



**HAL**  
open science

## La restauration des livres et documents endommagés par le feu : nouveaux matériaux et nouvelles méthodes, le projet CREMIB

Melania Zanetti, Cecilia Rossi, Renzo Bertoncello, Anne-Laurence Dupont,  
Alfonso Zoleo, François Bougard

### ► To cite this version:

Melania Zanetti, Cecilia Rossi, Renzo Bertoncello, Anne-Laurence Dupont, Alfonso Zoleo, et al.. La restauration des livres et documents endommagés par le feu : nouveaux matériaux et nouvelles méthodes, le projet CREMIB. *La Revue de la BNU, Bibliothèque nationale et universitaire de Strasbourg*, 2020, Sauver, Conserver, Restituer, 21 (53-59). halshs-02907200

**HAL Id: halshs-02907200**

**<https://shs.hal.science/halshs-02907200>**

Submitted on 30 Dec 2021

**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.

LA  
**REVUE**  
DE LA  
**BNU**

Bibliothèque nationale  
et universitaire de Strasbourg

**Sauver  
conserver  
reconstituer**



## SOMMAIRE

### SAUVER – CONSERVER – RECONSTITUER

#### DESTRUCTION ET SAUVETAGE

- 09 La bibliothèque en Occident : esthétique de la destruction  
→ par Frédéric Barbier
- 19 La bibliothèque de l'Institut d'archéologie de Beyrouth  
dans la guerre du Liban  
→ par Frédéric Alpi
- 29 Florence 1966 : histoire de l'inondation, l'inondation  
dans l'histoire  
→ par Carlo Federici
- 39 À propos du projet *BibliOdyssees* : l'odyssée  
des livres sauvés (2019) au musée de l'Imprimerie  
et de la Communication graphique  
→ par Joseph Belletante

#### RESTAURATION, RESTITUTION

- 43 La préservation matérielle des monuments de l'écrit :  
une histoire à construire  
→ par Lucie Moruzzis
- 53 La restauration des livres et documents endommagés  
par le feu : nouveaux matériaux et nouvelles méthodes,  
le projet CREMIB  
→ par Melania Zanetti et al.
- 61 La survie improbable : les livres sauvés par leur matérialité  
→ par Malcolm Walsby
- 71 Des archives au secours d'un manuscrit, ou comment détruire  
un document pour en sauver un autre  
→ par Luana Quattrocelli

#### RECONSTITUTION ET MÉMOIRE

- 75 L'odyssée des manuscrits de la mer Morte : des fragments  
au « deep learning »  
→ par David Hamidovic
- 83 Une reconstitution vraiment virtuelle de la bibliothèque  
de Montaigne  
→ par Marie-Luce Demonet
- 95 Bibliissima et la reconstruction des bibliothèques anciennes :  
ses méthodes, ses données, ses outils et ses rêves  
→ par Anne-Marie Turcan-Verkerk

#### L'OBJET

Blessés de guerre  
→ par Daniel Bornemann

#### L'INÉDIT

La « dédicacite »  
→ par Natacha Galpérine-Gillès de Pélichy

#### PORTFOLIO

L'œil du peintre et la guerre de 1870  
→ par Christophe Didier

#### Nouvelles acquisitions patrimoniales

#### Actualités scientifiques

### La Revue de la BNU est une publication de la Bibliothèque nationale et universitaire de Strasbourg. Elle paraît deux fois dans l'année.

Directeur de la publication  
Alain Colas

Rédacteur en chef  
Christophe Didier

Comité de rédaction  
Daniel Bornemann, Christophe Didier,  
Claude Lorentz, Emmanuel Marine,  
Jérôme Schweitzer, Catherine Soulé-  
Sandic, Madeleine Zeller

Graphisme  
brokism + médiapop

#### AUTEURS

Frédéric Alpi  
Chercheur à l'Institut français du  
Proche-Orient (Ifpo) - UMFRE 6 /  
USR 3135

Frédéric Barbier  
Directeur de recherche (ém.)  
au CNRS, directeur d'études (ém.)  
à l'EPHE

Joseph Belletante  
Directeur du musée de l'Imprimerie et  
de la Communication graphique, Lyon

Renzo Bertonecello  
Université de Padoue, Département des  
sciences chimiques

Daniel Bornemann  
Conservateur à la Direction de  
la conservation et du patrimoine,  
Bibliothèque nationale et universitaire

François Bougard  
Institut de recherche et d'histoire  
des textes (IRHT), Paris

Christophe Didier  
Délégué à l'action scientifique et aux  
relations internationales, Bibliothèque  
nationale et universitaire

Marie-Luce Demonet  
Professeur émérite, Université  
de Tours

Anne-Laurence Dupont  
Centre de recherche sur la conservation  
(CRC), Muséum national d'histoire  
naturelle, Paris

Carlo Federici  
Professeur de conservation des livres et  
des documents d'archives, Université  
Ca' Foscari, Venise

Natacha Galpérine-Gillès  
de Pélichy  
Cheffe du bureau des affaires générales,  
DRAC d'Île-de-France - CRMH

Gisella Guasti  
Conservatrice honoraire de la section  
de conservation, Bibliothèque nationale  
de Florence

David Hamidovic  
Professeur ordinaire (chaire « Littérature  
apocryphe juive et histoire du judaïsme  
dans l'Antiquité »), Université de Lausanne

Claude Lorentz  
Conservateur à la Direction de la conser-  
vation et du patrimoine, Bibliothèque  
nationale et universitaire

Lucie Moruzzis  
Relieur-conservateur / restaurateur  
de livres et documents graphiques,  
Archives nationales de France, Paris

Philippe Olivier  
Historien et biographe de Jean Kahn

Luana Quattrocelli  
Maître de conférences en grec ancien,  
Université de Strasbourg

Cecilia Rossi  
Université de Padoue, Département des  
biens culturels : archéologie et histoire  
de l'art, cinéma et musique

Anne-Marie Turcan-Verkerk  
Directrice d'études à l'École Pratique  
des Hautes Études

Malcolm Walsby  
Professeur d'histoire du livre, directeur  
du Centre Gabriel Naudé, Enssib -  
Université de Lyon

Melania Zanetti  
Restauratrice de livres et de documents  
sur papier, Université de Padoue,  
Département des sciences chimiques

Alfonso Zoleo  
Université de Padoue, Département  
des sciences chimiques

RUBRIQUE ACTUALITÉS  
SCIENTIFIQUES  
Catherine Soulé-Sandic,  
Madeleine Zeller (Bnu)

#### TRADUCTIONS

Thierry Aubry, Christophe Didier,  
Hancock Hutton Langues Services,  
Luana Quattrocelli

#### Revue éditée par

Bibliothèque nationale  
et universitaire de Strasbourg

6, place de la République  
67000 Strasbourg  
Tél. 03 88 25 28 07  
contact@bnu.fr

ISSN : 2109 - 2761  
ISBN : 9782859230821  
Dépôt légal : mai 2020

#### Impression

Bialec Imprimerie SA

#### Diffusion

Fondation Maison  
des sciences de l'homme

#### Couverture

Kálmán Gádorjáni Szabó, fresque  
de la Haute École calviniste de Debrecen  
en Hongrie (1938). Cliché Róbert Oláh ;  
© Collège réformé, Debrecen



Chartres, médiathèque L'Apostrophe.  
Manuscrit en papier endommagé par le feu en 1944

# La restauration des livres et documents endommagés par le feu : nouveaux matériaux et nouvelles méthodes, le projet CREMIB

↓  
 PAR MELANIA ZANETTI, CECILIA ROSSI, RENZO BERTONCELLO,  
 ANNE-LAURENCE DUPONT, ALFONSO ZOLEO, FRANÇOIS BOUGARD

(TRADUCTION FRANÇAISE HANCOCK HUTTON, RÉVISION THIERRY AUBRY ET CHRISTOPHE DIDIER)

**L**es bâtiments abritant d'anciennes collections de livres et de documents sur papier ont de tout temps subi des incendies dont l'impact est souvent désastreux. C'est notamment le cas des bibliothèques et des archives « victimes » de conflits armés. Une grande partie du patrimoine écrit endommagé par les bombardements de la Seconde Guerre mondiale a ainsi été abandonnée à son triste sort, au point de ne plus pouvoir être consultée ni même manipulée. Au cours des dernières décennies, des protocoles d'intervention ont vu le jour pour les documents sur parchemin, grâce à l'expérience acquise lors de l'incendie de la Bibliothèque nationale de Turin en janvier 1904, lorsque pour la première fois dans l'histoire de la restauration des livres, des bibliothécaires, des scientifiques et des restaurateurs ont uni leurs forces pour contribuer, avec une approche plus consciente, au sauvetage des manuscrits en parchemin détériorés<sup>1</sup>.

Cependant, le problème est encore loin d'être résolu pour le patrimoine écrit sur papier endommagé par le feu. La priorité donnée à la restauration de docu-

ments sur parchemin tient en effet à deux facteurs au moins. D'une part, les textes rédigés sur parchemin sont les plus anciens : le papier n'est devenu d'usage courant qu'à partir du 14<sup>e</sup> siècle, alors que le parchemin a commencé à remplacer le papyrus dès les 3<sup>e</sup> et 4<sup>e</sup> siècles. De ce fait, les manuscrits et documents en parchemin ont toujours été considérés comme plus précieux que leurs homologues sur papier.

D'autre part, la structure protéinique du parchemin, produit à partir de la peau animale, réagit mieux que le papier aux dommages du feu, si importants ces derniers soient-ils. Bien que le parchemin puisse – comme c'est souvent le cas – se déformer, rétrécir et se rigidifier de manière irréversible, cette atteinte est moins grave que la carbonisation du papier, qui rend complexes les interventions de récupération. Les parties brûlées des papiers touchés par le feu sont en général très friables. Les traitements de restauration impliquant des matériaux et des techniques classiques – c'est-à-dire le renforcement des feuillets à l'aide d'adhésifs et le comblement des lacunes avec des papiers japonais – ont longtemps donné des résultats insatisfaisants. Les zones carbonisées étaient en général considérées comme

irrécupérables et, de ce fait, supprimées. Aujourd'hui, ce point de vue doit changer radicalement en prenant en compte le fait que ces parties, situées généralement au bord des feuilles, peuvent aussi comporter du texte et que les informations contenues peuvent être lues en recourant à des techniques d'imagerie hyperspectrale et numérique à rayons X.

### — Le projet CREMIB

Le projet CREMIB, consacré aux papiers brûlés d'une grande fragilité, est une étude multidisciplinaire qui s'étend sur trois ans (2019-2021) et vise à développer des solutions innovantes pour leur restauration et leur consultation. L'acronyme CREMIB signifie « Conservation et restauration des manuscrits et des incunables brûlés », et l'étude implique l'Institut de recherche et d'histoire des textes (IRHT), le Muséum national d'histoire naturelle (MNHN), tous deux basés à Paris, ainsi que l'Université de Padoue en Italie. Le projet est soutenu financièrement par le DIM (Domaine d'intérêt majeur) « Matériaux anciens et patrimoniaux », un réseau de recherche soutenu par le Conseil régional d'Île-de-France. Le DIM a pour vocation de favoriser la coopération entre des établissements dotés de connaissances complémentaires, ainsi que de développer de nouvelles collaborations scientifiques dédiées à la recherche sur des aspects essentiels du patrimoine culturel et scientifique.

Le projet CREMIB prévoit trois axes d'études : le premier est la recherche historique qui se penche sur la problématique des livres et des documents brûlés dans les archives et les bibliothèques, ainsi que l'état d'avancement des activités en cours mises en place pour leur préservation.

Le deuxième axe porte sur les considérations éthiques. À partir des années 1980, des réflexions théoriques et méthodologiques dans le domaine de la conservation et de la restauration du patrimoine culturel écrit ont commencé à voir le jour. Une importance croissante a été accordée à la nécessité de sauvegarder les matériaux d'origine, ainsi qu'au savoir-faire artisanal employé pour fabriquer ces livres et documents anciens. Dans ce contexte, l'intervention de restauration doit être aussi minime que possible, car seules des

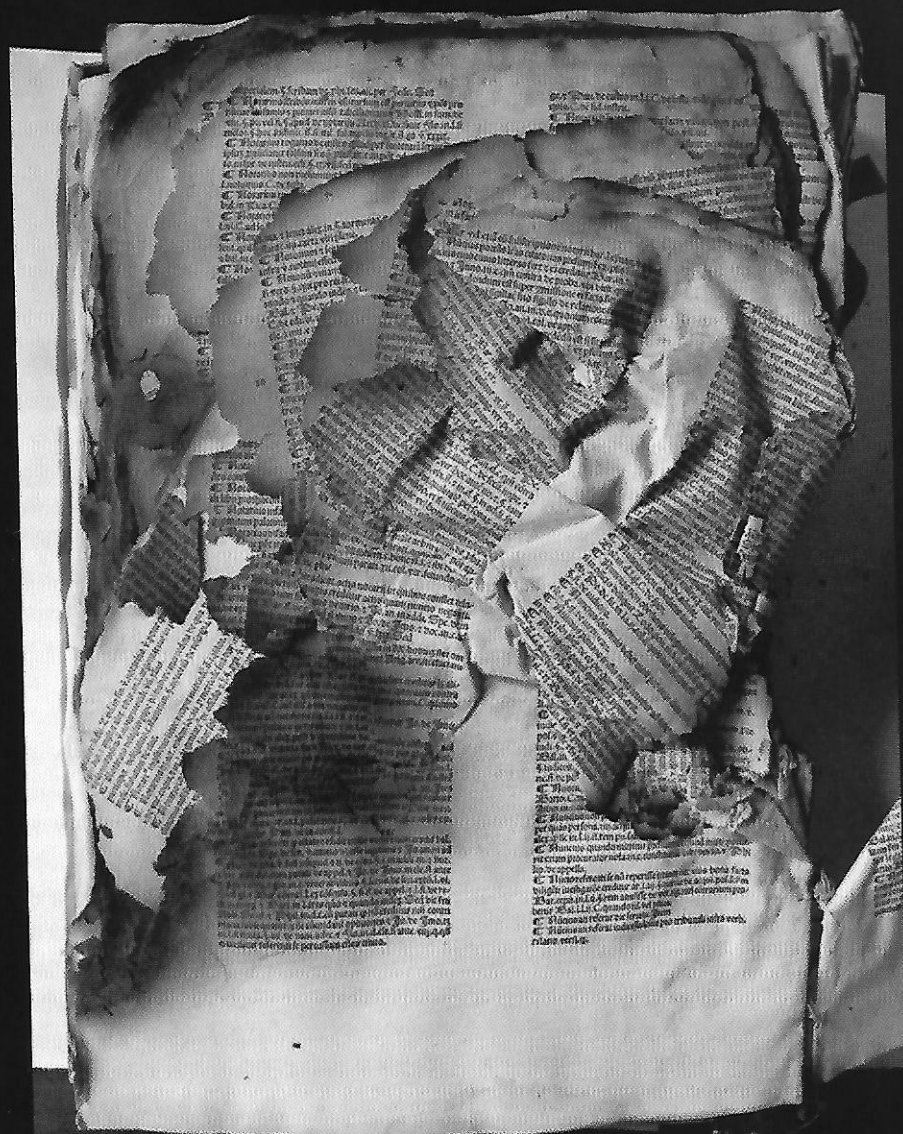
techniques non invasives peuvent éviter, ou du moins limiter, l'altération des innombrables détails des informations – qui ne sont souvent pas perceptibles immédiatement à l'œil nu – contenues dans un objet ancien.

Il est néanmoins compréhensible qu'il faille revoir ces principes lorsque le patrimoine culturel a été gravement endommagé par un incendie. Dans ce cas, les altérations des matériaux constitutifs sont si importantes et les artefacts sont dans un tel état de délabrement que la priorité revient à la sauvegarde des éléments textuels. Le caractère réversible des matériaux et des produits utilisés dans le traitement de restauration, leur propre processus de vieillissement, leur influence sur le vieillissement des artefacts d'origine et, de manière plus générale, le protocole d'intervention font l'objet d'une évaluation au cas par cas.

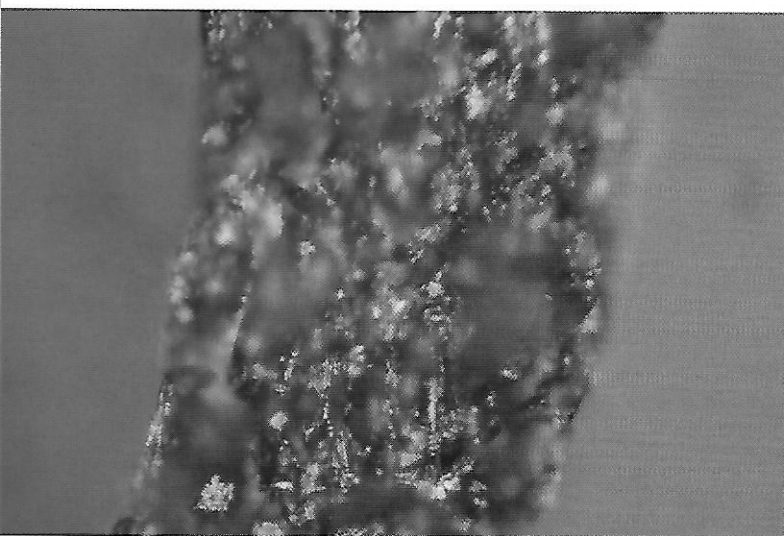
Le troisième axe du projet CREMIB porte sur le développement de nouveaux matériaux et méthodes pour la restauration du patrimoine écrit endommagé par le feu. Il est crucial que les matériaux/produits/techniques utilisés permettent une manipulation sûre des feuilles, tout en augmentant leur résistance mécanique aux sollicitations, sans compromettre pour autant les informations destinées à être recueillies par des techniques de fluorescence des rayons X et d'imagerie hyperspectrale.

Au cours des dernières décennies, les nanotechnologies ont apporté une contribution importante aux questions de restauration du patrimoine culturel. Elles ont permis d'empêcher la dégradation de différents types d'artefacts, des peintures murales et rupestres aux documents à base de cellulose comme les toiles, le bois et le papier<sup>2</sup>. Dans le cadre de la conservation de papiers, les hydrogels chimiques nanostructurés sont de plus en plus utilisés pour le nettoyage humide des documents graphiques sensibles à l'eau, tandis que les suspensions de nanoparticules d'hydroxydes alcalins permettent de neutraliser l'acidité de la cellulose plus efficacement que les solutions utilisées traditionnellement<sup>3</sup>.

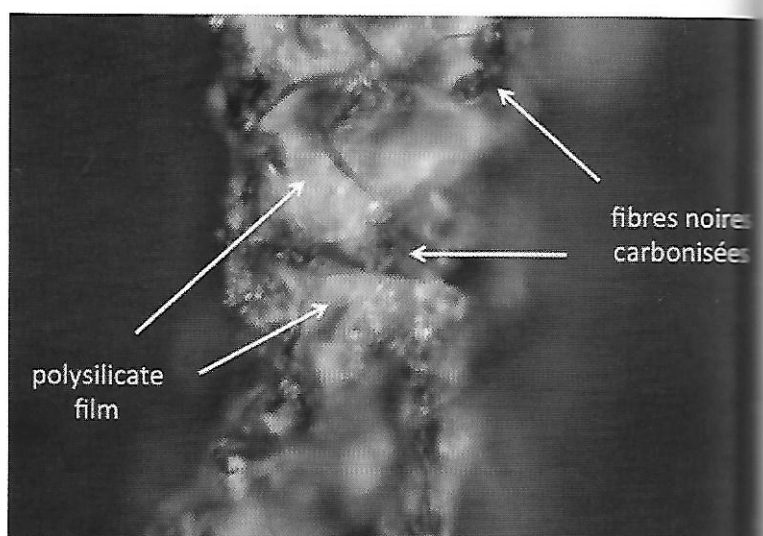
Les matériaux nanostructurés possèdent des propriétés particulières : du fait de leur petite taille (entre 1 et 100 nanomètres), les particules pénètrent en profondeur dans le papier et assurent une distribution homogène du matériau nanostructuré. De plus, la taille réduite des particules implique une surface spécifique plus importante que celle des matériaux classiques, ainsi qu'une meilleure réactivité chimique. À partir de



Padoue, bibliothèque du Séminaire épiscopal.  
Incunable endommagé par les bombardements en 1944



Coupe d'un papier brûlé (image au microscope optique, x20).  
Les fibres carbonisées sont uniformément noires



Coupe du même papier brûlé (image au microscope optique, x5).  
Les fibres noires carbonisées sont enduites de matrice polysilicate  
pour rétablir la liaison entre les fibres

cette approche innovante, le projet CREMIB étudie les nanocomposites à matrice polymère (produits durables et non toxiques) pour renforcer, mais aussi protéger les zones fragilisées par le feu.

### — Le patrimoine culturel concerné

Des papiers anciens brûlés sont et ont été utilisés dès les prémices du projet CREMIB, dans sa partie expérimentale, aux côtés d'échantillons brûlés par différents moyens, réalisés dans du papier manufacturé pour le projet. Les papiers historiques proviennent, eux, de la médiathèque L'Apostrophe à Chartres et de la bibliothèque du Séminaire épiscopal de Padoue, dont les collections ont été endommagées par les flammes en 1944.

La bibliothèque municipale de Chartres – qui renferme des centaines de manuscrits médiévaux témoignant de l'histoire de la célèbre école de la cathédrale, des cartulaires et des documents d'archives – a été entièrement détruite par les bombardements, entraînant la perte de la moitié de son patrimoine écrit. Depuis lors et jusqu'à ce jour, une partie considérable des manuscrits en parchemin a pu être récupérée progressive-

ment pour subir des traitements de restauration, avant de faire l'objet – à partir des années 2000 – d'études scientifiques et de reproductions numériques<sup>4</sup>. En revanche, peu d'efforts ont été déployés pour conserver les manuscrits et les documents d'archives sur papier, qui constituent des unicas et des documents essentiels pour reconstruire le contexte social, économique et culturel de la région au fil des siècles (voir ill. p. 52).

La bibliothèque du Séminaire épiscopal de Padoue a également été victime des bombardements au cours de la même année 1944. Des incunables ont été réduits en blocs compacts susceptibles de se désagréger, qui ne pouvaient plus être étudiés et ont été mis de côté dans l'attente d'interventions ultérieures (voir ill. p. 55)<sup>5</sup>. Les feuilles brûlées, cassantes, jaunies et noircies présentent des zones carbonisées, notamment le long des marges, qui comportent souvent du texte imprimé ou manuscrit. Les marges, étant plus exposées aux flammes, sont devenues tellement fragiles qu'elles risquent de partir en miettes au moindre mouvement de la page, voire au moindre contact.

Que se passe-t-il lorsque du papier est exposé au feu ? Quels sont les résidus du processus de combustion ? Il est clair que l'exposition au feu a toujours des répercussions délétères sur le papier, dont l'étendue



dépend toutefois de la température et de la durée d'exposition. Le papier est un matériau organique, constitué d'un réseau de fibres de cellulose et d'une certaine quantité d'eau. L'eau agit comme un lubrifiant dans les fibres. Elle s'intercale entre elles et forme des liaisons hydrogènes permettant le mouvement des fibres les unes par rapport aux autres, ce qui confère toute sa souplesse au papier. La quantité d'eau contenue dans ce dernier joue un rôle essentiel : tandis qu'un excès d'eau rend la feuille molle et humide, un manque entraîne la rigidification et la fragilisation du papier. Il est notoire que le papier exposé à une température élevée perd ses propriétés physico-chimiques, en particulier mécaniques ; quand elle s'élève encore, des réactions de déshydratation ont lieu dans la cellulose, entraînant une perte des groupes hydroxyles, nécessaires aux liaisons hydrogènes dans et entre les fibres. Ce processus est responsable de la fragilisation, du jaunissement ou du noircissement du papier. À plus forte température (à partir d'environ 185-190 °C), une combustion peut se produire, provoquant la destruction de la cellulose par oxydation. Un processus de combustion complète conduit à la transformation de la cellulose en dioxyde de carbone et en eau, détruisant le matériau complètement. Il va sans dire que les feuilles de papier brûlées éligibles aux traitements ne se trouvent pas dans ce dernier état.

Les documents de Chartres et de Padoue occupent une place essentielle au sein du projet CREMIB. Ils nous permettent d'analyser la composition de feuillets anciens et d'étudier le déroulement du processus de dégradation provoqué par le feu, d'étudier aussi comment la présence d'additifs papetiers, comme les colles entrant dans la composition du feuillet, peuvent affecter le processus.

### — Développement du projet

L'objectif consistant à récupérer le contenu des documents endommagés (textes et images) ne peut être atteint sans la contribution des sciences naturelles et plus particulièrement de la chimie et de la physique, dont l'approche analytique apporte des réponses scientifiques aux questions relatives aux traitements de restauration.

La première partie du travail expérimental porte sur des échantillons de papier brûlés artificiellement

à l'aide de méthodes naturelles (feu et chaleur sans flamme) ou chimiques (acide sulfurique, puis chaleur sans flamme). Les échantillons sont issus de feuilles en papier vergé fabriquées de manière artisanale par une papeterie traditionnelle située en France<sup>6</sup> et répondant à un cahier des charges précis en termes de composition (70 % de chanvre, 30 % de lin), de grammage (100 g/m<sup>2</sup>) ou encore de charges alcalines (carbonate de calcium). Nous travaillons simultanément avec des échantillons qui ne sont pas collés, tandis que nous en préparons d'autres avec de la gélatine (type B, origine bovine, 250 degrés Bloom), les feuilles de papier ancien artisanal étant en général encollées à la gélatine. Ce mode opératoire permettra d'étudier l'influence de la gélatine sur les propriétés du papier, notamment sa réaction aux processus de dégradation et de combustion.

Différentes méthodes de combustion ont été utilisées pour provoquer la carbonisation du papier, à commencer par une méthode chimique, au cours de laquelle les échantillons ont été imbibés d'une solution d'acide sulfurique (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> à 0,5 M), puis chauffés à l'aide d'un pistolet à air chaud (400 °C). Il s'agit de la méthode la plus simple pour obtenir une combustion homogène. Cependant, les résidus d'acide sulfurique induisent des pH<sup>7</sup> très acides, contrairement aux valeurs du pH des manuscrits et des incunables brûlés de Chartres et de Padoue (qui se situent autour de pH 7), entraînant une modification de l'état du papier susceptible d'altérer les observations expérimentales.

Un meilleur résultat a pu être obtenu en exposant les échantillons à une flamme pour provoquer le brunissement progressif du papier jusqu'à production de fragments brûlés. Ce mode opératoire présente cependant un écueil : il provoque la perte des parties brûlées des échantillons qui tendent à se dégrader de manière irréversible.

Pour des résultats plus proches d'une combustion naturelle par le feu, l'équipe est en train d'élaborer une méthode de combustion sans flamme sur une plaque chauffante (185 °C et 220 °C, 30 minutes), qui lui permet d'observer les changements subis par le papier en fonction de la température et de la durée d'exposition. Des échantillons gravement brûlés sont produits sans adjonction de produits chimiques. Des mesures du pH et des techniques de spectroscopie ont permis d'analyser les échantillons de papier brûlé obtenus à l'aide des différentes méthodes.

Les données ont été comparées à celles acquises sur de véritables fragments de manuscrits et d'incunables brûlés de Chartres et de Padoue.

Avant tout traitement de restauration, on procède à la caractérisation des échantillons de papier brûlé par spectroscopie infrarouge de réflexion totale atténuée (ATR-FTIR), spectroscopie UV-visible (UV-Vis) et diffractométrie de rayons X (DRX), afin d'identifier les composants chimiques présents dans les échantillons, tandis que la microscopie optique est utilisée pour étudier la structure des fibres à l'intérieur et à proximité des zones carbonisées. D'autres techniques analytiques vont être utilisées, telles que la spectrométrie photo-électronique X (XPS) pour caractériser la surface des échantillons, une analyse par combustion pour évaluer la composition en C (carbone), H (hydrogène) et O (oxygène) des zones brûlées, la microscopie électronique à balayage (SEM) couplée en spectrométrie de rayon X à dispersion d'énergie (EDS) pour découvrir la structure de chaque fibre et cartographier sa composition élémentaire, et la chromatographie d'exclusion stérique (SEC) pour évaluer le DP (degré de polymérisation) de la cellulose et la distribution des masses molaires.

Lors de la deuxième phase de l'expérimentation, les zones brûlées des échantillons seront traitées afin d'améliorer leurs performances mécaniques. Nous testons des nanocomposites à matrice polymère, à base d'alcoxy-silanes  $\text{Si}(\text{OR})_n$  ou d'autres siloxanes, avec des dispersions de nanocellulose pour créer des films transparents et résistants permettant de renforcer la surface des papiers brûlés. La nanocellulose étant produite à partir de la cellulose, elle est parfaitement compatible avec cette dernière. Elle possède les propriétés des matériaux nanostructurés mentionnées ci-dessus, ainsi que des qualités optiques (transparence) et mécaniques (souplesse et résistance à la traction) très recherchées.

La cellulose microfibrillée (MFC) et les nanocristaux de cellulose (NCC) seront soumis à essai. La MFC s'obtient par une action mécanique qui provoque la décomposition des fibres de cellulose en microfibrilles, qui sont longues, fines et souples ; elle peut adhérer rapidement aux groupes hydroxyles de la cellulose résiduelle, c'est-à-dire la cellulose encore présente dans le papier partiellement brûlé. Les NCC, produits par un procédé chimique et mécanique aussi, assurent une résistance et une rigidité élevées, susceptibles d'améliorer la souplesse

et la résistance à la traction du revêtement en alcoxy-silane  $\text{Si}(\text{OR})_n$ . Lorsqu'il entre en contact avec de l'eau, le composé  $\text{Si}(\text{OR})_n$  se transforme en une fine couche de silice ( $\text{SiO}_2$ ) pure.

La protection conférée par les polymères alcoxy-silanes est déjà appréciée dans le domaine de la restauration (en particulier pour les artefacts en pierre, en verre ou en métal installés en extérieur) pour sa résistance à la dégradation chimique et son vieillissement<sup>8</sup>. Elle a également fait l'objet d'études, mais l'expérience acquise au sujet de son application sur des documents en papier est très limitée. La distribution en surface au moyen d'une brosse ou de la pulvérisation d'un aérosol de nanocellulose et d'alcoxy-silanes (ou autres siloxanes) devrait recouvrir le papier brûlé et former un film fin et élastique. L'amélioration de la cohésion et de la résistance mécanique des zones traitées devrait permettre la manipulation des feuilles endommagées et éviter tout risque d'aggravation de leur état. De plus, ce film est très transparent, une propriété qui doit être prise en compte : les textes des manuscrits de Chartres tout comme des incunables de Padoue – ainsi que d'autres ouvrages et documents endommagés lors d'incendies dans des archives et des bibliothèques à travers le monde – s'étendent en général jusque sur les bords carbonisés. Il convient que ces produits ne nuisent pas à l'accessibilité ni à la lecture du texte, ni n'empêchent la récupération des informations susceptibles d'être sauvées par les techniques innovantes de spectroscopie envisagées.

Comme la réussite des trois années de recherche dépend des résultats du traitement de restauration des incunables brûlés appartenant à la Médiathèque de Chartres et à la bibliothèque du Séminaire épiscopal de Padoue, les conditions les plus propices à l'application du revêtement de NCC/MFC/polysilicate (ou polysiloxanes) en termes de concentration, d'uniformité de distribution, de pénétration ou de nombre de couches de film seront évaluées. Les propriétés du revêtement – mécanique (résistance à la traction, au pliage et au déchirement), optique (transparence des couches et variations colorimétriques) et chimique, ainsi que leur stabilité physico-chimique (résistance à des cycles de vieillissement accélérés simulant les variations de température/d'humidité et résistance au vieillissement à la lumière) – seront soumises à essai afin d'élaborer et d'appliquer un protocole d'intervention sur les documents brûlés.

L'association de recherches humanistes et scientifiques et de compétences techniques constitue un objectif ambitieux, mais celui-ci est essentiel pour assurer la transmission de notre patrimoine culturel aux générations futures.

## NOTES

- 1— Le responsable de la bibliothèque du Vatican, Franz Ehrle, le docteur Piero Giacosa, le chimiste Icilio Guareschi et certains restaurateurs de livres de la bibliothèque du Vatican et de la Bibliothèque universitaire de Turin furent les principaux acteurs de cette coopération interdisciplinaire.
- 2— Piero Baglioni, David Chelazzi, Rodorico Giorgi, *Nanotechnologies in the conservation of cultural heritage. A compendium of materials and techniques*, Springer Netherlands, 2015
- 3— Voir également : Melania Zanetti, Alfonso Zoleo, Luca Nodari, Maddalena Bronzato, « Ignatius of Loyola's Exercitia Spiritualia: spectroscopic monitoring and nanomaterials for an integrated conservation methodology on ink-degraded manuscripts », in *Manuscript cultures*, 11: 49-62, 2018
- 4— Le projet interdisciplinaire REMAC (À la REcherche des MANuscrits de Chartres, <https://www.manuscrits-de-chartres.fr>), lancé en 2005 par l'Institut de recherche et d'histoire des textes (IRHT), le Centre de recherche sur la conservation des documents graphiques (CRC) du Muséum national d'histoire naturelle et la médiathèque L'Apostrophe à Chartres vise à améliorer les traitements de restauration, la numérisation, l'identification/étude d'une partie des manuscrits sur parchemin endommagés en recourant à des techniques d'imagerie hyperspectrale. Une base de données en ligne réunissant les images numérisées et les résultats du projet est mise à la disposition de la communauté scientifique internationale. Voir également Dominique Poirel et Claudia Rabel, « Les manuscrits sinistrés de Chartres de l'incendie à l'hyperspectral. Histoire d'un projet », in A. Michelin, L. Robinet (éd.), *Les rescapés du feu. L'imagerie scientifique au service des manuscrits de Chartres*, Chartres, Société archéologique d'Eure-et-Loir (SAEL), 29-49, 2018. La conférence internationale *Chartres à Turin. Restauri e indagini sui manoscritti bruciati della Biblioteca municipale di Chartres e della Biblioteca Nazionale Universitaria di Torino* (Turin, 18 janvier 2019), organisée par l'IRHT, l'Université de Turin et la Bibliothèque nationale et universitaire de Turin a offert l'opportunité de comparer différentes expériences de récupération de manuscrits sur parchemin endommagés par les flammes.
- 5— Lilian Armstrong, Piero Scapecchi et Federica Toniolo, *Gli incunaboli della biblioteca del seminario vescovile di Padova: catalogo e studi*, Padova, Istituto per la storia ecclesiastica padovana, 2008 (Fonti e ricerche di storia ecclesiastica padovana ; 33)
- 6— Ruscombe Paper Mill (Margaux, France) fabrique un large éventail de papiers faits main au moyen de techniques traditionnelles (<http://ruscombepaper.com>).
- 7— Le pH, ou potentiel hydrogène, est une mesure de l'activité chimique des ions hydrogènes en solution, notamment en solution aqueuse. Le pH mesure l'acidité ou la basicité d'une solution. Ainsi, dans un milieu aqueux à 25 °C, une solution de pH de 7 est dite neutre, une solution de pH inférieure à 7 est dite acide (plus son pH diminue, plus elle est acide), et une solution de pH supérieure à 7 est dite basique (plus son pH augmente, plus elle est basique).
- 8— Voir à ce sujet : Renzo Bertonecello, Claudia Bortolussi, Michele Cecchin et Daniela Lattanzi, « Silica thin film synthesized by sol-gel process for the protection of outdoor artistic ceramic in architecture », in Valmar (éd.), *Science and Technology for the Safeguard of Cultural Heritage in the Mediterranean Basin*, Athènes, 2013  
Renzo Bertonecello, Laura Milanese, Jean-Claude Dran, Anne Bouquillon, Cinzia Sada, « Sol-gel deposition of silica films on silicate glasses: Influence of the presence of lead in the glass or in precursor solutions », in *Journal of Non-Crystalline Solids*, 352, 2006, p. 315-321  
Costanza Milani, Melanie L. Velo-Simpson, George W. Scherer, « Particle-modified consolidants: A study on the effect of particles on sol-gel properties and consolidation effectiveness », in *Journal of Cultural Heritage*, 8 (1), 2007, p. 1-6  
Barbara Dal Bianco, Renzo Bertonecello, Anne Bouquillon, Jean-Claude Dran, Laura Milanese, Stefan Roehrs, Cinzia Sada, Jean Salomon, Stefano Voltolina, « Investigation on Sol-gel Silica Coatings for the Protection of Ancient Glass: Interaction with Glass Surface and Protection Efficiency », in *Journal of Non-Crystalline Solids*, 354, 2008, p. 2983-2992  
Monica De Bardi, Herbert Hutter, Manfred Schreiner, Renzo Bertonecello, « Sol-Gel silica coating for potash-lime-silica glass: applicability and protective effect », in *Journal of Non-Crystalline Solids*, 390, 2014, p. 45-50