



**HAL**  
open science

## Restaurer des manuscrits inondés comportant des encres ferrogalliques : le cas d'un recueil d'écriture de Sébastien Gangneux le Jeune (1781-1783)

Isabelle Chavanne, Oulfa Belhadj, Thierry Aubry, Véronique Rouchon

### ► To cite this version:

Isabelle Chavanne, Oulfa Belhadj, Thierry Aubry, Véronique Rouchon. Restaurer des manuscrits inondés comportant des encres ferrogalliques : le cas d'un recueil d'écriture de Sébastien Gangneux le Jeune (1781-1783). Support Tracé, 2019, 19, pp.78-84. hal-04160351

**HAL Id: hal-04160351**

**<https://hal.science/hal-04160351>**

Submitted on 12 Jul 2023

**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.

# Restaurer des manuscrits inondés comportant des encres ferrogalliques : le cas d'un recueil d'écriture de Sébastien Gangneux le Jeune (1781-1783)

Isabelle Chavanne\*, Oulfa Belhadj\*, Thierry Aubry\*\*, Véronique Rouchon\*

## Le contexte

Le printemps 2016 a été marqué par une période de pluies exceptionnellement abondantes, qui ont conduit à des inondations dans plusieurs villes du Centre et du sud-est de l'Île-de-France. La rupture d'une berge du canal de Briare, provoquant la vidange de l'essentiel du bief de Montambert dans le cours du Loing, a particulièrement touché la ville de Montargis. L'eau a envahi les rues de la ville en quelques heures seulement, atteignant, en 24 heures, jusqu'à 2,5 mètres en certains endroits. Au cours de cette catastrophe, le

domicile de Monsieur et Madame Leloup, situé entre un bras du Loing et le canal de Briare a subi l'inondation de son rez-de-chaussée sur une hauteur d'environ 1 mètre. Ces deux retraités, membres de la Société d'Émulation de l'Arrondissement de Montargis, ont collecté tout au long de leur vie un nombre important de publications et d'ouvrages présentant un grand intérêt pour l'histoire locale. Leur bibliothèque, malheureusement placée au rez-de-chaussée, a donc été en partie immergée. Les rayonnages les plus fragiles se sont effondrés. D'autres, plus solides car en bois massif, ont tenu. La décrue s'est opérée en quelques jours.

\* Centre de recherche sur la conservation, USR3224, MNHN-CNRS-MC, Paris, France

\*\* Institut national du patrimoine, Aubervilliers, France

Un maximum de documents a pu être sauvé : ainsi, quatre-vingt-dix cartons contenant chacun environ 30 à 40 ouvrages ont été déplacés vers le premier étage. Chaque étagère a été numérotée de manière à identifier le contenu des cartons et à repérer l'emplacement des ouvrages. Certains d'entre eux ont été laissés à sécher à l'extérieur. D'autres ont été congelés.

Après ces événements, M. et Mme Leloup ont fait une donation de sept ouvrages, remarquables d'un point de vue historique, mais aussi particulièrement touchés par l'inondation. Ils ont été confiés aux Archives municipales de Montargis, chargées d'organiser leur restauration. Parmi ceux-ci, un recueil manuscrit (1781-1783) trouvé en 1968 dans le grenier d'une maison, à Saint-Gondon (Loiret), rassemble des exemples d'écriture, réalisés par Sébastien Gangneux le Jeune (1767-1835), maître écrivain juré à Saint Jean de Braye. Ce recueil témoigne d'une très belle calligraphie, caractéristique de la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle, et réalisée à l'aide d'une encre ferrogallique noire et d'une encre rouge (cinabre). Placé sur la partie haute d'une étagère en bois, le manuscrit n'a pas été immergé dans l'eau. Il a été toutefois largement humidifié comme pourrait l'être un document placé pendant une longue période au-dessus d'un bac d'eau, c'est-à-dire à 100 % d'humidité relative (HR). Environ cinq jours après la catastrophe, l'ouvrage, enveloppé dans un sac plastique noir, a été entreposé dans un congélateur domestique (-20° C). La restauration de cet ouvrage, transféré en septembre 2017 à l'Institut national du patrimoine à Aubervilliers, a motivé l'étude que nous présentons ici.

## La décongélation de l'ouvrage : une question épineuse

La décongélation de l'ouvrage constitue une première phase nécessaire à sa restauration. Elle comporte cependant quelques risques, liés en particulier aux phénomènes de migrations des encres ferrogalliques. En effet, ces encres, généralement constituées du mélange d'un sel de fer, d'extraits aqueux de noix de galle et de gomme arabique [Stijnman, 2006], présentent une certaine solubilité à l'eau [Reissland B., 1999]. Si un manuscrit se retrouve sous l'eau pendant une longue période, on peut estimer, si le corps d'ouvrage n'est pas trop serré, que le papier a été « lavé » et que les produits solubles présents dans les encres ont été lixiviés, ce qui limite considérablement le risque de leur migration dans le papier. En revanche, si un manuscrit se trouve juste au-dessus du niveau de l'eau, il subit une exposition à des niveaux élevés

d'humidité, proches de 100 % HR, qui sont susceptibles de provoquer une migration des produits solubles de l'encre autour et au verso des tracés. Cela engendre la formation d'auréoles plus ou moins visibles. Ces phénomènes, largement décrits dans la littérature [Rouchon V. *et al.*, 2009a, 2009b], ont, à plus ou moins long terme, une action délétère sur le papier. Ils accélèrent son brunissement (tout particulièrement au verso), sa fragilisation, et conduisent à l'apparition de fractures lorsque le document est manipulé. Cette altération est typiquement due à la présence de fer qui migre avec l'encre au cœur du papier. Il a été montré [Belhadj O. *et al.*, 2014a, 2014b] que la migration a lieu lorsque les documents sont exposés au-delà de 85 % d'humidité relative, ce qui a été le cas du manuscrit de Sébastien Gangneux le Jeune. Bien que le manuscrit, congelé, ne soit pas consultable, il y a fort à parier qu'une migration des produits solubles de l'encre ait eu lieu pendant la catastrophe. Du fait de la solidification de l'eau liquide en glace, cette migration a probablement été stoppée par la congélation. Toutefois, rien n'exclut qu'elle puisse avoir de nouveau lieu pendant la décongélation si le document est mouillé sans être lavé pendant cette phase.

Ce risque peut être limité par un séchage par lyophilisation, une opération qui consiste à placer le manuscrit sous vide pendant son réchauffement, de manière à sublimer la glace et éviter la présence d'eau liquide dans le papier<sup>1</sup>. L'accès à ces équipements par soustraction est compliqué, si bien que lorsqu'un nombre restreint d'ouvrages est concerné, leur décongélation est souvent réalisée dans les ateliers de manière empirique. Cela signifie qu'au cours de son réchauffement, le papier traversera une étape plus ou moins longue où il sera « mouillé », avant d'être séché. Il est possible que, lors de cette étape, les migrations d'encre se poursuivent, ce qui constitue un risque supplémentaire d'endommagement du support papier.

Le travail présenté ici vise à évaluer ce risque, en étudiant les aspects cinétiques de la migration des encres ferrogalliques. Il aborde les questions suivantes : peut-on considérer qu'après un certain temps d'exposition à 100 % d'HR, on atteint un état limite au-delà duquel il n'y a plus de migration possible ? Si oui, quel est l'ordre de grandeur de ce temps ? Si un document est exposé à 100 % d'HR pour une durée inférieure, doit-on considérer que la migration des encres puisse reprendre si le document est congelé puis décongelé de manière lente ?

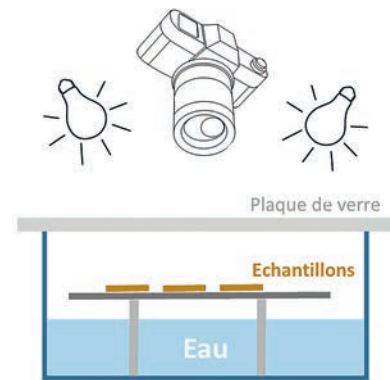
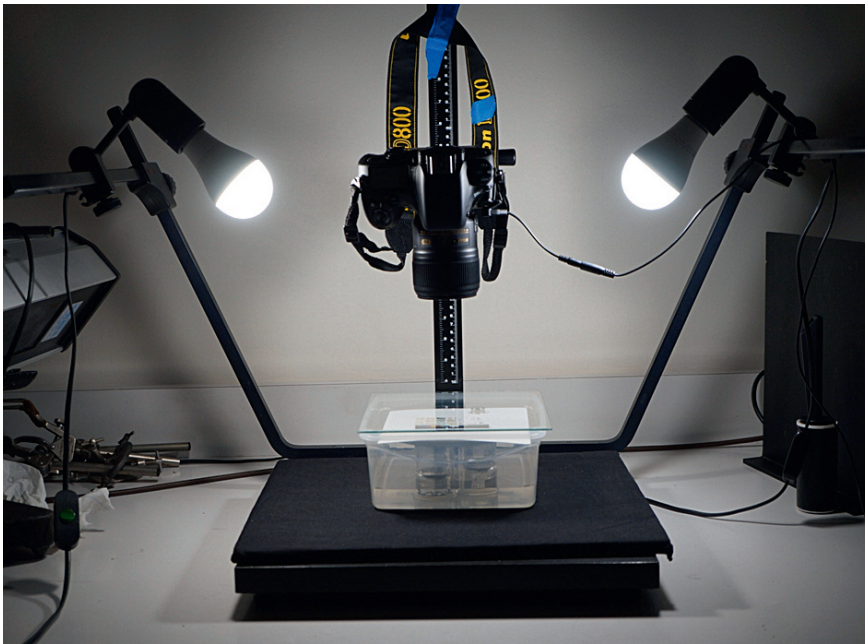


Figure 1. Vue générale (à gauche) et schéma (à droite) du montage utilisé pour suivre la cinétique de migration des encres à 100 % HR © CRC/Chavanne.

## Estimation du risque de migration au cours d'une opération de décongélation pendant laquelle le papier reste humide un certain temps

### Choix des échantillons

Comme il est bien évidemment impensable d'effectuer des tests destructifs sur du matériel de collection, ce sont des fragments de manuscrits sans valeur patrimoniale qui ont été utilisés. Parmi l'ensemble des échantillons testés au cours de précédentes études [Rouchon V. *et al.*, 2009a, 2009b], nous en avons sélectionné quatorze qui avaient donné lieu à des migrations significatives au cours des différents tests. Le test à la bathophénanthroline, pratiqué sur ces manuscrits, était largement positif, avec une couleur fushia très prononcée, témoignant d'une sensibilité importante des ions ferreux à l'eau [Neevel J. G. and Reissland B., 2005]. Sur chacun de ces documents, deux fragments d'environ 1-2 cm<sup>2</sup> ont été découpés pour chaque test afin d'observer, en temps réel, les migrations qui pouvaient avoir lieu respectivement au recto et au verso du tracé.

Ce jeu d'échantillons originaux a été complété par des éprouvettes de laboratoire, constituées de papiers pré-imprégnés de bathophénanthroline et portant une inscription à l'encre ferrogallique. Deux sortes d'éprouvettes ont été utilisées. La première correspond au « Dutch Mending Test » (DMT) et nous a été fournie par les concepteurs de ce test [Jacobi E. *et al.*, 2011, Belhadj O. *et al.*, 2014a, 2014b]. La seconde est une déclinaison de ce test, que nous avons réalisée au

laboratoire à partir d'un papier main 100 % lin, encollé à la gélatine puis marqué à l'encre ferrogallique à l'aide d'un tampon traçant à la fois des écritures et des lignes droites<sup>2</sup>.

### Suivi photographique des migrations

Les échantillons ont été placés sur un même intissé polyester, puis dans une boîte, dont le fond était rempli d'eau pour assurer une humidité relative de 100 % (fig. 1). Une plaque de verre couvre l'ensemble de manière à obtenir une certaine étanchéité de la boîte et une bonne visibilité des échantillons. Un thermohygromètre (hygrobuton, Proges-Plus), placé à côté des échantillons, permet de vérifier la montée de l'humidité relative. L'ensemble est placé sur un banc photographique et le suivi visuel des migrations est assuré par la prise d'un cliché par heure à compter de la fermeture de la boîte, étant entendu que l'équilibre 100 % HR s'obtient plusieurs heures après la fermeture de la boîte<sup>3</sup>.

### Impact de l'encollage à la gélatine sur les papiers tests

Nous avons dans un premier temps comparé la sensibilité à l'humidité des deux papiers tests imprégnés de bathophénanthroline en les plaçant ensemble dans la boîte humide. Sans surprise, pour ces deux types d'échantillons, des halos notables de teinte fushia sont observés après une exposition prolongée à 100 % HR, ce qui témoigne d'une migration d'ions fer II. Toutefois, à exposition égale, les migrations observées sur les papiers tests encollés à la gélatine sont moindres par rapport aux papiers-tests DMT, non encollés. Ceci est probablement dû à une forte interaction entre la géla-

tine et le fer, qui limite la migration de ce dernier. Pour la suite de notre travail, nous nous sommes donc limités aux papiers tests DMT car c'était eux qui présentaient les migrations les plus évidentes.

### Migrations observées sur les échantillons

Pour estimer si les migrations pouvaient atteindre une certaine limite au-delà de laquelle elles ne semblaient plus progresser, nous avons suivi sur une période de 4 jours, par des clichés photographiques, le comportement, dans la boîte à 100 % HR, du papier test DMT et des quatorze manuscrits originaux. Parmi ces derniers, beaucoup donnaient lieu à des migrations relativement subtiles à voir et quelques-uns seulement à des migrations flagrantes. De manière générale, les cinétiques de migration observées sur le papier test DMT et les échantillons originaux étaient assez similaires (fig. 2) : sur les échantillons les plus sensibles, la migration des encres devient visible à partir d'environ 10-15 heures après fermeture de la boîte. Les halos formés autour et au verso des inscriptions progressent ensuite pendant environ 24 heures, puis semblent se stabiliser. Cette durée de 10-15 heures nécessaire à l'apparition des premiers halos doit être prise en compte avec beaucoup de précautions, car les enregistrements thermo-hygométriques montrent que l'humidité relative ne progresse que lentement après fermeture de la boîte. Il faut environ 4 à 5 heures pour atteindre 90 % HR, puis 5 à 10 heures supplémentaires pour dépasser la barre des 95 % HR. L'estimation des 10-15 heures nécessaires pour la formation des premiers halos doit donc être considérée à la baisse et ne donne guère qu'un ordre de grandeur.

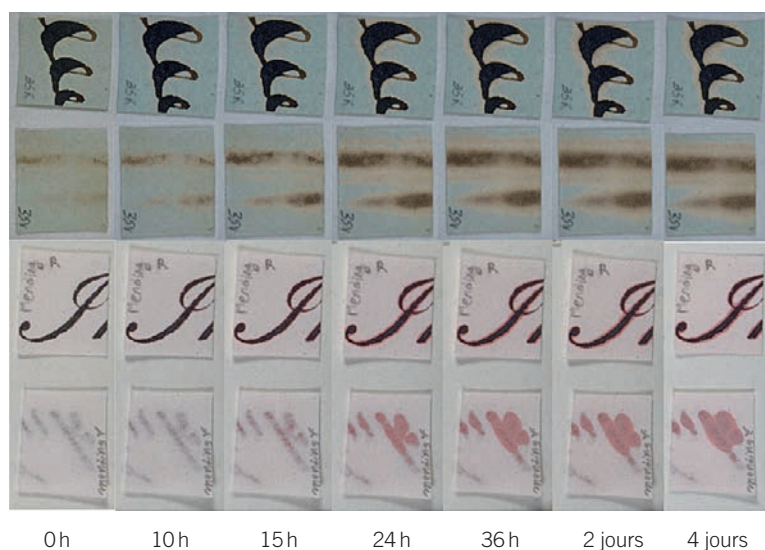


Figure 2. Suivi photographique au cours du temps des migrations observées, recto et verso, sur un manuscrit original sur papier bleu (partie haute) et sur le papier test DMT (partie basse) © CRC/Chavanne.

Elle indique que les migrations d'encres démarrent rapidement en quelques heures lorsque les documents sont exposés à de fortes humidités. En revanche, nos mesures montrent clairement qu'une fois la migration entamée, elle se poursuit sur environ 1 jour, puis atteint une sorte d'état limite.

Après ces quatre jours d'exposition, les échantillons ont été congelés à  $-20^{\circ}\text{C}$  pendant deux jours, puis ont été replacés dans la boîte à 100 % HR pendant 4 jours à température ambiante. Les clichés photographiques n'ont montré aucun changement d'aspect pendant cette seconde exposition. Ces observations indiquent que la migration du fer et des composés colorés de l'encre atteint, après 1 à 2 jours d'exposition à 100 % HR, une limite au-delà de laquelle le fait de congeler et de décongeler sans prendre de précaution particulière n'aura pas d'impact.

Des tests complémentaires ont été entrepris pour évaluer le comportement des échantillons lorsque la migration n'a pas encore atteint son seuil maximal. Pour cela, les manuscrits originaux et les papiers tests DMT ont été placés dans la boîte à 100 % HR pendant 15 heures, une durée suffisante pour amorcer la migration mais bien inférieure aux temps pour lesquels plus aucune progression n'est observée. Les échantillons ont ensuite été congelés à  $-20^{\circ}\text{C}$  pendant deux jours, puis ont été replacés dans la boîte pendant 4 jours. On constate que la congélation n'a pas d'impact sur l'aspect visuel des tracés. Cependant, une reprise de la migration du fer et des composés colorés est observée après décongélation. Elle est généralement subtile sur les échantillons originaux, mais flagrante sur les papiers test DMT (fig. 3).



Figure 3. Photographies prises sur un échantillon original (partie haute) et sur le papier test DMT (partie basse), avant (clichés de gauche), après séjour dans la boîte à 100 % pendant 16 heures (clichés du centre). À la suite de cela, les échantillons ont été congelés, puis placés à nouveau dans la boîte à 100 % HR pendant quatre jours (clichés de droite) © CRC/Chavanne.



## Le cas du manuscrit de Sébastien Gangneux le Jeune

### La décongélation du recueil

Le manuscrit de Sébastien Gangneux le Jeune a été exposé à de fortes humidités (certainement bien supérieures à 85 % HR) pendant 4 à 5 jours, un laps de temps largement suffisant pour permettre une migration maximale des encres ferrogalliques. Au regard du résultat des tests décrits précédemment, nous en sommes venus à la conclusion que le risque de migration additionnelle des encres au moment de la décongélation était mineur. La lyophilisation n'a donc pas été retenue et l'ouvrage a été décongelé à l'air libre.

La couverture est largement endommagée et d'une valeur bien moindre que celle du corps d'ouvrage. De plus, la technique du surjet utilisée pour constituer les dix-sept cahiers compromet sérieusement leur ouverture et la consultation du manuscrit. C'est pourquoi l'option de déposer la reliure, défaire la couture et reconstituer les cahiers du corps d'ouvrage par la pose de charnières a été retenue. Dans cette perspective, la décongélation de l'ouvrage a été organisée progressivement de manière à découdre les cahiers un par un. Après avoir gratté la couche de givre qui le recouvrait (fig. 4a), nous avons placé l'ouvrage entre deux papiers buvard et avons utilisé un sèche-cheveux pour accélérer la décongélation des plats tout en limitant celle du corps d'ouvrage (fig. 4b). Une fois les plats désolidarisés et le dos démonté, nous avons rapidement accédé aux premiers feuillets pour vérifier la tenue des rouges

(fig. 4c). De manière évidente, les rouges se sont reportés d'un feuillet à l'autre, mais ce report semble avoir eu lieu pendant l'inondation et non après la décongélation, comme en témoigne une photographie prise sur les premiers feuillets de l'ouvrage après la catastrophe, mais avant la congélation (fig. 5a-d). Une journée de travail étant insuffisante pour décongeler l'ensemble du volume, nous avons pris le parti de replacer ce qui restait du bloc texte au congélateur, à  $-20^{\circ}\text{C}$ , et de poursuivre notre travail le lendemain. Les feuillets du corps d'ouvrage ont alors été progressivement décousus (fig. 4d) en utilisant, de même que pour les plats, un buvard pour éponger l'eau liquide et un sèche-cheveux. Les feuillets, une fois détachés ont été mis à sécher entre feutres.

### Restauration après décongélation

Les feuillets, une fois séchés, témoignent d'une migration importante des encres ferrogalliques. La comparaison des écritures avec celles d'un cahier d'écriture du même auteur (1779 et 1780), mais non affecté par l'inondation car conservé par chance au premier étage du domicile inondé, montre que la plupart de ces migrations ont été provoquées par le dégât des eaux, de même que dans le cas des rouges des ornements qui décoorent le volume (fig. 5). Comme la migration des encres ferrogalliques constitue une forte menace pour la conservation à long terme de l'ouvrage, nous avons opté pour un traitement de stabilisation des encres par le phytate de calcium combiné à l'hydrogénocarbonate de calcium. Cette approche,

proposée dans les années 1990 [Neevel J. G., 1995], a, depuis, largement prouvé son efficacité [Botti L. *et al.*, 2005, Hennings U. et Potthast A., 2008, Rouchon V. *et al.*, 2011]. Compte tenu de la présence des rouges qui avaient une large tendance à se reporter sur tout médium placé au contact des feuillets, le traitement a été opéré par flottaison sur cadres de sérigraphie [Rouchon V. *et al.*, 2012]. À la suite de quoi les feuillets ont été séchés, puis ré-encollés à la gélatine (Gabi Kleindorfer, gélatine de qualité photographique Restoration 1, 30 g/L), avec, lorsque cela s'avérait nécessaire, un renforcement local ou généralisé par doublage, à l'aide d'un papier japon de 2 à 3.5 g/m<sup>2</sup> (fig. 5e). Des charnières, constituées d'un papier japon de grammage inférieur à celui du papier d'œuvre, ont été posées

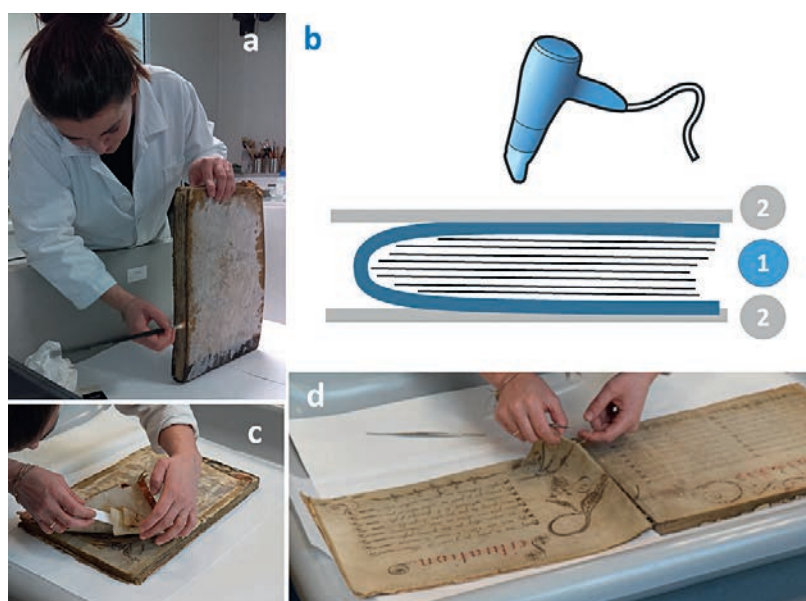


Figure 4. Décongélation du recueil : (a) grattage du givre – (b) utilisation d'un sèche-cheveux pour accélérer la décongélation de la partie extérieure du volume (1) placée entre deux buvards (2) – (c) et (d) démontage progressif des feuillets et du surjetage. © INP/Chavanne.

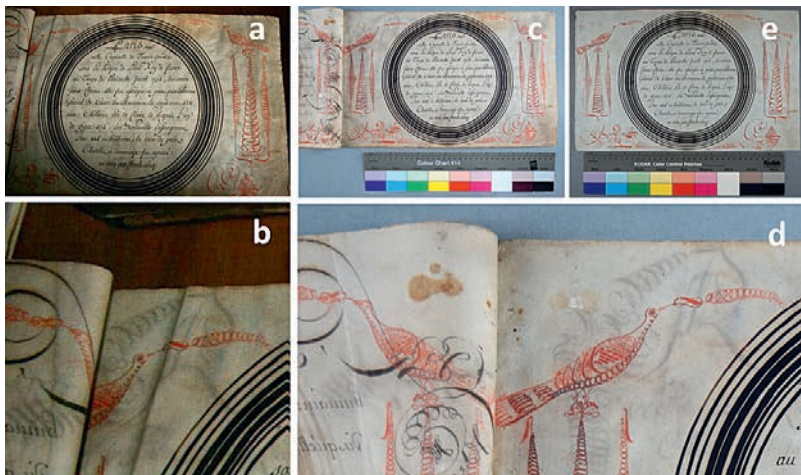


Figure 5. Aspect de l'intérieur du corps d'ouvrage avant congélation (a-b), pendant la décongélation (c-d) et après le traitement de restauration (e) © INP/Dequier.

pour constituer les fonds de cahiers, et une nouvelle reliure de conservation a été réalisée pour le recueil.

## Conclusion

Ce projet de restauration d'un recueil manuscrit congelé à la suite d'une inondation a posé un certain nombre de questions vis-à-vis du comportement des encres ferrogalliques. Le recueil n'avait pas été immergé dans l'eau, mais avait été exposé quatre à cinq jours à de très fortes humidités. Le papier avait été plus que largement humidifié avec un risque maximal de migration des encres ferrogalliques. Il s'agissait en particulier de savoir si la décongélation du manuscrit pouvait entraîner de nouvelles migrations d'encres compromettant encore davantage la conservation future du recueil. Ce travail, au cours duquel nous avons observé le comportement d'échantillons originaux et de papiers tests, nous a permis d'apporter plusieurs éléments de réponse à cette question. Tout d'abord, si l'exposition à une forte humidité est inférieure à deux jours, il y a un risque de reprise de migration qui doit être pris en compte au moment de la décongélation afin que des dégâts supplémentaires ne viennent pas s'ajouter à ceux des sinistres. Pour limiter ce risque, il est possible, par exemple, de recourir à la lyophilisation. Si l'exposition à un taux d'humidité élevée est supérieure à deux jours, ce risque est beaucoup plus limité et le document peut être décongelé et séché à l'air libre. Le recueil manuscrit de notre étude correspondait à ce deuxième cas de figure et a donc été décongelé selon une méthode simple aisément utilisable en atelier.

## Remerciements

Ce travail a été initié dans le cadre d'un mémoire de fin d'études au département des restaurateurs à l'Institut national du patrimoine (Aubervilliers, France). Il a ensuite été complété avec le soutien financier du Service du livre et de la lecture du ministère de la Culture. Nous tenons ici à remercier Mme Pascale Chaussy, responsable des Archives départementales de Montargis, qui a accepté de nous confier la restauration de ce manuscrit, M. et Mme Leloup pour avoir répondu à nos questions, M. Jacques Bréjoux, pour avoir accepté de fabriquer pour nous un papier pur chiffon

non encollé, et Meses Anne Genachte-Le-Bail et Maroussia Duranton, adjointes au laboratoire de l'Inp, pour avoir aidé à l'organisation de ce travail. Nous adressons également nos sincères remerciements à tous les professeurs et intervenants qui par leurs paroles, leurs écrits, leurs conseils et leurs critiques ont contribué à la réalisation de cette étude.

## Notes

1. La lyophilisation nécessite un équipement particulier capable de gérer les basses températures et les basses pressions auxquelles on soumet les ouvrages. Cela représente un investissement financier significatif et peu d'ateliers sont pourvus de cette technique. Les appareillages sont conçus pour traiter des volumes importants et sont généralement sollicités pour des opérations de traitement de masse.
2. Le papier a été fabriqué à partir de vieux draps de lin par le moulin du Verger (Puymoyen, Charente). Son encollage a été réalisé par immersion pendant 10 minutes dans un bain de gélatine (Gabi Kleindorfer, gélatine de qualité photographique Restoration 1, 30 g/L, 50° C). Le papier est ensuite suspendu pour séchage à température ambiante. La concentration de gélatine déposée dans le papier a été estimée à environ 7 % m/m. L'encre a été fabriquée selon la même recette que celle rapportée pour la conception du DMT [Jacobi E. *et al.*, 2011].
3. Le domaine de validité des hygromètres est généralement limité et ne permet pas de couvrir avec précision la gamme 95-100 % HR. Dans notre cas de figure, l'humidité affichée par le capteur augmente à la fermeture de la boîte pour se stabiliser, en moins d'une journée, à 97 %, ce qui, compte tenu de sa précision, correspond bien aux 100 % recherchés.

## Références Bibliographiques

- Belhadj O., Phan Tan Luu C., Jacobi E., Meslet-Struyve S., Vez S., Reissland B., Rouchon V., « The Dutch Fe-Migration Mending Test : Exploring Further Areas of Use », *Journal of Paper Conservation*, vol. 15, 2014a, p. 915.
- Belhadj O., Phan Tan Luu C., Jacobi E., Reissland B., Rouchon V., « Un Nouvel Outil pour évaluer le risque de migration d'encre ferrogalliques : possibilités et limites », *Support/Tracé*, n° 14, 2014b, p. 6167.
- Botti L., Mantovani O., Ruggiero D., « Calcium Phytate in the Treatment of Corrosion Caused by Iron Gall Inks: Effects on Paper », *Restaurator*, vol. 26, 2005, p. 4462.
- Henniges U., Potthast A., « Phytate treatment of metallo-gallate inks: investigation of its effectiveness on model and historic paper samples », *Restaurator*, vol. 29, 2008, p. 219234.
- Jacobi E., Reissland B., Phan Tan Luu C., Van Velzen B., Ligterink F., « Rendering the Invisible Visible », *Journal of Paper Conservation*, vol. 12, 2011, p. 2534.
- Neevel J. G., Reissland B., « Bathophenanthroline Indicator Paper », *PapierRestaurierung*, vol. 6, 2005 p. 2836.
- Neevel J.G., « Phytate : a Potential Conservation Agent for the Treatment of Ink Corrosion Caused by Iron Gall Inks », *Restaurator*, vol. 16, 1995, p. 143160.
- Reissland B., « Ink Corrosion Aqueous and Non Aqueous Treatment of Paper Objects – State of the Art », *Restaurator*, vol. 20, 1999, p. 167180.
- Rouchon V., Pellizzi E., Durocher B., Letouzey M., Stordiau-Pallot J., « Restauration de manuscrits comportant des encres ferrogalliques : les risques liés à l'apport d'eau ». *Support/Tracé*, vol. 9, 2009a, p. 90100.
- Rouchon V., Durocher B., Pellizzi E., Stordiau-Pallot J., « The Water Sensitivity of Iron Gall Ink and its Risk Assessment », *Studies in Conservation*, vol. 54, 2009b, p. 236254.
- Rouchon V., Pellizzi E., Duranton M., Vanmeert F., Janssens K. « Combining Xanes, ICP-AES and SEM/EDS for the study of phytate chelating treatments used on iron gall ink damages manuscripts », *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, vol. 26, 2011, p. 24342441.
- Rouchon V., Desroches M., Duplat V., Letouzey M., Stordiau-Pallot J., « Methods of Aqueous Treatments: the last resort for Badly Damaged Iron Gall Ink Manuscripts », *Journal of Paper Conservation*, vol. 13, 2012, p. 713.
- Stijnman A., « Iron Gall Inks in History: Ingredients and Production ». In *Iron Gall Inks : on Manufacture, Characterisation, Degradation and Stabilisation*. Kolar J., Strlic M., éditeurs. Ljubljana: National and University Library, 2006. p. 2568.

## Résumé

Ce travail aborde la restauration d'un ouvrage manuscrit ayant subi, de manière indirecte, un dégât des eaux : l'ouvrage n'a pas été immergé, mais est resté quatre à cinq jours au-dessus du niveau de l'eau. L'humidité élevée a provoqué une migration des encres ferrogalliques au verso et autour des inscriptions. L'ouvrage a été congelé et la question se pose de savoir s'il peut être décongelé sans risque de migrations supplémentaires. Pour y répondre, nous avons étudié le comportement de papiers test imprégnés de bathophénanthroline et d'un ensemble de manuscrits sans valeur, exposés à de fortes humidités (proches de 100 %). En deçà de un à deux jours d'exposition à 100 % HR, le risque de reprise de migration existe si l'on congèle le document et qu'on l'expose encore, après dégel, à 100 % HR. En revanche, au-delà de un à deux jours, les migrations d'encre semblent se stabiliser et ne reprennent pas après décongélation. Le manuscrit a donc été décongelé progressivement à l'air, sans précautions supplémentaires. Pour limiter la future fragilisation du papier par les encres qui ont migré, il a été traité au phytate de calcium et à l'hydrogénocarbonate de calcium.

Mots-clés : inondation, encres, congélation/décongélation, migration.

## Abstract

This work deals with the restoration of a manuscript indirectly affected by a water damage: it was not submerged, but remained 4 to 5 days above the water level. The high humidity caused the migration of iron gall inks to the verso and around the inscriptions. The manuscript was frozen and the question arises as to whether defrosting is possible without inducing more migrations. To answer this question, we studied the behaviour of valueless manuscripts and test papers impregnated with bathophenanthroline exposed to high humidity (close to 100%). Below one to two days of exposure to 100% RH, migration may restart if the document is frozen and again exposed, after defrosting, to 100% RH. Reversely, after 1 to 2 days, ink migration seems to reach a limit and does not restart after thawing. Therefore, manuscript was defrosted gradually in ambient conditions, without any additional precautions. To limit the future weakening of the paper by the migrating inks, it was treated with calcium phytate and calcium hydrogen carbonate. Key words: Flood, inks, freezing/thawing, migration.