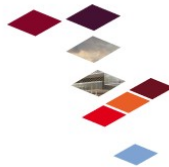


Comment faire face aux risques biologiques?



Document attaqué par la mэрule



Direction des Archives de France

Marie-Dominique Parchas
Chef du bureau de la conservation matérielle et des constructions
Département de l'Innovation Technologique et de la Normalisation

Paris, avril 2009

Table des matières

1 INTRODUCTION.....	3
2 LUTTE CONTRE LES MOISSURES.....	4
2.1 Qu'est-ce qu'une moisissure ?.....	4
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.....	6
2.3.1 Que faire en cas d'infestation ?.....	6
2.3.2 Les analyses.....	6
2.3.3 Protection du personnel.....	7
2.3.4 Agir sur l'environnement.....	7
2.3.5 Traitement de décontamination de l'air par Plasmair.....	9
Agir sur les documents	11
2.3.6 Remarque: procédures en cas d'infiltration ou d'inondation.....	12
2.3.7 Procédures détaillées de traitement.....	12
2.3.8 Connaissance des risques d'altération des documents par l'oxyde d'éthylène	14
2.4 MESURES PREVENTIVES.....	15
2.4.1 Actions sur l'environnement.....	15
2.4.2 Traitements à éviter.....	18
3 LUTTE CONTRE LES INSECTES.....	19
3.1 Vie des insectes.....	19
3.2 Les espèces présentes dans les archives.....	21
3.3 Traitements.....	22
3.3.1 La congélation.....	22
3.3.2 La privation d'oxygène ou anoxie.....	22
3.3.3 Insecticides.....	23
3.3.4 Traitements à éviter.....	23
3.4 Mesures préventives.....	23
4 LUTTE CONTRE LES RONGEURS.....	24
5 ANNEXE.....	25
5.1 Utilisation des diagrammes psychrométriques	25
5.1.1 Notions générales.....	25
5.2 La mérérule.....	31
5.3 Conseils pour l'utilisation des colles en restauration.....	33

1 INTRODUCTION

Les archives en détenant en majorité des matériaux organiques, papier, cuir, parchemin, textile, bois mais aussi des films et des photographies font face à un risque majeur de contamination par les agents biologiques: bactéries, champignons, insectes, rongeurs. Les plus largement répandus dans les magasins et sur les documents sont les champignons et en particulier les moisissures. Malheureusement ce sont aussi les plus difficiles à détruire. Le chapitre qui les concerne va donc être particulièrement développé.

La contamination bactérienne est plus rare car il faut une humidité relative rarement atteinte sur le papier pour qu'elle puisse se développer. On la trouve par exemple sur les bois archéologiques gorgés d'eau. Elle ressemble en transparence à une tache d'huile. Il faut donc vérifier si le document n'a pas subi des inondations. Les bactéries peuvent aussi colorer les documents. Elles sont invisibles à l'oeil nu. Il faut alors appliquer les traitements requis pour les moisissures.

Vous ne trouverez pas dans ces quelques pages, une présentation des caractéristiques physiques des agents pathogènes ni la classification des espèces, domaine, me semble t-il, réservé aux spécialistes. Vous seront présentées les actions qui peuvent être développées au sein des archives ou les connaissances nécessaires pour dialoguer avec les différents spécialistes concernés: biologistes, climaticiens, architectes, entreprises de désinfection.

Si vous souhaitez en savoir plus mais surtout voir tous ces insectes, les sites de l'OCIM ou du PIAF ne devraient pas vous décevoir et si plus de théorie vous semble nécessaire Françoise Flieder et Christine Capderou vous offrent la lecture de « Sauvegarde des collections du patrimoine. Lutte contre les détériorations biologiques ». Préface de Michel Duchein. 256p. CNRS. 1999.

Un peu de vocabulaire:

- le terme désinfection est appliqué aux traitements contre moisissures et bactéries
- la désinfestation ou désinsectisation est appliquée aux insectes

2 LUTTE CONTRE LES MOISSURES

2.1 Qu'est-ce qu'une moisissure ?

Les moisissures font partie du règne des champignons. La plupart sont saprophytes c'est à dire qu'elles se nourrissent de carbone qu'elles trouvent dans les matières organiques mortes ou en état de décomposition en décomposant la cellulose qu'elles trouvent notamment dans le papier ou les protéines (cuir, colles). Elles croissent à partir de spores microscopiques en formant le mycélium constitué d'un ensemble de filaments entrelacés, les hyphes. Les plus répandues sont *Aspergillus*, *Chaetomium*, *Penicillium*. La mûre est le champignon le plus destructeur (voir en annexe).

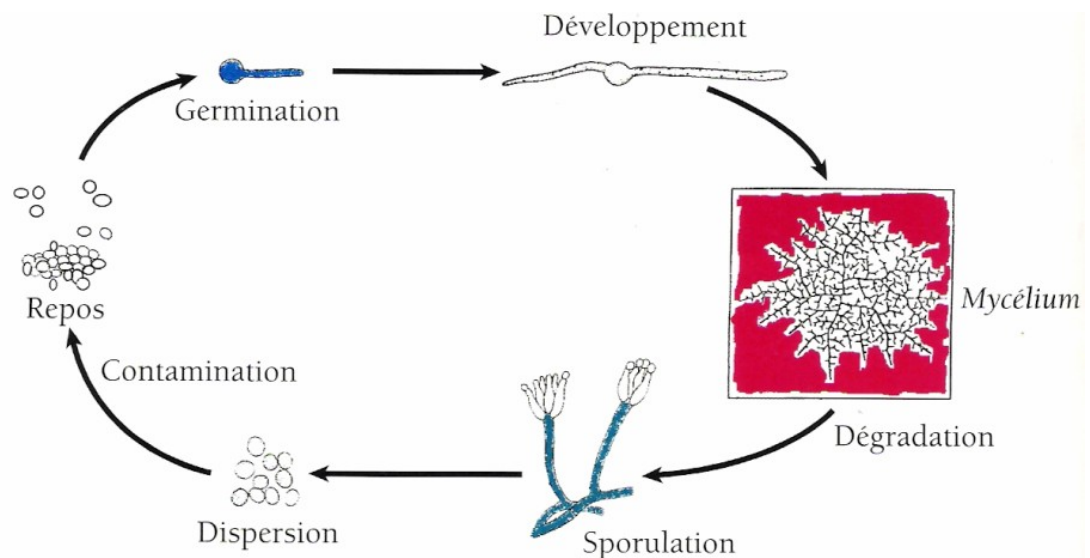
Pour se développer, il leur faut au moins deux conditions:

- un substrat nutritif (la poussière peut suffire, elle est hygroscopique)
- et une humidité élevée (HR à partir de 65%). Elle peut-être dans l'atmosphère ou sur les documents (documents inondés, très humides).

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

La lumière n'a pas d'incidence sur leur croissance.

Les spores peuvent vivre plusieurs années en attendant des conditions favorables pour se développer.



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 il y a dégradation chimique due à la sécrétion d'enzymes ou à la diffusion de pigments (coloration, pigmentation...). Les moisissures prennent leurs aliments dans le substrat puis y déposent leurs déchets souvent acides.¹» Les documents sont tachés de manière irréversible et s'acidifient. L'attaque peut aussi provoquer des pertes de matière (trous ou lacunes plus importantes).

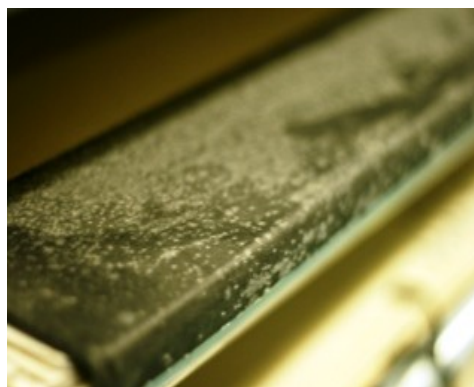
On reconnaît en général la présence des moisissures à l'aspect poudreux de la population sporale, par la présence de filaments mycéliens ou par les taches de pigmentation (colorations très riches: noires, roses, jaunes...).

Les seuils à partir desquels on considère qu'un espace est contaminé dépendent des objectifs fixés, ils ne seront pas identiques pour un bloc opératoire ou pour un magasin d'archives. La Bibliothèque nationale de France qui a une équipe de biologistes qui surveillent en temps réel les conditions environnementales (prélèvement d'air, contrôle des filtrations, prélèvements réguliers et mise en culture) tout en ayant édicté des protocoles de maintien d'un état sanitaire rigoureux (dépoussiérage des collections, nettoyage régulier des locaux et du mobilier...) a placé leur seuil à 20-30 UFC/m³ (Unité Formant une Colonie). Le Centre de Recherche sur la Conservation des Collections (CRCC) considère que pour les magasins d'archives il est raisonnable de viser comme objectif:

100-120 UFC/m³



Moisissures sur documents anciens



Moisissures répandues sur des reliures

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

2.2.2 Risques pour la santé

Bien que les moisissures soient toujours présentes dans l'atmosphère, des concentrations plus importantes peuvent être nocives pour la santé notamment pour les personnes sensibles (asthmatiques ou allergiques...) même à l'état dormant elles peuvent être allergisantes et toxicogènes. Les principaux effets ²:

- 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.

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.

2.3 Les mesures curatives

2.3.1 Que faire en cas d'infestation ?

Demander conseils à des spécialistes privés ou institutionnels:

- Conseils, expertises: Direction des archives de France, au sein du DITN, le bureau de la conservation matérielle: Marie-Dominique Parchas (conservation préventive)
- Biologistes, conseils, expertises :
 - Centre de Recherche sur la conservation des Collections (CRCC): biologiste Malala Rakotonirainy.
 - Bibliothèque Nationale de France, biologistes: Tony Basset, Brigitte Leclerc.
 - Laboratoire des Monuments Historiques, biologistes: Dominique de Reyer.
 - Centre interrégional de conservation et restauration du patrimoine (Marseille).
 - Laboratoires privés.
- Restaurateurs de documents graphiques: contrôle des collections et conseils en vue du dépoussiérage.
- Climaticien : contrôle des installations et des filtres.
- Architecte : contrôle du bâtiment et des infiltrations.

2.3.2 Les analyses

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

2 idem

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.
2. L'analyse des supports, documents, étagères, conditionnements, se fait à l'aide d'écouvillons stériles qui seront mis en culture.

Il faudra compter 2 à 3 semaines pour obtenir les résultats. En fonction des laboratoires, les résultats préciseront l'espèce (*Aspergillus.sp*) ou la sous-espèce (*Aspergillus niger*) qui requiert plus de temps.

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.

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 HEPA, des gants jetables, une blouse voire une combinaison, des chaussons pour pénétrer dans l'espace contaminé. Quitter tous ces vêtements en sortant et les envelopper dans un sac poubelle hermétique. Laver les blouses à la javel.

2.3.4 Agir sur l'environnement

1. Analyser les causes de la propagation	Traiter les documents sans traiter la cause de la propagation est inutile.
	Les causes sont diverses : ● infiltrations d'eau, ● inondation³; ● 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, maintien d'humidité)

³ 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.

	● manque de ventilation; ● confinement; ● transfert de documents contaminés dans les magasins sans les avoir traités (dépoussiérage systématique et éventuellement désinfection); ● conditionnement dans des boîtes stockées dans des espaces humides; ● contamination de documents par les colles utilisées en restauration. Le rétablissement de bonnes conditions environnementales ajouté à un traitement local des documents et des locaux, peut suffire dans certains cas (avis des spécialistes) à éviter toute nouvelle contamination.
2. Isoler la pièce et/ou les documents infestés :	● Fermer les bouches de circulation d'air si elles communiquent avec d'autres espaces, fermer portes et fenêtres; ● envelopper les étagères d'un film de polyéthylène ou celles contaminées ou les autres de manière à éviter la propagation; ● envelopper les documents ou les cartons dans des sacs de polyéthylène fermés ou du papier kraft si leur départ en désinfection est rapide afin d'éviter la contamination à d'autres éléments et la dispersion des spores lors du transfert.
3. Puis agir dans les 48 heures	Puis agir dans les 48 heures en asséchant l'air (déshumidificateur) notamment en cas d'inondation car les risques de prolifération sont très rapides.
4. Vérifier s'il n'y a pas eu propagation	Si la contamination est localisée, vérifier cependant par une analyse d'air s'il n'y a pas eu propagation, les moisissures pourraient se développer ultérieurement spécialement par le biais des gaines de climatisation (prélèvement et nettoyage des gaines par robot caméra).
5. Effectuer des prélèvements	Effectuer des prélèvements à l'aide d'écouvillon et de 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 s'il est en phase active, modérée ou latente. Elles peuvent n'attaquer que les tranches (notamment sur les reliures toiles non enduites) ou au contraire se diffuser à l'intérieur des documents. Un brossage efficace peut ainsi parfois suffire en fonction du type de

	moisissures incriminé, et du support.
6. En cas d'infestation importante, faire désinfecter les locaux par des spécialistes	En cas d'infestation importante, faire désinfecter les locaux par des spécialistes après analyse des prélèvements. Le Centre de recherche sur la Conservation des Collections a effectué une étude sur le Vitalub⁴. QC 50 et sur le thiabendazol par thermonébulisation qui permet une bonne répartition des produits grâce à la diffusion homogène du brouillard envoyé dans l'air chauffé pendant plusieurs heures. La thermonébulisation est une aérosolisation couplée à un chauffage (200 à 250°C). D'autres méthodes sont utilisées: la pulvérisation (taille des particules projetées 50 microns), la brumisation (20microns) ou l'aérosolisation (2 microns). Ces traitements sont effectués, la plupart du temps, dans des locaux vidés de leur contenu ou à la rigueur, sur les conseils d'un spécialiste, en bâchant les documents. Le Vitalub laisse un petit dépôt gras sur les surfaces qu'il faut enlever avec un chiffon humide après le traitement. Le thiabendazol laisse un dépôt poudreux que l'on aspire après traitement. Autres possibilités: traitement par composés gazeux ou par fumées fongicides après avis des biologistes spécialisés dans le patrimoine écrit.
7. Traitement du mobilier	Le mobilier doit aussi être nettoyé, dépoussiéré et désinfecté localement à l'aide de Vitalub si les locaux n'ont pas été traités. Il est possible d'utiliser aussi en traitement local, en cas de contamination sur des espaces non importants, un mélange de 70% d'alcool éthylique dans l'eau ou de javel diluée (même concentration que pour un usage domestique) en rinçant après une heure pour éviter les effluves de chlore. Sur des surfaces importantes, éviter l'utilisation de l'alcool ou de javel pour des raisons de santé. Les sols peuvent être nettoyés à la javel diluée dans de l'eau (même proportion que pour l'usage domestique) sans rinçage.

2.3.5 Traitement de décontamination de l'air par Plasmair

A la suite d'essais très concluants menés par les microbiologistes de la Bibliothèque nationale de France (Tony Basset) et du Centre de Recherche et de Conservation des Collections (CRCC ex CRCDG) (Malala Rakotonirainy)⁵ fin 2007 aux Archives nationales, il est aujourd'hui possible de présenter une technologie de décontamination de l'air par l'unité

4 Le Vitalub est un **ammonium quaternaire** conseillé par les spécialistes de la conservation pour ses qualités mixtes détergentes et désinfectantes. Utilisation soit du Vitalub QC 50 à base de chlorure de diméthylbenzylammonium dilué à 2% dans l'eau soit de thiabendazol. Ils sont utilisables en désinfection aérienne par thermonébullisation. Efficacité maximum obtenue si la taille des gouttelettes se situe entre 1 à 2 microns. Traitement à faire hors présence des collections. (Lavédrine, les collections photographiques. Guide de conservation préventive.ARSAG. 2000. photos pp 157-158)

5 Publication des résultats dans le prochain numéro de l'ARSAG fin 2008-début 2009.

mobile Plasmair. La méthode repose sur l'utilisation combinée en continu (24h/24):

- du plasma froid: ionisation à très fort potentiel;
- de champs électrostatiques (chambre Corona (ressemble aux tubes à néon) : les 10 000 volts à micro- ampérage vont tuer les contaminants biologiques).

L'objectif est de maîtriser la charge microbienne présente dans l'air (bactéries, champignons, spores, virus) par électrostriction, polarisation et décharges électriques en maintenant une efficacité dans le temps.

Les résultats doivent être vérifiés par impaction.

Cette technique apporte une aide efficace à l'assainissement des locaux sans apport de produits toxiques pour l'homme, les biens culturels, l'environnement.

Elle peut être utilisée:

- en cas de contamination avérée pour assainir l'air;
- lors des campagnes de dépoussiérage de documents contaminés afin d'éviter de propager les moisissures dans l'air;
- en mesure préventive en cas d'augmentation de l'humidité relative importante (infiltrations, arrêt de climatisation, inondation);
- en remplacement des filtres des appareils de traitement d'air: les microorganismes 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.

Remarques: ce système ne traite en aucun cas les documents et supports contaminés (sols, étagères, conditionnements). Il est donc nécessaire d'avoir recours aux protocoles habituels en cas de contamination des documents (désinfection et/ou dépoussiérage après avis d'un biologiste). Ce système ne peut remplacer un traitement d'air adapté qui est l'arme indispensable à l'éradication des moisissures.

Origine et applications

Cette technologie a été mise en place par les russes pour éviter toute contamination dans la station spatiale MIR. Elle a été ensuite exportée vers le milieu médical: néonatalité, biberonneries, blocs chirurgicaux, traitement des espaces de patients atteints de maladies contagieuses (infections nosocomiales...) ou réclamant un espace non microbien en chambre stérile (cancéreux, grands brûlés...).

Contacts

Airinspace

www.airinspace.com/ Tél:01 30 07 01 01 ⁶

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.

Tony Basset et Laure Simeone du laboratoire de microbiologie de la Bibliothèque nationale de France ont mené une étude sur le dépoussiérage des documents moisissus publiée dans le n° 26 des Actualités de la conservation (2007) (accessible sur le site internet de la BnF). Le but de cette étude était de comparer les méthodes de dépoussiérage 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 vont être écrasées par l'action du dépoussiérage et ainsi s'infiltrer dans la matière. Il faudrait donc attendre 1 à 4 mois dans une atmosphère sèche pour effectuer sans risque le dépoussiérage.
- Le dépoussiérage sur des moisissures fraîches tachent les supports lorsque le liquide est coloré (notamment *Aspergillus niger*)
- Un dépoussiérage seul laisse vivantes les souches.

Conclusion: « un simple dépoussiérage des surfaces 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 »

Comme toute étude de laboratoire, les conclusions doivent être pondérées et les actions doivent être adaptées à une situation donnée et à l'analyse des risques:

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 lisses ⁷ : il est envisageable après avis de spécialistes d'isoler les documents, de les assécher pour ne pas écraser le liquide contenu sur les hyphes des moisissures actives puis de les dépoussiérer.
La contamination est elle périodique et le contrôle du	Si la réponse est positive, mieux vaut désinfecter puis dépoussiérer sur documents secs et améliorer le

⁶ jean-michel.frima@airinspace.com/06 88 22 90 52/ fabrice.travassac@airinspace.com/06 12 96 10 50

⁷ Un support lisse: papier glacé, surface vernie, calque, reliure plastifiée, etc.

climat critique?
Les supports ne sont pas lisses.

contrôle de l'environnement.

2.3.6 Procédures 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 permet 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.

S'il est possible, éviter de congeler cuirs et parchemins. Cela tout dépend du degré d'urgence et des risques liés à un environnement trop humide.



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 infestés**, moisissures en surface, supports lisses, contaminations sur quelques pièces isolées : un dépoussiérage avec un aspirateur muni de filtres et des brosses peut être suffisant. Les documents seront séchés, dépoussiérés puis mis en quarantaine pour vérifier l'efficacité de ce traitement dans une atmosphère contrôlée (HR inférieure à 60%). Il faudra utiliser un aspirateur muni de filtres HEPA (High Efficiency Particulate Air Filter) (fabricant: Nifilks, revendeurs: Atlantis, Stouls) 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 90° dilué dans 30% d'eau ou à la javel (1 l de javel pour 9 litres d'eau soit une proportion de 1 pour 10) en laissant en contact 20 minutes avant de rincer et sécher (contrôler le séchage sur un buvard avant d'utiliser les brosses sur

les collections). Les produits fongicides recommandés par les spécialistes de la conservation (Vitalub, Econazole...) ne peuvent être utilisés sur les documents d'archives sans risque d'altération (produits gras). Ils sont donc à proscrire. Par contre, il est envisageable que des restaurateurs puissent les utiliser sur des reliures non patrimoniales si aucun contact avec les documents est assuré. Le traitement sera suivi d'un dépoussiérage⁸.

2. **Documents très infestés**, moisissures 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 le gazage à l'oxyde d'éthylène. Le traitement est curatif mais absolument pas préventif : remettre les documents dans une zone contaminée est donc totalement proscrit. Les matériaux très humides doivent être préalablement asséchés (50- 55% d'HR) afin d'éviter toute réaction de dépolymérisation de l'oxyde d'éthylène en présence d'eau (transformation en polyéthylène glycol). Il faut emballer les documents dans des cartons propres ou entourer de papier kraft les cartons contaminés, palettiser pour faciliter la manutention. Il faut proscrire l'emballage au moyen de matériaux synthétiques (film de polyéthylène, film étirable, mousse de calage...) car ils ne favorisent pas la désorption de l'oxyde d'éthylène. Le gazage est rapide (6 à 20h à une concentration de 500mg/l à 20-25°C), il est suivi de nombreux rinçages sous vide. Les documents doivent ensuite être ventilés au minimum 3 semaines dans un espace à ventilation forcée par l'entreprise afin de s'assurer d'une bonne désorption. Le taux résiduel d'oxyde d'éthylène à exiger doit être de 1ppm maximum. La courbe de désorption doit être fournie afin de vérifier les conditions du traitement. Il est recommandé que toutes les étapes du traitement se fassent à un taux d'hygrométrie contrôlé (45 à 55%) en fonction des matériaux en présence papier, cuir, parchemin et à une température ne dépassant pas 25°C. Cependant, la phase ventilation forcée, la plus longue de 15 jours à trois semaines est aujourd'hui rarement sous contrôle thermohygrométrique. Connaître les conditions est important afin de réintégrer les documents en évitant les ruptures climatiques.
3. Au retour, tous les documents doivent être dépoussiérés afin d'éliminer les moisissures pour contrôler plus facilement leur présence ultérieure et retirer la poussière source de contamination.

8 Produits à utiliser ponctuellement par des restaurateurs:

MICROTEST A, VITALUB QC 50 et ECONACIDE ALCOOLIQUE.

- Conditionnement et prix des produits en 2006 :

MICROTEST A : le MICROTEST A est vendu par boîte de 10 tests au prix HT départ de 41,00 euros.

-VITALUB QC 50 : le produit est vendu concentré par 2 x 5 kg, il peut-être dilué à 5 % prêt à l'emploi par flacon d'un litre au prix HT départ de 10,00 euros.

- ECONACIDE ALCOOLIQUE : le produit est vendu par flacon d'un litre au prix HT départ de 57,00 euros le litre (2006). Il est possible d'obtenir des conditionnements en flacon de 250 ml.



Documents à désinfecter

2.3.8 Connaissance des risques d'altération des documents par l'oxyde d'éthylène

La fumigation⁹ à l'oxyde d'éthylène a aussi des inconvénients qu'il ne faut pas négliger. Ce gaz est employé industriellement pour accroître la résistance à l'humidité du papier (il forme avec la cellulose du papier une autre molécule plus solide) (Gallo (1978); Green (1987)). La mise en contact de matériaux cellulosiques comme le papier et les textiles avec l'oxyde d'éthylène a donc pour effet de modifier leur nature (Pelz et Rossol, 1983), elle modifie aussi les protéines (augmentation du vieillissement, les matériaux deviennent cassants) notamment le pouvoir d'adhésion des liants à base d'oeuf et de caséine de parchemins enluminés (M-L Florian, 1988), perte d'adhésion de la gomme arabique et des colles animales, accroissement de la solubilité de certaines peintures et de certains pigments. Des matériaux synthétiques tels que vernis, plastifiants peuvent aussi réagir, oxydation possible du cuivre et du laiton. En outre, selon certains chercheurs, les documents traités à l'oxyde d'éthylène sont en fait plus sensibles aux moisissures après qu'avant le traitement.

La majeure partie de ces conclusions est contestée par F. Flieder (1961) et C. Chahine (1985). Les études qu'elles ont menées ont démontré que l'oxyde d'éthylène n'aurait pas d'incidence sur la résistance physico-chimique des matériaux. Elles ont observé cependant une légère rétraction des supports en nitrate de cellulose et une léger pâlissement de pigments modernes roses et rouges.

Cuir et parchemin: l'oxyde d'éthylène est soluble dans les huiles¹⁰, les graisses et les lipides, si bien que les ouvrages reliés en cuir en restent imprégnés très longtemps après la fumigation. Les ouvrages qui ont subi ce type de traitement dégagent de l'oxyde d'éthylène dans l'atmosphère pendant des périodes qui peuvent aller jusqu'à trois mois. La désorption et la ventilation doivent être contrôlées avec soin.

En présence de sceaux, cire et parties métalliques, il faut exiger des traitements à une température inférieure ou égale à 22-25°C (certaines cires ont des points de fusion bas). Il ne

9 Unesco. Lutte contre les agents des détériorations biologiques, non daté, bibliographie jusqu'en 1987.

10 Unesco. Lutte contre les agents des détériorations biologiques, non daté, bibliographie jusqu'en 1987

faut pas entasser les parties métalliques car le traitement à l'oxyde d'éthylène employé pur entraîne une réaction exothermique d'autant plus importante que les métaux sont conducteurs. Elle pourrait déclencher la combustion des éléments en contact avec le métal. L'oxyde d'éthylène peut conduire à une oxydation des métaux. Il est conseillé d'éviter de les traiter. Cependant mieux vaut en cas de présence de matériaux composites, prendre ce risque que de conserver des moisissures en vérifiant l'impact du traitement sur les métaux pour éventuellement les traiter (la plupart du temps invisible).

L'oxyde d'éthylène réagit avec les composés chlorés, il faut donc ventiler tous les matériaux traités avec des insecticides chlorés tels que le paradichlorobenzène, le pentachlorophénol...avant de les envoyer en traitement.

Des tests peuvent être indispensables, en cas de doute, il vaut mieux qu'un restaurateur effectue un traitement individuel sur ces matériaux à risque.

2.4 MESURES PREVENTIVES

Il est donc important de développer des actions préventives, elles permettront d'éviter d'autres contaminations et les effets secondaires éventuels des traitements.

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 particuliers¹¹ 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 ou d'alumine. 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 « pirate », circulation des personnes). Sur l'air neuf, pour protéger et
-------------------------------	--

¹¹ Information donnée par Brigitte Leclerc, biologiste à la BNF - mars 2008.

	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 à la bonne dimension, joints...) 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.
Contrôle de l'humidité relative, de la température	La relation entre humidité relative et température est bien connue: toute hausse de température diminue l'humidité, 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, l'humidité relative admise est de 45 à 55% pour le papier et de 50 à 55% pour le cuir et le parchemin, bien inférieure pour les supports de photographies ou de films qui devraient être conservés en chambre froide. Les fluctuations doivent être réparties sur l'année avec des écarts journaliers ne dépassant pas +/- 5% pour l'HR et +/- 1°C pour la température réglée avec des amplitudes de 18 à 25°C sur l'année. 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 (Rexair, Axair,...) en vidant et nettoyant régulièrement les bacs et le tambour à la javel et en rinçant. 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.
La ventilation	La ventilation est le quatrième élément indispensable pour renouveler l'air et éviter le confinement. En cas d'absence de traitement d'air, on peut utiliser des ventilateurs muraux qui doivent être placés en

	diagonale pour créer un courant d'air qui limitera le dépôt des spores.
Maintenance et contrôle du bâtiment	Le bâtiment doit constituer un écrin protecteur autour des collections. Toute anomalie doit donc être signalée et corrigée notamment celles qui vont entraîner un apport d'humidité et de polluants: ● vérification régulière de l'étanchéité des toitures et ouvertures, canalisations, gouttières, localisation et traitement des fissures, infiltrations ● fermeture des portes et des fenêtres ce qui réduit de 2% la concentration de spores de source extérieure ● dépoussiérage des locaux, du mobilier et des conditionnements au moins une à deux fois par an ● 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	● Respect des procédures d'introduction de documents dans les magasins : connaissance des conditions de stockage des services versants (si c'est possible, s'ils existent étudier les relevés annuels des températures et d'humidité relative ou les relever au moment du prélèvement, vérification de la ventilation et de l'empoussièrement (constat visuel), constat d'état , dépoussiérage, quarantaine et désinfection si nécessaire). ● 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.
Management	● Rédaction d'un règlement intérieur sur la chaîne de traitement des documents devant rentrer dans les magasins : dépoussiérage systématique des documents sales avec aspirateurs munis de filtres 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.
--	---

2.4.2 Traitements à éviter

Avec les conseils de la Bibliothèque nationale de France et du Centre de Recherche et de Conservation des Collections (CRCC) (2007) :

- Le gazage des locaux par fumigation au « Fumispore OPP » est néfaste pour les collections . Le CRCC le déconseille vivement. Utilisé dans l'industrie alimentaire, il est composé pour 20% d'orthophénylphénol (OPP), les autres composés ne sont pas mentionnés dans la fiche technique. En se décomposant, il libère de l'oxyde et du dioxyde d'azote et de carbone ainsi que de l'ammoniac ce qui est préjudiciable à la conservation des fonds. Ce produit a probablement remplacé le "Fumispore stock", interdit depuis 2006. Il a été utilisé à la bibliothèque du Muséum National d'Histoire Naturelle, plusieurs fois, il y a une dizaine d'années, dans leur réserve avec tous les documents sur place, mais en prenant soin de bâcher tous les appareils et d'enlever les ordinateurs. Ce produit ne contenait pas d'orthophénylphénol.
- Des sociétés proposent le traitement des archives à l'ozone. C'est un traitement à proscrire à cause de son action oxydante sur les papiers (l'ozone est un agent de blanchiment).
- Le rayonnement gamma altère papiers, cuir, parchemin et textiles.
- Les essais menés par le CRCC sur l'efficacité des traitements à l'azote pour éradiquer les moisissures se sont avérés négatifs (traitement efficace pour les insectes).
- L'emploi du formol dont l'un des composants est le trioxyméthylène est à proscrire car c'est un oxydant puissant qui peut dégrader les collections. Depuis 1993, son emploi est réglementé.
- **La congélation et/ou la lyophilisation** bloquent la contamination mais ne tuent en aucune manière les moisissures.

3 LUTTE CONTRE LES INSECTES

Les insectes peuvent être caractérisés en fonction de la nourriture qu'ils recherchent. Les insectes xylophages s'attaquent à la cellulose notamment du bois et de ses dérivés comme le papier, les insectes kératinophages apprécient les protéines du cuir, du parchemin, des colles, les mites (*Tinolléa*) aiment la laine, la soie mais d'autres espèces de mites se régalent des farines (colles). Toutefois un certain nombre d'insectes sont omnivores, il faut donc vérifier précisément quels sont les prédateurs et leurs habitudes.

3.1 Vie des insectes

Les insectes se caractérisent par les différentes phases de leur croissance ou métamorphose:

- oeufs,
- larves: ce sont principalement les larves qui en se nourrissant vont dégrader les objets qu'ils habitent,
- nymphes, pulpes ou chrysalides,
- insectes (adultes) : la plupart ne se nourrissent pas (sauf les coléoptères par exemple), leur rôle est de se reproduire.

Dans les climats tempérés, à l'extérieur, ils hibernent en hiver mais à l'intérieur des bâtiments chauffés, ils peuvent se reproduire tout au long de l'année et non pas seulement au printemps.

En règle générale en-dessous de 10°C, 15°C, ils ne se développent pas ou peu.

Si les conditions leur sont défavorables, ils sont capables de rentrer en léthargie, autrement dit d'hiberner plusieurs années en attendant de meilleures conditions. Ce pourquoi, il faut bien choisir le moment de les tuer c'est à dire lorsqu'ils sont en pleine activité. Il est donc classique sous nos latitudes de les surprendre au printemps au moment où la larve est encore dans l'objet et se rapproche de la surface pour devenir adulte. Il faut la tuer avant que l'adulte n'aille se reproduire et pondre.

On repère leur présence grâce à plusieurs indices:

- la présence de sciure qui correspond à leurs déjections;
- la présence de trous ou de galeries sinueuses caractéristiques des espèces: il s'agit des trous d'envol de la larve qui sort pour se muer en adulte. Elle aura donc déjà bien altéré l'intérieur en y creusant de profondes galeries;
- présence de matières organiques sécrétées par les insectes formant colle au point de rendre impossible la séparation des feuillets;
- présence de cadavres ou d'être vivants à tous les stades de leur reproduction.

Le fait de trouver de la sciure n'indique pas forcément qu'à l'intérieur travaille une larve, car de la sciure d'anciennes galeries peut tomber en secouant l'objet. Pour s'en assurer, bien

secouer sans l'altérer l'objet pour faire tomber le maximum de sciure, isoler la pièce en l'enveloppant dans un film hermétique de polyéthylène et ne plus rien bouger. Si la sciure continue à tomber, l'objet est bien habité et il faut agir. Pour mieux la repérer, on peut placer l'objet sur un papier noir et surveiller régulièrement.

Il est difficile de détecter la présence d'insectes car la plupart du temps, ils ont une activité nocturne. Des appareils acoustiques ou mécaniques ont été mis au point mais à cause de nombreux parasites, il n'est pas toujours facile d'identifier leur présence effective en les entendant grignoter. La détection radiographique, la tomographie permettent de repérer les galeries dans le bois et même les larves qui y séjournent.

Des pièges peuvent être utiles pour les capturer afin d'identifier l'espèce:

- le piège attractif avec un produit qui les attire et avec de la colle pour les empêcher de repartir:
 - phéromone sexuelle: parfum reproduit par la femelle pour attirer le mâle. Ces pièges existent pour certaines espèces et sont spécifiques de cette espèce: mite Tinolléa, vrillettes, anthrènes. Ils sont chers, ils doivent être placés en fonction des habitudes des insectes (rampants ou volants) en évitant les courants d'air et en quadrillant l'espace à surveiller. On va attraper surtout les mâles et les femelles continuent à pondre. Ils ont donc bien un rôle d'indicateurs de présence et d'identification d'espèces. Les utiliser avec parcimonie vu leur prix lorsque l'on a un doute quant à leur présence (Distributeur Hygiène Office);
 - phéromone d'agrégation: émises par tous les individus d'un groupe pour se reconnaître.

Les phéromones reconstituées, accessibles sur le marché: anthrènes, attagènes, blattes, mites, petites vrillettes, psoques, etc;
 - substance nutritive et colle: moins sélectif, le hasard va permettre à tout insecte de la fourmi à l'araignée de s'arrêter et d'être piégé;
- pièges électriques, lumineux, ultra-violets, ultra sons...

Quelque soit le piège utilisé, il faut les relever régulièrement (1 fois par semaine) et noter sur un tableau, le type de piège, le nombre d'insectes capturés, leur localisation, la date de prélèvement. Une analyse des résultats permettra de mener des actions préventives et de repérer d'où vient la contamination car un certain nombre d'insectes (mites par exemple) a un périmètre d'activité réduit.

3.2 Les espèces présentes dans les archives

Espèces	Aliments	Conditions de vie
Anthrène	Kératine: cuir, peau, plumes, laine.	3 à 4mm. Forme arrondie noire avec taches colorées. 20 à 100 oeufs. Larves brun foncé évitent la lumière sauf après la ponte. Durée de vie: 1,5 an.
Attagène	Cuir, plumes.	4 à 5mm. Larve plus dangereuse que l'adulte.
Blatte (cafard ou cancrelat)	Omnivores, reliure.	10 à 20mm. Corps aplati, brun luisant, grandes antennes. Oeufs 6 à 10mm. 16 à 50/ponte. Durée de vie 1 an. Coins sombres, chauds et humides. Les excréments produisent des taches noirâtres.
Dermeste	Matière végétale même sèche, cuir, peau, laine, s'infiltrant dans les métaux.	5 à 10mm. Corps noir à jaune allongé. Durée de vie, adulte 3 mois. 250 oeufs par semaine. Larve vit de 1 semaine à quelques mois. Les adultes fuient la lumière pour pondre puis la recherchent. Galeries sinueuses.
Mite (Tinolléa), teigne	Kératine: laine sale, fourrure, plumes mais aussi soie, lin, coton, papier.	7 à 10mm. 30 à 50 oeufs en 1 à 21 jours. Couleur dorée ou argentée. La larve se nourrit entre 40 jours et 2 ans.
Poisson d'argent ou lépisme	Colle d'amidon, papier surtout chiffon, carton, textile, photos, moisissures. Mangent en surface.	De 2mm à 10mm selon le stade (oeuf/adulte). Adulte gris argenté, forme allongée. C'est la larve qui se nourrit. Elle apprécie l'humidité, les recoins, le manque de lumière. Selon les conditions la femelle pond 70 à 200 oeufs/12 semaines. Vie nocturne. Durée vie: 3 ans environ. Galeries sinueuses, érosion superficielle, contours irréguliers.
Psoque ou pou du livre	colle, peaux, papier, adhésifs.	1 à 2/ 8 à 10mm. Larve active. 20 oeufs. Durée vie: 6 mois. Larves et adultes nuisibles. Besoin d'humidité.
Xylophages: capricornes, lyctus, vrillettes	Bois, cellulose, papier, parchemin, cuir, plastique...	Les larves creusent à l'intérieur des galeries et sortent à l'âge adulte par les trous d'envol. Présence de sciure.
Termite	Omnivore y compris béton, charpentes.	5mm en France. Vivent en colonies organisées comme les fourmis (reine, soldats). Chaleur et humidité, coins sombres. Le couple royal vit 50 ans, les soldats 4 ans. Dégradations très importantes, disparition totale des objets. Excréments = taches comme du liège. Galeries.

3.3 Traitements

Aujourd'hui de grands progrès ont été effectués dans la lutte contre les insectes ce qui permet d'éviter l'utilisation des gaz toxiques (bromure de méthyle, oxyde d'éthylène, pyrèthrine...). Deux méthodes « douces » sont applicables sur les biens culturels en fonction des matériaux. Elles reposent sur le même principe: tuer les insectes en période d'activité (et non en léthargie) en les surprenant soit par un grand froid subit qui fera éclater leur structure soit en les privant d'oxygène.

Il est aussi possible d'utiliser des insecticides de contact notamment des poudres pour certaines espèces rampantes comme les blattes que l'on répand sur leur passage mais en évitant tout contact avec les documents et en éloignant le traitement des documents.

3.3.1 La congélation

La cire, l'os et l'ivoire (fermoir), le caoutchouc, la plume, les oeuvres peintes, le verre ne doivent pas être congelés. Mieux vaut l'éviter pour le cuir, les reliures enluminées, les peintures (risque de soulèvement) et le parchemin, le PVC, le liège. Des colles peuvent réagir.

Cependant pour le cuir, les avis sont partagés. F. Fliedner ne déconseille pas la congélation.

Le principe est donc de surprendre les insectes pour les empêcher de se mettre en léthargie en les congelant brutalement à des températures très basses – 30 à - 35°C.

Le cycle type: 4 jours et 4 nuits à -35°C, on ramène progressivement à 20°C pendant au moins 3 semaines puis on reproduit le même cycle. Certains pensent qu'un cycle est suffisant.

Si on traite à -20°C dans des congélateurs domestiques, il faudra augmenter le nombre de cycles en contrôlant les résultats (empaqueter, isoler, surveiller).

Éventuellement, pour éviter les risques de condensation (faibles à -30°C), il faut emballer les objets et les laisser se ré-acclimater progressivement aux conditions ambiantes (on peut débrancher le congélateur s'il n'a pas de cycle de dégivrage automatique).

La congélation est un traitement simple et peu onéreux.

3.3.2 La privation d'oxygène ou anoxie

Il faut s'assurer que les conditions de traitement en température et humidité correspondent au cycle d'activité des insectes.

Le principe est donc de priver d'oxygène (l'air contient 21% d'oxygène) les insectes qui vont mourir d'étouffement. Étant donné que sont des êtres extrêmement résistants, il faut atteindre 0,1% d'oxygène pendant plusieurs jours ce qui est loin d'être évident. Comme un traitement dure 3 semaines à partir du moment où l'on a atteint le seuil des 0,1% et que la réaction est exothermique pour les absorbeurs, il faut veiller à ne pas assécher les collections soit en utilisant un matériau tampon (gel de silice par exemple) soit dans les traitements dynamiques

en humidifiant l'azote.

Les traitements requièrent une étanchéité complète des enveloppes y compris à la vapeur d'eau. Il faut donc utiliser des matériaux spécifiques : enceinte hermétique (autoclave), plastiques spéciaux thermosoudés.

Deux méthodes sont applicables en fonction des possibilités techniques et du nombre d'objets à traiter:

- l'anoxie statique soit en injectant de l'azote préalablement humidifié soit en utilisant des absorbeurs d'oxygène (oxyde de fer) qu'il faudra isoler des objets à cause de la réaction exothermique;
- l'anoxie dynamique: on injecte soit en continu soit par cycle de l'azote humidifié en extrayant par la même occasion l'oxygène résiduel. L'azote est produit soit par un générateur en cas de traitements importants soit par des bouteilles.

Il s'agit de traitements longs et complexes exigeant un bon suivi pour bien contrôler les risques de fuite. Il y a peu de restaurateurs spécialistes.

L'avantage est que ce traitement est adapté à tous les matériaux à désinsectiser et qu'il peut être pratiqué sur place y compris sur les étagères si l'étanchéité du conditionnement est assurée.

3.3.3 Insecticides

Les seuls insecticides tolérés aujourd'hui sont les pyréthrinoïdes (Flieder, Cnrs 1999) qui peuvent cependant, on l'a vu, être évités. Cependant lorsqu'une infestation est généralisée et peut aussi attaquer les matériaux du bâtiment (poutres, mobilier), il peut s'avérer indispensable de traiter aussi les locaux. Les documents doivent en principe être évacués. En l'absence de documents, on peut utiliser le phosphore d'hydrogène (des services ont dû l'utiliser en présence de documents hors ceux contenant des dorures car le gaz attaque les métaux sous le contrôle du Centre interrégional de conservation -restauration du patrimoine (Marseille). Il est souvent nécessaire de vider les locaux pendant deux jours au moins de toute présence humaine y compris sur un périmètre autour du bâtiment (autorisation à demander à la Préfecture par l'entreprise de fumigation). La protection du matériel informatique et électrique, l'arrêt des systèmes d'alarme et de climatisation peuvent s'avérer nécessaire.

3.3.4 Traitements à éviter

- Le rayonnement gamma hormis pour le bois, il altère les chaînes de cellulose ou protéiniques;
- le gaz carbonique car en présence d'eau, il peut produire de l'acide carbonique;
- les insecticides comme le paradichlorobenzène, la naphthaline pour leur effet cancérigène et les réactions chimiques des produits chlorés;
- le sulfure de carbone abandonné car très toxique.

3.4 Mesures préventives

Les mesures préventives appliquées pour les moisissures sont valables pour les insectes et rongeurs en portant une attention particulière sur les traces qu'ils peuvent laisser et qu'il faut contrôler régulièrement.

Le constat d'état lors de l'arrivée de collections, le dépoussiérage, le contrôle du climat et des collections introduites et stockées sont les armes classiques qui permettront d'éviter des traitements lourds.

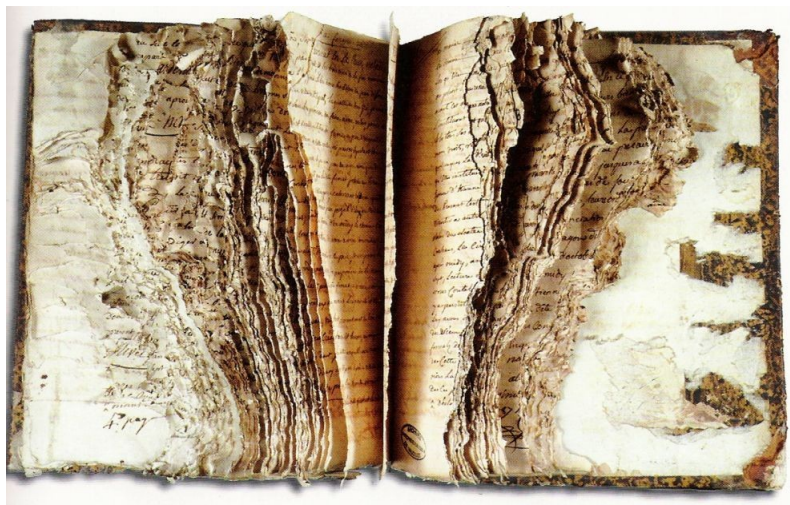
4 LUTTE CONTRE LES RONGEURS

Tous les rongeurs souris, mulots, rats...peuvent causer des dégâts très importants dans les archives en rongant le papier, parchemin, colle et le cuir pour les digérer ou se faire des nids en des temps très courts alors que pour les insectes l'attaque est lente et progressive mais plus sournoise (à l'intérieur pour beaucoup).

On peut les repérer par les traces laissées par les déjections, les dents sur les plinthes...

Pour les repérer, on peut placer du talc dans les zones où ils sont susceptibles de passer.

On peut les capturer à l'aide de pièges mécaniques en plaçant un attractif à l'intérieur mais aussi en utilisant des produits qui empêcheront leur reproduction ou empoisonneront la tribu. Il faut veiller à ce que les produits utilisés dessèchent les cadavres afin de ne pas attirer d'autres prédateurs (insectes)



Archives rongées par les souris
source : Blessures d'archives

5 ANNEXE

5.1 Utilisation des diagrammes psychrométriques

5.1.1 Notions générales

Les diagrammes psychrométriques ou diagrammes de l'air humide sont très utiles pour anticiper les élévations de l'humidité relative qui favoriseront le développement des moisissures.

De manière plus générale, ils permettent à partir de deux mesures de connaître toutes les grandeurs relatives à l'air humide (pression, températures, humidité relative (HR), humidité absolue (HA) qui sont liées entre elles). La variation de l'une entraînant celle des autres, on peut lire sur le diagramme leur effet sur l'ensemble des paramètres et ainsi prévoir, modifier et stabiliser le climat intérieur en fonction de ces différentes variables ou préparer un objet à des changements climatiques lors de ses déplacements.

Un volume d'air peut-être caractérisé par trois paramètres climatiques:

la température (T) en degré Celsius. Celle que vous mesurez sur vos thermomètres est appelée température sèche. La Ts est situées sur l'axe horizontal des diagrammes.

- **Température de bulbe sec (Ts)** est la température donnée par un thermomètre sec, placé dans un courant d'air humide et protégé des rayonnements parasites (venant d'objets froids ou chauds comme le soleil).
- **Température de bulbe humide (Th)** est la température de l'air circulant au dessus d'une grande surface d'eau liquide dans un système calorifugé. C'est par exemple la température indiquée par un thermomètre placé dans un linge humide soumis à courant d'air (mesure utilisée avec les psychromètres qui permettent de calculer l'HR ou d'étalonner les thermohygromètres à partir des mesures de Ts et Th et d'une règle de calcul donnée avec cet appareil)
- **Température de rosée** est la température à laquelle un air humide est à la pression de vapeur saturante. À cette température le liquide ne peut plus emmagasiner de la vapeur d'eau sans que celle-ci ne se condense.

Humidité relative notée **HR** est le rapport entre la quantité d'eau présente dans l'air et la quantité maximale d'eau que l'air pourrait contenir à la même température. C'est aussi le rapport entre la pression de vapeur et la pression de vapeur saturante. Elle est exprimée en %. Les courbes d'HR sont au centre des diagrammes.

Humidité absolue notée **HA** ou **HS (humidité spécifique)** est la quantité d'eau contenue dans l'air, elle est exprimée en gramme(s) par kilogramme d'air sec. On la trouve sur l'axe vertical, à gauche, sur les diagrammes.

Enthalpie spécifique symbolisée par la lettre h^* . Cela correspond à l'énergie contenue dans

le fluide dans un état donné (température, pression,... fixés). C'est l'énergie nécessaire pour assécher l'air, très utile pour déterminer les puissances caloriques et frigorifiques des différentes centrales de traitement d'air. Ce sujet ne nous intéressant pas directement, je ne le développerai pas. L'enthalpie est représentée sur la courbe à gauche du diagramme.

Le diagramme de l'air humide¹² :

- n'est valable que dans des limites de pression (donc d'altitude)
- il se rapporte à l'unité de masse d'air sec (kg d'air sec)

Il présente une courbe de saturation en vapeur d'eau délimitant deux zones:

- la zone de l'air humide (vapeur d'eau non saturante) avec les courbes d'HR
- la zone de brouillard (gouttelettes d'eau en suspension + vapeur d'eau saturante)

Utilisation du diagramme

La pression atmosphérique a une influence sur les températures et l'humidité relative. Le diagramme proposé est utilisable au niveau de la mer (altitude = 0m) et à une pression de 1013 hPa.

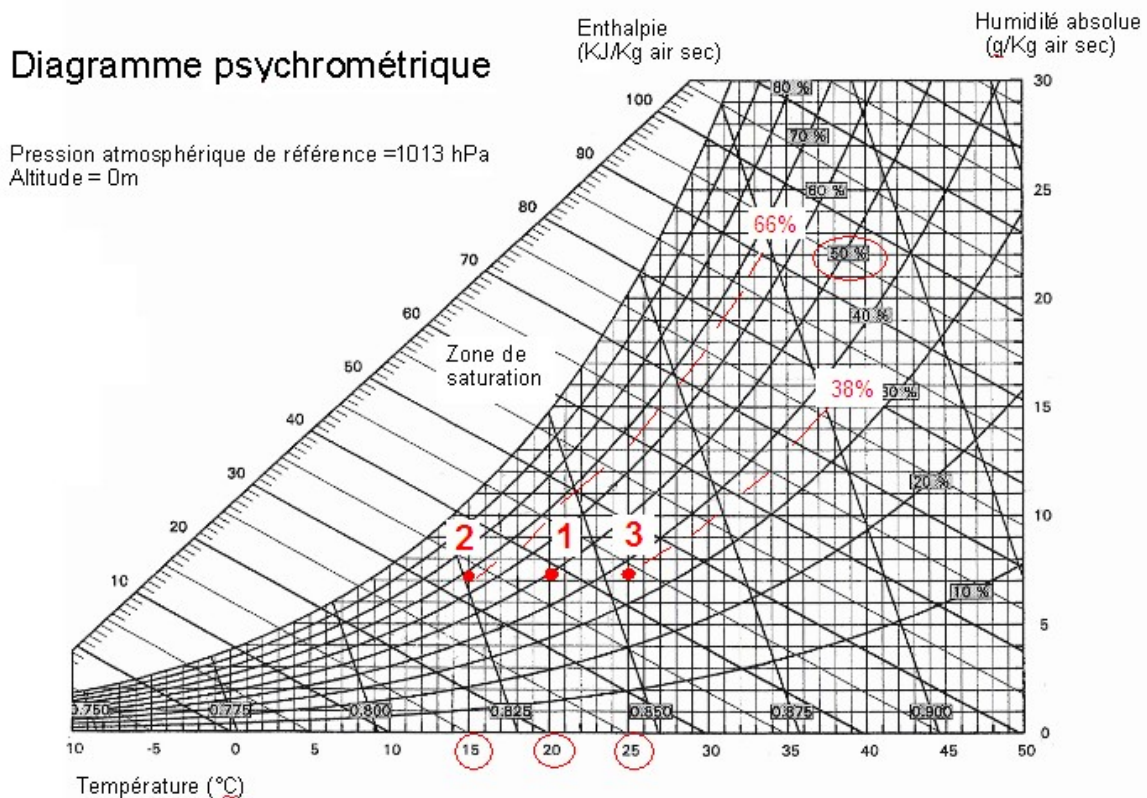
¹² Léon-Bavi Vilmont. CRCC. Cours de Master de conservation préventive. (2003): l'environnement des collections.

Exemple 1 :

Soit une température T de 20° C et une HR de 50% [1]

Si la température diminue T=15°C, l'HR augmentera à 66% [2].

A contrario, si la température augmente à 25°C, l'HR va baisser, elle sera de 38% [3].



Exemple 1

(source: à partir du diagramme de Pierre Diaz Pedregal, société In Extensio, simplifié par MD Parchas)

La baisse de la température T conduit à une augmentation de l'HR que l'on peut suivre en direct sur les diagrammes et donc anticiper soit en augmentant la température soit en déshumidifiant ou humidifiant l'air.

Comment utiliser l'humidité absolue qui représente le poids d'eau dans un volume d'air sec:

Les conditions extérieures ont une influence sur les conditions régnant à l'intérieur d'un bâtiment:

- En hiver, avec de l'air extérieur à 0°C et une HR de 90% qui contient donc 3,5g d'eau par kg d'air sec, on obtiendra à l'intérieur du bâtiment chauffé à 18°C une humidité relative de 27%. Pour obtenir 55% d'HR à 18°C, il faudra donc humidifier l'air.

- En été, avec un air extérieur à 30°C et une HR de 40% contenant 11g d'eau par kg d'air sec, on obtiendra à l'intérieur du bâtiment maintenu à 18°C une HR de 85%. Pour obtenir 55% d'HR à 18°C, il faudra donc déshumidifier l'air.

Risques de condensation, risques de moisissures:

La température de rosée est la température obtenue lorsqu'on refroidit l'air jusqu'à saturation sans changer sa teneur en eau (HS ou HA constante). C'est donc la température au-dessous de laquelle il se produit la condensation de la vapeur d'eau¹³.

Le point de rosée définit donc le moment où l'air est saturé et où il y a risque de saturation (sur la courbe RH 100% = courbe de saturation.). L'air ne pourra contenir plus d'eau qui va passer de la phase vapeur à la phase liquide, on verra ainsi les gouttelettes d'eau dues à la condensation.

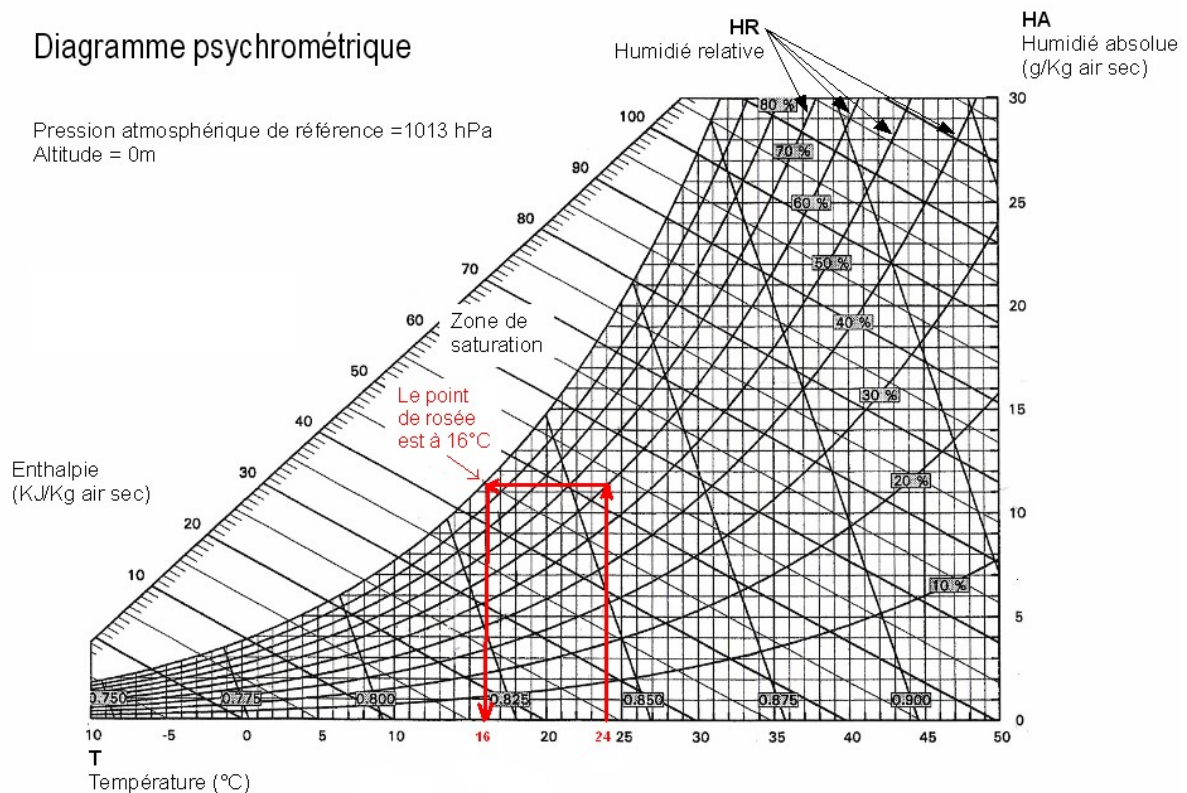
La condensation est provoquée par la différence de température entre une surface froide et une surface plus chaude entre extérieur et intérieur par exemple sur les vitres, les murs, les lunettes quand on passe du froid au chaud. Ce pourquoi, il faut éloigner les collections de ces parois à cause notamment des risques de développement de moisissures.

La courbe de saturation est représentée par $HR = 100\%$.

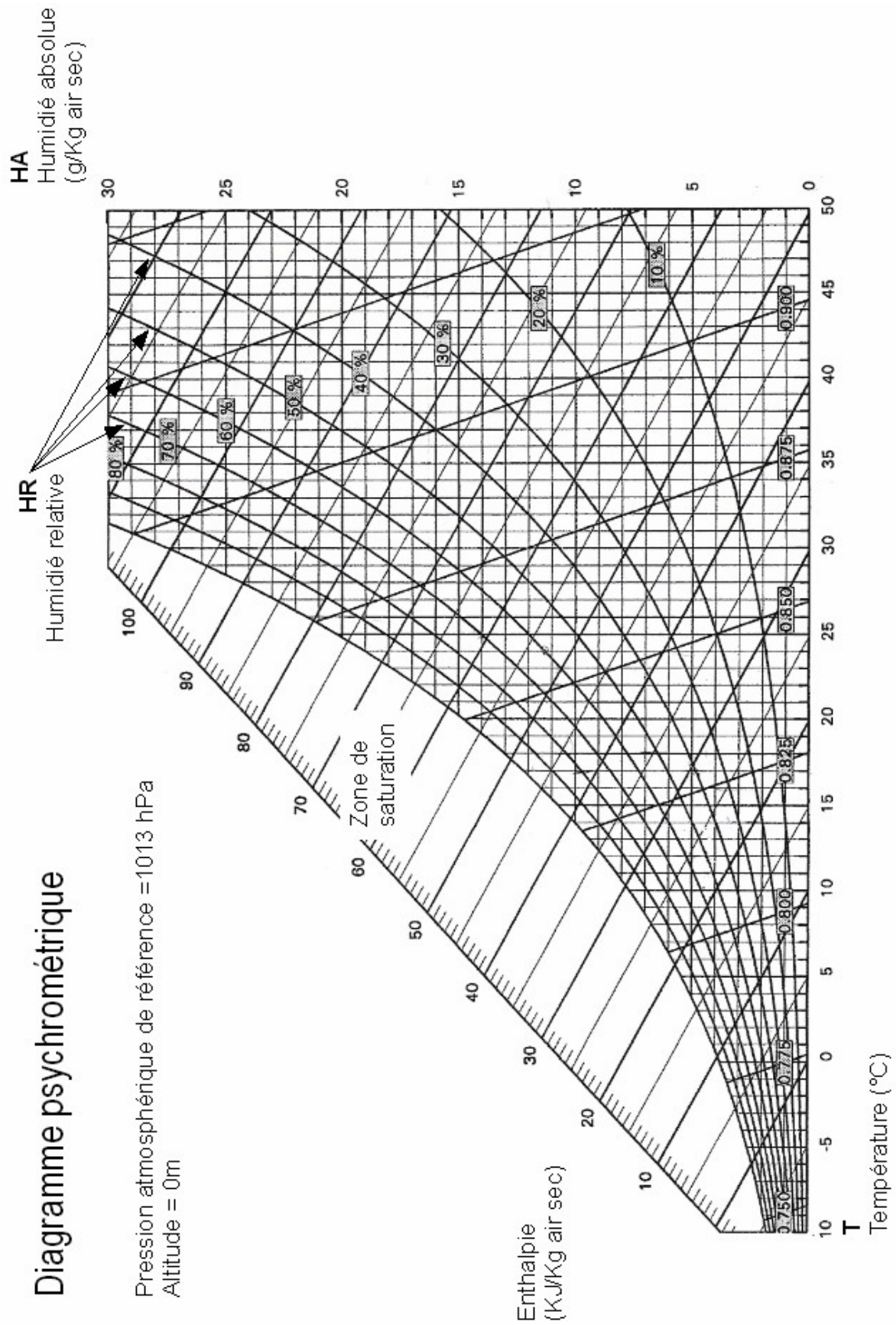
13 Léon-Bavi Vilmont. CRCC. Cours de Master de conservation préventive. (2003): l'environnement des collections.

Exemple :

On déplace un objet d'un magasin à 15° C vers une salle qui est à 24°C avec HR à 60%. Le point de rosée à ces paramètres est à 16° (trouver le point entre HR=60% et T=24°C, aller à gauche vers la courbe de saturation redescendre pour visualiser la T elle est à 16°C) , il y aura donc condensation sur l'objet. Il faudra donc acclimater l'objet avant de le changer de lieu (l'emballer jusqu'à ce qu'il arrive à la température du local à l'aller et au retour).



Si l'augmentation de la température fait baisser de manière trop radicale l'HR pour la conservation des documents, il faudra soit baisser la température, soit humidifier l'air.



5.2 La mэрule

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 20 à 40% d'humidité. Mais, par la suite, elle est capable de créer sa propre humidité pour étendre sa zone de propagation et peut donc survivre à des taux d'humidité plus bas contrairement au Coniophore qui a besoin d'un fort taux d'humidité du support de croissance. Elle s'adapte à des larges plages de températures entre 7 et 26° C, au delà elle ne peut se développer. L'obscurité puis une faible luminosité contribuent à sa croissance. Elle se propage en étant capable de traverser des cloisons. Elle se reproduit à partir de spores microscopiques qui germent en filaments (hyphes). Ils s'enchevêtrent pour donner le mycélium qui va se nourrir de la cellulose. L'eau est transportée à travers le réseau de filaments. La mэрule ne reste donc pas cantonnée à la zone humide. Si les conditions sont défavorables, le champignon ne meurt pas mais entre en période de latence. Il se re-développera 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.

Elle s'attaque aux :

- **bois ou bâtiment**: l'action de la mэрule entraîne la destruction du bois. La diminution de la résistance mécanique entraîne l'affaissement. Certains insectes comme la grosse vrillette sont attirés par les bois dégradés par les champignons lignivores. Si elle s'attaque à des structures : charpentes, piliers...elle met en danger le bâtiment. Elle est responsable à 70% des dégradations à l'intérieur des bâtiments en Europe du Nord. Un traitement in situ est donc indispensable, injection de produit et éventuellement consolidation des bois ou remplacement si nécessaire. Des entreprises spécialisées doivent être contactées après avis des laboratoires de la culture quant aux 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. Il est souvent antérieur à l'introduction 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 si l'humidité relative est supérieure à 95%. Le papier devrait sécher progressivement mais s'il reste humide, il y a de forte chance qu'il y ait sporulation, développement et propagation.

Plusieurs actions sont nécessaires:

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. Remédier aux 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, surfaces brûlées,...ne sont pas toujours indispensables.
3. **Contrôler la température et l'humidité relative** par des capteurs étalonnés placés aux endroits contaminés. Analyser les données régulièrement.
4. **Identifier le champignon** présent sur le fonds par prélèvement et analyse biologique si nécessaire ou par envoi de photographies aux laboratoires spécialisés. La mérule peut être confondue avec d'autres espèces : Coniophore, Lenzite, Polypore. La présence de spores confirmera si la mérule est active. Il faut s'adresser à un laboratoire spécialisé du Ministère de la culture car les analyses sont spécifiques. Le Centre de Recherche sur la Conservation des Collections n'est pas équipé contrairement au LRMH et au CICRP :

Laboratoire de Recherche des Monuments Historiques

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

Des organismes privés doivent être spécialisés dans la préservation des biens culturels afin d'éviter l'utilisation de produits ou de méthodes préjudiciables aux collections ce pourquoi l'avis des laboratoires du Ministère est précieux.

Pour les bâtiments, voir le Centre Technique des bois ou le LRMH.

5. Traitement à l'oxyde d'éthylène
6. **Le dépoussiérage** est indispensable pour retirer toute trace de champignons, il doit se faire après le traitement pour éviter la mise en contact de l'homme avec le champignon vivant.
7. Les documents doivent être réintroduits dans un **lieu assaini**.

5.3 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 blé. Vous trouverez les résultats de l'analyse dans le n°26 des *Actualités de la conservation* de la BnF.

Les principales souches présentes: *Aspergillus*, *Penicillium*, *Chaetomium*, *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 (casserole, tamis, etc);
3. le chauffage des colles permet de réduire la contamination;
4. préparer la colle quotidiennement en petite quantité;
5. sécher les supports encollés dans de bonnes conditions pour limiter la germination des spores de moisissures.