



**HAL**  
open science

# Traitements aux vapeurs d'éthanol de papiers altérés par des micro-organismes

Valentin Rottier, Raphaël Gourronc, Caroline Teissier

## ► To cite this version:

Valentin Rottier, Raphaël Gourronc, Caroline Teissier. Traitements aux vapeurs d'éthanol de papiers altérés par des micro-organismes. *Actualités de la conservation*, 2023, 38, pp.1-9. hal-04318663

**HAL Id: hal-04318663**

**<https://bnf.hal.science/hal-04318663v1>**

Submitted on 5 Dec 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.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - ShareAlike 4.0 International License

Article

## Traitements aux vapeurs d'éthanol de papiers altérés par des micro-organismes

Treatment with ethanol vapor of papers altered by mold

Valentin Rottier<sup>a</sup>, Raphaël Gourronc<sup>b</sup>, Caroline Teissier<sup>c</sup>

<sup>a</sup> : Technicien de recherche en biologie, laboratoire, département de la Conservation, BnF

<sup>b</sup> : Chargé d'études et de recherche en physique-chimie, laboratoire, département de la Conservation, BnF

<sup>c</sup> : Etudiante en Master de Muséologie des sciences de la nature et de l'Homme

**Mots-clés:** désinfection, vapeurs d'éthanol, traitement, moisissures, papier

**Keywords:** disinfection, ethanol vapors, treatment, mould, paper

### Introduction

La conservation pérenne des collections est l'une des principales missions des bibliothèques et des archives, ceci afin de pouvoir assurer durablement leur exposition au public ainsi que leur transmission aux générations futures. Cependant, la nature fragile des objets de ces collections fait qu'ils sont exposés à plusieurs types de menace (Michalski S. et al., 1992), dont les risques liés aux contaminations biologiques et notamment les moisissures. Depuis de nombreuses années, des solutions de traitement en masse (désinfection à l'oxyde d'éthylène, plus récemment irradiation aux rayonnements gamma) sont utilisées afin de traiter ces biocontaminations (Flieder F. & Capderou C., 1999 ; Pavon Flores S.C., 1975). L'un des avantages de ces traitements est qu'ils permettent de traiter de nombreux documents en même temps. Cependant ils nécessitent des infrastructures spécifiques et de grande taille ainsi que du personnel spécialisé. Ils ne sont pas adaptés pour traiter un nombre réduit de documents. De plus, l'oxyde d'éthylène a déjà été interdit au sein de l'Union européenne en tant que pesticide et en tant qu'agent de protection de denrées alimentaires. Son usage en tant que désinfectant des collections patrimoniales pourrait donc être soumis à de nouvelles restrictions.

C'est pourquoi il nous a semblé intéressant de réfléchir à un traitement alternatif qui associerait la facilité de mise en œuvre et un faible coût tout en présentant des caractéristiques intéressantes en termes de toxicologie ainsi qu'une interaction minimale vis-à-vis des matériaux qui composent les collections. L'éthanol a déjà été utilisé comme antifongique dans des cas de conservation (Bacilková, B., 2006), cette étude affirmait l'activité fongicide de l'éthanol sous forme de vapeurs. Ces réflexions ont fait l'objet d'une première étude sur l'utilisation de ce traitement sur des supports photographiques (Lucas C. et al., 2017). Le traitement aux vapeurs d'une solution eau-éthanol (30:70 v/v) repose sur le principe d'osmose : l'eau permet la migration de l'éthanol vers l'intérieur de la cellule. L'éthanol provoque alors une dénaturation des protéines nécessaires au métabolisme de l'organisme, qui conduit à la mort cellulaire (Sequeira S. O. et al., 2016). Si la solution est trop concentrée en éthanol, il n'y aura aucune migration de celui-ci, ou insuffisamment pour avoir un effet sur la cellule fongique. Avec le rapport solution eau-éthanol (30 :70 v/v) les effets fongicides optimaux ont été constatés (Dao T et al., 2010).

Il existe cependant une controverse quant au dosage de la solution eau-éthanol (30 :70 v/v): certains affirment l'activité fongicide du mélange (Valentin, 1986), quand d'autres affirment qu'il n'y aurait aucun effet sporicide pour ce dosage (Nittérus M., 2000). Deux études plus récentes (Sequeira S. O. et al., 2017 ; Lucas C. et al., 2017) nous ont cependant conforté dans l'idée que ce dosage eau-éthanol (30 :70 v/v) avait un grand potentiel d'efficacité. Le temps d'exposition aux vapeurs d'éthanol est également un point important dans l'efficacité du traitement. A partir de 2 heures d'exposition, une très forte baisse de la viabilité des spores de moisissures a été observée (Lucas C. et al., 2017). Néanmoins dans certains cas de contamination, ce temps d'exposition peut être trop faible pour traiter efficacement les collections.

L'objectif de cette étude est de vérifier les propriétés antifongiques de ce traitement sur des documents papier exposés pendant 24 h. Des tests d'innocuité de ce traitement pour la cellulose du papier ont également été réalisés sous la forme de mesures colorimétriques et du degré de dépolymérisation de la cellulose.

## **Préparation des éprouvettes et méthodes d'application de l'éthanol**

### **Papiers et souches fongiques sélectionnés pour les tests**

Pour les tests d'efficacité du traitement sur les moisissures, une seule référence de papier a été testée :

un papier composé de fibres 100% linters de coton blanchi sans charge avec un encollage à l'alun et 0,5% de colophane, référencé CTP1.

Les papiers ont été découpés en éprouvettes carrées de 1,5 cm de côté. Ces éprouvettes n'ont pas été stérilisées en autoclave avant leur ensemencement.

Plusieurs souches fongiques provenant du laboratoire de la BnF ont été sélectionnées. Il s'agit d'espèces ubiquistes se développant sur la quasi-totalité des matériaux présents dans les bibliothèques et archives partout dans le monde (Mesquita N. et al., 2009 ; Bergadi F. et al., 2014 ; Sato Y. et al., 2014). Ces espèces sont très représentatives des espèces fongiques présentes dans les collections :

- *Aspergillus niger* ;
- *Penicillium chrysogenum* ;
- *Paecilomyces sp*<sup>1</sup> ;
- *Humicola sp.* ;
- *Chrysosporium sp.* ;
- *Eurotium sp.*

### **Préparation de l'inoculum et ensemencement des éprouvettes**

Les souches ont été incubées à 25°C entre 7 et 10 jours. Les spores ont été mises en suspension dans une solution de glycérol à 20% dans l'eau, avec deux gouttes de Tween® 80 (Sigma-Aldrich®). La concentration de  $2,5 \times 10^7$  spores/ml a été déterminée avec un hématimètre. Cette suspension a été diluée avec de l'eau stérilisée afin d'obtenir la concentration de  $2,5 \times 10^4$  spores/ml.

Chaque éprouvette a été inoculée avec 100µl de l'inoculum. Trois éprouvettes ont été déposées dans chaque boîte de Petri.

Les boîtes de Petri ont ensuite été placées au-dessus de 300 ml d'eau stérilisée dans un contenant en plexiglas fermé, puis mises à incuber à 25°C pendant 7 jours.

### **Application de l'éthanol**

Un mélange eau déminéralisée-éthanol absolu (30:70 v/v) a été utilisé comme solution de traitement. Les éprouvettes ensemencées ont été placées au-dessus de 555 ml de solution de traitement dans une chambre de traitement en plexiglas, mesurant 30 x 30 x 18 cm, pendant 24h.

### **Évaluation de l'inactivation fongique**

#### **Méthode d'évaluation**

Une fois traitées, les éprouvettes ont été placées dans une boîte de Petri, faces inoculées contre les milieux de culture MEA ou DG18, puis mises à incuber à 25°C.

Le diamètre de la colonie est observé visuellement le jour de l'incubation puis 2, 5, 7, 14 et 21 jours après. Les éprouvettes sont marquées "+" pour un développement faible, "++" pour un développement moyen, "+++" pour un développement fort, "++++" lorsque la colonie recouvre l'intégralité de la boîte et "-" lorsqu'aucun développement n'est visible (fig. 1).



**Figure 1 :** Exemple du diamètre de la colonie pour «Paecylomyces sp.» sur un milieu de culture MEA. ©BnF. Raphaël Gourronc

## Résultats

**Tableau 1 :** Développement fongique sur les papiers à 25°C sur milieu MEA après traitement aux vapeurs de la solution eau-éthanol (350 ml/0.1 m3)

Souches	t = 0		t = 2j		t = 5j		t = 7j		t = 14j		t = 21j	
	Témoin	Traité 24h	Témoin	Traité 24h	Témoin	Traité 24h						
<i>Aspergillus niger</i>	-	-	-	-	+	-	+	-	++	-	+++	-
<i>Penicillium chrysogenum</i>	-	-	+	-	+	-	++	-	+++	-	+++	-
<i>Paecylomyces sp.</i>	-	-	+	-	++	-	++	-	+++	-	++++	-
<i>Humicola sp.</i>	-	-	+	-	+++	-	+++	-	++++	-	++++	-
<i>Chrysosporium sp.</i>	-	-	+	-	+++	-	+++	-	++++	-	++++	-
<i>Eurotium sp.</i>	-	-	+	-	+++	+	+++	++	++++	++	++++	+++

Où :- pas de développement, + : développement faible, ++ : Développement moyen, +++ : Développement fort, ++++ : Boîte pleine

Les résultats des développements fongiques sur les papiers après traitement aux vapeurs eau-éthanol sont présentés dans le tableau 1. Les échantillons témoins (papiers inoculés mais non traités aux vapeurs d'éthanol) présentent tous des développements microbiologiques après cinq jours et une pleine croissance à quatorze jours. Pour les échantillons exposés 24 heures aux vapeurs d'éthanol, la quasi-totalité des éprouvettes présente un développement négatif après 21 jours. Seule une boîte présente un développement microbiologique. Il s'agit de la souche *Eurotium sp.* sur le milieu de culture MEA. Contrairement aux autres souches étudiées, l'*Eurotium sp.* est un ascomycète<sup>2</sup>. Les spores de cette souche sont conservées dans des asques\* et sont donc moins accessibles que les spores des souches deuteromycètes<sup>3</sup> ce qui pourrait expliquer que l'exposition aux vapeurs d'éthanol pendant 24h ne soit pas suffisante pour traiter cette souche.

Les résultats d'exposition 24h aux vapeurs d'éthanol confirment l'efficacité du traitement sur une grande majorité de souches de moisissures.

## Evaluation de l'innocuité du traitement sur l'état de la cellulose du papier

### Préparation des éprouvettes

Après avoir obtenu la confirmation de l'efficacité du traitement sur le papier CTP1, nous avons vérifié l'innocuité du traitement sur plusieurs papiers de compositions différentes. Cinq références de papier ont été sélectionnées :

- un papier Whatman® n°1 composé de fibres 100% coton sans charge ni encollage ;
- un papier composé de fibres 100% linters de coton blanchi sans charge avec un encollage à l'alun et 0,5% de colophane référencé, CTP1 ;
- un papier composé de fibres 100% pâte au bisulfite blanchie avec 20% de charge de kaolin et un encollage à l'alun et 0,5% de colophane, CTP2 ;
- un papier composé de 40% de pâte mécanique et 60% de pâte au bisulfite blanchie avec un encollage et du kaolin en tant que charge avec un encollage à l'alun et 0,5% de colophane, CTP3 ;
- un papier composé de 80% de pâte mécanique et 20% de pâte au bisulfite blanchie sans encollage et avec du kaolin en tant que charge, CTP4.

Deux analyses différentes ont été réalisées : des relevés colorimétriques et des mesures du degré de polymérisation (Dp) de la cellulose afin d'évaluer une possible dégradation des chaînes cellulosiques. Pour ces deux tests, quatre éprou-

vettes par type de papier ont été préparées :

- éprouvette A : papier non traité non vieilli artificiellement ;
- éprouvette B : papier traité non vieilli artificiellement ;
- éprouvette C : papier non traité vieilli artificiellement ;
- éprouvette D : papier traité et vieilli artificiellement.

Les éprouvettes traitées ont été exposées 24 heures aux vapeurs d'eau-éthanol. Les éprouvettes vieilles artificiellement ont été placées en enceinte climatique à 80°C et 65% d'HR durant 3 semaines selon la norme ISO 5630-3 : 1996.

### Mesures colorimétriques

Les mesures ont été réalisées avec un spectrophotomètre Konica Minolta® modèle CM 2600d sur les papiers avant et après exposition aux vapeurs d'eau-éthanol et avant et après vieillissement artificiel. L'appareil a été utilisé en mode SCI, avec un angle d'observation de 10° et une ouverture de 3 mm. Aucun filtre UV n'a été utilisé.

Ces relevés colorimétriques s'appuient sur le modèle de représentation des couleurs appelé système  $L^*a^*b^*$  dans l'espace colorimétrique CIELAB 1976. Les variations de couleurs ont été exprimées en  $\Delta E^*$ .

Plus le  $\Delta E^*$  est élevé, plus la différence entre les mesures avant et après exposition ou avant et après vieillissement est importante. On associe une valeur de  $\Delta E^*$  supérieure à 2,3 pour un changement de couleur visible à l'œil nu. Cette valeur est appelée JND pour *Just Noticeable Difference* (Wojciech M. et al., 2011). Une valeur élevée de  $\Delta E^*$  est donc associée à une modification importante de la couleur.

Pour tous les échantillons, cinq points de mesure ont été pris en compte sur chacune des zones retenues afin de déterminer un  $\Delta E^*$  moyen qui intègre les effets éventuels de moutonnements<sup>5</sup>.

### Résultats

Le changement de couleur des éprouvettes a été comparé avant et après l'exposition aux vapeurs d'eau-éthanol et avant et après vieillissement artificiel. On ne note aucune différence significative de couleur entre les éprouvettes de papier traitées et non traitées, vieilles ou non (*fig. 2*). L'exposition de 24 heures aux vapeurs d'eau-éthanol n'engendre donc pas de changement de couleur des papiers. Si le vieillissement artificiel entraîne des variations de couleurs observables avec des  $\Delta E^*$  allant de 3,6 pour les échantillons de papier Whatman® à 6,9 pour les échantillons de papier CTP1 sur les éprouvettes après vieillissement, ces valeurs sont similaires entre les éprouvettes non traitées (C) et traitées (D). Ce changement de couleur est dû au vieillissement accéléré des papiers et n'est pas lié au traitement. L'exposition aux vapeurs d'eau-éthanol n'impacte donc pas le changement de couleur des papiers après vieillissement.

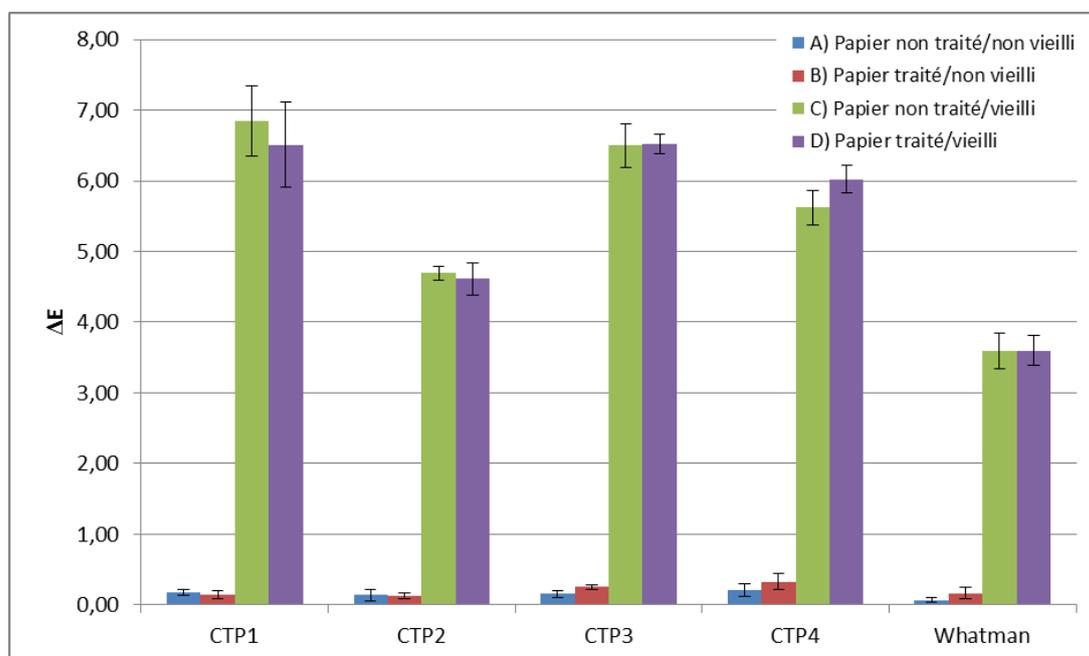


Figure 2 : Ecarts de couleur  $\Delta E^*$  moyens des cinq points d'analyses pour chacun des cinq papiers testés

### Détermination du degré de polymérisation (Dp)

Le degré de dépolymérisation des échantillons de papier a été déterminé grâce à la viscosimétrie. Cette technique est une méthode analytique permettant de déterminer la viscosité d'une solution grâce à son temps d'écoulement dans un tube capillaire. Les mesures de viscosimétrie ont été réalisées à partir d'un protocole détaillé dans la norme ISO 5351 : 2010<sup>6</sup>. La solution utilisée est une solution de cupri-éthylènediamine, qui permet de solubiliser la cellulose de nos échantillons de papier.

Si les papiers ont été dégradés, alors le degré de polymérisation de la cellulose est plus faible, la cellulose est donc dépolymérisée et la solution de cupri-éthylènediamine est moins visqueuse. Le temps d'écoulement dans le tube capillaire est alors réduit. Inversement, des échantillons de papier dont la cellulose n'a pas été dégradée donneront une solution plus visqueuse et le temps d'écoulement dans le tube capillaire est allongé.

La norme internationale ISO 5351 : 2010 est essentiellement applicable à des échantillons de pâtes solubles dans la solution de cupri-éthylènediamine. Cela implique l'absence de lignine et c'est pourquoi les papiers CTP3 et CTP4 ont été écartés car ils contiennent des fibres de pâte à papier mécanique.

Les papiers testés ont été les papiers CTP1, CTP2 et Whatman®. Toutefois, les résultats obtenus pour le papier CTP2 n'ont pas pu être exploités à cause de valeurs de degré de polymérisation trop disparates. Cela peut être dû à la présence de kaolin sous forme de charge, qui perturbe l'écoulement de la solution de papier dans la cupri-éthylènediamine. Une autre possibilité serait une répartition non-homogène des charges et des fibres de papier au sein de la structure du papier CTP2.

### Résultats

Les valeurs de Dp des éprouvettes ont été comparées avant et après exposition aux vapeurs d'eau-éthanol et avant et après vieillissement artificiel. Pour les deux types de papier, les valeurs obtenues pour les échantillons exposés 24 heures aux vapeurs d'eau-éthanol sont similaires à celles des échantillons témoins (fig. 3). Il a également été constaté que le Dp moyen de l'échantillon de papier CTP1 traité est légèrement supérieur au Dp moyen de l'échantillon témoin, que le papier soit vieilli ou non. Le traitement n'engendre donc aucune dégradation des chaînes de cellulose après 24 heures d'exposition aux vapeurs d'eau-éthanol.

On observe, pour les échantillons soumis à un vieillissement artificiel, une baisse du Dp moyen par rapport à l'échantillon témoin. Cette baisse est comparable pour des échantillons traités et non traités, elle est donc due uniquement au vieillissement et à la dégradation du papier.

La dégradation des chaînes de cellulose est donc identique entre un papier n'ayant pas subi le traitement et un papier exposé aux vapeurs d'eau-éthanol. Ces résultats permettent de confirmer que l'exposition de 24 heures aux vapeurs d'eau-éthanol n'a pas d'influence sur le processus de dégradation de la cellulose du papier.

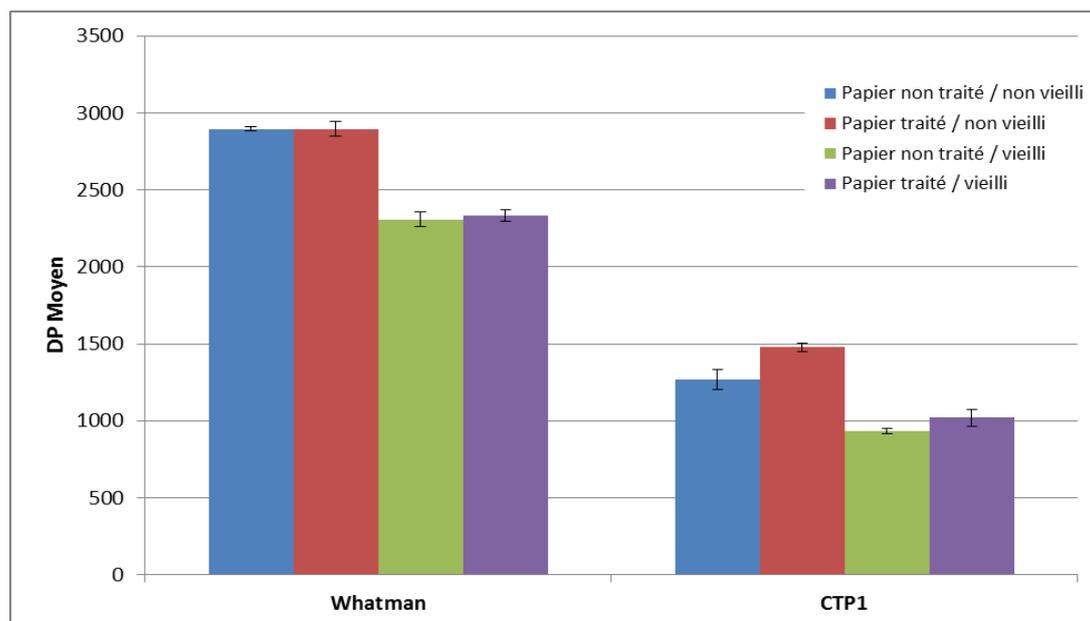


Figure 3 : Degré de polymérisation des quatre éprouvettes pour chacun des trois types de papiers

## Conclusion

Une précédente étude (Lucas C. et al., 2017), avait permis d'établir l'innocuité pour le papier d'un traitement aux vapeurs d'éthanol (mélange eau-éthanol 30 :70 v/v), de deux heures, ainsi que son efficacité contre les souches *Penicillium chrysogenum* et *Aspergillus niger*. L'avantage de cette méthode de traitement réside dans l'absence de tout contact direct entre les documents et le biocide qui est appliqué sous sa forme vapeur. Ceci est particulièrement adapté au contexte patrimonial où, face à des documents fortement altérés, le recours à des solvants liquides présente le risque d'augmenter les dégradations déjà présentes.

Cependant, des résultats obtenus lors d'un stage réalisé au sein du laboratoire de la BnF (Teissier C, 2021), ont montré que deux heures d'exposition des papiers tests aux vapeurs d'éthanol permettaient d'obtenir seulement un effet fongistatique<sup>7</sup>

La présente étude a permis de montrer qu'un traitement de vingt-quatre heures aux vapeurs d'éthanol a un effet fongicide sur un large panel de souches, permettant l'élimination complète des moisissures.

Les tests d'innocuité réalisés montrent que le traitement n'entraîne aucune modification de la couleur (papiers Whatman® et CTP1/2/3/4) et aucune dégradation de la cellulose des papiers (papiers Whatman® et CTP1) sur les éprouvettes des différents échantillons.

Il reste cependant à vérifier l'innocuité de ce traitement vis-à-vis des autres matériaux constitutifs des collections des bibliothèques et des archives, notamment sur les encres.

## Notes

1. sp : l'espèce n'a pas été identifiée

2. Les Ascomycètes constituent une très vaste division de champignons dits champignons supérieurs, c'est-à-dire à mycélium cloisonné. Ils sont caractérisés par la formation des spores (ascospores) à l'intérieur de cellules spéciales reproductrices, les asques.

3. Ce groupe de micro-organismes comprend tous les champignons qui ne produisent ni ascospores, ni basidiospores et qui se multiplient au moyen de conidie. Ils sont unicellulaires (levures) ou à thalles filamenteux septés.

4. Dans ce système, une couleur est représentée par un point ayant 3 coordonnées, z sur l'axe L\* de la clarté, x sur l'axe a\* représentant la composante chromatique Rouge-Vert et y sur l'axe b\* représentant la composante chromatique Jaune-Bleu.

Les variations de couleurs ont été exprimées en  $\Delta E^*$ , valeur qui intègre l'écart mesuré entre les couleurs sur les 3 variables indépendantes (Dupont, Steen, 2004) à partir de la formule suivante :  $\Delta E^* = \sqrt{(L1 - L2)^2 + (a1-a2)^2 + (b1 - b2)^2}$

Où (L1 ; a1 ; b1) sont les coordonnées de la mesure avant exposition (traitement/vieillessement), et (L2 ; a2 ; b2) sont les coordonnées de la mesure après exposition (traitement/vieillessement).

5. Moutonnements : différence de couleur de surface. Sur une feuille de papier vierge, une différence de couleur peut être observée à la surface à cause d'une mauvaise répartition des charges ou des fibres ou d'un problème au niveau de l'encollage. Dans ce cas, plusieurs points de mesure sont pris sur chaque feuille afin d'obtenir une moyenne la plus proche possible de la vraie couleur.

6. Un échantillon témoin de chaque papier est dissout dans une solution de cupri-éthylènediamine (CED) (Aldrich®) à 1N. La vitesse d'écoulement de cette solution dans un viscosimètre (Lauda®) est mesurée et donne le degré de polymérisation de référence auquel seront comparées les mesures réalisées sur les différentes éprouvettes testées. Le degré de polymérisation (Dp) est calculé en utilisant l'équation de Mark-Houwink-Sakurada (Kasaii M.R., 2007).

7. Qui inhibe le développement et la reproduction des moisissures

## Bibliographie

Bacílková, B. (2006) «Study of the effect of butanol vapours and other alcohols on fungi», *Restaurator*, vol. 27, n° 3, p. 186–199. <https://doi.org/10.1515/REST.2006.186>

Bergadi, F. et al. (2014) «Cellulolytic potential and filter paper activity of fungi isolated from ancient manuscripts from the Medina of Fez», *Annals of Microbiology*, vol. 64, p. 815–822. <https://doi.org/10.1007/s13213-013-0718-6>

Dao, T. ; Dejardin, J. ; Bensoussan, M. ; Dantigny, P. (2010) «Use of the Weibull model to describe inactivation of harvested conidia of different *Penicillium* species by ethanol vapours», *Journal of Applied Microbiology*, vol. 109, n°2, p. 408–414. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2010.04662.x>

Dupont D., Steen D. (2004) « Colorimétrie. Mesures des couleurs de surface », *Technique de l'ingénieur*, R 6 442. <https://doi.org/10.51257/a-v1-r6442>

Flieder F. ; Capderou C. (1999) *Sauvegarde des collections du patrimoine. La lutte contre les détériorations biologiques*. Paris, CNRS Editions, 256 p.

ISO 5351 (2010) « Pâtes - Détermination de l'indice de viscosité limite à l'aide d'une solution de cupri-éthylènediamine (CED) »

ISO 5630-3 (1996) « Paper and board - Accelerated ageing - Part 3: Moist heat treatment at 80 degrees C and 65 % relative humidity »

Kasaii, M. R. (2007) «Calculation of Mark-Houwink-Sakurada (MHS) equation viscometric constants for chitosan in any solvent-temperature system using experimental reported viscometric constant data», *Carbohydrate Polymers*, vol. 68, n°3, p. 477-488. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2006.11.006>

Lucas, C. ; Déniel, F. ; Dantigny, P. (2017) «Ethanol as an antifungal treatment for silver gelatin prints: implementation methods evaluation», *Restaurator*, vol. 38, n° 3, p. 235–248. <https://doi.org/10.1515/res-2017-0003>

Lucas, C. ; Rottier, V. ; Déniel, F. ; Dantigny, P. (2018) «Traitement aux vapeurs d'éthanol de photographies gélatino-argentiques et de papiers altérés par des micro-organismes », *Support-Tracé*, 18, p. 167-173.

Mesquita, N. et al. (2009) «Fungal diversity in ancient documents. A case study on the Archive of the University of Coimbra», *International Biodeterioration & Biodegradation*, vol. 63, n°5, p. 626–629.

Michalski, S. ; MacDonald, M. A. ; Strang, T. ; Tétreault, J. & Williams, R. S. (1992). *A systematic approach to the conservation (care) of museum collections : with technical appendices*. Ottawa: Canadian Conservation Institute. Pag. Mult.

Nittérus, M. (2000) «Fungi in Archives and Library: A literary survey», *Restaurator*, vol. 21, n°1, p. 25–40. <https://doi.org/10.1515/REST.2000.25>

Nittérus, M. (2000) «Ethanol as a fungal sanitizer in paper conservation». *Restaurator*, vol. 21, n°2, p. 101–105. <https://doi.org/10.1515/REST.2000.101>

Pavon Flores, S. C. (1975) «Gamma radiation as fungicide and its effects on paper». *The American Institute for Conservation of Historic and Artistic Works Bulletin*, vol. 16, n°1, p. 16–45. <https://doi.org/10.2307/3179346>.

Sato, Y., Aoki, M. and Kigawa, R. (2014) «Microbial deterioration of tsunami-affected paper-based objects: A case study», *International Biodeterioration & Biodegradation*, vol. 88, p. 142–149. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2013.12.007>

Sequeira, S. O., Phillips, A. J. L., Cabrita, E. J., Macedo, M. F. (2016) «Ethanol as an antifungal treatment for paper: Short-term and long-term effects», *Studies in Conservation*, vol. 62, n°1, p. 33–42. <https://doi.org/10.1080/00393630.2015.1137428>

Teissier, C. (2021) «Etude de l'effet fongicide d'un traitement aux vapeurs d'éthanol sur des papiers contaminés par des moisissures», BnF. 55 p. [non publié]

Valentin, N. (1986) «Biodeterioration of Library Materials, Disinfection Methods and New Alternatives», *The Paper Conservator*, vol. 10, n°1, p. 40-45. <https://doi.org/10.1080/03094227.1986.9638530>

Mokrzycki, W. ; Tatol, M. (2011) «Color difference Delta E : A survey», *Machine Graphics and Vision*, vol. 20, n° 4, p. 383-411.

## Contact :

ROTTIER Valentin : [valentin.rottier@bnf.fr](mailto:valentin.rottier@bnf.fr)

GOURRONC Raphaël : [raphael.gourronc@bnf.fr](mailto:raphael.gourronc@bnf.fr)

**Résumé :**

Les collections des bibliothèques et des archives sont sensibles aux contaminations biologiques, notamment aux moisissures. Les traitements de masse ont montré leur utilité et efficacité lors de contaminations généralisées mais, dans la majorité des cas, ils sont disproportionnés au regard de la quantité de documents à traiter.

L'efficacité biocide du mélange eau – éthanol (30:70 v/v) a été démontrée dans de nombreux domaines. Une précédente étude avait établi un effet fongistatique pour un traitement de deux heures aux vapeurs d'éthanol, ainsi que son innocuité sur différents types de papier. En revanche, un effet fongicide n'était obtenu qu'après vingt-quatre heures d'exposition aux vapeurs d'éthanol. La présente étude a permis de démontrer l'efficacité du traitement de vingt-quatre heures d'exposition aux vapeurs d'éthanol sur la plupart des souches rencontrées ainsi que son innocuité sur différents types de papiers.

**Abstract :**

Library and archive collections are sensitive to biological contamination, particularly mold. Mass treatments have proven their usefulness and effectiveness in cases of widespread contamination, but in most cases they are disproportionate to the quantity of documents to be treated.

The biocidal efficacy of the water-ethanol mixture (30:70 v/v) has been demonstrated in many fields. A previous study established a fungistatic effect for a two-hour treatment with ethanol vapors, as well as its harmlessness on different types of paper. However, a fungicidal effect was only obtained after 24 hours' exposure to ethanol vapors. The aim of this study was to demonstrate the efficacy of this treatment « for the most part of fungi types, as well as its safety on different types of paper