



Une contamination (ou infection) est une **prolifération fongique** : les moisissures se développent dès lors que les conditions environnementales leurs sont favorables.

Ce document propose une **méthodologie** aux institutions confrontées à une contamination soudaine par des microorganismes, afin qu'ils puissent entreprendre les premières actions d'urgence pour endiguer et stopper la menace.

## Diagnostic des causes

### Espèces fréquemment présentes

La majorité des souches retrouvée dans les institutions patrimoniales appartient aux genres fongiques *Penicillium*, *Aspergillus* et *Cladosporium*.

Ces genres sont naturellement abondants dans l'air et sont connus pour être parmi les premiers à se développer sur les supports lors de problèmes d'humidité.

### Ressources en ligne (consultées le 23/10/2022) :

- [BASSET Tony, LAFFONT Caroline, « Les contaminations fongiques » in \*La Lettre de l'OCIM\*, 138, OCIM, 2011](#)
- [« Les moisissures - Épisode 1. Connaître et prévenir », série vidéo \*La conservation des collections d'archives et de bibliothèques\*, Service interministériel des archives de France, 2018](#)

### Paramètres de développement biologique

Combinés, différents facteurs favorisent le développement des moisissures :

- les **atmosphères généralement très humides** (bien que certaines espèces, telles les espèces xérophiles, ne nécessitent pas des ambiances excessivement humides pour se développer), généralement au-delà de 70% d'humidité relative HR (avec une zone critique entre 60% et 70% d'HR),
- le plus souvent une **ambiance chaude**, généralement avec une température supérieure à 23/24°C,
- un faible **brassage d'air**,
- et un fort **empoussièrément**.

Elles vont le plus souvent apparaître sur des matériaux organiques ou dès lors qu'un équilibre environnemental est rompu, dans le cas :

- d'épisodes de **forte chaleur** en été,
- de **panne** du système de traitement d'air,
- d'**infiltrations** d'eau
- ou d'une **inondation**.

### Localisation privilégiée des contaminations

Par conséquent, il est possible de voir des moisissures sur des œuvres non conditionnées posées sur des rayonnages, sur des objets exposés en vitrine ou stockés dans des armoires fermées car ces zones sont confinées, sur les conditionnements surfacés (toile enduite, etc.), ou encore au dos des peintures dans les zones humides (telles que les églises ou les murs en contact avec l'extérieur qui sont généralement plus froids, notamment ceux orientés au nord).



▲ Développement de moisissures sur la couche picturale et au travers du réseau de craquelures depuis le revers de la toile

Les moisissures sont généralement actives si elles paraissent **humides**, dégagent une **odeur de renfermé** ou se répandent par **contact** ou par **souffle d'air**.

### Causes à envisager

Il convient dans un premier temps d'identifier la ou les cause(s) d'un environnement humide et d'un développement soudain de moisissures afin d'opter pour des actions efficaces et prioritaires.

- ❑ **Cause naturelle** : intempéries entraînant la stagnation ou l'infiltration d'eau, présence d'un cours d'eau à proximité, etc.
- ❑ **Cause architecturale** : orientation cardinale (mur nord plus froid et par conséquent soumis au risque de condensation), absence de vide sanitaire, obturation de l'aération naturelle par les soupiraux, remontées capillaires, anciens travaux ayant modifié le circuit naturel de l'eau (zone périphérique goudronnée / cimentée / bétonnée, dalle étanche de béton coulée en salle, enduit de chaux posé sur les murs), etc.
- ❑ **Cause technique** : panne de pompe de relevage, fuite d'eau (rupture de canalisation), absence ou dysfonctionnement du système de ventilation ou de traitement d'air, adaptation du système de traitement d'air existant (qualité du modèle, bon dimensionnement, fonctionnalités, paramétrage), ré-enclenchement du chauffage urbain (ayant provoqué des cycles humidité / assèchement ou ayant induit un phénomène de parois froides comparativement à des salles mitoyennes mieux chauffées), etc.
- ❑ **Cause de gestion** : absence de protection à la poussière (fort empoussièrément), cadres ou vitrines fixées ou adossées à un mur humide sans isolation spécifique ou écartement sanitaire, absence de matériau tampon dans l'enceinte, etc.
- ❑ **Cause humaine** : mauvais entretien des installations techniques, des gouttières ou des drains, etc.

### Base pour l'évaluation ou le bilan sanitaire

Il est recommandé de solliciter l'accompagnement de spécialistes en conservation-restauration pour étudier et gérer la situation. Il n'existe pas de préventeurs strictement spécialisés dans l'étude des contaminations, mais ils peuvent recourir à des microbiologistes ou à des laboratoires d'analyse.

Afin de pouvoir dresser un diagnostic précis, certains éléments devront être apportés à la connaissance du prestataire :

- ❑ **Liste des collections** impactées (nombre, matériaux constitutifs, dimensions, poids, encadrés ou non)
- ❑ **Plan des espaces** concernés par la contamination
- ❑ **Photographies** des collections et des espaces concernés
- ❑ **Relevés climatiques** annuels ou des semaines qui précèdent l'observation de la contamination
- ❑ **Caractéristiques de l'installation de traitement**, en précisant le taux d'aération ou le mode de ventilation (mécanique/naturelle, gaines communes à d'autres espaces au risque de contaminer les espaces voisins en cas de maintien du système)
- ❑ **Recensement des actions** déjà engagées en interne

### Ressources en ligne (consultées le 23/10/2022) :

- [QUEIXALOS Inocencia, \*Annuaire de laboratoires d'analyse - Prestataires de services pour la conservation des biens culturels, FFCR, 2007 - 2021\*](#)
- Partie « 1.4 Enquête sur la prolifération fongique à l'intérieur » : [GUILD Sherry, MACDONALD Maureen, \*Prévention des moisissures et récupération des collections : lignes directrices pour les collections du patrimoine, Bulletin technique, 26, Institut canadien de conservation, Ottawa, 2004 - 2020\*](#)

## Actions à entreprendre

Les trois catégories d'actions qui suivent ne sont pas ordonnées chronologiquement : exceptées pour les interventions directes sur les collections qui nécessitent un assèchement préalable, ces actions doivent être réfléchies de façon concomitante et organisées de façon simultanée et coordonnée.

### Actions auprès des agents

Même mortes, les moisissures continuent d'émettre des mycotoxines.

- ❑ **Établir une procédure d'accès** aux espaces contaminés
- ❑ **Protéger les intervenants** : prévoir des équipements de protection individuelle EPI (masques FFP2 *a minima* ou FFP3 et gants nitrile, blouses jetables si possible selon l'ampleur), mettre en place une procédure pour jeter les consommables (afin d'éviter de répandre des spores dans les espaces voisins lors des passages)
- ❑ **Être attentif aux éventuelles odeurs** : si une odeur inhabituelle est associée à la sensation de moiteur, cela peut signifier que l'activité biologique est intense, auquel cas le temps de présence devra être le plus réduit possible
- ❑ **Informers les instances et représentants du personnel** (service prévention, CHSCT, etc.) : saisir la médecine du travail en cas de personnels exposés et présentant des symptômes inhabituels (selon la nature des moisissures et le temps de présence, un risque pour la santé des personnels peut être avéré)
- ❑ **Commander une étude de la qualité de l'air** (facultatif, recommandé) : demander des analyses d'air par un laboratoire pour évaluer le niveau d'exposition des agents amenés à travailler dans l'espace concerné, ce qui permet par ailleurs de connaître le taux de contamination de l'air.

#### Ressources en ligne (consultées le 23/10/2022) :

- Parties « 1.5 Effets sur la santé » et « 2.1 Équipement de protection individuelle » : [GUILD Sherry, MACDONALD Maureen, Prévention des moisissures et récupération des collections : lignes directrices pour les collections du patrimoine, Bulletin technique, 26, Institut canadien de conservation, Ottawa, 2004 - 2020](#)

### Actions dans les espaces contaminés

- ❑ **Isoler l'espace contaminé des espaces sains voisins** : interdire l'accès au public, fermer les portes (ou poser une bâche polyéthylène type *Polyane*® pour des salles qui communiquent entre elles en enfilade), afficher une signalétique pour ne pas franchir la zone, couper les conduits de traitement d'air si elles sont communes à différents espaces pour éviter la prolifération des spores vers les zones saines (ou étanchéifier les bouches d'aération, notamment les bouches de reprise d'air, par la pose d'un film polyéthylène type *Polyane*®)
- ❑ **Vérifier l'étendue de la contamination dans les autres espaces** : observer les autres espaces du niveau (sols et parois, intérieur des vitrines ou des meubles de stockage)
- ❑ **Favoriser un bon brassage de l'air dans l'espace contaminé** (préalablement isolés des espaces sains) pour homogénéiser l'air et limiter le dépôt des spores sur les surfaces : mettre en place des ventilateurs (en journée, idéalement la nuit également si l'installation électrique est aux normes et qu'une équipe de surveillance est présente), décaler si possible le mobilier muséographique à 1 mètre des murs (en profiter pour observer l'arrière des panneaux pour appréhender la présence ou non de moisissures) ou isoler le mur de la vitrine à défaut de pouvoir déplacer cette dernière (poser un pare-vapeur polyéthylène type *Polyane*® ou film d'anoxie)
- ❑ **Réduire le taux hygrométrique** (puis le stabiliser) : assécher progressivement (2 %/jour) jusqu'à atteindre une HR comprise entre 45 % et 50 % pendant au moins 3 mois (cet assèchement limitera le développement des moisissures et permettra une meilleure efficacité du traitement curatif sur les collections)

Pour cette action d'assèchement, différentes situations doivent être envisagées :

- **En cas de présence d'un système de traitement d'air** : vérifier le bon fonctionnement de l'appareil, changer les consignes
- **En cas de système de traitement d'air absent ou insuffisant** : acquérir des appareils de régulation fixes ou mobiles (déshumidificateur par refroidissement ou par déshydratation)

Il doit être noté que la présence supplémentaire d'équipements de traitement d'air (ventilateur, déshumidificateurs) peut augmenter significativement la température (auquel cas il faut assurer une plus grande vigilance auprès des collections sensibles).

- **En cas de collections en vitrine** : étudier la possibilité d'introduire des caissettes de matériaux tampons (gel de silice) conditionnés à 35-40 % pour des collections inorganiques ou à 45-50 % pour des collections organiques hygroscopiques ; cette solution est envisageable si l'écart entre le taux hygrométrique voulu et celui de l'ambiance n'est pas trop important et si le volume de la salle n'est pas trop grand comparativement à celui de la vitrine.
- **Étudier la possibilité d'acquérir un purificateur d'air** : les purificateurs d'air (ou assainisseurs) sont des stations mobiles de décontamination, détruisant les micro-organismes présents dans l'air (bactéries, champignons, spores, virus), mais pas ceux déposés sur les surfaces (sols, étagères, conditionnements ou collections infestés). Ils sont efficaces contre 99,9 % des aérosols biologiques et fonctionnent en continu. Le choix de purificateurs d'air mobiles reposera sur différents critères, parmi lesquels :
  - **la technologie biocide** (par l'énergie des électrons « plasma froid » qui induit une ionisation à très fort potentiel détruisant par électrostriction, par émission UV germicide, mais jamais d'apport de produits toxiques)
  - **l'absence d'émission d'ozone**
  - **le volume à traiter**
  - **les dimensions de l'appareil** (un petit appareil sera plus facilement transportable)

Cet investissement ne concerne pas uniquement la gestion des moisissures : l'appareil peut être réemployé pour les chantiers de collections et dans les espaces où les agents sont amenés à travailler afin de leur assurer une bonne qualité de l'air.

- **Désinfecter les espaces une fois les collections déplacées ou extraites** (selon l'ampleur, gestion en interne ou prestation à commander auprès d'une société spécialisée) : nettoyer les vitrines ou les surfaces de structures de stockage selon un protocole validé (produits à employer, temps de séchage, protection des collections voisines en cas de séchage forcé par ventilateur, etc.), tel que celui du Service interministériel des archives de France (SIAF) proposé dans les paragraphes suivants

Pour cette opération, certains principes et précautions doivent être considérés :

- **si les surfaces sont encrassées** : nettoyer d'abord à l'eau et au savon, puis rincer avant de procéder à la désinfection (moins efficace sur une surface recouverte de dépôts et de salissures)
- **pour les structures de stockage ou d'exposition (tablettes d'étagères) devant recevoir de nouveau les collections traitées** : appliquer de l'éthanol à 70% pour désinfecter les petites surfaces contaminées (à privilégier sur l'alcool isopropylique à 70%, plus toxique) ou du peroxyde d'hydrogène (0,5% au moins, seul ou mélangé avec de l'éthanol) ;  
après séchage, poser une interface propre et neuve sur la tablette destinée à recevoir les collections (mousseline en polyéthylène) car certains détergents et désinfectants peuvent laisser des traces de produits sur le support après nettoyage

- pour les sols et murs qui ne seront pas en contact avec les collections après nettoyage, ainsi que pour les conduits de traitement d'air (désinfection des gaines si nécessaire avant le ré-enclenchement de la CTA par exemple) : utiliser de l'éthanol à 70% ou de l'eau de javel (à 0,1% en solution)
- pour l'ensemble des situations : privilégier l'application manuelle, en imprégnant un chiffon du produit retenu et en laissant un temps de contact pour favoriser l'action du produit (1 minute minimum) ; éviter le recours à la dispersion du produit dans l'air (sprays, appareils de diffusion) qui implique une diffusion non dirigée, à moins de vider préalablement l'espace de ses collections et de toute présence humaine
- en cas d'utilisation de produits imposant une phase de rinçage : appliquer l'eau avec un chiffon propre, puis sécher en utilisant un chiffon en coton sec et propre

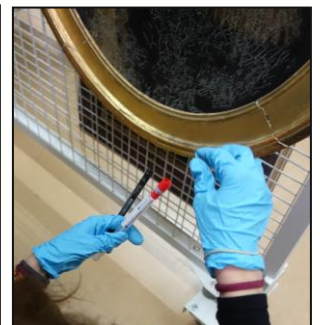
## Ressources en ligne (consultées le 23/10/2022) :

- [NGUYEN Thi-Phuong, Les systèmes mobiles de purification de l'air, Service interministériel des archives de France, 2019](#)
- [NGUYEN Thi-Phuong, Les produits de nettoyage des locaux \(sols, murs, mobiliers\) de conservation des collections d'archives, Service interministériel des archives de France, décembre 2019](#)
- [« Éléments d'aide pour une procédure sécurisée de reprise d'activité – Nettoyage des locaux et mesures d'isolement des documents », note, Service interministériel des archives de France, 27 avril 2020](#)
- Partie « 2.3 Nettoyage de la réserve » : [GUILD Sherry, MACDONALD Maureen, Prévention des moisissures et récupération des collections : lignes directrices pour les collections du patrimoine, Bulletin technique, 26, Institut canadien de conservation, Ottawa, 2004 – 2020](#)
- [« Les moisissures - Épisode 2. Comment gérer une contamination par les moisissures ? Les mesures d'urgence » et « Les moisissures - Épisode 3. Comment gérer une contamination par les moisissures ? Les procédés de décontamination des collections », série vidéo La conservation des collections d'archives et de bibliothèques, Service interministériel des archives de France, 2018](#)

## Actions sur les collections

- Identifier les espèces des moisissures et leur taux d'activité : procéder à un prélèvement surfacique des moisissures avec des écouvillons stériles sur les parois, dans les conduits de traitement d'air ou sur les collections contaminées avant la désinfection des objets ; cela permet d'évaluer si la contamination est active, d'indiquer le niveau du taux de contamination (induisant la vitesse de propagation) et de déterminer l'action à mener (du dépoussiérage minutieux par microaspiration avec un aspirateur muni d'un filtre HEPA au traitement fongicide ciblé)

- avec le recours d'un laboratoire : envoyer les écouvillons par voie postale. Cette analyse permet d'identifier la souche pour orienter sur l'agent biocide à employer ;
- sans le recours d'un laboratoire : mettre en culture les spores prélevées sur l'écouvillon, à l'aide de boîtes de Pétri et de sérum physiologique



◀ ▲ Prélèvement par écouvillons stériles sur des peintures

- ❑ Procéder un assèchement des collections contaminées, préalablement à toute intervention (dépoussiérage, traitement fongicide) : assécher les objets, soit à l'aide d'un dispositif de séchage et de pré-décontamination proposé par un prestataire spécialisé (type armoire de séchage), soit à l'air libre (en ambiance régulée par abaissement du taux d'hygrométrie ou/et en accentuant la circulation de l'air)  
Pour un assèchement à l'air libre, la salle doit être préparée de façon à ne pas disperser les spores dans les espaces adjacents, de la façon suivante :
  - fermer et isoler la salle,
  - vider la salle du mobilier superflu (qui n'aura pas besoin d'être désinfecté par la suite), obturer les bouches de reprise d'air (et si possible ouvrir les fenêtres pour évacuer les spores en extérieur),
  - positionner des ventilateurs pour forcer le brassage d'air sans qu'ils ne soient orientés directement vers les collections (pour éviter qu'elles ne s'envolent),
  - installer des déshumidificateurs (à paramétrer entre 40% et 50% d'HR, éventuellement par paliers dégressifs si l'écart hygrométrique avec la zone contaminée était trop important afin de réduire le risque de dégradation mécanique des collections).
- ❑ Établir un protocole de manipulation et d'emballage avec un spécialiste de la conservation-restauration : éviter de manipuler les œuvres contaminées dans des espaces sains pour limiter le risque de dépôt et de prolifération des spores sur les collections voisines ou dans les zones traversées lors de l'évacuation des collections vers un autre espace (quarantaine sèche, local de traitement, atelier de restauration)
  - choisir et mettre en œuvre les matériaux d'emballage ; il faut envelopper les collections dans une couche de matériau poreux (papier de soie ou papier kraft dont l'acidité limitera le développement des moisissures, limitant l'empoussièrlement sans pour autant confiner l'objet) qui sera jetée au déballage. On peut envisager de filmer les palettes lorsqu'on ne peut pas conditionner individuellement les collections afin de garantir la sécurité du transport : le film devra être microperforé et être appliqué sur une couche de papier kraft qui enveloppera les collections (surtout si les palettes sont stockées plusieurs jours ou semaines avant d'être traitées).
  - Isoler les espaces de traitement ; en cas de traitement *in situ*, un protocole doit être élaboré. Il faut séparer les espaces opérationnels du reste du bâtiment (rendre inaccessibles en journée lors des opérations de traitement par le prestataire et afin de faciliter leur nettoyage), puis réfléchir au compartimentage des espaces selon la phase de l'opération (sas d'habillage avec les EPI, zone de déballage, zone de traitement avec un point d'eau idéalement, zone de tri des déchets, zone de déshabillage...). Le transfert des collections contaminées pourra être mené en chaque début de journée pour limiter le nombre d'objets dans les espaces de traitement restreints et optimiser les flux de collections.
- ❑ Solliciter un spécialiste de la conservation-restauration pour mener les interventions de séchage, de dépoussiérage et de traitement antifongique
  - sécher avant tout dépoussiérage, pendant plusieurs semaines/mois à environ 45-50% d'HR afin de déshydrater les moisissures ; à défaut d'un assèchement, le passage d'un chiffon ou d'un aspirateur ne ferait qu'écraser les hyphes de moisissures sans les absorber (risque de tacher le support par écrasement, risque d'enfoncement et d'incrustation des hyphes et des spores). Cela explique pourquoi certains objets sont contaminés à plusieurs reprises.
  - dépoussiérer par micro-aspiration, à l'aide d'un aspirateur équipé d'un filtre HEPA, le dépoussiérage constituant un premier niveau de décontamination.
  - envisager à un traitement biocide pour éliminer les spores (sans visée de stérilisation), celles-ci étant très résistantes et se nichant dans les irrégularités de surface ; seuls des restaurateurs pourront proposer ce type de traitement chimique, selon sa comptabilité avec la nature des matériaux (à la suite d'essais), et pourront le mettre en œuvre après un éventuel démontage pour accéder à chaque recoin de l'objet afin d'optimiser le traitement antifongique.

En effet, ces traitements biocides reposent sur le choix et l'emploi d'une préparation de substances actives concentrées, sous forme liquide à appliquer par tamponnage : solution d'éthanol à 70 %, nitrate d'éconazole (à 0,2 %, dilué dans l'alcool pour apporter un minimum d'eau sur des supports), gamme *Biotin*® (*Biotin-T*® à 3 % pour les surfaces telles que pierres, mortiers enduits, fresques ou briques ou *Biotin-R*® pour protéger des supports sensibles à l'eau, comme le bois, mais aussi le revers des huiles sur toile), etc.

#### Ressources en ligne (consultées le 23/10/2022) :

- [BOUSTA Faisl, COURSELAUD Marie, NGUYEN Thi-Phuong, \*Auto-diagnostic en cas de suspicion de contamination par les moisissures, fiche-outil, C2RMF, 2019\*](#)
- Parties « 1.3 Apparition de moisissures – premières interventions », « 2.2 Nettoyage des objets contaminés », « 2.4 Techniques de nettoyage et considérations concernant certains objets » et annexe « Élimination des moisissures » : [GUILD Sherry, MACDONALD Maureen, \*Prévention des moisissures et récupération des collections : lignes directrices pour les collections du patrimoine, Bulletin technique, 26, Institut canadien de conservation, Ottawa, 2004 - 2020\*](#)

### Réintégration des collections désinfectées

Les collections doivent être réintégrées dans des conditions de conservation satisfaisantes, sinon la contamination peut se manifester de nouveau.

- ❑ **Contrôler l'évolution des conditions climatiques** (notamment après l'installation de nouveaux équipements pour appréhender leur efficacité), avant et après la réintégration des collections désinfectées : positionner dans les espaces des capteurs thermohygrométriques enregistreurs, employer un humidimètre pour évaluer le taux d'humidité à l'intérieur des parois de construction, planifier la surveillance des conditions environnementales
- ❑ **Isoler les collections désinfectées de celles suspectes ou contaminées** (en cas de traitement par tranches opérationnelles) : stocker les collections traitées dans une salle de transit saine
- ❑ **Vérifier régulièrement l'absence de reprise des contaminations** : observer les collections et les parois des espaces, procéder si possible à un suivi de qualité de l'air en collaboration avec des microbiologistes qui assureront les contrôles périodiques (prélèvements d'air mensuels ou prélèvements en boîtes de Pétri) et établiront une cartographie de la contamination au sein des espaces (en hauteur ou non, proximité des murs extérieurs et des fenêtres, éloignement par rapport aux installations de traitement d'air, extérieur/intérieur des structures de stockage ou muséographiques...)

#### Ressources en ligne (consultées le 23/10/2022) :

- [COURSELAUD Marie, \*Agir en cas de sinistre - Veille sanitaire, fiche-action, C2RMF, 2020\*](#)
- Partie « 2.5 Après le nettoyage » : [GUILD Sherry, MACDONALD Maureen, \*Prévention des moisissures et récupération des collections : lignes directrices pour les collections du patrimoine, Bulletin technique, 26, Institut canadien de conservation, Ottawa, 2004 - 2020\*](#)

Selon son ampleur, une contamination peut **perturber le fonctionnement habituel** de l'institution, rendant inaccessibles certains espaces ou nécessitant de débloquer en urgence des budgets pour sa gestion. Ainsi, un **retour à une situation normale** peut s'avérer long, générant une fatigue pour le personnel.

#### Rédacteurs :

Marie Courselaud,  
Jocelyn Périllat-Mercerot  
Crédit photographique :

Jocelyn Périllat-Mercerot  
Relecteurs :  
Juliette Rémy  
C2RMF, 2023