

Étude des moisissures dans une réserve de bibliothèque

Les moisissures naturellement présentes et inoffensives dans l'environnement et sur les objets peuvent causer de sérieux problèmes dans les bibliothèques, lorsqu'elles se développent, à la suite d'une augmentation accidentelle d'humidité.

Évidemment, plus il y a de spores présentes dans l'atmosphère, plus le risque est grand pour les collections. Il est donc important pour le conservateur de pouvoir évaluer ce risque et d'être prévenu sur la conduite à tenir en cas d'accident.

Marie-France Roquebert

Muséum national
d'histoire naturelle
Laboratoire de cryptogamie
roqueber@mnhn.fr

Édith Bury

Muséum national
d'histoire naturelle
Laboratoire de cryptogamie
bury@mnhn.fr

Adrienne Cazenobe

Bibliothèque de l'Arsenal
adrienne.cazenobe@bnf.fr

L'exemple de la bibliothèque où nous avons effectué un suivi de la contamination dans l'ambiance et sur les livres pendant deux ans, apporte des indications intéressantes sur la répartition des moisissures et les mesures à appliquer en prévention et maîtrise. L'étude présentée ici est le fruit d'une étroite collaboration entre un conservateur de bibliothèque et une équipe de scientifiques mycologues.

Historique

Le magasin de la bibliothèque dans lequel s'est déroulée cette étude de la bio-contamination par les moisissures a accueilli, dès fin 1998, une collection importante d'ouvrages des XIX^e et XX^e siècles dans les domaines de la littérature, l'histoire des pays étrangers et l'histoire des religions. Dès janvier 1999, trois mois après l'installation des collections, le magasin connut une première infiltration venue de la cour intérieure qui longe le mur de soutènement, qui endommagea environ 300 volumes, les livres les plus mouillés se trouvant le plus près du mur.

Tous les ouvrages mouillés ou même simplement humides, ont été déplacés et installés devant des ventilateurs accélérant le séchage, il aurait fallu aussitôt déplacer toute la travée, mais cette mesure n'a pas été retenue car, déplacées, ces collections devenaient incommunicables au public. À cette époque, peut-être parce que nous étions en hiver, aucun travail d'étanchéité ne fut entrepris, des mesures de séchage et de déplacement des collections mouillées furent bien sûr mises en œuvre. La travée la plus touchée fut également isolée du reste par une bâche de plastique, ce qui eut pour effet de créer une atmosphère de serre qui a contribué au développement des champignons au cours du printemps et de l'été. En mai 1999, une nouvelle infiltration d'eau se produisit, il s'agissait cette fois d'une infiltration au sol au niveau d'un siphon se trouvant entre les travées 2 et 3.

Apparemment, les collections n'avaient pas été touchées. Pourtant, en juillet, le chef magasinier qui effectuait un tour de surveillance, découvrait des champignons sur certains ouvrages se trouvant sur les dernières

* Nous tenons à remercier Nathalie Jullian, directeur de la bibliothèque Sainte-Geneviève (Paris) qui a bien voulu nous permettre d'effectuer cette étude dans les locaux de la bibliothèque.

Étude des moisissures dans une réserve de bibliothèque

Docteur ès sciences, **Marie-France Roquebert** est professeur de mycologie au Muséum national d'histoire naturelle. Elle a coordonné l'ouvrage Les contaminants biologiques des biens culturels (Elsevier-MNHN, 2002).

Titulaire d'un DEA de cytologie et morphogénèse végétale, **Édith Bury** est ingénieur d'études au Muséum national d'histoire naturelle.

Actuelle responsable des magasins et de la conservation des collections à la Bibliothèque de l'Arsenal, **Adrienne Cazenobe** a auparavant travaillé à la bibliothèque universitaire d'Amiens et à la Bibliothèque Sainte-Geneviève. Titulaire d'un DEA de droit privé et du diplôme supérieur du notariat, elle a publié divers articles dans des publications juridiques, notamment dans la Gazette du Palais.

tablettes (proches du plafond) et sur les tablettes inférieures (proches du sol). Environ 800 volumes étaient touchés ou simplement chargés d'humidité (donc propres à devenir le support de moisissures). C'est à ce moment que la bibliothèque a demandé au Muséum national d'histoire naturelle les identifications des espèces contaminantes, et que peu après le travail scientifique présenté ici a été défini et exécuté.

Lors du premier prélèvement de moisissures effectué à la bibliothèque, il est tout de suite apparu que le lieu de l'intervention, un vaste magasin clos, en sous-sol, sans aucune ouverture directe sur l'extérieur, mais équipé d'un système de ventilation d'air extérieur filtré, pouvait constituer un terrain d'observation et d'expérimentation privilégié. Il allait permettre d'étudier la nature, la répartition et la fréquence des moisissures enfermées dans ce local clos, où des apports accidentels d'humidité pouvaient déclencher le développement de ces micro-organismes et causer des dégradations aux ouvrages entreposés.

Locaux et conditions environnementales

Le magasin a été creusé récemment, en 1998, dans le vieux bâtiment de la bibliothèque. Une cour intérieure longe le mur de soutènement de la pièce ; cet espace est en fait une

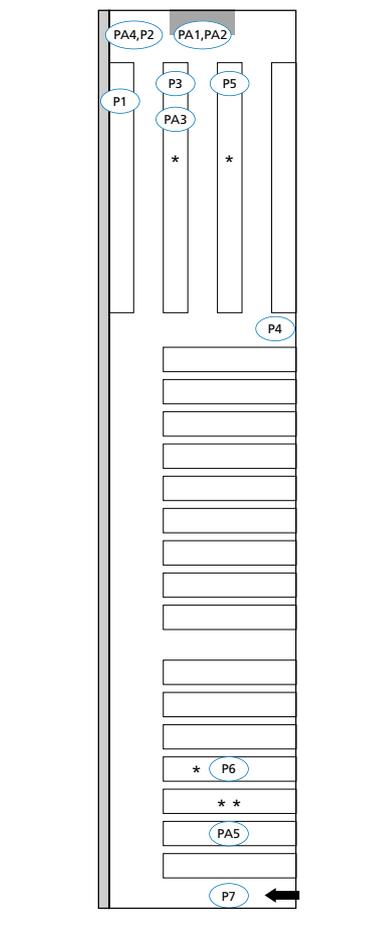
véritable cave de 300 m³ dont un mur en pierre apparente s'effrite et où du salpêtre se développe par endroits. Il est équipé d'un système de ventilation situé à une extrémité du local (cf. plan). La température et l'humidité relatives varient au cours du temps et selon les points de mesure (3 hygromètres) en dépit d'un régulateur de température sur la ventilation. La température se situe en moyenne entre 16 et 20 °C, mais peut descendre en dessous de 14 °C pour remonter plus tard jusqu'à 24-25 °C ; de même, le degré d'humidité de l'air oscille entre 40 % et 60 %, le passage des saisons étant bien entendu un des facteurs clés de cette variation. Il est équipé de compactus. Un dépoussiérage a été effectué entre le 1^{er} et le 25 février 2001.

Méthodologie de prélèvement

L'objectif de cette étude était d'effectuer une analyse, et un suivi dans le temps, de la composition des populations de moisissures éventuellement présentes dans l'air et sur les ouvrages de cette réserve. Enfin, un dépoussiérage ayant été effectué à mi-étude, il a paru intéressant d'observer l'effet de ce dernier sur les contaminants de la réserve étudiée. Les prélèvements ont été effectués simultanément par plusieurs méthodes afin de mettre en évidence le maximum d'espèces.

Pour cela :

- *Dans l'ambiance du local*
 - nous avons effectué des prises d'air à l'aide d'un capteur de spores (240 litres aspirés à chaque prise) ;
 - nous avons laissé ouvertes pendant 3 heures des boîtes de décantation afin de permettre aux spores éventuellement présentes dans l'air de décanter librement et de se déposer sur le milieu nutritif contenu dans la boîte.
- *Pour les ouvrages*
 - des prélèvements de surface sur les tranches et les couvertures des



Plan schématique de la réserve.

PA = prises d'air au capteur de spores,
P = boîtes de décantation,
* = prélèvements de surface.

livres ont été réalisés à l'aide d'écouvillons stériles. Les spores ainsi récupérées par le coton de l'écouvillon sur le support ont ensuite été étalées par frottement sur milieu nutritif de façon à leur donner la possibilité de se développer puis d'être identifiées ;
- aux mêmes endroits, des empreintes ont été réalisées par application d'un film stérile recouvert de milieu nutritif déshydraté (Pétri film), puis hydraté et mis en culture (le détail des techniques et méthodes utilisées peut être trouvé dans Roquebert et Oriol, 2002).

Pour tous les types d'analyses, le milieu de culture était du malt-chloramphénicol gélosé et la température

d'incubation des boîtes de prélèvement a été de 25 °C.

Tous les prélèvements ont été effectués systématiquement en plusieurs points définis du local (cf. plan), à 9 reprises entre juillet 1999 et janvier 2002 soit une période de deux ans et demi, selon un rythme approximativement trimestriel.

Cent quatre-vingts prélèvements ont ainsi été réalisés et analysés sur cette longue période, ce qui permet d'avoir une idée exacte de la contamination, la multiplicité des prélèvements étant, comme nous le confirmerons plus loin, un gage de fiabilité des résultats. Toutes les moisissures mises en évidence ont été identifiées selon les méthodes classiques basées sur la morphologie et la culture.

Résultats quantitatifs

Que ce soit par décantation ou par aspiration au capteur de spores, les résultats montrent, dans l'ensemble, une contamination faible dans le local

étudié, les comptages effectués sur les boîtes obtenues par aspiration d'un volume d'air déterminé atteignent au maximum un taux de 140 spores/m³, le niveau le plus bas étant inférieur à 20 spores/m³ et la moyenne entre 20 et 40 spores/m³ (Parat *et al.*, 1997).

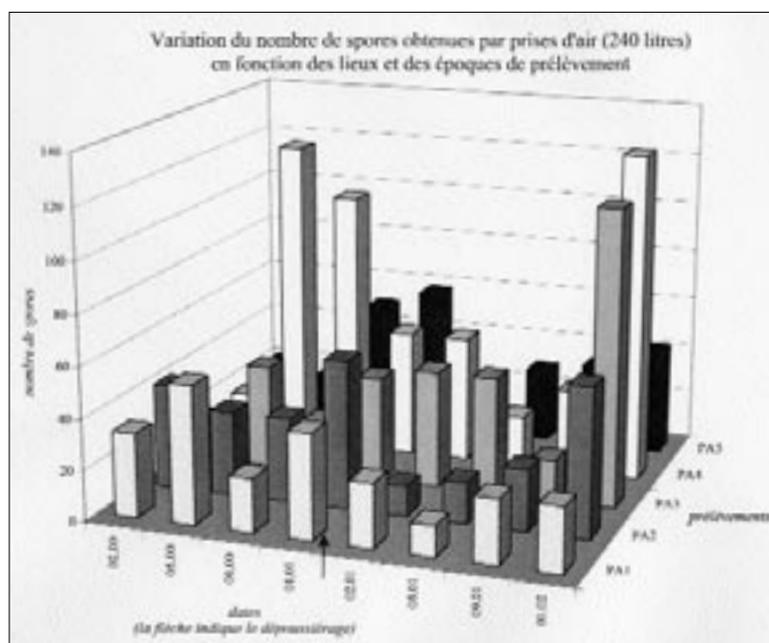
Le taux de contamination enregistré est variable et aléatoire selon les saisons et selon les points de prélèvement (cf. schéma ci-dessous). Les chiffres obtenus par les prises d'air PA3 et PA4 montrent des variations d'amplitude assez fortes allant de 20 jusqu'à 120 spores/m³ tandis que les autres restent irréguliers, mais dans une marge de valeurs assez étroite, entre 15 et 60 spores/m³. PA3 et PA4 correspondent à la zone où a eu lieu la première inondation, le long du mur en pierre et proche de la soufflerie.

Il n'est pas surprenant que tous ces facteurs réunis puissent augmenter le taux de contamination. En effet, un mur de pierres apparentes, esthétiquement assez beau, est certainement à proscrire dans ce genre de réserve. Les aspérités naturelles de la

Penicillium glabrum montrant des chaînes de spores qui vont se disperser dans l'atmosphère avec, en dessous, un tapis de filaments de champignons qui recouvre l'objet. Photo prise au microscope électronique à balayage, grandissement 1000. Photo : M. Dumont, MNHN.

Pierre permettent aux moisissures de s'accrocher et les frottements dus au passage des usagers détachent facilement des petites particules minérales porteuses de spores. Si l'on considère en outre que ce mur de pierre entoure la zone de soufflerie et, par là, reçoit des apports d'air extérieur éventuellement vecteur de spores, et se prolonge tout le long de la salle, il n'est pas étonnant d'obtenir des taux plus élevés de spores au voisinage de ce mur.

Le dépeussierage effectué en janvier-février 2001 suggère un léger effet dépressif sur les moisissures en PA1, PA2 et PA5 où le nombre de spores par m³ passe de 40 et 60 au début du dépeussierage à 15 spores/m³ en février et mai suivant. Cependant des variations de même amplitude ont pu être observées dans la période qui précède le dépeussierage, ce qui rend impossible d'attribuer un effet quelconque de cette intervention sur la contamination. Rien de surprenant à cela, car le dépeussierage n'a pas été organisé dans le respect des consignes



Variation du nombre de spores dans l'ambiance de la réserve en fonction des lieux et des époques de prélèvement. Les résultats sont obtenus par prises d'air (PA) et rapportés au nombre de spores par m³. On notera l'irrégularité des quantités observées et les pics de contamination en PA3 et PA4, zone où a eu lieu la première inondation, le long du mur de pierre et dans la zone de la soufflerie. La flèche indique le moment du dépeussierage.

données par les spécialistes de la conservation, telles que l'aspiration au moyen d'aspirateurs munis de filtres absolus, mais confiée à une équipe non spécialisée, munie d'un matériel inadéquat, des aspirateurs à puissants rejets d'air qui ont eu la fâcheuse conséquence d'endommager davantage les collections de brochés du XIX^e siècle et du début du XX^e siècle, déjà fragilisées en raison de l'acidité du papier, sans toutefois changer de façon notable les taux de concentration des spores sur les livres et dans l'atmosphère.

Par ailleurs, on observe en janvier 2002 une forte remontée du nombre de contaminants atmosphériques en PA3 et PA4 qui montre que les spores n'ont pas été éliminées par ce travail dit de décontamination.

Résultats qualitatifs

Au total, tous types de prélèvements confondus, 72 espèces de champignons ont été mises en évidence au cours de l'étude, ce qui montre une assez grande diversité de la contamination (*cf.* le tableau récapitulatif). Pour simplifier la lecture et faciliter la compréhension du tableau, nous avons regroupé les prélèvements par zones : sous le terme « Environnement soufflerie » les prélèvements P1, P2, P3, P4 et P5 (décanation) ainsi que PA1, PA2 PA3 et PA4 (prises d'air) et deux prélèvements de surface, puis la zone des travées 38 à 46 proches de l'entrée dans le local. Sur l'ensemble des espèces trouvées, 39 (54 %) se trouvent à plusieurs reprises en tous les lieux de prélèvement, et 33 (46 %) ne se rencontrent qu'en un lieu. On peut donc en conclure qu'il existe dans ce local un groupe important d'espèces installées, uniformément réparties, et des apports locaux, irrégulièrement dispersés, passagers.

Par ailleurs, sur les 72 espèces présentes, 31 sont dans l'environnement et pas sur les livres, tandis que 11 ne se trouvent que sur les livres. Il n'y en

Tableau récapitulatif des espèces rencontrées dans le site d'étude aux deux zones principales de prélèvement, toutes méthodes confondues.

Les espèces sont classées par ordre de fréquence d'isolement. On notera leur grande diversité dans la zone « Environnement soufflerie ».

Espèces présentes	Environnement soufflerie Zone travées 1 à 8	Zone travées 38 à 46
<i>Penicillium chrysogenum</i>	+	+
Basidiomycète	+	+
<i>Cladosporium cladosporioides</i>	+	+
<i>Penicillium brevicompactum</i>	+	+
<i>Cladosporium herbarum</i>	+	+
<i>Penicillium spinulosum</i>	+	+
<i>Alternaria alternata</i>	+	+
<i>Aspergillus versicolor</i>	+	+
<i>Penicillium expansum</i>	+	+
<i>Penicillium crustosum</i>	+	+
<i>Rhizopus stolonifer</i>	+	+
<i>Chaetomium sp.</i>	+	+
<i>Cladosporium sphaerospermum</i>	+	+
<i>Aspergillus niger</i>	+	+
Levure	+	+
<i>Paecilomyces variotii</i>	+	+
<i>Botrytis cinerea</i>	+	+
Coelomycète	+	+
<i>Epicoccum purpurascens</i>	+	+
<i>Mucor plumbeus</i>	+	+
<i>Penicillium corylophilum</i>	+	+
<i>Penicillium janthinellum</i>	+	+
<i>Penicillium puberulum</i>	+	+
<i>Penicillium waksmanii</i>	+	+
<i>Ulocladium chartarum</i>	+	+
<i>Arthrinium sp.</i>	+	+
<i>Aspergillus flavus</i>	+	+
<i>Aspergillus fumigatus</i>	+	+
<i>Penicillium oxalicum</i>	+	+
<i>Phoma herbarum</i>	+	+
<i>Scopulariopsis brevicaulis</i>	+	+
<i>Aspergillus ustus</i>	+	+
<i>Chrysosporium sp.</i>	+	+
<i>Fusidium sp.</i>	+	+
<i>Humicola sp.</i>	+	+
<i>Penicillium janczewskii</i>	+	+
<i>Penicillium nalgiovense</i>	+	+
<i>Penicillium variable</i>	+	+
<i>Penicillium verrucosum</i>	+	+
<i>Acremonium persicinum</i>	+	
<i>Aspergillus sydowii</i>	+	
<i>Doratomyces sp.</i>	+	
<i>Penicillium aurantiogriseum</i>	+	
<i>Penicillium lividum</i>	+	
<i>Acrodontium crateriforme</i>	+	
<i>Aspergillus ochraceus</i>	+	
<i>Aureobasidium pullulans</i>	+	
<i>Beauveria brongnartii</i>	+	
<i>Chalara sp.</i>	+	
<i>Eurotium sp.</i>	+	
<i>Fusarium oxysporum</i>	+	
<i>Geomyces pannorum</i>	+	
<i>Gliocladium sp.</i>	+	
<i>Hyalodendron sp.</i>	+	
<i>Oedocephalum sp.</i>	+	
<i>Paecilomyces farinosus</i>	+	
<i>Penicillium sp.</i>	+	
<i>Penicillium decumbens</i>	+	
<i>Penicillium restrictum</i>	+	
<i>Penicillium sclerotiorum</i>	+	
<i>Pestalotiopsis guepinii</i>	+	
<i>Pythium sp.</i>	+	
<i>Scopulariopsis candida</i>	+	
<i>Torulomyces sp.</i>	+	
<i>Trichoderma harzianum</i>	+	
<i>Thysanophora penicillioides</i>	+	
<i>Penicillium citrinum</i>		+
<i>Penicillium implicatum</i>		+
<i>Penicillium viridicatum</i>		+
<i>Pithomyces chartarum</i>		+
<i>Trichoderma koningii</i>		+
<i>Trichoderma viride</i>		+
72 espèces	66 espèces	45 espèces

Filaments et spores de moisissures déposées à la surface d'un objet contaminé. Photo prise au microscope électronique à balayage, grandissement 1000. Photo : M. Dumont, MNHN.

a donc qu'une trentaine qui soit commune aux deux niveaux, environnement et ouvrages. En outre, la majorité des espèces, soit 66, représentant 85 % de l'ensemble, sont dans la zone « Environnement soufflerie ».

Conclusion

Cette analyse précise, et peut-être un peu fastidieuse pour le lecteur, a cependant un intérêt certain pour le conservateur à l'occasion de la mise en place d'analyses de routine pour la propreté des locaux et plus encore lors d'accidents dus à l'humidité, et ensuite lors de l'interprétation des résultats.

En effet, pour avoir une idée de la contamination dans une réserve de bibliothèque, on a souvent tendance à faire des prélèvements soit d'ambiance soit sur les ouvrages, en quelques points, et à extrapoler les résultats à l'ensemble du local et des

objets qu'il contient. Les résultats exposés ici montrent, au contraire, que ce raisonnement n'est valable que pour une partie des espèces, les autres étant irrégulièrement réparties et mobiles, mais pourtant présentes et donc à risques.

Il est donc vivement conseillé de procéder simultanément à des prélèvements d'ambiance et de surface et ce, en plusieurs points du local. Par ailleurs nous avons, dans le présent travail, multiplié les méthodes de prélèvements. Les résultats, non exposés ici dans le détail, montrent qu'elles sont toutes complémentaires et permettent une évaluation globale plus proche de la réalité qu'une seule d'entre elles.

Enfin, les résultats ont montré que le dépoussiérage doit être confié à des équipes spécialisées munies d'un matériel adapté efficace sur la diminution des poussières minérales et biologiques et aussi sans risque de dommage pour les ouvrages ou les

objets entreposés (Recommandations éditées par la Direction du livre et de la lecture, cf bibliographie).

La diversité des espèces et la quantité de spores présentes dans la zone « Environnement soufflerie » montrent que la filtration de l'air entrant est insuffisante et qu'il aurait été plus efficace d'adopter un filtre de type opacimétrique (qui arrête les particules de la taille de 1µm) au lieu d'un filtre gravimétrique.

Juin 2002

BIBLIOGRAPHIE

« Alternatives approaches to the treatment of mould biodeterioration-an international problem », *The Paper Conservator*, 10, 1986, p. 27-30.

« Biodeterioration of library materials. Disinfection methods and new alternatives », *The Paper Conservator*, 10, 1986, p. 40-45.

MARTEYN, Anne ; FAUCHEUX, Marc, « Actualités de la conservation, Bibliothèque nationale de France ; Dépoussiérage mode d'emploi, programme de recherche », juillet 1997, n° 4.

PARAT *et al.*, « Multivariable analysis comparing microbial air content of an air conditioned building and a naturally ventilated building over one year », *Atmos. Environ.*, 1997, 31, p. 441-449.

Protection et mise en valeur du patrimoine des bibliothèques. Recommandations techniques, sous la direction de Jean-Marie Arnould, Paris, Direction du livre et de la lecture, 1998.

Ifla, *Principles for the Care and Handlings of Library Materials*, compiled and edited by Edward P. Adcoc, Paris, IFLA-PAC, *International Issues*, 1998, n° 1.

« Contamination des collections et des locaux des bibliothèques par des moisissures. Méthodes de détection et d'évaluation », *Patrimoine des bibliothèques de France*, Paris, Direction du livre et de la lecture, 2001, p. 1-23.

ROQUEBERT, Marie-France ; ORIAL, G., *Analyse d'une contamination. Les contaminants biologiques des biens culturels*, M.-F. Roquebert coordonnateur, Paris, Elsevier, 2002, p. 147-160.