

Bilan environnemental fongique de dix centres d'archives en France

La présence massive de papier dans les magasins d'archives, apporte l'équivalent de 4 à 7 tonnes d'eau par magasin ce qui modifie considérablement l'atmosphère et rend très vulnérables les collections aux moindres dysfonctionnements des climatisations. Bien que le papier soit majoritaire, la diversité des supports complique aussi la gestion de la qualité de l'air des archives et des documents conservés. Les collections photographiques et audiovisuelles avec notamment la présence de gélatine, les cires, textiles, cuir et parchemin, sont d'autant de matériaux sensibles aux attaques biologiques.

Dans un souci d'amélioration microbiologique de l'environnement des collections et d'une préservation de la santé des personnels mais aussi des lecteurs et des groupes scolaires (413 milliers) dans les centres d'archivages, il est important d'avoir une évaluation de la contamination fongique des collections et des magasins. En 2009, dix responsables de services d'archives se sont proposés pour une analyse microbiologique de leurs locaux. Sept de ces services ont été visités en 2009 et 3 en 2010. Les prélèvements ont été réalisés entre octobre et mai afin de minimiser l'influence de la pollution fongique extérieure saisonnière.

L'objectif était de dénombrer et identifier les espèces fongiques présentes dans l'air des magasins et sur les documents papiers et de relever les problèmes de contaminations fongiques. L'impact sanitaire sur les personnels a été évalué par un auto-questionnaire de santé.

I. ANALYSES MICROBIOLOGIQUES

Dans chaque centre d'archives, des prélèvements d'air, de surface et de documents ont été réalisés. Les prélèvements d'air, effectués par impaction de 100 litres d'air sur 4 milieux de culture, sont réalisés avec un impacteur MAS100 (Merck®) à raison d'un prélèvement par magasin d'archives (dans la limite de 30 prélèvements), d'un prélèvement dans la salle de lecture et dans un bureau. Chaque prélèvement d'air a été complété par un écouvillonnage de surface (25 cm², écouvillon humide) préférentiellement sur un document présentant des traces de moisissures. En l'absence de traces de moisissures, le prélèvement de surface était effectué sur un document indemne, sur une étagère ou sur une surface murale.

Ces différents prélèvements reflétaient l'état microbiologique des centres d'archives au moment de la visite. Afin d'évaluer la contamination microbiologique sur une période plus longue, des dispositifs de prélèvement ont été placés durant 6 semaines dans chaque centre. Il s'agit de 5 capteurs où la poussière se dépose sur des lingettes électrostatiques (= capteurs à poussière), et de deux capteurs cellulositiques à moisissures, dans lesquels 1,06 dm² de papier tendu étaient maintenus en 2 atmosphères humides : (1) atmosphère saturée par l'humidité –boîte de Pétri couvercle fermé, avec 12 orifices de 8 mm de diamètre, (2) atmosphère partiellement saturée, sans couvercle (Figure 1). Les emplacements de ces pièges ont été choisis en fonction des problèmes rencontrés dans les centres d'archives.

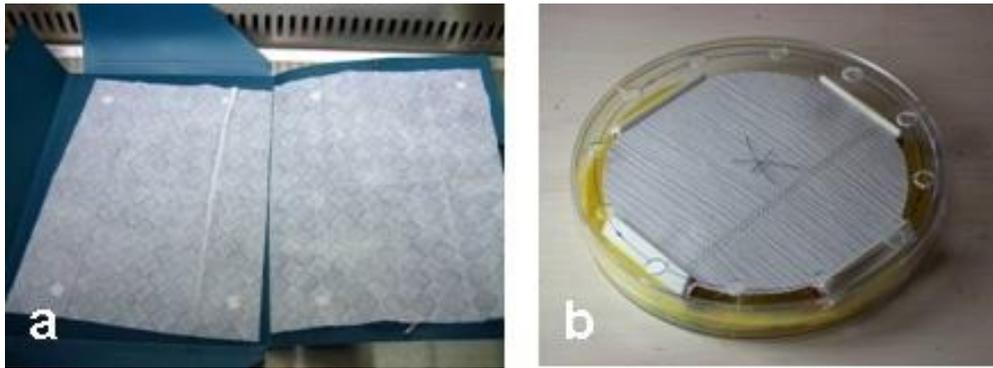


Figure 1. a). capteur à poussière ; b) capteur cellulosique

Les prélèvements (air, surface, documents, poussière et capteurs celluloseux) ont été analysés par ensemencement sur 4 milieux de culture :

- Malt Agar supplémenté en NaCl et en Chloramphénicol incubé à 15°C,
- Malt Agar supplémenté en Chloramphénicol incubé à 20°C,
- Dichloran-glycerol (DG18) incubé à 30°C,
- et un milieu composé de 0.5% de cellulose incubé à 15°C.

L'identification des moisissures en culture était réalisée après 5 jours, 7 jours, 15 jours et 21 jours d'incubation. Les résultats sont exprimés en Unité Formant Colonies (UFC) par mètre cube d'air ou par centimètre carré de capteur ou de surface ou par gramme de document.

1. Visite des Archives

Selon les centres et au jour de la visite, la température dans les magasins était comprise entre 14 et 24°C et l'hygrométrie entre 35.5 et 44%. Dans 7 centres, les moisissures s'étaient développées suite à une inondation ou à un dysfonctionnement du système de climatisation. Dans les trois autres centres, la présence de moisissures était due soit à un problème de construction du bâtiment, soit les moisissures étaient déjà présentes sur les documents au moment du versement aux archives. Le nombre de prélèvements réalisés dans les 10 centres d'archives est indiqué dans le tableau 1. Cinq systèmes de prélèvement ont été utilisés dans le but d'avoir différentes approches de la concentration en moisissures. Au total, 185 prélèvements d'air, 251 écouvillons, 47 pièges à poussière, 15 pièges celluloseux et 35 fragments de documents ont été analysés.

Tableau 1. Nombre de prélèvements réalisés par archive.

Numéro archive	N°1	N°2	N°3	N°4	N°5	N°6	N°7	N°8	N°9	N°10
Air	12	23	27	15	26	18	16	6	24	18
Ecouvillons	15	31	38	27	49	20	16	5	27	23
Capteurs de poussières	5	5	5	5	5	5	5	2	5	5
Capteurs celluloseux	2	2	2	2	0	2	2	1	2	0
Documents	2	3	7	5	4	0	5	2	4	3

Tableau 2: Fréquence des moisissures les plus isolées dans les prélèvements d'air, les écouvillons (écouv.), les capteurs de poussière (pous.) et celluloses (cell.), et les documents.

Espèces*	Air (n=185)	Ecouv. (n=251)	Cell. (n=47)	Pouss. (n=15)	Documents (n=35)	Total
Espèces présentes dans plus de 5% des prélèvements						
<i>Penicillium chrysogenum</i>	114	101	38	14	15	282
<i>Cladosporium sphaerospermum</i>	119	31	12	4	2	168
<i>Aspergillus versicolor</i>	59	31	11	0	14	115
<i>Eurotium spp.</i>	31	21	9	0	3	64
<i>Alternaria spp.</i>	37	18	2	0	0	57
Levures	36	8	5	4	0	53
<i>Rhodotorula sp.</i>	33	10	2	0	0	45
<i>Aspergillus niger</i>	12	4	14	5	9	44
Basidiomycetes	29	8	4	0	0	41
<i>Penicillium crustosum</i>	5	1	9	5	17	37
<i>Wallemia sebi</i>	31	2	1	0	1	35
<i>Aspergillus fumigatus</i>	14	10	1	0	5	30
<i>Penicillium corylophilum</i>	16	11	1	2	0	30
<i>Aureobasidium pullulans</i>	17	5	4	2	0	28
<i>Mycelia sterila</i>	19	7	0	1	0	27
Espèces présentes dans moins de 5% des prélèvements						
<i>Acremonium spp.</i>	17	2	2	3	1	25
<i>Cladosporium cladosporioides</i>	17	5	0	0	0	22
<i>Ulocladium spp.</i>	10	9	0	1	0	20
<i>Penicillium spp.</i>	11	2	3	0	3	19
<i>Rhizopus spp.</i>	8	6	0	2	0	16
<i>Trichoderma spp.</i>	4	9	4	0	0	17
Dematiaceae	12	3	1	0	1	17
<i>Cladosporium herbarum</i>	11	4	1	0	0	16
<i>Stachybotrys chartarum</i>	1	4	0	0	11	16
<i>Penicillium citreonigrum</i>	2	2	2	2	3	11
<i>Penicillium citrinum</i>	7	2	1	0	0	10
<i>Rhodotorula glutinis</i>	5	4	0	1	0	10
<i>Aspergillus ochraceus</i>	7	1	1	0	0	9
<i>Aspergillus chevalieri</i>	5	3	0	0	0	8
<i>Chaetomium globosum</i>	1	5	0	0	1	7
<i>Paecilomyces lilacinum</i>	2	1	0	3	0	6
<i>Botrytis cinerea</i>	4	1	1	0	0	6
<i>Phoma sp.</i>	5	1	0	0	0	6
<i>Penicillium olsonii</i>	4	1	0	0	0	5
<i>Aspergillus flavus</i>	2	1	0	0	2	5
<i>Aspergillus sydowii</i>	3	0	1	0	0	4
<i>Epicoccum nigrum</i>	3	1	0	0	0	4
<i>Mucor spp.</i>	3	1	0	0	0	4
<i>Paecilomyces variotii</i>	4	0	0	0	0	4
<i>Scopulariopsis brevicaulis</i>	4	0	0	0	0	4
<i>Verticillium sp.</i>	4	0	0	0	0	4
<i>Exophiala sp.</i>	3	0	0	0	0	3
<i>Fusarium spp.</i>	3	0	0	0	0	3
<i>Humicola</i>	1	2	0	0	0	3
<i>Myxotrichum deflexum</i>	1	1	0	0	1	3
<i>Papularia aroundinis</i>	1	1	0	0	1	3
<i>Talaromyces macrosporus</i>	2	0	1	0	0	3
<i>Trichothecium roseum</i>	2	1	0	0	0	3
<i>Tritirachium oryzae</i>	3	0	0	0	0	3
<i>Aspergillus nidulans</i>	2	1	0	0	0	3
<i>Aspergillus wentii</i>	2	0	1	0	0	3
<i>Beauveria alba</i>	2	1	0	0	0	3
<i>Blastobotrys sp.</i>	2	1	0	0	0	3

* Seules les espèces présentes dans au moins 3 prélèvements ont été rapportées dans ce tableau. Les autres moisissures étaient : *Absidia sp.*, *Aphanocladium album*, *Aspergillus candidus*, *Aspergillus terreus*, *Curvularia sp.*, *Dreschlera sp.*, *Mucor racemosus*, *Penicillium canescens*, *Phialocephala sp.*, *Tritirachium oryzae*, *Acremoniella verrucosa*, *Botryotrichum sp.*, *Cylindrocarpon sp.*, *Fusariella sp.*, *Mycosphaerella sp.*, *Penicillium janthinellum*, *Penicillium brevicompactum*, *Penicillium decaturense*, *Penicillium glabrum*, *Phialophora sp.*, *Rhizopus microsporus*, *Ramichloridium sp.*, *Scenedosporium sp.*, *Stibella sp.*

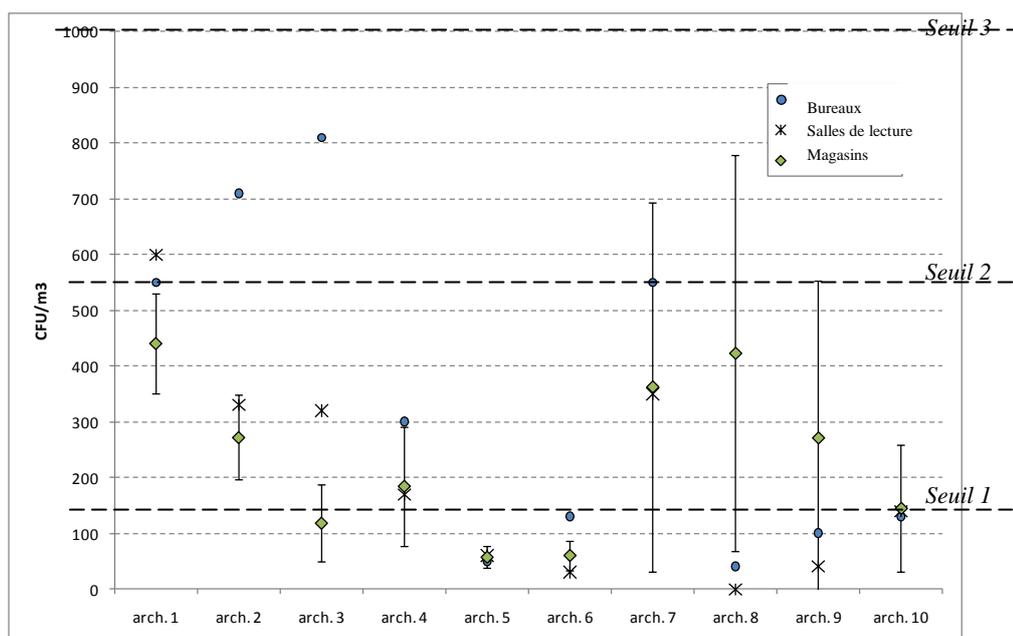
2. Prélèvements d'air

2.1. Profils de la contamination globale de l'air en moisissures

Au total, les prélèvements d'air ont été réalisés dans 9 salles de lecture, 10 bureaux, 148 magasins de stockage et 18 autres pièces (atelier de reliure ou de restauration, salles de tri, de dépoussiérage, remises). Les moisissures isolées dans plus de 5% des prélèvements étaient (par ordre décroissant de fréquence) : *Cladosporium sphaerospermum* (64% des prélèvements d'air), *Penicillium chrysogenum* (62%), *Aspergillus versicolor* (32%), *Alternaria spp.* (20%), levures (19%), *Rhodotorula sp.* (18%), *Wallemia sebi* (17%), *Eurotium spp.* (17%), Basidiomycètes spp. (16%), mycélium stérile (16%), *Acremonium spp.* (9%), *Aureobasidium pullulans* (9%), *Cladosporium cladosporioides* (9%), *Penicillium corylophilum* (9%), *Aspergillus fumigatus* (8%), *Aspergillus niger* (6%), *Cladosporium herbarum* (6%), *Penicillium spp.* (6%), *Ulocladium sp.* (5%) (Tableau 2, page 3). Cinq moisissures sont spécifiques au centre d'archives situé dans les Antilles (*Curvularia sp.*, *Exophiala sp.*, *Dreschlera sp.* et *Penicillium decaturense*). La concentration totale en moisissures dans l'air des magasins était en moyenne de 310 UFC/m³ d'air (écartype = 1460). Les concentrations étaient significativement différentes d'un centre à l'autre (p=0.0001, test de *Kruskal-Wallis*). Les concentrations dans les magasins d'archives, dans les salles de lecture et dans les bureaux sont présentées sur la figure 2.

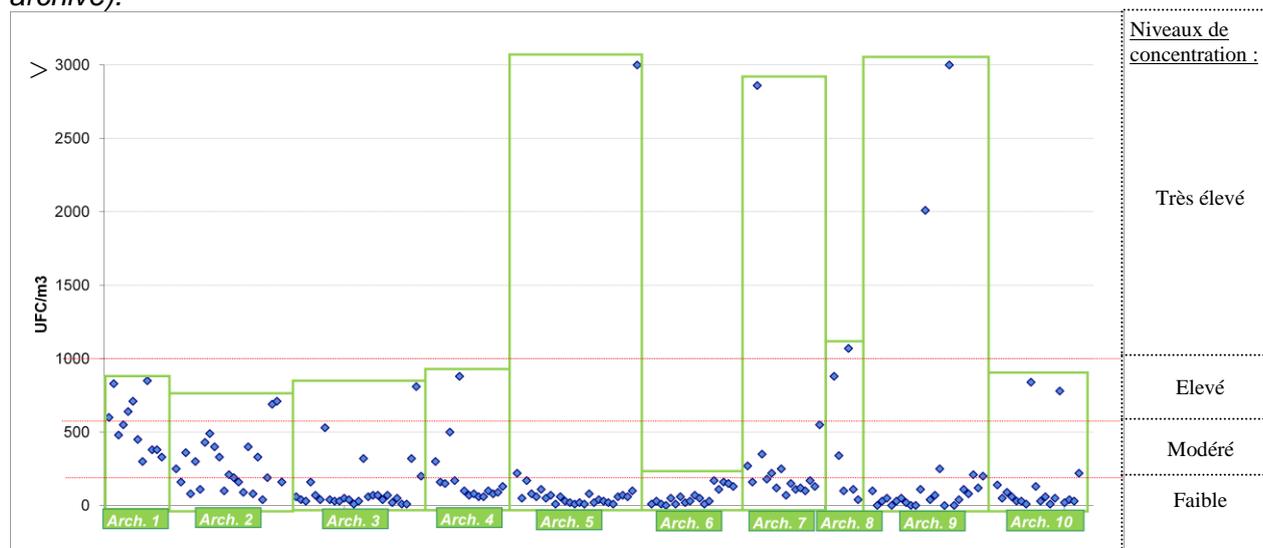
Quatre niveaux de concentration sont reportés sur le graphique (concentrations faibles < 170 UFC/m³ ; 170 < modérées < 560 UFC/m³ ; 560 < élevées < 1000 UFC/m³ ; très élevées > 1000 UFC/m³). Ces niveaux ont été définis lors d'une précédente étude, le dernier niveau (concentrations très élevées) étant considéré comme potentiellement à risque pour la santé (Reboux et al. Indoor air. 2009). Les prélèvements d'une salle de lecture et de deux bureaux et de neuf magasins ou salles de tri se situent dans la zone « concentrations élevées » (6.5%) et cinq prélèvements se situent dans la zone « concentrations très élevées » (2.7%). La plupart des prélèvements (90.8%) montrent des « concentrations faibles » ou « modérées ».

Figure 2 : pour chaque archive est représenté la concentration en moisissures dans les magasins d'archives* (moyenne en UFC/m³ associée à son intervalle de confiance à 95%), la concentration dans la salle de lecture et la concentration dans un bureau.



* Pour le centre numéro 5, une valeur très élevée (19500 UFC/m³) a été supprimée pour le calcul de la moyenne et de l'intervalle de confiance.

Figure 3 : concentrations en moisissures totales dans l'air (détail des prélèvements par archive).



2.2. Profils particuliers des salles très fortement contaminées en moisissures

L'analyse statistique des centres montre que la concentration totale en moisissures dans l'air était en moyenne de 310 UFC/m³. Cette situation plutôt favorable n'empêche pas des disparités au sein d'un même bâtiment. Le risque doit prendre en compte, pour les 2.7% de locaux très fortement contaminés (>1000 ufc/m³): la durée du séjour, le type de protection utilisé par les employés, la nature des activités effectuées dans ce local, le seul passage dans ces zones ne pouvant provoquer une exposition importante.

Pour les cinq prélèvements supérieurs à 1000 UFC/m³, il s'agit à chaque fois d'une histoire particulière de la contamination :

Dans le **centre d'archives numéro 5**, une concentration très élevée de 19500 UFC/m³ a été déterminée, l'espèce majoritaire était *Stachybotrys chartarum*. Dans ce magasin d'archives, à l'écart des autres magasins, étaient entreposés des documents fortement moisissés, issus d'une administration ayant elle-même subi un dégât des eaux et qui avait versé les documents aux archives en l'état. L'odeur de moisi était forte dans ce magasin. Par son aspect toxique (production de mycotoxines) cette espèce présente des risques plus importants que d'autres espèces.

Dans le **centre d'archive numéro 7**, une concentration était également très élevée (2860 UFC/m³) mais l'espèce principalement isolée dans une cave inondable était *Penicillium chrysogenum*. Aucune odeur particulière n'émanait de ce magasin. Il n'y avait pas de trace de moisissures sur les boîtes d'archivage, mais les documents à l'intérieur des boîtes présentaient des traces de moisissures. *P. chrysogenum* peut présenter des risques allergiques chez des personnes sensibilisées. En revanche, les mycotoxines produites par cette espèce ne sont pas connues comme particulièrement dangereuses.

Concernant **centre d'archive numéro 8**, la concentration très élevée (1070 UFC/m³), a été déterminée à proximité d'une broyeuse à papier. Elle était essentiellement liée à la présence de *P. chrysogenum*. L'utilisation d'un appareil pouvant disperser les spores accroît le risque d'une aérosolisation temporaire encore plus importante. Le temps de sédimentation des spores du type *Penicillium* est estimé à 5 heures par mètre.

Dans le centre numéro 9, deux magasins avaient de très fortes concentrations (2010 et 3000 UFC/m³), principalement à *Penicillium chrysogenum*. Aucune cause particulière n'a été déterminée. Un des prélèvements a été effectué sous une bouche d'aération.

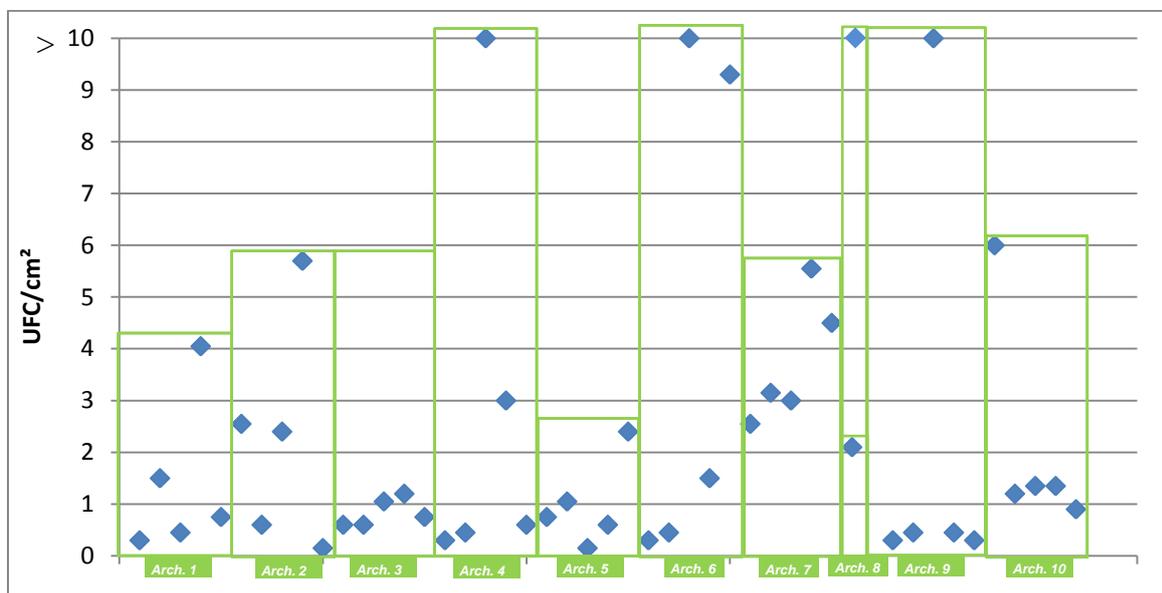
Un lien a été recherché entre la présence de ces salles très fortement contaminées et les déclarations des symptômes ressentis par les personnels des centres 5, 7 et 9 versus les autres centres. Le questionnaire étant anonyme, il n'était pas possible de disposer du parcours personnel de chacun. Pour le centre 8, les personnes questionnées n'étaient pas celles qui travaillaient à l'endroit où fonctionnait la broyeuse à papier (deux sites distincts), il n'a donc pas été pris en compte.

Aucun lien statistique n'a pu être établi entre ces quelques salles très fortement contaminées et la santé des travailleurs de ces centres.

3. Capteurs de poussières

Ces capteurs permettent de recueillir la poussière qui s'est déposée dans les magasins d'archives pendant 6 semaines. Après analyse par culture sur milieux gélosés, les moisissures présentes dans plus de 5% des capteurs étaient : *Penicillium chrysogenum* (80% des capteurs), *Aspergillus niger* (30%), *Cladosporium sphaerospermum* (26%), *Aspergillus versicolor* (23%), *Eurotium spp.* (19%), *Penicillium crustosum* (19%), levures (10%), *Trichoderma spp.* (9%), Basidiomycetes spp. (8%) et *Penicillium spp.* (6%) (Tableau 2 page 3). La concentration totale par capteur est en moyenne de 3.6 CFU/cm².

Figure 7 : concentrations en moisissures dans les capteurs de poussière.



4. Ecouvillons

Ces prélèvements permettent de récupérer de façon standardisée la poussière et les spores présentes sur les surfaces (murs, étagères, documents d'archives). *Penicillium chrysogenum* était significativement plus présent sur les étagères que sur les murs ($p=0.002$, Kruskal-Wallis) (figure 8). *Aspergillus versicolor* était présent sur les étagères et sur les

documents que sur les murs, mais cette différence n'était pas statistiquement significative du fait d'un nombre important de prélèvements négatifs.

Figure 8 concentrations en *Penicillium chrysogenum* et *Aspergillus versicolor* sur les murs, étagères et documents (écouvillons).

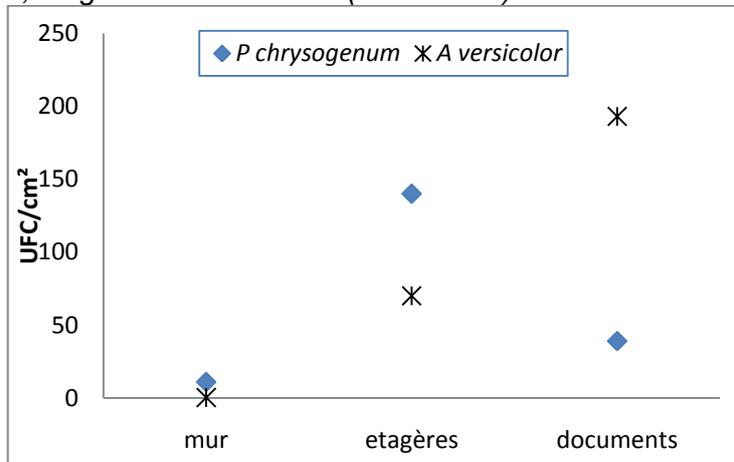


Figure 9 : Détail par centre des concentrations totales en moisissures sur les murs (écouvillons).

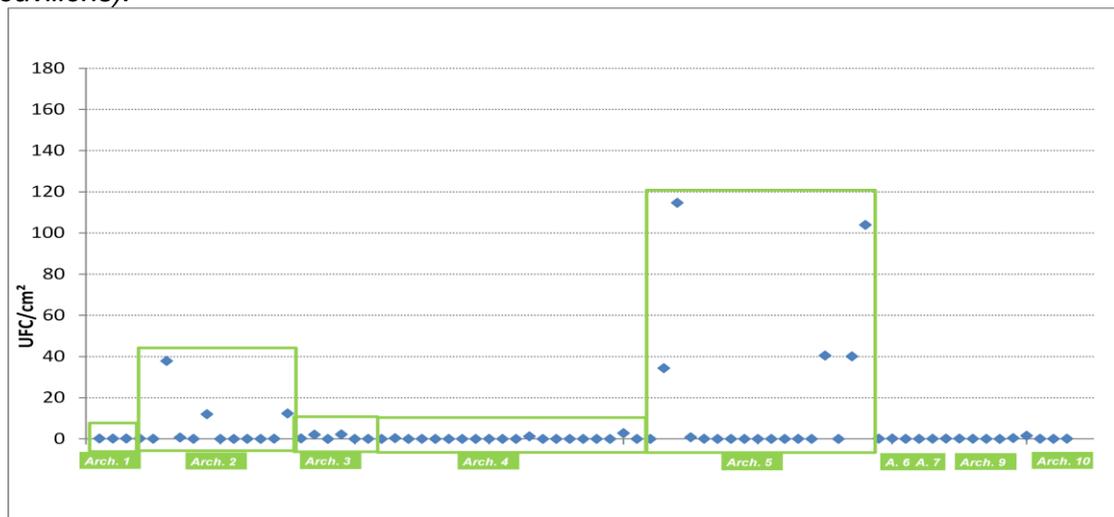


Figure 10 : Détail par centre des concentrations totales en moisissures sur les surfaces (étagères et boîtes d'archives par écouvillons).

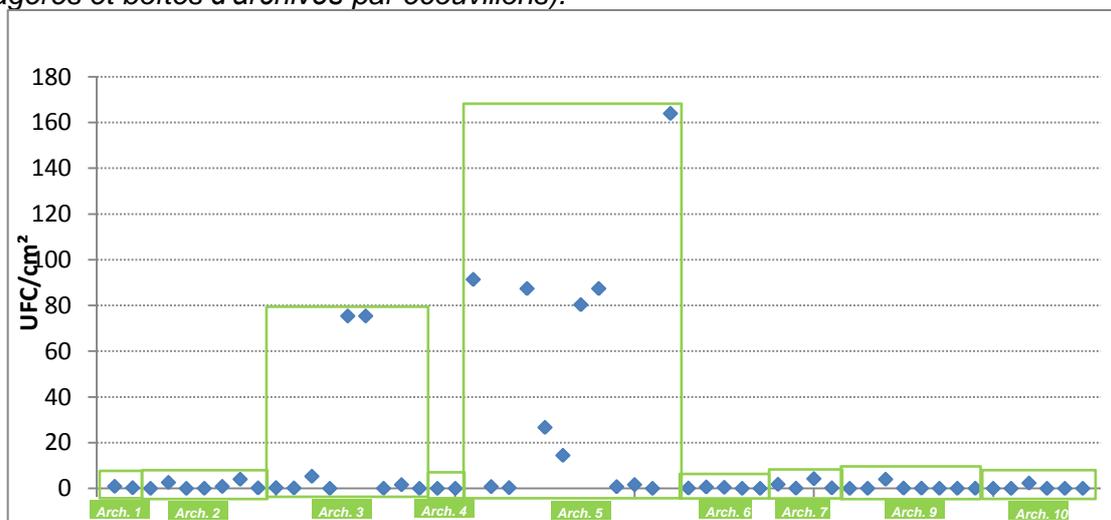
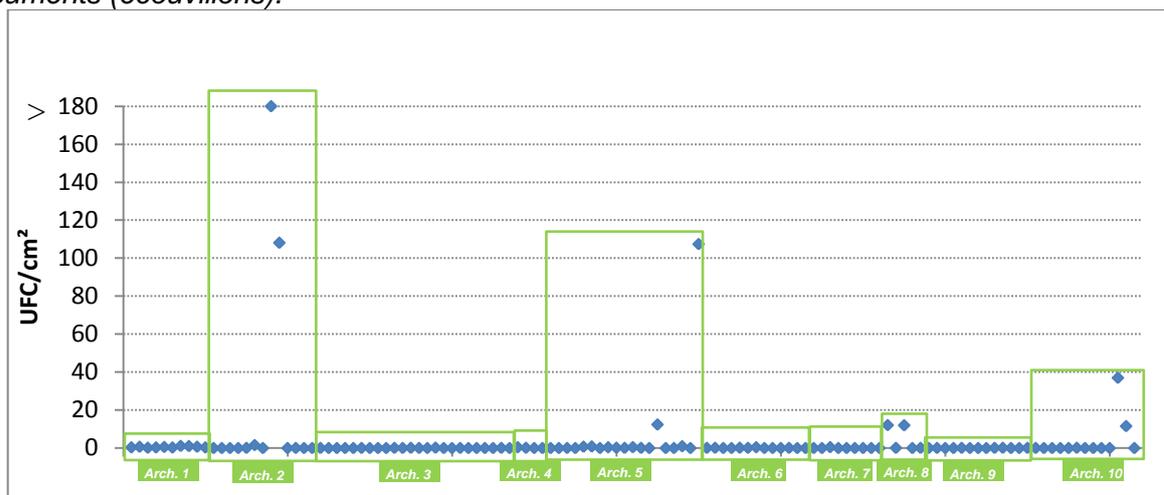


Figure 11 : Détail par centre des concentrations totales en moisissures sur les documents (écouvillons).



5. Capteurs cellulosesiques

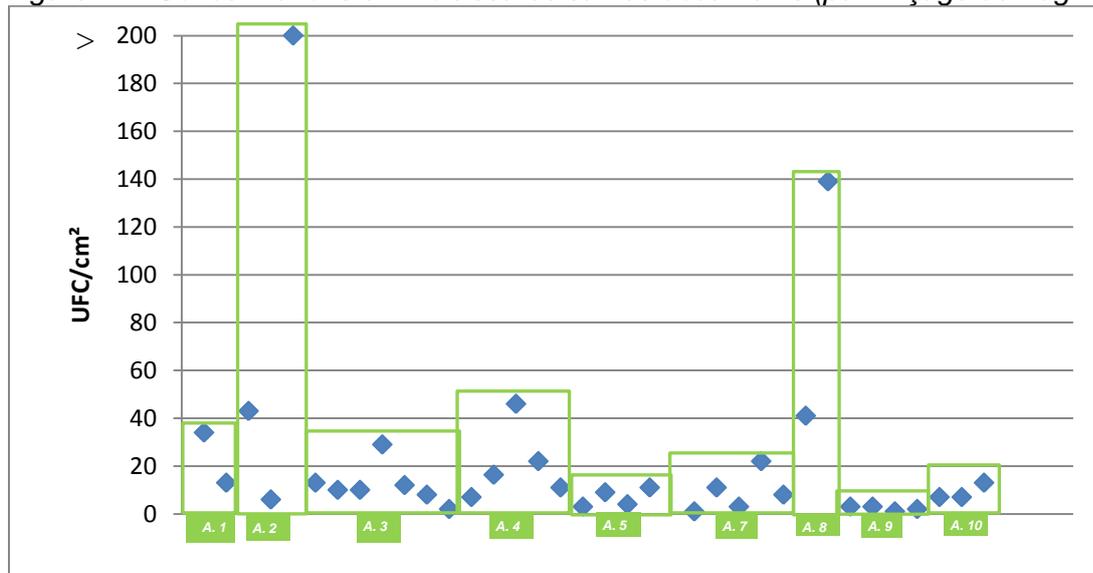
Ces capteurs permettent de récupérer les moisissures des archives se développant en environnement humide sur des substrats de cellulose. Les moisissures isolées dans plus de 5% des prélèvements étaient : *Penicillium chrysogenum* (93% of samples), *Penicillium crustosum* (33%), *Aspergillus niger* (33%), *Cladosporium sphaerospermum* (27%), levures (27%), *Acremonium spp.* (20%), *Paecilomyces lilacinum* (20%), *Aureobasidium pullulans* (13%), *Penicillium corylophilum* (13%), *Penicillium citreonigrum* (13%), *Penicillium stechii* (13%), *Rhizopus sp.* (13%), *Trichothecium oryzae* (13%), *Dreschlera sp.* (7%), *Rhodotorula glutinis* (7%), *Tritirachium oryzae* (7%), *Ulocladium sp.* (7%), mycelium stérile (7%).

L'objectif de ces capteurs était d'observer et de déterminer les espèces fongiques qui se développent sur des morceaux de cellulose maintenus humides et non de quantifier. Ainsi le détail des concentrations obtenues par centre n'est pas montré ici.

6. Manuscrits et documents

Le but de ces prélèvements était d'identifier les moisissures qui étaient présentes sur les documents visiblement moisis ou dégradés. Les moisissures isolées sur plus de 5% des documents étaient : *Penicillium crustosum* (47% des documents), *Penicillium chrysogenum* (42%), *Aspergillus versicolor* (39%), *Stachybotrys chartarum* (31%), *Aspergillus niger* (25%), *Aspergillus fumigatus* (14%), *Eurotium spp.* (8%), *Penicillium citreonigrum* (8%), et d'autres moisissures du genre *Penicillium* (8%). La moyenne des concentrations était de 17 UFC/cm² pour *Penicillium crustosum* (écart-type = 90), 9 UFC/cm² pour *Penicillium chrysogenum* (ET = 35), 11 UFC/cm² pour *Aspergillus versicolor* (ET = 40), 4 UFC/cm² pour *Stachybotrys chartarum* (ET=12), et moins de 3 UFC/cm² pour les autres moisissures.

Figure 12 : Concentrations en moisissures sur les documents (par rinçage de fragments)



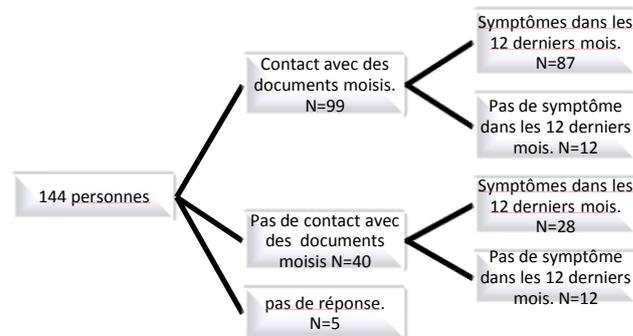
II. Auto-questionnaires de santé

Dans chaque centre d'archive a été distribué un auto-questionnaire, issus de questionnaires utilisés dans des études de cohorte nationales et européennes¹, et dont l'objectif était de relever de façon anonyme le type d'exposition des personnes travaillant dans les centres et les problèmes de santé ressentis. Ce questionnaire est principalement axé sur les maladies allergiques.

Sur les 268 auto-questionnaires de santé distribués, le taux de réponse a été de 54% (144 questionnaires). Les répondants ont en moyenne 45 ans (ET=10) et 73% sont des femmes. Aucun employé n'a rapporté d'autre exposition massive à des allergènes en dehors de son travail. Le temps passé quotidiennement dans les archives est de 8 heures par jour ouvré (écart-type=0,8). Quatre-vingt-dix-neuf employés (69%) déclarent être en contact avec des documents contaminés et 40 (28%) déclarent ne pas l'être (5 non précisés). Parmi les employés en contact avec les documents contaminés, 78 utilisent des systèmes de protection individuel pour manipuler les documents contaminés (principalement des gants et une blouse) et 14 ne se protègent pas (7 réponses manquantes). Seulement 57% des employés manipulant des documents contaminés portent un masque de protection respiratoire. Parmi les 99 employés en contact avec des documents contaminés, 87 ont rapportés des symptômes *versus* 28 parmi les 40 employés qui ne sont pas en contact avec les documents contaminés (figure 13).

¹ International Study of Asthma and Allergies in Childhood (ISAAC) ; Protection against allergy: study in rural environments (PASTURE); Global Allergy and Asthma European Network (GA²LEN).

Figure 13: répartition des employés rapportant ou non des symptômes en fonction de leur contact avec des documents moisiss.



Les « odds ratios » (OR) (=rapport des cotes) calculés représentent le risque relatif de ressentir un symptôme lorsqu'on est en contact avec les documents moisiss. Les symptômes significatifs étaient des maux de tête (OR:2.4, intervalle de confiance à 95%:1.1-5.3), de la fatigue (OR:2.9, 95%CI:1.3-6.7), une irritation des yeux (OR:5.4 , 95%CI:1.9-14.9), une irritation de la gorge (OR:2.4 ,95%CI:1.0-5.7), de la toux (OR:3.3, 95%CI:1.2-8.5), une rhinorrhée (OR:2.6 , 95%CI:1.0-6.4), et une irritation de la peau (OR: 2.6, 95%CI:1.0-6.8). Ces symptômes ont été testés dans une régression multivariée ajustée sur l'âge, le sexe, et le tabagisme. Seule l'irritation des yeux est significative en analyse multivariée (OR : 5.8, IC 95% : 1.9-18.4).

Les autres symptômes relevés par le questionnaire et qui n'étaient pas significativement plus ressentis par les personnes en contact avec les documents moisiss étaient : une sinusite, une irritation du nez, des vertiges, des nausées, de l'eczéma, un essoufflement, des sifflements dans la poitrine et de la fièvre.

III. CONCLUSIONS

Les moisissures sont des micro-organismes qui ont besoin pour se développer d'un substrat nutritif et d'humidité. Ainsi un dégât des eaux, un manque d'aération ou un dysfonctionnement de la climatisation conduisant à un excès humidité peuvent être à l'origine du développement de moisissures dans les archives. Nous avons observé lors de cette étude différentes causes à la présence et au développement des moisissures. Ainsi, certains documents, stockés dans des caves ou des greniers, arrivent dans les centres d'archives nettement contaminés par des moisissures. Ces documents sont envoyés pour désinfection à l'oxyde d'éthylène et parfois restaurés sur place où dans des entreprises spécialisées. Certains centres d'archives ont subi des dégâts des eaux. Les documents atteints sont le plus souvent séchés (au soleil ou par lyophilisation) mais la réparation des locaux peut prendre plusieurs mois ou plusieurs années. L'absence de remédiation contribue à maintenir une ambiance humide dans les magasins d'archives, parfois associée à une forte contamination fongique de l'air. Enfin certains documents, correctement stockés dans les archives deviennent mous et friables, se tachent et se dégradent sans que la relation directe avec un problème fongique soit établie. Ce dernier problème survient préférentiellement dans les centres où le système de climatisation dysfonctionne.

Dans les 10 centres d'archives, nous avons isolé une cinquantaine de genres de moisissures. Les plus courants, comme les *Penicillium* et les *Aspergillus*, ont été identifiés jusqu'à l'espèce par des méthodes de culture ou de biologie moléculaire. Ces moisissures sont des contaminants fréquents de l'environnement. Mis à part *Penicillium crustosum* (isolé dans 47% des documents analysés), *Wallemia sebi* (3% des documents) et *Myxotrichum deflexum* (3% des documents), ce sont des contaminants connus des documents d'archives. Les moisissures retrouvées dans l'ensemble des prélèvements ont une température optimale de croissance située entre 18 et 30°C (sauf *Aspergillus fumigatus*). Si l'on compare avec la microflore normale des maisons, on observe dans l'air des magasins d'archives des quantités plus importantes en levures, en *Rhodotorula* spp. et en *Aureobasidium pullulans*. Ces micro-organismes ont des besoins importants en eau pour se développer (water activity $aw > 0.90$) et leur présence peut être expliquée par la quantité d'eau importante dans les documents et l'hygrométrie élevée maintenue dans l'air.

Les principales moisissures présentes dans les archives sont *Penicillium chrysogenum*, *Cladosporium sphaerospermum* et *Aspergillus versicolor*. Ces moisissures sont présentes dans l'air, dans la poussière, sur les documents. *Penicillium chrysogenum* et *Cladosporium sphaerospermum* se sont développés sur les capteurs cellulose (haut degré d'hygrométrie et cellulose comme seul substrat). Ces trois espèces sont impliquées dans des pathologies allergiques respiratoires (asthme) ou ORL (rhinite, conjonctivite). Aucune relation entre la quantité inhalée et l'effet sur la santé n'a encore été établie formellement pour ces espèces. Cependant, dans les cas où une seule espèce considérée comme pathogène dépasse la concentration de 1000 UFC/m³, il conviendrait d'entreprendre des opérations de remédiation ou de décontamination de l'air. Cette situation n'a été retrouvée que dans 5 prélèvements d'air sur les 185 effectués

Ces résultats montrent que les espèces fongiques qui dégradent les documents n'ont pas de réelle spécificité : ce sont des espèces de l'environnement qui peuvent entrer dans les bâtiments par les systèmes d'aération, par les portes et fenêtres, par portage humain, et qui trouvent dans les archives des conditions de température et d'humidité favorables.

Il existe peu d'étude sur l'analyse microbiologique de l'air des archives et sur les niveaux de ces contaminations. Dans cette étude, 10 centres d'archives répartis sur le territoire français ont été analysés avec 5 types de prélèvements (air, capteurs de poussière, capteurs cellulose, écouvillons, fragments de documents). Les prélèvements d'air par impacteur nous permettent de connaître les niveaux d'exposition des employés dans les archives, les fragments de documents et les écouvillons permettent de dénombrer et d'identifier les moisissures qui se développent sur les documents et les dégradent. Les capteurs cellulose permettent d'isoler les moisissures qui se développent en présence de fort taux d'humidité et sur la cellulose. Les capteurs de poussière permettent de récupérer les spores présentes dans l'air qui se déposent sur une surface et pendant un temps déterminé. L'analyse des résultats montre que les prélèvements d'air par impacteur, les capteurs à poussières et les écouvillons sur les documents contaminés sont des méthodes de prélèvement adaptées à l'évaluation de la contamination microbiologique des archives. Par contre, les écouvillons réalisés sur les murs ou sur les étagères pour analyser la poussière ne nous semblent pas pertinents. En effet, ces écouvillons sont souvent négatifs et la standardisation du prélèvement est difficile (dépend de la surface mais aussi de la pression exercée par le préleveur). L'analyse de fragments de documents est pertinente mais ce prélèvement n'est pas souvent possible dans les archives.

Les analyses microbiologiques de l'air des magasins d'archives montrent que les quantités de moisissures sont globalement modérées ou faibles. Lors de précédents

travaux¹, nous avons établi dans des logements une échelle de contamination en 4 niveaux. La contamination fongique est faible en dessous de 170 UFC/m³, modérée entre 170 et 560 UFC/m³, élevée entre 560 et 1000 UFC/m³ et très élevée au dessus de 1000 UFC/m³. Dans la présente étude, seul 2.7% des prélèvements d'air par impaction dépassent le seuil de 1000 UFC/m³. La comparaison n'est valide qu'à équivalence de temps passé dans les lieux contaminés. La durée de l'activité réalisée dans des magasins contaminés doit être prise en compte pour évaluer le risque.

Les problèmes de santé des employés ont été relevés à l'aide d'un auto-questionnaire. Le taux de réponse est de 54%. Ces auto-questionnaires sont dérivés de ceux utilisés dans les études de cohortes européennes portant sur les problèmes d'asthme et d'allergie. Cette méthode par auto-questionnaire a des limites : étant basée sur le déclaratif, les réponses peuvent manquer d'objectivité et refléter le ressenti (positif ou négatif) de la personne sur sa santé. De plus, en l'absence d'investigations biologiques et médicales (auscultation, prick test, sérologie), il n'est pas possible d'apporter une preuve formelle de la réalité de ces pathologies ni du lien entre les symptômes et l'exposition aux moisissures. Cependant l'étude des réponses des 144 employés des archives montre un risque accru d'irritation des yeux chez les personnes directement en contact avec les documents moisissés par rapport aux autres personnes travaillant dans les archives. Ces symptômes peuvent avoir des origines diverses (climatisation, température basse, niveau d'empoussièremment élevé, manque de lumière, colles...) et des investigations supplémentaires, en collaboration avec les médecins du travail et avec des dosages supplémentaires (empoussièremment, produits chimiques...), sont nécessaires pour préciser l'origine et l'importance de ces symptômes.

Laboratoire de Parasitologie – Mycologie (UMR/CNRS Chrono-Environnement)
CHU J. Minjoz
3, boulevard Fleming
25000 Besançon

Laurence Millon (chef de service)
Gabriel Reboux, Sandrine Roussel (ingénieurs)
Mallory Vacheyrou, Audrey Laboissière, Florence Skana (techniciennes)

Contacts : gabriel.reboux@univ-fcomte.fr / sroussel@univ-fcomte.fr

¹ Reboux, G., Bellanger, A.P., Roussel, S., Grenouillet, F., Sornin, S., Piarroux, R., Dalphin, J.C., Millon, L. Indoor mold concentration in Eastern France, *Indoor air* 2009;19:446-453.