



MEDIATHEQUE MADAME DE SEVIGNE

Document original

Etude de climat et de biocontamination

Magasin de stockage

Vitré 35500

Sommaire

	P03
	P03
INTRODUCTION	P03
I- CARACTERISTIQUES DU BATIMENT ET DE SON AMENAGEMENT.	P03
I- 1 TYPE DE RANGEMENT	P05
I-2 EQUIPEMENTS TECHNIQUES	P06
I-3 SITUATION GEOGRAPHIQUE DU BATIMENT	P06
I-4 ETAT SANITAIRE	P07
I-4-1 Isolation t	P08
1-4-2 Humidité relative des magasins avant les campagnes de mesures	P10
I-4-3 Teneur en eau des murs	P10
I-4-4 Interprétation des résultats	P10
II ETUDE DU CLIMAT GENERALITES	P10
II-1 APERÇU HISTORIQUE DES EVENEMENTS	P11
II-2 METHODOLOGIE	P12
II-2-1 Remarques préalables	P13
II-2-2 Paramètres de référence.	P14
II-2-3 Valeurs statistiques.	P14
II-2-4 Positionnement des enregistreurs d'humidité et de température.	P14
II-3 THERMOGRAPHIE	P15
II-3-1 Interprétation des résultats	P15
II-4-ANALYSE DES ENREGISTREMENTS D'HUMIDITE ET DE TEMPERATURE.	P16
II-4-1 Première campagne de mesures	P17
II-4-2 Deuxième campagne de mesures	P18
II-4-3 Troisième campagne de mesures	P18
III- 5 CARACTERISTIQUES CLIMATIQUES	P18
IV- ETUDE DE LA BIOCONTAMINATION	P19
IV-1 ETAT DES LIEUX	P19
III-2 ECHANTILLONNAGE.	P20
III-2-1 Prélèvements ; méthodes	P21
III-2-2 Prélèvements localisation	P22
III-3 RESULTATS	P26
III-2-1 Biocontamination environnementale : surfaces	P27
III-2-2 Biocontamination environnementale : air	P28
III-2-3 Biocontamination sur documents	P28
III-4 INTERPRETATION DES RESULTATS	P31
III-4-1 Degré général de biocontamination	P32
III-2-2 Impact des espèces fongiques majoritaires isolées	P32
IV-CONCLUSIONS	P32
IV-1 CONDITIONS CLIMATIQUES	P34
IV-2 ETAT MICRO-BIOLOGIQUE	P34
V- PRECONISATIONS ET RECOMMANDATIONS	P34
V-I BATIMENTS	P34
V-2 EQUIPEMENTS CLIMATIQUES ET DE CONTROLES	
V-3 ASSAINISSEMENT MICRO-BIOLOGIQUE.	

INTRODUCTION.

A la suite d'une demande de devis par Madame Marie-Edith Vignon nous avons organisé un déplacement à la médiathèque de Vitré le 09/10/2012. Madame Vignon nous a guidé durant une visite du bâtiment et du magasin afin d'évaluer les conditions de conservation et l'étendue de la biocontamination des documents conservés dans le magasin.

Suite à cette visite nous avons estimé que la situation est instable et que les problèmes responsables de cette contamination doivent être identifiés. Pour comprendre les phénomènes qui sont à l'origine de cette bio-contamination, il est nécessaire de faire un diagnostic en partant d'une étude du climat et d'une étude de bio-contamination. Elles permettront d'identifier les raisons du développement des souches et de déterminer leur activité et leur concentration.

I- CARACTERISTIQUES DU BÂTIMENT ET DE SON AMENAGEMENT.

Le bâtiment de la médiathèque a été construit en 1992 dans une zone anciennement marécageuse, remblayée et aménagée. Il regroupe au rez-de-chaussée, l'accueil, des salles de lecture et des bureaux. Au 1^{er} étage nous avons également des salles de lecture et d'animation. Les matériaux du bâtiment sont principalement des voiles de béton et des verrières. Dès 1992 des malfaçons de construction ont été à l'origine de problèmes d'infiltrations d'eau graves.

Le magasin est enterré, il est complètement aveugle. Sa surface est d'environ 200 m². Il est partagé en deux parties par une grille. L'accès se fait par un escalier en colimaçon. Les livres sont amenés ou sortis par un monte-charge.

I-1 TYPE DE RANGEMENT.

Le magasin est équipé d'étagères mobiles (Feralco) et de quelques étagères fixes.

I-2 EQUIPEMENTS TECHNIQUES.

Pour réguler le climat, le magasin est équipé de deux déshumidificateurs Dantherm Ranco situés face à face aux extrémités est/ouest de la salle, fig.1.



Figure 1 : déshumidificateur Danther Ranco

On trouve aussi 3 chauffages d'appoint dont deux d'entre eux sont situés aux extrémités est/ouest, le troisième se trouve le long du mur sud dans la première partie du magasin. Au-dessus du déshumidification est, un humidificateur à vapeur d'eau Vapac a été installé, fig. 2.



Figure 2 : Humidificateur à vapeur

Pour le brassage de l'air, trois ventilateurs sont fixés au plafond dans l'allée centrale et deux bouches d'aération ont des prises sur la cage d'escalier, fig. 3.



Figure 3 : Ventilateurs

Le contrôle de la qualité de l'air est fait par un thermo hygromètre à tambour. La régulation du climat est gérée par les régulateurs internes à chaque appareil. Ils n'ont pas été, à priori, étalonnés depuis leur installation.

I-3 SITUATION GEOGRAPHIQUE DU BATIMENT.

Vitré bénéficie d'un climat océanique. La ville se trouve dans la zone climatique bretonne, qui englobe la partie située au sud et à l'est de la Vilaine. Les hivers sont humides et en moyenne doux et ponctuellement, la température peut être négative. Les étés sont relativement secs, modérément chauds et ensoleillés. Elle est située dans une région aux reliefs relativement élevés, bien exposée aux vents de Sud-Ouest, par suite plus humide avec des hauteurs de précipitations annuelles comprises entre 800 et 1 000 mm, tableau 1

Données 2011	Hiver	Printemps	Eté	Automne
Heures d'ensoleillement	301 h	748 h	590 h	296 h
Equivalent jours de soleil	13 j	31 j	25 j	12 j
Pluie Hauteur de pluie	99 mm	68 mm	193 mm	156 mm
Vitesse de vent maximale	83 km/h	72 km/h	65 km/h	97 km/h



Fig.4 : Localisation de la médiathèque.

Le bâtiment est un parallélépipède orienté dans sa longueur est-ouest, la façade principale au nord et au sud adossé à un talus l'arrière de la médiathèque, fig. 4.

Le bâtiment est situé dans le centre de la ville, proche de la gare.

I-4 ETAT SANITAIRE.

1-4-1 Isolation.

Le magasin est enfoui sous la médiathèque. Il occupe environ 200 m² en sous sol et il est situé dans la moitié ouest du bâtiment, fig. 5.

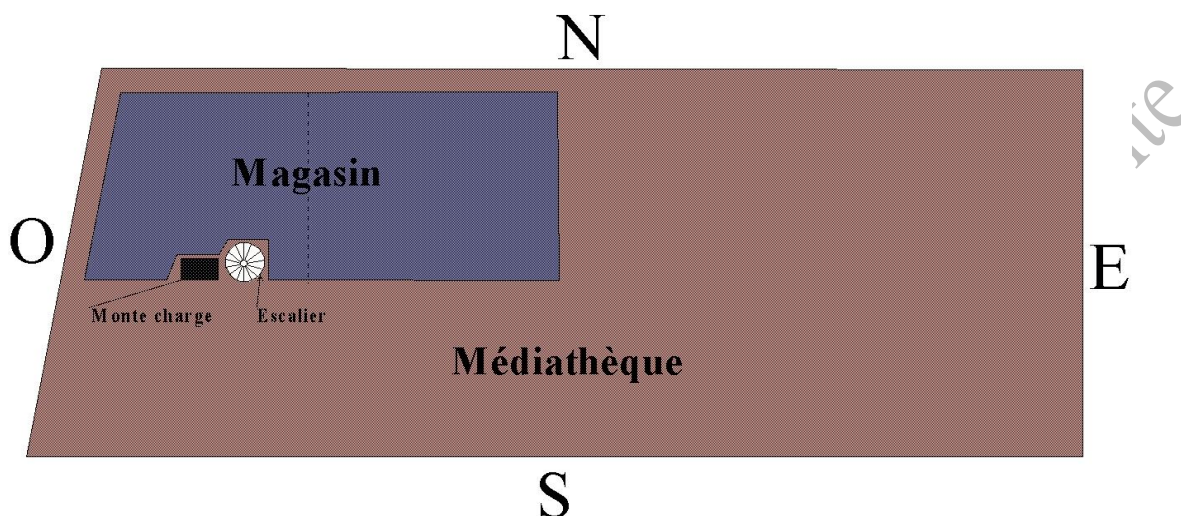


Figure 5 : Plan d'implantation du magasin.

Il n'a pas de baies, de fenêtres, de soupiraux. Il communique avec l'extérieur uniquement par l'intermédiaire de la porte d'accès donnant sur un escalier et du monte-charge. Seules deux bouches d'aération donnant sur le sas de d'entrée permettent un renouvellement d'air. Néanmoins le débit étant très faible (0,005 m/s) le renouvellement d'air est faible, fig.6.

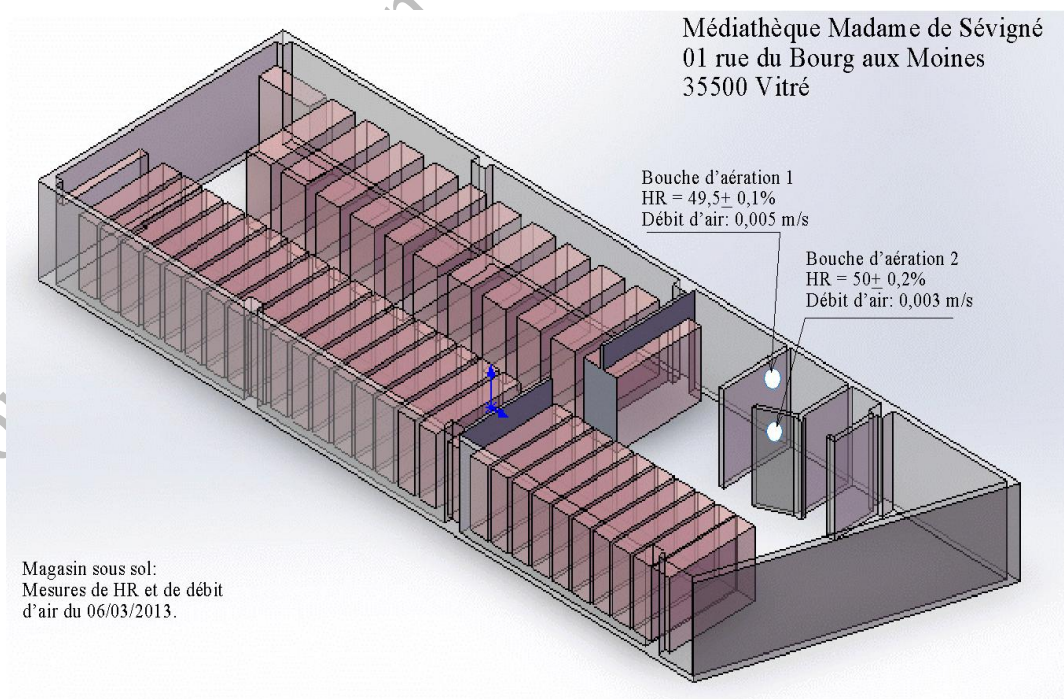


Figure 6 : Localisation des bouches d'aération

1-4-2 Humidité relative du magasin avant les campagnes de mesures.

En juillet 2012 Madame Vignon et ses collaborateurs ont été alertés d'un dysfonctionnement climatique du magasin suite à l'apparition d'une flore fongique et de moisissures sur des ouvrages anciens et documents papier. Apparemment un taux trop élevé d'humidité a été responsable de cette contamination biologique. Pour absorber l'excédent d'humidité de l'air et la stabiliser à des taux plus raisonnables, un déshumidificateur d'appoint a été ajouté aux deux déshumidificateurs déjà en place.

La médiathèque a acquis également trois sondes thermo hygrométriques qui ont permis à partir du 1^{er} octobre 2012 de noter les valeurs de HR(%), de température en °C en trois points du magasin. Simultanément les quantités d'eau recueillies par les déshumidificateurs ont été notées. La médiathèque a envoyé au LARCROA ces relevés qui lui ont permis de calculer les teneurs en eau et l'humidité relative dans le magasin, tableau 2.

DATE	Litres d'eau des déshumidificateurs	SONDE 1		Nouvel appareil Instramed		SONDE 2		Q de vapeur d'eau	Humidité absolue Cond 1	Humidité absolue Cond2	Humidité relative
	grammes	T°C	HR%	T°C	HR%	T°C	HR%	g/m ³	g/m ³	g/m ³	%
01/10/2012	5000	19,7	43	19,8	43	20,3	42	9,26	7,25	16,51	97,13
02/10/2012	4000	19,8	41	20,3	40	20,7	39	7,41	6,80	14,21	83,57
03/10/2012	5000	19,8	41	20,1	41	20,6	40	9,26	6,91	16,17	95,13
04/10/2012	5000	20,2	42	20,4	41	21	40	9,26	6,97	16,23	95,47
05/10/2012	5000	20	42	20,2	41	20,9	39	9,26	6,91	16,17	95,13
08/10/2012	5000	19,8	43	19,7	42	20,9	41	9,26	7,14	16,40	96,47
09/10/2012	4500	19,8	41	20,2	39	20,8	38	8,33	6,69	15,02	88,35
10/10/2012	5000	20,1	42	20,2	41	20,9	39	9,26	6,91	16,17	95,13
11/10/2012	5000	20	41	20,2	40	20,9	39	9,26	6,80	16,06	94,47
12/10/2012	5000	20,1	41	20,4	38	21	38	9,26	6,63	15,89	93,47
13/10/2012	5000	20,1	41	20,4	38	21,2	37	9,26	6,57	15,83	93,13
15/10/2012	5000	19,7	41	19,6	40	20,3	40	9,26	6,86	16,12	94,80
16/10/2012	4000	19,8	40	20,1	38	20,8	38	7,41	6,57	13,98	82,24
17/10/2012	1000	19,7	42	19,9	40	20,7	39	1,85	6,86	8,71	51,23
18/10/2012	5000	19,8	44	19,8	43	20,5	41	9,26	7,25	16,51	97,13
22/10/2012	8500	20	47	20	47	20,7	44	15,74	7,82	23,56	138,59
23/10/2012	6000	20,2	47	20,1	46	21,2	44	11,11	7,76	18,87	111,03
24/10/2012	5000	20,3	47	20,3	47	21,1	45	9,26	7,88	17,14	100,80
26/10/2012	9000	20,3	47	20,4	46	21,4	44	16,67	7,76	24,43	143,71
29/10/2012	9000	20,3	46	20,2	45	21,2	43	16,67	7,59	24,26	142,71
31/10/2012	7000	20,2	45	20,3	45	21,2	42	12,96	7,48	20,44	120,25
05/11/2012	7000	20,2	45	20,2	45	21,3	42	12,96	7,48	20,44	120,25
04/11/2012	7000	20,1	46	20,1	45	20,9	44	12,96	7,65	20,61	121,25
07/11/2012	5000	20,1	45	20,2	44	20,9	43	9,26	7,48	16,74	98,47
08/11/2012	5000	20,9	45	20,9	44	21	43	9,26	7,48	16,74	98,47
09/11/2012	5000	20,5	45	20,5	44	21,1	42	9,26	7,42	16,68	98,13
12/11/2012	7000	20,3	45	20,2	44	21	42	12,96	7,42	20,39	119,92
13/11/2012	5000	20,3	45	20,3	44	21	42	9,26	7,42	16,68	98,13
14/11/2012	5000	20,3	45	20,3	44	21	43	9,26	7,48	16,74	98,47
15/11/2012	5000	20,3	44	20,3	44	21	42	9,26	7,37	16,63	97,80
16/11/2012	5000	20,4	44	20,4	44	21	42	9,26	7,37	16,63	97,80

MEDIATHEQUE MADAME DE SEVIGNEE

19/11/2012	7000	20,3	45	20,2	45	20,9	43	12,96	7,54	20,50	120,59
20/11/2012	5000	20,2	45	20,2	44	20,9	43	9,26	7,48	16,74	98,47
21/11/2012	5000	20,3	45	20,2	44	21	43	9,26	7,48	16,74	98,47
22/11/2012	5000	20,4	44	20,4	43	21,2	41	9,26	7,25	16,51	97,13
23/11/2012	5000	20,4	45	20,3	43	21,2	41	9,26	7,31	16,57	97,47
26/11/2012	7000	20	45	20,1	45	20,8	43	12,96	7,54	20,50	120,59
27/11/2012	5000	20,1	45	20	44	20,8	43	9,26	7,48	16,74	98,47
30/11/2012	7000	22,2	45	20,1	44	20,9	43	12,96	7,48	20,44	120,25
03/12/2012	6000	20,2	45	20,1	45	21	43	11,11	7,54	18,65	109,69
04/12/2012	5000	20,2	44	20,1	44	21,1	41	9,26	7,31	16,57	97,47
05/12/2012	5000	20,3	44	20,2	44	21	42	9,26	7,37	16,63	97,80
06/12/2012	5000	20,4	43	20,2	43	21	42	9,26	7,25	16,51	97,13
07/12/2012	5000	20,4	43	20,2	43	21	42	9,26	7,25	16,51	97,13
10/12/2012	5000	20,1	43	20	43	20,7	42	9,26	7,25	16,51	97,13
13/12/2012	5000	20,3	43	20	43	20,7	42	9,26	7,25	16,51	97,13
14/12/2012	5000	20,6	44	20	43	21,1	42	9,26	7,31	16,57	97,47
17/12/2012	5000	20,1	44	20	43	20,8	42	9,26	7,31	16,57	97,47
18/12/2012	5000	20,1	43	20	43	20,7	42	9,26	7,25	16,51	97,13
19/12/2012	5000	20,1	43	20	43	20,6	42	9,26	7,25	16,51	97,13
20/12/2012	5000	20,1	44	20	44	20,9	42	9,26	7,37	16,63	97,80
21/12/2012	5000	20	44	20	44	20,6	43	9,26	7,42	16,68	98,13
24/12/2012	5000	19,6	46	19,7	45	20,5	43	9,26	7,59	16,85	99,13
26/12/2012	6000	19,6	45	19,6	45	20,3	43	11,11	7,54	18,65	109,69
27/12/2012	5000	19,7	45	19,8	45	20,6	41	9,26	7,42	16,68	98,13
28/12/2012	5000	19,8	45	19,8	44	21,1	43	9,26	7,48	16,74	98,47
04/01/2013	13000	19,8	46	19,8	45	20,6	42	24,07	7,54	31,61	185,95
07/01/2013	7000	19,8	45	19,8	45	20,9	42	12,96	7,48	20,44	120,25
08/01/2013	5000	19,9	44	19,9	44	20,7	42	9,26	7,37	16,63	97,80
10/01/2013	5000	20	44	20	44	20,9	42	9,26	7,37	16,63	97,80
11/01/2013	5000	20	45	20	44	20,7	43	9,26	7,48	16,74	98,47
14/01/2013	7000	19,9	44	19,9	44	20,5	42	12,96	7,37	20,33	119,59
15/01/2013	5000	19,9	44	20	43	20,5	42	9,26	7,31	16,57	97,47
16/01/2013	5000	19,9	43	20	43	20,5	41	9,26	7,20	16,46	96,80

La dernière colonne (rouge) donne les valeurs de l'humidité relative calculées à partir des quantités d'eau recueillies et les valeurs affichées sur les sondes thermo hygrométriques. Même si ces valeurs sont des approximations, elles témoignent bien que si les déshumidificateurs n'étaient pas présents l'humidité relative aurait atteint des valeurs comprises entre 80 et 100% et serait la raison des développements rapides de micro-organismes.

1-4-3 Teneur en eau des murs

La teneur en eau des murs du magasin a été mesurée par deux méthodes différentes :

- Mesure de la résistivité électrique, humidimètre à pointes.
- Mesure de la constante diélectrique, humidimètre de contact.

L'évolution de la teneur en eau des murs a été suivie au cours de trois campagnes de mesures faites ; le 13/02/2013, le 06/03/2013 et 27/03/2013. Elles ont été menées sur les mêmes 9 zones réparties sur les 4 murs du magasin :

- 4 zones sur le mur nord
- 1 zone sur le mur est
- 4 zones sur le mur sud.

Dans chaque zone les mesures ont été prises au ras du sol, à 1 m et 2 m. Les valeurs de teneur en eau obtenues par conductivité et par diélectrique ne se différencient que par leurs amplitudes. Les variations restant très proches les mesures par conductivité ou diélectrique restent représentatives.

1-4-4 Résultats.

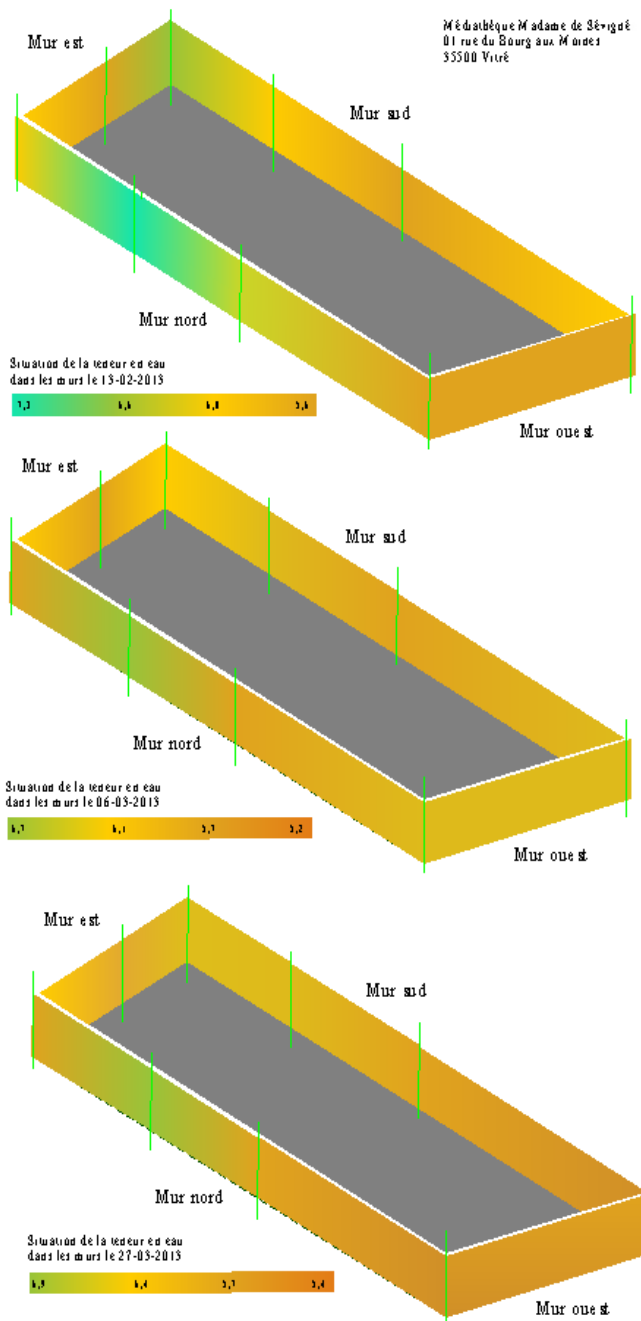
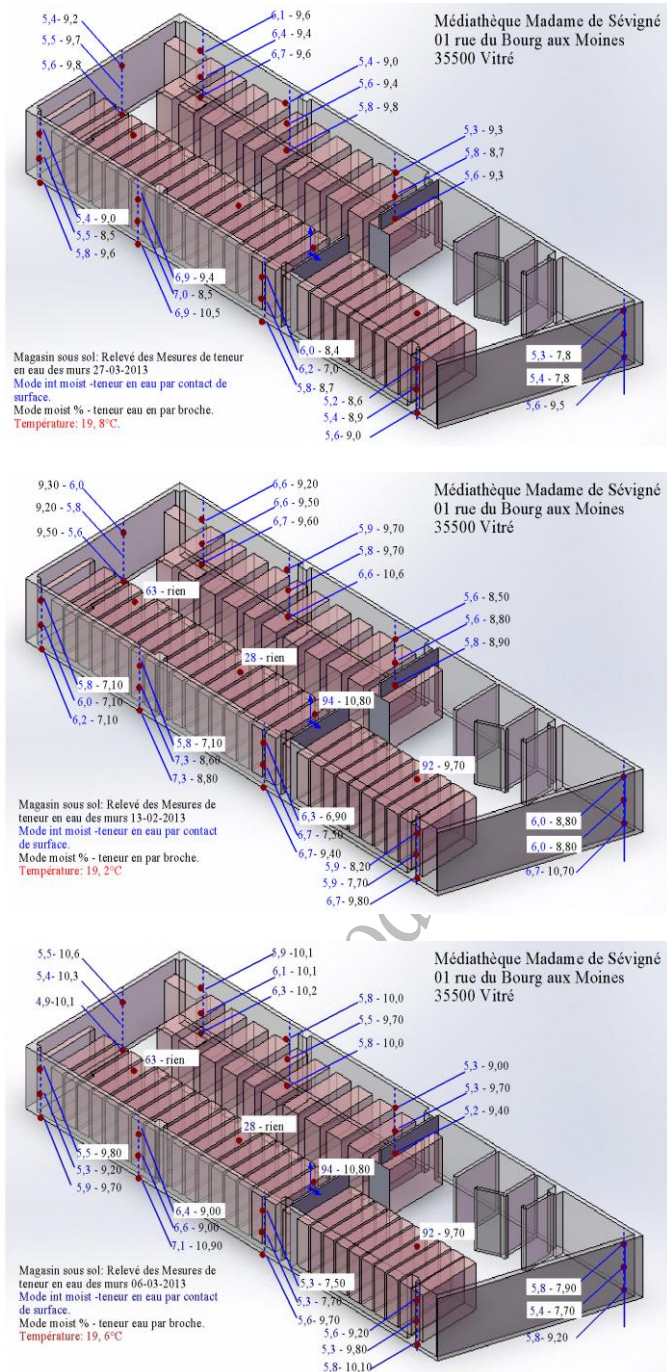


Figure 7 : Diagrammes des mesures

1-4-5 Interprétation des résultats.(diagrammes des mesures)

- Première campagne de mesures le 13-02-2013. Il apparaît sur le diagramme de teneur en eau, que le mur nord dans sa partie est à la teneur en eau la plus élevée, avec une valeur de 7,3% (mesure de contact) ce qui correspond à une humidité normale. L'angle sud-est a une teneur en eau de l'ordre de 6,3%. Les murs sud et ouest ont en moyenne une teneur en eau 5,6 à 6%. Les valeurs de teneur eau dans les murs du magasin correspondent à celles d'un mur sec et sain.
- Seconde campagne de mesure le 06/03/2013. Entre les campagnes 1 et 2 les appareils de déshumidification et le chauffage ont été éteints. Le magasin a été soumis à sa propre inertie. Les teneurs en eau du diagramme de cette campagne s'étalent de 5,2 à 6,7 % avec une répartition des valeurs pratiquement identique au diagramme de la première campagne. Cette campagne de mesures confirme l'état sec et sain des murs.
- Troisième campagne de mesure le 27/03/2013. Entre les campagnes 2 et 3 les appareils de déshumidification et le chauffage ont été remis en service avec des consignes d'humidité et température de 50% et 17,5°C. Le magasin a été reconditionné pendant cette période de 3 semaines. Les teneurs en eau du diagramme de cette campagne s'étalent de 5,4 à 6,9 % avec une répartition des valeurs pratiquement identique au diagramme des deux autres campagnes. Cette campagne de mesures confirme de nouveau l'état sec et sain des murs.

Ces trois campagnes de mesures des teneurs en eau des 4 murs du magasin de la médiathèque Madame de Sévigné à Vitré, effectuées dans les mêmes zones et avec les mêmes méthodes témoignent d'une bonne salubrité du magasin, sachant qu'un mur commence à devenir humide lorsque la teneur en eau est supérieure à 15%.

II- ETUDE DU CLIMAT, GENERALITES.

II-1 APERÇU HISTORIQUE DES EVENEMENTS

Il n'y a pas de réels événements formulés qui auraient pu affectés directement le magasin de stockage des documents et livres en dehors des malfaçons de 1992 qui ont touché les salles et les bureaux de la médiathèque. Néanmoins si les dégâts et les infiltrations des eaux ont été importants on ne peut pas écarter l'hypothèse que le magasin ait été lui-même atteint. Le magasin étant un lieu fermé, clos et confiné, des écarts d'humidité ou de température peuvent avoir un effet levier entraînant d'importants dysfonctionnements climatiques et microbiologiques.

II-2 METHODOLOGIE.

Le magasin a été équipé de 8 enregistreurs thermo-hygrométriques – TESTO 171 - répartis dans différentes zones.

Etant donné que les dysfonctionnements du climat ne sont pas apparents, nous avons mis en place un protocole d'expertise en plusieurs étapes :

1 - Contrôle de l'inertie du magasin.

Tous les équipements (déshumidificateurs, humidificateur, chauffages, ventilateurs etc...) ont été stoppés durant les six semaines de la campagne de mesures.

2- Contrôle des équipements existants.

Remise en service des 2 déshumidificateurs Dantherm-Ranco et consignés à une humidité relative de 50%. Remise en marche des 3 appareils de chauffage et consignés à 17,5°C. La campagne de mesures a duré 3 semaines.

Nota : Des modifications du programme d'étude ont été apportées par rapport à la proposition initiale.

3- Recherche de ponts thermiques par thermographie à l'aide d'une caméra thermique E40BX de FLIRSYSTEMS dans les zones critiques.

4- Mesures complémentaires concernant les débits d'air des déshumidificateurs.

5- Etude des documents concernant le bâtiment et les appareils

II-2-1 Remarques préalables.

Il est important, pour bien comprendre ce qui suit, de rappeler quelques notions liées au traitement de l'air.

L'humidité relative (HR) exprime le rapport entre la quantité d'humidité absolue (HA) présente dans l'air (appelée humidité spécifique) et la quantité maximale que l'air peut contenir. Or, cette quantité maximale augmente avec la température.

En conséquence, à quantité d'eau constante dans l'air, la modification de la température modifie également l'humidité relative. Plus précisément, chauffer l'air permet de diminuer l'humidité relative et refroidir l'air permet d'augmenter l'humidité relative (toujours à humidité spécifique constante). L'autre paramètre qui peut être modifié pour agir sur l'humidité relative est bien entendu la quantité d'eau dans l'air (l'humidité spécifique).

Pour diminuer la quantité d'eau présente dans l'air, il faut refroidir cet air jusqu'à sa température de rosée. A cette température, l'eau présente dans l'air se condense (c'est-à-dire passe de l'état de vapeur à l'état liquide) et est ainsi extraite du flux d'air. La température de rosée dépend de la quantité d'eau contenue dans l'air.

Les considérations générales faites précédemment nous ont conduites à examiner le comportement climatique en prenant en compte ; les mesures d'humidité et de température, les paramètres de référence qui seront définis dans le § II-3-2, les caractéristiques du bâtiment et le climat extérieur. L'analyse du climat nous permettra d'émettre certaines hypothèses sur les relations qui s'établissent entre le bâtiment et la biocontamination. Nos conclusions nous permettront d'affiner le diagnostic.

II-2-2 Paramètres de référence.

La conservation des documents papiers –livres, revues, journaux, archives- impose des conditions climatiques rigoureuses. Pour les papiers reliés, les archives conservées en boîtes, les journaux, les revues etc..... le Conseil Canadien des Archives recommande un taux d'humidité compris entre 40 à 45 % pour une température de 18° C. En Grande-Bretagne le taux d'humidité ne doit pas dépasser 40 % pour une température de 18 °C. Aux États-Unis l'Institut Américain pour la Norme recommande un taux d'humidité de 25 à 30 % pour une température comprise entre 7°C et 18°C. La direction du livre propose les conditions climatiques suivantes :

Support	Température		Humidité relative	
	Niveau	Fluctuation	Niveau	Fluctuation
Parchemin	18	2	50-60	5
Papyrus	18	2	50-60	5
Papier	18	2	45-55	5

La conservation des documents photographiques nécessite elle aussi des conditions de conservation spécifique. Pour les documents en noir et blanc l'humidité doit être de $35 \% \pm 5 \%$ pour une température $12^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$. Pour les photos couleurs l'humidité est de $35 \% \pm 5$ pour une température de $5^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$. Etant donné que la médiathèque contient des documents papier, des ouvrages aux couvertures de cuir, ***Nous retiendrons donc les valeurs de référence ou Critères Climatiques de Conservation (CCC) : $50\% < \text{HR} < 60\%$ et $16^{\circ}\text{C} < \text{T} < 20^{\circ}\text{C}$***

Nous avons représenté sur le graphe suivant la position de la zone de tolérance humidité/température et la courbe d'apparition de l'*Aspergillus versicolor* [Hens 2000] qui est représentative du développement d'un certain nombre de microorganismes, fig.12.

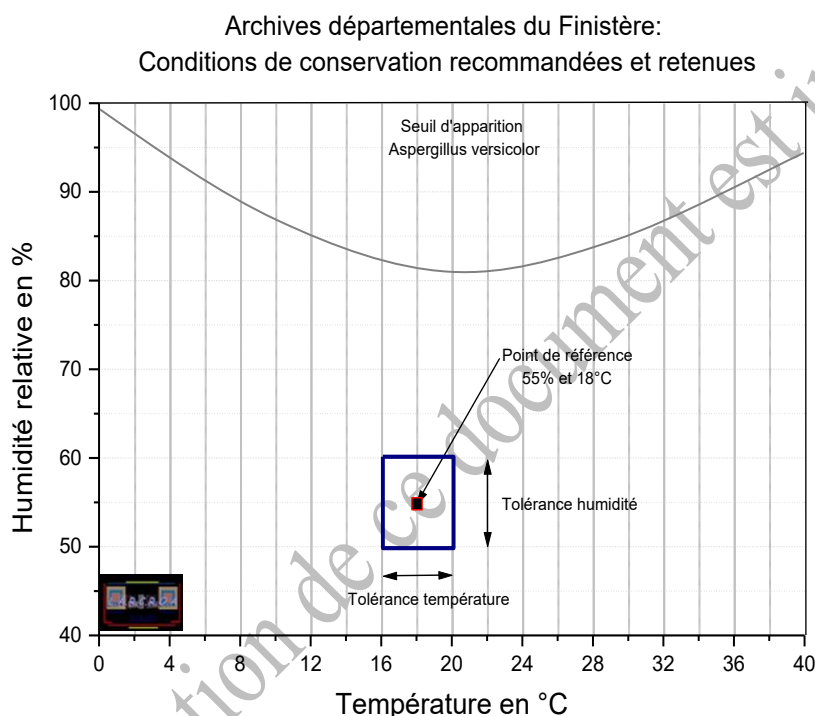


Fig.12 : Positionnement de la valeur de référence avec sa zone de tolérance

C'est en fonction de ces paramètres de référence que l'analyse climatique va être menée. La cellulose (lignine et dérivés) est le principal matériau constitutif des archives en termes de masse et de volume. Elle n'est pas seulement un support idéal pour le développement des micro-organismes, mais c'est aussi un matériau hydrophile, sensible aux variations d'humidité et de température pouvant entraîner dans le temps des mécanismes de dégradation mécanique du papier. Sans atteindre les valeurs qui déclenchent l'éclosion des micro-organismes, aux fortes humidités et température, la cellulose est aussi chimiquement dégradable.

II-2-3 Valeurs statistiques

Nous allons nous appuyer pour l'analyse des résultats sur les valeurs statistiques suivantes :

Les minima, Mini.

Les maxima Maxi.

La moyenne, Moy.

L'écart type, σ représente la dispersion des points autour d'une moyenne. Dans un ensemble de mesures on trouve 68% des valeurs comprises entre $\pm \sigma$ et 95% des valeurs pour une fourchette de $\pm 2\sigma$.

II-3-1 Positionnement des enregistreurs d'humidité et de température.

Pour identifier la source d'apport en eau dans ce magasin nous avons placé 8 enregistreurs thermo-hygrométriques. Ils ont été positionnés de manière à enregistrer des variations d'HR et T pendant les 3 campagnes de mesures. L'ensemble forme un réseau de 8 enregistreurs autonomes de type TESTO 175 H1 dotés d'un capteur de température sèche et d'un capteur capacitif pour l'humidité relative (réf. annexe).

L'homogénéité de mesures des enregistreurs a été vérifiée en usine. Les écarts constatés sont inférieurs aux tolérances du fabricant et aucune correction n'a besoin d'être effectuée sur les mesures brutes. Les enregistreurs TESTO 175 H1 ont été mis en place le 23 janvier 2013 et programmés pour un départ à 18 h de ce même jour et un arrêt à 10 h pour chaque campagne de mesures. La cadence des mesures est de 2 heures ce qui fait 504 mesures d'humidité et de température par enregistreur pour une durée 3 semaines. Les campagnes de mesures s'achèvent le 27 mars 201. Ils sont positionnés dans les magasins selon les schémas suivants, fig. 7.

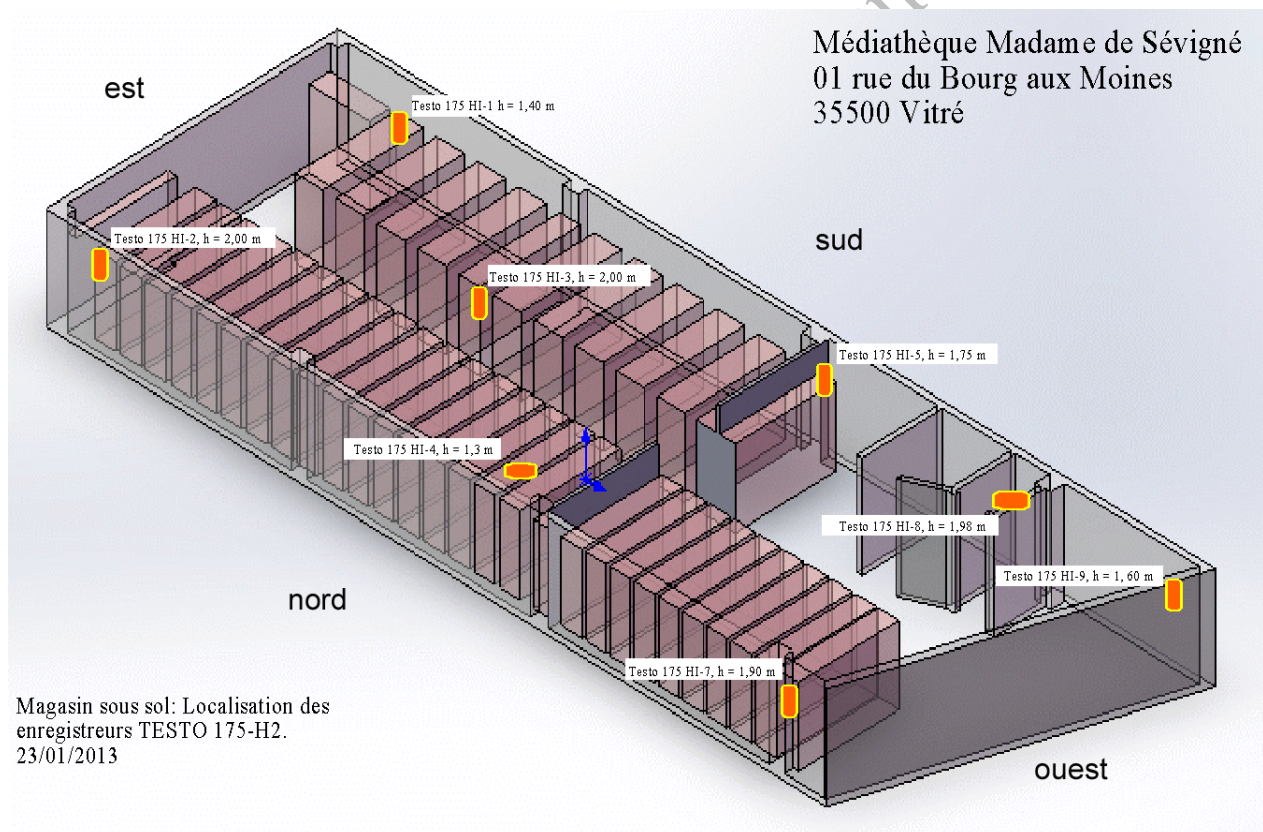


Figure 7 : Positionnement des enregistreurs dans le magasin

II-3 THERMOGRAPHIE.

Une couverture en thermographie a été faite le 23 janvier 2013 pour détecter des défauts de conception et d'isolation.

II-3-1 Localisation des thermogrammes et résultats.

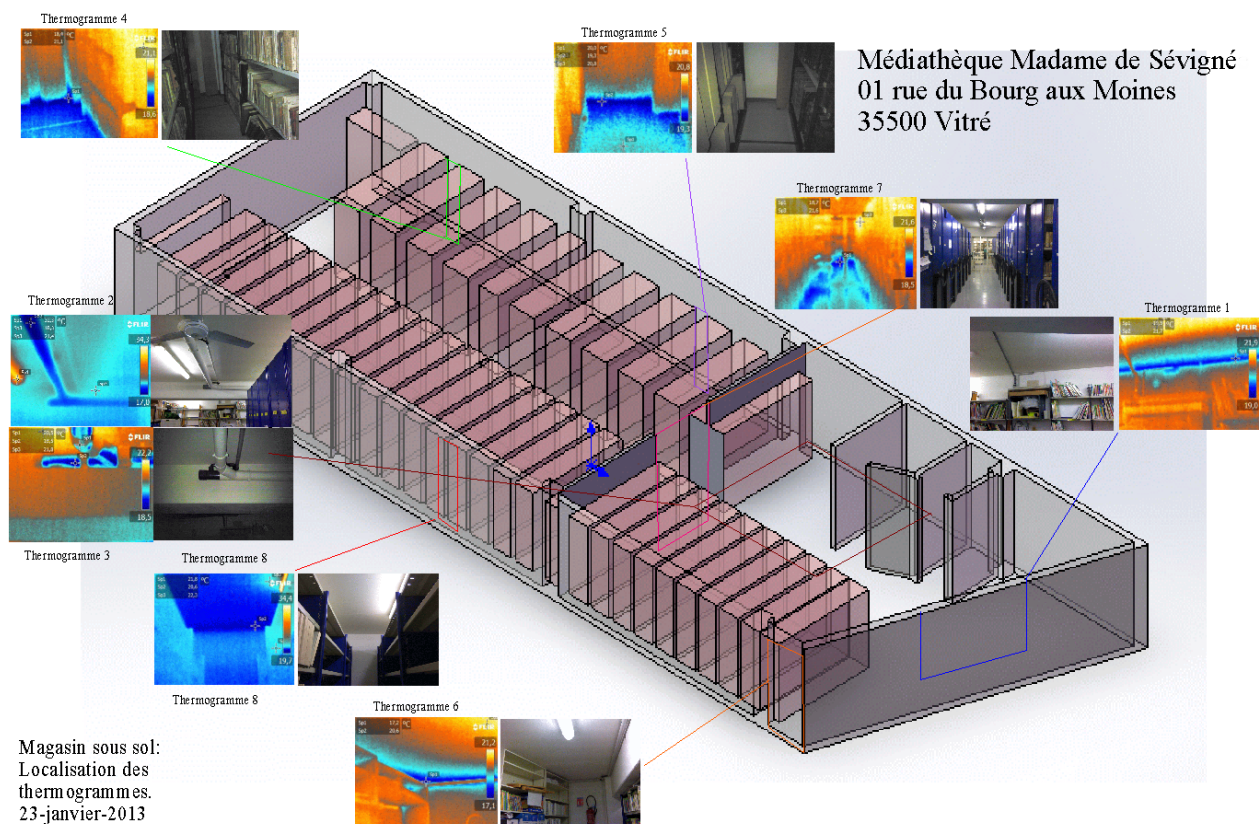


Figure 8 : Localisation des thermogrammes dans le magasin.

II-3-1 Interprétation des résultats

Pour l'ensemble des thermogrammes la température minimale enregistrée $T = 18,3^{\circ}\text{C}$ et la température maximale $T = 32,3^{\circ}\text{C}$.

Les variations des températures d'une zone d'enregistrement d'un thermogramme, hormis les points chauds lumières, interrupteur, centrale informatique etc.....sont :

Thermogramme 1 : Variation des températures extrêmes : $\Delta = 2^{\circ}\text{C}$

Thermogramme 2 : Variation des températures extrêmes : $\Delta = 5,2^{\circ}\text{C}$

Thermogramme 3 : Variation des températures extrêmes : $\Delta = 3,5^{\circ}\text{C}$

Thermogramme 4 : Variation des températures extrêmes : $\Delta = 2,7^{\circ}\text{C}$

Thermogramme 5 : Variation des températures extrêmes : $\Delta = 1^{\circ}\text{C}$

Thermogramme 6 : Variation des températures extrêmes : $\Delta = 3,4^{\circ}\text{C}$

Thermogramme 7 : Variation des températures extrêmes : $\Delta = 2,9^{\circ}\text{C}$

Thermogramme 8 : Variation des températures extrêmes : $\Delta = 2,1^{\circ}\text{C}$

Aucune température des parois n'a atteint la température de rosée qui est comprise entre $8,7^{\circ}\text{C}$ et $9,4^{\circ}\text{C}$ dans les conditions climatique enregistrées le 23 janvier 2013. Du point de vue thermique ce magasin ne présente pas d'anomalie.

II-4 ENREGISTREMENTS D'HUMIDITE RELATIVE ET TEMPERATURE

Les données enregistrées ont été pointées sur les graphes à double ordonnée. Les valeurs statistiques : maxima, minima, moyenne, écart type et variation maximale ont été calculées. Pour chaque enregistreur les moyennes de HR et de T sont représentées par un point et encadrées par leurs écarts types, symbolisés par les barres verticales. Les valeurs recommandées sont signalées par l'horizontale rouge et limitée par les pointillés horizontaux noirs pour la zone de tolérance.

II-4-1 Première campagne de mesures.

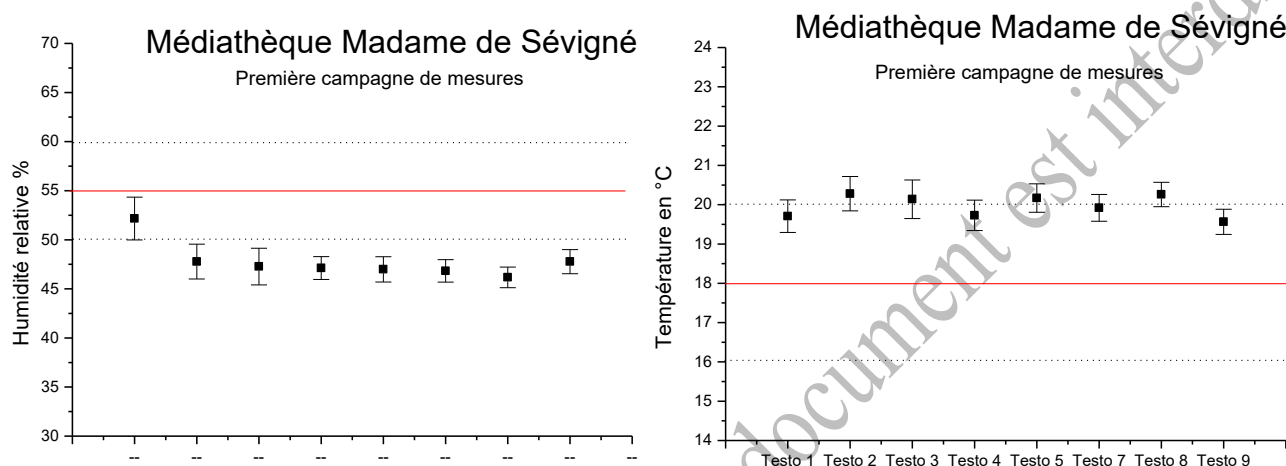


Figure 9 : Représentation graphique des résultats de la 1^{ère} campagne.

Les moyennes d'humidité relative de chaque enregistreur sont en dessous de 55% HR et en dehors de la zone de tolérance sauf pour l'enregistreur Testo1 placé au sud-est du magasin. Cette humidité de 52,26 % est acceptable. Les moyennes de température des enregistreurs oscillent autour de 20°C avec comme mini et maxi, 19,56 et 20,28 °C. Les écarts d'humidité relative sont plus importants dans la zone sud-est du magasin.

II-4-2 Deuxième campagne de mesures

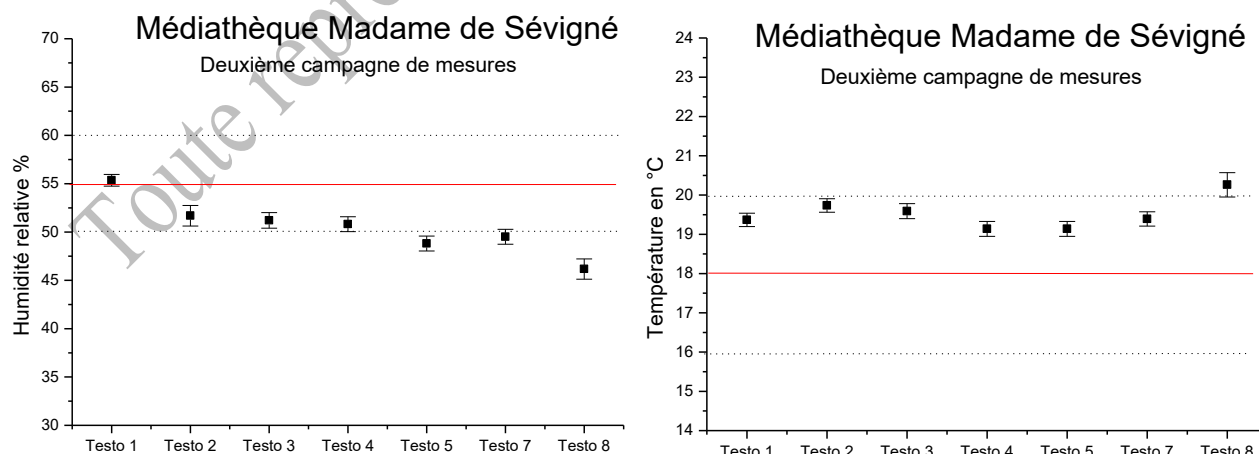
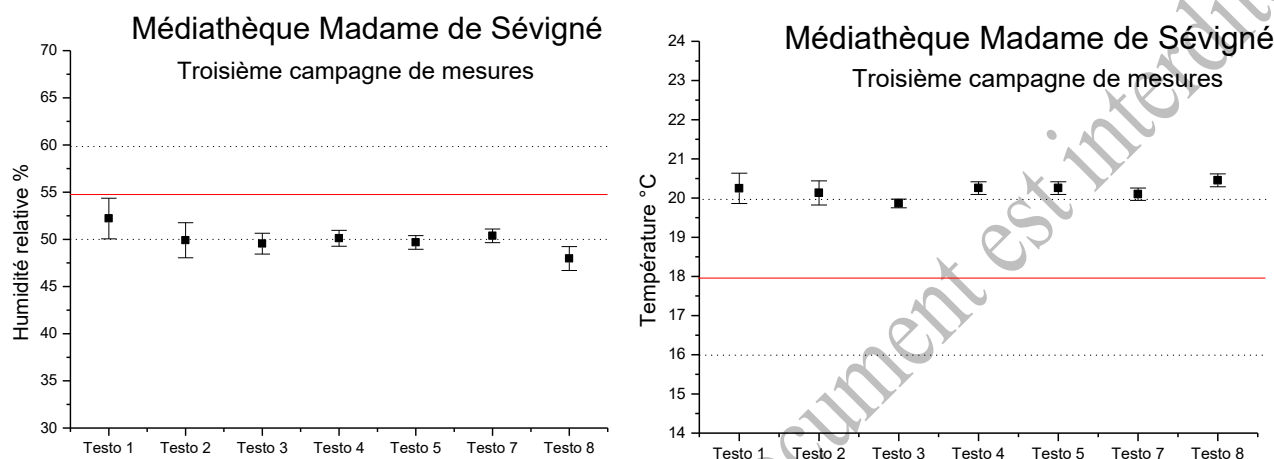


Figure 10 : Représentation graphique des résultats de la 2^{ème} campagne.

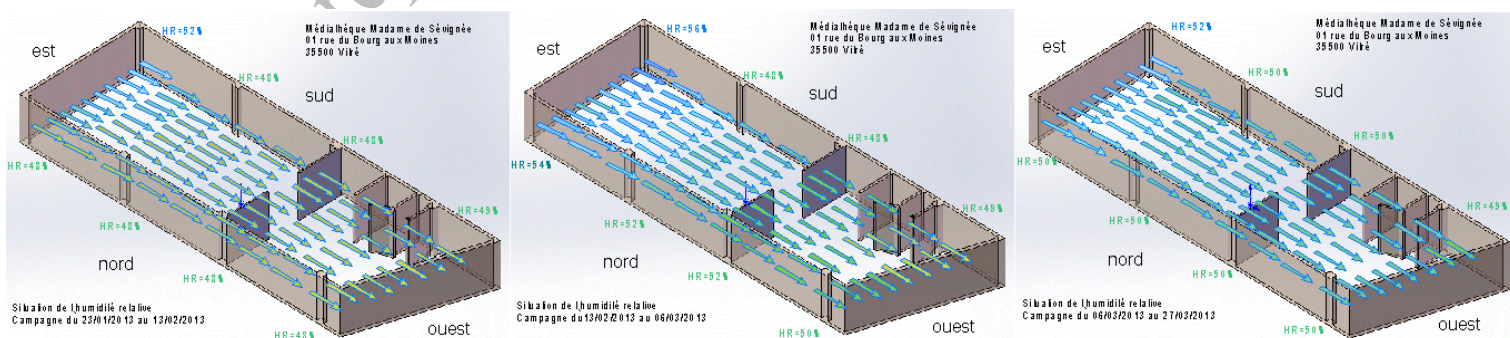
La moyenne d'humidité relative de l'enregistreur Testo1 a atteint une valeur de 55,35% alors qu'à l'autre bout du magasin la moyenne de HR l'enregistreur Testo 8 n'est que de 46,17%. Sans régulation, le climat du magasin tend à présenter une certaine dissymétrie. La partie est est plus humide que la partie ouest qui se trouve en dehors des valeurs recommandées. Les moyennes des températures sont inférieures à 20°C et oscillent autour de 19,5°C sauf pour l'enregistreur Testo8 qui a une moyenne supérieure à 20°C. Les faibles écarts types en humidité relative, comme en température reflètent de faibles variations et une bonne stabilité du climat.

II-4-3 Troisième campagne de mesures



Avec la remise en service des deux déshumidificateurs, l'écart des humidités relatives moyennes entre le point le plus humide (sud-est) et le plus sec (sud-ouest) n'est que de 5% au lieu de 9, 18% dans le cas précédent. Le fonctionnement des deux appareils a amélioré la répartition de l'humidité relative dans le magasin, malgré l'absence de brassage de l'air. Les moyennes des températures enregistrées ont légèrement augmenté, elles oscillent autour de 20,25°C. La température générale du magasin est plus élevée que la température consignée 17,5°C sur les chauffages d'appoint. L'apport de chaleur est probablement dû au fonctionnement des déshumidificateurs. Les écarts d'humidité relative sont plus importants dans la zone sud-est du magasin.

Représentation de la distribution de l'humidité relative pendant les 3 campagnes de mesures



II- 5 CARACTERISTIQUES CLIMATIQUES.

Pour évaluer la qualité climatique de ce magasin au cours des périodes de mesures, l'étude de la relation entre température et humidité nous permet de calculer l'évolution des pourcentages de couples de valeurs HR/T répondant aux critères de conservation (zone rouge).

II-5-1 Première campagne de mesures d'humidité relative et de température.

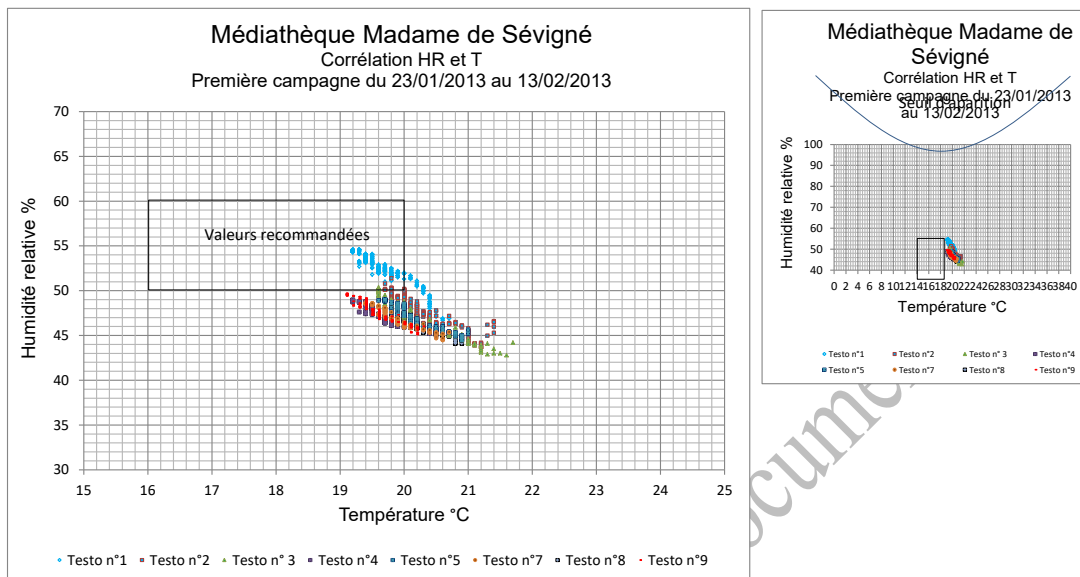


Figure13 : Représentation graphique des résultats de la 1^{ère} campagne.

Pendant la première campagne de mesures d'HR et de températures sur l'ensemble des enregistrements seuls 11,5% des valeurs répondent aux critères climatiques de conservation (**CCC**). Le climat du magasin a globalement une température supérieure à 20°C et une humidité relative inférieure à 50%. Dans ces conditions de conservations les risques de contamination sont limités.

II-5-2 Deuxième campagne de mesures d'humidité relative et de température.

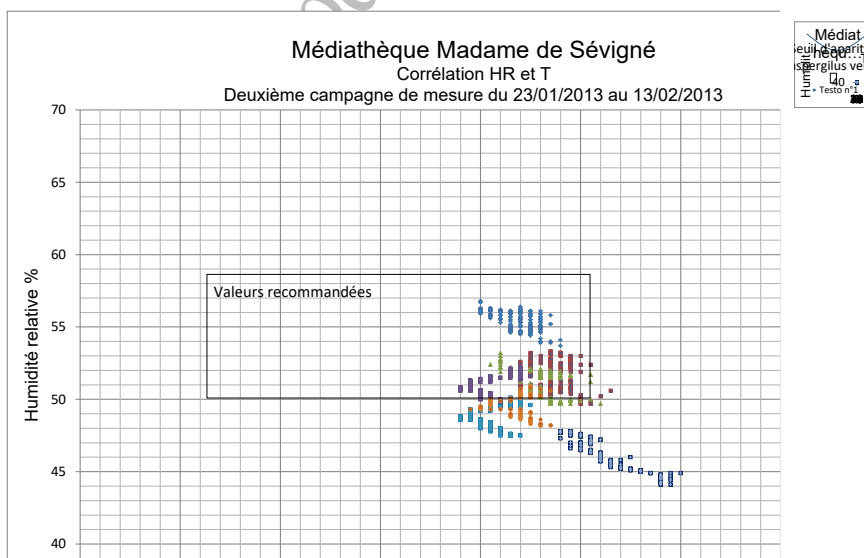


Figure 14 : Représentation graphique des résultats de la 2^{ème} campagne.

Pendant la seconde campagne de mesure 58% des valeurs répondent aux critères climatiques de conservation. Rappelons que pendant cette période de mesures aucun appareil de régulation climatique ne fonctionnait, le magasin étant soumis à sa propre inertie. Dans ces conditions les températures sont légèrement plus basses et l'humidité plus élevées. Les risques de contamination sont malgré tout très réduits.

II-5-3 Troisième campagne de mesures d'humidité relative et de température.

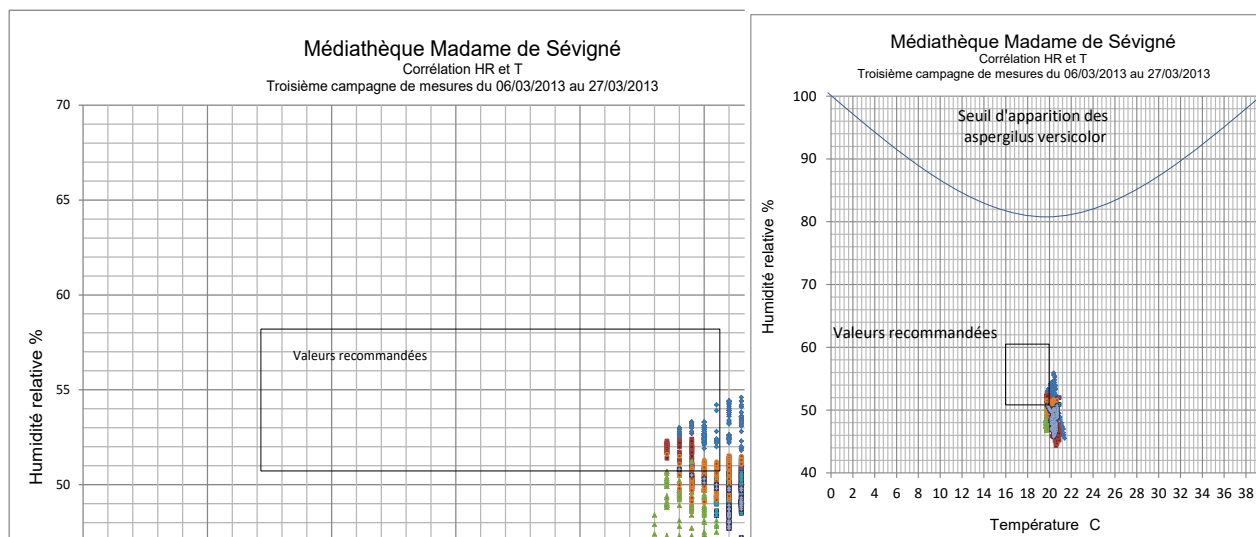


Figure 15 : Représentation graphique des résultats de la 3^{ème} campagne.

Cette dernière campagne permet de tester les appareils de régulation du climat. 20% des valeurs répondent aux critères de climatiques de conservation. Le fonctionnement des appareils entraîne une élévation de la température qui se situe entre 20 et 22°C et l'humidité relative est maintenue globalement au-dessous de 50%. Si l'humidité se stabilise à 50%HR les risques de biocontamination sont très limités malgré une qualité de l'air, vis-à-vis des collections, moyenne.

III - ETUDE DE LA BIOCONTAMINATION.

III -1-ETAT DES LIEUX.

Lors de notre première visite, nous avons pu constater l'étendue et la configuration de la biocontamination du magasin de la Médiathèque Madame de Sévigné, Vitré.

A première vue, la biocontamination semble toucher toutes les étagères et travées du local de la réserve des fonds anciens et précieux. Dans cette zone, elle apparaît uniforme et se caractérise par la présence d'un duvet grisâtre sur les documents. Dans la zone de proximité au sas d'entrée – où sont conservés journaux, périodiques et ouvrages récents – aucune trace de contamination fongique n'a été relevée.

Cependant, une observation plus fine permet de remarquer que le développement fongique est:

- préférentiellement associé aux ouvrages reliés en cuir et dans une moindre mesure aux livres couverts de papier et aux boîtes de conservation recouvertes de tissus. Les zones de contaminations visuellement identifiées sont discontinues tant aux seins des travées que des étagères où documents présentant des plages de mycélium et documents « sains » voisinent.

- Plus importante, en termes de fréquence d'ouvrages touchés, en fonds de magasin qu'à proximité de la grille d'entrée dans la réserve tous les niveaux.

L'apparition d'un duvet mycélien semble dépendante des matériaux constituant les différents conditionnements et documents et de leur ancienneté (les développements sont préférentiellement observés sur les boîtes couvertes de toile et les ouvrages reliés en cuir et papier. D'après nos observations, les corps d'ouvrages et les reliures de parchemin ont été épargnées.

Des développements grisâtres visuellement proches de ceux observés sur documents sont également ponctuellement identifiables au niveau des rails des étagères mobiles.

III-2-ECHANTILLONNAGE

Au sein du magasin, les prélèvements réalisés sont de trois types :

- Echantillonnage sur documents.
- Echantillonnage de surfaces (étagères, murs, sols).
- Echantillonnage d'air.

Ces méthodes permettent de rendre compte de situations complémentaires, la première en permettant la caractérisation (en termes quantitatifs et qualitatifs) de la flore microbiologique sur les documents, la seconde de la flore sédimentée avec le temps et la troisième de la flore microbiologique prépondérante au moment de l'étude.

La totalité des échantillons constituant la présente étude ont été prélevés dans la journée du 6 mars 2013.

III-2-1-prélèvements : méthodes.

Afin de bénéficier de points de comparaison, les différents échantillons ont été mis en culture sur milieux équivalents : milieux de type flore totale et DRBC.

Ces milieux permettent un développement maximal des espèces nécessitant une forte présence d'eau disponible dans le substrat ($A_w > 0,95$). Etant donnés les volumes d'eau recueillis dans le magasin entre octobre 2012 et janvier 2013, l'emploi majoritaire de ces milieux s'avère pertinent à modéliser la situation avant la mise en route du déshumidificateur d'appoint. Cependant, les humidités relatives mesurées sur cette période étant faibles (autour de 40% HR) il nous est apparu important d'inclure également dans cette étude des mises en cultures sur milieux à plus faible disponibilité en eau (DG18), favorisant le développement d'espèces xérotolérantes.

La présente étude repose sur un total de 45 échantillons dont :

- 20 échantillons de surface (4 sur murs notés M1 à M4 ; 6 au sol noté S1 à S6 ; 10 sur étagères notés E1 à E10)
- 3 échantillons d'air notés A1 à A3
- 22 échantillons sur documents notés D1 à D22.

Sur les 3 échantillons d'air, A2 a été réalisé sur milieu DG18. Sur les 22 échantillons sur documents, 6 ont été mis en culture sur milieu DG18 (D1, D4, D6, D8, D21 et D22).

- Les prélèvements sur documents ont été réalisés par frottis des surfaces à l'aide d'écouvillons stériles. La surface échantillonnée a été fixée à 4cm² afin de permettre une comparaison entre échantillons.

La mise en culture a été réalisée selon le protocole suivant, dans le champ d'un bec bunsen :

- mise en solution du contenu de l'écouvillon dans 1ml d'une solution physiologique stérile de chlorure de sodium (9g/l), isotonique.

- ensemencement de chaque boîte par 0,1ml de la solution.

Les milieux de culture utilisés sont les milieux :

- Sabouraud (Difco – composition : malt (40g/L) / agar (15g/L) / digestat enzymatique de caséine (10g/L)) pour la croissance de la flore totale.
- DG18 (Scharlau – composition : dichloran (0,002g/L) / chloramphénicol (0,1g/L) / dextrose (10g/L) / peptone (5g/L) / phosphate de monopotassique (1g/L) / sulfate de magnésium (0,5g/L) / agar (15g/L) / glycérine (180mL pour 1L) pour la croissance de la flore xérotolérante.

Les milieux sont préparés la veille du prélèvement. Un échantillon témoin a été préparé, dans les mêmes conditions, et ensemencé par 1ml de solution physiologique seule pour le contrôle de la stérilité des phases de fabrication et de mise en culture.

- Les prélèvements de surfaces ont été réalisés par application pendant environ 10s, de lamelles contact gélosées sur les zones définies. Ces lames présentent un type de milieu par face :
 - Face 1, milieu PCA, pour le développement de la flore totale, tant fongique que bactérienne.
 - Face 2, milieu DRBC (Dichloran Rose Bengal Chloramphénicol), pour le développement des espèces fongiques et inhibition des espèces bactériennes.

Le transport des lames a été effectué à température ambiante. Elles ont été précédemment stockées selon les recommandations du fabricant, jusqu'au matin du départ.

- Les prélèvements d'air ont été réalisés par impaction à l'aide d'un biocollecteur SAS IAQ (conforme à la norme EN ISO 14698) d'un débit de 100L.min⁻¹ positionné à 1,5m du sol sur deux milieux gélosés :
 - Milieu Sabouraud.
 - Milieu DG18.

Le volume d'air échantillonné est de 500L (correspondant à une prise de 5min).

Les milieux fraîchement préparés au laboratoire ont été stockés au réfrigérateur, à 4°C, et transportés à température ambiante afin d'éviter les condensations et les mouvements de films d'eau pouvant interférer avec les processus d'impaction et d'ensemencement.

Un échantillon de chaque milieu a été préparé pour contrôle de la stérilité des phases de fabrication et de transport. Pour les impactions, les boîtes témoins négatifs ont été transportées sur place et mis en culture sans impaction.

Les milieux sont préparés par dissolution dans l'eau du produit déshydraté, chauffage sous agitation constante, autoclavage à 121° pendant 15mn, puis coulés en boîtes de Pétri stériles, dans le champ d'un bec bunsen.

Tous les échantillons de surfaces et d'air ont été mis en culture le soir même du prélèvement, par incubation à 25°C en enceinte (enceinte à régulation électronique Memmert SE200). Les échantillons écouvillonnés ont été mis en culture le lendemain du prélèvement.

III-2-2-prélèvements : localisations.

Sur la base des observations précédentes concernant la configuration de la contamination fongique du magasin, il a été décidé de procéder à un échantillonnage sur l'ensemble de la réserve des ouvrages anciens et précieux, à l'exclusion du reste du local.

Les échantillons sont répartis de façon à rendre compte d'un éventuel gradient dans la distribution des espèces microbiologiques par rapport aux mouvements d'air dans la salle (déséquilibres entre différents épis, entre proximité et éloignement à l'allée centrale, entre différentes hauteur d'étagères.

La totalité des prélèvements a donc été répartie en 6 points du local. Afin de permettre la localisation, les épis, constitués pour la plupart d'éléments mobiles, ont été numérotés de 1 à 66 et les travées numérotées de I à VII, fig. 16.

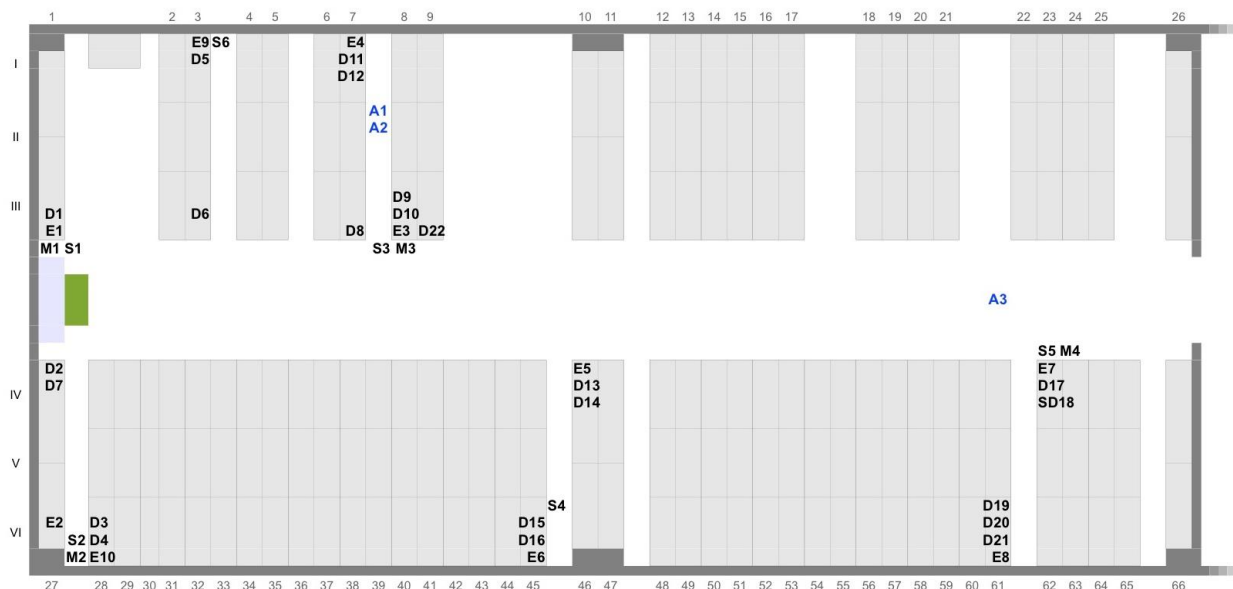


Figure 16 : localisation des prélèvements microbiologiques sur le plan du magasin

III-3 –RESULTATS.

III- 3-1 Biocontamination environnementale: surfaces

					COMPTAGES											
N° Echantillon	Epi	Travée	Localisation du prélèvement	Développement visuellement identifiable	J+1 MEA		J+1 DRBC	J+3 MEA		J+3 DRBC	J+7 MEA		J+7 DRBC	J+14 MEA		J+14 DRBC
					M	B		M	B		M	B		M	B	
S1	1	I	-	-	0	0	0	4	1	0	9	2	5	9 10% Absidia coymbifera 45% Cladosporium cladosporoides 45% Penicillium glabrum	2	5 20% Absidia corymbifera 80% Cladosporium cladosporoides
S2	27/28	VI	-	-	0	0	0	0	5	0	6	5	6	6 50% Acremonium charticola 15% Aspergillus versicolor 25% Cladosporium cladsporoides	5	7 5% Absidia corymbifera 30% Acremonium charticola 5% Aspergillus versicolor 60% Cladosporium cladosporoides
S3	7/8	III	-	-	0	0	0	0	0	0	11	37	1	11 40% Aspergillus versicolor 30% Cladosporium cladosporides 20% Cryptococcus laurentii 10% Lecythophora hoffmannii	37	1 Aspergillus versicolor
S4	45/46	VI	-	-	0	0	0	8	1	2	11	5	9	13 10% Absidia corymbifera 35% Cladosporium cladosporoides 25% Penicillium brevicompactum 30% Penicillium digitatum	5	9 50% Aspergillus versicolor 10% Cladosporium cladosporoides 10% Lecythophora hoffmannii 30% Penicillium corylophilum

MEDIATHEQUE MADAME DE SEVIGNEE

S5	62	IV	-	-	0	0	0	7	13	2	18	14	11	18 20% Absidia corymbifera 10% Acremonium charticola 10% Aspergillus versicolor 40% Cladosporium cladosporoides 20% Penicillium digitatum	14	11 10% Absidia corymbifera 10% Aspergillus versicolor 40% Cladosporium cladosporoides 10% Monascus ruber 30% Penicillium digitatum
S6	3/4	I	-	-	0	0	0	3	15	3	13	20	16	14 10% Absidia corymbifera 25% Acremonium charticola 10% Aspergillus versicolor 35% Cladosporium cladosporoides 20% Scopulariopsis brevicaulis	20	16 25% Acremonium charticola 20% Aspergillus versicolor 30% Cladosporium cladosporoides 25% Scopulariopsis brevicaulis
M1	1	II	1,50m	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M2	27/28	VI	1,50m	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M3	8	III	1,50m	-	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0
M4	62	IV	1,50m	-	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0
E1	1	II	Etagère médiane	-	0	0	0	4	10	6	4	22	11	4 50% Absidia corymbifera 50% Pénicillium glabrum	22	11 10% Aspergillus versicolor 10% Aspergillus penicillioides 40% Cladosporium cladosporoides 10% Cryptococcus laurentii 30% Pénicillium glabrum
E2	1	IV	Etagère basse	-	0	0	0	6	0	1	6	3	5	6 60% Cladosporium cladosporoides 20% Penicillium chrysogenum 20% Scopulariopsis brevicaulis	3	7 40% Acremonium charticola 40% Cladosporium cladosporoides 10% Penicillium chrysogenum 10% Scopulariopsis brevicaulis

E3	8	III	Etagère haute	-	0	0	0	6	11	4	11	14	11	11 10% Absidia corymbifera 30% Cladosporium cladosporoides 40% Penicillium digitatum 20% Scopulariopsis brevicaulis	14	11 10% Absidia corymbifera 20% Acremonium charticola 10% Aspergillus versicolor 20% Cladosporium cladosporoides 30% Penicillium digitatum 10% Scopulariopsis brevicaulis
E4	7	I	Etagère basse	-	0	0	0	1	1	3	6	7	8	6 40% Cladosporium cladosporoides 60% Penicillium digitatum	7	8 10% Absidia corymbifera 10% Acremonium charticola 50% Cladosporium cladosporoides 30% Penicillium digitatum
E5	46	IV	Etagère haute	-	0	0	0	5	13	6	7	16	13	7 45% Absidia corymbifera 5% Acremonium charticola 15% Aspergillus versicolor 35% Cladosporium cladosporoides 10% Penicillium brevicompactum	16	13 20% Absidia corymbifera 10% Acremonium charticola 30% Aspergillus versicolor 35% Cladosporium cladosporoides 5% Penicillium brevicompactum
E6	45	VI	Etagère basse	-	0	0	0	5	10	7	7	15	8	8 80% Cladosporium cladosporoides 20% Penicillium digitatum	15	9 80% Cladosporium cladosporoides 10% Penicillium digitatum 10% Scopulariopsis brevicaulis
E7	62	IV	Etagère haute	-	0	0	0	16	0	3	16 6 env	0	3	16 dont 6 envahissant Aspergillus versicolor Cladosporium cladosporoides Mucor hiemalis Penicillium corylophilum Penicillium digitatum Scopulariopsis brevicaulis	8	9 dont 5 envahissant Mucor hiemalis Penicillium corylophilum Scopulariopsis brevicaulis

E8	61	VI	Etagère basse	-	0	0	0	3	5	7	3	5	8	3 60% Penicillium digitatum 40% Scopulariopsis brevicaulis	5	10 20% Cladosporium cladosporoides 30% Penicillium digitatum 10% Penicillium brevicompactum 40% Scopulariopsis brevicaulis
E9	3	I	Etagère médiane	-	0	0	0	5	6	6	9	7	8	9 30% Cladosporium cladosporoides 30% Penicillium brevicompactum 10% Penicillium chrysogenum 30% Scopulariopsis brevicaulis	7	8 35% Cladosporium cladosporoides 10% Lecithophora hoffmannii 10% Penicillium brevicompactum 10% Penicillium chrysogenum 35% Scopulariopsis brevicaulis
E10	28	VI	Etagère basse	-	0	0	0	3	4	2	9	10	7	9 20% Acremonium charticola 10% Aspergillus versicolor 30% Cladosporium cladosporoides 10% Penicillium chrysogenum 20% Scopulariopsis brevicaulis	10	7 25% Acremonium charticola 15% Aspergillus versicolor 35% Cladosporium cladosporoides 25% Scopulariopsis brevicaulis

III-3-2 Biocontamination environnementale : air

N° Echantillon	Epi	Travée	Localisation du prélèvement	Développement visuellement identifiable	COMPTAGES				
					Milieu de culture	J+1	J+3	J+7	J+14
A1	21/22	couloir	1,50m	-	MEA	0	13	35	35 25% Aspergillus versicolor 30% Cladosporium cladosporoides 20% Penicillium glabrum 25% Penicillium funiculosum
A2	7/8	II	1,50m	-	DG18	0	12	19	19 10% Absidia corymbifera 30% Aspergillus versicolor 25% Cladosporium cladosporoides 5% Cryptococcus laurentii 15% Penicillium digitatum 15% Scopulariopsis brevicaulis
A3	7/8	II	1,50m	-	MEA	0	13	20 1 env	22 dont 1 envahissant 5% Absidia corymbifera 15% Acremonium charticola 20% Aspergillus versicolor 35% Botrytis cinerea 20% Cladosporium cladosporoides 5% Penicillium chrysogenum

III-3-3 Biocontamination sur documents.

N° Echantillon	Epi	Travée	Localisation du prélèvement	Développement visuellement identifiable	Cote	Milieu de culture	J+1	J+3	J+7	J+14
D1	1	II	Etagère médiane Tranche de tête	+/_	10 258	DG18	0	0	0	0
D2	1	IV	Etagère haute Tranche de tête	+/_	10 380	MEA	0	0	0	0
D3	28	VI	Etagère basse Tranche de tête	+	B 314	MEA	0	0	1	1 Cryptococcus laurentii
D4	28	VI	Etagère basse Dos	+	B 314	DG18	0	0	0	0
D5	3	I	Etagère basse Tranche de tête	+	B 203	MEA	0	0	0	0
D6	3	III	Etagère haute Tranche de tête	+	T 116	DG18	0	0	0	0
D7	1	IV	Etagère haute Dos	+	1281	MEA	0	0	0	0
D8	7	III	Etagère haute Tranche de tête	+	T 426	DG18	0	1	6	6 60% Aspergillus versicolor 40% Cryptococcus laurentii
D9	8	III	Etagère haute Tranche de tête	+/_	T 975	MEA	0	0	1	1 envahissant Absidia corymbifera
D10	8	III	Etagère basse Dos	–	T 967	MEA	0	0	1	1 Absidia corymbifera
D11	7	I	Etagère basse Dos	+	T 741 BIO	MEA	0	0	1	1 envahissant Absidia corymbifera
D12	7	I	Etagère basse Tranche de tête	+/_	T 741	MEA	0	0	0	0
D13	46	V	Etagère haute Tranche de tête	+	580	MEA	0	0	1	1 envahissant Absidia corymbifera
D14	46	V	Etagère haute Dos	+	575	MEA	0	0	0	0
D15	45	VI	Etagère basse Dos	+	B 298	MEA	0	0	1	2 dont 1 envahissant Absidia corymbifera
D16	45	VI	Etagère basse Tranche de tête	+	S 288.4	MEA	0	0	0	0
D17	62	IV	Etagère haute Plat supérieur	–	J 162	MEA	0	0	0	0
D18	62	IV	Etagère haute Dos	–	J 162	MEA	0	0	0	0
D19	61	VI	Etagère basse Plat supérieur	+/_	H 130	MEA	0	0	1	1
D20	61	VI	Etagère basse Dos	–	H 103.1	MEA	0	0	1	1 envahissant Absidia corymbifera
D21	61	VI	Etagère basse Dos	+	H 182.24	DG18	0	0	0	0
D22	9	III	Etagère haute Dos	+	-	DG18	0	0	0	0

III-4 INTERPRETATION DES RESULTATS

III-4-1 Degré général de biocontamination

Trois caractères principaux conduisent à l'évaluation de la gravité d'une biocontamination en milieu intérieur :

1. Déséquilibre entre flore extérieure et flore intérieure.
2. Pauvreté/varieté des espèces identifiées dans l'environnement.
3. Concentration de spores reviviscibles dans l'environnement (surfaces et air ambiant).

Dans le cas de la réserve de la médiathèque Madame de Sévigné, une comparaison entre environnements extérieur et intérieur n'a pas été étudiée du fait de l'absence de système de ventilation et de la présence d'une seule ouverture, située loin de la zone d'échantillonnage.

Les niveaux de reviviscence (faculté d'une spore ou d'un fragment fongique à donner lieu à développement lors de la mise en culture) totaux sont présentés dans la figure suivante. Afin de permettre une comparaison entre reviviscence sur document et en environnement, tous les comptages y ont été ramenés à des valeurs d'UFC (Unités Formant colonies) par cm². On voit qu'à l'exception de l'échantillon D8, ces valeurs sont très uniformes quel que soit la zone de prélèvement et se situent très majoritairement autour de 2UFC/cm².

La norme française XP X 43-407 de Mars 2006 portant sur la qualité de l'air dans les locaux non industriels définit des catégories de qualité de l'air intérieur en termes de contamination fongique, fig. 17.

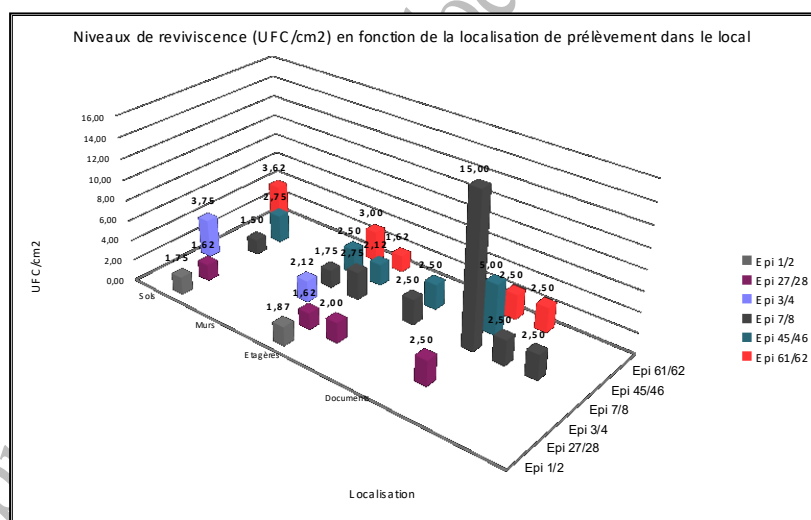


Figure 17 : Représentation graphique de la contamination

Niveau de la contamination	Logement	Autre environnement intérieur (immeubles de bureaux)
Très faible	< 50	< 25
Faible	< 200	< 100
Moyen	< 1 000	< 500
Elevé	< 10 000	< 2 000
Très élevé	> 10 000	> 2 000

Tableau 1 : Description qualitative de la contamination fongique de l'environnement intérieur (contamination exprimée en UFC/m³)¹

¹ : Norme Française XP X 43-407, « Qualité de l'air – Audit de la qualité de l'air dans les locaux non industriels – Bâtiments à usage d'enseignement », AFNOR, Mars 2006, p.14.

Il n'existe pas en France de niveaux d'alerte en termes de contamination microbiologique des surfaces. Cependant deux axes d'évaluation ont été définis par des groupes de recherche :

Concentration	Évaluation qualitative de la contamination
moins de 200 UFC/cm ²	Faible
de 200 à 500 UFC/cm ²	Moyenne
> 500 CFU/cm ²	Forte

Tableau 2 : Evaluation qualitative de la contamination en fonction des concentrations en particules reviviscibles présentes sur surfaces lisses.²

Surface contaminée	Evaluation
< 0,3 m ²	Faible contamination
0,3 m ² - 3 m ²	Contamination moyenne
> 3 m ²	Contamination élevée

Tableau 3 : Evaluation qualitative de la contamination en fonction de la surface de contamination évaluée visuellement.³

En fonction de ces axes d'analyses, quelques conclusions quant aux caractéristiques de la biocontamination du magasin de la médiathèque Madame de Sévigné peuvent être extraites des mesures réalisées :

- Les concentrations en particules reviviscibles sur surfaces lisses (sol, murs et étagères) entrent dans la catégorie des contaminations faibles telles que définies dans le tableau 1 (maxima à 3,75 UFC/cm² au sol; niveaux sur étagères très réguliers, compris entre 3 et 1,62 UFC/cm²). Les prélèvements sur murs montrent des concentrations inférieures à 1 UFC/cm² à tous les points d'échantillonnage.

- La surface de contamination visuellement identifiable est évaluée à plus de 3m² et correspond à une biocontamination élevée selon les critères définis dans le tableau 2.

- Les concentrations en spores reviviscibles aéroportées sont globalement constantes et inférieures à 100 UFC/m³. Le niveau de contamination fongique de l'air du local peut donc être qualifié de faible.

- La mise en culture d'échantillons prélevés en air ambiant et sur documents n'a pas montré d'impact du contenu en eau du milieu sur les espèces identifiées.

- L'étude de la flore fongique globale montre la prédominance de quelques genres :

- *Absidia corymbifera*. Identifié sur tous types de prélèvements. Prédominants au niveau des sols (6 points de prélèvement sur 6) et plus faiblement sur étagères (4/10), essentiellement isolé en fond de local. Faibles proportions en densité.
- *Acremonium charticola*. Identifié sur la moitié des échantillons sur sols et étagères, préférentiellement en partie centrale du local.

² : LIGNES DIRECTRICES POUR L'INSPECTION, L'ÉVALUATION ET L'ÉLIMINATION DES MOISSURES DANS LES LIEUX DE TRAVAIL, Division de la sécurité et de l'hygiène du travail - Travail et Immigration Manitoba, Mars 2001, p.12.

³ : CONTAMINATIONS FONGIQUES EN MILIEUX INTERIEURS - DIAGNOSTIC - EFFETS SUR LA SANTE RESPIRATOIRE -

CONDUITES A TENIR, Conseil Supérieur d'Hygiène Publique De France - Groupe de travail « Moisissures dans l'habitat », Septembre 2006, p.82.

- *Aspergillus versicolor*. Identifié de façon dispersée dans la totalité du local (5 points de prélèvement sur 6 au sol et 5/10 sur étagères. Isolé préférentiellement sur étagères hautes). Faibles proportions en densité.
- *Cladosporium cladosporoides*. C'est le contaminant majoritaire du local, isolé sur le sol et les étagères en chaque point de prélèvement. Fortes proportions en densité.
- *Penicillium*, espèces *brevicompactum*, *chrysogenum* (dispersés en quelques points, essentiellement sur étagères) et *digitatum* (identifié en 2 points de prélèvement sur 6 au sol et 5/10 sur étagères, également dispersé dans le local).
- *Scopulariopsis brevicaulis*. Identifié essentiellement sur étagères (7 points de prélèvement sur 10) et peu au sol (1/6). Isolé préférentiellement dans la moitié centrale du local.

En ambiance, les autres espèces présentes en proportions remarquables sont *Penicillium corylophilum* et *Cryptococcus laurentii*. Il existe donc un déséquilibre de la flore microbienne dans les magasins dû à une sélection, un développement et une dispersion préférentiels de ces quelques souches. L'ensemble des niveaux de reviviscence apparaît cependant très faible.

Les espèces majoritaires en environnement (*Cladosporium*, *Absidia*, *Acremonium*, *Aspergillus*) sont également isolées dans l'air ambiant avec une répartition globale correspondant à leur répartition sur les surfaces (*Cladosporium* et *aspergillus* largement diffusés, *Absidia* et *Acremonium* absents de l'air ambiant à proximité de la grille d'entrée).

La situation sur documents est très tranchée. Les niveaux de reviviscence sont très faibles (9 échantillons seulement sur 22 ont donné lieu à développement). Une répartition spatiale préférentielle de reviviscence sur documents semble émerger, le taux de prélèvements donnant lieu à développement étant plus important (8 échantillons sur 9) pour les échantillons prélevés en épis centraux (épis 7/8, 45/46 et 61/62) par rapport aux épis en fond de magasin (épis 1/2, 3/4 et 27/28). Il semble qu'ici intervienne essentiellement les matériaux de couverture des ouvrages, la majorité des ouvrages conservés en fond de local étant constitués de papier ou conservés en boîtes couvertes de textile. Le contaminant fongique identifié comme largement majoritaire (identifié sur 6 documents sur les 9 ayant donné lieu à reviviscence) est *Absidia corymbifera*. Cette espèce est envahissante et sa morphologie macroscopique est en accord avec les observations visuelles réalisées sur les documents.

Les figures suivantes illustrent cette concordance, elles présentent le document échantillonné D11 (cote T741.BIO) et le milieu de culture correspondant à J+14, fig. 18.

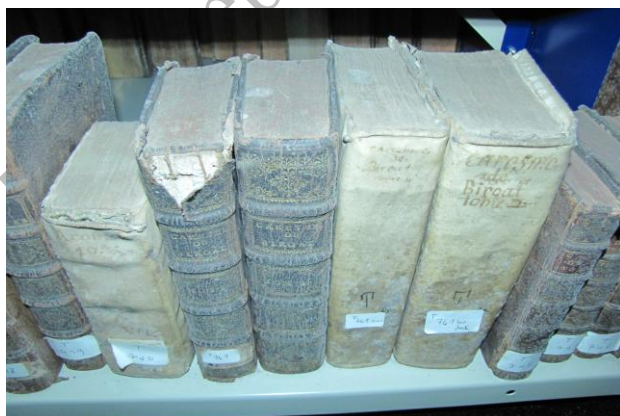


Figure 18 : contamination micro-biologique et mise en culture

Les critères d'évaluation pris en compte ne sont applicables qu'aux locaux de travail et les seuils définis en termes de risque sanitaire.

Il convient donc de réajuster les conclusions précédentes en fonction de la destination des lieux : malgré de faibles charges fongiques générales, la présence de larges zones de développements disséminés dans la quasi-totalité du magasin rend la situation préoccupante pour la communication et la bonne conservation des documents.

III-4-2 Impact des espèces fongiques majoritaires isolées

NOM	Effet pathogène ^{4, 5}	Effet sur le patrimoine écrit ^{6, 7}
Absidia		Isolé en bibliothèques
Acremonium	Allergisation	Colonisation sur livres en archives, isolé sur papier et cuir
Aspergillus versicolor	Allergisation et production de mycotoxines	Colonisation sur livres en archives, isolé sur papier, cuir et colles animales et végétales
Cladosporium cladosporioides et herbarum	Allergisation	Colonisation et consolidation sur livres en archives, isolé sur papier et cuir
Pénicilliums	Allergisation, production de mycotoxines	Colonisation et consolidation sur livres en archives, isolé sur papier, cuir et colles animales et végétales
Scopulariopsis		Colonisation et consolidation sur livres en archives, isolé sur papier, cuir et colles animales et végétales
P. chrysogenum	Production de mycotoxines	Agent de dégradation courant en tannerie sur produit fini, isolé sur livres et papiers

Les effets pathogènes listés dans le tableau précédent ne sont présentés qu'à titre d'information sur la santé des espèces fongiques isolées.

⁴ D'après : CONTAMINATIONS FONGIQUES EN MILIEUX INTERIEURS - DIAGNOSTIC - EFFETS SUR LA SANTE RESPIRATOIRE - CONDUITES A TENIR, Conseil Supérieur d'Hygiène Publique De France - Groupe de travail « Moisissures dans l'habitat », Septembre 2006.

⁵ : MOISSURES UTILES ET NUISIBLES : IMPORTANCE INDUSTRIELLE, BOTTON B., Masson, Paris, 1990.

⁶ : Voir « Fungi isolated from library materials : a review of the literature », Bronislaw Zyska, in: *International Biodeterioration and biodegradation*, Vol.40, N°1, 1997, pp 43-51.

⁷ : Voir « Microbial biodeterioration of leather and its control : a review », Alois Orlita, in: *International Biodeterioration and biodegradation*, Vol.53, 2004, pp 157-163.

Les réactions allergiques induites sont essentiellement de type atteintes bronchiques (toux) et asthme. Les cas de rhinite sont controversés. Il faut noter que le caractère allergène des moisissures est plus important chez les personnes souffrant déjà d'asthme (pour lesquels la fréquence de la sensibilisation augmente avec la sévérité de l'asthme) et que la sévérité de la réaction n'est pas exclusivement dépendante de la dose d'exposition.

Quant à l'effet toxique des moisissures il est essentiellement le fait de l'ingestion. Un effet par voie respiratoire chez l'homme reste débattu même s'il a été démontré expérimentalement chez l'animal.

En aucun cas LARCROA ne peut se prononcer sur le caractère préoccupant ou non de la situation microbiologique des magasins en termes de santé publique. En revanche, la totalité des espèces identifiées en environnement sont susceptibles de coloniser et de se développer sur les matériaux d'archives.

IV- CONCLUSION

IV- 1- CONDITIONS CLIMATIQUES.

Sans suivi climatique du magasin il a été impossible de faire une analyse rétrospective du climat et d'étudier les antécédents.

La thermographie du magasin n'a pas révélé de problème d'étanchéité et de manque d'isolation.

L'analyse de la teneur en eau des murs témoigne d'une bonne salubrité du magasin. L'ensemble des murs ont une teneur en eau inférieure à 15%.

Le brassage de l'air a pour but d'homogénéiser l'air et d'éviter la formation de strates thermiques et hydriques. Il est nécessaire, mais si il est trop importante comme nous avons pu le constater avant le début de l'étude il peut disperser et véhiculer des spores reviviscibles. Nous avons donc diminué le taux de brassage en ne faisant fonctionner un seul ventilateur sur trois à un régime réduit pour obtenir un taux de brassage de l'ordre de 3 fois le volume du local par heure.

Le taux de renouvellement d'air a pour but d'apporter au local un air nouveau de qualité. Ce magasin n'étant pas conditionné, le renouvellement d'air se fait comme nous l'avons vu par deux bouches d'aération d'un débit de l'ordre de 0,01 m/s ce qui correspond 0.1 m³ /h. Ce renouvellement d'air est très loin des valeurs recommandées.

Il semble, après les trois semaines d'étude du climat, que le magasin enfoui a une bonne inertie climatique et qu'il peut répondre de façon autonome à une régulation climatique satisfaisante.

Le dysfonctionnement climatique qui est apparu dans le magasin dans la période d'été 2012 a une origine accidentelle qui n'a pas pu être identifiée faute d'historique. Il est confirmé par l'analyse microbiologique.

IV- 2- ETAT MICROBIOLOGIQUE.

Comme le montrent les résultats, et contrairement à la perception qu'induit la répartition visuelle des développements, la biocontamination du magasin est faible en termes de charge fongique et se révèle relativement uniforme :

- Les profils de contamination par travées ne présentent pas de gradient de dépôt des espèces à travers les magasins.
- Les concentrations en spores reviviscibles sur étagères sont équivalentes à celles relevées au sol et sur documents. Les étagères hautes semblent systématiquement légèrement plus contaminées que les étagères basses, sans que cette différence ne se retrouve au niveau des prélèvements sur documents.
- Les concentrations en spores reviviscibles sur documents sont étonnemment faibles et uniformes quant aux espèces isolées. Une forte proportion d'échantillons prélevés sur documents non pas donné lieu à développement sur milieu MEA. Ces profils de reviviscence permettent de relativiser la gravité de la situation fongique dans le magasin de la médiathèque Madame de Sévigné.
- La présence généralisée de développements bactériens dans l'ensemble du magasin échantillonné est imputable à l'activité humaine. Ces dernières demandent une quantité d'eau importante dans le substrat pour se développer (proche d'une activité en eau égale à 1, c'est-à-dire une complète saturation) et ne constituent pas un risque important pour les collections de la médiathèque, sauf en cas de dégât des eaux.

Le croisement de l'ensemble des résultats permet de proposer l'analyse suivante :

La cause principale de la biocontamination du magasin de la médiathèque Madame de Sévigné semble être **un incident isolé**, extérieur au magasin lui-même, ayant conduit au développement d'espèces fongiques présentes sur les volumes.

Cette observation est appuyée :

- par la bonne inertie thermo-hygrométrique mise en évidence par l'étude du climat intérieur au local.
- par la forte homogénéité des développements issus d'échantillons prélevés sur documents.

On peut donc émettre l'hypothèse qu'une source d'humidité extérieure a diffusé dans le local conduisant à une forte augmentation de l'hygrométrie intérieure propice à la germination et au développement de l'espèce *Absidia corymbifera*.

L'humidité ambiante a pu s'élever autour de 90%HR (*A. versicolor* est le premier colonisateur dans l'environnement avec des besoins en activité de l'eau à 20°C (eau disponible dans le substrat) de $A_w = 0.78$, il est suivi de *P. chrysogenum* et *brevicompactum* ($0.78 < A_w < 0.82$), *Cladosporium* ($0.85 < A_w < 0.88$), *Absidia* ($0.88 < A_w < 0.89$) et *P. digitatum*, *Acremonium* ($A_w = 0.90$)) ayant conduit à une sélection.

Si l'augmentation de l'humidité relative intérieure a permis ces développements, elle a dû être d'assez courte durée pour éviter que les organismes n'entrent dans une phase de sporulation importante, qui expliquerait à la fois l'aspect des colonies observées sur les ouvrages et les faibles taux de récupération associés.

Il semble donc que la prise en charge de l'incident ait été efficace à contrôler la biocontamination en ramenant rapidement l'hygrométrie ambiante autour de 40% et ayant provoqué le dessèchement des colonies.

De plus, l'homogénéité observée des degrés de sédimentation et des compositions de la flore fongique en magasin semble être le résultat du brassage d'air créé par les ventilateurs ayant conduit à une forte dispersion des espèces fongique à travers le local.

La répartition irrégulière des développements mycéliens et confirmée par la prise d'échantillons sur documents, indique que le développement fongique est essentiellement dépendant de la nature du support : il semble se conserver préférentiellement sur les ouvrages couverts en cuir et parchemin. Cette répartition peut également rendre compte de la localisation de l'entrée d'eau dans le local, au niveau du milieu du magasin.

V- PRECONISATIONS ET RECOMMANDATIONS

Les recommandations et les préconisations sont classées par ordre de priorité en trois groupes – Bâtiment – Equipement climatique – Assainissement microbiologique.

V-I BATIMENT

- L'audit du magasin n'a pas révélé de problème majeur.
- Créer une signalétique en vue d'informer toutes les personnes susceptibles d'accéder au magasin de la présence d'appareils en charge de réguler le climat.

V-2 EQUIPEMENTS CLIMATIQUES ET DE CONTROLE.

- Pour améliorer les conditions climatiques et répondre à la qualité d'air exigé pour la conservation de documents papier nous proposons :
- Une révision indispensable des déshumidificateurs Dantherm-Ranco – changement des filtres et étalonnage des régulateurs etc....
- L'installation d'un système d'évacuation d'eau pour le déshumidificateur situé mur est. Révision de l'humidificateur Vapac.
- Contrat de maintenance des appareils avec une vérification bi annuelle.
- Vérifier que les consignes imposées aux appareils sont bien respectées. (HR = 50% T = 17,5°C)
- L'installation d'une ventilation mécanique contrôlée VMC pour augmenter le renouvellement d'air de manière à atteindre la valeur recommandée de 0,1 vol/heure. Cette installation nécessite une étude par un spécialiste.
- Installation dans le magasin de plusieurs enregistreurs d'humidité et de température permettant d'enregistrer et de suivre dans le temps l'évolution du climat. Des systèmes sondes radio reliant les enregistreurs à une station PC améliore le confort du contrôle. Des signaux d'alerte peuvent être imposés pour des dysfonctionnements climatiques.

V-3- ASSAINISSEMENT MICROBIOLOGIQUE

Sur la base des résultats de la présente étude et étant donnés les faibles niveaux de développements sur documents et en environnement, aucune campagne de désinfection n'est préconisée.

Cependant, afin de permettre un retour à la normale et de rétablir la communication des ouvrages conservés dans la réserve, un dépoussiérage doit être conduit.

- Le dépoussiérage devra être mené d'abord sur les documents contaminés et réalisé avec un aspirateur à filtre absolu. Afin de terminer plus finement le dépoussiérage, les opérateurs peuvent utiliser (si l'état mécanique des matériaux de couverture le permet) des peaux de chamois non pelucheuses ou des chiffons microfibres doux sans imprégnation de produit de nettoyage.
- Les documents devront être traités individuellement et le dépoussiérage concernera tous l'ouvrage : les faces extérieures : tranches, dos et plats et le corps d'ouvrage si nécessaire (si la contamination s'est développée à l'intérieur du corps d'ouvrage ce qui d'après nos observations ne s'est pas produit).

L'aspirateur devra être muni :

- de variateurs de puissance entre 20 et 1300 W avec une pression maximum de 2286 bar,
- de filtres correspondant à la norme HEPA (High efficiency particulate air filter),
- d'embouts adaptés (brosses à poils doux sans parties métalliques).

Le matériel sera nettoyé chaque jour à l'alcool à 70% et séché avant emploi. Les filtres seront changés au minimum une fois par semaine (A voir avec les préconisations du fournisseur).

- Les documents seront dépoussiérés dans une salle ayant une extraction d'air mécanique pour permettre une meilleure évacuation des poussières et des moisissures.
- Par ailleurs le personnel devra être muni de protections individuels : gants masques, blouse.
- Le dépoussiérage peut être l'occasion d'une campagne de conditionnement qui permet d'isoler les ouvrages de leur environnement direct et notamment du dépôt de poussières.
- Le nettoyage du magasin peut être considéré comme facultatif mais devra avoir lieu une fois vidé. Le nettoyage d'une travée devra débuter par les tablettes les plus hautes pour finir avec les tablettes les plus basses. Les tablettes pourront être lavées avec une solution alcoolique à 70% et les sols avec un produit approprié à sa nature.
- Les dépôts de poussières constituent un substrat propice à la colonisation et au développement fongique. De la même façon que les sols sont régulièrement nettoyés, les documents doivent être régulièrement dépoussiérés et surveillés.
- L'établissement d'un plan de veille est essentiel à la mise en place de mesures rapides et adaptées en cas d'identification d'une nouvelle phase de développement.

Pour LARCROA

Alain Roche : Ingénieur et gérant.
Sébastien Gilot : Biologiste