-319	1957	Ben m 175
	AM 2007-2-327	1957	Ben m 175
	AM 2007-2-328	1957	Ben m 175
	AM 2007-2-329	1957	Ben m 175
	AM 2007-2-330	1957	Ben m 175
	AM 2006-2-228	1963	C.i.m.t.
	AM 2008-2-12	1963	C.i.m.t.
	AM 2008-2-13	1963	C.i.m.t.
	AM 2008-2-17	1963	C.i.m.t.
	AM 2008-2-18	1963	C.i.m.t.
	AM 2008-2-19	1963	C.i.m.t.
	AM 2008-2-20	1963	C.i.m.t.
	AM 2008-2-22	1963	C.i.m.t.
	AM 2008-2-24	1963	C.i.m.t.
	AM 2008-2-25	1963	C.i.m.t.
	AM 2008-2-26	1963	C.i.m.t.
	AM 2008-2-27	1963	C.i.m.t.
	AM 2008-2-28	1963	C.i.m.t.
	AM 2011-2-447	1963	Hôtel Lyon
	AM 2008-2-100	1964	Quillery
	AM 2008-2-98	1964	Quillery
	AM 2007-2-422	1966	Club des jeunes
	AM 2007-2-423	1966	Club des jeunes
	AM 2007-2-424	1966	Club des jeunes
	AM 2007-2-425	1966	Club des jeunes
	AM 2007-2-426	1966	Club des jeunes
	AM 2007-2-427	1966	Club des jeunes
	AM 2007-2-428	1966	Club des jeunes
	AM 2007-2-488	1966	Alpexpo
	AM 2007-2-489	1966	Alpexpo
	AM 2007-2-957	1966	Alpexpo
	AM 2011- 2-360	1970	Station total
	AM 2011- 2-373	1970	Station total
	AM 2011- 2-374	1970	Station total
	AM 2011-2-383	1970	Station total
Jacques Rougerie	AM 2007-2-37	1971	Village sous-marin
	AM 2007-2-38	1971	Village sous-marin
	AM 2007-2-40	1971	Village lacustre
	AM 2007-2-42	1971	Village sous-marin
	AM 2007-2-43	1971	Village sous-marin
Jean Nouvel	AM 1996-2-440	1982	Aménagement par de la Vilette
	AM 1996-2-473	1982	Ministère des finances
	AM 1996-2-488	1984	Médiathèque de Nîmes
	AM 1996-2-489	1984	Médiathèque de Nîmes
	AM 2002-2-7	1989	Centre culture et congrès Lucerne
	AM 2002-2-9	1989	Centre culture et congrès Lucerne
	AM 2002-2-11	1990	Centre culture et congrès Lucerne
	AM 2002-2-11	1990	Centre culture et congrès Lucerne
	AM 2002-2-13	1990	Centre culture et congrès Lucerne
	AM 2002-2-14	1990	Centre culture et congrès Lucerne
	AM 2002-2-17	1990	Centre culture et congrès Lucerne
Jean Nouvel	AM 2002-2-20	1990	Centre culture et congrès Lucerne
	AM 2002-2-23	1990	Centre culture et congrès Lucerne
	AM 2002-2-26	1990	Centre culture et congrès Lucerne
	AM 1996-2-463	1991	Fondation cartier
	AM 1996-2-464	1991	Fondation cartier

Corpus d'étude

	AM 1996-2-465	1991	Fondation cartier
	AM 1996-2-467	1991	Fondation cartier
	AM 1996-2-468	1991	Fondation cartier
	AM 1996-2-469	1991	Fondation cartier
	AM 1996-2-470	1991	Fondation cartier
	AM 2001-2-143	1997	Auditorium philharmonie Luxembourg
	AM 1996-2-503		Nemausus?
Jean Renaudie	AM 1998-2-93	1964	Quartier des Francs-Moisins
	AM 2009-2-144	1967	Ville nouvelle du Vaudreuil
	AM 2009-2-155	1967	Ville nouvelle du Vaudreuil
	AM 2009-2-194	1970	Aménagement centre Ivry-sur-Seine
	AM 2009-2-195	1970	Aménagement centre Ivry-sur-Seine
	AM 2009-2-196	1970	Aménagement centre Ivry-sur-Seine
	AM 2009-2-197	1970	Aménagement centre Ivry-sur-Seine
	AM 2009-2-171	1971	Aménagement centre Ivry-sur-Seine
Kisho Kurokawa	AM 1997-2-56	1970	Habitat capsule
Lucien Kroll	AM 2012-2-576	1966	Plan urbanisation Rwanda
	AM 2012-2-600	1971	Campus universitaire Bruxelles
	AM 2012-2-610	1971	Université catholique de Louvain
	AM 2012-2-611	1971	Université catholique de Louvain
	AM 2012-2-614	1971	Université catholique de Louvain
	AM 2012-2-607	1973	Université catholique de Louvain
	AM 2012-2-590	1974	Station métro de l'Alma
	AM 2012-2-594	1974	Station métro de l'Alma
	AM 2012-2-606	1974	Université catholique de Louvain
	AM 2012-2-609	1974	Université catholique de Louvain
	AM 2012-2-613(A)	1974	Station Alma
	AM 2012-2-613(B)	1974	Station Alma
	AM 2012-2-604	1977	Université catholique de Louvain
	AM 2012-2-605	1977	Université catholique de Louvain
	AM 2012-2-543		Perspective sur hôtellerie, Abbaye de Maredsous, Belgique
	AM 2012-2-545		Perspective aérienne, Maison familiale, Baine-l'Alleud
	AM 2012-2-580		Station Alma
	AM 2012-2-581		Station Alma
	AM 2012-2-582		Station Alma
	AM 2012-2-583		Station Alma
AM 2012-2-584		Station Alma	
AM 2012-2-585		Station Alma	
AM 2012-2-586		Station Alma	
AM 2012-2-593		Station métro de l'Alma, coupe BB et CC	
Marino Di Teana	AM 2003-2-328	1962	Urbanisme den spirale
Mario Roberto Alvarez	AM 2014-2-84	1971	Immeubles de bureau somisa
	AM 2014-2-88	1971	Immeubles de bureau somisa
	AM 2014-2-89	1971	Immeubles de bureau somisa
	AM 2014-2-90	1971	Immeubles de bureau somisa
Nalbach	AM 2002-2-519	1965	Plan de masse Pneumo-city
Rem Koolhaas	AM 1996-2-547 (1)	1988	Euralille
	AM 1996-2-547 (2)	1988	Euralille
	AM 1996-2-552	1988	Euralille
	AM 1996-2-553	1988	Euralille
	AM 1996-2-555	1988	Euralille
	AM 1996-2-559	1988	Euralille
Rem Koolhaas	AM 1996-2-560	1988	Euralille
	AM 1992-1-50 (14)	1989	Concours BNF Mitterrand
	AM 1992-1-50 (18)	1989	Concours BNF Mitterrand
	AM 1992-1-50 (23)	1989	Concours BNF Mitterrand
	AM 1992-1-50 (9)	1989	Concours BNF Mitterrand

Corpus d'étude

René Dottelonde	AM 2003-2-66	1975	Centre de recherche Royallieu
René Gagès	AM 2002-2-87	1965	Markisches viertel
	AM 2002-2-88	1965	Markisches viertel
	AM 2002-2-101	1966	Centre nucléaire Bugey-Meximieux
	AM 2002-2-100	1967	Centre nucléaire Bugey-Meximieux
	AM 2002-2-102	1967	Centre nucléaire Bugey-Meximieux
	AM 2002-2-104	1967	Centre nucléaire Bugey-Meximieux
	AM 2002-2-94	1967	Centre nucléaire Bugey-Meximieux
	AM 2002-2-95	1967	Centre nucléaire Bugey-Meximieux
	AM 2002-2-96	1967	Centre nucléaire Bugey-Meximieux
	AM 2002-2-97	1967	Centre nucléaire Bugey-Meximieux
	AM 2002-2-98	1967	Centre nucléaire Bugey-Meximieux
	AM 2002-2-99	1967	Centre nucléaire Bugey-Meximieux
	AM 2002-2-120	1970	Centre échanges Lyon Perrache
	AM 2002-2-123	1970	Centre échanges Lyon Perrache
	AM 2002-2-124	1970	Centre échanges Lyon Perrache
	AM 2002-2-133	1970	Centre échanges Lyon Perrache
	AM 2002-2-137	1970	Recherche sur l'urbanisme spatial
	AM 2002-2-138	1970	Recherche sur l'urbanisme spatial
	AM 2002-2-139	1970	Recherche sur l'urbanisme spatial
	AM 2002-2-148	1970	Recherche sur l'urbanisme spatial
	AM 2002-2-150	1970	Recherche sur l'urbanisme spatial
	AM 2002-2-117	1971	Centre échanges Lyon Perrache
	AM 2002-2-118	1971	Centre échanges Lyon Perrache
	AM 2002-2-121	1971	Centre échanges Lyon Perrache
	AM 2002-2-129	1977	Centre échanges Lyon Perrache
	AM 2002-2-156	1985	Le Highway
	AM 2002-2-157	1985	Le Highway
	AM 2002-2-159	1985	Le Highway
	AM 2002-2-161	1985	Le Highway
	AM 2002-2-83		Bernauer strasse
Renzo Piano	AM 2004-2-170	1991	Centre culturel Nouméa
	AM 2004-2-171	1991	Centre culturel Nouméa
	AM 2004-2-178	1991	Centre culturel Nouméa
	AM 2004-2-184	1991	Centre culturel Nouméa
Richard Rogers	AM 1993-1-743	1991	Tokyo international forum design competition
	AM 1993-1-724		
Roger Anger	AM 2012-2-184		Auroville
	AM 2015-2-181		
Stéphane Château	AM 2004-2-91	1972	Recherche CECA
	AM 2004-2-89	1973	Recherche CECA
	AM 2004-2-90	1973	Recherche CECA
Superstudio	AM 2001-2-155	1969	Exposition à la Neue Galerie
	AM 2001-2-158	1971	Exposition à la Neue Gallery, Graz
	AM 2002-2-29	1972	Concours pour les archives d'Etat de Florence, Italie
	AM 2002-2-6	1972	Concours pour les archives d'Etat de Florence, Italie
	AM 2001-2-154	1973	Exposition à la Neue Galerie
	AM 2001-2-156	1973	Exposition à la Neue Galerie
Vladimir Kalouguine	AM 1992-2-107 (1)	1972	Ensemble logements Pasteur-Montplaisir
	AM 1992-2-107 (2)	1972	Ensemble logements Pasteur-Montplaisir
	AM 1992-2-107 (3)	1972	Ensemble logements Pasteur-Montplaisir
	AM 1992-2-107 (4)	1972	Ensemble logements Pasteur-Montplaisir
	AM 1992-2-107 (5)	1972	Ensemble logements Pasteur-Montplaisir
	AM 1992-2-107 (6)	1972	Ensemble logements Pasteur-Montplaisir
	AM 1992-2-107 (7)	1972	Ensemble logements Pasteur-Montplaisir
	AM 1992-2-107 (8)	1972	Ensemble logements Pasteur-Montplaisir
	AM 1992-2-107 (9)	1972	Ensemble logements Pasteur-Montplaisir

Corpus d'étude

	AM 1999-2-106 (2)	1972	Ensemble logements Pasteur-Montplaisir
	AM 1999-2-106 (3)	1972	Ensemble logements Pasteur-Montplaisir
	AM 1999-2-106 (4)	1972	Ensemble logements Pasteur-Montplaisir
	AM 1999-2-106 (5)	1972	Ensemble logements Pasteur-Montplaisir
	AM 1999-2-106 (6)	1972	Ensemble logements Pasteur-Montplaisir
	AM 1999-2-106 (7)	1972	Ensemble logements Pasteur-Montplaisir
	AM 1999-2-106 (8)	1972	Ensemble logements Pasteur-Montplaisir
	AM 1999-2-108 (1)	1972	Ensemble logements Pasteur-Montplaisir
	AM 1999-2-108 (2)	1972	Ensemble logements Pasteur-Montplaisir
	AM 1999-2-108 (3)	1972	Ensemble logements Pasteur-Montplaisir
	AM 1999-2-108 (4)	1972	Ensemble logements Pasteur-Montplaisir
	AM 1999-2-108 (5)	1972	Ensemble logements Pasteur-Montplaisir
	AM 1999-2-108 (6)	1972	Ensemble logements Pasteur-Montplaisir
	AM 1999-2-108 (7)	1972	Ensemble logements Pasteur-Montplaisir
	AM 1999-2-109 (1)	1972	Ensemble logements Pasteur-Montplaisir
	AM 1999-2-109 (2)	1972	Ensemble logements Pasteur-Montplaisir
	AM 1999-2-109 (3)	1972	Ensemble logements Pasteur-Montplaisir
	AM 1999-2-109 (4)	1972	Ensemble logements Pasteur-Montplaisir
	AM 1999-2-109 (5)	1972	Ensemble logements Pasteur-Montplaisir
	AM 1999-2-109 (6)	1972	Ensemble logements Pasteur-Montplaisir
	AM 1999-2-109 (7)	1972	Ensemble logements Pasteur-Montplaisir
	AM 1999-2-109 (8)	1972	Ensemble logements Pasteur-Montplaisir
	AM 1999-2-95	1972	Ensemble logements Pasteur-Montplaisir
	AM 1999-2-96	1972	Ensemble logements Pasteur-Montplaisir
	AM 1999-2-97	1972	Ensemble logements Pasteur-Montplaisir
	AM 1999-2-101	1973	Ensemble logements Pasteur-Montplaisir
	AM 1999-2-102	1973	Ensemble logements Pasteur-Montplaisir
Yutaka Murata	AM 2011-2-859	1960	Nippon tanso building
	AM 2011-2-883	1964	Projet appartement, Nogizaka, Japon
	AM 2011-2-884	1964	Projet appartement, Nogizaka, Japon
	AM 2011-2-916	1964	Maison Teranaka
	AM 2011-2-880	1965	Hôtel Korinkaku, Japon
	AM 2011-2-881	1965	Hôtel Korinkaku, Japon
	AM 2011-2-887	1967	Villa Miyoshi
	AM 2011-2-893	1970	Théâtre flottant
	AM 2011-2-869	1972	Maison clark
	AM 2011-2-864	1974	Complexe sportif Moscou
	AM 2011-2-890	1975	Pavillon du Groupe Fuyo, expo océanographique, Okinawa
	AM 2011-2-876	1981	Études projets gonflables
	AM 2011-2-857	-	Projet maison préfabriquée
	AM 2011-2-858	-	Projet maison préfabriquée
	AM 2011-2-870	s.d.	Maison Toyowake

## C. Dessins de la collection du MoMA

Andrea Branzi	1183.2000	1969	Residential Park, No-Stop City, project Plan
Bernard Tschumi	2.1995	1980	The Manhattan Transcripts Project, NY
Bernard Tschumi	4.1995	1980	The Manhattan Transcripts Project, NY
Bernard Tschumi	6.1995	1980	The Manhattan Transcripts Project, NY
Bryce Cooper Graña Nicolini Arquitectos	676.2014.1	1968	PREVI Housing Project, Lima, Peru
Cedric Price	1237.2000	1964	Potteries Thinkbelt Project, Staffordshire, England
	1251.2000	1978	Generator Project, White Oak, Florida
Emilio Ambasz	131.1992	1975	Center for applied Computer research, Las Promesas, Mexico
	478.1990	1975	Center for applied Computer research, Las Promesas, Mexico
	479.1990	1975	Center for applied Computer research, Las Promesas, Mexico
	480.1990	1975	Center for applied Computer research, Las Promesas, Mexico
Jesse Reiser	337.2004	1989	Aktion Poliphile, project Wiesbaden, Germany
Joel Sanders	275.1999	1995	Kyle Residence Houston, Texas
Joel Sanders	276.1999	1995	Kyle Residence Houston, Texas
Joel Sanders	479.1997.2	1995	Kyle Residence Houston, Texas
MSGSSV	691.2014.1	1969	Concurso Centro Cívico de Ámsterdam, The Netherlands
MSGSSV	691.2014.2	1969	Concurso Centro Cívico de Ámsterdam, The Netherlands
MSGSSV	691.2014.4	1969	Concurso Centro Cívico de Ámsterdam, The Netherlands
MSGSSV	691.2014.5	1969	Concurso Centro Cívico de Ámsterdam, The Netherlands
MSGSSV	691.2014.6	1969	Concurso Centro Cívico de Ámsterdam, The Netherlands
MSGSSV	691.2014.8	1969	Concurso Centro Cívico de Ámsterdam, The Netherlands
MSGSSV	692.2014.1	1969	Conjunto Habitacional Rioja, Buenos Aires, Argentina
MSGSSV	692.2014.4	1969	Conjunto Habitacional Rioja, Buenos Aires, Argentina
MSGSSV	692.2014.5	1969	Conjunto Habitacional Rioja, Buenos Aires, Argentina
MSGSSV	694.2014.1	1972	Torre UIA (Union Industrial Argentina), Buenos Aires, Argentina
MSGSSV	694.2014.2	1972	Torre UIA (Union Industrial Argentina), Buenos Aires, Argentina
MSGSSV	694.2014.5	1972	Torre UIA (Union Industrial Argentina), Buenos Aires, Argentina
MSGSSV	694.2014.6	1972	Torre UIA (Union Industrial Argentina), Buenos Aires, Argentina
MSGSSV	694.2014.7	1972	Torre UIA (Union Industrial Argentina), Buenos Aires, Argentina
MSGSSV	697.2014.2	1976	Estadio de Mendoza, Provincia de Mendoza, Argentina
MSGSSV	697.2014.3	1976	Estadio de Mendoza, Provincia de Mendoza, Argentina
MSGSSV	700.2014.5	1985	Fate, San Fernando, Buenos Aires, Argentina
Mies van der Rohe	733.63	s.d.	Court House,
	1000.1965	1929	German Pavillion, Barcelona, Spain
	1001.65	1952	Convention Hall, Chicago, USA
	5306.45	1952	Convention Hall, Chicago, USA
	5702.24	1957	Office Building, 845 Michigan Ave, Chicago, USA
	5902.122	1959	Home federal savings and loan association, Des Moines, USA
	5906.15	1959	Rock Hill Development, Kansas City, USA
	5906.17	1959	Rock Hill Development, Kansas City, USA
	5906.2	1959	Rock Hill Development, Kansas City, USA
	5906.3	1959	Rock Hill Development, Kansas City, USA
	5906.4	1959	Rock Hill Development, Kansas City, USA
	6008.13	1961	Georg Schaefer Museum, Schweinfurt, All
	6204.113	1962	New National Gallery, Berlin, All
	6204.114	1962	New National Gallery, Berlin, All
6204.115	1963	New National Gallery, Berlin, All	
Mies van der Rohe	6204.116	1964	New National Gallery, Berlin, All

	6204.117	1965	New National Gallery, Berlin, All
	6205.78	1964	New National Gallery, Berlin, All
	6205.80	1964	New National Gallery, Berlin, All
	6402.15	1966	Foster City Apartment Buildings, San Mateo, unbuilt
	6503.40	1965	New National Gallery, Berlin, All
Neil M. Denari	191.1998	1992	Prototype Architecture School No. 5, project Los Angeles, California
OMA	476.1997.3	1997	Charrette Submission for The Museum of Modern Art Expansion, New York, NY
OMA	476.1997.5	1997	Charrette Submission for The Museum of Modern Art Expansion, New York, NY
OMA	476.1997.9	1997	Charrette Submission for The Museum of Modern Art Expansion, New York, NY
Paul Rudolph	97.1989	1949	Finney Guest House Project, Siesta Key, Florida
Peter Cook	1184.2000	1964	Plug-In City, project
Peter Eisenman	2366.2001.10	1972	
Peter Eisenman	2366.2001.6	1972	
Peter Eisenman	2366.2001.14	1972	
Ramiro Bascans	670.2014.1	1971	Bulevar Artigas Housing Complex, Montevideo, Uruguay
Ramiro Bascans	670.2014.2	1971	Bulevar Artigas Housing Complex, Montevideo, Uruguay
Scott Marble & Karen Fairbanks	384.1994	1992	Nara Convention Hall Project, Nara, Japan
Teodoro Gonzalez	679.2014	1968	Casa José Luis Cuevas, San Angel, Mexico City, Mexico
Teodoro Gonzalez	679.2014	1968	Casa José Luis Cuevas, San Angel, Mexico City, Mexico
Teodoro Gonzalez	680.2014.1	1974	Officinas Centrales del Infonavit, Mexico City, Mexico
Teodoro Gonzalez	680.2014.2	1974	Officinas Centrales del Infonavit, Mexico City, Mexico

#### D. Dessins de la collection de la Cité de l'architecture et du patrimoine

Paul Chemetov	n.c.	1989	Museum d'histoire naturelle
Henri Ciriani	MMF 2017.14.6	1967	Hôtel de ville d'Amsterdam
	MMF 2017.14.7	1967	Hôtel de ville d'Amsterdam
	MMF 2017.14.8	1967	Hôtel de ville d'Amsterdam
	MMF 2017-13.16	1967	Hôtel de ville d'Amsterdam
	MMF 2017-13.17	1967	Hôtel de ville d'Amsterdam
Bernard Schoeller	MMF 2021.5.1	1969	Concours de la piscine Tournesol
	MMF 2021.5.2	1969	Concours de la piscine Tournesol
	MMF 2015.5.3	1969	Concours de la piscine Tournesol
	MMF 2015.5.7	1969	Concours de la piscine Tournesol
	MMF 2015.5.11	1969	Concours de la piscine Tournesol
Bernard Tschumi	Temp 10	1991	Le Fresnoy
	temp 16	1991	Le Fresnoy



## BIBLIOGRAPHIE

---

- ABRAM Joseph, *Du chaos à la croissance 1940-1966*, tome 2, MONNIER Gérard (dir.), *L'architecture moderne en France*, Paris : Picard, 1999, 327 p.
- ALLEN Norman, EDGE Michele, JEWITT Terrence, *et al*, "Stabilization of Cellulose Triacetate Base Motion Picture Film", dans *Journal of Imaging Science and Technology*, vol 36, n°1, 1992, p. 4-12.
- AUFRAY Maëlen, *Adhésion et Adhérence des Matériaux, cours pour l'École nationale supérieure des ingénieurs en arts chimiques et technologiques*, 2009, 80 p. [en ligne : consulté le 10/09/2022 ; URL : <https://www.yumpu.com/fr/document/view/17239349/adhesion-et-adherence-des-materiaux-maelenn-aufray-freen> ]
- BALDWIN Ann, « The Wayward Paper Object: Artist's Intent Technical Analysis, and Treatment of a 1966 Robert Rauschenberg Diptych », dans *Journal of American Institute for Conservation*, vol 38, 1999, p. 411-428.
- BAO Cong Yu, *Cellulose acetate / plasticizer systems: structure, morphology, and dynamics*, Thèse de l'Université Claude Bernard - Lyon I, 2015, p. 29-30.
- BERGER Gustav B., « Heat-seal Lining of Torn Painting with Beva® 371 », dans *Studies in Conservation*, vol 20, n°3, 1975, p. 126-151.
- BERINGUER Olivier, « Étude de l'influence d'un traitement thermique de remise en forme sur le processus de la dégradation chimique d'une matière à base d'acétate de cellulose », in *Conservation-restauration des biens culturels*, n°21, 2003, p. 47-50.
- BINGHAM Neil, *Un siècle de dessins d'architecture*, Malakoff, Hazan, 2013, 300 p.
- BLANK S., « An introduction to plastics and rubbers in collections », in *Studies in Conservation*, vol. 35, 1990, p. 53-63.
- BLAU Eve (dir.), KAUFMAN Edward (dir.), *L'architecture et son image : quatre siècles de représentation architecturale : œuvres tirées des collections du Centre canadien d'architecture*, Montréal : Centre canadien d'architecture, 1989. 369 p.
- BRUEGMANN Robert, *L'architecture et son image, quatre siècles de représentation architecturale*, Montréal : Centre Canadien d'Architecture, 1989, 369 p.
- BRYDSON John, *Plastics Materials*, 6<sup>th</sup> ed, Oxford: Elsevier Science & Technology, 1999, 896 p.
- BUISSON Ethel, BILLARD Thomas, *Promenade contemporaine dans les case study houses*, Besançon : Les éditions de l'Imprimeur, 2004, 317 p.
- CALHOUN J.M., « Storage of Nitrate Amateur Still-Camera Film Negatives », dans *Journal of the Biological Photographic Association*, vol.21, n°3, 1953, p.1-13.
- CARPO Mario (dir.), *The Digital Turn in Architecture 1992 – 2012*, Chichester: John Wiley & Sons edition, 2013, 265 p.
- CHATELET Anne-Marie (dir.), DIENER Amandine (dir.), DUMONT Marie-Jeanne (dir.), *et al. L'architecture en ses écoles, Une encyclopédie de l'enseignement de l'architecture au XX<sup>e</sup> siècle*, Châteaulin : Editions Locus Solus, 2022, p.316-319.

- CHRISTIANSEN D.E., "Ozalid prints from maps with zipatone", dans *The Professional Geographer*, vol. 8, issue 5, 1956. [en ligne : consulté le 10/09/2016 ; URL : [https://doi.org/10.1111/j.0033-0124.1956.85\\_10.x](https://doi.org/10.1111/j.0033-0124.1956.85_10.x)]
- CINQUALBRE Marion, PELLIZZI Eleonora., BOUVET Stéphane *et al.*, « Les altérations du zip : focus sur les pertes d'adhésion et reproduction de ces phénomènes en laboratoire », dans *Technè*, n° 50, 2020, p. 114-123.
- CINQUALBRE Marion, PELLIZZI Eleonora, BOUVET Stéphane, *et al.*, « A la recherche des zips dans les collections de la BnF », dans *Actualités de la Conservation* n°35, 2018.
- CINQUALBRE Marion, DURANTON Maroussia, « Dessins d'architecture : mise en lumière des dégradations du zip », dans *Support/Tracé*, n°17, 2017, p.72-81.
- CINQUALBRE Marion, DURANTON Maroussia, Baudin Jérôme, *et al.*, "'Zip': an adhesive plastic film in architecture drawings", dans *Studies in Conservation, Supplement 2, Saving the Now, Los Angeles Congress*, IIC ed., London, vol.61, 2016, p. 283-285.
- CINQUALBRE Marion, *Évaluation du zip dans la collection d'architecture du MoMA, New York*, Rapport de recherche, Paris : bourse Carnot, 2016, 45 p.
- CINQUALBRE Marion, *L'apparition du zip dans les projets d'architecture en France : les dessins de Le Corbusier et Jean Prouvé*, Rapport non publié, Rapport de recherche, Paris : Centre national des arts plastiques (CNAP), 2016, 90 p.
- CINQUALBRE Marion, *Les films plastiques auto-adhésifs dans les dessins d'architecture*, Master 2 Recherche, Patrimoine et Conservation-Restauration, Paris : Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne, 2015, 80 p.
- CINQUALBRE M., VIENOT F., « Caractérisation du brillant d'un film de plastique en vue de leur réintégration », in *Support/Tracé*, n°13, fév 2014, p. 94-102.
- CINQUALBRE M., « Restaurer un film plastique lacunaire : caractérisation du brillant et choix d'un matériau de réintégration », dans *Lustre et brillant en conservation restauration* acte du colloque de l'APROA – BRK, Bruxelles, nov 2013, post-print 2014, p. 109-114.
- CINQUALBRE Marion, « Saci de Tomi Ungerer : la restauration du film plastique d'une maquette d'affiche publicitaire », in *Patrimoine*, n°9, Paris : Éditions de l'Épure, 2013, p. 156-159.
- CINQUALBRE Marion, « *Taper l'œil comme un coup de poing* ». *Étude et conservation-restauration de deux maquettes d'affiches de Tomi Ungerer (Peace Corps, 1967 et Saci, 1968), Musée Tomi Ungerer, Strasbourg, Problèmes de réintégration : intervention sur les lacunes d'un film plastique brillant et d'un dessin coloré*, Mémoire de fin d'études, Paris : Institut national du patrimoine, 2012, 209 p.
- CINQUALBRE Olivier, *Jean Prouvé, bâtisseur*, Paris : Éditions du patrimoine, 2016, 192 p.
- CINQUALBRE Olivier (dir.) *Collection architecture*, Paris : Centre Georges Pompidou, 2016, 375 p.
- COLEY Catherine (dir.), STOULLIG Claire (dir.), *Jean Prouvé Nancy, Grand Nancy 2012*, Paris : Somogy, 2012, 407 p.
- COMBIER Marc (dir.), PESEZ Yvette (dir.), *Encyclopédie de la chose imprimée, du papier @ l'écran*, Paris : Éditions Retz, 1999, 544 p.

- CORBIN Gwenola, *Les caoutchoucs dans les collections patrimoniales- identification et processus de dégradations*, Rapport de recherche, Paris : Centre national des arts plastiques (CNAP), 2011, 186 p. [en ligne : consulté le 21/11/2015 ; URL : [http://www.cnap.fr/sites/default/files/publication/125699\\_recherche-gwenola-corbin.pdf](http://www.cnap.fr/sites/default/files/publication/125699_recherche-gwenola-corbin.pdf)]
- COUVERCELLE Jean-Pierre, « Dégradation de l'acétate de cellulose », présentation lors de la journée d'étude *L'acétate de cellulose dans tous ses états*, organisée conjointement par l'Inp et le C2RMF, le 22 mai 2018, [en ligne : consulté le 10/06/2020 ; URL : <https://www.youtube.com/watch?v=-GA0Yg36GpI> ]
- CUDELL Anna; VEIGA Rita, OOSTEN, Thea van; *et al*, « Strategies for the conservation of cellulose acetate artworks – a case study of two plastic books » dans BRIDGLAND Janet (dir.), ANTONARCHI Catherine, *Modern Materials and contemporary art*, ICOM-CC 16th Triennial Conference Preprints, Lisbonne 19–23 Septembre, Paris: ICOM-CC, 2011. 8 p.
- DAUGA Nadège, « Dessins scotches au Magic Tape 810™ : quels solvants utiliser ? », dans *Nouvelles de l'ARSAG*, n°13, 1997, p. 21-22.
- DEHRAM M., EDGE Michele, WILLIAMS D. *et al*, "The Degradation of cellulose triacetate studied by nuclear resonance spectroscopy and molecular modelling, dans *Postprints of Polymers in Conservation conference*, 17-19 juillet 1991, Manchester, Royal Society of Chemistry, 1992, p.125-137.
- DELCROIX Gilbert, HAVEL Marc, *Phénomènes physiques et peinture artistique*, Puteaux : Erec, 2000, 354 p.
- DETHIER Jean (dir.), *Images et imaginaires d'architecture, dessin, peinture, photographie, arts graphiques, théâtre, cinéma en Europe aux XIXe et XXe siècles*, catalogue exposition, Paris : Centre Georges Pompidou, 1984, 434 p.
- DIEZ Anaïs., « *Au fil de l'eau* » : *Étude et conservation-restauration d'une peinture traditionnelle chinoise (La remontée du fleuve lors du festival Qingming ; Paris, musée national des arts asiatiques - Guimet). Optimisation d'une chaîne de traitement pour la mise à plat et la stabilisation structurelle d'un rouleau horizontal de sept mètres en soie et papier, évaluée par imagerie 3D*, Mémoire de fin d'études, Paris : Institut national du patrimoine, 2022, p. 261.
- DOMENECH-CARBO M.T., DOMENECH-CARBO A., GIMENO-ADELANTADO J.V., *et al* « Identification of Synthetic Resins Used in Works of Art by Fourier Transform Infrared Spectroscopy », dans *Applied Spectroscopy*, volume 55, numéro 12, 2001, p.1590-1602.
- DREXLER, Arthur, SCHULZE Franz, *The Mies Van der Rohe Archive: an illustrated catalogue of the Mies van der Rohe drawing in the Museum of modern art*, 20 volumes, New York, Londres : Garland, 1986-1992.
- DOWN Jane, *Compendium des adhésifs pour la conservation*, Ottawa : Éditions ICC, 2015, 286 p.
- DOWN Jane, GUILD Sherry, HILL Greg, *et al.*, « Evaluation of Selected Adhesive Tapes and Heat-set Tissues – A Final Update », in *Journal of Canadian Association for Conservation*, vol 38, Ottawa : Canadian Association for Conservation of Cultural Property, 2013, p.14-25.
- DOWN Jane, IRACI Joe, HILL Greg, "Photographic Activity Tests of Various Adhesives Suggested for Use on WaterSensitive Photographs", dans *Photographic Preservation - The American Institute for Conservation of Historic & Artistic Works*, vol. 15, 2013, p. 475-483.

- DOWN Jane, MACDONALD Maureen, TETREAUULT Jean *et al.*, "Adhesive Testing at the Canadian Conservation Institute – An Evaluation of Selected Poly(vinyl acetate) and Acrylic Adhesives", dans *Studies in Conservation*, vol. 41, n°1, 1996, p. 19-43.
- DUPLAY Michel, DUPLAY Claire, *Méthode illustrée de création architecturale*, Paris : Édition du Moniteur, 1982, 448 p.
- DUVAL Constance, *K (Il est une fois)*, Frédérique Devaux, 2001, Centre national du cinéma et de l'image animée. Conservation restauration d'un objet filmique composite du cinéma expérimental (pellicules à développement chromogène, ruban adhésif). - Mémoire ou thèse : Recherche d'un adhésif de réencollage à sec des rubans adhésifs originaux pour le remontage des pellicules et fragments désolidarisés, Mémoire de fin d'études, Paris : Institut national du patrimoine, 2015, 315 p.
- EDGE Michele, ALLEN Norman, JEWITT Terrence, *et al.*, "Cellulose Acetate an Archival Polymer Falls Down", dans *Modern Organic Materials*, preprint, Edinburgh : The Scottish Society for conservation & restoration, 1988, p.67-80.
- FELLER Robert, *Accelerated aging: photochemical and thermal aspects*, Los Angeles: Getty Conservation Institute, 1994, 275 p.
- FELLER Robert, ENCKE David, "Stages in deterioration: the examples of rubber cement and transparent mending tape", dans *Studies in Conservation*, Volume 27-sup1, 1982, p.19-23.
- FIFE Gwendoline (dir.), *Greener solvents in conservation, An introductory Guide*, Londres : Archetype Publishing, 2021, 88 p.
- FRICOT Pauline, « Inde : 50 ans après sa fondation, qu'est devenu la cité utopique d'Auroville ? », dans *Géo*, [en ligne : consulté le 12/06/2022 ; URL : <https://www.geo.fr/voyage/inde-50-ans-apres-sa-fondation-quest-devenue-la-cite-utopique-dauroville-204209> ].
- GARGIANI Roberto, *Kinetic illusionism, in the manner of Vasarely*, dans *Le Corbusier: béton brut and ineffable space, 1940-1965 surface materials and psychophysiology of vision*, Lausanne: EPFL, 2011, 600 p., p. 436-440.
- GARGIANI Roberto, « Photographie et processus créatifs 1940-1965 », dans BEDARIDA Marc (dir.), *Le Corbusier, Aventures photographiques*, Paris : Editions de la Villette, 2014, 299 p., p. 126-128.
- GASCOIGNE Bamber, *How to identify prints*, Londres : Thames & Hudson, 1986, 216 p.
- GILL Kathryn, BOERSMA Foekje, « Solvent reactivation of hydroxypropyl cellulose (Klucel G) in textile conservation: recent developments », dans *The Conservator*, n°21, 1997, p. 12-20.
- GLÜCK Eva, BRÜCKLE Irene, BARKHOFEN Eva-Maria, *Paper – Line – Light, The Preservation of Architectural Drawings and Photoreproductions from the Hans Scharoun Archive*, Berlin : Akademie der Künste, 2011, p. 159.
- GRARD Laury, CINQUALBRE Marion, DURANTON Maroussia, « Rose Adler, la plastique du livre. Les films d'acétate de cellulose déformés : recherche d'un protocole de traitement curatif autour du cas de tableau de la mode », dans *Support/Tracé*, n°19, 2020, p. 107 – 115.
- GREEN, L. A., 'Retirement Can Be a Profitable Pastime', dans *Society of Motion Picture and Television Engineers Journal*, 1983, p. 951-953.

- GUIHEUX Alain (dir.), *Collection d'architecture du centre Georges Pompidou, Projets d'architecture*, Paris : Éditions du Centre Pompidou, 1998, 352 p.
- HILL Greg, « Le soin des collections de négatifs sur support en plastique », dans *Bulletin technique n°35*, CCI-ICC, [en ligne : consulté le 17/11/2022 ; URL : <https://www.canada.ca/fr/conservation-institute/services/conservation-preservation-publications/technical-bulletins/care-plastic-negative> ].
- HINCELIN Emmanuelle, « Le montage des œuvres contemporaines sur papier hors format », dans *Support/Tracé*, n°10, 2010, p. 47-55.
- HOEYNG Katharina, ETYEMEZ Suzanna, MAZUREK Joy *et al.* « Observations from a condition survey of Walt Disney animation cels », dans *Postprints American Institute for Conservation of Historic and Artistic Works. Paintings Specialty Group*, vol 29, 2016, p. 155-168.
- HOEYNG Katharina, ETYEMEZ Suzanna, McCORMICK Kristen *et al.*, “Curling, ripples, dimples: observations from a condition survey of animation cels”, dans *Studies in Conservation* 61.2-Supp, 2016, p. 294-296.
- HOMBURGER Hildegaard, KORBEL Barbara, « Architectural Drawings on Transparent Paper : Modifications of Conservation Treatments », dans *The Book and Paper Group Annual*, Post-print, AIC, vol.18, 1999, [en ligne : consulté le 18/12/2022 ; URL: <https://cool.culturalheritage.org/coolaic/sg/bpg/annual/v18/bp18-06.html> ].
- HORIE Velson, *Materials for conservation, Organic consolidants, adhesives and coatings*, deuxième édition, Oxford : Routledge 2010, p. 504.
- HORIE Velson, *Materials for conservation, Organic consolidants, adhesives and coatings*, Oxford : Butterworth, 2000, 281 p.
- HORVATH David, “*The Acetate Negative Survey, Final Report*”, dans *Topics in Photographic Preservation*, volume 2, 1987, p. 25-39.
- HOURDET Dominique, « Les gels dans tous leurs états », communication orale à la journée des *rencontres de l'ARSAG*, le 18 mars 2021.
- JOHANSEN, Karin Bonde, JOHNSEN, Jesper Stub, “Stabilizing treatment of decaying cellulose acetate film base attacked by vinegar syndrome”, dans *Proc. IS&T Archiving*, Springfield: Society of Imaging Science and Technology, 2006, p. 174-176, [en ligne : consulté le 22/01/2022 ; URL: <https://doi.org/10.2352/issn> ].
- KARSTEN Irene, DOWN Jane, « The effect of adhesive concentration reactivation time, and pressure on the peel strength of heat and solvent reactivated Lascaux 360/498 HV bonds », dans VERGER Isabelle (dir.), *ICOM-CC 14<sup>th</sup> Triennial Meeting preprint*, The Hague 12-16 sept 2005, vol 2, 2005, Londres: James and James/Earthscan, p. 927-943.
- KAUFFMAN Jordan, « Dessiner avec l'ordinateur dans les années soixante : le design et ses pratiques à l'aube de l'ère numérique », dans *Livraisons de l'histoire de l'architecture*, Volume 32, 2016, p. 105-123.
- KAUSCH Hans-Henning, HEYMANS Nicole, PLUMMER Christopher, *et al.*, *Matériaux polymères, propriétés mécaniques et physiques, principe de mise en œuvre*, Lausanne : Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, 2001, 657 p.

- KISSEL Eléonore, VIGNEREAU Erin, *Architectural photoreproduction, A manual for identification and care*, New Castle: Oak Knoll Press, 1999, 140 p.
- LACH E., "Letraset Program to Let Users Edit Gray Scale; Product to Be Sold Later in Year", dans *Macintosh News*, San Francisco: InfoWorld Media Group, 29 juin 1987, p. 21.
- LAMACRAFT J. et al, "Rub-down revolution", dans *Eye magazine*, version numérique, vol. 22, 2013, 5 p., [en ligne : consulté le 12/08/2016 ; URL : <https://www.eyemagazine.com/feature/article/rub-down-revolution> ].
- LAROQUE Claude, *Les papier transparents dans les collections patrimoniales : composition, fabrication, dégradation, conservation*, Thèse de doctorat : Histoire de l'art : Université Paris I, 2003, 407 p.
- LAVEDRINE Bertrand, FOURNIER Alban, MARTIN Graham, *Preservation of Plastics Artefacts in Museum Collections*, Paris : Editions du Comité des travaux historiques et scientifiques, 2012, 326 p.
- LECHÊNE Robert, *L'imprimerie de Gutenberg à l'électron*, Paris : Éditions la Farandole, 1972, 205 p.
- LEMAIRE Bataille, *Les Maîtres du Temps, 1982, Pannonia Studio (Budapest) : étude et traitements de conservation de 32 celluloses d'animation produits pour le dessin animé Les Maîtres du Temps de René Laloux (Paris, Cinémathèque française). Recherche d'un matériau adapté à la conservation des celluloses d'animation*, mémoire non publié, Inp, 2020, 252 p.
- LENNIG Heidi, « Solvent Gels for Removing Aged Pressure-Sensitive Tape from Paper », dans *Restaurator*, vol.31, Issue 2, 2010, p. 92-115.
- LOPES Sandra, *Metodologias de tratamento em Microfilmes de Acetato de Celulose: Coleção da Filmoteca Ultramarina Portuguesa*, Master dissertation, Department of Conservation and Restoration, 2014, Lisbonne: Universidade Nova de Lisboa, 2014 [en ligne : consulté le 10/07/2022 ; URL: [https://run.unl.pt/bitstream/10362/14382/1/Lopes\\_2014.pdf](https://run.unl.pt/bitstream/10362/14382/1/Lopes_2014.pdf) ].
- MARTY Célia, « *Les milles et un Gorytes* ». *Etude et conservation-restauration d'un étui à arc du Moyen-Orient (milieu du XVIe-XVIIe siècle ?)*, Paris, Musée de l'Armée). *Recherche d'un adhésif compatible avec la colle ancienne, la soie et le cuir*, Mémoire de fin d'études, Paris : Institut national du patrimoine, 2021, 296 p.
- MASSCHELEIN-KLEINER Liliane, *Les solvants*, Cours publié de l'Institut Royal du Patrimoine Artistique, Bruxelles : IRPA, 1994, 129 p.
- MATHEY François, *Les tapisseries de Le Corbusier : Musée d'Art et d'Histoire de Genève (Exposition)*, Paris : Union centrale des arts décoratifs, 1975, 45 p.
- MATTHEUS Hannelore, « Les problèmes des rubans adhésifs : une recherche sur la restauration des œuvres d'art contemporain sur papier », dans *Support/Tracé*, n°8, 2008, p. 76-82.
- MEDINA Célia, ROGERSON Cordelia, CAMPELO Johanna, « Solvent reactivation of adhesives in textile conservation: survey and comparison with heat reactivation », dans *Conservar Património*, vol. 3-4, 2006, p. 25-38, [en ligne: consulté le 02/02/2022 ; URL : [https://doi.org/10.14568/cp3-4\\_3](https://doi.org/10.14568/cp3-4_3) ].
- MICHALSKI Stefan, *Agent de détérioration : Lumière, ultraviolet et infrarouge*, CCI-ICC, 2018 [en ligne : consulté le 12/02/2022 ; URL : <https://www.canada.ca/fr/institut-conservation/services/agents-deterioration/lumiere.html> ].

- MICHEL Jean-Marie, « Acétate de cellulose : origine et premiers développements industriels » dans *Contribution à l'histoire industrielle des polymères en France*, Société chimique de France, s.d., 10 p. [en ligne : consulté le 10/06/2022 ; URL : <https://new.societechimiquedefrance.fr/groupe/groupe-histoire-de-la-chimie/contribution-a-l-histoire-industrielle-des-polymeres-en-france-par-jean-marie-michel/> ].
- MINTER William, "Special Tool for Removal of Pressure Sensitive Tape", dans *10<sup>th</sup> Anniversary Conference: new direction in paper conservation, 14-18 April 1986*, Leigh : The Institute, 1986, p. D79.
- MIRABILE A., CHELAZZI D., FERRARI P., *et al.*, "Innovative methods for the removal, and occasionally care, of pressure sensitive adhesive tapes from contemporary drawings", dans *Heritage Science*, vol.8, article n°42, 2020, 16 p. [en ligne : consulté le 23/07/2020 ; URL : <https://doi.org/10.1186/s40494-020-00387-y> ].
- MOSSMAN S., ABEL M.-L., "Testing treatments to slow down the degradation of cellulose acetate", in *Plastics. Looking at the future and learning from the past*, postprint Conference au Victoria and Albert Museum, 23–25 Mai 2008, Londres : Archetype Publications, 2009, p. 106–119.
- MOSSMAN S., "Simple Methods of Identifying Plastics", dans *Modern Organic Plastic, in Modern Organic Materials*, preprint, Edinburgh : The Scottish Society for conservation & restoration, 1988, p. 41-46.
- MÜLLER L., HENNIGES U., SCHULTZ J., *et al.*, "Pressure-sensitive Tape Removal in Paper Conservation: A Review", dans *Journal of Paper Conservation, Journal of Paper Conservation*, vol. 23, 2022, p. 59-75.
- MUÑOZ-VIÑAS Salvator, "Understanding Paper Flattening. Principles and Problems of Common Flattening Techniques", dans *Arché*, n°1, 2006, p. 145-150 [en ligne : consulté le 12/01/2022 ; URL : [https://www.academia.edu/4664295/Understanding\\_Paper\\_Flattening\\_Principles\\_and\\_Problems\\_of\\_Common\\_Flattening\\_Techniques](https://www.academia.edu/4664295/Understanding_Paper_Flattening_Principles_and_Problems_of_Common_Flattening_Techniques) ].
- O'LOUGHLIN Elissa, STIBER Linda S., "A Closer Look at Pressure-Sensitive Adhesive Tapes: updates on Conservation Strategies", dans *Journal of American Institute for Conservation*, 1992, p. 280-287.
- OOSTEN Thea B. van, *Properties of Plastics : a Guide for Conservators*, Los Angeles : Getty Publications, 2022, 320 p.
- ORMSBY Bronwyn, LEE Judith, BONADUCE Ilaria, *et al.*, "Evaluating Cleaning Systems for Use on Water Sensitive Modern Oil Paints: A Comparative Study", dans VAN DER BERG Klass Jan (dir.) *Conservation of Modern Oil Paintings*, Cham : Springer, 2019, p. 11-35 [en ligne : consulté le 10/09/2021 ; URL : [https://doi.org/10.1007/978-3-030-19254-9\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-030-19254-9_2) ].
- PIETSCH, Katrin, 'Flattening Rolled Negatives on Filmbase', dans *Photographic Preservation*, n°16, 2015, p. 245-256, [en ligne : consulté le 27/06/2022 ; URL : [http://resources.culturalheritage.org/pmq-topics/wp-content/uploads/sites/9/2019/05/38-T-16-Pietsch\\_paginated.pdf](http://resources.culturalheritage.org/pmq-topics/wp-content/uploads/sites/9/2019/05/38-T-16-Pietsch_paginated.pdf) ].
- POIROT Marie, *Étude et conservation-restauration d'un recueil de textes poétiques provenant de l'abbaye de Saint-Benoît-sur-Loire de Fleury, XIe-XIVe siècle (médiathèque d'Orléans). L'aplanissement du parchemin en présence d'encre métallo-galliques : recherche et évaluation de systèmes applicables dans une structure reliée*, mémoire Institut national du patrimoine, 2015, p. 74.
- POISBELAUD Marie, « Les problèmes posés par la restauration des planches originales de bande dessinée », dans *Support/Tracé*, n° 12, 2012, p. 36- 38.

- POISBELAUD Marie, COUVERCELLE Jean-Pierre, *Restauration des planches originales de bande dessinée comportant des trames plastiques adhésives*, Paris : Centre national des arts plastiques (CNAP), 2018, 124 p. [en ligne : consulté le 22/10/2019 ; URL : <https://www.cnap.fr/marie-poisbelaud> ].
- POULSSON Tina Grette, *Retouching of Art on Paper*, Londres : Archetype publishing, 2008, 127 p.
- POUPEE Henri, « Le papier calque, instrument d'une révolution », dans *Des grands chantiers...hier au musée-galerie de la SEITA*, Paris : Direction des affaires culturelles, 1988, p.15-20.
- PRICE Lois Olcott, *Line, Shade, Shadow: the fabrication and preservation of architectural drawings*, New Castle : Oak Knoll Press, 2014, 384 p.
- RAHDAR Saeed., AHMADI Ebrahim, ABDOLLAHI Mahdi. *et al.*, « A comprehensive study on kinetics of free-radical solution copolymerization of vinyl acetate and dibutyl maleate in chloroform », dans *Journal of Polymer Research*, 2014, 15 p. [en ligne : consulté le 12/09/2022 ; URL : [https://www.researchgate.net/publication/267508809\\_A\\_comprehensive\\_study\\_on\\_kinetics\\_of\\_free-radical\\_solution\\_copolymerization\\_of\\_vinyl\\_acetate\\_and\\_dibutyl\\_maleate\\_in\\_chloroform21](https://www.researchgate.net/publication/267508809_A_comprehensive_study_on_kinetics_of_free-radical_solution_copolymerization_of_vinyl_acetate_and_dibutyl_maleate_in_chloroform21) ].
- RAM Tulsi, "Archival preservation of Photographic Films – a perspective" dans *Polymer Degradation and stability*, n°29, 1990, p. 3-29.
- READ Paul, MEYER Mark-Paul, *Restoration of Motion Picture Film*, Oxford : Butterworth-Heinemann, 2000, 368 p.
- REMAZEILLES Elodie, *Etoffe de papier, vêtements éphémères : trois robes en papier de Paco Rabanne (musée de la Mode et du textile, Les Arts décoratifs, Paris). Étude de l'impact de traitements humides sur un papier laminé et gaufré*, Mémoire de fin d'études, Paris : Institut national du patrimoine, 2010, 181 p.
- RICHARDSON Emma, TRUFFA GIACHET Miriam, SCHILLING Michael, *et al.*, "Assessing the physical stability of archival cellulose acetate films by monitoring plasticizer loss," dans *Polymer Degradation and Stability*, volume 107, septembre 2014, p. 231-236.
- SATAS Donatas, *Handbook of Pressure-Sensitive Adhesive Technology*, deuxième édition, New York : Springer, 2004, 940 p.
- SAY-BARBEY Hélène., « Les archives de Jean Prouvé aux archives départementales de Meurthe-et-Moselle », dans STOULLIG Claire (dir.), *Jean Prouvé Nancy, Grand Nancy 2012*, Paris : Somogy, 2012.
- SHASHOUA Yvonne, *Conservation of Plastics, materials science, degradation and preservation*, Amsterdam, Boston : Betterworth-Heinemann, 2008, 286 p.
- SHASHOUA Yvonne, BONDE JOHANSEN Karin, "Investigation of ATR-FTIR spectroscopy as an alternative to the Water-Leach free acidity test for cellulose acetate-based film", dans *Preprint: ICOM-CC 14th Triennial Meeting*, La Haye, 2005, p. 548-555.
- SHINAGAWA Y., MURAYAMA M., SAKAINO Y., "Investigation of the archival stability of cellulose triacetate film: The effect of additives to CTA support", dans *Postprints of Polymers in Conservation conference*, 17-19 juillet 1991, Manchester, Royal Society of Chemistry, 1992, p.125-137.
- SILVA Joana, GARRUCHO Sandra, CARVALHO Filipa, "Unveiling Roland Oliveira's photographic images: development of an unrolling and flattening treatment for silver gelatine 35 mm negative films", dans

- Conservar Património*, vol. 39, 2022, p. 74. [en ligne : 8 juillet 2022 ; URL: <https://doi.org/10.14568/cp2020072> ].
- SMET Catherine de, « Le Modulor comme outil autobiographique », dans *Vers une architecture du livre : Le Corbusier : édition et mise en page 1912-1965*, Baden : Lars Muller (éd), 2007, 303 p., p.111.
- SMITH Elizabeth, *Case Study Houses, the complete CSH program, 1945-1966*, Cologne: Taschen, 2002, 440 p.
- SMITH Merrily A., JONES Norwell M.M., PAGE Susan L., *et al.*, "Pressure-Sensitive Tape and Techniques for its Removal from Paper", dans *Journal of American Institute for Conservation*, vol. 23, n°2, article n°3, 1984, p. 101-113 [en ligne : consulté le 11/07/2021 ; URL : <https://cool.culturalheritage.org/jaic/articles/jaic23-02-003.html> ].
- STANLEY Ted, « A Tool for Pressure Sensitive Tape Removal : The AirPencil", dans *Postprint The Book and Paper Group Annual*, n°17, 1998, p. 111-112 [en ligne : consulté le 11/07/2021 ; URL : <https://cool.culturalheritage.org/coolaic/sg/bpg/annual/v17/bpga17-16.pdf> ].
- STERKEN Sven, « Travailler chez Le Corbusier : le cas de Iannis Xenakis », in *Massilia 28, Annuaire d'études corbuséennes*, Paris : Fondation Le Corbusier, 2003, p. 202-215.
- STULIK Dusan, MILLER David, KHANJIAN Herant, *et al.*, *Solvent gels for the cleaning of works of art: the residue question*, Los Angeles : Getty Conservation Institute, 2004, 162 p.
- SULZER Peter (dir.), *Jean Prouvé : Œuvre complète/Complete works*, 4 volumes, Bâle : Birkhäuser, 1999, 2000, 2005, 2008, 1310 p.
- TRABACE M., MIRABILE A., MONTALBANO L., *et al.*, "An Innovative Method to Remove Pressure-Sensitive Tape from Contemporary Felt-tip Pen and Ballpoint Pen Drawings on Paper. The Case Studies of Federico Fellini from Rimini film Library", dans *Le Nuove Frontiere del Restauro*, - Trasferimenti, Contaminazioni, Ibridazioni - XXXIII° Convegno Internazionale Scienza e Beni Culturali Bressanone, Italy, 27 - 30 giugno 2017, 10 p.
- WAENTIG Frederike, « Cellulose acetate », in *Plastics in Art, A study from the conservation point of view*, Petersberg : Michael Imhof, 2008, p. 216-221.
- WILLIAMS Scott, « Composition Implications of Plastics Artefacts: A Survey of Additives and Their Effects on the Longevity of Plastics", dans *Saving the Twentieth Century: the Conservation of Modern Materials*, Ottawa : Editions de l'ICC, 1993, p. 135-153.
- YARSLEY Victor, FLAVELL William, ADAMSON Peter, *et al.*, *Cellulosic plastics*, London: The Plastics Institute, 1964, 220 p.
- ZIEGLER Johanna, "Testing Aquazol®. An Evaluation of its suitability for the conservation of the Works on Paper", dans *Journal of Paper Conservation*, vol. 23, 2022, p. 48-58.

## TABLE DES ILLUSTRATIONS

---

## A. Table des figures

Figure 1 : Stratigraphie du système zip et illustration de son usage sur un dessin de Jean Prouvé, AM 2006-2-228. ©M.Cinquatre/CentrePompidou.....	19
Figure 2 : Illustrations du brevet 1 469 554, Crowder, 1923. ....	29
Figure 3 : Protection du nom « Zip-a-Tone », Crowder, 1943. ....	29
Figure 4 : Détails de la publication, à gauche, du dessin original, au centre, 153.5, et de la variante, 153.[5a], à droite, Louis Kahn, 1943. ....	31
Figure 5 : Reproduction d'un dessin d'architecture dans le numéro 13 de <i>L'Architecture d'Aujourd'hui</i> , 1947, p.114 et détail. ....	32
Figure 6 : Publicité de la marque Curtisa dans la revue <i>Zodiac</i> , N°10, 1962. ....	32
Figure 7 : Revue <i>Arts &amp; Architecture</i> , n°3, 1945. ....	32
Figure 8 : Echelle de densité obtenue avec la trame photographique. ....	32
Figure 9 : Affiche de l'Exposition des techniques américaines. ....	33
Figure 10 : Pages 156 et 158 du <i>Modulor 2</i> de Le Corbusier. ....	35
Figure 11 : Page 157 du <i>Modulor 2</i> et le croquis associé. ....	35
Figure 12 : Page consacrée aux zips avec trames Macintosh, catalogue Mécanorma n°12, 1986. ....	39
Figure 13 : Illustration des techniques d'impression de la marque Mécanorma, 1975. ....	43
Figure 14 : Photographie sous loupe binoculaire x10 du motif de MN353. ....	43
Figure 15 : Illustration des techniques de fabrication de la marque Mécanorma, 1975. ....	43
Figure 16 : Exemples de points étalonnés. ....	44
Figure 17 : Exemples de différents motifs de lignes parallèles. ....	45
Figure 18 : Exemples de motifs figuratifs, de gauche à droite, arbres, mur de pierres sèches, parquet mosaïque. ....	45
Figure 19 : Exemples de motifs géométriques. ....	46
Figure 20 : Photomontage des nuanciers couleur et niveaux de gris des références Normacolor de Mécanorma, catalogue n° 14, 1988. ....	46
Figure 21 : Roue des couleurs de la charte de la marque Zip-a-Tone™, 1974. ....	47
Figure 22 : Visuel d'une feuille de zip telle que commercialisée, ....	48
Figure 23 : Exemple d'un zip brillant et des interférences que cet aspect de surface peut occasionner au moment du tirage, ....	49
Figure 24 : Publicité pour Letraset® dans le n° 230. ....	51
Figure 25 : Outils d'application de .....	52
Figure 26 : Étapes d'utilisation du zip. ....	52
Figure 27 : Détails de trois références de zip observées sous microscope, ....	54
Figure 28 : Détails du béton de fondation réalisé à la main sur le dessin AM 2007-2-315 et le même motif imprimé sur une feuille de zip, Letraset® LT967. ....	54
Figure 29 : <i>Maison Alba</i> , Jean Prouvé 1953, ....	56
Figure 30 : <i>Principe bloc central</i> , Jean Prouvé, 1956, AM 2007-2-401. ©CentrePompidou. ....	56
Figure 31 : <i>J.M., F3, façades entrée, chambre, garage ou cellier</i> , Jean Prouvé, 1956, AM 2007-2-409 (0001). ....	56
Figure 32 : <i>J.M., F3, 57 m², variante avec cellier ou abri voiture</i> , Jean Prouvé, 1956, AM 2007-2-413(0001). ....	56
Figure 33 : Tirage intermédiaire sur papier calque, contrecalque, à gauche, et tirage sur papier avec application de zip colorés, à droite, ....	57
Figure 34 : <i>Urbanisme Marseille Sud – Secteur Michelet</i> , Le Corbusier, 1945, contrecalque FLC 23114. ©FLC. ....	57
Figure 35 : <i>Urbanisme Bogota</i> , Le Corbusier, 1950, ....	57
Figure 36 : <i>Deux figures au tronc d'arbre jaune</i> , 1937, FLC_PC_0028 ©FLC et détail d'un papier collé, issu d'un nuancier Salubra. ....	58
Figure 37 : <i>Carton pour tapisserie « Bouteille et cie »</i> , 1951, FLC_PC_0103 ©FLC et détail de deux morceaux de zip superposés. ....	58

## Table des illustrations

Figure 38 : exemples d'emploi du zip par Le Corbusier dans ces publications, de gauche à droite, couverture, illustration et mise en page. ....	59
Figure 39 : <i>Villa, propriété de M. Jacques Rodier, Saint-Cloud</i> , Pol ABRAHAM, 1930, AM 2006-2-80. ©CentrePompidou.....	60
Figure 40 : <i>Ecole des Beaux-Arts</i> , Robert Mallet-Stevens, 1923-1924, AM 4651D. ©CentrePompidou.....	61
Figure 41 : <i>Living room</i> , in <i>Intérieurs</i> , Francis Jourdain, publié en 1925, édition du désastre.....	61
Figure 42 : <i>La Citta Nuova</i> , Antonio Sant'Elia, 1914 et <i>Composition 21</i> , Iakov Tchernikhov, 1930. ©TheCharnel-House .....	62
Figure 43 : Dessin pour le centre Culturel d'Orsay, Le Corbusier, 1961, FLC 30951. ©M.Cinqualbre/FLC.....	63
Figure 44 : <i>L'Œuvre complète 1957-65</i> by Le Corbusier, Olivetti Center, 1965. ©M.Cinqualbre/FLC .....	64
Figure 45 : <i>Case study house #1, second award</i> , Edouardo Fernando Catalano, février 1945. ©A&A .....	65
Figure 46 : <i>Small house</i> , Louis Huebner, avril 1955. ©A&A.....	65
Figure 47 : Etapes de montage <i>La maison « les Jours Meilleurs »</i> , Jean Prouvé, 1955, inv. AM 2007-2-407 (1) et (2). ©M.Cinqualbre/CentrePompidou .....	66
Figure 48 : <i>La maison « les Jours Meilleurs »</i> , Jean Prouvé, 1955, inv. AM 2007-2-415 (1). ©M.Cinqualbre/CentrePompidou .....	67
Figure 49 : <i>Le Grand Pavois, La Grande-Motte</i> , Jean Balladur, 1967-68, inv. AM 2002-2-226. ©CentrePompidou .....	68
Figure 50 : <i>Le Grand Pavois, La Grande-Motte</i> , Jean Balladur, 1967-68, inv. GM-17-09-04-02. ©SIAF/Cité de l'architecture et du patrimoine/Archives d'architecture du XX <sup>e</sup> siècle/ADAGP .....	68
Figure 51 : Dessins d'Archigram, où les couleurs sont obtenues avec les zips. ....	70
Figure 52 : <i>Hôtel de ville d'Amsterdam</i> , Henri Ciriani, 1967, inv. MFF 2017.14.6.....	71
Figure 53 : Couverture N°156, juin 1971.....	71
Figure 54 : <i>Village sous-marin</i> , Jacques Rougerie, 1971-1972, .....	72
Figure 55 : Couverture de la revue <i>L'Architecture d'aujourd'hui</i> , Mai 1974. ....	72
Figure 56 : Yves Brunier, 1986. ©M.Cinqualbre/CentrePompidou.....	73
Figure 57 : Rem Koolhaas, concours pour l'extension du MoMA, 1997, 476.1997.3. ©M.Cinqualbre/Moma .....	73
Figure 58 : Rem Koolhaas, OMA, Concours d'Euralille, 1988-1995, AM 1996-2-560. ©M.Cinqualbre/CentrePompidou .....	74
Figure 59 : Bernard Tschumi, Concours pour l'école du Fresnoy, 1991-97, Cité de l'architecture et du patrimoine. ©M.Cinqualbre/musée des Monuments Français/Cité de l'architecture et du patrimoine .....	74
Figure 60 : Dessin de Rem Koolhaas pour le projet <i>Euralille, « urbanisme vert »</i> en 1988-1995, .....	75
Figure 61 : <i>Panneau n°5 du concours pour le Stade de France</i> , .....	76
Figure 62 : Renzo Piano, <i>Centre Culturel Jean-Marie Tjibaou</i> , Nouméa, 1991-1998, AM 2004-2-184 et détail. ©M.Cinqualbre/CentrePompidou .....	77
Figure 63 : Détail en lumière rasante d'un film mat avec une encre brillante, AM 2007-2-327. ....	91
Figure 64 : Dessin AM 2007-2-330 et détail d'une zone avec un même motif réalisé avec un film et manuellement (flèches rouges). ....	91
Figure 65 : Exemple de dallage issu de trois marques différentes.....	92
Figure 66 : À gauche, détails du dessin AM 2007-2-423, les lignes blanches correspondent aux lignes d'incisions lors de la découpe du zip. ....	92
Figure 67 : À droite, détail du même dessin, ruban adhésif consolidant une zone entaillée lors de la mise en œuvre....	92
Figure 68 : <i>Projet de maison préfabriquée</i> par Yutaka Murata, s.d., AM 2011-2-857 et détail. ©M.Cinqualbre/CentrePompidou .....	93
Figure 69 : Répartition des items du corpus en fonction de leur collection. ....	95
Figure 70 : Détail de zip gratté intentionnellement, .....	97
Figure 71 : Détail d'une griffure, AM 2007-2-415 (1).....	97
Figure 72 : Résidus d'adhésif encrassés à la surface de zip, .....	98
Figure 73 : Détail d'un ruban adhésif maintenant des zips détachés, FLC30202. ....	98

## Table des illustrations

Figure 74 : Détail des rubans adhésifs au verso pour consolider le papier incisé, AM 2008-2-18. ....	98
Figure 75 : Espace visible entre deux films de zip, .....	99
Figure 76 : Cassure du zip, AM 2007-2-410 (0002). ....	99
Figure 77 : Gondollement gauchi du zip, AM 2011-2-803.....	99
Figure 78 : Tensions exercées par un zip sur .....	99
Figure 79 : Décollement du papier sous la contrainte impliquée par la rétraction du zip, FLC31064.....	99
Figure 80 : rétraction du zip avec décollement du papier sous la contrainte dans les deux sens, SC381.2011. ....	100
Figure 81 : Détail d'une déchirure en zig-zag, AM 1992-2-289. ....	100
Figure 82 : Détail de lacune dans un morceau de zip, 97.1989. ....	100
Figure 83 : Schéma des types de pertes d'adhésion pouvant conduire à un soulèvement du zip, d'après J. Down. ...	101
Figure 84 : Soulèvement du zip qui peut se recoller sous simple pression, 697.2014.2. ....	102
Figure 85 : Résidus d'adhésif souple sur le papier, .....	102
Figure 86 : Résidus d'adhésif sur le papier et morceaux de zip décollés, AM 2007-2-422. ....	102
Figure 87 : Zip décollé de son emplacement avec résidus d'adhésif sur les deux surfaces, en miroir, MMF2017-13.17. ....	102
Figure 88 : Perte d'adhésion sous forme .....	102
Figure 89 : Jaunissement irrégulier de l'adhésif d'un zip bleu, AM 2007-2-425. ....	103
Figure 90 : Jaunissements différents pour des feuilles d'une même référence, 6402.15.....	103
Figure 91 : Détails des reports de jaunissement du dessin AM 2001-2-156 sur le AM 2001-2-154.....	103
Figure 92 : Détail du motif du zip disparu dans la couche d'adhésif oxydée restée à la surface du papier, .....	103
Figure 93 : Juxtaposition de deux zips dont les adhésifs présentent des comportements très différents, AM 2001-2-156. ....	103
Figure 94 : Détail des incisions consolidées par des rubans adhésifs, AM 2007-2-957. ....	106
Figure 95 : Détail d'épidermages localisés, AM 2008-2-98.....	106
Figure 96 : Exemple de zips déplacés pendant le tirage et empoussiérés depuis, FLC 28236 A.....	106
Figure 97 : Détail de reflet sur un zip gondolé, AM 2007-2-410.....	104
Figure 98 : Détail de ridule sur un zip brillant, AM 2007-2-415. ....	104
Figure 99 : Détail de pli avec création d'une nouvelle texture, AM 2007-2-310. ....	104
Figure 100 : Détail du transfert de feutre bleu au niveau du zip, AM 2011-2-360. ....	105
Figure 101 : Petites bulles d'air emprisonnées entre le zip et le papier de support, AM 2007-2-316.....	105
Figure 102 : Detail de bulles longues et parallèles,.....	105
Figure 103 : Detail de bulles en réseaux en forme d'épis, .....	105
Figure 104 : Detail de bulles en réseaux en forme de grille, .....	105
Figure 105 : Frise chronologique présentant les dessins avec zip dans les collections partenaires en fonction de leur créateur et de son origine géographique.....	108
Figure 106 : <i>German Pavilion, International Exposition, Barcelona, Spain Horizontal column section</i> , Ludwig Mies van der Rohe, 1929, inv.°1000.196. ©MCInqualbre/MoMA .....	109
Figure 107 : Détails de jaunissements représentatifs des différentes périodes. ....	118
Figure 108 : Exemple d'un échantillon à échelle 1.....	125
Figure 109 : Échantillonnier. ....	126
Figure 110 : Monomère de la molécule d'acétate de cellulose et mise en évidence de ses groupements caractéristiques. ....	129
Figure 111 : Spectres de deux films d'acétate de cellulose avec deux combinaisons de plastifiants différents, Deleter JR96, en haut, et Letraset® LT13NY, en bas, et le tableau de pics associés.....	131
Figure 112 : Chromatogramme d'un film d'acétate de cellulose avec des phtalates et du phosphate de triphényle. ©J.Baudin/Inp .....	132
Figure 113 : Spectres IRTF de la cire de référence et de trois adhésifs de zips de l'échantillonnier, et tableau de pics. ....	133

Figure 114 : Spectres IRTF d'un adhésif acrylique, Normatone 277, en haut, et d'un adhésif vinylique, Pantone™ by Letraset® 158, en bas, et tableau de pics.....	134
Figure 115 : Présentation des structures de copolymère avec groupement vinylique et acrylique. ....	135
Figure 116 : Spectre de l'adhésif du 50% red de Bourges, tableau de pics et schéma de la molécule d'après Corbin. ....	136
Figure 117 : Spectre et tableau de pics de l'adhésif inconnu. ....	137
Figure 118 : Localisation du prélèvement d'un zip par prise de vue, à gauche, et sous loupe binoculaire, à droite, avant, en haut, et après prélèvement, en bas, sur le dessin 680.2014.1. ©M.Duranton/MoMA .....	142
Figure 119 : Tests de prélèvement : sous microscope avec une micro-pointe métallique, en haut, et vérification après prélèvement de la présence d'adhésif sur le fil de fer, en bas. ....	143
Figure 120 : Extrait du tableau de priorité et de la fiche d'explication. ....	144
Figure 121 : Publicité pour des tireuses, vantant leur rendement, <i>L'Architecture d'Aujourd'hui</i> , n° 163, 1972. ....	150
Figure 122 : Cliché du dessin de Candilis, AM 1996-2-42, datant de septembre 2014, à gauche, et.....	165
Figure 123 : Détails de l'original et du contre-calque de la perspective intérieure de la <i>Maison des Jours Meilleurs</i> , ..	165
Figure 124 : Détails de zips détachés et en cours de soulèvement, appliqués pour délimiter des espaces spécifiques, AM 2009-2-196. ....	166
Figure 125 : Séquence de proportion du Modulor présentant l'emploi de zip, FLC 21047. ©FLC .....	167
Figure 126 : Détail du dessin FLC 30192, où le papier sous le zip se détache sous la contrainte de la rétraction. ....	169
Figure 127 : Schéma des étapes conduisant au risque de rupture du zip, d'un état stable à l'état le plus dangereux. ....	169
Figure 128 : Photographie publiée dans la revue <i>Zodiac</i> en 1960 et détail. ....	171
Figure 129 : Photographie du dessin FLC 31064 ©FLC, dans son état actuel et un détail.....	171
Figure 130 : Bulles en réseaux allant contre l'effet plan recherché avec l'usage du zip, AM 2007-2-38.....	173
Figure 131 : Bulles en réseaux interrompant l'aplat continu du zip, lorsque celui-ci est collé au verso du calque, AM 2007-2-43.....	173
Figure 132 : Diagramme des étapes successives pouvant être rencontrées dans le contexte de traitement de soulèvements. ....	177
Figure 133 : Diagramme des étapes successives pouvant être rencontrées dans le contexte de traitement de zip. ...	179
Figure 134 : Schéma des éprouvettes soumises au vieillissement à la lumière, avec leur dimension et la zone protégée de la lumière, à échelle 1. ....	188
Figure 135 : Vue de l'enceinte de vieillissement à la lumière avec les éprouvettes installées. ....	188
Figure 136 : Disposition des échantillons dans l'enceinte de vieillissement lumière. ....	189
Figure 137 : Exemple de la série d'éprouvettes sur différents supports pour une référence de zip. ....	191
Figure 138 : Photographies prises sous microscope de la surface des supports (x60, lumière rasante).....	191
Figure 139 : Morphologie des éprouvettes dédiées au vieillissement thermo-hygrométrique, à échelle 1. ....	192
Figure 140 : Éprouvettes JT-00, DEP+TPP+Cire, à gauche, et N2S 5633 F1, DEP+TPP+aA, après vieillissement à la lumière, à droite. ....	195
Figure 141 : Éprouvette LT9P, DEP+aA sur carton mousse avant, à gauche, après 28 jours, au centre, et après 112 jours de vieillissement en cycle de 30 à 70% HR et à 40°C stable, à droite. ....	195
Figure 142 : Éprouvette LT14P, DEP+aA avant, à gauche, et après 77 jours de vieillissement à 40°C et 30% HR, à droite. ....	196
Figure 143 : Éprouvettes après insolation, références Design-Tone TH-25, DEP+TPP+Cire, à gauche, et Maxon CB 301, DEP+TPP+Cire, à droite (témoin, sens longueur, sens largeur), lumière rasante par la gauche. ....	197
Figure 144 : Éprouvettes 1277, DEP+aA, à gauche, sur carton mousse (A) et papier calque (C) et.....	197
Figure 145 : Photographie sous microscope de l'incision en bas de l'éprouvette LT13NY, DEP+aV, (lumière naturelle, grossissement x5), avant, à gauche, et après 119 jours de vieillissement à 40°C et 30% HR, à droite. ....	200
Figure 146 : Éprouvettes de DEP+aV, présentant une rétraction plus ou moins visible. De gauche à droite : LT13NY après 14 jours à 40°C et 30%HR ; LT11NY après 72 jours à 35°C et 50% HR ; LT13NY après 112 jours à 40°C stable et une humidité en cycle entre 30 et 70% HR. ....	200

## Table des illustrations

Figure 147 : Détail de l'incision au centre de l'éprouvette LT13NY, DEP+aV, sur un support en carton mousse, après 112 jours de vieillissement à 40°C et 30/70% HR. La flèche rouge met en avant le sens de rétraction préférentiel visible par les décalages des points.....	204
Figure 148 : Éprouvette 4 x 4 cm à l'issue du vieillissement, incision en partie basse observée au Hirox (grossissement x140). .....	205
Figure 149 : Éprouvette 8 x 8 cm à l'issue du vieillissement, incision en partie basse observée au Hirox (grossissement x120). .....	205
Figure 150 : Prises de vue sous microscope avec mesures d'une même éprouvette, 22 x 16 cm, au niveau de l'incision, présentant le retrait dans le sens perpendiculaire du sens de la feuille, à gauche, et dans le sens de la feuille, à droite. ....	206
Figure 151 : Diagramme des étapes successives pouvant être rencontrées dans le contexte de traitement de soulèvements. ....	210
Figure 152 : Diagramme des étapes successives pouvant être rencontrées dans le contexte de traitement de soulèvements. ....	211
Figure 153 : Détail du verso du nuancier pour les peintures de la série du <i>Boulevard des Italiens</i> , de Gérard Fromanger, 1971. Les déchirures sont consolidées au verso par du ruban adhésif. ....	212
Figure 154 : <i>Les très riches heures de P.B.</i> par Pierre Buraglio, 1982. Visuel extrait de l'article d'Antonio Mirabile. Les rubans adhésifs sont partie intégrante de l'œuvre. ....	212
Figure 155 : Retrait d'adhésif avec une spatule chauffante, à gauche, et avec un pistolet à air chaud, à droite. ....	213
Figure 156 : Retrait de l'adhésif d'un film double face, à l'aide de gomme crêpe, sur une affiche de la Fondation Air France, Marjorie Williams, Inp 2010.....	214
Figure 157 : Retrait des résidus d'adhésif au recto d'une œuvre sur table aspirante avec application du solvant à l'aide d'une seringue. ©AnaïsDiez.....	215
Figure 158 : Essai de retrait de résidus d'adhésif à l'aide d'une compresse de terre de sommière, le solvant est apporté par un buvard imbibé. ....	215
Figure 159 : Exemples de tests menés sur une œuvre en vue du retrait de l'adhésif et des résidus de fibres du panneau d'isorel.....	216
Figure 160 : Exemple du Rubine Red (aC+DEP+TPP+aV), de gauche à droite, avant immersion dans l'isopropanol, après 2 minutes d'immersion et après séchage. ....	222
Figure 161 : Représentation des paramètres de solubilité des matériaux composant le zip et des solvants testés dans un triangle de Teas. ....	224
Figure 162 : Photographie sous loupe binoculaire pendant immersion de la référence aC+DEP+Cire .....	225
Figure 163 : Photographie sous loupe binoculaire pendant immersion de la référence aC+DEP+TPP+aV dans l'alcool benzylique. ....	226
Figure 164 : Photographie sous loupe binoculaire pendant immersion de la référence aC+DEP+TPP+aV dans l'éthanol. ....	226
Figure 165 : Tuilage léger du zip aC+DEP+TPP+aA après immersion dans l'isopropanol.....	226
Figure 166 : Tuilage en cigarette pour le zip aC+DEP+aV après immersion dans l'isopropanol et séchage.....	226
Figure 167 : Tuilage important pendant immersion du zip aC+DEP+Cire dans l'isopropanol.....	226
Figure 168 : Gondolement du zip aC+DEP+Cire après immersion dans l'alcool benzylique. ....	227
Figure 169 : Rétraction du zip aC+DEP+aV après immersion dans l'alcool benzylique. ....	227
Figure 170 : Photographie du témoin du zip aC+DEP+TPP+Cire, ST1064, prise sous microscope optique. ....	227
Figure 171 : Photographie du zip aC+DEP+TPP+Cire, ST1064, prise sous microscope optique après immersion dans l'éthanol.....	227
Figure 172 : Photographie du témoin du zip aC+DEP+TPP+aA, LT9P, prise sous microscope optique. ....	228
Figure 173 : Photographie du zip aC+DEP+TPP+aA, LT9P, prise sous microscope optique après immersion dans l'alcool benzylique. ....	228
Figure 174 : Photographie du témoin du zip aC+DEP+aV, LT916, prise sous microscope optique. ....	228

## Table des illustrations

Figure 175 : Photographie du zip aC+DEP+aV, LT916, prise sous microscope optique après immersion dans le carbonate de diéthyle.....	228
Figure 176 : Spectres du film et de l'adhésif du témoin de la référence LT916NY (aC+DEP+aV).....	231
Figure 177 : Spectres IRTF de l'adhésif du zip LT916NY (aC+DEP+aV) après immersion dans chacun des solvants. ....	231
Figure 178 : Détails du pic du TPP, à $954\text{ cm}^{-1}$ , des spectres du zip aC+DEP+TPP+Cire dans les différents solvants. ....	232
Figure 179 : Visuel de la fleur 1 après test, échelle 1. ....	236
Figure 180 : Dépose d'une goutte de solvant, a, et absorption à l'aide d'Evolon®, b. ....	237
Figure 181 : Détails du coton tige posé sur la surface à dégager et indication du mouvement. ....	237
Figure 182 : Gonflement de l'adhésif en chambre, a, et dégagement à l'aide d'une spatule, b. ....	238
Figure 183 : Dépose de la goutte, a, et dégagement au coton tige, b.....	238
Figure 184 : Exemple de visuels au microscope, film aC+DEP+TPP+Cire avant, à gauche, et .....	238
Figure 185 : Photographies des éprouvettes après traitement de comparaison des mises en œuvre de solvants purs. ....	243
Figure 186 : Schéma d'une éprouvette carrée avec trois références de zip collées sur papier Canson®, soumises à la même expérience, échelle 1 (6 x 6 cm). ....	246
Figure 187 : Diagramme des étapes successives pouvant être rencontrées dans le contexte de traitement de soulèvements. ....	256
Figure 188 : Détails d'encollage d'un ruban adhésif déposé et nettoyé avec un film de Beva® 371 Film. ....	260
Figure 189 : Aspect des adhésifs sélectionnés. ....	262
Figure 190 : Présentation des étapes de mise en œuvre pour l'application d'un adhésif liquide, réactivé ensuite à chaud. ....	265
Figure 191 : Présentation des étapes de mise en œuvre pour la réalisation d'un film d'adhésif réactivable à la chaleur. ....	266
Figure 192 : Visuels des deux trames textiles utilisées pour la mise en œuvre, à gauche la crêpeline de soie et à droite, le crin de polyester. ....	267
Figure 193 : Visuels des applications avec une trame vue générale et en macroscopie. ....	267
Figure 194 : Présentation des étapes de mise en œuvre pour la réalisation d'une trame d'adhésif réactivable à la chaleur. ....	268
Figure 195 : Étapes de l'application de l'adhésif à travers la toile directement sur le zip. ....	268
Figure 196 : Présentation des étapes de mise en œuvre de la Beva® 371 Film. ....	269
Figure 197 : Présentation des étapes de mise en œuvre du Gudy 871. ....	269
Figure 198 : Mise en œuvre de dérestauration avec la spatule chauffante.....	270
Figure 199 : Mise en œuvre de dérestauration par apport de vapeurs de solvant. ....	271
Figure 200 : Éprouvette avec la référence aC+DEP+Cire, ST1097, pour les tests de repose et de dérestauration. ....	273
Figure 201 : Détail des éléments de zip de la référence aC+DEP+Cire recollés avec le mélange Aquazol® 500/Lascaux® 303 HV, application à travers la crêpeline à droite. ....	276
Figure 202 : Visuels de l'aspect de l'Aquazol® 500 en mélange avec la Lascaux® 303 HV encore humide après application, à gauche, et une fois sec, à travers le zip, au centre, et à travers le papier calque, à droite. ....	277
Figure 203 : Visuels des tests de recollage pour la référence aC+DEP+aV, sur papier calque.....	278
Figure 204 : Visuels des tests de recollage pour la référence aC+DEP+aA, sur carton. ....	278
Figure 205 : Observation à travers le papier calque des zips repositionnés avec la Lascaux® 498 HV, appliqué à travers la crêpeline puis réactivés à chaud, à gauche et en film irrégulier réactivé à chaud, à droite.....	279
Figure 206 : Observation de la référence aC+DEP+aV sur papier calque observé par le verso, sur fond blanc et sur fond gris. ....	279

## Table des illustrations

Figure 207 : Observation des trois références de haut en bas respectivement aC+DEP+Cire, aC+DEP+aA et aC+DEP+aV, sur papier calque, observés par le verso sur fond gris. Les clichés sont inversés en miroir numériquement. ....	280
Figure 208 : Phénomène de moirage et d'étalement de la couleur imprimée à la surface du zip après exposition aux vapeurs de solvant. ....	283
Figure 209 : Déformation dans la zone des tests de dérestauration aux vapeurs de solvants, des éprouvettes des références avec les adhésifs acryliques, vue du verso à gauche, et vinyliques, vue du recto, à droite. ....	283
Figure 210 : Observation des trois références de haut en bas respectivement aC+DEP+Cire, aC+DEP+aA et aC+DEP+aV, sur papier calque, observés par le verso sur fond gris. Les clichés sont inversés en miroir numériquement. ....	285
Figure 211 : Déformation dans la zone des tests de dérestauration aux vapeurs de solvants, des éprouvettes des références avec les adhésif acryliques, vue du verso en haut, et vinyliques, vue du recto, en bas. ....	287
Figure 212 : Récapitulatif des résultats de l'expérimentation d'application d'un nouvel adhésif, pour la référence avec un motif sombre et un adhésif d'origine à base de cire. ....	289
Figure 213 : Récapitulatif des résultats de l'expérimentation d'application d'un nouvel adhésif, pour la référence avec un motif clair et un adhésif d'origine à base vinylique. ....	290
Figure 214 : Récapitulatif des résultats de l'expérimentation d'application d'un nouvel adhésif, pour la référence avec un aplat de couleur et un adhésif d'origine à base acrylique. ....	290
Figure 215 : Diagramme des étapes successives pouvant être envisagées dans le traitement des rétractions. ....	294
Figure 216 : Diagramme des étapes successives pouvant être envisagées dans le traitement des rétractions avec détachement du support. ....	301
Figure 217 : Éprouvette témoin des tests (n°1) avant, en haut et après vieillissement, de face et de profil, en bas. ....	303
Figure 218 : Chevalet de mise en tension des éprouvettes et détail de la graduation pour la tension. ....	304
Figure 219 : Chevalet avec une éprouvette en système pour le traitement de mise en tension. ....	305
Figure 220 : Schéma en élévation, à gauche, et photographie de l'enceinte vue du dessus, à droite. ....	306
Figure 221 : Système de mise en œuvre de l'expérimentation à 45-47°C et détail de l'installation du thermomètre au mercure sur le chevalet. ....	307
Figure 222 : Système de mise en œuvre pour combiner 45°C et 85% HR, à gauche, en atelier et à droite en laboratoire. ....	307
Figure 223 : Etapes faisant l'objet du suivi par prises de vue. ....	308
Figure 224 : Exemple des visuels de l'éprouvette 4 utilisés pour le traitement des images, en rouge, les zones mesurées. ....	308
Figure 225 : Éprouvette 5, avant et après traitement en tension à 85% HR et 45°C. ....	311
Figure 226 : Éprouvette 3, avant et après traitement en tension dans une enceinte à 85% d'humidité relative. ....	311
Figure 227 : Éprouvette 8, avant et après traitement en tension à 45°C. ....	311
Figure 228 : Éprouvette 14, vue de face et de profil, avant, en haut, et après, en bas, traitement en tension à 45°C et 85% HR. ....	312
Figure 229 : Étapes de la repose du zip sur son papier de support. ....	314
Figure 230 : Éprouvettes à l'issue des différentes expérimentations de redimensionnement, observée en lumière rasante, recto et verso. ....	315
Figure 231 : Détail de l'éprouvette 11, le zip est encore aligné sur le cerne réalisé avant le deuxième vieillissement. ....	316
Figure 232 : Éprouvettes mises en tension avec les différentes méthodes à l'issue du second vieillissement, observée en lumière rasante. ....	318
Figure 233 : Diagramme des étapes successives pouvant être envisagées dans le cas de traitement de remise à plat. ....	322
Figure 234 : Éprouvette témoin des tests (n°1) après vieillissement, vue de face en haut et de dos en bas. ....	324
Figure 235 : Schéma de l'enceinte d'humidification. ....	325
Figure 236 : Méthode d'application de chaleur à l'aide d'une spatule chauffante, du côté du zip. ....	325

## Table des illustrations

Figure 237 : Schéma d'une presse classique. ....	326
Figure 238 : Schéma d'une presse pour papier calque.....	326
Figure 239 : Formule et méthodes de mesure du tuilage. ©LauryGrard .....	327
Figure 241 : Éprouvette 11, avant et après mise sous presse sans traitement préalable. ....	329
Figure 242 : Éprouvette 5, avant et après mise sous presse après humidification préalable côté calque. ....	329
Figure 243 : Éprouvette 8, avant et après mise sous presse après humidification préalable côté zip. ....	329
Figure 244 : Éprouvette 13, avant et après mise sous presse après apport de chaleur préalable du côté du zip. ....	329
Figure 245 : Éprouvette 16, avant et après mise en presse après un apport de chaleur préalable côté calque. ....	329
Figure 246 : Vue du plan de masse de la ville d'Auroville, Roger Anger, 1968-1970, 53,4 x 75,5 cm, AM 2015-2-184. ©M.Cinquembre/CentrePompidou .....	335
Figure 247 : Vue du ciel, de l'espace central, consacré au Matrimandir. © compte instagram arthiarchie .....	336
Figure 248 : Capture d'écran du court métrage <i>Auroville, la ville dont la Terre a besoin ?</i> réalisé par Violette Drulang, Jérémy Mahendro et Alain Malaval. ....	336
Figure 249 : Légende des espaces. ....	337
Figure 250 : Localisation et aspect des différents zips présents sur le dessin. ....	337
Figure 251 : Soulèvements des zips au centre du dessin. ....	338
Figure 252 : Zones plus claires où le film est détaché de l'adhésif. ....	338
Figure 253 : Zone présentant l'ensemble des pertes de zip. ....	339
Figure 254 : Détail d'une zone d'adhésif jauni où l'ancien motif est visible et d'une zone sans adhésif (à gauche du tracé).....	339
Figure 255 : Détails d'un élément de zip décollé présentant des résidus d'adhésif en miroir de ceux sur le papier. Cette photographie montre également des zones de raboutage entre des morceaux de zips. ....	339
Figure 256 : Détail de la déchirure en zigzag dans le zip figurant l'espace international. ....	340
Figure 257 : Plis situés sur une des pièces de zip soulevée.....	340
Figure 258 : Détails des décollements du papier sous l'effet de la rétraction du zip observés au recto, à gauche, et au verso du calque, à droite.....	340
Figure 259 : Résultats des tests de solubilité de l'adhésif dégradé.....	343
Figure 260 : Pièce de zip avec les résidus d'adhésif jauni perceptibles.....	345
Figure 261 : Pièce de zip après retrait des résidus d'adhésif et buvard de traitement. ....	345
Figure 262 : Élément de zip juste après application du mélange et après évaporation complète des solvants, observé sous lumière rasante.....	345
Figure 263 : Retrait de l'adhésif à la surface du papier de support. ....	346
Figure 264 : Éléments de zip après le retrait de leurs résidus d'adhésif. ....	347
Figure 265 : Encollage des zips sur le feuil de Lascaux® 498 HV.....	347
Figure 266 : Repose des éléments de zip en cours d'intervention.....	347
Figure 267 : Détail de la zone traitée avant et après intervention, vue en plongée.....	348
Figure 268 : Zone centrale avant, pendant et après intervention. ....	349
Figure 269 : Vue générale du recto du dessin de Roger Anger avant, en haut, et après intervention, en bas. ....	354
Figure 270 : Détails de la limite entre les zones d'adhésif avant, au-dessus des tirets rouges, et après dégagement au scalpel, en-dessous des tirets, photographie avec le microscope à un grossissement de x50.....	373
Figure 271 : Détails des fissures du film observables sous microscope (x50), à gauche, et des déchirures des films de l'éprouvette, à droite.....	373
Figure 272 : Retrait de l'adhésif devenu pulvérulent sur le zip d'un dessin de Henri Ciriani, n° inv : MMF2017-13.17, Cité de l'architecture et du patrimoine.....	374
Figure 272 : Détails de la limite entre les zones d'adhésif avant, à gauche des tirets rouges, et après dégagement au scalpel, à droite des tirets, photographie avec le microscope (x50).....	375

Le Copyright pour les figures est ©M.Cinquembre sauf quand cela est précisé autrement.

**B. Table des graphiques**

Graphique 1 : Évolution du nombre de références de la marque Mécanorma de 1968 à 1993. ....	42
Graphique 2 : Résultats obtenus avec le champ lexical de l'adhésion. ....	86
Graphique 3 : Entonnoir de sélection des dessins de Jean Prouvé par typologie. ....	87
Graphique 4 : Effectifs cumulés des dessins du corpus au cours de la période où l'usage du zip est avéré dans les collections. ....	109
Graphique 5 : Proportion des typologies de support des dessins avec zip en collection. ....	112
Graphique 6 : Répartition du nombre de référence de ..... 112	112
Graphique 7 : Surface de zips couvrant les dessins. ....	113
Graphique 8 : Proportion du papier du dessin couvert par du zip. ....	113
Graphique 9 : État sanitaire des collections et précisions de la typologie des dégradations. ....	114
Graphique 10 : Proportion des dégradations identifiées sur les zips. ....	115
Graphique 11 : Occurrence des dégradations de l'adhésif au cours du temps. ....	117
Graphique 12 : Occurrence des phénomènes de rétraction sur les zips examinés. ....	119
Graphique 13 : Occurrence des bulles rondes sur les zips examinés. ....	119
Graphique 14 : Occurrence des bulles en réseaux sur les zips examinés. ....	119
Graphique 15 : Représentation graphique des différentes marques et produits des zips de l'échantillonneur. ....	125
Graphique 16 : Ratio des films au sein de l'échantillonneur. ....	132
Graphique 17 : Ratios des adhésifs au sein de l'échantillonneur. ....	137
Graphique 18 : Récapitulatif de la composition des films et des adhésifs des zips de l'échantillonneur. ....	138
Graphique 19 : Composition des films et des adhésifs de l'échantillonneur en fonction des marques et des produits. ....	139
Graphique 20 : Ratio des films analysés, prélevés sur des dessins des collections étudiées et ratio de l'échantillonneur, pour rappel. ....	145
Graphique 21 : Ratio des adhésifs analysés, prélevés sur des dessins des collections étudiées et ratio de l'échantillonneur, pour rappel. ....	145
Graphique 22 : Récapitulatif de la composition des films et des adhésifs des zips analysés dans les collections et ...	146
Graphique 23 : Répartition du phénomène de soulèvement au sein des collections étudiées et nature des adhésifs associés. ....	148
Graphique 24 : Répartition du phénomène de rétraction au sein des collections analysées et nature des films associés. ....	151
Graphique 25 : Répartition du phénomène de rétraction au sein des collections analysées et nature des adhésifs associés. ....	151
Graphique 26 : Répartition de la présence des petites bulles au sein des collections analysées et nature des films associés. ....	154
Graphique 27: Répartition de la présence des petites bulles au sein des collections analysées et nature des adhésifs associés. ....	154
Graphique 28 : Répartition de la présence de bulles en réseaux au sein des collections analysées et nature des films associés. ....	155
Graphique 29: Répartition de la présence de bulles en réseaux au sein des collections analysées et nature des adhésifs associés. ....	155
Graphique 30 : Variations dimensionnelles des éprouvettes sur 65 jours, exprimées en pourcentage, en fonction du type de vieillissement. ....	201
Graphique 31 : Pertes dimensionnelles mesurées sur différentes combinaisons film/adhésif de zip soumises aux vieillissements climatiques. ....	202
Graphique 32 : Retrait dimensionnel en fonction de la surface exprimée en pourcentage. ....	205
Graphique 33 : Impact des solvants sur l'encre. ....	230

## Table des illustrations

Graphique 34 : Impact des solvants sur le film plastique. ....	230
Graphique 35 : Action des solvants sur l'adhésif. ....	230
Graphique 36 : Exemple de graphique présentant des rapports d'aires de pics. ....	251
Graphique 37 : Rapports d'aires de pics pour évaluer l'impact des traitements avec les mélanges de solvant 1, 2 et 5 sur les phtalates, en haut, et sur le phosphate de triphényle, en bas, pour les trois références de zip testées. ....	252
Graphique 38 : Résultats de la notation du critère « efficacité du retrait de l'adhésif » en fonction des mélanges de solvants et des mises en œuvre pour les trois familles d'adhésif. ....	253
Graphique 39 : Résultats de l'adhésion (a) et des mises en œuvre de collage (f) pour les différents types d'adhésif. ....	275
Graphique 40 : Évaluation de l'aspect des films repositionnés avec les différents adhésifs et méthodes d'encollage. ....	277
Graphique 41 : Notes de dérestauration à la spatule chauffante à 60°C, en fonction des différents adhésifs et des supports. ....	282
Graphique 42 : Résultats de l'adhésion et des mises en œuvre de collage pour les différents types d'adhésif sur l'adhésif original. ....	284
Graphique 43 : Notes de dérestauration des films repositionnés avec leur adhésif d'origine. ....	286
Graphique 44 : Notes de dérestauration à la chaleur pour les différentes références de zip sur les deux types de support. ....	287
Graphique 45 : Comparaison de l'efficacité des traitements de remises à plat selon la norme du tuilage. ©LauryGrard .....	299
Graphique 46 : Longueur des éprouvettes mesurée en centimètre, avant et après le vieillissement, et après le traitement de redimensionnement. ....	309
Graphique 47 : Évolution des déformations des éprouvettes au cours des différents traitements. ....	310
Graphique 48 : Évolution du nombre de déformations des éprouvettes au cours des différents traitements. ....	310
Graphique 49 : Déformations du papier en périphérie du zip et du zip des éprouvettes après la repose et après le 2 <sup>nd</sup> vieillissement en fonction des conditions des mises en tension. L'encadré présente la moyenne des changements de planéité. ....	316
Graphique 50 : Déformations du zip seul aux différentes étapes de l'expérimentation en fonction des environnements de mise en œuvre. ....	317
Graphique 51 : Rapports des pics (C=O à 1736 cm <sup>-1</sup> sur C-H à 1366 cm <sup>-1</sup> ) pour mettre en avant une potentielle désacétylation en fonction des différentes conditions de mise en tension. ....	319
Graphique 52 : Rapports des pics (cycle pyranose C-O-C à 1030 cm <sup>-1</sup> sur phtalates à 690 cm <sup>-1</sup> ) pour mettre en avant une potentielle perte de plastifiants en fonction des différentes conditions de mise en tension. ....	320
Graphique 53 : Comparaison des résultats des différentes mises sous presse et moyenne du pourcentage de perte. .....	328

Le Copyright pour les graphiques est ©M.Cinqualbre sauf quand cela est précisé autrement.

**C. Tables des tableaux**

Tableau 1 : Présentation des fabricants de zip. ....	40
Tableau 2 : Estimation du nombre de références commercialisées de zip. ....	41
Tableau 3 : Evaluation du temps de réalisation de remplissage d'une surface avec des motifs de lignes et de briques, exprimé en minutes. ....	55
Tableau 4 : Comparaison des terminologies trouvées dans les bases de données du Mnam-CCI, de la FLC et du MoMA (architecture et MVDR). ....	89
Tableau 5 : Composition de l'échantillonnier. ....	124
Tableau 6 : Synthèse des vieillissements climatiques réalisés. ....	192
Tableau 7 : valeur de perte de dimensions en pourcentage pour l'ensembles des vieillissements à 65 jours. ....	203
Tableau 8 : Valeurs d'écart entre les bords du plastique de part et d'autre de l'incision, en millimètres. ....	206
Tableau 9 : Présentation du plan d'expérimentation du test de solubilité. ....	220
Tableau 10 : Solvants sélectionnés pour les tests de retrait d'adhésif. ....	222
Tableau 11 : Qualités associées à l'échelle de valeur de 1 à 5 pour chaque paramètre, les cases en vert représentent l'objectif à atteindre. ....	229
Tableau 12 : Résultats des tests de solubilité synthétisés à partir des spectres infrarouges. ....	232
Tableau 13 : Récapitulatif des pics et des limites d'aire servant pour l'évaluation du traitement sur les plastifiants. ....	251
Tableau 14 : Présentation du plan d'expérience pour sélectionner une méthode d'application. ....	235
Tableau 15 : Qualités associées à l'échelle de valeur de 1 à 5 pour chaque paramètre. ....	239
Tableau 16 : Récapitulatif des solvants et mises en œuvre pour chaque référence de zip. ....	242
Tableau 17 : Présentation du plan d'expérimentation pour évaluer l'impact des solvants et méthodes d'application sélectionnées. ....	245
Tableau 18 : récapitulatif des mises en œuvre et mélanges de solvant pour l'évaluation de l'impact du dégagement d'adhésif sur les films. ....	248
Tableau 19 : Présentation des éprouvettes réalisation de l'expérimentation en fonction des mélanges de solvants et des mises en œuvre. ....	250
Tableau 20 : Présentation du plan d'expérience pour la mise en œuvre d'un nouvel adhésif. ....	261
Tableau 21 : Qualités associées à l'échelle de valeur de 1 à 5 pour chaque paramètre relatif à l'application d'un nouvel adhésif. ....	274
Tableau 22 : Présentation du plan d'expérimentation pour le test de redimensionnement. ....	302
Tableau 23 : Présentation du plan d'expérimentation pour la mise en œuvre d'un traitement de remise à plat. ....	323
Tableau 9 : Présentation du plan d'expérimentation du dégagement physique. ....	372

Le Copyright pour les graphiques est ©M.Cinqualbre sauf quand cela est précisé autrement.

## TABLE DES MATIERES

---

## TABLE DES MATIERES

<b>Remerciements</b> .....	<b>7</b>
<b>Résumé</b> .....	<b>11</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>13</b>
<b>Sommaire</b> .....	<b>15</b>
<b>Introduction</b> .....	<b>17</b>
<b>1<sup>ère</sup> Partie : ETUDE DU ZIP</b> .....	<b>25</b>
<b>Chapitre 1 : usage et enjeux du zip dans les dessins d'architecture</b> .....	<b>27</b>
I. Le zip : soixante ans dans la vie du dessin d'architecture.....	29
A. 1920-1950 : Naissance aux États-Unis.....	29
B. 1945-1955 : arrivée du zip en France dans l'après-guerre.....	33
C. 1955-1995 : 40 ans d'apogée avant l'oubli en moins d'une décennie.....	37
II. Mise en œuvre d'un produit industriel.....	40
A. Le zip, un produit commercial.....	40
B. Usage d'un medium graphique prêt à l'emploi.....	52
III. Questions d'esthétique.....	60
A. L'avant zip : entre opposition et préfiguration .....	60
B. Entre continuité et émancipation .....	63
C. Le zip, porteur d'esthétiques fortes .....	67
D. Réappropriation et personnalisation du zip par les architectes .....	72
<b>Chapitre 2 : Etude des collections</b> .....	<b>79</b>
I. Méthode de sélection du corpus d'étude.....	81
A. Collections étudiées .....	81
B. Méthodes d'identification dans les bases de données .....	84
C. Méthode d'évaluation de la présence de zip dans les collections .....	90
D. Corpus identifié .....	93
II. Présentation des dégradations rencontrées dans les collections .....	97
A. Dégradation de la surface du film .....	97
B. Dégradation du film.....	98
C. Dégradation de l'adhésif .....	101
D. Dégradation du système zip .....	104
E. Dégradations liées à la mise en œuvre du zip .....	104
III. Résultats de l'évaluation des collections .....	107
A. Usage du zip dans les collections étudiées.....	107
B. Etat sanitaire des collections.....	114

<b>Chapitre 3 : Etude de la matérialité du zip</b> .....	<b>121</b>
I. Méthode d'analyse.....	123
A. Les laboratoires .....	123
B. Création d'une base de référence.....	124
C. Protocoles d'analyses physicochimiques .....	127
II. Matérialité du zip dans l'échantillonnier .....	129
A. Des films d'acétate de cellulose .....	129
B. Plusieurs natures d'adhésifs.....	133
C. Discussion des résultats des analyses pour l'échantillonnier .....	138
III. Caractérisation des matériaux patrimoniaux.....	141
A. Mise en place d'un protocole d'analyse pour les collections.....	141
B. Résultats des analyses.....	145
C. Croisement des données de l'évaluation des collections et de la caractérisation du zip... ..	147
 <b>2<sup>ème</sup> Partie : ELABORATION DE PROTOCOLES DE TRAITEMENTS DE CONSERVATION-RESTAURATION DU ZIP</b> .....	 <b>159</b>
 <b>Chapitre 4 : Définition du projet de conservation-restauration des zips</b> .....	 <b>161</b>
I. Réflexions autour de la nécessité d'une intervention .....	164
A. Phénomènes de soulèvements .....	164
B. Phénomènes de rétraction.....	169
C. Phénomènes de bulles en réseaux.....	173
II. Définition d'un cahier des charges pour le traitement des zips .....	176
A. Méthodologie de la démarche et questions soulevées .....	176
B. Difficultés techniques propres au zip sur les dessins d'architecture .....	180
 <b>Chapitre 5 : Reproduction des phénomènes de dégradations en laboratoire</b> .....	 <b>185</b>
I. Vieillissements artificiels .....	187
A. Vieillissement à la lumière .....	187
B. Vieillissements température et humidité.....	190
II. Modélisation des phénomènes de dégradation.....	194
A. Phénomènes de soulèvement.....	194
B. Phénomène de rétraction .....	199
C. Bulles en réseaux.....	207
 <b>Chapitre 6 : Protocole de traitements des phénomènes de soulèvement</b> .....	 <b>209</b>
I. Dégagement de l'adhésif d'un film auto-adhésif.....	211
A. Etat de l'art.....	211
B. Sélection de solvants pour le dégagement chimique de l'adhésif d'un film.....	220
C. Evaluation des méthodes d'application des solvants sélectionnés .....	235
D. Impact sur le film des solvants et des mises en œuvre sélectionnés.....	245

II.	Application d'un nouvel adhésif.....	256
A.	Etat de l'art.....	257
B.	Mise en œuvre d'un nouvel adhésif.....	261
C.	Résultats.....	275
<b>Chapitre 7 : Protocole de traitements des phénomènes de rétraction.....</b>		<b>293</b>
I.	Etat de l'art.....	295
A.	Traitement des films et négatifs photographiques en acétate de cellulose.....	295
B.	Traitement d'objets en acétate de cellulose.....	297
C.	Conclusions de l'état de l'art et perspectives de recherche.....	299
II.	Traitements de « redimensionnement ».....	301
A.	Matériels et méthode de l'expérimentation de redimensionnement.....	303
B.	Résultats de l'expérimentation de redimensionnement.....	309
C.	Repose du film.....	313
D.	Comportement des éprouvettes soumise à un second vieillissement.....	316
III.	Traitement de remise à plat.....	322
A.	Matériel et méthode.....	324
B.	Résultats de l'expérimentation de remise à plat.....	327
<b>Chapitre 8 : Etude de cas.....</b>		<b>333</b>
I.	Présentation du dessin et de ses altérations.....	336
A.	Brève présentation du projet.....	336
B.	Présentation des zips du dessin.....	337
C.	Propositions d'intervention.....	342
II.	Traitement de conservation-restauration.....	343
A.	Tests de solubilité de l'adhésif et des sensibilités des matériaux.....	343
B.	Retrait des résidus d'adhésifs.....	344
C.	Repose des éléments de zip.....	346
D.	Conclusion de l'intervention.....	348
III.	Perspectives d'intervention.....	351
A.	Envisager la stabilisation des zips rétrécis.....	351
B.	Envisager la réintégration des lacunes.....	351
C.	Réflexions sur la possibilité pratique d'une réintégration.....	352
<b>Conclusion.....</b>		<b>357</b>
<b>Annexes.....</b>		<b>363</b>
	ANNEXE 1 : Tableau des dimensions des feuilles de zip commercialisées.....	364
	ANNEXE 2 : Tableau des données de collectes.....	365

ANNEXE 3 : Tableau des zips analysés, résultats d’analyses et état de dégradation.....	366
ANNEXE 4 : Vieillissements – Tableaux des références.....	369
ANNEXE 5 : Vieillissement climatique – Récapitulatif.....	370
ANNEXE 6 : Expérimentation de dégagement physique de l’adhésif d’un film .....	372
ANNEXE 7 : Présentation des résultats pour chaque zip immergé dans les 8 solvants. ....	376
ANNEXE 8 : Résultats de notation pour les zips immergés dans les 8 solvants .....	378
ANNEXE 9 : Résultats de notation pour la mise en œuvre des solvant.....	379
ANNEXE 10 : Résultats de notation pour l’impact du retrait d’adhésif sur le film.....	380
ANNEXE 11 : Résultats de notation pour la sélection d’un adhésif de restauration.....	383
ANNEXE 12 : Tableau de l’évolution des mesures des zips .....	384
ANNEXE 13 : Fiches techniques - Adhésifs de restauration utilisés pour la repose des zips .....	385
<b>Sources</b> .....	<b>395</b>
<b>Corpus d’étude</b> .....	<b>401</b>
A. Dessins de la Fondation Le Corbusier.....	402
B. Dessins de la collection du Mnam-CCI, Centre Pompidou .....	404
C. Dessins de la collection du MoMA .....	410
D. Dessins de la collection de la Cité de l’architecture et du patrimoine.....	411
<b>Bibliographie</b> .....	<b>413</b>
<b>Table des illustrations</b> .....	<b>423</b>
A. Table des figures.....	424
B. Table des graphiques.....	432
C. Table des tableaux.....	434