



MANUEL

**LUTTE CONTRE LES MOISSURES DES
COLLECTIONS D'ARCHIVES**

2008 – dernière révision 2019.



Contamination d'un registre par la mэрule. Ph MD Parchas

Marie-Dominique Parchas, Thi-Phuong Nguyen

Chargées de mission sur les questions de conservation préventive et curative (SIAF)

Table des matières

1	INTRODUCTION.....	3
2	LUTTE CONTRE LES MOISSURES	3
2.1	Qu'est-ce qu'une moisissure ?.....	3
2.2	Analyse des risques	5
2.2.1	Risques pour les documents	5
2.2.2	Risques pour la santé.....	6
2.3	Les mesures curatives.....	9
2.3.1	Que faire en cas de contamination ?.....	9
2.3.2	Les analyses.....	10
2.3.3	Protection du personnel	11
2.3.4	Agir sur l'environnement	12
2.3.5	Agir sur les documents	14
2.3.6	Procédures particulières en cas d'infiltration ou d'inondation	16
2.3.7	Procédures détaillées de traitement	16
2.3.8	Connaissance des risques dus à l'utilisation de l'oxyde d'éthylène	18
2.3.9	Le rayonnement gamma	18
2.4	Mesures préventives	19
2.4.1	Actions sur l'environnement.....	19
2.4.2	Traitements à éviter	21
3	CAS PARTICULIER DE LA MÉRULE	22
3.1	Caractéristiques	22
3.2	Les actions à mettre en place.....	23
4	CONSEILS POUR L'UTILISATION DES COLLES EN RESTAURATION	24
5	POUR EN SAVOIR PLUS	25

1 INTRODUCTION

Les services d'archives, en détenant en majorité des documents constitués de matériaux organiques (papier, cuir, parchemin, textile, bois), mais aussi des films et des photographies (présence de gélatine) font face à un risque majeur de contamination par les agents biologiques : bactéries, moisissures, insectes, rongeurs. Les plus largement répandus dans les magasins et sur les documents sont les moisissures. Malheureusement, ce sont aussi les plus difficiles à détruire.

La contamination bactérienne est plus rare car il faut une humidité relative très élevée sur le papier pour qu'elle puisse se développer ; on la trouve donc le plus souvent sur les documents ayant subi des inondations. Les bactéries dégradent également rapidement les papiers, cuirs et parchemins et peuvent laisser des traces colorées, mais leur éradication est beaucoup plus simple que celle des moisissures.

On ne trouvera pas dans ces quelques pages, une présentation des caractéristiques physiques des agents pathogènes ni la classification des espèces, domaine plutôt réservé aux spécialistes. Seront présentées les actions qui peuvent être développées au sein des archives et certaines notions de base utiles pour dialoguer avec les différents spécialistes concernés : biologistes, climaticiens, architectes, entreprises de désinfection.

Un peu de vocabulaire :

- les termes de contamination et de désinfection sont appliqués aux moisissures et bactéries.
- L'infestation et la désinsectisation sont réservées au domaine des insectes.
- Gestion intégrée des nuisibles, traduction du terme anglais Integrated pest management (IPM) : politique globale de prévention, détection des nuisibles (algues, bactéries, champignons, moisissures, insectes, rongeurs, volatiles), formation d'équipes, mises en place de procédures et connaissance des traitements adaptés. Tous les services devraient mettre en place une politique raisonnée pour éradiquer ce fléau (gestion des versements, surveillance du climat et des nuisibles...). Une norme sur l'IPM a été publiée en 2015.

2 LUTTE CONTRE LES MOISSURES

2.1 Qu'est-ce qu'une moisissure ?

Les moisissures font partie du règne des champignons. Elles peuvent se développer en parasite sur un support vivant (plantes ou animaux) ou en saprophyte sur un support mort ou en état de décomposition. C'est ainsi qu'elles se nourrissent de carbone mais aussi d'azote, de calcium, de potassium, de soufre, de quelques ions métalliques, fer, cuivre, magnésium, zinc en décomposant la cellulose qu'elles trouvent notamment dans le papier et les protéines du cuir ou des colles. Si les conditions de température et d'humidité sont favorables, elles croissent et se reproduisent à partir de spores microscopiques en formant du mycélium (partie végétative) constitué d'un ensemble de filaments entrelacés, des hyphes qui lui permettent de se nourrir et de se développer sur le substrat nutritif. Le mycélium produit à son tour des spores (partie reproductive), particules très fines et pulvérulentes, qui

se diffusent facilement dans l'air et ont la faculté de résister plusieurs années à des conditions défavorables alors que le mycélium, plus fragile, va mourir et se désagréger. Le mycélium pénètre en profondeur dans les matériaux notamment le bois. Les traitements de surface auront alors peu d'incidence.

Les moisissures sont classées par genre (*Aspergillus*) puis par espèces (*Aspergillus niger*), plus longues à identifier (200 espèces connues pour l'*Aspergillus* dont une quarantaine pourrait poser des problèmes infectieux). Elles produisent des enzymes ou des acides qui contribuent à l'hydrolyse (notamment de l'amidon par *Aspergillus niger*, *Penicillium expansum*, ou de la cellulose par *Trichoderma* par exemple¹) ou à l'acidification des constituants sur lesquels elles croissent. Les plus répandues dans les archives sont *Aspergillus*, *Chaetomium*, *Penicillium*. La mэрule est le champignon le plus destructeur (voir en annexe).

Pour se développer, il leur faut au moins deux conditions:

- un substrat nutritif (la poussière peut suffire, elle est hygroscopique) ;
- une source d'humidité :
 - soit dans l'atmosphère : à une humidité relative élevée (HR à partir de 60%-65%)
 - soit sur des supports humides (inondation, ou humidité de l'air absorbée par les matériaux qui se mettent en équilibre avec leur environnement) : disponibilité en eau a_w supérieure à 0,70 ce qui correspond à une humidité relative de 70%.

La plupart des moisissures nécessitent des substrats possédant une activité de l'eau importante (a_w , qui correspond à l'eau disponible dans les substrats pour permettre les réactions biochimiques) pour se développer :

- Matériaux² dont $0,90 < a_w < 0,95$: *Aspergillus fumigatus*, *Trichoderma*, *Fusarium*...
- Matériaux dont $0,85 < a_w < 0,9$: *Aspergillus versicolor*, *Aspergillus nidulans*...
- Matériaux dont $a_w < 0,85$: *Aspergillus versicolor*, *Aspergillus Glaucus*, *Penicillium chrysogenum*...

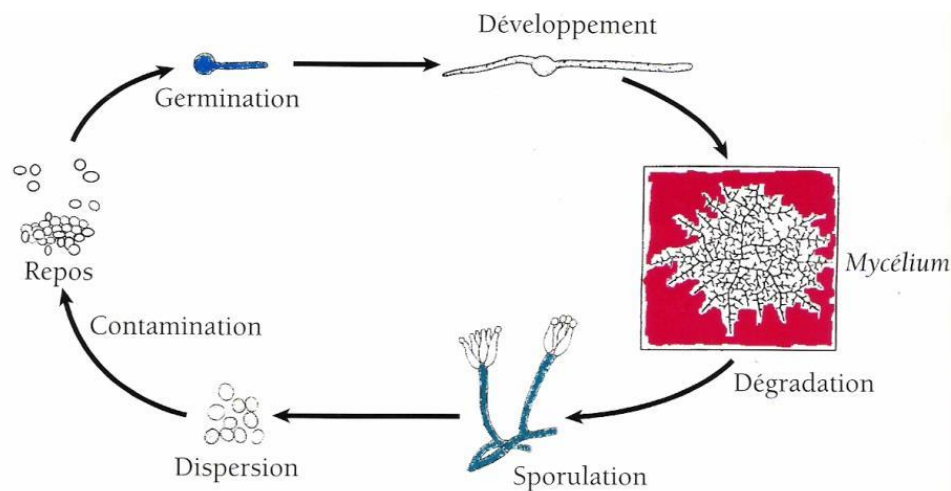
Un air stagnant et une élévation de température favorisent leur croissance. En effet, la plage de température dans laquelle elles peuvent se développer est étendue : de 4 °C à 30 °C. Leur croissance sera proportionnelle à l'augmentation de température.

¹ Source: site du LRMH

² Contaminations fongiques en milieux intérieurs. Diagnostic. Effets sur la santé respiratoire. Conduite à tenir. Conseil supérieur d'hygiène public de France. Groupe de travail « Moisissures dans l'habitat ».sept 2006.101 pages. P9. http://www.sante.gouv.fr/html/dossiers/cshpf/r_mv_0906_contamfongiques.pdf

-Bon à savoir-

Les moisissures étant des végétaux non chlorophylliens, la lumière n'a aucune incidence sur leur développement ; elle ne ralentit ni ne favorise leur croissance.



Cycle de développement des moisissures
d'après un schéma de M.F. Roquebert (extrait de « Moisissures contaminant les biens culturels »
in : Les contaminants biologiques des biens culturels).

2.2 Analyse des risques

2.2.1 Risques pour les documents

Les moisissures constituent un risque majeur dans les magasins d'archives. Elles provoquent une dégradation physico-chimique des documents : physique à cause de la pénétration du champignon et de la propagation des filaments mycéliens dans le substrat, ce qui désorganise les fibres de cellulose, puis chimique par la sécrétion d'enzymes ou la diffusion de pigments (coloration, pigmentation...). « Les moisissures puisent leurs nutriments dans le substrat puis y déposent leurs déchets souvent acides³ » ; les documents sont tachés de manière irréversible et s'acidifient donc localement. L'attaque peut aussi provoquer des pertes de matière (trous ou lacunes plus importantes). Le papier devient feutré et fragile, le parchemin friable, le cuir se rigidifie et les encres se décolorent⁴.

³ Malala Rakotonirainy. Centre de recherche sur la conservation des collections; Cours INP-IFROA-2004.

⁴ Gilbert Le Guen. Les problèmes biologiques. Fiche 3 – Conseils pratiques- Conservation préventive du patrimoine documentaire. CICL, 1995.

On reconnaît en général la présence des moisissures à l'aspect poudreux de la population sporale, par la présence de filaments mycéliens ou par les taches de pigmentation (colorations très variées : noires, roses, jaunes...).

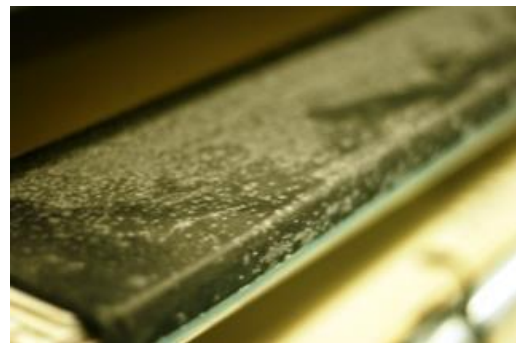
On constate un développement particulièrement actif sur les supports les plus hygroscopiques donc les plus vulnérables comme le cuir ou les textiles non enduits, dont la texture souvent lâche comme celle des toiles de reliure, favorise l'accroche de la poussière de s'y accrocher avec facilité et qui attirent aussi les moisissures par la colle très proche de la surface.

Les seuils à partir desquels on considère qu'un espace est contaminé de manière problématique dépendent des objectifs fixés, ils ne seront pas identiques pour un bloc opératoire ou pour un magasin d'archives. La Bibliothèque nationale de France (BnF) dont l'équipe de biologistes surveille régulièrement les conditions environnementales (prélèvement d'air, contrôle des filtrations, prélèvements réguliers et mise en culture) et a édicté des protocoles de maintien d'un état sanitaire rigoureux (dépeussierage des collections, nettoyage régulier des locaux et du mobilier...) a placé son seuil à 20-30 UFC/m³ (Unité Formant Colonie). Il faut toutefois souligner que ce niveau, qui est très faible, correspond à des conditions particulières de locaux dans lesquels l'air a été très sévèrement filtré. On ne peut avoir des exigences aussi hautes si les locaux et bâtiments que l'on gère ne sont pas hermétiques, propres, et s'ils ne sont pas dotés de systèmes de traitement d'air mécanique dotés de filtres à particules de catégorie F7 au minimum.

Le CRCC considère que pour des magasins d'archives « classiques », il est raisonnable de viser comme objectif un seuil à 100-120 UFC/m³. Ce chiffre reste toutefois à relativiser ; le contexte dans lequel les collections se trouvent (situation géographique, propreté du local et des collections qui s'y trouvent, conditions climatiques, flux d'air, etc.) doit également être pris en compte pour l'évaluation du niveau de risque.



Moisissures sur documents anciens



Moisissures répandues sur des reliures

2.2.2 Risques pour la santé

Les moisissures sont toujours présentes dans l'atmosphère mais seules certaines espèces peuvent poser des problèmes à l'homme. Il est donc important en cas de suspicion de problèmes de santé, d'identifier non seulement le genre mais aussi l'espèce, afin de déterminer si ces moisissures émettent des mycotoxines (plus de 300 d'entre elles ont été identifiées à ce jour, mais seule une trentaine possède

des propriétés toxiques réellement préoccupantes pour l'homme ou l'animal) ou des composés organiques volatils. Cette identification peut s'avérer complexe (recours au séquençage de l'ADN quand les données existent) en fonction des espèces, notamment les *Penicillium*, ce pourquoi elle n'est pas toujours proposée.

La corrélation entre présence de moisissures et problèmes de santé est difficile à mettre en valeur ; par conséquent, la détermination des seuils de concentration l'est également. Bien qu'il n'existe pas de consensus à ce sujet, des niveaux de concentrations de spores dans l'air ont été définis par certains spécialistes en France :

- Niveaux de contamination de l'air selon Reboux et al., *J. Indoor air*, 2009;19:446-53) :
 - Faiblement contaminé : 0 à 170 UFC/m³
 - Moyennement contaminé : 170 à 560 UFC/ m³
 - Fortement contaminé : 560 à 1000 UFC / m³
 - Très fortement contaminé : > 1000 UFC / m³

Dans cette étude, il est spécifié que dans les cas où une seule espèce considérée comme pathogène dépasse la concentration de 1000 UFC/m³, il convient d'entreprendre des opérations de remédiations ou de décontamination de l'air.

- Niveaux de contamination de l'air selon la norme XP X43-407:mars 2006 relative à l'audit de la qualité de l'air dans les locaux non industriel :
 - Très faiblement contaminé : 0 à 25 UFC/ m³
 - Faiblement contaminé : 25 à 100 UFC/ m³
 - Moyennement contaminé : 100 à 500 UFC/ m³
 - Fortement contaminé : 500 à 2000 UFC / m³
 - Très fortement contaminé : > 2000 UFC / m³
- Niveaux de contamination des surfaces selon le Conseil Supérieur d'hygiène Publique de France, Groupe de travail « Moisissures dans l'habitat » (Contaminations fongiques en milieux intérieurs-Diagnostic, effets sur la santé respiratoire, conduites à tenir, septembre 2006)
 - Faible contamination: surface moisie <300 cm²
 - Contamination moyenne : 300 cm²>surface moisie>3 m²
 - Contamination élevée : surface moisie>3m²

Ce document précise toutefois que la prise en compte de la seule surface contaminée n'est pas totalement satisfaisante. Les caractéristiques qualitatives des moisissures, la localisation des taches de moisissures, la durée d'exposition ou l'immunodéficience des personnes exposées sont des facteurs qu'il faut également considérer. Dans le cas d'une contamination moyenne, la zone contaminée peut être traitée par les occupants, mais elle devra être isolée et placée en dépression pendant les travaux, en utilisant un système d'aspiration. Dans le cas d'une

contamination élevée, la décontamination doit être réalisée par des professionnels formés à la manipulation de matériaux contaminés par des micro-organismes.

Les principaux effets des moisissures et de leurs spores sur la santé sont :

- effets irritatifs : irritation des muqueuses (yeux, nez, gorge), congestion nasale ;
- réactions immunologiques : rhinite allergique, pneumonite d'hypersensibilité, conjonctivite, asthme, dermatite, sinusite allergique ;
- effets toxiques : syndrome toxique associé aux poussières organiques (ODTS) (excès de fièvre, problèmes respiratoires), mycotoxicose ;
- effets neuro-psychologiques : maux de tête, difficulté de concentration, fatigue mentale chronique, irritabilité, fièvre, douleurs articulaires ;
- effets infectieux : aspergillose.

-Bon à savoir-

Même mortes, moisissures et spores peuvent continuer à être allergisantes et toxicogènes. Il est donc important de dépoussiérer les collections après tout traitement de désinfection.

Une étude sur l'environnement fongique dans dix services d'archives et ses effets potentiels sur la santé a été menée dans le cadre du Programme national de recherche sur la connaissance et la conservation des matériaux du patrimoine (PNRCC – 2008-2010) par Gabriel Reboux et Sandrine Roussel de l'UMR CNRS 649 Chromo-Environnement, à l'université de Franche-Comté (Besançon). Les résultats de cette étude montrent un risque accru d'irritation des yeux pour les employés de services d'archives exposés à des environnements contaminés. Les effets dépendent du type de moisissures, de la concentration, du temps de contact, de l'âge et de l'immunodéficience.

Il est donc indispensable d'agir préventivement d'autant plus qu'il est souvent difficile de lier certains effets (comme les névralgies) aux causes. N'oublions pas qu'il s'agit d'un risque toujours latent car les moisissures et bactéries prolifèrent dans l'air et n'attendent que des conditions favorables pour se développer.

Pour les logements dits insalubres les indicateurs de risque sont l'humidité, les fuites d'eau et les infiltrations, le manque de ventilation et de renouvellement de l'air, l'odeur de moisi, les facteurs visuels (joints noircis, papier peint tâché, etc.). Notons qu'il existe aujourd'hui, à l'instar des chiens renifleurs de moisissures, des appareils capables de détecter les composés organiques volatils spécifiquement émis par les moisissures en développement (COV_m). Le Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB) a récemment mis au point un biodétecteur fongique capable d'analyser en temps réel, la qualité sanitaire

de l'air dans les environnements intérieurs, et d'alerter en cas de développement de moisissures ou de mэрule⁶ avant même que ce développement soit visible à l'œil nu⁵.

2.3 Les mesures curatives

2.3.1 Que faire en cas de contamination ?

Demander conseils à des spécialistes privés ou institutionnels.

- Conseils, expertises :

Service interministériel des Archives de France

Chargée de mission sur les questions de conservation préventive et curative : Thi-Phuong Nguyen – 01 40 27 66 49 – thi-phuong.nguyen@culture.gouv.fr

- Biologistes, conseils, expertises :

- Centre de Recherche sur la Conservation des Collections (CRCC)
Responsable pôle biodétérioration-environnement : Malalanirina Sylvia Rakotonirainy
malalanirina.rakotonirainy@mnhn.fr
- Bibliothèque nationale de France, laboratoire scientifique et technique
Responsable pôle biologie : Caroline Laffont - biologie-environnement@bnf.fr
- Laboratoire des monuments historiques (LRHM)
Responsable pôle microbiologie : Faisl boustta - faisl.boustta@culture.gouv.fr
- Centre interrégional de conservation et restauration du patrimoine à Marseille (CICRP)
Directeur : Roland May - 04 91 08 23 39 - info@cicrp.fr
- Laboratoires privés et laboratoires départementaux d'analyses.
- Restaurateurs de documents graphiques : contrôle des collections et conseils en vue du dépoussiérage (annuaire disponible notamment sur le site de la Fédération française des professionnels de la conservation-restauration (FFCR <http://www.ffcr.fr/>)).
- Climaticien : contrôle des installations et des filtres et de l'état sanitaire global des systèmes de ventilation (gainés notamment).
- Architecte : contrôle du bâtiment et des infiltrations.
- Médecine du travail.

⁵ Un film expliquant le principe de ce détecteur est disponible sur You Tube à l'adresse <https://www.youtube.com/watch?v=QZ4oDZ24rEY&index=4&list=PLM4Nv5rFKZABragpQVbKjkzRHBf21qcQ>

2.3.2 Les analyses

Pour mesurer le degré de contamination, deux méthodes complémentaires permettront de quantifier la pollution de l'air et d'identifier les agents pathogènes présents sur les supports.

Il est possible de suivre la Norme AFNOR XP-X 43-401 de Décembre 1998 « Audit de la qualité de l'air dans les locaux non industriels ».

1. L'analyse de l'air par impaction est une méthode répandue et fiable. L'air est aspiré (200 litres/minute) et les contaminants sont retenus dans une boîte de Pétri qui est ensuite mise en culture en laboratoire. Les analyses doivent se faire à l'extérieur notamment au niveau des prises d'air, dans les gaines (soufflage et reprise), dans les espaces contaminés, les salles de tri...
2. Lors des manipulations de documents, conditionnements, les moisissures sont rejetées dans l'air. Il est donc important pour savoir ce que l'agent respire, de procéder aussi à un prélèvement d'air avant et après manipulation voire après dépoussiérage, ce qui permettra de vérifier en partie son efficacité (toutes les moisissures ne se détacheront pas de leur support).
3. L'analyse des supports, documents, étagères, conditionnements, murs... se fait par frottis sur écouvillons secs stériles qui seront mis en culture. Cette méthode peut être complétée par des prélèvements sur des scotchs sur des supports qui ne seront pas altérés par cette méthode (étagères, cuir non pulvérulent...). L'étude menée par Gabriel Reboux et Sandrine Roussel de l'Université de Franche-Comté a toutefois montré que des prélèvements réalisés à l'aide d'écouvillons sur les murs et les étagères donnent souvent des résultats négatifs et ne sont donc pas forcément représentatifs de la réalité. Ces auteurs conseillent plutôt l'utilisation de capteurs à poussière⁶ ou bien de capteurs celluloses⁷ à moisissures qui, déposés pendant six semaines, permettent d'évaluer la contamination microbiologique sur une longue période.
4. La présence de poussière favorisant le développement fongique, il faut aussi évaluer le taux d'empoussièrément, y compris dans les gaines de climatisation. C'est l'occasion de vérifier le degré de filtration et la périodicité du remplacement des filtres (en moyenne tous les 3-4 mois sachant qu'un filtre saturé entraîne aussi une surconsommation d'énergie et une baisse d'efficacité de la ventilation).
5. Lors des prélèvements, il faut relever la température et l'humidité relative à l'extérieur et à l'intérieur du bâtiment et des espaces analysés.
6. Il faut analyser les courbes de température et d'humidité sur une année complète. Les périodes les plus favorables au développement des moisissures se situent entre le printemps et la fin de l'automne dans nos régions tempérées.

Il faudra compter 2 à 3 semaines pour obtenir les résultats. En fonction des laboratoires, seront précisés le genre (*Aspergillus*.sp) ou l'espèce (*Aspergillus niger*).

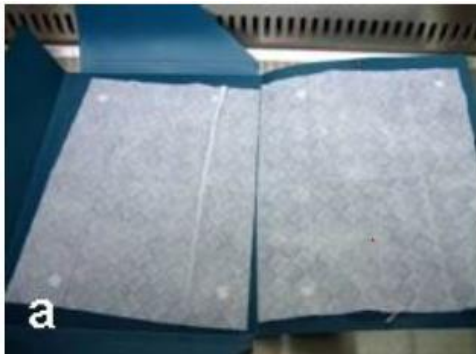
⁶ Les capteurs de poussière sont des lingettes électrostatiques de surface connue.

⁷ Les capteurs celluloses sont constitués dans lesquels 1,06 dm² de papier tendu sont maintenus en 2 atmosphères humides : (1) atmosphère saturée par l'humidité –boîte de Pétri couvercle fermé, avec 12 orifices de 8 mm de diamètre, (2) atmosphère partiellement saturée, sans couvercle (Figure 1)

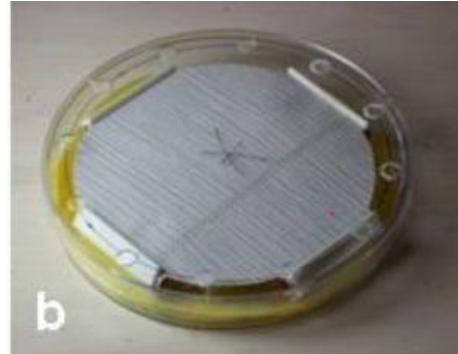
A la fin des décontaminations, il est souhaitable de refaire les analyses afin de vérifier l'efficacité des protocoles mis en place.

En fonction du taux de contamination et des espèces en présence, des précautions particulières seront données pour protéger le personnel et traiter les locaux et documents.

Les laboratoires et le Service interministériel des Archives de France sont intéressés par le résultat des mesures prises pour éradiquer les contaminants.



Capteur à poussière
© Laboratoire de Parasitologie – Mycologie
(UMR/CNRS Chrono-Environnement)



Capteur cellulosique
© Laboratoire de Parasitologie – Mycologie
(UMR/CNRS Chrono-Environnement)

2.3.3 Protection du personnel

En cas de prolifération importante, il est nécessaire de se protéger, car certaines moisissures sont dangereuses pour la santé, en portant :

- un masque avec filtre particulaire (minimum exigé le type FFP2⁸ de la norme EN 149, 2001 portant le marquage CE) ;
- le port de lunettes de sécurité ;
- des gants jetables ;
- une blouse voire une combinaison jetable ;
- des chaussons pour pénétrer dans l'espace contaminé.

Quitter tous ces vêtements en sortant de la zone contaminée et les envelopper dans un sac poubelle hermétique. Laver les blouses à l'eau de javel.

⁸ 9FFP: *filtering face piece particules* de FFP1, FFP2 et FFP3 selon le degré de filtration (respectivement 80, 92 et 99%) et d'étanchéité (mesures de fuite le long du visage, respectivement 22, 8 et 2%).

2.3.4 Agir sur l'environnement

2.3.4.1 Les principales actions :

Traiter les documents sans traiter la cause de la propagation est inutile	
1. Analyser les causes de la propagation	<p>Les causes sont diverses :</p> <ul style="list-style-type: none">• infiltrations d'eau ;• inondation⁹ ;• panne de climatisation spécialement pendant les périodes chaudes;• humidité importante dans les locaux (risque à partir de 60% d'HR voire moins si T° élevée et moisissures pouvant se développer avec taux d'HR plus bas) ;• proximité de murs extérieurs avec risques de condensation ou d'humidité résiduelle ;• présence de poussière (substrat nutritif, maintient d'humidité);• manque de ventilation ;• confinement ;• transfert de documents contaminés dans les magasins sans les avoir traités (dépeussierage systématique et éventuellement désinfection);• transfert de documents provenant de lieux humides ;• conditionnement dans des boites stockées dans des espaces humides;• contamination de documents par les colles utilisées en restauration... <p>Le rétablissement de bonnes conditions environnementales ajouté à un traitement local des documents et des locaux, peut suffire dans certains cas (avec avis des spécialistes) à éviter toute nouvelle contamination.</p>
2. Isoler la pièce et/ou les documents contaminés :	<ul style="list-style-type: none">• Si possible arrêter la climatisation ou la ventilation pendant l'examen des fonds ;• fermer les bouches de circulation d'air si elles communiquent avec d'autres espaces, fermer portes et fenêtres;• envelopper les étagères contaminées ou bien les autres, d'une bâche de polyéthylène, de manière à éviter la propagation;• envelopper les documents ou les cartons dans du papier (kraft par exemple) afin d'éviter la contamination à d'autres éléments et la dispersion des spores lors du transfert.
3. Puis agir dans les 48 heures	<p>Agir rapidement en asséchant l'air (déshumidificateur) notamment en cas d'inondation car les risques de prolifération sont très rapides.</p>

⁹ Des procédures plus lourdes impliquant éventuellement une congélation rapide pour stopper la prolifération si des mesures d'assèchement rapide (en 3-4 jours) ne peuvent être prises.

<p>4. Vérifier s'il n'y a pas eu propagation</p>	<p>Même si la contamination est localisée, vérifier par une analyse d'air, qu'il n'y a pas eu propagation, les moisissures pouvant se développer ultérieurement en particulier par le biais des gaines de climatisation (prélèvement et nettoyage des gaines par robot caméra).</p>
<p>5. Effectuer des prélèvements</p>	<p>Effectuer des prélèvements à l'aide d'écouvillons secs et stériles et par la technique du scotch (sauf sur les documents, le faire sur les reliures administratives, sur les conditionnements ou les étagères) ou faire venir un spécialiste. Il faut décrire avec précision où et comment se développent les moisissures. Les analyses nécessitent au moins 3 semaines de mise en culture. Les résultats seront donc tardifs (moins si elles sont très actives), il est de ce fait indispensable d'agir avant, pour enrayer la prolifération. La connaissance du type de moisissures permet de contrôler l'environnement, leur diffusion, de connaître à partir de leur spécificité quels sont leurs besoins et les risques réels sur les documents (il y a des moisissures très friandes de cellulose, de colle notamment d'amidon, ou de collagène -cuir). Leur développement n'a pas la même incidence selon qu'il est en phase active, modérée ou latente. Les moisissures peuvent n'attaquer que les tranches (notamment sur les reliures en toiles non enduites) ou au contraire se diffuser à l'intérieur des documents. Un brossage efficace <u>après assèchement</u> peut ainsi parfois suffire en fonction du type de moisissures incriminé et du support.</p>
<p>6. En cas de contamination importante, faire désinfecter les locaux par des spécialistes</p>	<p>En cas de contamination importante, faire désinfecter les locaux par des spécialistes après analyse des prélèvements. L'air et les surfaces peuvent être traités par :</p> <ul style="list-style-type: none"> • aérosolisation à chaud (aérosolisation couplée à un chauffage de la solution désinfectante à 200°C à 250°C – taille des particules de 0,5 à 3 microns), • brouillard « sec » (taille des particules projetées entre 7 et 12 microns), • nébulisation à froid (taille des particules projetées de 10 à 30 microns). <p>Ces traitements sont effectués dans des locaux vidés de leur contenu. Autres possibilités : traitement des espaces sans collections, par des fumées fongicides après avis des biologistes spécialisés dans le patrimoine écrit.</p>
<p>7. Traitement du mobilier et des sols</p>	<p>Le mobilier doit aussi être nettoyé, dépoussiéré et/ou désinfecté en fonction des matériaux :</p> <ul style="list-style-type: none"> • sur le métal et matériaux non poreux : une action mécanique suffira pour les extraire (aspirateur à filtre HEPA) suivie du passage d'un chiffon microfibrés sec ou légèrement humidifié. Si le support présente des traces de saleté résiduelle ou des moisissures, l'utilisation de produit détergent-désinfectant complémentaire peut s'avérer nécessaire. On veillera à la nature du produit utilisé qui devra être validé par les experts spécialisés. • Les sols peuvent être nettoyés à l'aide d'un détergent puis désinfectés à la javel diluée dans de l'eau (voir note 8) sans rinçage. Il faut éviter de frotter à sec pour ne pas disperser les spores et de bien essorer afin de ne pas augmenter le taux d'HR. Jeter éponges et chiffons après usage.

2.3.4.2 Décontamination de l'air à l'aide de purificateurs mobiles sans ozone

A la suite d'essais menés par le laboratoire de la BnF et le CRCC¹⁰ notamment, certains appareils de décontamination de l'air ont prouvé leur efficacité.

S'ils utilisent des technologies différentes: filtration particulaire absolue, destructions par plasma froid et ionisation, couplage un à une filtration à charbon actif pour l'élimination des odeurs, etc., ces appareils ont tous en commun de n'être efficaces que sur les spores et moisissures aéroportées (circulation de l'air grâce à un système de ventilation). Aussi, si les causes de la contamination ne sont pas éliminées et les supports et documents assainis, le niveau de contamination de l'air augmente à nouveau rapidement dès que l'appareil est à l'arrêt.

Ces appareils sont généralement utilisés de manière transitoire ; ils permettent d'endiguer une contamination en apportant une aide efficace à l'assainissement des locaux contaminés en attendant que des mesures soient prises pour désinfecter surfaces et documents. Ils sont sans apport de produits toxiques pour l'homme, les biens culturels et l'environnement et libèrent très peu voire pas d'ozone dans l'atmosphère.

Ils peuvent être utilisés :

- en cas de contamination avérée pour assainir l'air avec une utilisation en continu, en aide complémentaire des mesures d'usage (traitement d'air, nettoyage...) ;
- lors des campagnes de dépoussiérage de documents contaminés afin d'éviter de propager les moisissures et leurs spores dans l'air ;
- en mesure préventive en cas d'augmentation importante de l'humidité relative (infiltrations, arrêt de climatisation, inondation) ;
- en remplacement des filtres des appareils de traitement d'air : les micro-organismes seront tués ce qui évite les risques de relargage dans l'atmosphère. L'appareil est muni d'une alarme qui prévient lorsque les filtres sont saturés.

2.3.5 Agir sur les documents

Un restaurateur ou un biologiste spécialisé dans les risques biologiques concernant les biens culturels procédera à une évaluation de l'état sanitaire des documents et indiquera les procédures à suivre en fonction de l'ampleur de la contamination.

2.3.5.1 Le dépoussiérage

Tony Basset et Laure Simeone du laboratoire de microbiologie de la BnF ont mené une étude sur le dépoussiérage des documents moisiss publiée dans le n° 26 des Actualités de la conservation (2007) (voir :http://www.bnf.fr/fr/professionnels/anx_actu_conservation/a.actus_conservation_autres_numeros.htm IF).

¹⁰ Publication des résultats dans le numéro 8 de l'ARSAG, 2008. p. 70-82.

Le but de cette étude était de comparer les méthodes de dépoussiérage réalisées à l'aide d'aspirateurs munis de filtres HEPA (High Efficiency Particulate Air Filter) qui sont préconisées par les pays qui ont interdit l'usage de l'oxyde d'éthylène suivi d'un dépoussiérage.

Les conclusions sont intéressantes sur plusieurs points.

- Si le dépoussiérage a lieu au moment où les moisissures sont actives, les substances liquides contenues dans les hyphes des myceliums sont libérées par écrasement. Elles se propagent alors, collant les spores sur les surfaces et les rendant très difficiles à aspirer. Il faut donc attendre 1 à 4 mois dans une atmosphère sèche pour que ce dépoussiérage soit véritablement efficace.
- Le dépoussiérage sur des moisissures fraîches tache les supports lorsque le liquide est coloré (notamment *Aspergillus niger*).

-Bon à savoir-

« un simple dépoussiérage des surfaces récemment moisies ne permet pas de décontaminer ; au contraire, il contribue à un accroissement de la contamination par l'étalement des spores viables à la surface des échantillons ».

Il est donc essentiel d'attendre que les supports et les moisissures soient secs avant de les dépoussiérer.

2.3.5.2 Méthodologie d'intervention sur les documents

Comme toute étude de laboratoire, les conclusions doivent être pondérées et les actions doivent être adaptées à une situation donnée, à l'analyse des risques, au diagnostic du biologiste.

La contamination est-elle accidentelle et le contrôle du climat rétabli et efficace ?

Si la réponse est positive et les supports sur lesquels les moisissures se sont développées lisses¹¹ : il est envisageable, après avis de spécialistes, d'isoler les documents, de les assécher, puis de les dépoussiérer

¹¹ Un support lisse: papier glacé, surface vernie, calque, reliure plastifiée, etc.

La contamination est-elle périodique et le contrôle du climat critique ? Les supports ne sont pas lisses.

Si la réponse est positive et la contamination très envahissante ou si elle touche un grand nombre de documents, mieux vaut désinfecter puis dépoussiérer ces derniers. S'il ne s'agit que de taches éparses sur quelques documents, un séchage dans un local sec pendant au moins 1 mois, suivi d'un dépoussiérage fin peut suffire. Dans tous les cas, les conditions climatiques du local dans lequel les documents sont voués à être conservés à moyen et long termes, doit être amélioré et contrôlé.

2.3.6 Procédures particulières en cas d'infiltration ou d'inondation

Lorsque des documents sont fortement humides et même mouillés à la suite d'une inondation, une congélation rapide permet d'éviter la prolifération des moisissures qui peuvent se développer en 48 heures, ce qui laisse le temps d'agir plus sereinement. Les précautions d'usage pour congeler établies lors des risques d'inondation doivent être respectées. La congélation n'a pas d'action fongicide. Elle évite simplement les risques de prolifération. Après décongélation (par lyophilisation ou séchage contrôlé), il faut suivre les procédures de désinfection sur les documents qui ont été contaminés.

Dans la mesure du possible (cela dépend du degré d'urgence, de la masse à traiter et des moyens humains disponibles), éviter de congeler cuirs et parchemins



Documents inondés



Ruptures de canalisation, fuites

2.3.7 Procédures détaillées de traitement

Les procédures détaillées sont les suivantes, elles seront validées par un spécialiste:

1. **Documents peu contaminés**, moisissures en surface, supports lisses, contaminations sur quelques pièces isolées : un dépoussiérage avec un aspirateur muni de filtres et des brosses est généralement suffisant. Les documents seront préalablement séchés, dépoussiérés par aspiration puis mis en

quarantaine pour vérifier l'efficacité de ce traitement dans une atmosphère contrôlée (HR autour de 40-45%). Il faudra utiliser un aspirateur muni de filtres HEPA (High Efficiency Particulate Air Filter) afin d'éviter la dispersion des spores dans l'atmosphère. Les filtres doivent être changés régulièrement, il faut donc se munir d'un stock. Tous les instruments seront désinfectés à l'alcool à 70° en laissant en contact 1h au minimum avant séchage (contrôler le séchage sur un buvard avant d'utiliser les brosses sur les collections). Utiliser des gants pour protéger la peau.

Une étude récente (2017-2018) sur la désinfection en atmosphère saturée en vapeur d'éthanol à 70°¹² a montré une très grande efficacité de cette méthode pour la désinfection des tirages photographiques gélatino-argentiques et des documents imprimés sur support papier. Les résultats ont conclu que moisissures et spores sont éradiquées en 2 heures, sans impact sur les matériaux qui les constituent (papier, encre d'imprimerie). Des analyses complémentaires doivent être réalisées afin d'en vérifier l'impact sur les encres manuscrites notamment, mais il s'agit là d'un procédé tout à fait prometteur qui ne s'applique pour l'heure, qu'aux documents contaminés de faible volume.

2. **Documents très contaminés**, moisissures abondantes à la surface ou à l'intérieur de liasses ou de registres sur un espace important ou à plusieurs endroits d'un même espace. Le seul traitement efficace aujourd'hui pour les documents à traiter massivement est la fumigation¹³ à l'oxyde d'éthylène. Ce traitement est curatif mais absolument pas préventif : remettre les documents dans une zone contaminée est donc totalement proscrit puisque les risques sont importants que les documents soient à nouveau contaminés. L'oxyde d'éthylène est un gaz éminemment dangereux ; une désinfection à l'oxyde d'éthylène est une opération qui n'est donc pas anodine et nécessite une préparation méticuleuse. Une fiche pratique d'aide à la préparation des collections moisies à un traitement de désinfection est disponible sur le site des Archives de France (*Gérer les Archives/Préservation des documents/Désinfection/Préparer les documents d'archives moisies à un traitement de désinfection à l'oxyde d'éthylène*). Au retour, tous les documents doivent être dépoussiérés afin d'éliminer les moisissures et leurs spores pour contrôler plus facilement leur présence ultérieure et retirer la poussière source de contamination. Les mesures correctives et préventives sur l'environnement doivent avoir été prises avant le retour des collections dans les magasins.



Documents à désinfecter

¹² Chloé Lucas, Valentin Rottier, Frank Dénier [et al]. «Traitement aux vapeurs d'éthanol de photographies gélatino-argentiques et de papiers altérés par des micro-organismes», Support tracé, vol. 18, 2018, p. 167-173

¹³ La fumigation est un traitement utilisant un gaz. A ne pas confondre avec les traitements utilisant des poudres fumigènes solides, pour lesquels le terme de fumigation peut être utilisé de manière abusive.

2.3.8 Connaissance des risques dus à l'utilisation de l'oxyde d'éthylène

La fumigation à l'oxyde d'éthylène a aussi des inconvénients qu'il ne faut pas négliger. Ce gaz est mutagène et cancérigène ; il est donc interdit dans de nombreux pays qui en l'absence de traitement chimique véritablement efficace et sans risque pour les collections, portent leurs efforts sur la prévention. En France, l'utilisation de l'oxyde d'éthylène est strictement encadrée et la très grande majorité des prestataires de désinfection à l'oxyde d'éthylène l'utilisent en mélange avec un gaz inerte et non plus pur comme cela se pratiquait il y a quelques années, supprimant par là même, la plupart des effets négatifs sur certains matériaux (cuirs, liants protéiniques, etc.) évoqués dans la littérature. L'oxyde d'éthylène dilué demeure toutefois déconseillé pour les documents contenant des parties métalliques ou ayant été traités avec des produits chlorés (insecticides tels que le paradichlorobenzène, le pentachlorophénol, répulsifs tels que le naphthalène).

2.3.9 Le rayonnement gamma

De nombreux pays, Argentine, États-Unis, Pays-Bas, Pologne, Roumanie notamment, ont exclu les traitements à l'oxyde d'éthylène en préconisant la désinfection par irradiation aux rayons gamma mais sans utiliser des doses de stérilisation (18-20 kGy) partant du principe que les collections ne sont pas remises dans un espace stérile. Les études semblent démontrer l'efficacité de doses entre 6-10 kGy. Le problème étant de s'assurer que les doses en périphérie et à l'intérieur des palettes soient suffisantes et évitent de dépasser 10-12 kGy. Chaque installation étant différente, il est nécessaire de faire des tests préalables pour éviter une trop forte dégradation des matériaux due à un sur dosage ou au manque d'efficacité en cas de sous dosage. Il faut donc poser des dosimètres en périphérie et au centre ainsi que des contrôles biologiques (souches, boîtes de Pétri...). Il peut aussi être nécessaire de laisser un vide au centre des palettes pour avoir des doses homogènes.

Les traitements par irradiation aux rayons gamma sont rapides et ne laissent pas de produit résiduel, mais les effets des rayonnements sur les matériaux, qui entraînent une légère dégradation des matériaux organiques aux doses de 10-12 kGy, sont cumulatifs. Il faut donc éviter de traiter les documents plusieurs fois.

Par ailleurs, les matériaux transparents ou translucides tels que les plaques de verre ou autres négatifs photographiques ne doivent pas être traités par rayonnement gamma, ceux-ci pouvant présenter une coloration et une opacification après traitement.

Arc-Nucléart en collaboration avec les Archives nationales, les Archives de France, la Bibliothèque nationale de France, le laboratoire de recherche des monuments français ont étudié les protocoles de traitement (2015-2016) afin d'orienter les procédures. Le résultat de cette étude ont été publiés dans le numéro 18 de la revue Support Tracé¹⁴

¹⁴ Faisl Bousta, Stéphane Bouvet, Marie Courselaud [et al]. «Le traitement des archives au rayonnement gamma : vers une méthodologie» Support tracé, vol. 18, 2018, p. 147-158.

2.4 Mesures préventives

Les mesures préventives sont essentielles puisqu'elles permettent d'éviter les contaminations par les moisissures et les effets secondaires éventuels des traitements de désinfection.

2.4.1 Actions sur l'environnement

La filtration de l'air

La qualité de la filtration de l'air des installations de traitement apporte une garantie fondamentale dans la réussite du contrôle qualité de l'environnement. Le choix des filtres doit correspondre aux risques, leur remplacement périodique est indispensable. Il est donc utile de procéder à un calendrier des contrôles.

Il faut distinguer la filtration des polluants particuliers dont font partie les contaminants biologiques, de la filtration des polluants gazeux.

- Pour les polluants particuliers, une filtration au niveau F7-F8 (ou EU7-EU8) correspondant à environ 90% d'efficacité opacimétrique convient : elle arrête 90% des particules de taille supérieure à 0,4 microns. La taille de la majorité des bactéries et spores de moisissures étant comprise entre 0,5 et 10 microns, c'est donc suffisamment efficace car on ne recherche pas non plus à avoir des locaux stériles.
- En cas de présence de polluants gazeux (ozone, oxydes de soufre, oxydes d'azote, COV...), il faut prévoir des filtres à charbon actif à forte rétention si possible imprégnés d'oxyde de cuivre, en complément ou en remplacement en fonction des polluants à capter, utiliser la filtration à base de billes d'alumine dont la gestion est plus aisée (saturation visible par le changement de couleur, pas de risque de relargage) et l'efficacité supérieure sur certains gaz (inconvenients : poussière abrasive, risque de dégorgement pourpre en cas d'inondation et de proximité des collections).

Plusieurs méthodes permettent de quantifier et/ou identifier les polluants présents :

- comptage direct des poussières grâce à un détecteur laser, ou indirect par échantillonnage et analyse laboratoire ultérieure ;
- mise en place de capteurs passifs ou actifs de polluants chimiques et analyse ultérieure en laboratoire ;
- mise en place de coupons métalliques étalonnés en cuivre, en plomb (identification des acides notamment) ou en argent (identification du soufre) et analyses régulières en laboratoire de la nature et du niveau de corrosion (BnF, C2RMF, CRCC).

La filtration de l'air doit concerner à la fois l'air neuf et l'air recyclé, car une partie des polluants est générée à l'intérieur des locaux (entrée d'air parasite, circulation des personnes, présence de matériaux émissifs). Sur l'air neuf, pour protéger et améliorer la durée de vie des filtres F7-F8, il faut prévoir en amont des filtres plus grossiers de type G4 ou F5 (EU4 ou EU5). Les centrales de traitements d'air doivent être suffisamment puissantes pour conserver un débit d'air suffisant en aval des filtres. En outre, pour être parfaitement efficaces, les filtres doivent être montés de façon totalement étanche (cadre de montage aux bonnes dimensions, joints, etc.) et changés lorsqu'ils sont saturés, faute de quoi, ils peuvent relarguer brutalement tout ou partie des particules retenues. La maintenance des installations dans la durée est primordiale pour pérenniser l'efficacité de la filtration. Il est possible d'utiliser les appareils mobiles de décontamination de l'air à condition qu'ils n'émettent pas d'ozone.

<p>Contrôle de l'humidité relative, de la température</p>	<p>La relation entre humidité relative et température est bien connue : toute hausse de température fait diminuer l'humidité relative, toute baisse l'augmente. Il est donc indispensable de contrôler ces deux paramètres en gardant pour objectif le maintien de la stabilité et la tolérance d'amplitudes annuelles à condition qu'elles soient lentes et progressives. Dans les pays tempérés, pour des bâtiments neufs, bien étanches et bien isolés, il est recommandé de maintenir une humidité relative comprise entre 45% à 55% pour les papiers, supports photographiques et audiovisuels, et entre 50 et 55% pour le cuir et le parchemin. Les fluctuations doivent être réparties sur l'année avec des écarts journaliers ne dépassant pas +/- 5% pour l'HR. Il est recommandé de maintenir, pour les papiers, cuirs, parchemins, documents audiovisuels et photographiques argentiques noir et blanc, une température comprise entre 18°C et 23°C, les variations quotidiennes étant au maximum de +/- 1°C. Des conditions de température plus faibles sont requises pour certains documents photographiques particuliers (couleur, négatifs souples sur support acétate ou nitrate de cellulose notamment) qui nécessitent l'installation de chambres froides déshumidifiées ou de réfrigérateurs à froid ventilé (dans lesquels l'humidité relative n'est pas contrôlée mais dans ce cas, imposent un conditionnement préalable particulier des documents¹⁵). Les thermohygromètres doivent être régulièrement étalonnés afin de donner des mesures justes. Les seuils d'alarmes seront fixés à 57% d'HR. En cas de températures supérieures à 25°C, le seuil pourrait être passé à 55%. L'humidité relative ne devrait jamais dépasser 57%-60%, seuil à partir duquel il faut mener un plan d'action d'autant plus urgent que les températures auront grimpé : il faudra alors ventiler et déshumidifier d'urgence. L'utilisation des diagrammes psychrométriques permet d'anticiper en surveillant les conséquences des fluctuations des températures et de l'HR sur l'environnement (voir en annexe les explications d'utilisation). En cas de risques avérés : placer temporairement des déshumidificateurs portatifs en vidant régulièrement les bacs et en les nettoyant, avec le tambour, à la javel et en rinçant plusieurs fois. A ces bacs récupérateurs, on préférera les systèmes permettant une connexion directe appareils avec le réseau d'eaux usées. Les déshumidificateurs portatifs doivent être considérés comme un moyen de dépannage temporaire car leur gestion et leur entretien dans la durée posent de nombreux problèmes (entre autres des risques d'inondation et de contamination). Si le besoin de déshumidification est permanent, il faut trouver avec les climaticiens des solutions pérennes.</p>
<p>La ventilation</p>	<p>La ventilation est le quatrième élément indispensable pour renouveler l'air et éviter le confinement. En cas d'absence de traitement d'air ou de manque d'homogénéité on peut utiliser des ventilateurs muraux qui doivent être placés en diagonale pour créer un courant d'air qui limitera le dépôt des spores.</p>

¹⁵Congélation des supports en nitrate de cellulose.
https://www.culture.gouv.fr/content/download/172868/1920791/version/2/file/Fiche%207_Congelation_v22sept2017.pdf

Maintenance et contrôle du bâtiment	<p>Le bâtiment doit constituer un écran protecteur autour des collections. Toute anomalie doit donc être signalée et corrigée, notamment celles qui vont entraîner un apport d'humidité et de polluants comme la poussière :</p> <ul style="list-style-type: none"> • vérification régulière de l'étanchéité des toitures et ouvertures, canalisations, gouttières, localisation et traitement des fissures, infiltrations, recherche des zones de risque de condensation ; • fermeture des portes et des fenêtres ce qui peut réduire d'environ 2% la concentration de spores de source extérieure ; • dépoussiérage des locaux au moins une à deux fois par an, du mobilier et des conditionnements tous les ans à tous les cinq ans selon la vitesse d'empoussièremment ; • contrôle sanitaire aux périodes à risque (printemps/ automne) dans les locaux et sondage à l'intérieur des conditionnements ; • inspection régulière des locaux (calendrier et cahier de contrôle) ; • mise en place de fiches ou de registres d'incidents, mémoire des sinistres qui permettront de cartographier et mieux contrôler les zones à risques.
Actions sur les documents	<ul style="list-style-type: none"> • Respect des procédures d'introduction de documents dans les magasins : connaissance des conditions de stockage des services versants, vérification de la ventilation et de l'empoussièremment (constat visuel), constat d'état, assèchement, dépoussiérage, quarantaine et désinfection si nécessaire. • Aucun stockage en contact avec les murs donnant sur l'extérieur. • La mise en boîtes protège des variations d'hygrométrie, des spores et de la poussière. Il faut veiller à ce que le stockage des matériaux de conditionnement ne se fasse pas dans un local humide et que le document soit sec lorsqu'il est introduit dans le contenant. • Éviter d'utiliser des reliures en toile non enduite, des sangles. Préférer aux premières, des toiles enduites (type Buckram).
Management	<ul style="list-style-type: none"> • Rédaction d'un règlement intérieur sur la chaîne de traitement des documents devant rentrer dans les magasins : vérification du taux d'humidité, assèchement si nécessaire, dépoussiérage systématique des documents sales avec aspirateurs munis de filtres HEPA, et désinfection si nécessaire ; • tenue d'un cahier de contrôle sanitaire ; • nomination d'un responsable qui devra effectuer un rapport annuel sur les contrôles effectués sur l'environnement et les documents ; • établissement d'un plan d'intervention en cas de catastrophe en préparant un stock de matériel dans un local fermé afin que le matériel ne soit pas utilisé à d'autres fins (déshumidificateurs, gants jetables, masques, blouses, papier kraft, rouleaux de plastique en polyéthylène, ruban adhésif, cartons, ventilateurs, adresses des sociétés et personnes ressources ...) ; • formation du personnel : reconnaissance des moisissures, analyse des risques, connaissance des actions curatives et préventives, mesures de protection.

2.4.2 Traitements à éviter

- Dès lors que des collections sont présentes dans le local à désinfecter, tout produit de désinfection des surfaces ou de l'air par dispersion de produit liquide (nébulisation,

brumisation, aérosolisation, etc.) ou par dispersion de particules solides de type fumigène (type fumispore OPP, Ultrad HA, Exobac Dobol, etc.) est proscrit car :

- Ces produits sont potentiellement dégradants pour les documents,
 - leur efficacité sur l'éradication des moisissures et leurs spores sur les documents n'est pas avérée,
 - dans le cas des poudres fumigènes, une aspiration de chaque document ayant été mis en contact avec la poudre est nécessaire après traitement, sachant que celle-ci est généralement imprégnée de produits bactéricides néfastes pour la santé des personnes.
- Des sociétés proposent le traitement des archives à l'ozone. C'est un traitement à proscrire à cause de son action fortement oxydante sur les papiers
 - Le rayonnement gamma altère papiers, cuir, parchemin et textiles à des doses supérieures à 10-12 kGy.
 - Les essais menés par le CRCC sur l'efficacité des traitements à l'azote pour éradiquer les moisissures se sont avérés négatifs (traitement efficace en revanche pour les insectes).
 - La congélation et/ou la lyophilisation bloquent la contamination mais ne tuent en aucune manière les moisissures.

3 CAS PARTICULIER DE LA MÉRULE

3.1 Caractéristiques

La mэрule, *Serpula Lacrimans*, *pourriture sèche*, du grec « *merizo* » partager, fragmenter (allusion au bois dégradé en petites cubes), est un champignon lignivore friand de la cellulose. Elle naît exclusivement en milieu très humide de 98 à 99 % d'humidité ou sur un support comme le bois ou le papier contenant de 20 à 40% d'eau. Mais, par la suite, elle est capable de puiser l'eau en un point et la transporter à travers son réseau de filament, ce qui lui permet de survivre à des taux d'humidité plus bas et d'étendre très loin, sa zone de propagation. Elle s'adapte à de larges plages de températures (entre 7 et 26° C, au-delà elle ne peut se développer) et une faible luminosité voire l'obscurité contribuent à sa croissance. Il s'agit d'une moisissure très envahissante qui est capable de traverser des cloisons et suivre des poutres sur des dizaines de mètres. Si les conditions sont défavorables, le champignon ne meurt pas mais entre en période de latence. Il se redéveloppera dès que les conditions d'humidité et de température seront à nouveau favorables. Sa couleur change au fur et à mesure de son évolution : blanc cotonneux, jaune canari, vert, rose, violacé, gris, ocre. Son action est destructive car elle s'attaque à la structure des matériaux atteints qui perdent leurs propriétés mécaniques.

La mэрule s'attaque aux :

- **Bois ou bâtiment** : l'action de la mэрule entraîne la destruction du bois. La diminution de la résistance mécanique entraîne son affaissement. Certains insectes comme la grosse vrille sont attirés par les bois dégradés par les champignons lignivores. La mэрule est responsable à 70% des dégradations à l'intérieur des bâtiments en Europe du Nord. Un traitement in situ est donc indispensable, injection de

produits de consolidation des bois ou remplacement si nécessaire. On fera appel à des entreprises spécialisées et on demandera l'avis des laboratoires travaillant dans le domaine patrimonial sur les méthodes préconisées.

• **Dérivés de cellulose, le papier, les fonds d'archives:** le papier très comestible est rapidement altéré, taché et fragilisé jusqu'à sa disparition en poudre. La propagation peut-être très rapide. Il est indispensable de connaître l'origine du développement qui est souvent antérieur à l'arrivée des fonds dans le bâtiment d'archives, la mэрule s'étant préalablement développée dans des caves, bâtiments insalubres ou grâce à une source d'humidité forte due à des infiltrations. Si les fonds sont transférés sans dépoussiérage ni désinfection dans les archives, elles vont pouvoir s'y développer en cas de désordre climatique d'importance ou de sinistre par l'eau.

3.2 Les actions à mettre en place

Les actions à mettre en place en cas de suspicion de présence de mэрule sur des documents d'archives sont peu ou prou celles qui sont menées pour tout autre type de moisissures. La mэрule étant toutefois particulièrement virulente, destructrice et difficile à éradiquer, des précautions particulières devront être prises pour éviter sa propagation.

1. **Détecter les causes** de la propagation dues à l'humidité des lieux de stockage :
 - origine externe : documents contaminés et non traités (désinfection ou/et dépoussiérage) transférés tels quels dans les archives;
 - origine interne : infiltrations, fuites, eau stagnante, inondation et défaut de ventilation, documents humides.
2. **Éliminer les sources d'humidité** : assécher, assainir (selon les modalités de l'expertise), ventiler. La disparition des sources d'humidité est une action indispensable pour empêcher le développement des champignons. Elle peut suffire pour éradiquer le problème en l'associant au traitement des collections. Les traitements de l'environnement préconisés par les entreprises privées : injection de produits, chauffage des matériaux, ne sont pas toujours indispensables.
3. **Contrôler et surveiller l'humidité relative** en installant des déshumidificateurs et des sondes de température et d'hygrométrie enregistreuses placées aux endroits contaminés. Analyser les données régulièrement.
4. **Faire identifier le champignon** présent sur le fonds par prélèvement et analyse biologique si nécessaire ou par envoi de photographies aux laboratoires spécialisés. La mэрule peut être confondue avec d'autres espèces : Coniophore, Lenzite, Polypore. La présence de spores confirmera si la mэрule est active. Il faut s'adresser à un laboratoire spécialisé du Ministère de la culture car les analyses sont spécifiques [1].
5. Pour le traitement des documents contaminés par la mэрule, s'adresser à des organismes spécialisés dans la préservation des biens culturels afin d'éviter l'utilisation de produits ou de méthodes préjudiciables aux collections.
6. Pour le traitement des matériaux du bâtiment, s'adresser au Centre Technique des bois ou au LRMH.

7. Traitement des documents à l'oxyde d'éthylène.
8. **Le dépoussiérage** est indispensable pour retirer toute trace de champignons, il doit se faire après le traitement de désinfection.
9. Les documents doivent être réintroduits dans un **lieu assaini**.

[1] Laboratoire de Recherche des Monuments Historiques (LRMH)

29, rue de Paris

77 420 Champs sur Marne

Faysl Bousta

Tél : 01 60 37 77 91

faysl.bousta@culture.gouv.fr

Centre Interrégional de Conservation et de Restauration du Patrimoine

21, rue Guibal

13 003 Marseille

Fabien Fohrer

Tél : 04 91 08 23 46

fabien.fohrer@cicrp.fr

4 CONSEILS POUR L'UTILISATION DES COLLES EN RESTAURATION

Les colles fabriquées en restauration peuvent être responsables de développement de moisissures si les conditions d'utilisation ne sont pas rigoureuses. Tony Basset, Stéphane Mareynat (BnF) et Stéphanie Rock (C2RMF) ont étudié quatre colles d'amidon de blé¹⁶.

Les principales souches présentes étaient *Aspergillus*, *Penicillium*, *Chaetonium*, *Cladosporium*, *Epicoccum* (flore habituelle des céréales avant leur récolte). La majorité des souches étant cellulolytiques, elles se développeront aisément sur le papier. Toutes les colles déshydratées étudiées étaient contaminées.

Pour résumer les conclusions des analyses effectuées sur les colles d'amidon de blé :

1. utiliser de préférence de l'eau osmosée à l'eau courante qui peut être source de contamination;
2. nettoyer le matériel avec de l'eau osmosée ou bouillie (casserole, tamis,etc);
3. le chauffage des colles permet de réduire la contamination;

¹⁶ Voir n°26 des *Actualités de la conservation* de la BnF.

4. préparer la colle quotidiennement en petites quantités ;
5. sécher les supports encollés dans de bonnes conditions pour limiter la germination des spores de moisissures.

5 POUR EN SAVOIR PLUS

Pour en savoir plus, on se reportera aux sites de l'Office de Coopération et d'Information Muséale (OCIM : <http://ocim.fr/>) ou du Portail international Archivistique Francophone (PIAF : <http://piaf-archives.org/>). Le Centre interdisciplinaire de Conservation et Restauration (CICRP : <http://cicrp.info/>) présente des fiches techniques très utiles sur le prélèvement des insectes, la surveillance et le comptage à l'aide des lampes UV. Les sites du laboratoire des monuments historiques (LRMH) et du centre de recherche sur la conservation des collections (CRCC) consacrent un chapitre aux contaminants avec des moisissures. Si plus d'explications théoriques, on se reportera à l'ouvrage de Françoise Flieder et Christine Capderou « Sauvegarde des collections du patrimoine. Lutte contre les détériorations biologiques ». Préface de Michel Duchein. 256 p. CNRS Editions. 1999.