Etude CLIMATOX : contribution à la caractérisation des bioaérosols d'habitats dégradés par les moisissures et à l'évaluation de leurs effets sur la santé.

Antoine Delanoe

▶ **To cite this version:**

Antoine Delanoe. Etude CLIMATOX : contribution à la caractérisation des bioaérosols d'habitats dégradés par les moisissures et à l'évaluation de leurs effets sur la santé.. Mycologie. Normandie Université, 2018. Français. ⟨NNT : 2018NORMC279⟩. ⟨tel-02163509⟩

HAL Id: tel-02163509

https://theses.hal.science/tel-02163509v1

Submitted on 24 Jun 2019

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

HAL Authorization

Normandie Université

THÈSE

Pour obtenir le diplôme de doctorat

Spécialité PHYSIOLOGIE ET BIOLOGIE DES ORGANISMES - POPULATIONS - INTERACTIONS

Préparée au sein de l'Université de Caen Normandie

Etude CLIMATOX: contribution à la caractérisation des bioaérosols d'habitats dégradés par les moisissures et à l'évaluation de leurs effets sur la santé.

Présentée et soutenue par
Antoine DELANOE

Thèse soutenue publiquement le 20/12/2018 devant le jury composé de		
M. JACQUES GUILLOT	Professeur, Ecole Nationale Vétérinaire d'Alfort	Rapporteur du jury
M. NICOLAS PAPON	Professeur des universités, Université d'Angers	Rapporteur du jury
M. JACQUES BROUARD	Professeur des universités, Université Caen Normandie	Membre du jury
Mme ANNE FAVEL	Maître de conférences HDR, Université Aix Marseille 2 Méditerranée	Membre du jury
Mme VIRGINIE SEGUIN-CATHERINE	Maître de conférences, Université Caen Normandie	Membre du jury
M. DAVID GARON	Professeur des universités, Université Caen Normandie	Directeur de thèse

Thèse dirigée par DAVID GARON, Aliments bioprocédés toxicologie environnements

UNIVERSITÉ CAEN NORMANDIE

ED 497 NBISE
Normande de Biologie Intégrative, Santé, Environnement

UR ABTE EA-4651
Aliments Bioprocédés Toxicologie Environnements

Remerciements

Je tiens à remercier tout d'abord ceux qui ont permis de rendre possible cette thèse, à savoir le conseil régional de Normandie, l'agence régionale de santé (ARS) de Normandie et l'agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME).

Je remercie également tous les membres de ce jury de thèse pour avoir accepté de juger ce travail.

Je tiens aussi à remercier les personnes avec qui j'ai travaillé dans le cadre de cette thèse notamment Sandra Bihel du service communal d'hygiène et de santé (SCHS) de la mairie de Caen, Magalie Lemaréchal et Pascale Boulet, conseillers médicaux en environnement intérieur (CMEI) et les membres de l'association des locataires de Normandie.

J'adresse également mes remerciements à Valérie Bouchart, Philippe Vérité et Arnaud Fekkar, qui m'ont accueilli dans leurs laboratoires respectifs dans le cadre de cette étude.

Je tiens à remercier toute l'équipe du laboratoire pour m'avoir permis de passer ces trois années de thèse dans de bonnes conditions, en particulier mes encadrants, David Garon et Virginie Séguin, qui m'ont supporté pendant ces trois années qui n'ont pas toujours été faciles.

Je remercie tout les membres du laboratoire qui m'ont aidé et formé durant ces trois années : Natacha Heutte pour les analyses statistiques, Véronique André pour les tests toxicologiques, Marilyne Guillamin pour la cytométrie en flux et Stéphanie Gente pour l'utilisation des outils de biologie moléculaire.

Je remercie également mes collègues doctorants Quentin, Adeline, Héléna et Samia, pour leur bonne humeur et leur soutien sans failles au cours de ces trois années, et pour les bons moments passés ensemble au boulot et en dehors.

Liste des publications

- Delanoë A., Guillamin M., Heutte N., Gente S., Séguin V., Garon D. Interest of the qPCR method calibrated with flow cytometry to quantify Aspergillus versicolor in mold-damaged homes and comparison with the cultural approach. Atmospheric Pollution Research 2018; 9(5): 871-876. DOI : 10.1016/j.apr.2018.02.005.

- Delanoë A., Seguin V., Andre V., Gente S., Verite P., Votier E., Richard E., Bouchart V., Delfour M., Heutte N., Garon D. Bioaerosols exposure assessment in mold-damaged houses located in Normandy (France). International Journal of Environmental Impacts 2018; sous presse.

- Delanoë A., Seguin V., Andre V., Gente S., Richard E., Heutte N., Garon D. Contribution to bioaerosols characterization and evaluation of human exposure in mold-damaged homes. Indoor Air 2018; en rédaction.

Liste des communications

- Delanoë A., André V., Heutte N., Delfour M., Bouchart V., Gente S., Seguin V., Garon D. Exposition humaine aux bioaérosols dans des habitations dégradées par les moisissures. La qualité de l'air intérieur : enjeu majeur de santé publique (Adebiotech). Communication orale et affichée. Romainville, 27-28 Juin 2017.

- Delanoë A., Seguin V., Andre V., Gente S., Verite P., Votier E., Heutte N., Garon D. Evaluation of Human exposure to bioaerosols in mold-damaged houses (CLIMATOX). Communication affichée. Journée normande de recherche biomédicale. Caen, 14 Novembre 2017.

- Delanoë A., Seguin V., Andre V., Gente S., Verite P., Votier E., Richard E., Bouchart V., Delfour M., Heutte N., Garon D. Bioaerosols exposure assessment in mold-damaged houses located in Normandy (France). Air Pollution - 26th International Conference on Modelling, Monitoring and Management of Air Pollution. Communication orale. Naples (Italie), 19 - 21 Juin 2018.

- Delanoë A., Séguin V., André V., Gente S., Vérité P., Votier E., Richard E., Bouchart V., Delfour M., Heutte N., Garon D. Evaluation de l'exposition aux bioaérosols dans des habitations dégradées par les moisissures (étude CLIMATOX). Société Française Santé et Environnement (SFSE). Communication affichée, Montpellier (France), 5-6 Décembre 2018.

Table des matières

I) Problématique : air intérieur, bioaérosols, contaminants fongiques et santé 17
I.1) La qualité de l'air en milieu intérieur : enjeux sanitaires et économiques 17
I.2) Les bioaérosols 24
I.2.1) Les virus 24
I.2.2) Les bactéries et endotoxines 25
I.2.3) Les moisissures 27
I.2.4) Les mycotoxines 38
I.2.5) Les Composés Organiques Volatils microbiens (COVm) 42
I.2.6) Les glucanes 44
I.2.7) Les acariens 45
I.2.8) Les pollens 46
I.2.9) Les autres allergènes 47
I.3) Evaluation de l'exposition aux moisissures aéroportées 47
I.3.1) Diversité des techniques de collecte 47
I.3.2) Méthodes d'analyse du contenu fongique de l'air 51
I.3.2.1) Les méthodes culturales 51
I.3.2.2) Les méthodes moléculaires 51
I.3.2.3) Les autres approches d'évaluation de l'exposition fongique 56
I.4) Impact sanitaire de l'exposition aux moisissures dans les habitats 57
I.4.1) Un syndrome à part entière ? 57
I.4.2) Des arguments épidémiologiques 58
I.4.3) Un risque pulmonaire 59
I.4.3.1) Les pathologies allergiques connues 59
I.4.3.2) Les preuves épidémiologiques 61
I.4.3.3) Les asthmatiques : une population particulièrement sensible 63
I.4.3.4) Des effets allergisants 64
I.4.4) Etudes toxicologiques sur les effets des moisissures et des bioaérosols 66
I.4.5) Autres effets de l'exposition aux moisissures 70
I.4.6) Infections 70
I.4.7) Effets des autres composés constituant les bioaérosols 72
II) Objectifs de l'étude CLIMATOX 74
III) Matériel et Méthodes 76
III.1) Sélection des habitats et prélèvements 76

III.1.1) Prélèvements 76
III.1.2) Les questionnaires 78
III.2) Caractérisation microbiologique des bioaérosols 78
III.2.1) Analyse de la microfonge de l'air 79
III.2.1.1) Mise en culture 79
III.2.1.2) Identifications fongiques 79
III.2.1.2.1) Analyse culturale 79
III.2.1.2.2) Analyse par PCR 80
III.2.2) Quantification des endotoxines et des glucanes 82
III.2.3) Evaluation de la contamination des surfaces par les acariens 83
III.2.4) Etude exploratoire de la contamination bactérienne de l'air 84
III.2.5) Evaluation du potentiel toxinogène d'isolats fongiques 85
III.2.6) Etude de la résistance d'isolats aspergillaires aux antifongiques 89
III.3) Caractérisation toxicologique des bioaérosols 92
III.3.1) Choix des échantillons testés 93
III.3.2) Etude de cytotoxicité 94
III.3.3) Etude du potentiel inflammatoire 96
III.4) Utilisation de la qPCR couplée à la cytométrie en flux pour le suivi d'*Aspergillus versicolor* dans les bioaérosols 97
III.4.1) Préparation des suspensions de spores 97
III.4.2) Comptage par cytomètrie en flux 98
III.4.3) Quantification par qPCR 99
III.4.3.1) Extraction de l'ADN fongique 99
III.4.3.2) qPCR 99
III.5) Evaluation de l'impact des facteurs climatiques sur la croissance et la toxinogenèse fongique 101
III.5.1) Culture en enceinte contrôlée 101
III.5.2) Etude des profils métaboliques d'*Aspergillus versicolor* par HPLC- QTOF/MS 103
III.6) Analyses statistiques 111
IV) Résultats 112
IV.1) Description des habitats et recueil des données de santé 112
IV.1.1) Caractéristiques des habitats 112
IV.1.2) Données de santé 121
IV.2) Caractérisation microbiologique des bioaérosols 123
IV.2.1) Analyse de la microfonge de l'air 123

IV.2.2) Evaluation du potentiel toxinogène des isolats fongiques 135
IV.2.3) Etude de la résistance des isolats d'*Aspergillus fumigatus* aux antifongiques 136
IV.2.4) Quantification des endotoxines et des glucanes 136
IV.2.5) Evaluation de la contamination des surfaces par les acariens 138
IV.2.6) Etude exploratoire de la contamination bactérienne de l'air 138
IV.3) Etude statistique des résultats 139
IV.3.1) Recherche de corrélations 139
IV.3.2) Recherche de variables explicatives 142
IV.3.2.1) Contamination fongique totale et concentrations des espèces fongiques récurrentes 143
IV.3.2.2) Allergie et consultation médicale 151
IV.3.2.3) Prescriptions médicales 162
IV.3.2.4) Symptômes décrits par les habitants 193
IV.4) Caractérisation toxicologique des bioaérosols 290
IV.4.1) Cytotoxicité des bioaérosols 290
IV.4.2) Etude exploratoire du potentiel inflammatoire 293
IV.5) Utilisation de la qPCR couplée à la cytométrie en flux pour le suivi d'*Aspergillus versicolor* dans les bioaérosols 297
IV.6) Déterminants climatiques influençant la croissance et la toxinogenèse fongique 301
IV.6.1) Suivi de la croissance et du potentiel toxinogène de micromycètes issus de bioaérosols 301
IV.6.2) Potentiel cytotoxique des isolats fongiques en fonction de conditions de culture testées 309
IV.7) Comparaison des profils métaboliques d'*Aspergillus versicolor* en fonction des conditions climatiques testées 313
IV.7.1) Analyse non ciblée 313
IV.7.2) Analyse ciblée 316
V) Discussion et perspectives 323
V.1) Elaboration de l'étude et originalité de l'approche 323
V.2) Contamination fongique des bioaérosols 324
V.2.1) Description de la microfonge 324
V.2.2) Analyse des corrélations 332
V.3) Autres contaminants biologiques des bioaérosols 333
V.4) Toxicité des bioaérosols et effets sur la santé 334
V.4.1) Cytotoxicité et potentiel inflammatoire 334

V.4.2) Impact sanitaire des bioaérosols 336
V.5) Déterminants climatiques influençant la croissance et la toxinogénèse fongique 340
V.6) Conclusion générale 344

Liste des abréviations

ARS : Agence Régionale de Santé

Aw : Activité de l'eau (en anglais : *water activity*).

CFU : *Colony Forming Unit*

CIRC : Centre International de Recherche sur le Cancer (en anglais : IARC)

CMEI : Conseiller Médical en Environnement Intérieur

Ct : *Cycle Threshold*

DO : Densité Optique

Eau UP : Eau Ultra-Pure

EPA : *Environmental Protection Agency*

GM-CSF : Granulocyte-Macrophage Colony-Stimulating Factor

HPLC-MS/MS : Chromatographie liquide à haute resolution couplée à un spectromètre de masse en tandem (en anglais : *High Purity Liquid Chromatography coupled with tandem Mass Spectrometer*)

HPLC-QTOF/MS : Chromatographie liquide à haute résolution couplée à un spectromètre de masse quadripôle temps de vol (en anglais : *High Purity Liquid Chromatography coupled with Quadupole Time of Flight Mass Spectrometer*).

HR : Humidité Relative

IFN-γ : Interféron gamma

IL-1α : Interleukine 1 alpha

IL-1β : Interleukine 1 béta

IL-2 : Interleukine 2

IL-4 : Interleukine 4

IL-6 : Interleukine 6

IL-8 : Interleukine 8

IL-10 : Interleukine 10

IL-12 : Interleukine 12

IL-17A : Interleukine 17A

LPS : Lipopolysaccharides

INRS : Institut National de Recherche et de Sécurité

MALDI-TOF : *Matrix-Assisted Laser Desorption / Ionization Time Of Flight*.

MEA : *Malt Extract Agar*

OQAI : Observatoire de la Qualité de l'Air Intérieur

PIB : Produit Intérieur Brut

qPCR : PCR quantitative (en anglais : *quantitative Polymerase Chain Reaction*)

SBS : Syndrome des bâtiments malsains (en anglais : *Sick Building Syndrom*)

SCHS : Service Communal d'Hygiène et de Santé

SRB : Sulforhodamine B

TCA : Acide trichloroacétique (en anglais : *Trichloroacetic Acid*).

TNF-α : *Tumor Necrosis Factor* alpha

Liste des illustrations

Figure 1 : Répartition des différentes particules dans l'arbre respiratoire selon leur taille (Source : Association de surveillance de la qualité de l'air en région Centre-Val de Loire, 2018). 19
Figure 2 : Représentation schématique du virus de la grippe. (Source : Futura-Sciences / ministère de la santé, 2018),..... 25
Figure 3 : Schéma général de la structure des lipolysaccharides (Source : Todar 2018). 26
Figure 4 : Représentation schématique du cycle de dissémination d'un champignon du genre *Penicillium*. (Source : Madingan et Martino 2007). 29
Figure 5 : Exemples de spores fongiques de différentes espèces identifiées dans les habitats dégradés : *Alternaria alternata* (A), *Aspergillus versicolor* (B), *Cladosporium herbarum* (C), *Penicillium chrysogenum* (D), *Serpula lacrymans* (E), *Stachybotrys chartarum* (F) (Source : MYCOTA)..... 32
Figure 6 : Aspect macroscopique sur milieu MEA (à gauche) et microscopie au grossissement 1000 (à droite) d'*Acremonium strictum* (Source : laboratoire ToxEMAC, Delanoë). 33
Figure 7 : Aspect macroscopique sur milieu MEA (à gauche) et microscopique au grossissement 1000 (à droite) d'*Alternaria alternata* (Source : laboratoire ToxEMAC, Delanoë). 33
Figure 8 : Aspect macroscopique et microscopique de différentes espèces du genre *Aspergillus* : *Aspergillus flavus* sur milieu MEA (A) et au grossissement 1000 (B), *Aspergillus fumigatus* sur milieu MEA (C) et au grossissement 1000 (D) et *Aspergillus versicolor* sur milieu MEA (E) et au grossissement 1000 (F) (Source : laboratoire ToxEMAC, Delanoë). 35
Figure 9 : Aspect macroscopique sur milieu MEA (à gauche) et microscopique au grossissement 1000 (à droite) de *Cladosporium sphaerospermum* (Source : laboratoire ToxEMAC, Delanoë). 35
Figure 10 : Aspect macroscopique sur milieu MEA (à gauche) et microscopique au grossissement 1000 (à droite) de *Penicillium crustosum* (Source : laboratoire ToxEMAC, Delanoë). 36
Figure 11 : Aspect macroscopique sur milieu MEA (à gauche) et microscopique 1000 (à droite) de *Stachybotrys chartarum* (Source : laboratoire ToxEMAC, Delanoë). 37
Figure 12 : Sporophore (A) et mycélium (B) de *Serpula lacrymans* dans des habitations dégradées (Source : Pottier *et al.* 2014, Garon)..... 38
Figure 13 : Exemple de polymère de glucanes présentant 4 liaisons β-1,6 et 2 liaisons β-1,3. (Source : Benhamou et Rey 2012). 44
Figure 14 : Images de *Dermatophagoides pteronyssinus* (à gauche) et *Dermatophagoides farinae* (à droite). (Source : Evolution Biotechnologies). 45
Figure 15 : Grains de pollens d'espèces courantes au grossissement 400 : pollen de Poacées (A), Astéracées liguliflores (B), Apiacées (C) (Source : Laboratoire Toxemac, Seguin)..... 46
Figure 16 : Principe de l'impaction sur milieu gélosé. Le flux d'air est représenté par la flèche bleue claire centrale, tandis que les points noirs représentent les particules en suspension dans l'air. (Source : VWR international). 48
Figure 17 : Schéma de fonctionnement des impacteurs en milieu liquide (Source : Lin et al. 1999). .. 49
Figure 18 : Principe de fonctionnement d'un collecteur à force cyclonique (Source : Thibaudon et al. 2013)..... 50
Figure 19 : Schéma de la réponse inflammatoire au niveau de l'épithélium pulmonaire suite à l'exposition à des polluants aériens (amiante, silice ou PM), décrivant la cascade de réaction dans la cellule suivant la détection de l'agent étranger et les différentes cytokines produites en réponse. BPCO : Bronchopneumopathie chronique obstructive, PM : particules en suspension (particulate matter), ROS : espèces réactives de l'oxygène (reactive oxygene species), NLRP3 : NOD-like Receptor family domains-containing protein 3, LRR : leucin-rich repeat, NACHT : domaine NACHT,

PYD : Pyrin domain, CARD : CAspase Recruitement Domain, ASC : Apoptosis-associated speck-like protein, HMGB1 : High mobility group box 1 protein (D'après Sayan et Mossman 2016). 68
Figure 20 : Schéma de la réponse inflammatoire au niveau de l'épithélium cutané (Source : Welss et al. 2004)..... 69
Figure 21 : Déroulement d'une visite à domicile dans le cadre du projet CLIMATOX. 77
Figure 22 : Schéma général d'étude des micromycètes. 78
Figure 23 : Deux espèces différentes du genre *Penicillium* (*Penicillium chrysogenum* en haut et *Penicillium brevicompactum* en bas) sur milieu MEA (à gauche), CYA (au milieu) et G25N (à droite) (Source : laboratoire ToxEMAC, Delanoë)..... 80
Figure 24 : Réactions en cascade du lysat d'amoebocyte de Limule en présence d'endotoxines ou de (1,3)-β-D-glucanes (Source : Greff-Mirguet 2002). 82
Figure 25 : Expression des résultats de l'Acarex® *test*. 83
Figure 26 : Exemple de milieu Gélose Ordinaire ensemencée à l'aide de l'impacteur sur gélose Sampl'Air (Source : laboratoire MALIM). 84
Figure 27 : Protocole utilisé pour la quantification multi-mycotoxines. 87
Figure 28 : Boîte RADAR utilisée pour le screening des résistances des différents isolats du genre *Aspergillus* (Source : Laboratoire ToxEMAC, Delanoë). 89
Figure 29 : Schéma de répartition des antifongiques et des contrôles en microplaque pour les tests de résistances EUCAST. 92
Figure 30 : Microplaque utilisée lors des essais de résistance aux antifongiques (Source : laboratoire ToxEMAC, Delanoë). 92
Figure 31 : Expérience de cytotoxicité en plaque 96 puits après coloration à la Sulforhodamine B. (Source : laboratoire ToxEMAC, Delanoë)..... 95
Figure 32 : Expérience en plaque 96 puits pour le screening des cytokines induites par l'exposition des cellules aux bioaérosols. (Source : laboratoire ToxEMAC, Delanoë)..... 97
Figure 33 : Expérience en enceinte climatique. (Source : laboratoire ToxEMAC, Delanoë) 102
Figure 34 : Analyses effectuées après incubation des Erlenmeyers en enceinte climatique. 103
Figure 35 : Approche utilisée pour l'analyse et la comparaison des métabolites produits par *A. versicolor* dans les 3 conditions climatiques testées. 106
Figure 36 : Niveaux de confiance utilisés pour l'identification des substances selon les méthodes employées : Spectrométrie de masse (MS), Spectrométrie de masse en tandem (MS^2), Données expérimentales (Exp. data), Base de données de spectrométrie de masse en tandem (Library MS^2), Temps de rétention (RT) et données de standard de référence (Reference Std.). (Source : Schymanski et al. 2014)..... 107
Figure 37 : Carte de la Normandie et répartition des prélèvements de l'étude CLIMATOX (Source : Normandie Web). 112
Figure 38 : Valeurs de température (A) et d'humidité relative (B) dans les différentes habitations étudiées. 115
Figure 39 : Répartition du nombre de particules par m^3 d'air selon leur taille..... 117
Figure 40 : Distribution des particules de 2 à 15 µm dans les habitations. 119
Figure 41 : Fréquence des différents symptômes dans les habitations selon leur intensité (bleu foncé = nul, bleu clair = faible, jaune = moyen et orange = fort). 122
Figure 42 : Concentrations en particules fongiques viables dans l'air pour les différentes habitations de l'étude CLIMATOX. 124
Figure 43 : Indice de Shannon-Weaver (A) et Richesse spécifique (B) pour chacune des habitations. 129

Figure 44 : Représentation en box-plot des différents groupes fongiques identifiés dans les habitations. 130
Figure 45 : Représentation en box-plot de la répartition des espèces du genre *Aspergillus* dans les prélèvements d'air. 131
Figure 46 : Représentation en box-plot de la répartition des espèces du genre *Cladosporium* dans les prélèvements d'air. 132
Figure 47 : Représentation en box-plot de la répartition des espèces du genre *Penicillium* dans les prélèvements d'air. 133
Figure 48 : Représentation en box-plot de la répartition des espèces appartenant aux autres genres fongiques dans les prélèvements d'air. 134
Figure 49 : Taux d'endotoxines relevés dans les habitations. 137
Figure 50 : Taux de (1-3)-β-D-glucanes relevés dans les habitations. 137
Figure 51 : Cytotoxicité des 48 bioaérosols sur les deux lignées cellulaires. 291
Figure 52 : Profil de réponse inflammatoire (screening de 12 cytokines) de la lignée A549 exposée aux 12 bioaérosols testés. 293
Figure 53 : Profil de réponse inflammatoire (screening de 12 cytokines) de la lignée HaCaT exposée aux 12 bioaérosols testés. 294
Figure 54 : Exemple de profils de cytométrie en flux obtenus pour la suspension de spores 1, classant les cellules selon leur taille (Forward Scatter – FS) suivant une échelle logarithmique (gauche) ou linéaire (droite) et par rapport à leur granulométrie (Side Scatter – SS). 298
Figure 55 : Droite d'étalonnage obtenue à l'aide des 7 suspensions de spores testées. 299
Figure 56 : Quantification d'*A. versicolor* dans les bioaérosols par qPCR (triangle bleu), comparée aux résultats de quantification d'*A. versicolor* (carré vert) et de la microfonge viable totale (rond rouge) obtenus par l'approche culturale. 300
Figure 57 : Profils de croissance des différentes espèces fongiques testées en enceinte climatique selon les 3 conditions de croissance : 25°C et 80% HR (en rouge), 25°C et 40% HR (en vert) et 19°C et 40% HR (en bleu). 303
Figure 58 : Production d'acide cyclopiazonique par *A. flavus* dans les 3 conditions testées en enceinte climatique. 304
Figure 59 : Production de fumagilline par *A. fumigatus* dans les 3 conditions testées en enceinte climatique. 305
Figure 60 : Production de gliotoxine par *A. fumigatus* dans les 3 conditions testées en enceinte climatique. 305
Figure 61 : Production de verruculogène par *A. fumigatus* dans les 3 conditions testées en enceinte climatique. 306
Figure 62 : Production de stérigmatocystine par *A. versicolor* dans les 3 conditions testées en enceinte climatique. 307
Figure 63 : Production d'acide mycophénolique par *P. brevicompactum* dans les 3 conditions testées en enceinte climatique. 308
Figure 64 : Cytotoxicité des extraits fongiques vis-à-vis des cellules A549 et HaCaT en fonction des 3 conditions climatiques testées. 311
Figure 65 : Abondance des différents métabolites probables produits par A. versicolor lors de la culture dans les différentes conditions climatiques étudiées. 317
Figure 66 : Arbre décisionnel dans le cadre de la démarche diagnostic applicable aux habitats dégradés. 345

Liste des tableaux

Tableau 1 : Principales mycotoxines et effets toxicologiques (D'après Bhatnagar 1992, Richard 2009, Robbins et al. 2000, PubChem 2018). 39
Tableau 2 : Liste des principaux COVm connus comme étant produits par les moisissures dans les habitats ou sur les matériaux (D'après ANSES 2016, Scleibinger 2008, Wilkins et al. 2000). 43
Tableau 3 : Liste des espèces et groupes d'espèces inclus dans le test ERMI (D'après Vesper et al. 2007) 52
Tableau 4 : Liste des amorces et des cycles utilisés pour l'amplification des régions ITS et BenA. 81
Tableau 5 : Liste des isolats fongiques testés par HPLC-MS/MS vis-à-vis de leur potentiel toxinogène. 86
Tableau 6 : Noms, rapports de masse sur charge, domaines d'application et limites de quantification des différentes mycotoxines quantifiées par HPLC-MS/MS. 88
Tableau 7 : Liste des différents isolats d'*Aspergillus fumigatus* testés en EUCAST. 90
Tableau 8 : Liste des points de gamme préparés pour le test EUCAST. 91
Tableau 9 : Caractéristiques microbiologiques des différents bioaérosols testés vis-à-vis de leur potentiel inflammatoire. 94
Tableau 10 : Liste des isolats fongiques testés en qPCR pour vérifier la spécificité des amorces. 100
Tableau 11 : Liste des molécules de la base de données « *A. versicolor* » (ToxEMAC). 108
Tableau 12 : Lieu, date et type d'habitation visitée dans le cadre de l'étude CLIMATOX. 113
Tableau 13 : Caractéristiques physiques des habitations visitées : température, humidité relative et taux de particules de 0,3 à 20 µm par m^3 d'air. 116
Tableau 14 : Valeurs observées pour les taux de particules par m^3 d'air dans les habitations. 118
Tableau 15 : Principales caractéristiques énergétiques des habitations étudiées dans le cadre de l'étude CLIMATOX : type du chauffage (individuel ou collectif), nature du chauffage (électrique, gaz, fioul ou bois), type de ventilation (naturelle ou ventilation mécanique assistée) et type de vitrage (simple ou double). 120
Tableau 16 : Symptômes renseignés lors des visites à domicile (n=52). 123
Tableau 17 : Concentrations des différentes espèces fongiques isolées lors des prélèvements d'air et classées selon leurs occurrences. 124
Tableau 18 : Production de mycotoxines par les différentes espèces du genre *Aspergillus* identifiées par HPLC-MS/MS. 135
Tableau 19 : Valeurs des CMI (en mg/L) pour les différents isolats d'*A. fumigatus* testés. Pour chaque antibiotique, les isolats sont considérés sensibles si la CMI mesurée est inférieure à 2 mg/L pour l'amphotéricine B, la caspofungine, l'itraconazole et le voriconazole, et 0,5 mg/L pour le posaconazole (Alanio et Bretagne 2010). 136
Tableau 20 : Liste des différentes espèces bactériennes isolées lors des prélèvements de bioaérosols dans les habitations HAB37 et HAB38. 138
Tableau 21 : Concentrations bactériennes totales en fonction de l'habitation et du système de collecte de bioaérosols (Coriolis® ou Sampl'air®). 139
Tableau 22 : Coefficients de Spearman entre les paramètres de l'humidité relative, de la température, des endotoxines, des glucanes, de la richesse spécifique et de l'indice d'équitabilité. 139
Tableau 23 : Coefficients de Spearman entre les concentrations en CFU totales par m^3 d'air, les CFU d'*Aspergillus versicolor* et celles de *Penicillium chrysogenum*. 140
Tableau 24 : Coefficients de Spearman entre les concentrations dans l'air (CFU) de différentes espèces fongiques (espèces totales, *A. versicolor*, *A. fumigatus*, *P. brevicompactum*, *P. chrysogenum* et *P.*

crustosum) et la concentration de particules de 0,3 à 20 µm dans l'air, la concentration de particules de 2 à 15 µm, la concentration d'endotoxines, la concentration de glucanes, l'humidité relative, la température et le temps d'ouverture des fenêtres. 141
Tableau 25 : Recherche de variables explicatives (à l'aide d'un test de Kruskal-Wallis) pour la concentration fongique totale et la concentration des espèces fongiques récurrentes par rapport à la surface contaminée. 143
Tableau 26 : Recherche de variables explicatives (à l'aide d'un test de Wilcoxon) pour la concentration fongique totale et la concentration des espèces fongiques récurrentes par rapport aux différentes catégories de surface contaminée. 144
Tableau 27 : Recherche de variables explicatives (à l'aide d'un test de Wilcoxon) pour la concentration fongique totale et la concentration des espèces fongiques récurrentes par rapport à la présence d'une odeur de moisi dans l'habitat. 145
Tableau 28 : Recherche de variables explicatives (à l'aide d'un test de Wilcoxon) pour la concentration fongique totale et la concentration des espèces fongiques récurrentes par rapport à la présence de traces d'humidité. 145
Tableau 29 : Recherche de variables explicatives (à l'aide d'un test de Wilcoxon) pour la concentration fongique totale et la concentration des espèces fongiques récurrentes par rapport à la présence d'animaux dans l'habitation. 146
Tableau 30 : Recherche de variables explicatives (à l'aide d'un test de Kruskal-Wallis) pour la concentration fongique totale et la concentration des espèces fongiques récurrentes par rapport à la présence et au nombre de plantes dans l'habitation. 147
Tableau 31 : Recherche de variables explicatives (à l'aide d'un test de Wilcoxon) pour la concentration fongique totale et la concentration des espèces fongiques récurrentes par rapport au type de chauffage de l'habitat. 147
Tableau 32 : Recherche de variables explicatives (à l'aide d'un test de Kruskal-Wallis) pour la concentration fongique totale et la concentration des espèces fongiques récurrentes par rapport au type de ventilation de l'habitation. 148
Tableau 33 : Recherche de variables explicatives (à l'aide d'un test de Kruskal-Wallis) pour la concentration fongique totale et la concentration des espèces fongiques récurrentes par rapport au type d'énergie utilisé pour la cuisine. 149
Tableau 34 : Recherche de variables explicatives (à l'aide d'un test de Wilcoxon) pour la concentration fongique totale et la concentration des espèces fongiques récurrentes par rapport à l'utilisation d'un sèche-linge dans l'habitation. 149
Tableau 35 : Recherche de variables explicatives (à l'aide d'un test de Wilcoxon) pour la concentration fongique totale et la concentration des espèces fongiques récurrentes par rapport à l'utilisation d'un absorbeur ou d'un déshumidificateur dans l'habitat. 150
Tableau 36 : Recherche de variables explicatives (à l'aide d'un test de Kruskal-Wallis) pour la concentration fongique totale et la concentration des espèces fongiques récurrentes par rapport au type d'absorbeur ou de déshumidificateur utilisé dans l'habitat. 151
Tableau 37 : Recherche de variables explicatives de l'allergie chez les résidents. Les tests utilisés sont des tests de Wilcoxon pour les variables quantitatives et des tests de Fisher ou du Khi2 (marqué par un astérisque) pour les variables qualitatives. 152
Tableau 38 : Recherche de variables explicatives pour l'allergie préalable à l'emménagement dans l'habitat dégradé par rapport aux données recueillies lors des visites à domicile et l'analyse des bioaérosols. Les tests utilisés sont des tests de Wilcoxon pour les variables quantitatives et des tests de Fisher ou du Khi2 (marqué par un astérisque) pour les variables qualitatives. 156

Tableau 39 : Recherche de variables explicatives pour la consultation médicale en raison des problèmes liés à l'habitat dégradé chez les résidents par rapport aux données recueillies lors des visites à domicile et l'analyse des bioaérosols. Les tests utilisés sont des tests de Wilcoxon pour les variables quantitatives et des tests de Fisher ou du Khi2 (marqué par un astérique) pour les variables qualitatives. 159
Tableau 40 : Recherche de variables explicatives pour la prescription d'antibiotiques suite à la consultation médicale. Les tests utilisés sont des tests de Fisher. 162
Tableau 41 : Recherche de variables explicatives pour la prescription d'antihistaminiques suite à la consultation médicale. Les tests utilisés sont des tests de Fisher. 166
Tableau 42 : Recherche de variables explicatives pour la prescription d'antiinflammatoires non stéroïdiens (AINS) suite à la consultation médicale. Les tests utilisés sont des tests de Fisher. 169
Tableau 43 : Recherche de variables explicatives pour la prescription d'une assistance respiratoire suite à la consultation médicale. Les tests utilisés sont des tests de Fisher. 173
Tableau 44 : Recherche de variables explicatives pour la prescription de corticoïdes suite à la consultation médicale. Les tests utilisés sont des tests de Fisher. 177
Tableau 45 : Recherche de variables explicatives pour la prescription d'un test cutané d'allergie suite à la consultation médicale. Les tests utilisés sont des tests de Fisher. 180
Tableau 46 : Recherche de variables explicatives concernant la prescription d'un examen par imagerie par résonance magnétique (IRM) suite à la consultation médicale. Les tests utilisés sont des tests de Fisher. 184
Tableau 47 : Recherche de variables explicatives pour la prescription de Ventoline (salbutamol) suite à la consultation médicale. Les tests utilisés sont des tests de Fisher. 188
Tableau 48 : P-values obtenues pour la recherche des relations entre les caractéristiques de l'habitation et les prescriptions médicales. 192
Tableau 49 : Recherche de variables explicatives pour le symptôme « Nez bouché » par niveau d'intensité (nul, faible, moyen et fort) et par catégorie (présence ou absence). Les tests statistiques utilisés étaient des tests de Kruskal-Wallis (classes d'intensité) et de Wilcoxon (catégorie) pour les variables quantitatives et des tests de Fisher ou du Khi2 (quand les effectifs le permettaient, marqué par un astérisque) pour les variables qualitatives. 193
Tableau 50 : Recherche de variables explicatives pour le symptôme « Larmoiements » par niveau d'intensité (nul, faible, moyen et fort) et par catégorie (présence ou absence). Les tests statistiques utilisés étaient des tests de Kruskal-Wallis (classes d'intensité) et de Wilcoxon (fréquence) pour les variables quantitatives et des tests de Fisher ou du Khi2 (quand les effectifs le permettaient, marqué par un astérisque) pour les variables qualitatives. 198
Tableau 51 : Recherche de variables explicatives pour le symptôme « Maux de gorge » par niveau d'intensité (nul, faible, moyen et fort) et par catégorie (présence ou absence). Les tests statistiques utilisés étaient des tests de Kruskal-Wallis (classes d'intensité) et de Wilcoxon (fréquence) pour les variables quantitatives et des tests de Fisher ou du Khi2 (quand les effectifs le permettaient, marqué par un astérisque) pour les variables qualitatives. 204
Tableau 52 : Recherche de variables explicatives pour le symptôme « Toux » par niveau d'intensité (nul, faible, moyen et fort) et par catégorie (présence ou absence). Les tests statistiques utilisés étaient des tests de Kruskal-Wallis (classes d'intensité) et de Wilcoxon (fréquence) pour les variables quantitatives et des tests de Fisher ou du Khi2 (quand les effectifs le permettaient, marqué par un astérisque) pour les variables qualitatives. 209
Tableau 53 : Recherche de variables explicatives pour le symptôme « Fièvre » par niveau d'intensité (nul, faible, moyen et fort) et par catégorie (présence ou absence). Les tests statistiques utilisés étaient des tests de Kruskal-Wallis (classes d'intensité) et de Wilcoxon (fréquence) pour les variables

quantitatives et des tests de Fisher ou du Khi2 (quand les effectifs le permettaient, marqué par un astérisque) pour les variables qualitatives. 214
Tableau 54 : Recherche de variables explicatives pour le symptôme « Maux de tête » par niveau d'intensité (nul, faible, moyen et fort) et par catégorie (présence ou absence). Les tests statistiques utilisés étaient des tests de Kruskal-Wallis (classes d'intensité) et de Wilcoxon (fréquence) pour les variables quantitatives et des tests de Fisher ou du Khi2 (quand les effectifs le permettaient, marqué par un astérisque) pour les variables qualitatives. 220
Tableau 55 : Recherche de variables explicatives pour le symptôme « Douleurs musculaires » par niveau d'intensité (nul, faible, moyen et fort) et par catégorie (présence ou absence). Les tests statistiques utilisés étaient des tests de Kruskal-Wallis (classes d'intensité) et de Wilcoxon (fréquence) pour les variables quantitatives et des tests de Fisher ou du Khi2 (quand les effectifs le permettaient, marqué par un astérisque) pour les variables qualitatives. 225
Tableau 56 : Recherche de variables explicatives pour le symptôme « Douleurs resoiratoires » par niveau d'intensité (nul, faible, moyen et fort) et par catégorie (présence ou absence). Les tests statistiques utilisés étaient des tests de Kruskal-Wallis (classes d'intensité) et de Wilcoxon (fréquence) pour les variables quantitatives et des tests de Fisher ou du Khi2 (quand les effectifs le permettaient, marqué par un astérisque) pour les variables qualitatives. 231
Tableau 57 : Recherche de variables explicatives pour le symptôme « Besoin de cracher » par niveau d'intensité (nul, faible, moyen et fort) et par catégorie (présence ou absence). Les tests statistiques utilisés étaient des tests de Kruskal-Wallis (classes d'intensité) et de Wilcoxon (fréquence) pour les variables quantitatives et des tests de Fisher ou du Khi2 (quand les effectifs le permettaient, marqué par un astérisque) pour les variables qualitatives. 236
Tableau 58 : Recherche de variables explicatives pour le symptôme « Syndrome grippal » par niveau d'intensité (nul, faible, moyen et fort) et par catégorie (présence ou absence). Les tests statistiques utilisés étaient des tests de Kruskal-Wallis (classes d'intensité) et de Wilcoxon (fréquence) pour les variables quantitatives et des tests de Fisher ou du Khi2 (quand les effectifs le permettaient, marqué par un astérisque) pour les variables qualitatives. 241
Tableau 59 : Recherche de variables explicatives pour le symptôme « Sinusite » par niveau d'intensité (nul, faible, moyen et fort) et par catégorie (présence ou absence). Les tests statistiques utilisés étaient des tests de Kruskal-Wallis (classes d'intensité) et de Wilcoxon (fréquence) pour les variables quantitatives et des tests de Fisher ou du Khi2 (quand les effectifs le permettaient, marqué par un astérisque) pour les variables qualitatives. 246
Tableau 60 : Recherche de variables explicatives pour le symptôme « Sensation de malaise » par niveau d'intensité (nul, faible, moyen et fort) et par catégorie (présence ou absence). Les tests statistiques utilisés étaient des tests de Kruskal-Wallis (classes d'intensité) et de Wilcoxon (fréquence) pour les variables quantitatives et des tests de Fisher ou du Khi2 (quand les effectifs le permettaient, marqué par un astérisque) pour les variables qualitatives. 251
Tableau 61 : Recherche de variables explicatives pour le symptôme « Crise d'asthme » par niveau d'intensité (nul, faible, moyen et fort) et par catégorie (présence ou absence). Les tests statistiques utilisés étaient des tests de Kruskal-Wallis (classes d'intensité) et de Wilcoxon (fréquence) pour les variables quantitatives et des tests de Fisher ou du Khi2 (quand les effectifs le permettaient, marqué par un astérisque) pour les variables qualitatives. 257
Tableau 62 : Recherche de variables explicatives pour le symptôme « Gêne respiratoire » par niveau d'intensité (nul, faible, moyen et fort) et par catégorie (présence ou absence). Les tests statistiques utilisés étaient des tests de Kruskal-Wallis (classes d'intensité) et de Wilcoxon (fréquence) pour les variables quantitatives et des tests de Fisher ou du Khi2 (quand les effectifs le permettaient, marqué par un astérisque) pour les variables qualitatives. 262

Tableau 63 : Recherche de variables explicatives pour le symptôme « Démangeaisons » par niveau d'intensité (nul, faible, moyen et fort) et par catégorie (présence ou absence). Les tests statistiques utilisés étaient des tests de Kruskal-Wallis (classes d'intensité) et de Wilcoxon (fréquence) pour les variables quantitatives et des tests de Fisher ou du Khi2 (quand les effectifs le permettaient, marqué par un astérisque) pour les variables qualitatives. 267
Tableau 64 : Recherche de variables explicatives pour le symptôme « Eruption cutanées » par niveau d'intensité (nul, faible, moyen et fort) et par catégorie (présence ou absence). Les tests statistiques utilisés étaient des tests de Kruskal-Wallis (classes d'intensité) et de Wilcoxon (fréquence) pour les variables quantitatives et des tests de Fisher ou du Khi2 (quand les effectifs le permettaient, marqué par un astérisque) pour les variables qualitatives. 273
Tableau 65 : Recherche de variables explicatives pour le symptôme « Angoisse » par niveau d'intensité (nul, faible, moyen et fort) et par catégorie (présence ou absence). Les tests statistiques utilisés étaient des tests de Kruskal-Wallis (classes d'intensité) et de Wilcoxon (fréquence) pour les variables quantitatives et des tests de Fisher ou du Khi2 (quand les effectifs le permettaient, marqué par un astérisque) pour les variables qualitatives. 278
Tableau 66 : Recherche de variables explicatives pour le symptôme « Troubles du sommeil » par niveau d'intensité (nul, faible, moyen et fort) et par catégorie (présence ou absence). Les tests statistiques utilisés étaient des tests de Kruskal-Wallis (classes d'intensité) et de Wilcoxon (fréquence) pour les variables quantitatives et des tests de Fisher ou du Khi2 (quand les effectifs le permettaient, marqué par un astérisque) pour les variables qualitatives. 283
Tableau 67 : Synthèse des variables explicatives mises en évidence pour la présence ou le niveau d'intensité des différents symptômes observés chez les résidents. 289
Tableau 68 : Corrélation de Spearman entre les viabilités cellulaires des deux lignées exposées aux bioaérosols. 291
Tableau 69 : Corrélation de Spearman entre la viabilité des deux lignées cellulaires et les contaminants biologiques des bioaérosols. 292
Tableau 70 : Coefficients de corrélation de Spearman entre la production de cytokines par les cellules A549 exposées aux bioaérosols et les contaminants biologiques des bioaérosols. 295
Tableau 71 : Coefficients de corrélation de Spearman entre la production de cytokines par les cellules HaCaT exposées aux bioaérosols et les contaminants biologiques des bioaérosols. 296
Tableau 72 : Caractéristiques des suspensions de spores quantifiées par cytométrie de flux (billes de comptage, spores simples, spores en doublons, et concentration calculée) et par la cellule de Malassez. 297
Tableau 73 : Résultats de qPCR pour la détermination de la limite de quantification d'*A. versicolor*. 301
Tableau 74 : Bilan des essais de croissance et de production de mycotoxines en enceinte climatique. 308
Tableau 75 : Bilan des propriétés toxinogéniques et cytotoxiques des extraits fongiques en fonction des conditions de culture. 312
Tableau 76 : Caractéristiques et abondance moyenne des différentes molécules identifiées par l'approche non ciblée. 314
Tableau 77 : Résultats des analyses statistiques pour la recherche de différences significatives concernant la production des différents métabolites potentiels par *A. versicolor* selon les différentes conditions climatiques testées. 318
Tableau 78 : Liste des études culturales portant sur la microfonge des habitats. 324

I) Problématique : air intérieur, bioaérosols, contaminants fongiques et santé

I.1) La qualité de l'air en milieu intérieur : enjeux sanitaires et économiques

La qualité de l'air est un problème majeur dans les pays industrialisés. En effet, dans ces pays, on estime que les personnes passent de 80 à 90% de leur temps à l'intérieur de bâtiments (OMS 2009). Cette qualité de l'air peut se retrouver altérée par les phénomènes de confinement, par des problèmes d'humidité et la présence de polluants chimiques et/ou biologiques. Cette dégradation de la qualité de l'air dans les habitats pourrait ainsi conduire à une détérioration de la qualité de vie, et avoir un impact économique en termes de dépenses de santé et de frais de rénovation (OMS 2009, ANSES 2016). Dans une campagne de recensement des logements, menée par l'Observatoire de la qualité de l'air intérieur (OQAI) en 2003-2005, portant sur 567 logements censés représenter les 24 millions de résidences principales en France, l'estimation avait été faite qu'environ 37% des logements français seraient touchés par une contamination fongique, visible ou non (Dassonville *et al*. 2014).

Ces problèmes se sont accentués depuis le début des années 70 suite à l'augmentation du prix du pétrole, qui a conduit à des politiques de réduction des dépenses de chauffage et une augmentation de l'efficacité énergétique des bâtiments, le plus souvent en favorisant l'isolation des logements. Cette démarche s'est poursuivie depuis ces dix dernières années dans un souci de gestion durable des ressources énergétiques. Une étude récente portant sur 7 bâtiments à basse consommation énergétique a mis en évidence une qualité de l'air équivalente à celle des bâtiments standards. Cependant une vitesse de dégradation supérieure de la qualité de cet air au regard des polluants chimiques a pu être constatée lorsque la vitesse de renouvellement de l'air devenait insuffisante par rapport au volume d'air à traiter. Cette étude suggère donc une vulnérabilité de ce type de bâtiments aux polluants intérieurs en lien avec l'efficacité des ventilations mécanisées qui leur sont associées (Derbez *et al*. 2014).

Ces modifications de politiques énergétiques ont amené à développer des bâtiments dans lesquels le renouvellement de l'air est réduit, ce qui les rend plus sensibles aux problèmes d'humidité, créant un environnement idéal pour la prolifération des contaminants biologiques, en particulier pour les moisissures (Flannigan 1997, Derbez *et al*. 2014). La ventilation des bâtiments, qui est le plus souvent diminuée dans les bâtiments récents dans le but d'augmenter l'efficacité énergétique, est un facteur crucial de la pollution de l'air intérieur. En effet, cette ventilation permet à la fois un renouvellement de l'air et l'évacuation des polluants et de l'humidité de l'habitation (Dassonville *et al*. 2014). Cette pollution engendre **des problèmes**

de santé et une dégradation du bâti. Des revues se sont intéressées au coût en dépenses de santé liées à cette pollution : une revue de 2007 aux Etats-Unis (Mudarri et Fisk 2007) avance le chiffre 2,1 à 4,8 milliards de dollars par an (soit entre 0,14 et 0,33% du PIB du pays), tandis qu'une revue de 2013 en Finlande (Finska Riksgaden 2013) avance une dépense de santé de 450 millions d'euros par an pour ce pays, soit 0,17% de son PIB. Ces deux revues ne prennent en compte que l'aspect sanitaire du problème et non l'aspect matériel lié aux frais de rénovation des bâtiments dégradés, mais ces chiffres montrent néanmoins l'étendue des enjeux économiques liés à la problématique des habitats dégradés.

Cette pollution de l'air intérieur peut être divisée en plusieurs groupes selon sa nature :

- Les polluants particulaires, qui vont principalement provenir d'une pollution extérieure (gaz d'échappement, centrales thermiques, usines chimiques, …) ou plus rarement intérieure (chauffage au bois). L'effet des particules est directement lié à leur diamètre aérodynamique, qui va donner leur capacité à pénétrer dans l'arbre respiratoire. Les particules dont le diamètre aérodynamique est supérieur à 30 µm ayant de faibles chances de pénétrer dans les voies respiratoires. Les particules de 10 µm de diamètre sont considérées comme capables d'atteindre la trachée, tandis que les particules de 2,5 µm sont considérées comme étant capables d'atteindre les alvéoles pulmonaires (**Figure 1**).

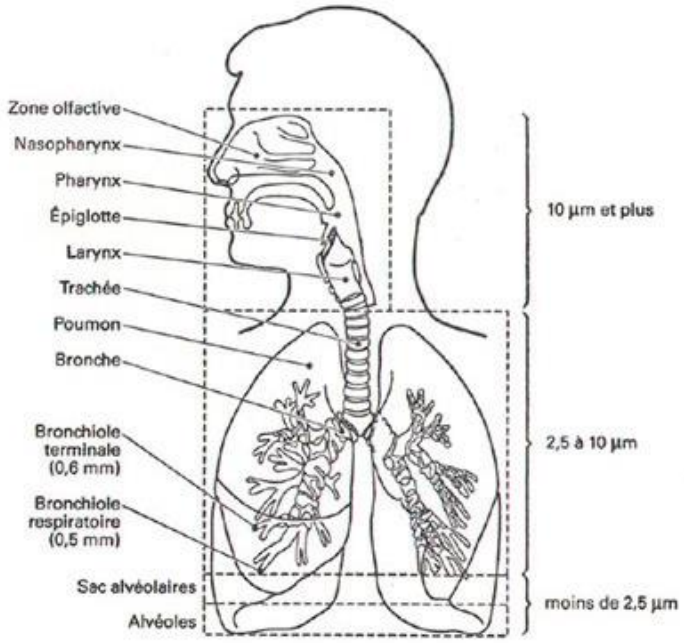


Figure 1 : Répartition des différentes particules dans l'arbre respiratoire selon leur taille (Source : Association de surveillance de la qualité de l'air en région Centre-Val de Loire, 2018).

- Les polluants chimiques, dont les sources peuvent être naturelles (radon) ou liées aux matériaux utilisés pour la construction (notamment le formaldéhyde pour le bois traité). Ces polluants peuvent également être apportés par l'extérieur, comme le dioxyde d'azote (NO_2) lié à la circulation dans les villes ou les pesticides liés à l'agriculture dans les campagnes. Certaines sources, comme la fumée du tabac, libèrent un nombre très important de polluants (plusieurs milliers) ainsi que des particules (Jones 1999).
- Les polluants microbiologiques qui constituent les **bioaérosols**. Ils proviennent principalement de l'air extérieur, mais peuvent ensuite proliférer en dégradant les matériaux de construction de l'habitat suite à des dégâts non pris en charges ou à des conditions climatiques favorables à leur développement. Nous aborderons les bioaérosols en détail dans le paragraphe I.2.

Il n'existe actuellement pas en France de normes encadrant la qualité microbiologique de l'air dans les habitats (ANSES 2016) et la question de la contamination de l'habitat par les moisissures reste très peu prise en compte dans le cadre de la salubrité des logements. On distingue plusieurs termes pour désigner des problèmes liés au « mal logement » :

- L'habitat **insalubre** est défini comme pouvant porter atteinte à la vie ou à la santé des résidents. Cette catégorie regroupe donc des habitats posant des problèmes du point de

vue de l'exposition à des dangers connus. L'évaluation de l'état d'insalubrité se base sur plusieurs critères, dont notamment : l'éclairage naturel des pièces principales, la structure du logement (organisation et dimension des pièces, isolant photonique, état des surfaces), les facteurs de risques spécifiques (installations générant de la combustion, conformation générant un risque de chute, présence de toxiques tels que des peintures au plomb ou de l'amiante), l'humidité et l'aération des pièces, les équipements installés (alimentation en eau potable, évacuation des eaux usées, électricité, chauffage, cuisine, WC, salles d'eau) et l'usage et l'entretien des lieux (propreté, sur-occupation de l'espace).

- L'habitat **indigne** est défini comme portant atteinte à la dignité humaine. Ce terme englobe donc également les logements insalubres et les locaux impropres à l'habitation. Cette catégorie regroupe donc principalement des habitats posant des problèmes du point de vue de l'hygiène et de l'habitabilité (état de l'habitat précaire). Il ne concerne pas en revanche les habitats vétustes, inconfortables ou indécents.
- L'habitat **indécent** est défini comme soulevant des problèmes concernant la sécurité physique et la santé des résidents. Cette catégorie concerne donc principalement des habitats posant des problèmes du point de vue du confort et de l'entretien.

Dans ce travail de thèse nous parlerons d'**habitat dégradé** défini comme un lieu d'habitation présentant une humidité engendrant la **présence de moisissures apparentes et persistantes**. Il tendrait à rejoindre les catégories des habitats indécents (à cause de l'inconfort généré par cette contamination de l'air et des surfaces) ou indignes (à cause des problèmes de santé liés à l'exposition constante aux polluants microbiologiques). Les habitats touchés par la mérule (*Serpula lacrymans*) ou d'autres champignons lignivores (*Coniophora* ou *Donkioporia* par exemple) peuvent également être classés dans la catégorie de l'habitat insalubre, en raison des dommages aux structures que peuvent causer ces espèces dégradant le bois et les matériaux connexes, ce qui peut créer de réels dangers physiques pour les résidents en raison, par exemple, de la fragilisation des planchers et des escaliers touchés.

La prise en compte des problèmes de moisissures dans les habitats est très différente selon le pays concerné :

- En Suède, cette contamination est prise en compte d'un point de vue qualitatif et non quantitatif. L'évaluation est faite par un inspecteur qualifié de la mairie qui relève la présence de moisissures dans l'habitation ainsi que d'autres facteurs influençant la

qualité de l'air (contrôle des installations de ventilation, traces d'humidité, condensation d'eau sur les fenêtres, taux d'humidité dans l'air à 21°C, …). Cette inspection peut donner lieu à des exigences concernant des travaux de remédiation. Un suivi est également organisé pour contrôler la mise en œuvre des travaux et l'amélioration de la qualité de l'air, et la déclaration de problèmes d'humidité et/ou de moisissures est obligatoire dans le cadre de la vente ou de la location de logements. L'amorçage de la démarche dépend néanmoins du locataire à l'aide d'un système de plainte alertant les services de la mairie, ce qui peut générer des soucis quant à l'identification des problèmes et des dysfonctionnements de l'habitation.

- En Finlande, le système est très similaire à celui employé en Suède, avec une possibilité pour les services municipaux de la protection de la santé d'intervenir et d'évaluer les risques sanitaires d'un logement suspecté d'avoir des conséquences négatives sur la santé des résidents, pour ensuite imposer des mesures de remédiation au propriétaire. L'intervention de l'inspecteur est amorcée par les locataires suite au dépôt d'une plainte, et donne lieu à une première visite (souvent visuelle) gratuite. L'inspecteur décide alors si d'autres visites seront nécessaires pour compléter l'inspection et/ou contrôler les travaux de remédiation. Ces visites supplémentaires sont financées par le propriétaire.
- Au Danemark, les locataires et propriétaires ont la possibilité de faire appel à leur municipalité pour évaluer la situation de leurs logements. La visite est réalisée par un inspecteur certifié qui va classer les résultats selon trois catégories : une situation de menace évidente pour la santé et la sécurité (qui exige une remédiation immédiate et peut conduire à décréter une interdiction d'occuper les lieux), une absence de menace évidente pour la santé et la sécurité (qui donne lieu à des recommandations sur les manières de traiter le problème) ou une contamination mineure par les moisissures (pour laquelle aucune recommandation ou intervention n'est faite).
- Au Portugal, des inspections relevant la concentration des particules fongiques viables dans l'air ont été mises en place pour relever des situations anormales de prolifération de moisissures. Cette situation anormale a été définie comme correspondant à la présence de plus de 1000 particules fongiques viables par m^3 d'air, avec de plus des concentrations maximales de certains groupes d'espèces :

    - 500 particules fongiques viables par m^3 d'air pour les espèces considérées comme communes (*Cladosporium* spp, *Penicillium* spp, …),

- 50 particules fongiques viables par m^3 pour les espèces considérées comme rares (*Acremonium* spp, *Chrysonilia* spp, …),

- 12 particules fongiques viables par m^3 par espèce pour toutes les espèces considérées comme toxiques (*Aspergillus versicolor*, *Trichoderma viride*, *Stachybotrys chartarum*, …),

- une absence totale des espèces pathogènes (*Cryptococcus neoformans*, *Histoplasma capsulatum*, …).

- Au Québec, les logements touchés par les moisissures peuvent être signalés à l'autorité locale par les résidents, qui vient inspecter le logement et peut par la suite faire appel à des experts externes pour évaluer et remédier aux problèmes de moisissures et d'humidité du logement. Il n'existe en revanche aucun système de certification des experts, ce qui donne lieu à des prestations de qualité très variable.
- Au Canada et dans la ville de New York, une évaluation des surfaces contaminées est utilisée pour classer la contamination fongique selon 3 catégories : faible (moins de 0,3 à 1 m^2), moyenne (1 à 3 m^2) ou élevé (3 à 9,3 m^2).

Certains pays ont également mis en place des démarches de prévention pour compléter cette prise en charge et éviter les problèmes de moisissures dans le bâti : en Suède, un système de réduction d'impôts a été mis en place pour permettre l'entretien et la rénovation des logements suivant des problèmes identifiés, et des démarches permettant de construire des bâtiments sains sont recommandées par les instances publiques. D'autres types de mesures existent également. Au Pays-Bas, une commission a le pouvoir de faire baisser les loyers de logements touchés par des problèmes de moisissures ou d'humidité dans le cas où le propriétaire refuse de mettre en œuvre les travaux de remédiation exigés.

En France, plusieurs acteurs publics sont amenés à être confrontés au problème des moisissures dans les logements :

- Les Services Communaux d'Hygiène et de Santé (SCHS), qui sont au nombre de 208 en France, sont des services présents dans les villes de plus de 20000 habitants (2000 en cas de présence d'un établissement thermal), et travaillent avec les acteurs de terrains des villes (services municipaux, associations locales, …) pour faire appliquer les dispositions du code de santé publique, du code de l'environnement, du code de la construction et de l'habitat ainsi que du règlement sanitaire départemental. Dans le

cadre de cette mission, ils répondent à des signalements de la part des locataires jugeant leurs situations anormales (Rapport IGAS 2009). Ces signalements donnent lieu à des visites par des agents qualifiés dans le but d'évaluer la situation et de relever d'éventuels irrégularités par rapport aux règles des codes précédemment évoquées (habitat insalubre, présence de plomb ou d'amiante, présence de nuisibles, …). Les SCHS s'appuient sur les pouvoirs de police du maire de leur commune.

- Les Conseillers Médicaux en Environnement Intérieur (CMEI) sont des personnels médicaux formés à la gestion de la qualité de l'air intérieur et intervenant sur prescription du médecin (principalement dans le cadre des patients asthmatiques). Les CMEI effectuent des visites dans les habitats pour relever un certain nombre de paramètres sur la qualité de l'air dans le logement (température, humidité relative, ventilation, recherche de polluants chimiques ou biologiques, …) et conseillent les résidents sur l'hygiène de vie à adopter pour améliorer la qualité de l'air intérieur.
- Les Agences Régionales de Santé (ARS) sont des institutions publiques qui ont pour mission de superviser la politique de santé pour la région qui est à leur charge. Dans le domaine de la qualité de l'air des logements, elles interviennent en vertu de leurs missions de veille sanitaire et de santé environnementale.

Ces différents intervenants s'appuient sur la législation existante en matière de droit au logement pour justifier leurs interventions. Malheureusement, en France, aucune loi n'encadre la présence quantitative de moisissures dans les logements. La seule action dans laquelle la présence de moisissures intervient concerne le classement de l'habitat en habitat insalubre, procédure englobant un certain nombre de critères (cités précédemment) à l'origine d'un danger pour la santé des résidents. La présence de moisissures dans l'habitat peut ainsi constituer un facteur d'insalubrité dans la mesure où l'expert peut démontrer que leur présence est liée à un défaut d'entretien de la part du propriétaire ou un défaut structurel du logement. Seuls les SCHS et les ARS disposent du pouvoir de signaler un bâtiment insalubre. Un rapport est alors rempli et transmis à la préfecture, qui peut décréter selon le cas un arrêté d'insalubrité remédiable (qui peut être levé si les travaux prescrits par l'arrêté sont réalisés dans les délais indiqués) ou irrémédiable (pour lesquels les travaux de résorption de l'insalubrité ne sont pas envisageables ou plus coûteux que la reconstruction du logement).

Cette absence de valeurs indicatrices par rapport à la présence des moisissures dans l'habitat est un sujet d'inquiétude pour les instances de santé, notamment en regard des

connaissances actuelles sur l'impact de ces polluants biologiques sur la santé humaine (ANSES 2016). Il manque ainsi des indicateurs pertinents et des méthodes d'analyse de l'air fiables et standardisées pouvant permettre de définir des valeurs guides d'exposition aux moisissures aéroportées.

I.2) Les bioaérosols

Les polluants microbiologiques de l'air intérieur forment un ensemble complexe que l'on nomme bioaérosols. Ces derniers se composent de plusieurs catégories d'organismes très différents :

- les virus
- les bactéries et endotoxines
- les moisissures
- les mycotoxines
- les glucanes
- les acariens
- les pollens
- les composés organiques volatils microbiens

I.2.1) Les virus

Les virus sont des agents biologiques de petite taille (généralement comprise entre 20 et 300 nm) capables d'infecter des organismes vivants et pouvant détourner leur machinerie cellulaire pour assurer leur multiplication et leur dissémination.

Les virus se composent habituellement d'une capsule protéique (l'enveloppe) contenant le matériel génétique du virus (de l'ARN ou de l'ADN, simple ou double brin) et le matériel nécessaire à l'infection des cellules hôtes. La **Figure 2** montre l'organisation et les principaux composants du virus de la grippe.

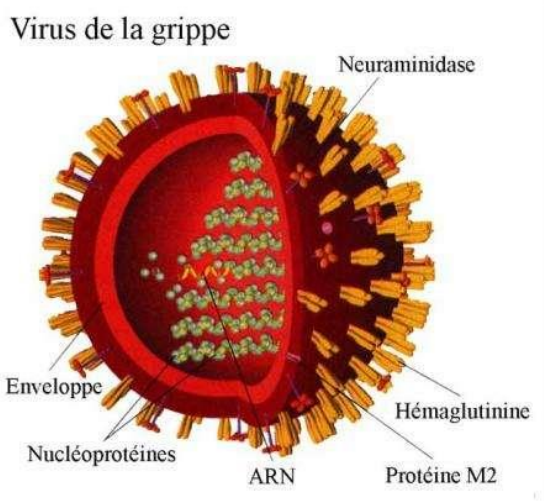


Figure 2 : Représentation schématique du virus de la grippe. (Source : Futura-Sciences / ministère de la santé, 2018).

La partie virale des bioaérosols des habitats dégradés est très peu documentée, principalement en raison des problèmes méthodologiques liés à leur étude, en comparaison à celle des autres microorganismes de l'air. La plupart des collecteurs classiques utilisés à ce jour sont jugés comme disposant d'un temps de prélèvement trop court pour collecter des volumes d'air suffisants pour l'étude des virus et se révèlent inefficaces pour capturer efficacement des particules de la taille inférieure au micron. Leur étude après collecte pose également problème, les méthodes culturales étant lourdes à mettre en œuvre tandis que les méthodes non culturales (tests immunologiques ou PCR) se révèlent moins discriminantes (Fabian *et al*. 2009 ; Farnsworth *et al*. 2006). Les virus les plus courants dans l'air sont les virus causant des gastroentérites (principalement des Rotavirus, des Astrovirus, des virus de Norwalk et des Calicivirus) et des infections respiratoires (avec le virus de la grippe et les Rhinovirus en tête de liste, suivis des Coronavirus et des virus respiratoires syncytiaux). Les Rotavirus et les virus respiratoires syncytiaux (VRS) en particulier sont des virus particulièrement actifs lors de l'hiver (Barker *et al*. 2001).

I.2.2) Les bactéries et endotoxines

Les bactéries sont des organismes microscopiques procaryotes. Il existe plus de 10000 espèces de bactéries connues à ce jour, mais leur nombre réel est probablement bien supérieur. La grande diversité des bactéries leur permet d'être ubiquistes, et d'occuper une place importante dans la plupart des cycles biologiques. Les bactéries sont naturellement présentes dans les

microbiotes humains, ainsi on estime que la peau de l'Homme abrite environ 10^{12} bactéries contre 10^{15} pour son tube digestif (Todar 2018). Les bactéries sont classées en bactéries à Gram positif ou Gram négatif selon la nature de leur paroi cellulaire. Les bactéries peuvent être retrouvées dans l'air et/ou les poussières.

Les bactéries à Gram négatif disposent de la particularité de produire des endotoxines constituées de lipopolysaccharides (LPS). Ces molécules de haut poids moléculaires sont responsables des propriétés antigéniques des bactéries dont elles sont des constituants de la paroi cellulaire et sont composées de trois parties (**Figure 3**) :

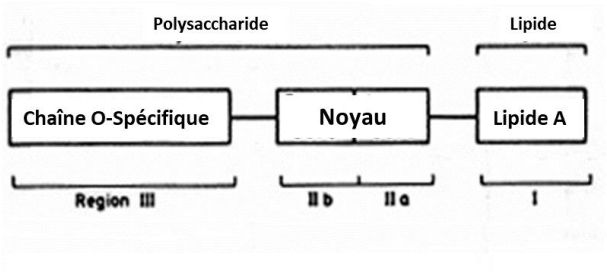


Figure 3 : Schéma général de la structure des lipolysaccharides (Source : Todar 2018).

- Le lipide A, qui constitue la partie ancrée à la paroi bactérienne et qui est responsable de la toxicité de cette molécule. Il se compose d'un dimère de N-acétylglucosamine phosphorylée auquel sont attachés des acides gras saturés. Cette structure est hautement conservée chez les bactéries et rend la molécule hydrophobe.
- Le noyau, qui se compose d'une courte série de sucres attachés à l'une des N-acétylglucosamine.
- La chaîne O-spécifique, qui est rattachée au noyau, et qui se compose de répétitions d'oligosaccharides, rendant cette partie de la molécule fortement hydrophile. La nature des oligosaccharides varie selon l'espèce bactérienne voire même entre les souches bactériennes d'une même espèce, et constitue un déterminant antigénique majeur de cette molécule.

Les endotoxines sont très résistantes à la chaleur, supportant par exemple une température de 170°C pendant 7 heures en chaleur sèche avant d'être dégradées (Todar 2018).

Au niveau de l'air, une étude utilisant des prélèvements d'air par impaction sur gélose a permis de mettre en évidence des taux de bactéries à Gram positif à l'intérieur des habitations

supérieurs à ceux de l'air extérieur (Moschandreas *et al*. 2003). Une autre étude utilisant des impacteurs sur gélose dans des habitats dégradés a permis de relever des concentrations moyennes de bactéries dans l'air de 917 bactéries par m^3 d'air, avec une prédominance des genres *Bacillus*, *Staphylococcus* et *Micrococcus* (Jones 1999). Si peu d'études ont été réalisées sur la présence des bactéries dans les milieux aériens, leur présence dans les poussières et sur les surfaces a été étudiée. Une étude menée sur l'environnement intérieur a mis en évidence une relation entre les espèces retrouvées sur les surfaces des habitats et celles du microbiote de la peau des habitants (Lax *et al*. 2014). L'étude a ainsi relevé une présence importante de firmicutes et d'actinobactéries dans les habitats, avec également la présence de Protéobactéries quand des animaux de compagnie étaient présents dans les habitations étudiées. Park *et al*. (2015) ont déterminé en étudiant les poussières d'un immeuble avec un historique de dégâts des eaux, une association entre la présence importante d'actinobactéries et la réduction de la capacité respiratoire, tandis que la présence de mycobactéries était associée à des symptômes de type asthme. Dans leur étude, les genres bactériens *Arthrobacter*, *Bacillus*, *Brevibacterium*, *Cellulomonas*, *Cellulosimicrobium*, *Kocuria*, *Microbacterium*, *Micrococcus*, *Ralstonia*, *Rhodoccoccus* et *Staphylococcus* ont été identifiés, et les genres les plus prévalents étaient *Bacillus* (98%) et *Micrococcus* (33%). Dans une autre étude, Pertola *et al*. (2001) ont trouvé dans des habitats dégradés les genres *Bacillus*, *Streptomyces* et *Nocardiopsis*. Certaines bactéries sont également capables de produire des toxines. Par exemple, *Staphylococcus aureus*, une bactérie retrouvée sur la peau, est capable de produire un grand nombre de toxines comme l'alpha-toxine (une toxine hémolytique) ou encore les phénol-solubles modulines (PSM), des toxines produites par la plupart des bactéries de ce genre et constituant un facteur de virulence lors des infections par *Staphylococcus aureus* (Otto 2014). On retrouve également des productions de toxines dans d'autres genres bactériens, comme par exemple le genre *Bacillus* et plus particulièrement l'espèce *B. cereus* qui est responsable de toxi-infections alimentaires (ANSES 2011).

I.2.3) Les moisissures

Les champignons sont des organismes eucaryotes appartenant aux Opisthocontes (*Opisthokonta*). Ils sont dépourvus de chlorophylle, contiennent de la chitine dans leurs parois, de l'ergostérol dans leurs membranes, et possèdent un mode de nutrition hétérotrophe en jouant un rôle important dans le recyclage de la matière organique. Le terme moisissures regroupe de

manière artificielle un ensemble de champignons microscopiques (micromycètes) filamenteux qui se répartissent dans plusieurs taxa de la division des Eumycètes (*Eumycota*) :

- Les Chytridiomycètes (*Chytridiomycota*) qui sont présents en milieu aquatique.
- Les Zygomycètes (*Zygomycota*) : il s'agit d'un embranchement d'espèces caractérisées par la présence d'un mycélium cœnocytique (non cloisonné).
- Les Ascomycètes (*Ascomycota*) : il s'agit d'un vaste embranchement d'espèces produisant des spores (ascospores) regroupées dans des asques.
- Les Basidiomycètes (*Basidiomycota*) : il s'agit d'un embranchement d'espèces produisant des spores (basidiospores) portées par des basides.
- Les Gloméromycètes (*Glomeromycota*) qui interagissent avec les racines des plantes (mycorhizes).

Les micromycètes appartenant aux Zygomycètes et aux Ascomycètes constituent les principaux groupes retrouvés en milieu intérieur. Certains champignons lignivores appartenant aux Basidiomycètes sont également présents.

En raison de la capacité de certaines espèces à dégrader la cellulose et la lignine, les moisissures jouent un rôle central dans la dégradation des habitats soumis à des problèmes d'humidité (Eduard 2009). Les dégâts des eaux, notamment les inondations, sont connues pour favoriser grandement le développement des moisissures dans les habitats, même après rénovation (Yang *et al*. 2016). Les moisissures produisent des spores pour se reproduire et conquérir de nouveaux espaces. Ces spores sont des particules disposant d'une taille aérodynamique de 2 à 200 µm, mais la plupart de celles produites par les espèces récurrentes des habitats dégradés (*Aspergillus spp*, *Penicillium spp* et *Alternaria spp*) produisent des spores dont le diamètre aérodynamique est compris entre 2 et 20 µm. Le faible diamètre aérodynamique de ces spores leur permet de rester dans l'air pendant des temps prolongés, ce qui pose des problèmes dans les habitats mal ventilés. Comme illustré sur la **Figure 4** qui présente le développement d'une moisissure de type *Penicillium*, une fois que la conidie se dépose sur un milieu disposant de conditions d'humidité relative, de température et de nutriments convenables, elle germe pour donner naissance à du mycélium et ainsi à une nouvelle colonie, qui pourra par la suite sporuler à son tour… La réserve naturelle de spores de champignons est ubiquitaire, notamment au niveau du sol et de la matière végétale en décomposition, leur légèreté leur permettant d'être transportées sur de longues distances suivant les conditions météorologiques. Par exemple, pour *Aspergillus fumigatus*, une espèce retrouvée à des taux faibles dans l'air mais capable de causer des

infections sévères chez les personnes immunodéprimées, les centrales de compostages constituent des biotopes favorables dans lesquels cette moisissure peut se multiplier abondamment en raison de sa capacité à croître efficacement à des températures élevées. Ces usines de compostages soulèvent une question de santé publique en raison de la dissémination possible de spores de cette moisissure lors des périodes de grands vents, pouvant transporter à plus de 200 mètres des quantités importantes de spores (Schlosser *et al*. 2016).

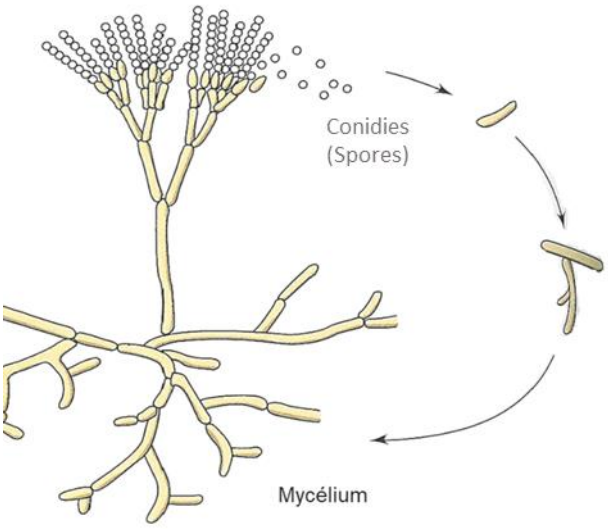


Figure 4 : Représentation schématique du cycle de dissémination d'un champignon du genre *Penicillium*. (Source : Madingan et Martino 2007).

L'exposition aux moisissures dans les habitats dégradés est constituée, en plus des spores de champignons, par une part importante de fragments de mycélium qui est généralement sous-estimée (Seo *et al*. 2015 ; Yang *et al*. 2016). Ces fragments de mycélium présentent un risque supplémentaire pour la santé, étant produits en grande quantité (Seo *et al*. 2015) et pouvant pénétrer plus profondément dans l'arbre pulmonaire lors de l'inspiration (Seo *et al*. 2009, Reponen *et al*. 2007).

Un nombre important d'études sur les moisissures aéroportées permet d'avoir un certain recul sur les genres fongiques présents dans l'air intérieur et extérieur (Cabral 2010) ainsi que sur les matériaux de construction ou de rénovation (Andersen *et al*. 2011). Le développement des moisissures dans les habitats est affecté par plusieurs facteurs. Parmi eux, l'humidité occupe une place centrale. En effet, la plupart des moisissures nécessitent une hygrométrie relativement importante pour se développer. Ainsi, les espèces les plus hygrophiles, comme *Stachybotrys chartarum*, vont nécessiter des activités de l'eau (Aw) au niveau de la surface du matériau

proches de 1, tandis que les plus tolérantes, comme certaines espèces du genre *Aspergillus*, vont pouvoir se développer à des Aw minimales de 0,71 (Ayerst 1969). Dans les habitats, ces seuils peuvent facilement être atteints dans les cas d'infiltrations d'eau dans l'habitation (fuites de la tuyauterie, manque d'étanchéité des murs ou du toit, …) ou à cause de sources internes (présence de condensation liée à des ponts thermiques ou des eaux de lavage, …) (ANSES 2016).

Le chauffage de l'habitation joue également un rôle central dans les risques de développement des moisissures. Dans un logement chauffé, l'air chaud évacue naturellement l'humidité de l'air vers l'extérieur et évite la condensation de l'eau sur les surfaces. La précarité énergétique contribue donc à ce problème, limitant les possibilités des résidents pour maintenir une température convenable dans leur logement et augmentant ainsi les risques de développement de moisissures (ANSES 2016).

D'autres facteurs contribuent également de manière indirecte ou directe au risque de prolifération des moisissures : la sur-occupation des logements (en causant une augmentation de l'humidité intérieure produite et une dégradation de la qualité de l'air intérieur), certains comportements (comme le lavage et séchage du linge à l'intérieur ou l'absence d'ouverture des fenêtres) et le taux de renouvellement de l'air (une ventilation trop faible empêchant l'humidité de l'habitat d'être évacuée).

Certains matériaux sont de plus connus pour être plus vulnérables au développement des moisissures, principalement en raison de l'Aw qui leur est spécifique, de leur structure et de leurs composants. Ainsi, les matériaux comme le contreplaqué ou le papier peint, qui sont des matériaux captant facilement l'humidité et renfermant de la cellulose potentiellement dégradable par les moisissures, constitueront des substrats particulièrement efficaces pour supporter la croissance fongique. Au contraire les substrats inertes, comme le carrelage ou le verre, seront généralement exempts de colonisation (ANSES 2016).

Au niveau de l'air extérieur, *Cladosporium* représente le genre fongique le plus représenté, suivi par les genres *Penicillium*, *Aspergillus* et *Alternaria*. *Cladosporium herbarum* est l'espèce la plus fréquemment retrouvée dans la littérature et suivie par le Réseau National de Surveillance Aérobiologique (RNSA) pour son potentiel allergène (Beguin et Nolard 1994). Que ce soit pour l'air intérieur ou extérieur, des variations saisonnières dans les teneurs en moisissures aéroportées ont été observées par les différents auteurs (Beguin et Nolard 1994, Bex *et al.* 2006, Pasanen *et al.* 1992).

Les analyses des matériaux contaminés dans des habitats dégradés ont permis de mettre en évidence la présence majoritaire de *Penicillium chrysogenum* et d'*Aspergillus versicolor* (Andersen *et al.* 2011 ; Verdier *et al.* 2014 ; Yang *et al.* 2016). Différentes associations de micromycètes ont également été retrouvées selon les types de matériaux prélevés :

- Sur le plâtre et le papier peint : *Acremonium spp, Penicillium chysogenum, Stachybotrys spp, Ulocladium spp*. D'autres espèces fongiques sont également connues pour pouvoir dégrader ces matériaux : *Aspergillus flavus, Aspergillus niger, Aureobasidium pullulans, Chaetomium spp, Penicillium funiculosum, Penicillium luteum, Stachybotrys chartarum* et *Trichoderma spp*.
- Sur le bois et le contreplaqué : *Arthrinium phaeospermum, Aureobasidium pullulans, Cladosporium herbarum, Trichoderma spp*. Ces supports sont également très sensibles à la contamination par les espèces des genres *Aspergillus*, *Cladosporium*, *Penicillium* et *Trichoderma* (Yang *et al.* 2016).
- Sur le béton : *Aspergillus fumigatus, Aspergillus melleus, Aspergillus niger, Aspergillus ochraceus, Chaetomium spp, Mucor racemosus, Mucor spinosus*.
- Sur la fibre de verre : *Aspergillus versicolor* et *Penicillium chrysogenum* ont été démontrés comme étant capable de se développer sur ce milieu (Yang *et al.* 2016).

Au niveau de l'air intérieur des habitats dégradés, un certain nombre de champignons ont été décrits comme étant présents de manière récurrente dans les habitats : principalement les genres *Aspergillus, Penicillium* et *Cladosporium*, ainsi que quelques espèces des genres *Acremonium, Alternaria* et *Stachybotrys*. Un certain nombre de Basidiomycètes, notamment *Serpula lacrymans* et *Donkioporia expansa*, sont parfois retrouvés dans les habitats souffrant de problèmes d'humidité (Pottier *et al.* 2014). Parmi ces différents genres fongiques, les genres *Aspergillus*, *Penicillium* et *Cladosporium* produisent des spores sèches facilement aérosolisables, qui restent en suspension dans l'air pendant un temps relativement long, tandis que les genres *Alternaria*, *Stachybotrys* et *Ulocladium* produisent des spores humides qui passent moins facilement et persistent moins longtemps dans l'air. Ce phénomène influe grandement l'impact de ces différentes espèces fongiques dans la problématique de l'exposition des résidents à cette pollution (Andersen 2011).

La taille de la plupart des spores varie de 2 à 200 µm (**Figure 5**), leur permettant de se déposer dans les voies respiratoires supérieures, et même dans les alvéoles pour les spores de taille inférieure à 10 µm (Górny 2004 ; Martinez *et al.* 2004 ; Stetzenbach *et al.* 2004).

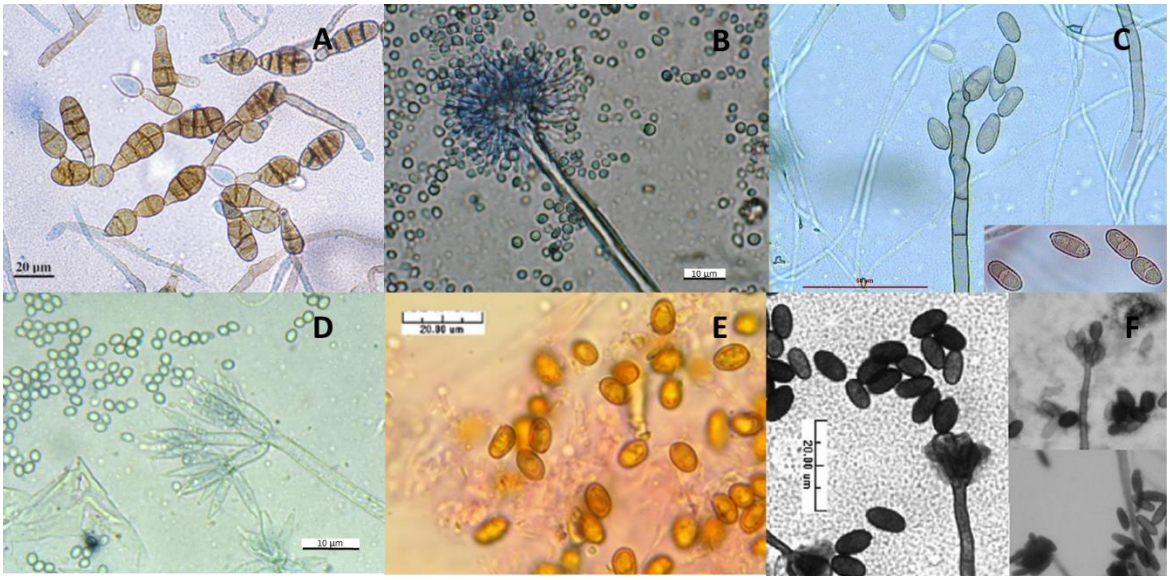


Figure 5 : Exemples de spores fongiques de différentes espèces identifiées dans les habitats dégradés : *Alternaria alternata* (A), *Aspergillus versicolor* (B), *Cladosporium herbarum* (C), *Penicillium chrysogenum* (D), *Serpula lacrymans* (E), *Stachybotrys chartarum* (F) (Source : MYCOTA).

Le genre *Acremonium* est un genre fongique de l'embranchement des Ascomycètes contenant une centaine d'espèces, dont nombre d'entre elles sont des saprophytes disposant d'un fort potentiel cellulolytique. Au niveau des habitats dégradés, *Acremonium strictum* (**Figure 6**) est l'espèce la plus fréquemment décrite pour ce genre fongique (Begin et Nolard 1994 ; ANSES 2016).

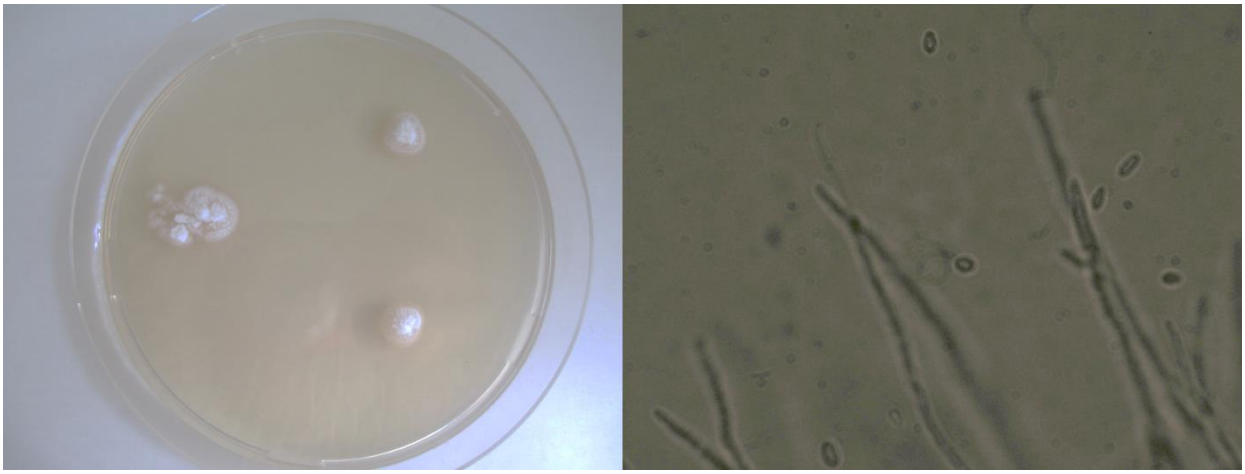


Figure 6 : Aspect macroscopique sur milieu MEA (à gauche) et microscopie au grossissement 1000 (à droite) d'*Acremonium strictum* (Source : laboratoire ToxEMAC, Delanoë).

Le genre *Alternaria* est un genre fongique appartenant à l'embranchement des Ascomycètes et connu pour être un facteur allergisant majeur, en particulier dans les phénomènes d'asthme sévère et d'exacerbation de l'asthme dans les environnements contaminés par les spores de cette moisissure (Salo *et al.* 2005). De nombreuses espèces de ce genre fongique sont également connues pour être des agents pathogènes des plantes, et/ou sont capables de causer des infections chez les personnes immunodéprimées. Certaines espèces, dont *Alternaria alternata* (**Figure 7**), l'espèce la plus fréquemment retrouvée dans les habitats, sont capables de produire des mycotoxines dont l'alternariol (Woundenberg *et al.* 2013).

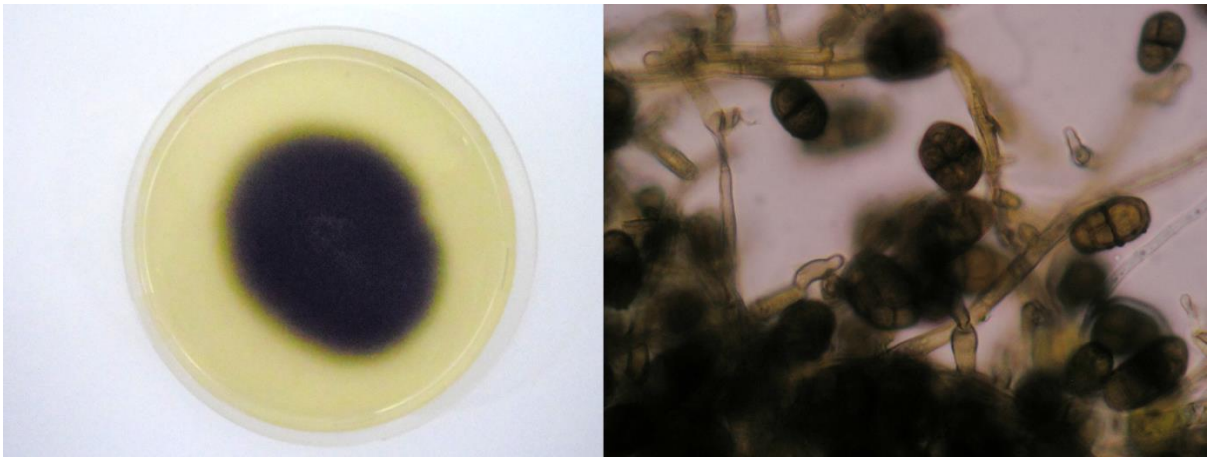


Figure 7 : Aspect macroscopique sur milieu MEA (à gauche) et microscopique au grossissement 1000 (à droite) d'*Alternaria alternata* (Source : laboratoire ToxEMAC, Delanoë).

Le genre *Aspergillus* est un genre fongique appartenant à l'embranchement des Ascomycètes rassemblant plus de 170 espèces, dont de nombreuses espèces sont retrouvées de manière courante dans l'air extérieur (*Aspergillus fumigatus* ou *A. versicolor* par exemple). De plus, un nombre important d'espèces appartenant à ce genre fongique sont capables de produire des mycotoxines et/ou de causer des infections chez les personnes immunodéprimées (Piérard *et al.* 2005).

- *Aspergillus flavus* (Figure 8, A et B) est une espèce saprophyte qui a été largement décrite suite à des événements d'intoxications alimentaires, et qui constitue la seconde espèce la plus décrite lors des cas d'aspergillose respiratoire invasive (Piérard *et al.* 2005). Il s'agit d'une espèce saprophyte de nombreuses céréales, principalement le maïs, capable de produire de nombreuses mycotoxines dont l'aflatoxine B_1, un puissant cancérogène hépatique, et qui est considérée comme étant la plus toxique des membres de cette famille de composés chimiques (De Lucca *et al.* 2012).
- *Aspergillus fumigatus* (Figure 8, C et D) est une espèce saprophyte ubiquitaire jouant un rôle écologique dans les cycles du carbone et de l'azote, et est facilement isolée du sol et des végétaux en décomposition. Cette espèce fongique, qui peut être retrouvée dans l'air en milieu hospitalier (Heutte *et al.* 2017), est l'une des principales espèces causant des infections, principalement chez les patients immunodéprimés et / ou atteints de cancers, et se révélant difficile à diagnostiquer (Latgé 1999 ; Piérard *et al.* 2005). Cette espèce fongique est responsable de 80% des aspergilloses pulmonaires et constitue une cause importante de morbidité et de mortalité chez les patients immunodéprimés (Walsh *et al.* 2008).
- *Aspergillus versicolor* (**Figure 8**, E et F) est l'espèce la plus décrite dans les habitats les plus dégradés. Cette espèce est capable de produire de la stérigmatocystine, une mycotoxine cancérogène et cytotoxique (Versilovskis et De Saeger 2010). Une expérience évaluant la réponse inflammatoire de souris à des concentrations élevées de spores de cette espèce a démontré une augmentation significative de TNFα et IL-6 dans le liquide de lavage bronchoalvéolaire 24 heures après exposition (Jussila *et al.* 2002). D'autres expositions intra-trachéales de rats à des suspensions de spores de cette espèce pendant 1 mois ont également montré l'apparition de lésions granulomateuses au niveau du tissu pulmonaire (ANSES 2016).

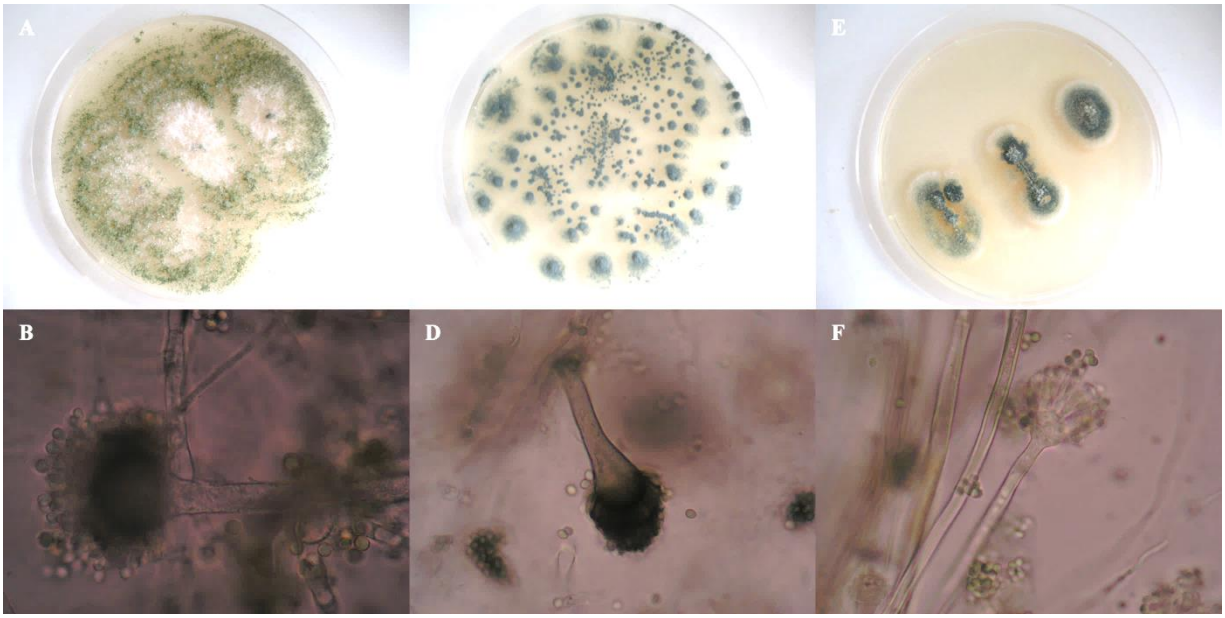


Figure 8 : Aspect macroscopique et microscopique de différentes espèces du genre *Aspergillus* : *Aspergillus flavus* sur milieu MEA (A) et au grossissement 1000 (B), *Aspergillus fumigatus* sur milieu MEA (C) et au grossissement 1000 (D) et *Aspergillus versicolor* sur milieu MEA (E) et au grossissement 1000 (F) (Source : laboratoire ToxEMAC, Delanoë).

Le genre *Cladosporium* (**Figure 9**) est un genre fongique appartenant aux Ascomycètes et fréquemment identifié dans l'air aussi bien intérieur qu'extérieur. Trois espèces sont fréquemment retrouvées lors de ces études : *Cladosporium cladosporioides*, *C. herbarum* et *C. sphaerospermum*.

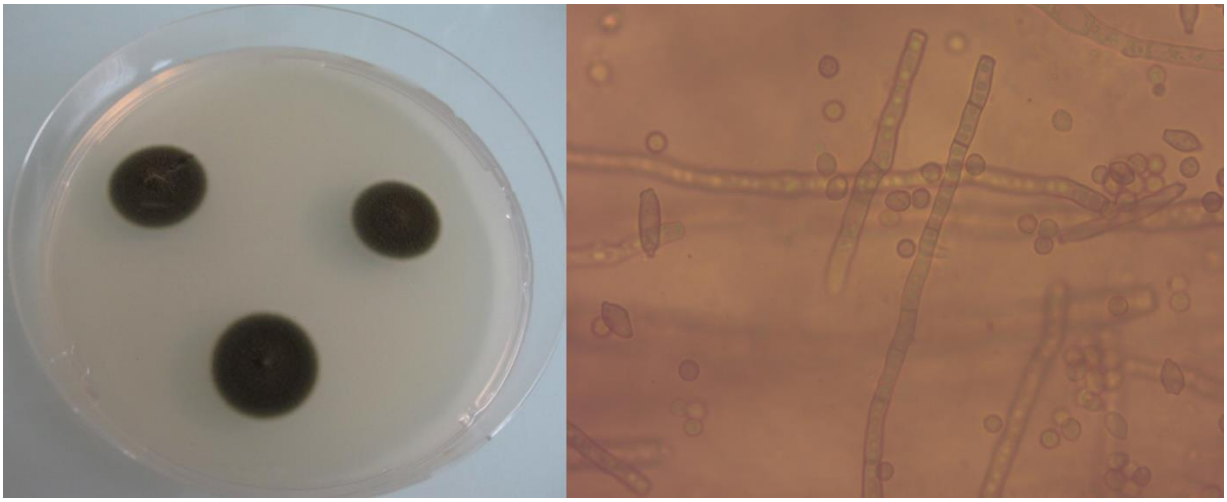


Figure 9 : Aspect macroscopique sur milieu MEA (à gauche) et microscopique au grossissement 1000 (à droite) de *Cladosporium sphaerospermum* (Source : laboratoire ToxEMAC, Delanoë).

Le genre *Penicillium* (**Figure 10**) est un genre fongique appartenant à l'embranchement des Ascomycètes, très commun dans l'environnement et rassemblant plus de 200 espèces qui assurent la dégradation de la matière organique dans de nombreux environnements. Certaines espèces appartenant à ce genre fongique sont utilisées dans l'industrie, notamment pour la conception de fromages et d'autres aliments fermentés (Visagie *et al.* 2014). *Penicillium chrysogenum* est l'espèce la mieux connue de ce genre fongique, disposant de son génome entièrement séquencé et étant largement utilisé dans l'industrie, historiquement pour la production de pénicilline (Van den Berg 2008 ; Visagie *et al.* 2014). *Penicillium brevicompactum* est une espèce également retrouvée de manière fréquente dans les habitats dégradés. Cette espèce fongique est connue pour produire un grand nombre de métabolites secondaires, dont l'acide mycophénolique, un composé aux propriétés immunosuppressives (qui est également utilisé en thérapeutique) et la brevinamide A (Rand *et al.* 2005).

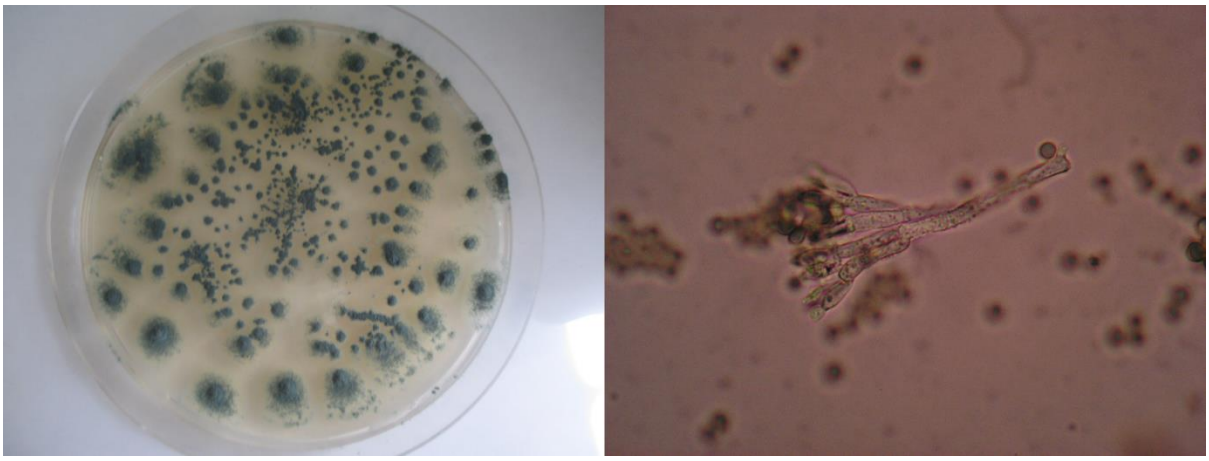


Figure 10 : Aspect macroscopique sur milieu MEA (à gauche) et microscopique au grossissement 1000 (à droite) de *Penicillium crustosum* (Source : laboratoire ToxEMAC, Delanoë).

Stachybotrys chartarum (**Figure 11**) est une espèce fongique appartenant à l'embranchement des Ascomycètes et mise en cause dans un certain nombre d'études concernant les problèmes de santé liés à la contamination de l'air intérieur par les moisissures. Cette espèce fait l'objet d'une attention toute particulière de la part de la communauté scientifique depuis une série d'hémorragies pulmonaires chez de jeunes enfants dans l'Ohio en 1993-1994, lors de laquelle la forte toxicité de cette moisissure avait été mise en cause (Pollard *et al.* 2013). Cette espèce fongique est connue pour pouvoir produire de nombreuses mycotoxines, et a été suspectée dans un certain nombre de cas d'hémorragies pulmonaires. Ces informations sont néanmoins

contestées en raison de la très faible capacité de ses spores humides à passer dans l'air (Robbins *et al.* 2000), mais la possibilité d'une libération des mycotoxines au travers des fragments de mycélium, qui sont eux produits en large quantité, n'est pas à exclure (Yang *et al.* 2016). Deux chémotypes de cette moisissure ont été mis en évidence lors d'une étude sur les habitats dégradés (Andersen *et al.* 2002). Le premier étant un producteur d'atranones, tandis que le second est un producteur de trichothécènes macrocycliques, avec une production systématique de roridine E et de satratoxines G et H. Ces deux chémotypes démontrent une toxicité différente, la majeure partie de la toxicité de cette espèce fongique étant liée à sa production de trichothécènes. Une dizaine d'études s'intéressant à la toxicité des spores de cette moisissure sur les voies aériennes ont démontré une cytotoxicité au travers des dommages sur l'ADN et une diminution de la production de surfactant dans les alvéoles pulmonaires, et donc une augmentation de la sensibilité des cellules aux agents pathogènes (Yang *et al.* 2016).

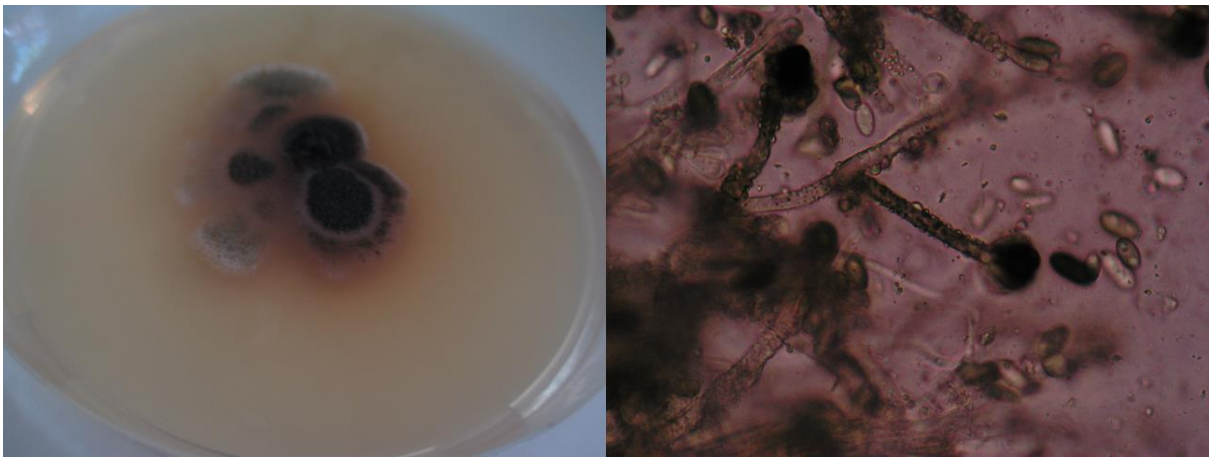


Figure 11 : Aspect macroscopique sur milieu MEA (à gauche) et microscopique 1000 (à droite) de *Stachybotrys chartarum* (Source : laboratoire ToxEMAC, Delanoë).

Le genre *Serpula* est un genre fongique appartenant à l'embranchement des Basidiomycètes, et dont le membre le plus connu dans le domaine des habitats dégradés est *Serpula lacrymans* (**Figure 12**), connu sous le nom commun de mérule. Ce champignon lignivore, qui affecte les boiseries des habitations ayant subi des dégâts des eaux, dégrade la cellulose et les hémicelluloses du bois sans toucher à la lignine, rendant les matériaux de construction friables et fragiles. La mérule produit également un nombre considérable de spores facilement aérosolisables pouvant causer une gêne respiratoire chez les personnes allergiques aux spores fongiques (Pottier *et al.* 2014).

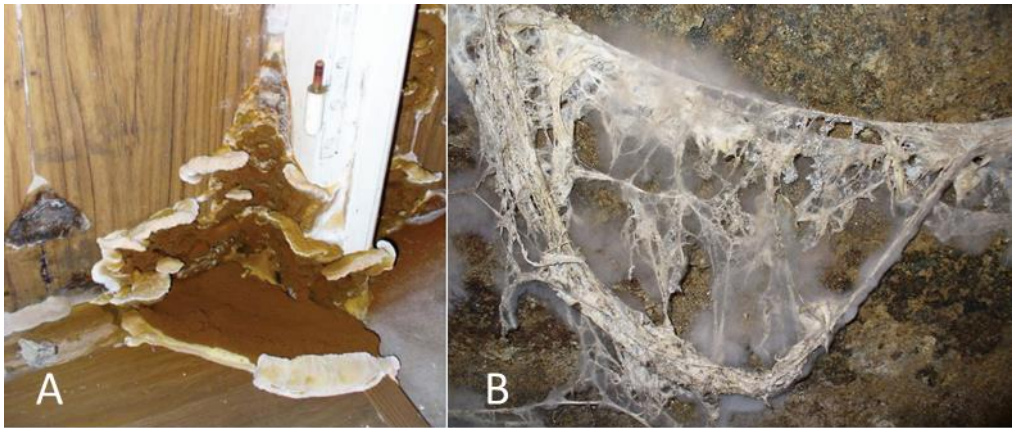


Figure 12 : Sporophore (A) et mycélium (B) de *Serpula lacrymans* dans des habitations dégradées (Source : Pottier *et al.* 2014, Garon).

Un certain nombre d'autres genres fongiques appartenant à l'embranchement des Basidiomycètes sont connus pour leur participation à la dégradation des matériaux dans les habitats dégradés, notamment les genres *Coniophora* et *Donkioporia*, ainsi que dans une moindre mesure les genres *Coprinus*, *Peziza* et *Trechispora* (Singh 2000).

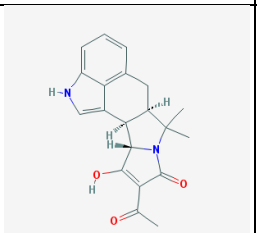
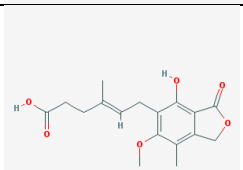
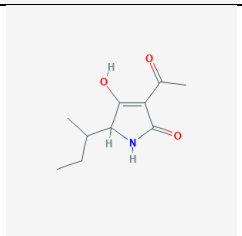
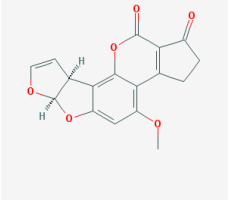
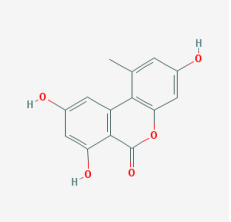
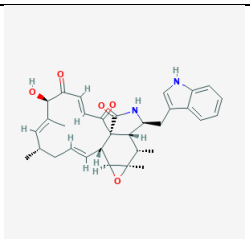
Les moisissures produisent également un certain nombre de composés connus pour avoir des effets sur la santé humaine : les mycotoxines, les composés organiques volatils et les β-D-glucanes.

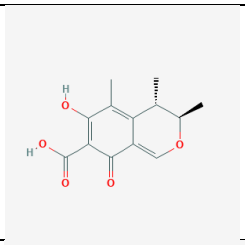
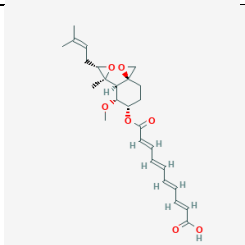
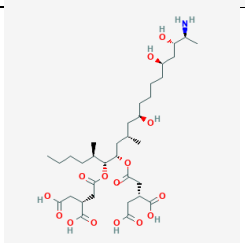
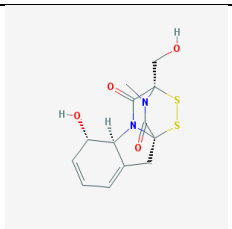
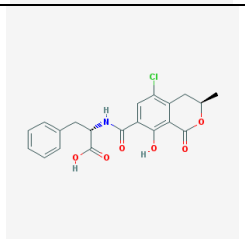
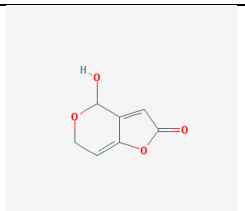
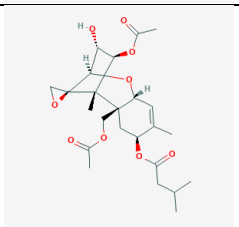
I.2.4) Les mycotoxines

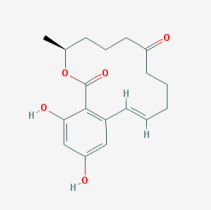
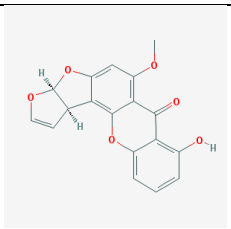
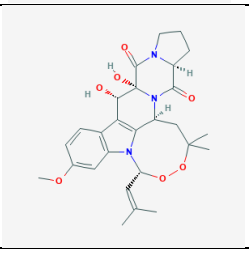
Les mycotoxines sont des métabolites secondaires des champignons leur conférant un avantage lors de la compétition entre espèces fongiques ou vis à vis d'autres microorganismes comme les bactéries dans la conquête de nouveaux milieux. Les mycotoxines ont tout d'abord été connues en tant qu'agents d'intoxication alimentaire des animaux d'élevage et et chez l'Homme suite à l'ingestion de produits contaminés par des moisissures (Robbins *et al.* 2000), mais des études relativement récentes ont permis d'en retrouver certaines dans l'air des habitats particulièrement dégradés (Jarvis et Miller 2005, Pottier *et al.* 2014). Les mécanismes exacts régissant la production des mycotoxines sont multiples et nécessitent encore des études. En effet, différents facteurs intrinsèques (liés au champignon) et extrinsèques (liés à l'environnement) peuvent intervenir. Les conditions climatiques (température, humidité) apparaissent comme des facteurs primordiaux dans la production d'une mycotoxine par une espèce fongique donnée. Le profil métabolique et le potentiel toxique d'une souche fongique est ainsi susceptible d'être modifié en fonction du climat (Fog Nielsen 2003).

Les principales mycotoxines connues sont résumées dans le **Tableau 1**.

Tableau 1 : Principales mycotoxines et effets toxicologiques (D'après Bhatnagar 1992, Richard 2009, Robbins *et al. 2000*, PubChem 2018).

Mycotoxines	**Structure**	**Principaux effets toxiques**	**CIRC**	**Principales espèces productrices**
Acide cyclopiazonique		Neurotoxique Inhibiteur de la pompe Ca^{2+}ATPase	-	*Aspergillus flavus*
Acide mycophénolique		Immunosuppresseur (utilisé en thérapeutique)	-	*Aspergillus pseudoglaucus* *Penicillium brevicompactum*
Acide tenuazonique		Inhibiteur de la synthèse protéique	-	*Alternaria sp*
Aflatoxines (B_1, B_2, G_1, G_2, M_1)	 Aflatoxine B_1	Hépatotoxique Cancérogène Tératogène Immunosuppresseur	1	*Aspergillus flavus* *Aspergillus parasiticus*
Alternariol	 Alternariol	Œstrogénique Clastogène Mutagène	-	*Alternaria alternata*
Chaetoglobosine	 Chaetoglobosine A	Cytotoxique	-	*Chaetomium globosum*

Citrinine		Néphrotoxique Hépatotoxique	3	*Penicillium citrinum* *Penicillium expansum* *Penicillium verrucosum* *Monascus spp*
Fumagilline		Antifongique Inhibiteur de l'angiogenèse	-	*Aspergillus fumigatus*
Fumonisines (A_1, A_2, B_1, B_2, B_3, B_4, C_1, C_2, C_3, C_4, P_1, P_2, P_3)	 Fumonisine B_1	Cancérogène Tératogène Perturbateur immunitaire	2B (B_1 et B_2) - (Autres)	*Fusarium verticillioides* *Fusarium proliferatum*
Gliotoxine		Cytotoxique Génotoxique Immunosuppresseur Facteur de virulence des Aspergilloses invasives	-	*Aspergillus fumigatus*
Ochratoxines (A, B, C)	 Ochratoxine A	Néphrotoxique Neurotoxique Cancérogène Agent potentiel de la néphropathie endémique balkanique	2B (A) - (B et C)	*Aspergillus carbonarius* *Aspergillus ochraceus* *Aspergillus niger* *Penicillium verrucosum* *Penicillium viridicatum*
Patuline		Neurotoxique Génotoxique Clastogène	3	*Penicillium expansum* *Byssochlamys nivea* *Aspergillus clavatus*
Trichothécènes (déoxynivalénol Toxine T2 Toxine HT2)	 Toxine T2	Inhibiteur de la synthèse protéique Perturbateur immunitaire Hématotoxique Tératogène Agent de l'aleucie toxique alimentaire	3 (T2)	*Fusarium graminearum* *Fusarium culmorum* *Fusarium sporotrichioides* *Memnoniella echinata* *Stachybotrys chartarum*

Zéaralénone	 Zéaralénone	Œstrogénique Perturbateur immunitaire	3	*Fusarium culmorum* *Fusarium graminearum* *Fusarium sporotrochioides*
Stérigmatocystine		Hépatotoxique Cancérogène Mutagène Génotoxique	2B	*Aspergillus versicolor*
Verruculogène		Inhibiteur des canaux K^+ *in vitro*	-	*Aspergillus fumigatus* *Penicillium verruculosum*

CIRC (1 = cancérogène avéré, 2A = cancérogène probable, 2B = cancérogène possible, 3 = agent au potentiel cancérogène inclassable, 4 = agent probablement non carcinogène, - : agent non évalué).

Le potentiel toxique de la plupart de ces mycotoxines sont connus suite à des études *in vivo* ou des cas d'intoxication alimentaire, et leur potentiel toxique lors de l'inhalation est peu documenté. Certaines de ces mycotoxines, notamment les plus toxiques comme l'aflatoxine B1, l'ochratoxine A ou le déoxynivalénol, font l'objet d'une réglementation très strict dans l'industrie alimentaire en raison de leur toxicité (Jarvis et Miller 2005). Quelques autres mycotoxines sont en revanche employées dans un but thérapeutique, notamment l'acide mycophénolique, qui est utilisé en tant qu'immunosuppresseur, et la fumagilline, qui est utilisée au Canada et aux Etats-Unis comme un antifongique pour traiter les abeilles (van den Heever *et al.* 2014). Finalement, le verruculogène et la gliotoxine sont des mycotoxines dont la fonction n'est pas encore totalement élucidée, mais qui se comportent comme des facteurs de virulence lors des aspergilloses causées par *A. fumigatus* (Khoufache *et al.* 2007).

L'exposition aux mycotoxines dans les habitats dégradés est complexe, en raison de la grande diversité d'espèces présentes. De plus, certaines moisissures caractéristiques des habitats dégradés sont capables de produire davantage de mycotoxines quand elles se retrouvent en présence d'actinomycètes par rapport à la moisissure seule (Murtoniemi *et al.* 2005). Les

auteurs de cette étude ont ainsi observé une nette augmentation du potentiel cytotoxique d'extraits de moisissures isolées de l'air intérieur, notamment *Aspergillus versicolor* et *Stachybotrys chartarum*, quand ces dernières étaient cultivées en co-culture avec une bactérie, *Streptomyces californicus*, et ont attribué cette augmentation de la cytotoxicité à une production de métabolites secondaires par les moisissures dans le cadre de la compétition pour l'occupation de l'environnement vis-à-vis de la bactérie. Cela soulève des questions dans le cadre des communautés microbiennes présentes dans les bioaérosols. Il faut de plus prendre en compte la possibilité de mélanges de mycotoxines en faibles quantités, avec l'éventualité d'effets synergiques entre les différentes mycotoxines (Robbins *et al.* 2000).

I.2.5) Les Composés Organiques Volatils microbiens (COVm)

Les COVm sont des composés volatils produits et libérés par les moisissures lors de leur croissance. En tant que composés volatils, les COVm sont capables de diffuser au travers des parois fongiques et des matériaux, et ont ainsi été proposés par certains scientifiques comme pouvant servir d'indicateurs de prolifération de moisissures dans des espaces dissimulés. Leur étude est complexe en raison du grand nombre de COVm produits par les différentes espèces fongiques ainsi que leur grande diversité (Fiedler *et al*. 2001). Des études ont également montré que le substrat de culture et l'âge de la colonie modifiait le type de COVm produits par un même isolat. De plus, certains COVm sont très proches ou même identiques à certains polluants chimiques liés aux matériaux de construction, ce qui complexifie encore plus leur étude (Polizzi *et al*. 2012 ; Yang *et al.* 2016). Un certain nombre de COVm produits par les moisissures sont néanmoins connus, et sont présentés dans le **Tableau 2**.

Tableau 2 : Liste des principaux COVm connus comme étant produits par les moisissures dans les habitats ou sur les matériaux (D'après ANSES 2016, Scleibinger 2008, Wilkins *et al.* 2000).

Classe	**COVm**
Alcools	1-Propanol 2-Propanol 2-Méthyl-1-Propanol 1-Butanol 2-Butanol 2-Méthyl-1-Butanol 3-Méthyl-1-Butanol 1-Pentanol 3-Pentanol Hexanol 2-Ethyl-1-Hexanol 2-Octanol 1-Octen-3-ol 2-Nonanol Terpinéol
Aldéhydes	2-Méthyl-Propanal 3-Méthyl-1-Butanal
Cétones	Acétonone Butanone Pentanone 2-Héxanone 2-Héptanone 2-Octanone 3-Octanone 2-Nonanone 2-Alkanones
Composés aromatiques	Anisole 1,3-Dimethoxybenzène
Furanes	2-Méthylfurane 3-Méthylfurane Pentylfurane
Terpènes	Cedrène Farnesène 1-Heptène Isoprène Limonène α-Pinène β-Pinène Thujopsène
Autres	Diméthyl sulfide Diméthyl disulfide Diméthylhexadiene Méthyl benzoate

I.2.6) Les glucanes

Les β-D-glucanes (**Figure 13**) sont des composants de la paroi des champignons, mais aussi des plantes et de certaines bactéries, composés de polymères de D-glucose de taille et de conformation variables. Ils sont insolubles dans l'eau et peuvent représenter jusqu'à 60% du poids sec de la paroi fongique. Dans la paroi de ces organismes, les β-D-glucanes sont généralement liés entre eux à l'aide de liaisons (1,6), tandis que des liaisons (1,3) les lient à d'autres composants (protéines, lipides, carbohydrates, …). La concentration de ces composés a été démontrée comme étant relativement indépendante des conditions extrinsèques de culture (Douwes 2005).

Les glucanes sont connus pour présenter des propriétés pro-inflammatoires au travers de l'induction de la sécrétion des IL1 et des IL2, ainsi que du TNF-α dans le cas d'expositions à des concentrations élevées. En revanche, une étude chez le rat suggère que l'exposition à de faibles doses de glucanes de manière répétée aurait un effet immunosuppresseur et diminuerait la clairance bactérienne [1] des alvéoles pulmonaires. Une tendance protectrice des glucanes vis-à-vis des chances de développer un asthme a récemment été démontrée en cas d'exposition à de fortes concentrations à l'âge de 1 an, tandis qu'à faible concentration, ces glucanes constitueraient un facteur de risque pour le développement de l'asthme. Cet effet protecteur n'a pas été retrouvé pour l'âge de 3 ans (ANSES 2016).

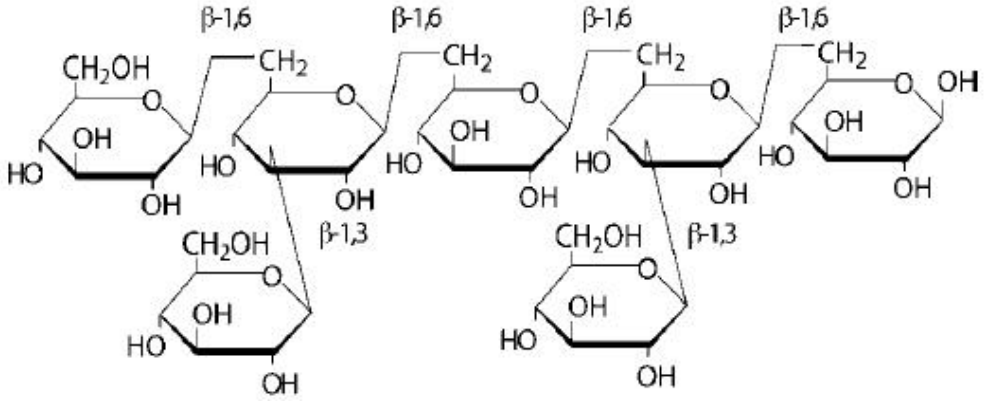


Figure 13 : Exemple de polymère de glucanes présentant 4 liaisons β-1,6 et 2 liaisons β-1,3. (Source : Benhamou et Rey 2012).

Les glucanes sont parfois utilisés comme indicateur de la biomasse fongique (Rylander et Lin 2000, Reponen *et al*. 2010), mais sa teneur dans les colonies fongiques est connue pour varier selon l'espèce et l'âge de la colonie (Seo *et al*. 2008, 2009). Un certain nombre d'études

[1] Clairance bactérienne : vitesse à laquelle les bactéries sont éliminées de l'arbre respiratoire.

suggèrent que la teneur en β-D-glucanes des fragments de mycélium serait inversement proportionnelle à l'humidité relative à laquelle est exposée la moisissure (Yang *et al.* 2016).

I.2.7) Les acariens

Comme tous les représentants appartenant à l'embranchement des arthropodes, les acariens sont des invertébrés de petites tailles (de 0.1 à 2 mm), présentant des pattes articulées et un exosquelette chitineux. Ils appartiennent au sous embranchement des chélicérates (présence de stylets piqueurs ou de crochets, auxquels des pièces sensorielles sont adjointes). Les acariens sont placés dans la classe des Arachnides, et regroupent actuellement 50 000 espèces connues ainsi qu'une grande diversité de modes de vie, certains étant responsables de pathologies d'origine allergique chez l'homme. Ces derniers appartiennent le plus fréquemment à la famille des Pyroglyphidae.

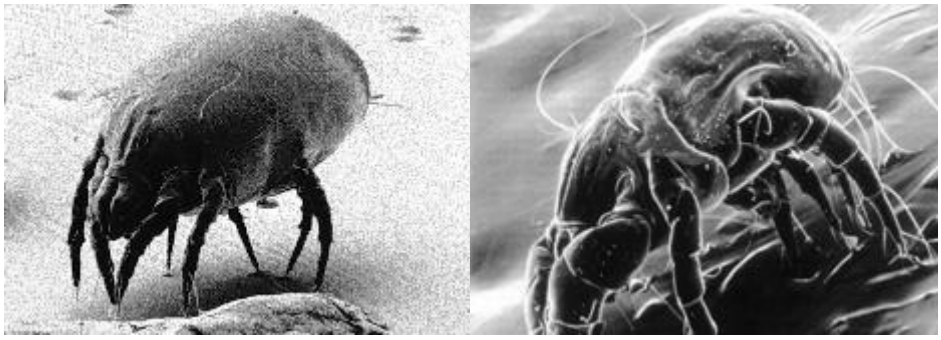


Figure 14 : Images de *Dermatophagoides pteronyssinus* (à gauche) et *Dermatophagoides farinae* (à droite). (Source : Evolution Biotechnologies).

Dans le domaine de l'habitat dégradé, cette famille dispose de deux espèces particulièrement mises en cause dans les problèmes de santé publique : *Dermatophagoides pteronyssinus* et *Dermatophagoides farinae* (**Figure 14**). Ces deux espèces produisent principalement des allergènes connus sous le nom de *Der p* et *Der f* (Carrer *et al.* 2001). Au niveau de l'air, ces deux allergènes sont majoritairement portés par des particules de diamètre aérodynamique supérieur à 10 µm et ne sont donc retrouvés dans l'air qu'en cas d'agitation ou au niveau des surfaces textiles comme les matelas ou les tapis (Dassonville *et al.* 2014). D'un point de vue de santé publique, les acariens sont connus pour leurs déjections au fort potentiel allergisant, touchant particulièrement sévèrement les asthmatiques chez qui elles aggravent les crises d'asthme. Les acariens prolifèrent dans les environnements chauds et humides, et se nourrissent généralement de substrats riches en protéines, comme les céréales ou les moisissures, mais aussi des restes de squame et de poils riches en kératine (Pennanen *et al.* 2007).

Dans le cas des moisissures, une étude menée sur *Dermatophagoides farinae*, une espèce d'acarien caractéristique des habitats dégradés se nourrissant de moisissures, a permis de mettre en évidence une préférence dans le régime alimentaire de l'acarien. Ce dernier semble avoir une préférence pour les espèces de moisissures *Alternaria alternata*, *Cladosporium sphaerospermum* et *Wallemia sebi* ce qui ne semble pas le cas pour les espèces *Aspergillus versicolor*, *Penicillium chrysogenum* et *Stachybotrys chartarum* (Naegele *et al.* 2013).

I.2.8) Les pollens

Le pollen constitue la partie mobile reproductrice des éléments mâles (gamétophytes) des Gymnospermes et des Angiospermes (**Figure 15**). Il s'agit de grains microscopiques plus ou moins ornementés selon les espèces, dont le diamètre aérodynamique est généralement compris entre 25 et 35 µm pour les espèces les plus courantes.

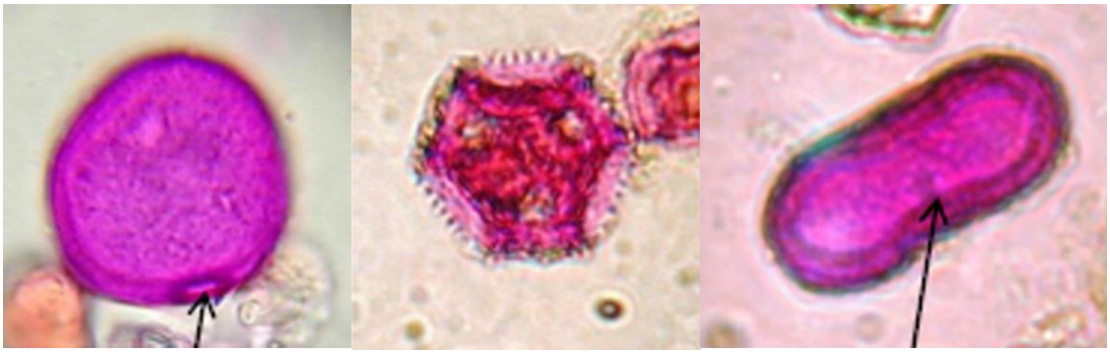


Figure 15 : Grains de pollens d'espèces courantes au grossissement 400 : pollen de Poacées (A), Astéracées liguliflores (B), Apiacées (C) (Source : Laboratoire ToxEMAC, Séguin).

Les grains de pollen transportent les gamètes mâles, et sont libérés en quantité importante dans l'air lors de la floraison. Certains pollens, en particulier ceux des Poacées, sont connus pour disposer de propriétés allergisantes, causant des manifestations respiratoires et cutanées (comme le rhume des foins) et aggravant les problèmes d'asthme. L'impact de ces problèmes d'allergie est considérable et croissant en Europe, à cause d'une augmentation de leur prévalence (D'Amato *et al.* 1998). Les grains de pollens sont retrouvés dans l'air extérieur, des mois de janvier-février à octobre, avec un temps fort de la fin du printemps à l'été, correspondant à la période de pollinisation des Poacées (Thibaudon *et al.* 2013).

I.2.9) Les autres allergènes

Les allergènes sont des composés pouvant induire des réponses immunitaires spécifiques chez les personnes sensibles à ces antigènes, générant une surproduction d'immunoglobulines E (IgE) responsables de manifestations physiques et respiratoires. Cette catégorie englobe un large panel d'antigènes dont les moisissures et les acariens précédemment décrits. Les autres composés allergisants pouvant être retrouvés dans les habitats sont les allergènes d'animaux domestiques, principalement ceux des chiens et des chats, ainsi que de quelques animaux nuisibles comme les blattes ou les rongeurs (Dassonville *et al.* 2014).

I.3) Evaluation de l'exposition aux moisissures aéroportées

I.3.1) Diversité des techniques de collecte

De nombreuses techniques ont été utilisées pour quantifier les moisissures de l'air, chacune d'entre elles présentent des avantages et des inconvénients décrits ci-après.

Les premières études portant sur la contamination fongique dans les milieux intérieurs ont tout d'abord utilisés la collecte des spores sur des surfaces adhésives pour renseigner sur la présence de groupes fongiques dans l'air, mais ces méthodes ont rapidement été supplantées dans les années 80 par les impacteurs sur milieux gélosés qui offraient une précision d'identification et de quantification supérieure, tout en permettant de se focaliser sur les particules fongiques viables (Cabral 2010). Ces impacteurs sur gélose sont toujours utilisés par un certain nombre de laboratoires et de services d'hygiène en raison de leur facilité d'usage. Une étude comparant les résultats obtenus à l'aide du comptage microscopique des spores avec les méthodes d'impaction sur gélose a permis de mettre en évidence que seules 9% des spores comptées étaient revivifiables sur milieu gélosé (Russell *et al.* 1999). Les impacteurs sur gélose sont des appareils prélevant de l'air et le faisant passer au travers d'une série d'orifices dont le diamètre va permettre de sélectionner les particules selon leur taille. Les particules de diamètre inférieur à celui des orifices de la grille la traversent et se déposent sur la surface d'une boîte de Petri remplie d'un milieu nutritif gélosé (**Figure 16**). Le diamètre des orifices varie selon les modèles utilisés pour permettre de ne capturer que les particules correspondantes à la catégorie de taille souhaitée. Il existe également des modèles d'impacteurs dits « en cascade », qui permettent de faire passer l'air au travers de cribles de plus en plus étroits, séparant ainsi les particules selon leur taille.

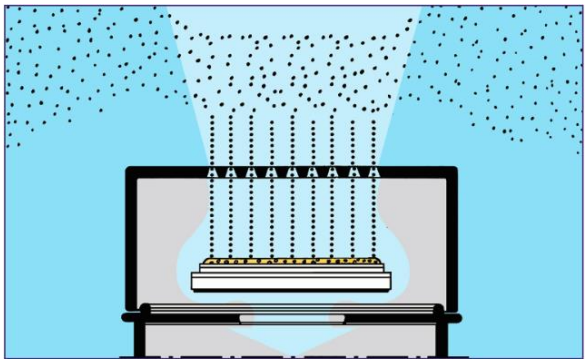


Figure 16 : Principe de l'impaction sur milieu gélosé. Le flux d'air est représenté par la flèche bleue claire centrale, tandis que les points noirs représentent les particules en suspension dans l'air. (Source : VWR international).

Les impacteurs sur gélose fonctionnent généralement à un débit compris entre 20 et 100 l / min, et sont utilisées pendant des temps de prélèvement variant de 1 à 10 minutes selon la contamination de l'air de manière à éviter de saturer la boîte de Petri en particules fongiques. Les boîtes de Petri ensemencées par le prélèvement sont ensuite mises à incuber pendant plusieurs jours, et les microorganismes sont identifiés et dénombrés après germination. Ces appareils disposent comme avantages d'être très pratiques à employer et de permettre d'utiliser différents milieux de culture, mais ne permettent pas d'être utilisés pendant des temps prolongés ou dans des environnements trop contaminés en raison de la vitesse à laquelle la gélose se trouve saturée par les spores fongiques et les bactéries, rendant toute quantification difficile voire impossible. De plus, les amas de spores ne sont pas séparés lors du prélèvement, et sont donc comptés comme une seule et même colonie, ce qui peut amener à sous-estimer la contamination réelle de l'environnement (Bellanger *et al.* 2012, Cabral 2010). Une étude récente a également montré des différences de performance entre les différents modèles d'impacteurs sur gélose disponibles dans le commerce pour la capture des microorganismes (Romano *et al.* 2015).

Les prélèvements sur filtre avec remise en suspension des particules fongiques dans une solution stérile ont également commencé à être de plus en plus fréquemment utilisés, principalement à l'aide de pompes portatives permettant de mesurer l'exposition de travailleurs dans des lieux de travail sensibles ou contaminés (fermes, silos à grains, …) (Lanier *et al.* 2010). La mise en culture de filtres est une méthode largement utilisée : un filtre est placé dans une pompe fixe ou portative, qui va collecter l'air à un débit de 2 à 10 l/min pendant un temps défini. Au terme du prélèvement, le filtre est récupéré et mise en culture tel quel (par dépôt sur un milieu gélosé) ou placé dans une solution aqueuse et agité de manière à récupérer un maximum de particules fongiques. Le liquide sert ensuite à ensemencer un milieu gélosé selon la technique

des suspensions/dilutions. Cette méthode permet ainsi de s'affranchir des problèmes liés à la saturation des milieux de culture grâce à la dilution du liquide de collecte, mais induit un biais lié au fait que le passage des spores et fragments de mycélium du filtre au liquide de collecte n'est jamais total (Cabral 2010). Par ailleurs certains genres fongiques comme *Cladosporium* semblent faiblement revivifiables après collecte sur filtre comparativement à une collecte en milieu liquide (Pottier *et al.* 2014).

Les collecteurs en milieux liquides, sont par la suite venus compléter la liste du matériel disponible, permettant de récupérer les particules des bioaérosols dans un milieu liquide permettant d'analyser directement le liquide de collecte à l'aide de méthodes culturales classiques mais aussi de méthodes immunologiques ou chimiques. Les collecteurs en milieu liquide (impinger) sont des appareils permettant de capter les particules de l'air et de les déposer dans une coupelle remplie de liquide de collecte, dans lequel les particules viennent se déposer (**Figure 17**).

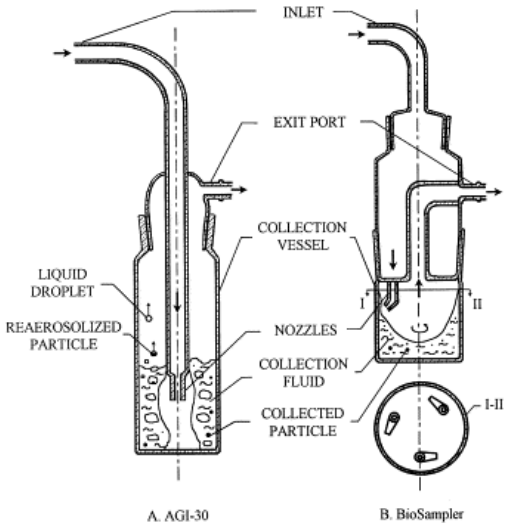


Figure 17 : Schéma de fonctionnement des impacteurs en milieu liquide (Source : Lin *et al.* 1999).

Ces appareils offrent l'avantage de collecter les particules dans un milieu liquide, permettant de diluer ce liquide de collecte pour s'affranchir des problèmes de saturation des milieux de culture et de multiplier à moindre coût le nombre de milieux de cultures utilisés. Cela permet également d'analyser directement le milieu de collecte de manière chimique ou immunologique. Malgré ces avantages, les impingers souffrent d'un certain nombre de limitations : tout d'abord, le stress lié au prélèvement est relativement violent, et peut conduire à une diminution non négligeable de la viabilité des spores collectées. D'autre part, le liquide

de collecte est exposé à une évaporation importante durant la collecte, ce qui limite le temps de collecte à 15-30 minutes pour la plupart de ces appareils (Cage *et al.* 1996, Lin *et al.* 1999). Ces appareils ont démontré une efficacité de collecte inférieure à celles des impacteurs sur gélose (Cabral 2010, Cage *et al.* 1996).

Récemment, de nouvelles technologies sont apparues pour collecter et/ou quantifier les moisissures de l'air : les collecteurs à force cyclonique permettant de collecter les particules de grands volumes d'air à des débits de 100 à 300 l/min dans un liquide de collecte. Les collecteurs à force cycloniques sont des appareils captant l'air et déformant le flux d'air au contact d'un liquide de collecte de manière à créer un tourbillon. Les particules sont alors plaquées par force centrifuge contre le liquide dans lequel elles pénètrent (**Figure 18**).

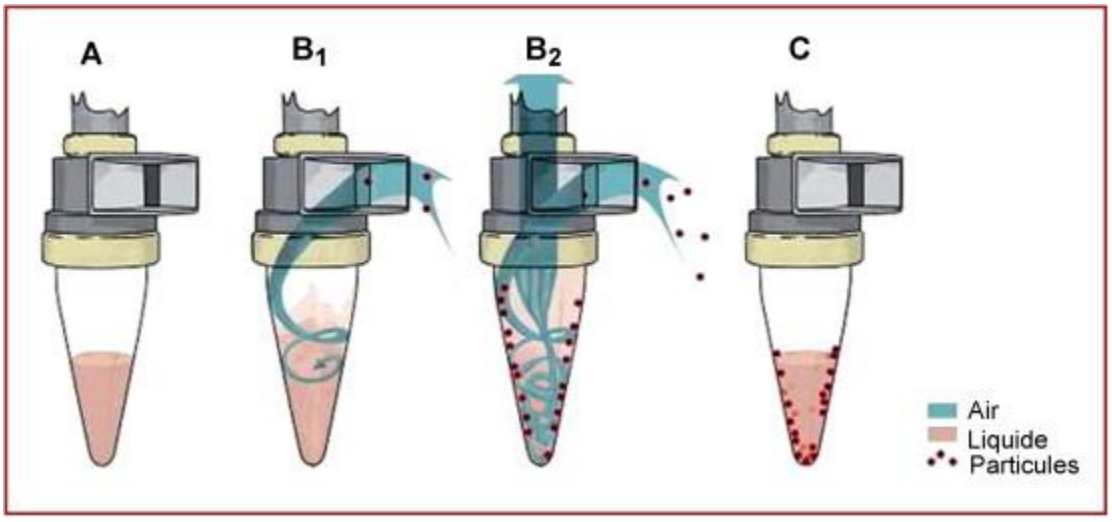


Figure 18 : Principe de fonctionnement d'un collecteur à force cyclonique (Source : Thibaudon *et al.* 2013).

Ce type de collecteur présente l'avantage de collecter très efficacement les particules et est relativement simple à utiliser. Il offre de plus tous les avantages de la collecte en milieu liquide (multiplicité des analyses possibles, dilutions, …), tout en disposant de la capacité de fonctionner à des débits de prélèvement d'air importants. Il présente également une capacité de collecte supérieure pour les particules fongiques viables à celles des collecteurs sur filtres (Pottier *et al.* 2014). En revanche, tout comme les impingers, les collecteurs à force cyclonique sont limités dans la durée du prélèvement en raison de l'évaporation du liquide de collecte (Cabral 2010, Ghosh *et al.* 2015).

Cette technique permet d'envisager un large nombre d'analyses telles que les études culturales, la PCR quantitative (qPCR) et le séquençage à haut débit. La qPCR permet de détecter et quantifier certaines espèces de moisissures dans l'air ou les poussières à l'aide de l'amplification de régions génétiques bien connues. Le séquençage à haut débit permet de caractériser les différentes espèces fongiques présentes dans un échantillon sans être limité par la viabilité ou la cultivabilité des particules fongiques. Ces méthodes disposent d'avantages et d'inconvénients qui leur sont propres et qui sont décrits ci-après.

I.3.2) Méthodes d'analyse du contenu fongique de l'air

I.3.2.1) Les méthodes culturales

Les méthodes culturales reposent sur l'utilisation de milieux de culture gélosés pour cultiver les différents microorganismes de l'air en vue de leur identification et de leur quantification. Ces méthodes présentent comme avantages la possibilité d'utiliser différents milieux de culture de manière à sélectionner le type de microorganismes collectés et de purifier les isolats collectés, ce qui permet ensuite de les analyser plus en détail. Ce type de méthode dispose également d'inconvénients et de limites inhérentes : le temps de culture des moisissures sur milieux gélosés peut être long (de 7 à 14 jours selon les espèces et les milieux considérés) et l'identification microscopique des différentes espèces fongiques demande un certain degré d'expertise ce qui peut s'avérer fastidieux dans le cas de certaines espèces (la différenciation des espèces du genre *Penicillium* par exemple). De plus, certaines espèces vont pouvoir proliférer très rapidement sur les boîtes de Petri, recouvrant les autres espèces qui n'auront pas le temps de germer et donc d'être identifiées, tandis que d'autres espèces ne germeront ou ne sporuleront pas sur les milieux gélosés, empêchant ainsi leur identification.

I.3.2.2) Les méthodes moléculaires

Les méthodes moléculaires sont des méthodes se basant sur la détection et l'amplification de gènes conservés chez les espèces étudiées. Elles permettent des analyses rapides et précises, mais leur sensibilité dépend fortement de la spécificité des amorces utilisées et des connaissances sur le génome des espèces étudiées.

Les technologies de PCR en temps réel (qPCR) et de séquençage à haut débit sont de plus en plus utilisées dans le domaine. Bien que ces méthodes présentent des avantages indéniables, à savoir une facilité et une rapidité d'usage qui les rendent utilisables comme outil de diagnostic,

leur coût reste encore important et certains biais de reconnaissance des différentes espèces fongiques doivent encore être résolus pour les rendre complètement opérationnelles (Pitkäranta et al 2008). En effet, Yamamoto *et al.* (2014) ont démontré que pour les espèces les plus communes dans l'environnement, le pourcentage d'identification correcte par séquençage des régions ITS variait de 99,9% (*Epicoccum nigrum*) à 8,2% (*Penicillium chrysogenum*). Cela soulève des questions quant à l'efficacité du séquençage haut débit et à l'interprétation des résultats obtenus avec ces méthodes : pour *Penicillium chrysogenum*, une espèce retrouvée très fréquemment dans les prélèvements d'air par approche culturale, 88,5% des échantillons testés par les auteurs ont donné une identification ambigüe même en se basant sur le genre fongique.

Au niveau de la qPCR, plusieurs méthodes ont été mises au point :

Le *Environmental Relative Mouldiness Index*, ou ERMI, mis au point par l'*Environmental Protection Agency* (EPA) reste le test de qPCR le plus répandu et le plus utilisé. Ce test évalue les résultats de l'analyse par qPCR de 26 groupes d'espèces fongiques considérés comme étant caractéristiques de l'habitat dégradé et de 10 groupes d'espèces fongiques considérées comme des marqueurs de la présence fongique provenant du milieu extérieur (**Tableau 3**).

Tableau 3 : Liste des espèces et groupes d'espèces inclus dans le test ERMI (D'après Vesper *et al.* 2007)

Groupes d'espèces caractéristiques des habitats dégradés	**Groupes d'espèces caractéristiques de l'air extérieur**
Aspergillus flavus, A. oryzae	*Acremonium strictum*
Aspergillus fumigatus, Neosartorya fischeri	*Alternaria alternata*
Aspergillus niger, A. foetidus, A. phoenicis	*Aspergillus ustus*
Aspergillus ochraceus, A. ostianus	*Cladosporium cladosporioides (type 1)* [1]
Aspergillus penicillioides	*Cladosporium cladosporioides (type 2)* [1]
Aspergillus restrictus, A. caesillus, A. conicus	*Cladosporium herbarum*
Aspergillus sclerotiorum	*Epicoccum nigrum*
Aspergillus sydowii	*Mucor racemosus, M. amphibiorum, M. circinelloides, M. hiemalis, M. indicus, M. mucedo, M. racemosus, M. ramosissimus, Rhizopus azygosporus, R. homothallicus, R. microsporus, R. oligosporus, R. oryzae*
Aspergillus unguis	

Aspergillus versicolor *Aureobasidium pullulans* *Chaetomium globosum* *Cladosporium sphaerospermum* *Eurotium amstelodami, E. chevalieri, E. herbariorum, E. rubrum, E. repens* [2] *Paecilomyces variotii* *Penicillium brevicompactum* *Penicillium corylophilum* *Penicillium crustosum, P. camembertii, P. commune, P. echinulatum, P. solitum* *Penicillium purpurogenum* *Penicillium spinulosum, P. glabrum, P. lividum, P. pupurescens, P. thomi* *Penicillium variabile* *Scopulariopsis brevicaulis* *Scopulariopsis chartarum* *Stachybotrys chartarum* *Trichoderma viride, T. atroviride, T. koningii* *Wallemia sebi*	*Penicillium chrysogenum (type 2)* [1] *Rhizopus stolonifer*

[1] Amorces de PCR reconnaissants différents sous-groupes de l'espèce concernée.

[2] Nomenclature actuelle de ces espèces : *Aspergillus montevidensis* (anciennement *Eurotium amstelodami*), *Aspergillus chevalieri* (anciennement *Eurotium chevalieri*), *Aspergillus herbariorum* (anciennement *Eurotium herbariorum*), *Aspergillus ruber* (anciennement *Eurotium ruber*), *Aspergillus pseudoglaucus* (anciennement *Eurotium repens*).

Le test se base sur un prélèvement des poussières sédimentées de la pièce, partant du principe que ces poussières contiennent des spores et des fragments de mycélium fongique ce qui correspondrait à une exposition sur le long terme des résidents de l'habitat. Le résultat consiste en la somme des logarithmes népériens des Ct [2] des 26 groupes « habitat dégradé » auquel est

[2] Ct : Cycle auquel l'amplification du matériel génétique de l'échantillon atteint un seuil détecté par l'appareil.

soustraite la somme des logarithmes népériens des Ct des 10 groupes « air extérieur » (Vesper 2011). Cet indice a été utilisé dans un grand nombre d'étude (Reponen *et al.* 2010, Dallongeville *et al.* 2015), mais le fait que l'analyse se base sur un prélèvement de poussières limite les possibilités de comparaisons avec les études basées sur la qualité de l'air. En effet, contrairement aux concentrations des moisissures dans l'air, les concentrations de moisissures dans les poussières sont connues pour ne pas varier selon les saisons, et des études suggèrent que les genres et les espèces fongiques survivant et se développant dans l'air et dans les poussières sont différents (Chew *et al.* 2003). Une étude menée en Finlande s'interroge également sur l'utilité de l'ERMI et sur la répartition des espèces en deux groupes (intérieur / extérieur) hors du continent américain, en relevant des résultats différents sur le territoire finlandais par rapport à ceux sur lesquels cet indice est construit (Pikäranta *et al.* 2011).
Une méthode a récemment été proposée pour s'affranchir du biais lié au prélèvement de poussière sur lequel se base ce test, celle de l'*Electrostatic Dust Collector* (EDC), qui consiste au dépôt d'une lingette à microfibres à une hauteur définie pendant un temps donné, permettant de collecter les poussières de l'habitation pendant une durée connue. Au terme du prélèvement, une extraction d'ADN est réalisée sur la lingette pour réaliser le test ERMI (Scherer *et al.* 2014). Cette technique permet ainsi d'éliminer les problèmes liés à la propreté des sols et à l'âge de ces poussières qui sont deux paramètres variables dans les habitats qui n'étaient pas contrôlés jusque-là (Normand *et al.* 2009).

Au niveau du séquençage à haut débit, des études ont analysé les communautés fongiques et/ou bactériennes des habitats de certaines populations (Dannemiller *et al.* 2016 ; Kettleson *et al.* 2015 ; Lax *et al.* 2014). Ces études ont ainsi permis de mettre en évidence des communautés microbiologiques précédemment peu ou pas décrites dans la littérature à l'aide des méthodes classiques culturales.

L'efficacité de ces techniques de biologie moléculaire, bien qu'indéniable et complémentaire des techniques culturales, souffre néanmoins de plusieurs biais et limites. L'ADN fongique reste difficile à extraire chez certaines espèces en raison de la robustesse de leur paroi, et il existe une absence de séquences consensus réellement partagées entre toutes les espèces fongiques. En effet, la région génétique actuellement utilisée pour la caractérisation des espèces fongiques est la région *Internal Transcribed Spacer* (ITS) située entre les gènes de la grande et de la petite sous-unité de l'ARN ribosomal (ARNr). Si cette région est relativement conservée entre les différentes espèces fongiques, des études ont montré que d'une part, les différentes amorces PCR utilisées pour amplifier cette région n'étaient pas toujours capables de l'amplifier,

d'où le nombre important d'amorces pour cette région, et que selon les amorces étudiées, l'efficacité de l'amplification pouvait grandement varier selon les espèces (Hinrikson *et al.* 2005 ; Yamamoto *et al.* 2014). Cette région ne permet également pas toujours d'identifier l'espèce précisément, la séquence étant partagée entre plusieurs espèces de genres fongiques différents, et nécessitant le séquençage d'autres régions génétiques pour compléter l'analyse (comme le gène de la béta-tubuline ou celui de la calmoduline fongique). Dans le cas de la qPCR, un autre problème se pose : cette région génétique est connue pour être répétée un nombre variable de fois au sein même des isolats d'une même espèce (Black *et al.* 2013). Par exemple, pour *Aspergillus fumigatus,* Herrera *et al.* (2009) ont mis en évidence une répétition variant de 38 à 91 fois pour cette région en étudiant 8 isolats d'*Aspergillus fumigatus,* ce qui induit une imprécision lors de la quantification.

D'autres approches émergentes dans l'étude des populations commencent également à être employées dans le domaine de l'étude des micromycètes, notamment la culturomique et la métagénomique. Ces approches, dites à haut débit, s'intéresse à identifier et quantifier des populations dans leur globalité.

La métagénomique est une approche consistant à amplifier une région ou plusieurs régions génétiques bien conservées sur de l'ADN extrait de matrices (sol, matières fécales, …), et de séquencer séparément toutes les séquences ainsi obtenues, identifiant ainsi en théorie toutes les espèces présentes dans l'échantillon. L'utilisation de cette méthode est rendue possible par l'apparition de séquenceur à haut débit (Illumina ou IonTorrent par exemple), permettant d'effectuer et de traiter en simultané des milliers de réactions de séquençage. Ces techniques sont largement utilisées dans le domaine de la bactériologie, où elles permettent l'identification de larges populations de bactéries non-cultivables ou sous-estimées par la culture (Degois *et al.* 2017). Cette méthode souffre néanmoins des mêmes limites que les autres méthodes moléculaires de PCR et de qPCR précédemment décrites.

La culturomique consiste à multiplier le nombre de milieux de culture utilisés de manière à outrepasser les problèmes des espèces non-cultivables. Cette méthode permet ainsi la culture et donc une identification plus précise pouvant s'appuyer sur des outils analytiques puissants, comme l'identification des spectres obtenus par spectrométrie de masse de type MALDI-TOF ou le séquençage des différentes régions de l'ADN. Elle vient ainsi compléter d'autres modèles d'études de populations, notamment la métagénomique, pour laquelle des biais sont connus, notamment concernant la détection et l'identification des populations minoritaires (Lagier *et al.*

2012). Cette approche n'a à ce jour que peu été explorée dans le domaine de l'étude des champignons, souffrant indirectement d'un manque de documentation des bases de données par rapport aux spectres de référence des différentes espèces fongiques et des séquences génétiques bien définies pour l'identification (Hamad *et al.* 2017).

I.3.2.3) Les autres approches d'évaluation de l'exposition fongique

D'autres méthodes ne dépendant ni de la culture, ni de l'analyse moléculaire existent pour identifier et quantifier les champignons présents dans l'air.

La plus ancienne repose sur la collecte des spores de l'air sur des bandes adhésives qui sont par la suite observée directement au microscope. Ce système permet ainsi de quantifier les spores par rapport au volume d'air prélevé et de les regrouper en groupe morphologique, permettant ainsi une identification limitée (Russell *et al.* 1999). Cette identification peut permettre de reconnaître certains genres dans le cas de structures bien définies (comme les genres *Alternaria* ou *Fusarium*), mais reste limitée pour certains autres (comme les genres *Aspergillus*, *Paecilomyces* et *Penicillium*), pour lesquels les spores sont indifférenciables les unes des autres. La précision de l'identification dépend également du niveau d'expertise de l'utilisateur pour identifier les structures. Certains modèles de collecteurs, principalement utilisés pour l'étude de l'air extérieur, permettent également de déplacer lentement la surface adhésive, de manière à augmenter la durée de prélèvement sans risquer de saturer la surface (Cabral 2010).

D'autres approches se basent sur l'évaluation de composés chimiques des moisissures dans le but d'estimer leur biomasse. Les plus couramment utilisés sont l'ergostérol (Bjurman 1994) et les β-D-glucanes (Rylander 1999). Ces deux méthodes souffrent néanmoins d'un certain niveau d'imprécision en raison de la variabilité de la production de ses composés selon les conditions de culture, les matériaux et l'âge des colonies. Des tests ELISA reconnaissants certains allergènes spécifiques existent également pour certaines espèces de moisissures (Schmechel *et al.* 2003).

L'odeur de moisi est un paramètre parfois utilisé dans l'étude des contaminations fongique des habitats (Hernberg *et al.* 2014). Cette odeur est liée à la croissance des moisissures dans l'habitat, qui se développent en dégradant les matériaux de constructions et en relarguant des composants odorants dans l'air intérieur, les COVm décrits précédemment dans la partie 2.5 (Bennett et Inamdar 2015). Ce paramètre est généralement utilisé lors des études épidémiologiques par questionnaire en raison de la facilité avec laquelle il peut être employé

par les inspecteurs et les participants (ANSES 2016). Reponen *et al.* (2010) ont démontré que cette odeur était corrélée avec les concentrations de particules fongiques de l'air, contrairement à l'indicateur de la surface contaminée. Cet indicateur de la surface contaminée est néanmoins proposé par l'ANSES dans sa saisine de 2016 comme pouvant servir à renseigner les habitats, et définissant 3 catégories selon la surface contaminée : faible si inférieur à 0,2 m^2, moyen si compris entre 0,2 et 3 m^2 et élevé et pouvant servir de critère d'insalubrité si supérieur à 3 m^2.

I.4) Impact sanitaire de l'exposition aux moisissures dans les habitats

Des études cliniques, toxicologiques et épidémiologiques peuvent être recensées dans la littérature.

I.4.1) Un syndrome à part entière ?

Depuis les années 70, une notion de syndrome des bâtiments malsains (*Sick Building Syndrome* ou SBS) a émergé pour décrire les problèmes de santé liés aux expositions dans les habitats, en particulier ceux dégradés par les moisissures (Cooley *et al.* 1998). Ce syndrome englobe un large spectre de symptômes non spécifiques affectant la peau (démangeaisons, irritation), les voies respiratoires (irritation, toux, encombrement nasal) ou d'ordre psychologique (fatigue, maux de tête, nausées, vertiges, diminution de la concentration) (Vance et Weissfeld 2007 ; WHO 1983). La plupart des études menées en milieux intérieur dans des bâtiments dans lesquels les résidents se plaignaient du SBS ont montré une prédominance des genres *Aspergillus* et *Penicillium* aux dépends du genre *Cladosporium*, mais aucun genre ou espèce fongique particulier n'a pu être mis en évidence pour expliquer ce syndrome (Cooley *et al.* 1998, McGrath *et al.* 1999, Herbarth *et al.* 2003). Une association entre le SBS et la contamination de l'air par les moisissures du genre *Aspergillus* et les aldéhydes a également été mis en évidence (Takigawa *et al.* 2009). Dans l'ensemble, les résultats concernant le rôle des moisissures dans le SBS restent très débattus et les différentes études sur le sujet donnent des résultats parfois contradictoires (ANSES 2016).

Une espèce en particulier a été incriminée suite à des épisodes d'hémorragies pulmonaires chez de jeunes enfants dans l'Ohio dans les années 1993-1994. Des quantités élevées d'une moisissure, *Stachybotrys chartarum* avait été retrouvées dans l'air, et le potentiel de cette espèce à produire des trichothécènes et d'autres mycotoxines, en avaient fait le suspect principal du SBS (Montana *et al.* 1997). L'impact de cette moisissure sur la santé animale et humaine a par la suite été largement étudiée, et son rôle dans le SBS reste encore très controversé, les

études récentes ayant mis en évidence une toxicité avérée des spores et des toxines de cette espèce fongique sur les tissus pulmonaires mais une capacité limitée à être aérosolisée dans l'air (Pollard *et al.* 2013).

I.4.2) Des arguments épidémiologiques

L'ANSES a, dans sa saisine de 2016, passé en revue les études portant sur les problèmes de santé et pathologies associées à l'exposition aux moisissures dans les habitats et a permis de faire ressortir les conclusions suivantes :

- Des preuves suffisantes existent pour établir une relation causale entre le risque de développer un asthme dans l'enfance et l'exposition à l'air des habitats dégradés. Chez l'adulte, ces preuves sont jugées suffisantes dans le cas des expositions professionnelles de lieux de travail dans lesquels les concentrations en polluants microbiologiques aériens sont élevées (silos à grain, usines de compostage, …), mais sont jugées limitées dans le cadre de l'exposition aux moisissures dans les lieux d'habitations. Le même constat est réalisé dans les deux cas pour ce qui est des phénomènes d'exacerbation de l'asthme liés à l'exposition aux bioaérosols des habitats dégradés.
- Des preuves suffisantes permettent d'établir une corrélation entre l'exposition aux moisissures et la survenue de rhinites allergiques.
- Des preuves suffisantes existent pour suspecter un lien entre l'exposition aux moisissures dans les habitats dégradés et la survenue de crises de toux, de gêne respiratoire (dyspnée) et d'une augmentation des risques d'infections respiratoires. Dans le cas de la survenue des bronchites allergiques, des pneumopathies d'hypersensibilité, de rhinosinusite chronique et de sinusites fongiques allergiques, ces preuves sont jugées limitées, tandis que pour ce qui est de l'altération des fonctions pulmonaires, ces preuves sont jugées insuffisantes.
- Des preuves limitées suggèrent un lien entre l'exposition prolongée aux moisissures dans les habitats et l'altération des fonctions cognitives chez les enfants de moins de 2 ans.
- Le SBS et la survenue d'effets psychologiques en raison de la vie dans un habitat dégradé n'est pas jugé comme suffisamment étayé par des études pertinentes pour qu'un lien puisse être établi.

Une réduction de la capacité respiratoire a également été observée chez des adultes non-asthmatiques dans des habitations dégradées par les moisissures (Hernberg *et al.* 2014). Les mécanismes les plus suspectés pour ces problèmes de santé sont la stimulation répétée du système immunitaire et l'inflammation prolongée des tissus, ce qui pourrait expliquer l'apparition des symptômes inflammatoires (irritation, toux, …) et allergiques (allergie, asthme). Des effets synergiques ont également été notés entre les différents contaminants biologiques de l'air intérieur (notamment entre les bactéries et les moisissures), d'où la difficulté de caractériser les effets de ces bioaérosols (Mendell *et al.* 2011). Une étude visant à déterminer l'impact de la co-exposition avec un actinomycète, *Streptomyces californicus* et plusieurs moisissures et bactéries des habitats dégradés a permis de mettre en évidence un effet synergique de ces organismes, notamment pour *Stachybotrys chartarum* (Huttunen *et al.* 2004).

I.4.3) Un risque pulmonaire

Certaines populations sont connues pour être plus sensibles à l'exposition aux moisissures :

- Les nourrissons et les personnes âgées, ainsi que les personnes immunodéprimées.
- Les personnes atopiques, qui souffrent d'une prédisposition génétique ou familiale à réagir de manière allergique à certains antigènes (dans notre cas, aux antigènes des moisissures), ce qui se traduit par une production excessive d'IgE, ce qui déclenche des symptômes comme l'allergie atopique ou le rhume des foins. Cette sensibilisation atopique aux antigènes de champignons est peu commune en Europe, contrairement à d'autres pays comme les Etats-Unis.
- Les personnes atteintes de maladies les fragilisant du point de vue bronchique, comme par exemple, celles atteintes de la mucoviscidose.

I.4.3.1) Les pathologies allergiques connues

L'exposition à des concentrations importantes de moisissures dans l'air est susceptible de causer trois types de pathologies allergiques (ANSES 2016) :

- Les réactions immunitaires contrôlées par les IgE. Ces réactions se traduisent par des atteintes bronchiques (toux, sifflements ou asthme).
- L'aspergillose broncho-pulmonaire allergique, qui est une maladie rare retrouvée essentiellement chez les patients atteints d'asthme persistant ou de mucoviscidose, et

qui est due à une réponse mixte (IgE et IgG) liée à une hypersensibilité aux spores d'*Aspergillus fumigatus*.

- Les alvéolites allergiques extrinsèques ou pneumopathies d'hypersensibilité, sont des maladies liées à l'inhalation chronique de moisissures par des personnes sensibles du point de vue allergique, et générant une réponse humorale de type IgG. Ces maladies relativement rares touchent principalement des travailleurs exposés à de grandes concentrations de moisissures (comme les fermiers et les travailleurs des centrales de compostages), avec une prévalence estimée entre 0,2 et 1,5% des travailleurs actifs en moyenne. Certains cas d'alvéolites allergiques extrinsèques domestiques ont été détectés, mais sont bien moins décrits, avec des espèces incriminées variables. Plusieurs maladies de ce type existent (Dalphin et Reboux 2005) :
    - La maladie du poumon du fermier concerne les agriculteurs travaillant les foins et les céréales. Elle semble liée à de fortes concentrations d'actinomycètes thermophiles (principalement des genres *Saccharopolyspora*, *Thermoactinomyces* et *Saccharomonospora*) et de micromycètes (*Aspergillus sp*, *Absidia corymbifera*, *Candida albicans*, *Penicillium brevicompactum*, *P. olivicolor*).
    - L'alvéolite aux engrais concerne les travailleurs des engrais et des débris végétaux contaminés. Elle incrimine principalement *Streptomyces albus*.
    - La maladie des grainetiers qui concerne les travailleurs exposés au blé contaminé par les charançons. Cette maladie incrimine principalement *Sitophilus granarius*.
    - Le poumon du compost concerne les travailleurs des usines de compostage. Cette maladie incrimine principalement les espèces du genre *Aspergillus*.
    - La maladie des éleveurs d'oiseaux concerne les travailleurs exposés aux déjections d'oiseaux. Elle incrimine principalement des antigènes provenant des oiseaux. Cette maladie semble avoir une prévalence largement supérieure à la moyenne, touchant de 5 à 10% des travailleurs du secteur.
    - La maladie des fromagers concerne les travailleurs des fromageries. Elle incrimine les moisissures *Penicillium casei*, *P. roquefortii* et l'acarien *Acarus siro*.
    - La maladie des champignonistes concerne les travailleurs du compostage des champignons. Elle incrimine principalement des actinomycètes thermophiles ainsi qu'*Aspergillus glaucus*.

- Les alvéolites liées au travail du bois, qui concernent les travailleurs du bois, notamment du chêne et de l'érable. Elle incrimine principalement des espèces des genres *Penicillium* et *Paecilomyces*.
- La subérose liée au travail du liège. Elle incrimine principalement *Penicillium frequentans*.
- La maladie des vignerons, liée aux moisissures du raisin. Elle incrimine principalement *Botrytis cinerea*.
- Le poumon des ouvriers du malt, lié au travail de l'orge moisi et du houblon germé. Cette maladie incrimine principalement *Aspergillus fumigatus* et *A. clavatus*.

I.4.3.2) Les preuves épidémiologiques

Un certain nombre d'études ont été réalisées en milieu intérieur. Parmi ces dernières, plusieurs portent sur des aspects qualitatifs (inspection visuelle des logements ou réponse à des questionnaires) comme indiqué ci-dessous :

- Des études menées au Canada par Dales et ses collaborateurs (2006 ; 2010) se basant sur une inspection visuelle des logements et un suivi des nourrissons pendant 2 ans après leur naissance a permis de mettre en évidence un risque faible de développer des manifestations respiratoires dans les 2 premières années de la vie pour les habitations peu contaminées par les moisissures.
- Le suivi d'une cohorte nord-américaine pendant 7 ans se basant sur une visite du logement par une personne qualifiée et la réponse à des questionnaires de la part des participants a permis de classer les logements en 3 catégories : la classe 0 correspondant à des logements sains sans moisissures, la classe 1 correspondant à des logements ayant un historique de problèmes d'humidité et contaminés par les moisissures sur des surfaces inférieures à 0,2 m^2 et la classe 2 à des logements contaminés sur plus de 0,2 m^2 par des moisissures (Iossifova *et al.* 2007 ; 2009). Ces études ont en outre mis en évidence la présence d'un lien entre le risque de développer un asthme chez l'enfant et la présence importante de moisissures dans l'habitat.
- Finalement, une étude en Finlande portant sur 258 patients concernés par des expositions professionnelles à l'humidité et aux moisissures pendant 9 ans a classé le niveau de contamination fongique des bâtiments par inspection visuelle suivant 4

niveaux : « Bas », avec une seule surface touchée sur moins de 0,5 m^2, « Intermédiaire » pour des surfaces touchées supérieures à 1 m^2 et des concentrations dans l'air inférieures à 100 CFU/m^3 d'air pour les moisissures et 10 CFU/m^3 d'air pour les actinobactéries, et « Elevé » pour les surfaces touchées supérieures à 1 m^2 et des contaminants de l'air supérieurs à 100 CFU/m^3 d'air pour les champignons et à 10 CFU/m^3 pour les actinobactéries. Une quatrième catégorie « Données insuffisantes » a également été créée pour les bâtiments pour lesquels il n'y avait pas assez de données pour les classer. Dans cette étude, une corrélation entre le niveau d'exposition « Elevé » et le développement d'un asthme probablement lié à cette exposition a été mise en évidence (Karvala *et al.* 2010).

Des méta-analyses ont également été réalisées sur les différentes données d'exposition aux moisissures des autres études, permettant de mettre en évidence ou de préciser des informations sur cette exposition :

- Trois méta-analyses se concentrant sur l'exposition des résidents aux moisissures et la survenue de manifestations d'asthme concluent sur une relation très forte entre ces deux facteurs. Mendell *et al.* (2011) ont ainsi, dans une revue qualitative des données publiées, mis en avant les nombreuses études suggérant un lien entre l'exposition aux moisissures et à l'humidité et l'exacerbation de l'asthme, et ont jugé qu'il existait un niveau de preuve suffisant par rapport à la survenue de manifestations respiratoires (toux, sifflement, dyspnée, infection respiratoire, bronchite et rhinite allergique) et cutanées (eczéma) et cette exposition. Quansah *et al.* (2012) ont publié une méta-analyse calculant des estimations de la relation entre des manifestations cliniques et l'exposition aux moisissures. Ils ont ainsi mis en évidence une forte corrélation entre le développement de l'asthme et l'exposition aux moisissures, ainsi qu'une corrélation plus faible entre le développement de l'asthme et l'odeur de moisi dans l'habitation ou une humidité relative élevée. Dick *et al.* (2014) se sont intéressés aux données concernant l'exposition chez 8 cohortes d'enfants dans les pays de l'Union Européenne, jusqu'à l'âge de 9 ans, et ont relevé une augmentation des risques de développer un asthme, ainsi que d'autres manifestations respiratoires (sifflements) qui n'ont pas persisté dans le temps.
- Sharpe *et al.* (2015) ont réalisé une méta-analyse sur les espèces incriminées dans les phénomènes d'exacerbations de l'asthme, et ont mis en avant l'influence des espèces des genres *Acremonium, Alternaria, Aspergillus, Aureobasidium, Cladosorium,*

Epicoccum, Penicillium, Scopulariopsis, Trichoderma, Ulocladium et *Wallemia* dans ces phénomènes. Les auteurs suggèrent que l'exposition à ces genres fongiques des personnes asthmatiques dans les logements peut présenter un risque pour la santé. Un certain nombre de ces genres fongiques (notamment *Alternaria* et *Cladosporium*), sont néanmoins déjà connus pour être très allergisants. Une autre méta-analyse, réalisée par Kanchongkittiphon *et al.* (2015), relève également ce lien entre exacerbation de l'asthme et exposition aux moisissures, en particulier par rapport aux spores d'espèces appartenant au genre *Penicillium* chez les enfants. Cette étude relève également une relation entre l'exposition aux endotoxines et l'exacerbation de l'asthme.

I.4.3.3) Les asthmatiques : une population particulièrement sensible

D'autres études sur le sujet se sont intéressées au suivi de populations de patients asthmatiques (cohortes), vivant ou non dans des habitats dégradés :

- Karvonen *et al.* (2009) ont mené une étude mettant en évidence une association significative entre présence de moisissures dans les pièces de vie et l'apparition de sifflements dans la respiration de l'enfant à l'âge de 18 mois, confirmée par un diagnostic médical. La mesure des IgE dans le sang de la réponse à 19 allergènes, parmi lesquels les allergènes les plus courants des moisissures (*Alternaria alternata*, …), à l'âge de 1 an, n'ont en revanche pas permis de mettre en évidence une réponse allergique aux moisissures dans ce laps de temps. D'autres études de suivi des grossesses et des nourrissons ont permis de compléter ces résultats : lien entre apparition de sifflements dans la respiration à l'âge de 24 mois et présence de moisissures constatées par un technicien (Schroer *et al.* 2009) ; augmentation de la fréquence de l'asthme chez les enfants à 5 ans et présence de moisissures dans les logements pendant la grossesse (Wen *et al.* 2015) ; lien entre présence de moisissures, historique de dommages des eaux et odeur de moisi et survenu de l'asthme chez les jeunes enfants, avec une relation plus forte en cas d'atopie d'un des parents par rapport aux moisissures (Hwang 2011 ; 2012).
- Dales *et al.* (2010) ont suivi pendant 2 ans après la naissance des enfants et se sont intéressés à la manifestation de 4 symptômes respiratoires chez ces enfants : le nez bouché, la toux, les sifflements et l'essoufflement. Les auteurs de cette étude ont relevé des liens entre la fréquence de la manifestation de ces symptômes et la basse température de l'habitat et la quantité élevée d'endotoxines, mais pas par rapport à la surface

contaminée par les moisissures (qui était le seul paramètre de mesure fongique de cette étude).

- Larsson *et al.* (2011), dans une vaste étude à l'aide de questionnaires, ont relevé un lien persistant entre la présence d'une odeur de moisi et la survenue de l'asthme chez les enfants. L'étude reposait sur l'analyse d'un questionnaire rempli à deux reprises, à 5 ans d'intervalle. Malgré le faible nombre de renseignements par rapport à l'étendue de la contamination fongique, un certain nombre de facteurs indirects (odeur de moisi, infiltrations d'eau, …) ont été utilisés pour déterminer cette contamination.

Les personnes souffrant déjà d'asthme sont également très sensibles à la pollution de l'air par les moisissures : des observations cliniques d'asthmatiques ont mis en avant une mortalité par asthme augmentée de plus de deux fois lors de l'exposition des patients à des concentrations extérieures en particules fongiques supérieures à 1000 spores/m^3. La sensibilisation aux moisissures est beaucoup plus fréquente chez les patients hospitalisés de façon répétée pour asthme, et de la même façon pour les asthmatiques hospitalisés en réanimation (Black *et al.* 2000). Une étude plus récente a mis en évidence un lien entre la vie dans des habitations ayant des problèmes de moisissures et/ou d'humidité et une plus grande variabilité du débit respiratoire de pointe ainsi qu'à une hyperréactivité bronchique (Hagmolen of the ten Have *et al.* 2007). Cette augmentation de la variabilité bronchique a été retrouvée dans une étude aux Etats-Unis, dans laquelle les moisissures de l'air intérieur des habitations ont été quantifiées, et pour lesquelles une réduction du volume bronchique de 18,5% a été retrouvée en association avec la présence de moisissures du genre *Penicillium* dans l'air des habitations (Bundy *et al.* 2009). Cette sensibilité au genre *Penicillium* a été retrouvée par Gent *et al.* (2012), qui ont montré chez des enfants asthmatiques un risque plus élevé de toux persistance, de sifflements et d'un score d'asthme augmenté chez les enfants sensibilisés et exposés aux spores de ce genre fongique comparé à des enfants asthmatiques non sensibilisés et non exposés à cette moisissure.

I.4.3.4) Des effets allergisants

Les moisissures sont également suspectées de favoriser l'apparition de phénomènes d'allergie (O'connor *et al.* 2004). L'étude de la cohorte européenne ECHRS a mis en évidence chez les jeunes adultes une sensibilité allergique de 3,3% des sujets aux spores du genre *Alternaria* et de 1,7% aux spores du genre *Cladosporium* (Bousquet 2007). Ces résultats se recoupent avec ceux obtenus par Bedhod *et al.* (2013), qui ont relevé une augmentation du risque de respiration

sifflante chez les nourrissons de moins d'un an dans les habitats affichant des taux importants de spores d'espèces des genres *Alternaria*, *Cladosporium* et *Penicillium* dans les poussières sédimentées.

Un certain nombre de méta-analyses mettent également en évidence l'existence d'un lien entre la rhinite allergique (aussi connu sous le terme « rhume des foins » dans le cas des pollinoses) et l'exposition aux moisissures (Antova *et al.* 2008 ; Fisk *et al*. 2007 ; Jaakkola *et al.* 2013). Ces études identifient également d'autres symptômes en plus de cette rhinite allergique aux moisissures qui est commune aux trois revues. Fisk *et al.* (2007) identifient ainsi un certain nombre de manifestations respiratoires (toux, essoufflement, asthme), tandis que Antova *et al.* (2008) rapporte une association entre les moisissures et la toux, notamment la toux nocturne (et donc une détérioration du sommeil). Jaakkola *et al.* (2013) ont, quant à eux, identifié un risque de rhinite et de rhinoconjonctivite augmenté en plus de l'association entre les moisissures et la rhinite allergique. Une autre étude portant sur cette association entre la rhinite allergique et l'exposition aux moisissures a mis en évidence une association positive de cette manifestation avec l'exposition à des concentrations élevées de basidiospores, tandis que des associations positives ont été trouvées entre la sensibilisation aux allergènes (pollens, moisissures et acariens) et l'exposition aux spores des genres *Alternaria*, *Aspergillus* et *Penicillium*. Cette association était négative pour les spores du genre *Cladosporium* (Osborne *et al.* 2006).

Le taux d'humidité relative de l'air semble jouer un rôle dans la réponse aux bioaérosols. Ainsi, des études ont pu mettre en évidence des corrélations positives entre des taux d'humidité relative élevée et la survenue de toux et d'asthme, ainsi que de manière moins marquée avec la fatigue, les maux de tête et l'augmentation des infections respiratoires (Bornehag *et al.* 2001, OMS 2009). Ces études ne font néanmoins pas la part entre les problèmes liés à l'humidité seule et ceux liés aux bioaérosols générés par ces ambiances humides.

La diversité des espèces de moisissures semble également jouer un rôle dans la toxicité des bioaérosols fongiques ; une étude portant sur la diversité fongique dans l'air à l'aide du séquençage à haut débit a ainsi mis en évidence une augmentation de survenue d'asthme chez les enfants de 7 ans dans les habitations à faible diversité fongique comparé à ceux vivant dans des habitations à forte diversité fongique (Dannemiller *et al.* 2014).

I.4.4) Etudes toxicologiques sur les effets des moisissures et des bioaérosols

L'exposition *in vitro* de cellules humaines ou animales à des spores ou des extraits fongiques met en évidence une cytotoxicité variable. Ainsi, Smith *et al.* (1992) ont observé un effet cytotoxique de 39 extraits fongiques issus de souches provenant de l'air intérieur. Parmi les espèces testées, les auteurs ont identifié 21 espèces appartenant au genre *Penicillium* ainsi que 2 isolats d'*Aspergillus fumigatus*, mais n'ont pas été en mesure d'identifer les espèces restantes. Dans une autre étude portant sur l'exposition de cellules A549 (lignée cellulaire dérivée d'un cancer pulmonaire) à des concentrations sensiblement plus importantes de spores (de l'ordre de 10^6 spores), Schulz *et al.* (2004) ont constaté une cytotoxicité comprise entre 10 et 40% pour *Rhizopus stolonifer*, entre 20 et 60% pour *Penicillium expansum*, entre 0 et 65% pour *Paecilomyces variotii* et entre 5 et 70% pour *Aspergillus ochraceus*. Ces auteurs ont également pu constater une cytotoxicité d'*Aspergillus fumigatus*, sur cette même lignée cellulaire, largement plus importante que celles des 4 espèces de l'air intérieur précédemment citées. Au niveau du lien entre la charge fongique et bactérienne des bioaérosols et leur cytotoxicité, une étude a montré que la cytotoxicité de ces extraits de bioaérosols semble peu liée à la concentration en moisissures, tandis que les extraits testés disposant d'une concentration en bactérie élevée semblaient se révéler plus cytotoxiques (Hirvonen *et al.* 2005). Cette étude se trouve néanmoins limitée par une absence d'identification des différentes espèces concernées, ainsi que par un nombre relativement faible d'échantillons testés.

En dehors du cas de l'asthme, l'exposition à des spores de champignon ou des fragments de mycélium est connue pour causer des inflammations liées à des réponses non allergiques (Eduard 2009 ; Green *et al.* 2006). Des réponses allergiques peuvent également être constatées, généralement caractérisées par un fort taux d'antigènes E (IgE) après exposition à des spores de moisissures et par la libération de certains médiateurs de l'inflammation (Bush *et al.* 2006).

Les spores fongiques semblent présenter une toxicité supérieure lorsqu'elles sont inhalées viables plutôt qu'inactives. Une étude menée sur l'exposition de lymphocytes T (ou cellules T) à des spores d'*Aspergillus fumigatus* vivantes ou inactivées par la chaleur a ainsi permis de démontrer une réponse différente (Rivera *et al*. 2005). Une autre étude chez des souris exposées à des spores vivantes ou mortes de cette même moisissure ont produit une réponse humorale (synthèse IgA, d'IgE et d'IgG dans la région de l'arbre bronchique), avec une inflammation des alvéoles pulmonaires (augmentation du nombre d'éosinophiles, de neutrophiles et de lymphocytes dans le liquide de lavage bronchoalvéolaire) et une altération des voies respiratoires. Ces effets étaient très marqués pour les injections de spores vivantes, mais moins

importants dans le cas d'injection de spores mortes. De plus, dans cette étude, des souris allergiques ont également démontré une sécrétion nettement supérieure d'IgE et d'IgA dans le liquide de lavage bronchoalvéolaire, ainsi qu'une libération plus importante dans ce liquide d'éosinophiles et de lymphocytes (Pandey *el al*. 2013).

Certaines études se sont également intéressées aux médiateurs de la réaction inflammatoire, les cytokines, induites ou réprimées par les bioaérosols et les moisissures. Ces médiateurs (interleukines, TNF-α, IFN-γ, …) sont des glycoprotéines solubles synthétisées par les cellules et reconnues par les cellules avoisinantes : elles jouent un rôle vital dans la mise en œuvre d'une réponse inflammatoire efficace. Il existe une grande diversité de cytokines, mais ces dernières sont spécifiques à des types cellulaires et ont des effets différents.

Au niveau de l'épithélium pulmonaire (**Figure 19**), la réponse inflammatoire va être initiée par les cellules épithéliales suite à une synthèse d'IL-1β et d'IL-18, qui vont déclencher la réaction inflammatoire et entraîner la production par d'autres types cellulaires de plusieurs autres cytokines selon le type de stress rencontré. L'IL-1β va ainsi induire une poussée de fièvre, favoriser le maintien des lymphocytes T et la prolifération des lymphocytes B et favoriser la production d'anticorps par ces derniers. Cette cytokine va également attirer les leucocytes sur les lieux de l'agression pour participer à la défense contre les pathogènes et au nettoyage de la

zone touchée. L'IL-18 va, quant à elle, participer à l'activation des lymphocytes et à leur synthèse de TNF-α (Sayan et Mossman 2016).

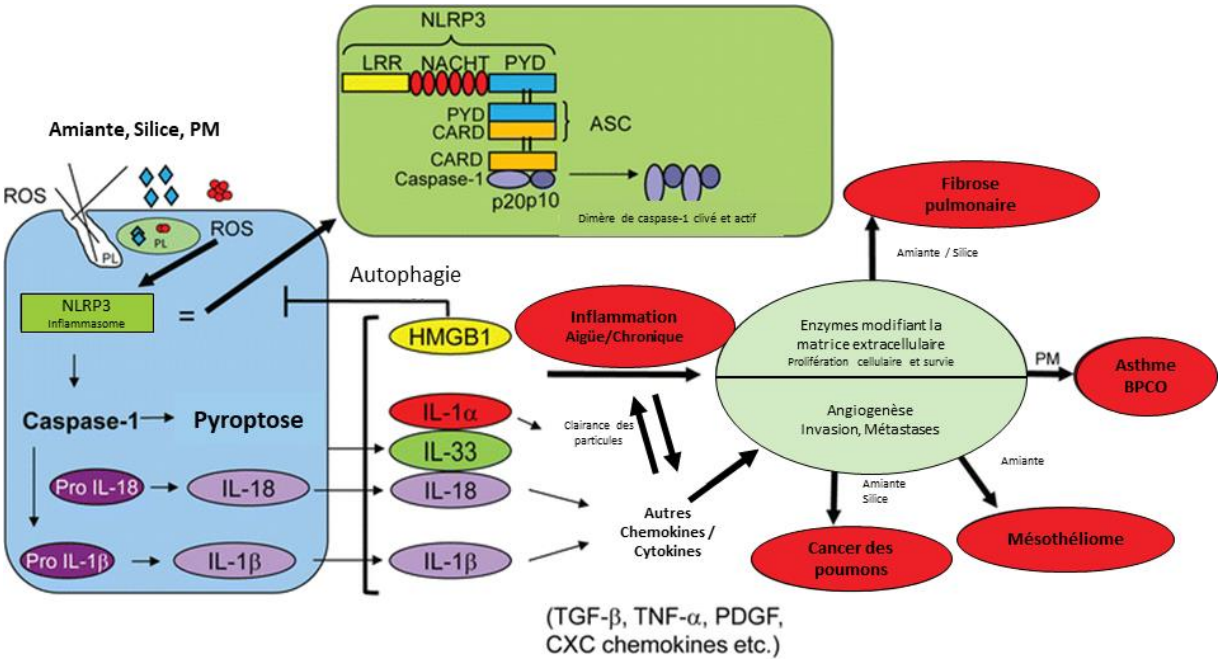


Figure 19 : Schéma de la réponse inflammatoire au niveau de l'épithélium pulmonaire suite à l'exposition à des polluants aériens (amiante, silice ou PM), décrivant la cascade de réaction dans la cellule suivant la détection de l'agent étranger et les différentes cytokines produites en réponse (D'après Sayan et Mossman 2016).

BPCO : Bronchopneumopathie chronique obstructive, PM : particules en suspension (*particulate matter*), ROS : espèces réactives de l'oxygène (*reactive oxygene species*), NLRP3 : NOD-like Receptor family domains-containing protein 3, LRR : *leucin-rich repeat*, NACHT : domaine NACHT, PYD : *Pyrin domain*, CARD : *CAspase Recruitement Domain*, ASC : *Apoptosis-associated speck-like protein*, HMGB1 : *High mobility group box 1 protein*.

Au niveau de l'épithélium cutané (qui constitue la seconde voie d'exposition aux bioaérosols), cette mécanique est légèrement différente, principalement à cause du fait que les kératinocytes sont capables de produire toutes les cytokines impliquées dans la réaction inflammatoire (**Figure 20**).

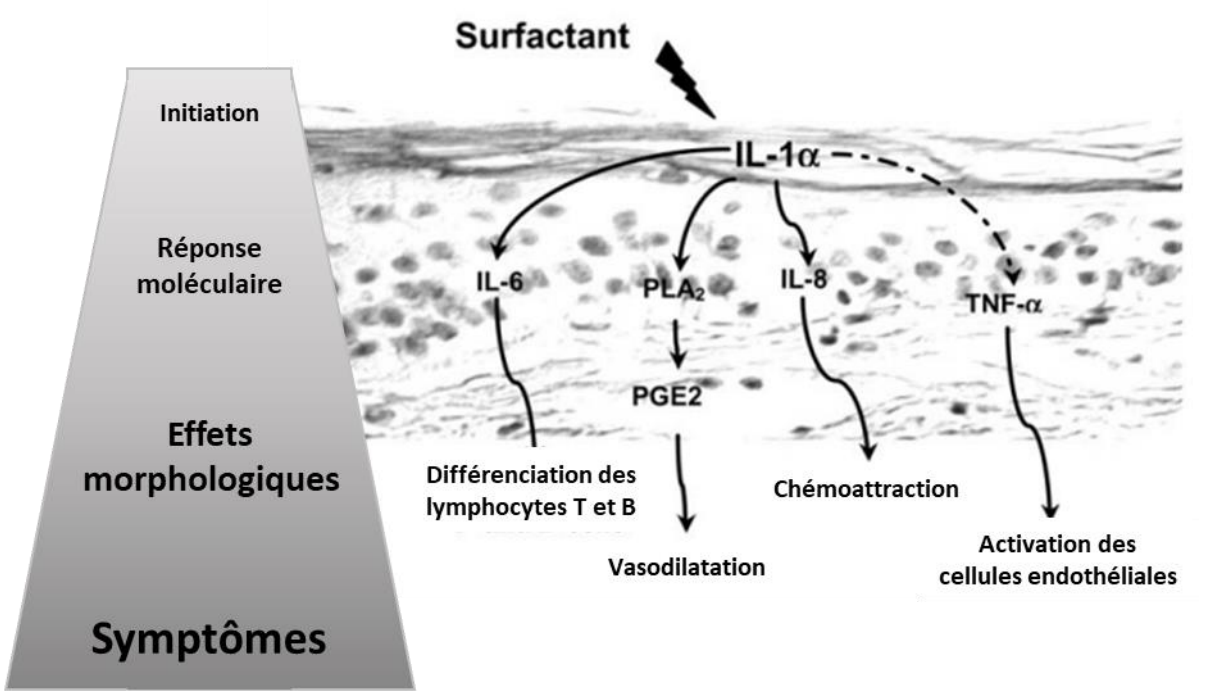


Figure 20 : Schéma de la réponse inflammatoire au niveau de l'épithélium cutané (Source : Welss *et al.* 2004).

Suite à la perception d'un stress, les kératinocytes touchés vont produire de l'IL-1α, qui va entraîner une réponse locale (fièvre, vasodilatation, hypotension et augmentation de la sensation de douleur) ainsi qu'une production d'autres cytokines en cascade, notamment l'IL-6 qui va favoriser la différenciation des lymphocytes B et T, l'IL-8 qui va attirer les autres cellules du système immunitaire et le TNF-α qui va favoriser la migration des cellules du système immunitaire dans les tissus touchés (Welss *et al.* 2004).

Des études *in vitro* d'exposition de macrophages de souris à des extraits fongiques ou bactériens montrent une induction dans la production d'IL-6 et de TNF-α, deux médiateurs de l'inflammation (Huttunen *et al.* 2004). D'autres travaux, portant ceux-ci sur l'exposition *in vitro* de cultures cellulaires à des composés de bioaérosols provenant d'habitats dégradés, ont également permis de mettre en évidence des réponses à ces stress. Ainsi, Rand *et al.* (2011) ont mis en évidence le recrutement de 13 gènes impliqués dans la réponse inflammatoire suite à l'exposition de macrophages alvéolaires de souris à différents composés fongiques (atranone C, brevianamide, stérigmatocystine, neoechinulin a, neoechinulin b et cladosporine).

Plusieurs dérèglements du système immunitaire ont été mis en évidence chez des patients vivant dans des habitats dégradés. Beijer *et al.* (2003) ont montré une diminution des lymphocytes T CD8 et un taux de TNF-α plus élevé dans des dosages sanguins de personnes non fumeuses

vivant dans des habitats dégradés en comparaison de témoins vivant dans des habitats sains. Hirvonen *et al.* (1999) ont trouvé, quant à eux, des taux de TNF-α, d'IL-6 et de monoxyde d'azote significativement plus importants dans des liquides de lavage nasaux de personnes vivant dans des habitats dégradés comparés à ceux des contrôles qui vivent dans des habitats sains. Une autre étude portant également sur des liquides de rinçage des voies nasales menée cette fois-ci sur des personnes travaillant dans des écoles dégradées par les moisissures a également montré l'induction de l'IL-6 et du TNF- α, ainsi que de l'IL-1 chez les patients. Une augmentation de ces productions de médiateurs du système immunitaire a aussi été observée durant le printemps (Purokivi *et al.* 2001).

I.4.5) Autres effets de l'exposition aux moisissures

Des effets neurologiques et psychologiques ont également été mis en évidence. Une étude ayant suivi pendant plus de 2 ans de jeunes enfants a mis en évidence une diminution du quotient intellectuel des enfants ayant vécu pendant au moins 2 ans dans des habitats dans lesquels des moisissures ont été constatées, en comparaison avec des enfants ayant vécu pendant une même période dans des habitats sains (Jedrychowski *et al.* 2011). Ces résultats ont été retrouvés par Casas *et al.* (2013), qui a constaté une diminution du développement cognitif et des capacités d'interactions en société des enfants vivant dans des habitats ayant des problèmes d'humidité et de moisissures par rapport à ceux vivant dans des habitats sains. Ces observations ne doivent cependant pas être interprétées uniquement vis-à-vis des bioaérosols mais également au regard des déterminants socio-économiques de la santé des habitants vivant dans ces environnements dégradés.

I.4.6) Infections

Une grande variété de moisissures est connue pour être capable de causer des infections en raison de leur caractère opportuniste. Néanmoins, la plupart de ces infections surviennent chez des personnes immunodéprimées pour lesquelles le système immunitaire n'est plus en mesure de faire face aux agents pathogènes (patients atteints de pathologies chroniques, immunodépression liée à un traitement médicamenteux, …). Parmi ces moisissures, nous pouvons citer :

- Des espèces du genre *Aspergillus*, principalement *Aspergillus fumigatus*, *A. flavus* et *A. niger*, connues pour causer des infections respiratoires. L'émergence de phénomènes de résistance à certains traitements azolés chez *Aspergillus fumigatus* dans les dernières années, se révèle être un problème majeur pour les hôpitaux en raison de la grande prévalence de cette souche dans les aspergilloses respiratoires et de la sévérité de ces infections (Yang *et al.* 2016). Des infections de la peau sont également connues pour certaines espèces de ce genre fongique (Galimberti *et al.* 2012).
- *Penicillium marneffei*, seule espèce de son genre connue pour causer des infections chez des personnes immunodéprimées. Cette espèce cause une infection systémique caractérisée par de la fièvre, une perte de poids, des manifestations respiratoires et des lésions cutanées (Galimberti *et al.* 2012).
- Certaines espèces des genres *Fusarium*, *Scedosporium* et *Rhizopus*, plus récemment remarquées comme étant capables de causer un certain nombre d'infections, notamment cutanées (Enoch *et al.* 2006). Les moisissures du genre *Fusarium*, en particulier, sont connues pour causer des infections cutanées pouvant se transformer en infections systémiques (Galimberti *et al.* 2012).
- Des levures du genre *Candida*, capables de causer des candidoses pouvant avoir différentes localisations. *Candida albicans* et *C. glabrata* sont les deux levures les plus souvent retrouvées dans ces infections (Enoch *et al.* 2006).
- *Cryptococcus neoformans*, le principal agent des cryptococcoses. Les infections respiratoires liées à cet agent sont fréquemment asymptomatiques (Enoch *et al.* 2006).
- Certaines espèces du genre *Pneumocystis* connues pour causer des infections respiratoires graves chez les personnes sévèrement immunodéficientes (Curtis *et al.* 2004).

En dehors de cette situation, un certain nombre de moisissures sont capables de causer des infections chez les personnes n'étant pas nécessairement immunodéprimées (Yang *et al.* 2016). Il s'agit généralement des espèces des genres *Candida*, *Histoplasma*, *Cryptococcus*, *Blastomyces* et *Coccidioides* qui sont connues comme étant rarement capables d'infecter des personnes immunocompétentes. Certaines autres espèces, comme par exemple celles des genres *Trichophyton*, *Candida* ou *Malassezia* sont connues pour causer des infections cutanées mineures chez les personnes immunocompétences (Curtis *et al.* 2004).

I.4.7) Effets des autres composés constituant les bioaérosols

Les endotoxines sont connues pour déclencher des manifestations respiratoires en cas d'exposition *in vitro* à de grandes quantités de ces composés (Smid *et al.* 1992). Un effet protecteur a cependant été démontré sur le développement de l'asthme jusqu'à l'âge de 4 ans chez des enfants de mères atopiques, avec de plus une diminution du risque de sifflements persistants, en se basant sur les endotoxines présentes dans les poussières sédimentées des habitations (Douwes *et al.* 2006). En revanche, chez l'adulte, les études tendent à montrer que les niveaux élevés d'endotoxines sont plutôt associés à des symptômes respiratoires (Dales *et al.* 2006 ; 2010). Par rapport à l'exposition aux endotoxines, l'Institut National de Recherche et de Sécurité préconise une valeur seuil d'exposition au travail inférieure à 200 EU par m^3 d'air, et juge les conditions non satisfaisantes quand cette valeur se situe entre 200 et 1000 EU par m^3 d'air et non acceptable pour des valeurs supérieures à 1000 EU par m^3 d'air (INRS 2015). Un symptôme est connu pour l'exposition aigüe aux endotoxines : l'*Organic Dust Toxic Syndrom* (ODTS), qui se traduit par une réaction inflammatoire intense causant fièvres, malaises et gêne respiratoire (INRS 2015). Les endotoxines sont également connues pour être la source de réponses inflammatoires, notamment au travers de l'induction de l'IL-12 et du TNF-α. Les endotoxines jouent un rôle dans l'apparition et l'exacerbation de l'asthme, et l'exposition à des concentrations élevées d'endotoxines cause une variété de symptômes chez l'Homme : fièvre, crises de frissons, malaise, toux sèche, gêne respiratoire et réduction de la capacité pulmonaire. Les personnes souffrant d'asthme ou d'hypersensibilité bronchique sont connues pour être plus sensibles aux endotoxines. Les effets de l'exposition aux endotoxines semblent très complexes, jouant à la fois un rôle protecteur dans certaines situations et un rôle d'agent délétère dans d'autres (Douwes *et al.* 2002). Plus récemment, une étude portant sur l'exposition des travailleuses du textile aux endotoxines a mis en évidence un possible effet carcinogène de ces composés (Checkoway *et al.* 2014).

Concernant l'exposition aux β-D-Glucanes, il n'existe pas de valeurs d'exposition préconisées. Rylander et ses collaborateurs ont étudié ces composés, du point de vue de leurs effets sur la santé humaine ainsi que pour leur rôle possible comme marqueur de la contamination fongique (Rylander 1999 ; Rylander et Lin 2000). Outre les effets *in vitro* décrits précédemment, un lien entre des taux de β-D-glucanes plus élevés et des symptômes respiratoires a pu être mis en évidence dans ces études, mais sans tenir compte des autres contaminants éventuels des habitats (Rylander et Lin 2000). Une étude se basant sur la quantité de glucanes présente dans les poussières sédimentées des logements lors d'un suivi de 7 ans a mis en évidence un effet

protecteur des glucanes à haute concentration jusqu'à l'âge de 1 an vis-à-vis du développement de l'asthme, tandis qu'au même âge, une faible concentration de glucanes semble être un facteur de risque (Iossifova *et al.* 2007). L'effet protecteur est contesté par d'autres études, du moins, passé les premières années après la naissance; ainsi, plus récemment, une étude portant sur l'asthme chez les jeunes enfants en se basant sur les β-D-glucanes dans les poussières a mis en évidence que les jeunes dans des habitats où des taux élevés avaient été relevés, développaient deux fois plus d'hypersensibilité bronchique que ceux vivant dans des habitats avec des taux bas (Maheswaran *et al.* 2014).

Ces données contradictoires entre les éventuels effets protecteurs des endotoxines et des glucanes par rapport à l'asthme et aux allergies respiratoires sont donc encore largement débattus. Tischer *et al.* 2011 ont par exemple mené une étude sur les taux d'endotoxines et de glucanes contenus dans les poussières récupérées sur des matelas de plusieurs cohortes d'enfants (deux allemandes et une néerlandaise). Ils ont ainsi pu mettre en évidence des résultats divergents entre les cohortes étudiées, avec un effet protecteur des endotoxines contre l'asthme chez les cohortes allemandes, tandis qu'aucune corrélation avec des maladies ou manifestations respiratoires n'avait été observé chez la cohorte néerlandaise. Il est donc possible que cet effet protecteur soit également lié à d'autres facteurs biotiques ou abiotiques.

L'exposition aux COVm est suspectée d'être à l'origine d'effets respiratoires. Ces composés sont à l'origine de l'odeur de moisi caractéristique des habitats dégradés. Leurs effets potentiels sur la santé humaine restent néanmoins controversés, même si certaines études *in vitro* et *in vivo* suggèrent un effet irritant pour certains de ces composés testés. Par exemple, une étude portant sur l'exposition de volontaires à un COVm particulier, le 1-octen-3-ol, pendant 2 heures a engendré chez ces derniers des signes objectifs d'irritation des yeux et des voies respiratoires (Walinder *et al.* 2008). Aucune relation n'a été mise en évidence entre ces composés, l'asthme et la dermatite atopique, mais une corrélation a pu être trouvée entre un de ces composés, le 1-octen-3-ol, et la survenue de symptômes nasaux et de conjonctivites (Araki *et al.* 2012). Cette molécule, qui est principalement produite par les moisissures dans les habitats, est également connue pour être légèrement cytotoxique sur des cellules de la moelle osseuse murines (Yang *et al.* 2016). L'impact des COVm sur la santé dans les habitats dégradés se révèle être difficile à étudier en raison de plusieurs problèmes méthodologiques : comme nous l'avons évoqué précédemment il existe un grand nombre de COVm différents, leur concentration dans l'air est souvent faible et l'exposition des patients se fait sur une longue période de temps. De plus, la plupart de ces composés sont communs à plusieurs espèces fongiques différentes, et certains

sont même relargués par des matériaux de construction. En revanche, l'étude des composés purs a permis de déterminer des potentiels irritants pour un certain nombre de ces composés (Dassonville *et al.* 2014).

Pour les mycotoxines, si leurs effets par ingestion sont bien documentés, en particulier chez les animaux (Bhatnagar *et al.* 1992), leurs effets liés à une exposition chronique *via* les voies respiratoires et/ou cutanées sont largement moins documentés. Des analyses d'urine de patients souffrant d'un symptôme de fatigue chronique et vivant dans des habitats dégradés par des moisissures ont permis de retrouver au moins une mycotoxine dans 104 des 112 échantillons testés. Les mycotoxines les plus fréquemment retrouvées étaient l'ochratoxine A dans 83% des échantillons, des trichothécènes dans 44% des échantillons, alors qu'aucune mycotoxine n'a été retrouvée dans l'urine des 55 témoins de la même région vivant dans des logements sains (Brewer *et al.* 2013). Les patients de cette étude souffraient du syndrome de fatigue chronique, se caractérisant par un état de fatigue récurrent qui ne disparaît pas avec le repos. Les études *in vitro* sur des lymphocytes murins et *in vivo* sur des souris des mycotoxines identifiées ont mis en évidence notamment des dommages sur les mitochondries (adduits), une inhibition de la synthèse protéique et des dommages membranaires pouvant mener à l'apoptose. Les auteurs suggèrent que ce syndrome de fatigue pourrait être en partie lié aux dommages aux mitochondries causés par l'exposition à ces bioaérosols contenant des mycotoxines.

Les virus ont, quant à eux, été assez peu étudiés au niveau de leur présence et leur impact dans les bioaérosols. Quelques études comme celle de Foster *et al.* (2003) ont mis en évidence des interactions complexes entre le virus respiratoire syncytial A2, les LPS et les allergènes d'une espèce d'acariens (*Dermatophagoides pteronyssinus*), démontrant un effet d'augmentation de la sensibilité des cultures cellulaires à l'infection par ce virus en présence de l'antigène d'acarien, mais une diminution de cette sensibilité en présence du LPS.

II) Objectifs de l'étude CLIMATOX

Ce travail de thèse s'inscrit dans une approche globale et pluridisciplinaire de la qualité de l'air dans les habitats dégradés par les moisissures. Il propose, en constituant une base de données, de documenter l'exposition aux moisissures dans les habitats dégradés en Normandie (France) et ainsi de contribuer à établir des indicateurs pertinents et des valeurs guides d'exposition aux contaminants fongiques aériens.

Cette étude s'articule en 3 axes :

- Evaluation de l'exposition et identification du danger : il s'agit de caractériser la microfonge des habitats dégradés, d'évaluer la toxicité des bioaérosols de ces habitats et de documenter les symptômes ressentis par les résidents ainsi que les caractéristiques de l'habitat.
- Déterminants climatiques : les conditions climatiques influençant la croissance et la toxinogenèse fongique ont été testées en laboratoire (phytotron).
- Développement méthodologique : un outil permettant un suivi de la contamination fongique aérienne (*Aspergillus versicolor*) a été mis au point; il s'agit de la qPCR couplée à la cytométrie en flux.

Pour le premier volet, des prélèvements d'air dans 48 habitats dégradés ont été réalisés, et les bioaérosols collectés ont été caractérisés en mobilisant des outils culturaux et moléculaires. La toxicité des bioaérosols a également été testée sur deux lignées cellulaires correspondant aux deux principaux modes d'expositions : pulmonaire et cutanée. Des données concernant les caractéristiques de l'habitat et les problèmes de santé ressentis par les résidents ont systématiquement été collectées.

Dans le second volet, huit espèces fongiques récurrentes dans les prélèvements d'air (*Aspergillus flavus*, *A. fumigatus*, *A. flavus*, *Paecilomyces variotii*, *Penicillium brevicompactum*, *P. chrysogenum*, *P. olsonii* et *Stachybotrys chartarum*) ont été cultivées selon un protocole mis au point en enceinte climatique permettant de contrôler la température et l'humidité relative ambiante. Trois conditions climatiques différentes ont ainsi été testées : température élevée (25°C) et humidité relative élevée (80%), température élevée (25°C) et humidité relative basse (40%), température basse (19°C) et humidité relative basse (40%). Les paramètres « croissance » et « production de mycotoxines » ont été suivis durant 21 jours.

Dans le dernier volet, une méthode de quantification d'*Aspergillus versicolor*, qui est considérée comme l'une des espèces les plus caractéristiques des habitats dégradés a été mise au point en associant la cytométrie en flux et la qPCR de manière à quantifier rapidement et précisément les taux de contamination aérienne par ce micromycète toxinogène.

III) Matériel et Méthodes

III.1) Sélection des habitats et prélèvements

La campagne de prélèvements d'air dans les habitations s'est déroulée de novembre 2015 à avril 2018. Des habitats situés en région Normandie ont été sélectionnés en se basant sur le critère de la présence de moisissures apparentes et persistantes depuis plusieurs mois dans l'habitat. Ils nous ont été signalés par différents acteurs locaux partenaires de notre projet :

- Le Service Communal d'Hygiène et de Santé (SCHS) de la mairie de Caen.
- Les Conseillers Médicaux en Environnement Intérieur (CMEI) de Normandie.
- L'Agence Régionale de Santé (ARS) de Normandie.
- L'Association de Défense des Locataires de Normandie (ADLN).
- La participation directe des résidents suite à un article paru dans le journal Ouest-France le 9 mai 2016 (**Annexe 1**)

Après signature d'un accord de consentement (**Annexe 2**), chaque habitation a fait l'objet d'une visite d'environ 1h30 durant laquelle des prélèvements ont été effectués et des questionnaires renseignés (**Figure 21**).

III.1.1) Prélèvements

Les prélèvements sont réalisés dans la pièce visiblement la plus touchée par la contamination fongique et mobilisent 3 appareils permettant d'effectuer les différentes mesures :

- Le biocollecteur portable Coriolis® µ (Bertin Technologies, France) est utilisé pour réaliser 4 prélèvements d'air de 10 minutes chacun à un débit de 300 L/min (volume total prélevé : 1,2 m^3). Le collecteur est placé à une hauteur de 1 mètre par rapport au sol. Ce système permet de collecter les particules aériennes dans un cône rempli de 15 ml d'eau stérile additionnée de 0,02% de Tween 80. À la fin de la série de prélèvements, les 4 liquides de collecte sont rassemblés et le volume total est mesuré. Cet échantillon sert ensuite à l'analyse et à la quantification des différents contaminants microbiologiques aériens. L'aliquot restant est congelé à -20°C.
- Le compteur à particules Grimm® (Modèle 1.108, GRIMM Technologies, Inc., Douglasville, GA, Etats-Unis) est un système qui permet, à l'aide d'une détection laser, de quantifier les particules toutes les 6 secondes (15 fenêtres de mesures de 0,3 à 20 µm) en prélevant l'air à un débit de 1,2 L/min. Il permet également de suivre toutes les 6 secondes la température ambiante et l'humidité relative (HR). Ces mesures sont

effectuées pendant 45 minutes parallèlement aux prélèvements d'air par le Coriolis®, l'appareil étant également placé à 1 mètre du sol.

- Le tube collecteur de poussières fines Acarex® Test (Dyn'R, France) permet de quantifier les acariens à partir de la poussière présente sur les surfaces textiles de la pièce (canapé, matelas, …). Le prélèvement est réalisé sur 1 m^2 en 2 minutes en utilisant un aspirateur ménager GL-20 (Bosch, Allemagne) et le tube collecteur de poussières fines fourni avec le kit.

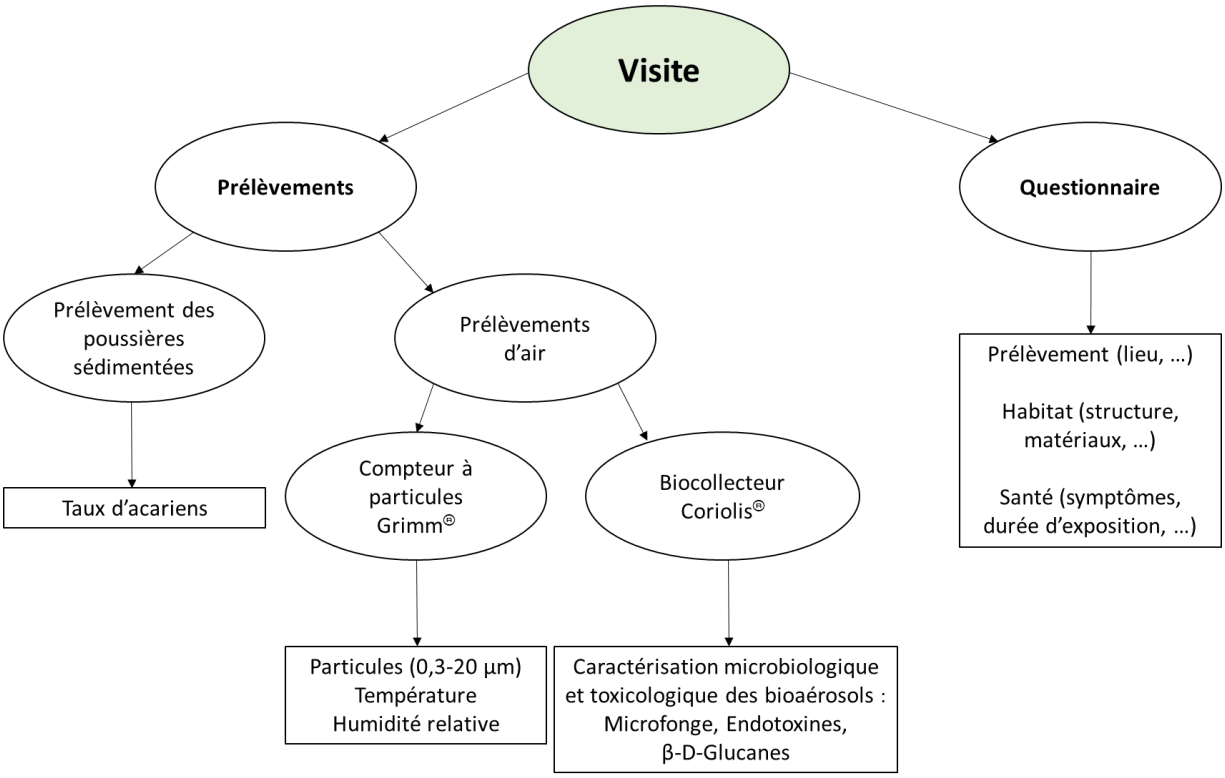


Figure 21 : Déroulement d'une visite à domicile dans le cadre du projet CLIMATOX.

Des prélèvements de surface sont également réalisés lorsque des champignons lignivores sont présents sur les matériaux.

De plus, dans 2 habitations, une analyse exploratoire de la contamination bactérienne a été effectuée (voir paragraphe 2.4). Pour cela, une série de prélèvements réalisés à l'aide d'un impacteur sur gélose Sampl'Air (BioMérieux Industry, France) a été réalisée. Dans chacune de ces habitations, des milieux gélosés ont été ensemencés à l'aide de l'impacteur. Ces ensemencements ont été réalisés à un débit de 100 L/min à deux temps de collecte différents : 2 et 5 minutes.

III.1.2) Les questionnaires

Une fiche d'intervention (**Annexe 3**) et un questionnaire renseignant plusieurs aspects de l'habitat ainsi que l'état de santé des résidents sont également complétés lors de la visite (**Annexe 4**). Ce questionnaire est basé sur celui employé par les CMEI durant leurs visites et renseigne les aspects suivants :

- Informations sur l'habitant (coordonnées) et sur le prélèvement (localisation)
- Informations sur l'habitat (type de logement, caractéristiques du bâti et de l'utilisation des lieux, …)
- Etat de santé des résidents (allergies, antécédents médicaux, symptômes ressentis, consultations médicales, …)

Des photos de l'habitat et de l'étendue des dommages liés aux moisissures sont également prises de façon systématique durant chaque visite.

III.2) Caractérisation microbiologique des bioaérosols

Suite à la visite, les prélèvements sont immédiatement analysés pour déterminer et quantifier les contaminants microbiologiques de l'air selon le protocole décrit sur la **Figure 22**.

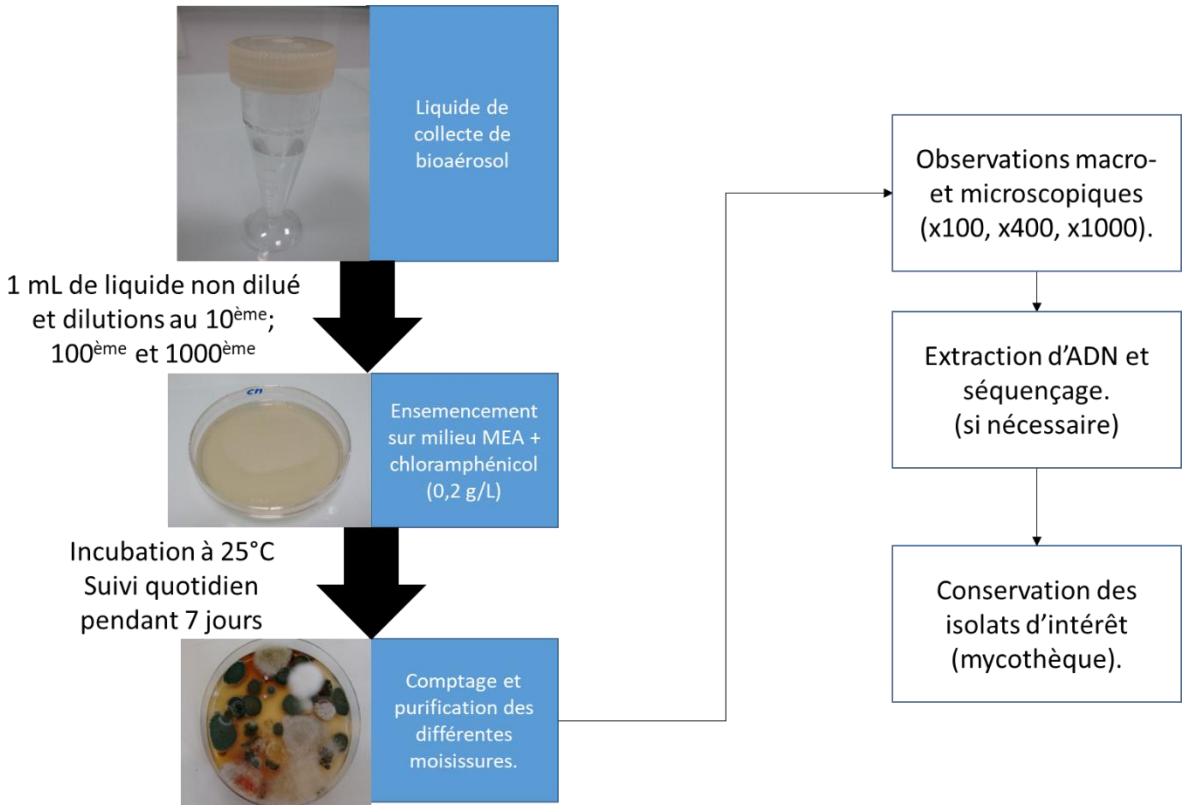


Figure 22 : Schéma général d'étude des micromycètes.

III.2.1) Analyse de la microfonge de l'air

Les compositions des milieux de culture sont présentées en **Annexe 5**.

III.2.1.1) Mise en culture

Un ml de liquide de collecte non dilué est déposé dans une boîte de Petri (Greiner Bio-One, Autriche) et 25 mL de milieu *Malt Extract Agar* (MEA) contenant 0,2 g/L de chloramphénicol (Cooper, USA) maintenu en surfusion à 55°C sont ensuite versés dans la boîte de Petri. Cette dernière est mise à incuber à 25°C. Des dilutions sont réalisées selon le même principe (au $10^{ème}$, $100^{ème}$ et $1000^{ème}$). Des triplicats sont réalisés pour la solution-mère et les dilutions.

Les boîtes de Petri sont examinées quotidiennement durant 7 jours et chaque colonie est repiquée sur milieu MEA afin d'être purifiée puis identifiée. La dilution adéquate (qui comprend entre 15 et 150 spots) permet également un dénombrement en Unité Formant Colonie (CFU) des différentes espèces fongiques présentes.

III.2.1.2) Identifications fongiques

Les identifications sont réalisées selon des critères macro- et microscopiques, ainsi qu'avec l'aide de la *Polymerase Chain Reaction* (PCR) dans le cas d'espèces fongiques nécessitant une confirmation.

III.2.1.2.1) Analyse culturale

L'identification se base sur les caractéristiques macro- et microscopiques des isolats purifiés en se basant sur différents ouvrages de référence : Domsch, Gams et Anderson (1995), Klich (2002), Pitt (1979; 2000) et Von Arx (1974), ainsi que sur les observations des souches constituant la mycothèque du laboratoire (plus de 1500 souches d'origines variées). Dans le cas de certaines espèces fongiques, des milieux sélectifs ont été utilisés :

- le milieu *Potato Dextrose Agar* (PDA) pour le genre *Fusarium*,
- les milieux *Czapek Yeast Agar* (CYA) et *Glycerol 25% nitrate* (G25N) pour les espèces du genre *Penicillium* (**Figure 23**).
- les milieux CYA et *Czapek Yeast Agar 20% sucrose* (CYA20S) pour les espèces du genre *Aspergillus*.

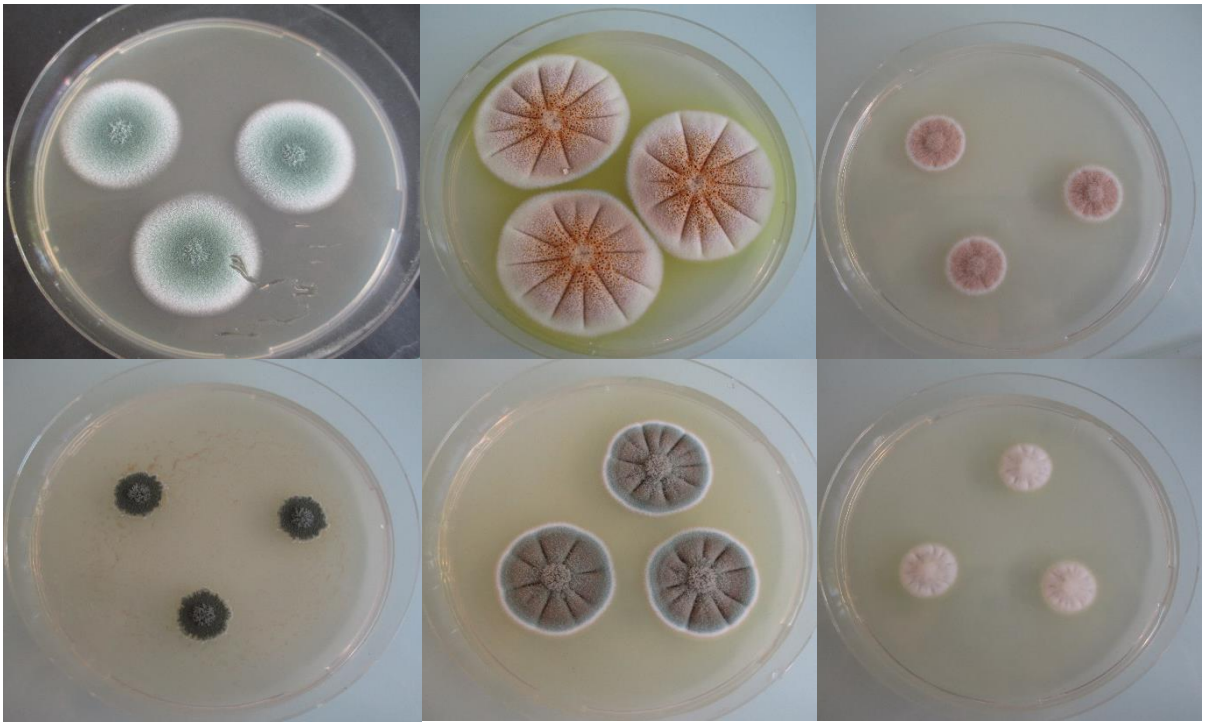


Figure 23 : Deux espèces différentes du genre *Penicillium* (*Penicillium chrysogenum* en haut et *Penicillium brevicompactum* en bas) sur milieu MEA (à gauche), CYA (au milieu) et G25N (à droite) (Source : laboratoire ToxEMAC, Delanoë).

III.2.1.2.2) Analyse par PCR

Dans le cas des espèces pour lesquelles l'identification microscopique s'est révélée incertaine et dans le cas des espèces fongiques non sporulantes, l'amplification et le séquençage des régions *Internal Transcriber Spacer* (ITS) et du gène de la béta-tubuline (BenA) ont été réalisés.

L'ADN des souches fongiques est extrait de cultures d'isolats purifiés à l'aide du kit Nucleospin® Plant II (Macherey-Nagel, Allemagne). La colonie est grattée à l'aide d'un scalpel stérilisé à la flamme et la pelote de matériel fongique est déposée dans un microtube de 2 mL contenant 1 g de billes de verre de 1 mm de diamètre et 2 billes de verre de 5 mm de diamètre. Un volume de 400 µL de tampon de lyse 1 du kit est ajouté au tube et ce dernier est agité à 20 Hz pendant 15 minutes dans un TissueLyser (QIAGEN, Allemagne). Le tube est ensuite incubé pendant 15 minutes à 65°C, puis 400 µL de chloroforme (VWR, Pennsylvanie, Etats-Unis) et 20 µL de protéinase K à 10 mg/mL (Promega, USA) sont ajoutés dans le tube. Après 30 secondes d'agitation sur un vortex, une centrifugation est réalisée pendant 5 minutes à 13 400 rpm et la phase aqueuse est prélevée et filtrée sur une colonne de filtration. La colonne est centrifugée 2 minutes à 13 400 rpm et le filtrat est récupéré, mélangé avec 450 µL de tampon d'hybridation puis le mélange est agité au vortex pendant 30 secondes et déposé sur une colonne de séparation. La colonne de séparation est centrifugée 1 minute à 13 400 rpm, puis lavée avec

400 µL de tampon de lavage 1. Cette étape est répétée deux fois, la première avec 700 µL de tampon de lavage 2 et la seconde avec 200 µL. Après le deuxième lavage, la colonne est séchée avec 2 minutes de centrifugation à 13 400 rpm, puis l'ADN est élué avec 100 µL de tampon d'élution préchauffé à 65°C.

L'amplification est réalisée par PCR à l'aide du kit FastStart Taq DNA Polymerase (Roche, Suisse). Chaque PCR est réalisée dans un volume final de 20 µL, contenant 2 µL de tampon Taq, 0,4 µL de dNTPs, 0,4 µL d'amorce Forward, 0,4 µL d'amorce Reverse, 0,2 µL de Taq Polymerase et 50 ng d'ADN fongique, puis complété jusqu'à 20 µL avec de l'eau ultra-pure. La structure des amorces utilisées et les cycles de PCR employés pour chaque amplification sont présentés dans le **Tableau 4**.

Tableau 4 : Liste des amorces et des cycles utilisés pour l'amplification des régions ITS et BenA.

Amplification	**Amorces (référence)**	**Cycles**	
BenA	Bt_2a : 5'- GGT AAC CAA ATC GGT GCT GCT TTC -3' Bt_2b : 5'- ACC CTC AGT GTA GTG ACC CTT GGC -3' (Glass et Donaldson 1995)	1x	95°C / 4 min
		40 x	95°C / 30 sec 51°C / 30 sec 72°C / 1 min
		1x	72°C / 10 min
ITS	ITS 1: 5'- TCC GTA GGT GAA CCT GCG G -3' ITS 4: 5'- TCC TCC GCT TAT TGA TAT GC -3' (White *et al*. 1990)	1x	95°C / 4 min
		40x	95°C / 30 sec 58°C / 30 sec 72°C / 1 min
		1x	72°C / 10 min

La réussite de l'amplification et la qualité des produits de PCR sont vérifiés par une migration par électrophorèse sur un gel d'agarose (Promega, USA) à 1% additionné de 2 mL de Midori Green® (Nippon Genetics Europe GmbH, Allemagne) pour la révélation des produits de PCR. Les séquences amplifiées sont ensuite séquencées à l'aide du service SupremeRun™ du séquençage Sanger (GATC Biotech, Allemagne). Les séquences sont ensuite comparées à celles de la banque de données MYCOBANK (http://www.mycobank.org/) à l'aide du logiciel BLASTn (NCBI : https://www.ncbi.nlm.nih.gov/).

III.2.2) Quantification des endotoxines et des glucanes

Pour chaque habitation, les endotoxines et les (1,3)-β-D-glucanes sont quantifiées à l'aide de cartouches de dosage Endosafe®-PTS™ (Charles River Laboratories, Massachussetts, Etats-Unis) dont le principe se base sur le test *Limulus Ameobocyte Lysate* (LAL). Ce test permet d'évaluer la concentration d'endotoxines ou de (1,3)-β-D-glucanes en se basant sur les propriétés de coagulation de l'hémolymphe de la Limule (*Limulus poluphermus*). Ce phénomène est lié à la libération de facteurs de coagulation connus sous le nom de coagulogène par les granolucytes de l'animal suite à la détection des endotoxines. Cette réaction entraîne une cascade d'activations de facteurs, se terminant par l'activation d'une enzyme, la coagulase, qui est utilisée pour cliver un peptide lié à un chromophore (la p-nitroaniline), ce qui active ce dernier qui libère un signal lumineux mesurable par photométrie à 385-410 nm (**Figure 24**). Cette méthode est standardisée et encadrée par la norme NF EN 14031 (AFNOR, 2003).

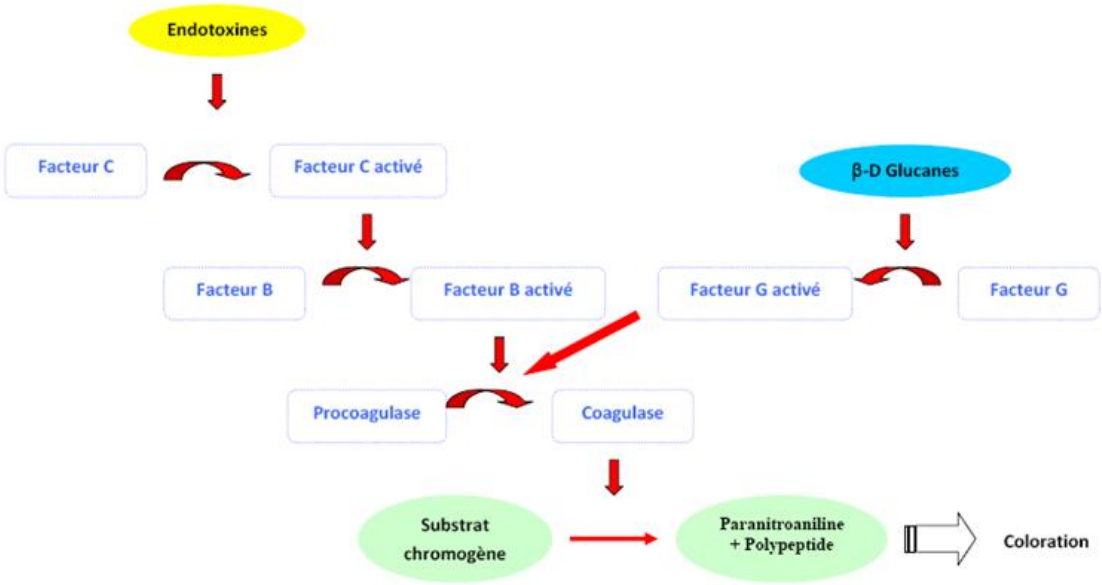


Figure 24 : Réactions en cascade du lysat d'amoebocyte de Limule en présence d'endotoxines ou de (1,3)-β-D-glucanes (Source : Greff-Mirguet 2002).

Le test commercial utilisé emploie l'appareil Endosafe®- PTS™ et les cartouches de dosages correspondantes. Il est réalisé juste après le prélèvement de manière à éviter la dégradation des endotoxines (Laitinen 1999). Les cartouches utilisées disposent de 4 canaux, 2 canaux pour l'échantillon pur et 2 autres dans lequel l'échantillon est mélangé à une quantité connue d'endotoxines ou de (1,3)-β-D-glucanes et constituant un contrôle positif pour les témoins de contrôle. Tous les échantillons sont préparés dans du matériel apyrogène.

Pour les endotoxines, les échantillons sont dilués au 1/10 dans du tampon neutralisant l'interférence des glucanes présents dans le liquide de collecte (Endotoxin Specific Buffer, Endosafe®, Charles River Laboratories). Ce tampon contient une concentration élevée de dérivés de glucanes de petite taille qui vont venir bloquer la voie d'activation du facteur G sans la déclencher (Tsuchiya *et al*. 1990). Le résultat est obtenu en 15 minutes et la sensibilité du test est de 0,05 à 5 unités d'endotoxines (UE) par mL. L'unité d'endotoxine a été définie par le comité d'expert de la standardisation biologique (CESB) de l'OMS en 1996. Elle est relative à l'activité de 0,1 ng de l'endotoxine de référence d'*Escherichia coli* 0113:HK10:K.

Pour les (1,3)-β-D-glucanes, les échantillons sont dilués au 1/5 dans l'eau LAL (LAL Reagent Water, Endosafe®, Charles River Laboratories), une eau traitée pour éliminer tous les composés pyrogènes. La dilution permet également d'éviter les phénomènes d'inhibitions dus au pH et à la présence de cations dans le liquide de collecte. Le résultat est obtenu en 30 minutes et la sensibilité du test est de 10 à 1000 pg par mL.

III.2.3) Evaluation de la contamination des surfaces par les acariens

La présence d'acariens dans l'habitat est évaluée à l'aide du test semi-quantitatif Acarex® Test (Dyn'R, France) utilisé selon les recommandations du fournisseur. Ce test est un test colorimétrique semi-quantitatif détectant la guanine contenue dans les déjections des acariens, qui est corrélée à la quantité d'allergènes d'acariens présents dans les poussières testées. La guanine est mise en contact avec une solution d'acide sulfanilique et de nitrite de sodium qui réagit avec ce composé et produit une coloration rouge-orangée (Le Mao *et al*. 1988). Les résultats obtenus dépendent de l'intensité de la coloration, et sont réparties selon 4 catégories : nul, faible, moyen ou fort (**Figure 25**).

Figure 25 : Expression des résultats de l'Acarex® *test.*

III.2.4) Etude exploratoire de la contamination bactérienne de l'air

Dans le cadre de cette thèse, une étude exploratoire, en partenariat avec l'équipe MALIM de notre Unité, a porté sur l'identification des bactéries présentes dans l'air. Ces essais ont porté sur deux habitations : HAB 37 et HAB 38. Deux méthodes de prélèvement ont été testées : la méthode par impaction sur gélose (**Figure 26**) et le biocollecteur Coriolis® décrits précédemment.

Différents milieux de culture ont été utilisés. Pour l'habitation HAB37, les milieux Gélose Nutritive Ordinaire (GNO) et *Plate Count Agar* (PCA) ont été utilisés. Compte tenu des faibles taux de bactéries obtenus, deux autres milieux, la gélose Cœur-Cervelle et le milieu de Bennett, ont été ajoutés pour l'étude de l'habitation HAB38. Les compositions des milieux sont présentées en **Annexe 5.** Tous les milieux de culture ont été supplémentés avec 0,1 g/L de pimaricine pour inhiber la croissance fongique.

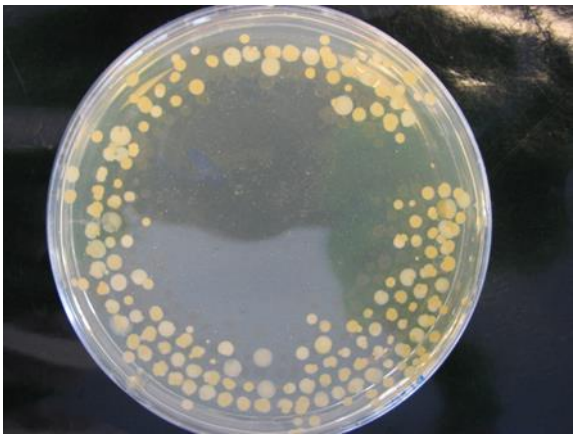


Figure 26 : Exemple de milieu Gélose Ordinaire ensemencée à l'aide de l'impacteur sur gélose Sampl'Air (Source : laboratoire MALIM).

Le prélèvement effectué par le biocollecteur Coriolis® a été réalisé avec du liquide de collecte classique (Eau UP + 0,02% Tween 80) pour l'habitation 37, puis dans du *Phosphate Saline Buffer* (PBS) pour l'habitation 38 de manière à s'affranchir des problèmes de pression osmotique pouvant nuire à la viabilité des bactéries collectées. Un prélèvement de 10 minutes à 300 L/min a été réalisé dans chaque habitation. Un aliquot de 100 µL du liquide de collecte non dilué ainsi que des dilutions au $10^{ème}$, $100^{ème}$ et $1000^{ème}$ ont été déposées en surface sur les milieux cités précédemment.

Les boîtes ensemencées ont été incubées à 30°C et suivies quotidiennement pendant 7 jours avec purification des différentes colonies bactériennes. Une PCR sur colonie est réalisée pour le gène de l'ARNr 16S en prélevant à l'aide d'une pointe stérile une petite quantité de la colonie

bactérienne et en la déposant dans le tube contenant le mix PCR. Cette PCR est réalisée à l'aide d'une Taq Polymérase haute-fidélité (Phusion® High-Fidelity DNA Polymérase, NEB, Royaume-Uni) et des amorces 16S_F (5' –AGAGTTTGATYMTGGCTC- 3') et 16S_R (5' –GGNTACCTTGTTACGACTT- 3'). Une phase de dénaturation initiale à 98°C pendant 10 minutes est réalisée, puis 35 cycles (98°C / 10 secondes; 54°C / 20 secondes ; 72°C / 45 secondes) sont effectués. Une phase d'élongation terminale de 5 minutes à 72°C est réalisée au terme des cycles.

La réussite de l'amplification et la qualité des produits de PCR sont vérifiés par une migration par électrophorèse sur un gel d'agarose (Promega, USA) à 1% additionné de 2 mL de Midori Green® (Nippon Genetics Europe GmbH, Allemagne) pour la révélation des produits de PCR. Les séquences amplifiées sont ensuite séquencées à l'aide du service SupremeRun™ du séquençage Sanger (GATC Biotech, Allemagne). Les séquences sont ensuite nettoyées et assemblées, puis comparées à celles de la banque de données du NCBI à l'aide du logiciel BLASTn (NCBI). Le protocole complet est détaillé en **Annexe 6**.

III.2.5) Evaluation du potentiel toxinogène d'isolats fongiques

Pour 40 espèces fongiques appartenant au genre *Aspergillus* isolées à partir des bioaérosols collectés, une évaluation de leur capacité à produire des mycotoxines *in vitro* a été réalisée à l'aide d'une quantification par Chromatographie Liquide Haute Performance couplée à un Spectromètre de Masse en tandem à triple quadripôle (HPLC-MS/MS). Cet appareil permet de séparer les molécules présentes dans l'extrait sur une colonne disposant d'une affinité connue, puis de les ioniser et de les analyser suivant leur masse et leur charge. La MS/MS permet également de fractionner ces ions pour disposer de la masse et de la fréquence des produits, ce qui permet d'analyser avec précision les molécules. La liste des isolats testés est donnée dans le **Tableau 5**.

Tableau 5 : Liste des isolats fongiques testés par HPLC-MS/MS vis-à-vis de leur potentiel toxinogène.

Espèce fongique	HAB	Nombre d'isolats
Aspergillus flavus	11, 14, 18, 19, 20, 21, 22, 24	8
Aspergillus fumigatus	06, 07, 09, 11, 13, 14 15, 17, 19, 20, 21, 22, 25, 26, 29	15
Aspergillus glaucus	19	1
Aspergillus europaeus	21	1
Aspergillus melleus	24, 25	2
Aspergillus montevidensis	10	1
Aspergillus niger	11, 19, 20, 26, 27, 28	6
Aspergillus pseudoglaucus	06, 16, 25	3
Aspergillus versicolor	01, 02, 28	3

Chaque isolat fongique, préservé dans la mycothèque du laboratoire, a été réactivé sur milieu MEA puis remis en culture pendant 14 jours sur ce milieu. Un carottage a ensuite été réalisé (**Figure 27**) : 3 plugs de 8 mm de diamètre sont effectués en triplicat avec un emporte-pièce stérilisé à la flamme et déposés dans un tube à hémolyse en verre préalablement pesé. Les plugs sont ensuite pesés et les composés sont extraits à l'aide de 2 mL d'acétate d'éthyle (VWR, USA) contenant 1% d'acide acétique (VWR, USA). Les tubes sont ensuite vortexés pendant 30

secondes, puis centrifugés 15 minutes à 1500 rpm. Le surnageant est récupéré puis transvasé dans un tube à hémolyse en verre propre avant d'être évaporé à sec sous un flux d'azote.

Les extraits secs sont par la suite repris à l'aide de 50 µL d'acétonitrile et vortexés 20 secondes. Un volume de 450 µL d'eau ultra-pure (UP) est alors ajouté et les tubes sont placés pendant 10 minutes dans un bain à ultrasons. Le mélange est alors filtré à l'aide d'un filtre à seringue Millex PVDF 0,45 µm (Millipore Corporation, Allemagne). Un aliquot de 45 µL de ce mélange est ensuite ajouté à 180 µL d'un mélange eau UP / acétonitrile (90/10) et 25 µL d'étalon interne (un mélange Aflatoxine B1-13C, Fumonisine B1-13C, Zéaralénone-13C et Déoxynivalenol-13C), et injecté dans un appareil 1290 HPLC (Agilent Technologies, USA) couplé à un spectromètre de masse en tandem à triple quadripôle (série 6460, Agilent technologies, USA), fonctionnant en mode ESI positif et négatif.

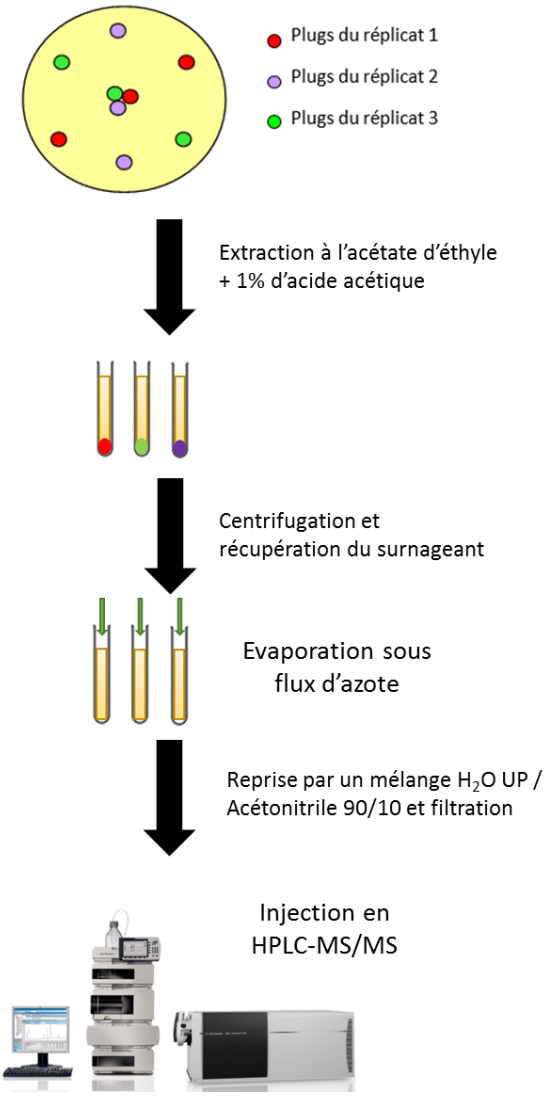


Figure 27 : Protocole utilisé pour la quantification multi-mycotoxines.

Les paramètres chromatographiques sont les suivants : injection de 10 µL à 60°C à un débit de 0,4 mL / min dans un mélange eau UP + 0,1% d'acide formique / acétonitrile 90/10 avec évolution du gradient à 100% d'acétonitrile en 10 minutes, puis injection dans 100% d'acétonitrile pendant 1 minute. Les paramètres appliqués au spectromètre de masse sont les suivants : injection à 300 °C dans de l'azote à un débit de 10 L / min et une pression de nébulisation de 45 psi. La désolvatation se fait dans de l'azote à 400°C à un débit de 12 L / min. Chaque analyse d'échantillon s'effectue en 14 minutes.

Au total 26 mycotoxines sont recherchées simultanément dans les extraits fongiques (**Tableau 6**) :

Tableau 6 : Noms, rapports de masse sur charge, domaines d'application et limites de quantification des différentes mycotoxines quantifiées par HPLC-MS/MS.

Mycotoxine	**Rapport m/z**	**Domaine d'application (µg/L)**	**Limite de quantification (µL/L)**
3-acétyldéoxynivalenol	339,0	1-50	5
Acide cyclopiazonique	337,2	1-50	5
Acide mycophénolique	321,1	0,5-50	2,5
Alternariol	257,0	2-50	10
Aflatoxine B_1	313,1	0,1-50	0,5
Aflatoxine B_2	315,1	0,1-50	0,5
Aflatoxine G_1	329,1	0,1-50	0,5
Aflatoxine G_2	331,1	0,1-50	0,5
Citrinine	251,1	0,3-50	1,5
Deepoxydéoxynivalénol	281,1	0,5-50	2,5
Déoxynivalénol	297,1	0,5-50	2,5
Diacétoxyscirpénol	384,2	0,3-50	1,5
Fumagilline	459,2	1-50	5
Fumonisine B_1	722,4	0,5-50	2,5
Fumonisine B_2	706,4	0,5-50	2,5
Fusarenon X	355,1	10-50	50
Gliotoxine	263,0	2-50	10
Ochratoxine A	404,1	0,5-50	2,5
Neosolaniol	400,2	0,3-50	1,5
Paxilline	436,2	2-50	10
Stérigmatocystine	325,1	0,3-50	1,5
Toxine T2	484,2	0,3-50	1,5
Toxine HT-2	442,2	10-50	nd*
Verrucarol	267,2	1-50	5
Verruculogène	494,2	0,3-50	1,5
Zéaralénone	317,1	0,5-50	2,5

* non déterminé

III.2.6) Etude de la résistance d'isolats aspergillaires aux antifongiques

Au vu de leur récurrence non négligeable et de leur capacité à causer des infections chez les personnes immunodéprimées, un certain nombre d'isolats d'*Aspergillus flavus*, *A. fumigatus* et *A. ustus* issus des habitations ont été testés par rapport à leur résistance aux antifongiques. Deux approches ont été employées : un screening rapide de la résistance à deux antifongiques (l'itraconazole et le voriconazole) sur milieu gélosé et une détermination des concentrations minimales d'inhibition (CMI) pour les isolats d'*Aspergillus fumigatus* à l'aide du test EUCAST.

Pour la première approche, des boîtes de gélose à 3 compartiments (**Figure 28**) sont préparées en les remplissant de milieu RADAR dont la composition est indiquée en **Annexe 5**. Dans le premier compartiment, le milieu RADAR seul est déposé, tandis que du milieu RADAR supplémenté de 4 mg/L d'itraconazole ou de voriconazole sont déposés respectivement dans le second et le troisième compartiment. Chaque compartiment est par la suite ensemencé à l'anse stérile par un dépôt de mycélium de l'isolat étudié, puis est incubé à 37°C pendant 48 heures. L'absence ou la présence de développement est déterminé au terme de ces 48 heures d'incubation. Les isolats suivants ont ainsi été testés :

- *Aspergillus flavus* : HAB11 ; HAB14 ; HAB18 ; HAB19 ; HAB20 ; HAB21 ; HAB22 et HAB24.
- *Aspergillus fumigatus* : HAB06 ; HAB07 ; HAB09 ; HAB11 ; HAB13 ; HAB14 ; HAB15 ; HAB17 ; HAB19 ; HAB20 ; HAB21 ; HAB22 ; HAB26 et HAB29.
- *Aspergillus ustus* : HAB09 et HAB15.

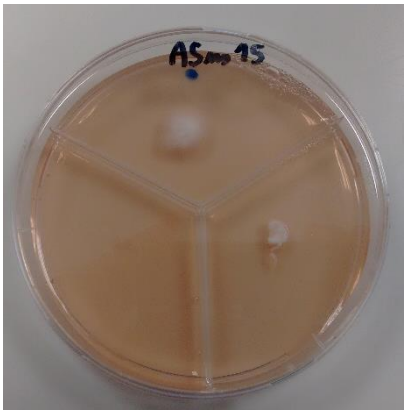


Figure 28 : Boîte RADAR utilisée pour le screening des résistances des différents isolats du genre *Aspergillus* (Source : Laboratoire ToxEMAC, Delanoë).

L'évaluation de la résistance aux antifongiques des 14 isolats d'*Aspergillus fumigatus* collectés dans des bioaérosols d'habitations de localisations différentes (zone rurale, zone péri-urbaine ou zone urbaine) (**Tableau 7**) a également été réalisée selon le test EUCAST défini par le sous-comité sur l'évaluation de la sensibilité aux antifongiques de l'*European Committee for Antimicrobial Susceptibility Testing* (ESCMID, 2008). J'ai réalisé ces tests à l'hôpital de la Pitié-Salpêtrière à Paris dans le cadre d'une collaboration avec le Dr. Arnaud Fekkar (service de mycologie médicale). Cinq antifongiques utilisés dans la pratique hospitalière pour traiter les infections fongiques ont été évalués : l'amphotéricine B, la caspofungine, l'itraconazole, le posaconazole et le voriconazole.

Tableau 7 : Liste des différents isolats d'*Aspergillus fumigatus* testés en EUCAST.

Isolat N°	**Habitation**	**Zone**
ASfu_06	HAB06	Urbaine
ASfu_07	HAB07	Urbaine
ASfu_09	HAB09	Urbaine
ASfu_11	HAB11	Rurale
ASfu_13	HAB13	Péri-urbaine
ASfu_14	HAB14	Rurale
ASfu_15	HAB15	Péri-urbaine
ASfu_17	HAB17	Urbaine
ASfu_19	HAB19	Péri-urbaine
ASfu_20	HAB20	Urbaine
ASfu_21	HAB21	Rurale
ASfu_22	HAB22	Péri-urbaine
ASfu_26	HAB26	Péri-urbaine
ASfu_29	HAB29	Urbaine

Pour ces tests, une solution mère de *Roswell Park Memorial Institute medium* (RPMI) 2x a été préparée en dissolvant 20,8 g de RPMI (Gibco, Thermo fischer Scientific, USA), 60,06 g d'acide 3-morpholino-1-propanesulfonique (MOPS) (Gibco, Thermo fischer Scientific, USA) et 36 g de glucose (Gibco, Thermo fischer Scientific, USA) dans 1 L d'eau UP, en ajustant le pH du milieu à 7. Le milieu a ensuite été stérilisé par filtration. Des solutions mères d'antifongiques à 16 mg/L pour l'amphotéricine B et la caspofungine et à 8 mg/L pour

l'itraconazole, le posaconazole et le voriconazole ont été préparées dans le RPMI 2x, et ont été utilisées pour préparer une gamme de 10 points de dilution dans une microplaque 96 puits selon le tableau suivant (**Tableau 8**) :

Tableau 8 : Liste des points de gamme préparés pour le test EUCAST.

Point de gamme	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Solution d'antifongique utilisée	Solution mère	Solution mère	Solution mère	Solution mère	Point de gamme 4	Point de gamme 4	Point de gamme 4	Point de gamme 7	Point de gamme 7	Point de gamme 7
Volume d'antifongique (µL)	200	100	50	50	100	50	50	100	50	25
Volume de RPMI 2x (µL)	0	100	150	350	100	150	350	100	150	175

Finalement, une suspension de spores a été préparée par grattage de la culture d'*Aspergillus fumigatus* de 7 jours sur milieu MEA dans de l'eau stérile. Chaque suspension est ensuite calibrée à une concentration comprise entre 2 et 5 x 10^5 spores/mL à l'aide d'une cellule de Malassez et d'eau UP pour les dilutions.

Dans chaque microplaque (**Figure 29**), 100 µL des solutions d'antifongiques pour les points de gamme 1 à 10 sont déposés dans les colonnes 1 à 10 ainsi que 100 µL de RPMI 2x dans les colonnes 11 et 12 (témoins). Les plaques sont ensuite ensemencées à l'aide de 100 µL de chaque suspension de spores dans les colonnes 1 à 11 avec une suspension différente par ligne. La colonne 11 sert de témoin de culture pour l'isolat fongique et, au terme de la préparation, 100 µL d'eau stérile sont ajoutés à chaque puits de la colonne 12 pour servir de témoin de stérilité de l'expérience. Dans chaque plaque, une culture de référence ATCC au profil de résistance connu est ajoutée dans une ligne pour contrôler la qualité des suspensions d'antifongique utilisées. La souche de *Candida parapsilosis* ATCC 22019 est ainsi utilisée, et les suspensions de spores sont préparées de la même manière que celles d'*Aspergillus fumigatus* évaluées durant cette expérience.

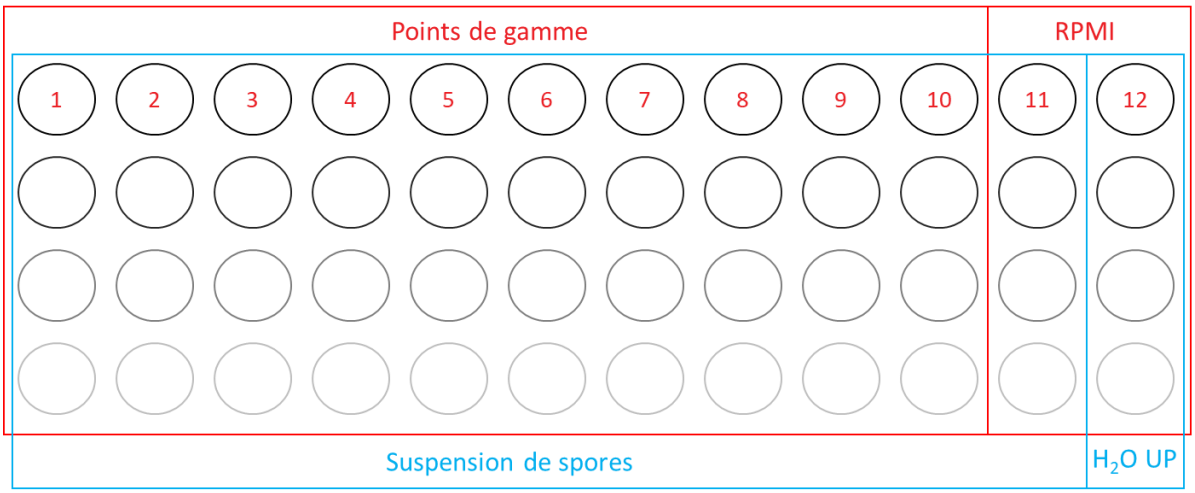


Figure 29 : Schéma de répartition des antifongiques et des contrôles en microplaque pour les tests de résistances EUCAST.

Les microplaques (**Figure 30**) sont incubées à 37 °C ± 2°C pendant 72 heures. Les plaques sont ensuite observées à 24, 48 et 72 heures pour évaluer la croissance ou l'absence de croissance d'*Aspergillus fumigatus* dans les différentes conditions, et l'absorbance à 530 nm à 48 heures est mesurée de manière à déterminer la croissance du témoin ATCC (*Candida parapsilosis* ATCC 22019) dans chaque plaque. Les CMI sont déterminées comme étant les concentrations les plus basses auxquelles aucun développement d'*Aspergillus fumigatus* n'a été constaté.

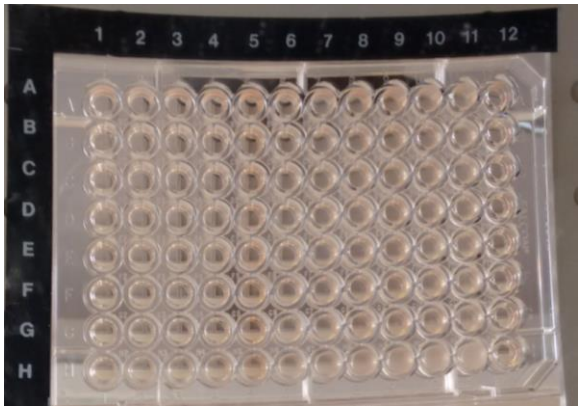


Figure 30 : Microplaque utilisée lors des essais de résistance aux antifongiques (Source : laboratoire ToxEMAC, Delanoë).

III.3) Caractérisation toxicologique des bioaérosols

La caractérisation toxicologique des bioaérosols et des extraits fongiques consiste en une étude de cytotoxicité et une évaluation du potentiel inflammatoire sur deux lignées cellulaires correspondant aux deux modes d'exposition rencontrés dans les habitats dégradés, à savoir la voie respiratoire et la voie cutanée :

- Une lignée pulmonaire pour l'exposition au niveau des voies respiratoires : la lignée A549 (ATCC® CRM-CCL-185™, USA) qui est une lignée de cellules épithéliales pulmonaires issues d'un carcinome humain.
- Une lignée cutanée pour l'exposition au niveau de la peau : la lignée HaCaT (AddexBio T0020001, USA) qui est une lignée de kératinocytes transformés spontanément *in vitro* à partir de cellules de peau normales.

III.3.1) Choix des échantillons testés

Pour l'étude de cytotoxicité, tous les bioaérosols collectés sont analysés. Pour cela des extraits de 5 mL de liquide de collecte ont été évaporés dans un EZ-2 Genevac (SP Scientific, Royaume-Uni) sous une atmosphère de 400 mbar à température ambiante pendant 8 heures. Les extraits secs sont ensuite repris à l'aide de 1 mL de *Dulbecco's Modified Eagle Medium* (DMEM) (Pan Biotech, Allemagne) supplémenté de 10% de Sérum de Veau Fœtal (SVF) (Pan Biotech, Allemagne). Concernant les extraits fongiques produits lors de la croissance en enceinte climatique (voir partie 5), ces derniers ont été produits selon la méthode des plugs décrite dans le paragraphe 2.5. Une fois évaporé à sec, chaque extrait est repris à l'aide de 1 mL de DMEM + 10% SVF.

Pour l'étude du potentiel inflammatoire, 12 bioaérosols issus des habitats dégradés ont été sélectionnés selon 3 paramètres : la contamination fongique totale, le taux d'endotoxines et le taux de glucanes en privilégiant les bioaérosols les plus contrastés (**Tableau 9**). Les valeurs élevées sont présentées en gras dans le tableau.

Tableau 9 : Caractéristiques microbiologiques des différents bioaérosols testés vis-à-vis de leur potentiel inflammatoire.

Habitation N°	**CFU / m^3 d'air**	**Endotoxines (ng / m^3 d'air)**	**(1-3)-β-D-glucanes (ng / m^3 d'air)**	**Richesse spécifique (nombre d'espèces fongiques)**
HAB01	**$88{,}1 \times 10^5$**	0,18	1,05	7
HAB02	**$36{,}1 \times 10^4$**	0,29	1,82	5
HAB07	32,2	0,73	2,21	10
HAB11	71,1	0,15	**15,48**	11
HAB12	74.4	0,17	1,71	7
HAB15	$15{,}8 \times 10^1$	**47,20**	1,26	**18**
HAB16	86,3	**91,13**	1,05	10
HAB18	$20{,}8 \times 10^2$	5,53	1,09	6
HAB23	$57{,}8 \times 10^1$	**54,15**	3,04	12
HAB28	$30{,}7 \times 10^2$	5,98	1,16	11
HAB29	53,8	**47,25**	1,31	8
HAB38	71,6	2,74	0,41	**19**

Les surnageants produits à l'issue des tests de cytotoxicité de ces bioaérosols ainsi que les témoins suivants sont testés en recherchant 12 cytokines (décrites dans la partie 3.3) à l'aide du test Multi-Analyte ELISArray (QIAGEN®, Allemagne) :

- Un témoin de culture DMEM + 10% SVF.
- Un témoin d'exposition : 5 mL de liquide de collecte stérile évaporé sous Genevac et repris à l'aide de 1 ml de DMEM +10% SVF.
- Un témoin d'inflammation DMEM + 10% SVF contenant 100 mg/L de LPS.

III.3.2) Etude de cytotoxicité

Les cellules sont cultivées dans des flacons de 25 mL à 37°C dans une ambiance contenant 5% de CO_2, avec 5 mL de DMEM supplémenté de 10% de SVF, et repiquées au cinquième deux fois par semaine. Lors des repiquages, le milieu de culture usagé est retiré, puis les cellules sont rincées avec 5 mL de *Dulbecco's Phosphate-Buffered Saline* (DPBS) (Pan Biotech, Allemagne). Les cellules sont ensuite exposées à 1 mL de trypsine (Gibco, Thermo fischer

Scientific, USA) 0,05% dans le cas des cellules A549 ou 0,25% dans le cas des cellules HaCaT. Une fois le décollement des cellules constaté à l'aide d'une observation au microscope. Un aliquot de 50 µL de cellules est prélevé et mélangé à 50 µL de bleu trypan (Gibco, Thermo fischer Scientific, USA). Les cellules sont comptées à l'aide d'une cellule de Malassez puis reprises dans du DMEM à la concentration cellulaire souhaitée.

Les expositions aux bioaérosols ou aux extraits fongiques sont réalisées dans des plaques 96 puits Cellstar® (Sigma-Aldricht, USA) (**Figure 31**).

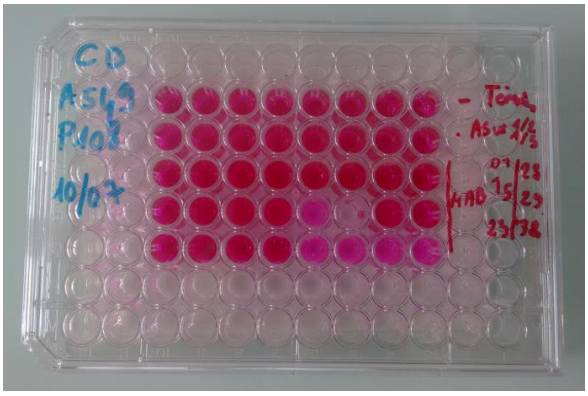


Figure 31 : Expérience de cytotoxicité en plaque 96 puits après coloration à la Sulforhodamine B. (Source : laboratoire ToxEMAC, Delanoë).

Dans chaque puits, 200 µL d'une suspension cellulaire à une concentration de 75 000 cellules / mL sont déposés. La plaque est placée dans l'incubateur pendant 24 heures. Le milieu de culture est ensuite remplacé par le milieu contenant les bioaérosols, et les cellules sont incubées pendant 24 heures. Pour chaque lignée et pour chaque condition, 4 répliquats sont réalisés. Les surnageants de culture sont ensuite récupérés et conservés à -20°C en vue de l'analyse des cytokines, tandis que le tapis cellulaire est fixé à l'aide de 50 µL d'acide trichloracétique (TCA) (Merck, Allemagne) à 50% froid (4°C) pendant 1 heure. La plaque est rincée 5 fois à l'eau courante, puis séchée à l'air ambiant. 50 µL de Sulforhodamine B (SRB) (Sigma-Aldrich, USA) à 0,4% dans de l'acide acétique à 1% (VWR, USA) sont alors déposés pendant 30 minutes à température ambiante dans chaque puits pour colorer les protéines. La plaque est ensuite lavée 4 fois à l'aide d'acide acétique à 1% et séchée à l'air ambiant. Le colorant est solubilisé à l'aide de 100 µL de tampon TRIS base 10 mM pH 10,5 (Merck, Allemagne) avec 10 minutes d'agitation à température ambiante. La densité optique (DO) est alors mesurée à 570 nm à l'aide d'un lecteur de microplaques (Bio-Rad, USA) en retranchant la DO de référence lue à 655 nm pour éliminer les interférences. Le résultat obtenu pour chaque condition est comparé à un

témoin de culture (DMEM + 10% SVF) constitué de 8 réplicats pour chaque plaque, en exprimant le résultat en pourcentage de viabilité pour chaque condition par rapport au témoin.

III.3.3) Etude du potentiel inflammatoire

L'induction de 12 cytokines a été évaluée : IL1α, IL1β, IL2, IL4, IL6, IL8, IL10, IL12, IL17A, IFN-γ, TNF-α et GM-CSF. Les surnageants de culture sont centrifugés pendant 10 minutes à 1 000 g pour les débarrasser des éventuels débris cellulaires. Sur chaque plaque, 6 échantillons sont testés, ainsi qu'un témoin positif interne (un mélange d'antigènes standardisés fournis avec le kit) et un témoin négatif interne (du tampon de dilution d'échantillon pur). 50 µL de chaque échantillon et des contrôles sont déposés dans les puits et 50 µL de tampon de réaction sont ajoutés dans chaque puits de manière à précipiter les antigènes sur les parois des puits. La plaque est laissée à incuber pendant 2 heures à température ambiante, puis le surnageant est retiré et la plaque est lavée 3 fois à l'aide de 350 µL par puits de tampon de lavage. 100 µL d'anticorps sont ajoutés à chaque puits, et la plaque est incubée pendant 1 heure à température ambiante. La plaque est de nouveau lavée 3 fois, puis 100 µL d'Avidine conjuguée à de la peroxydase de raifort (pour la stabiliser) diluée est ajoutée à chaque puits, permettant une détection indirecte des antigènes recherchés. La plaque est incubée pendant 30 minutes dans l'obscurité, à température ambiante, puis lavée à quatre reprises. 100 µL de solution de développement, qui va produire une coloration bleue proportionnelle à la protéine fixée par les anticorps de détection, est ajouté à chaque puits, et la plaque est laissée 15 minutes à température ambiante dans l'obscurité. 100 µL de solution d'arrêt est ajoutée à chaque puits. La DO de la plaque est alors lue dans les 30 minutes en utilisant un lecteur de microplaque à 450 nm et en soustrayant la longueur d'onde de référence à 570 nm pour éliminer les interférences (**Figure 32**).

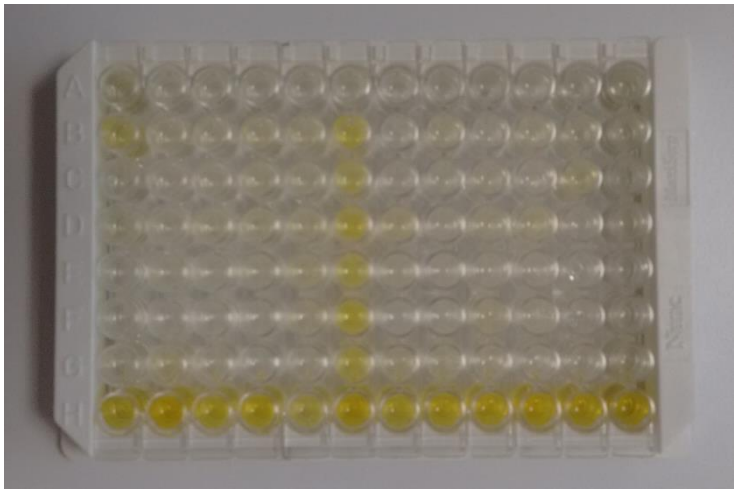


Figure 32 : Expérience en plaque 96 puits pour le screening des cytokines induites par l'exposition des cellules aux bioaérosols. (Source : laboratoire ToxEMAC, Delanoë).

III.4) Utilisation de la qPCR couplée à la cytométrie en flux pour le suivi d'*Aspergillus versicolor* dans les bioaérosols

Dans le cadre de cette thèse, une méthode utilisant la cytométrie en flux et la PCR quantitative en temps réel (qPCR) a été développée pour permettre de quantifier une moisissure toxinogène récurrente dans l'air, *Aspergillus versicolor*, en s'affranchissant de l'étape culturale. Cette mise au point a fait l'objet d'une publication : Interest of the qPCR method calibrated with flow cytometry to quantify *Aspergillus versicolor* in mold-damaged homes and comparison with the cultural approach. Delanoë A., Guillamin M., Heutte N., Gente S., Séguin V., Garon D. *Atmospheric Pollution Research* 9 (2018) 871–876 (https://doi.org/10.1016/j.apr.2018.02.005).

III.4.1) Préparation des suspensions de spores

Des suspensions de spores d'*Aspergillus versicolor* ont été préparées en grattant des cultures de 10 jours sur milieu MEA et en déposant le matériel fongique collecté dans 10 mL d'eau stérile contenant 0,5% de Tween 80. Les suspensions de spores sont alors filtrées à deux reprises, une première fois sur une gaze stérile en coton de manière à débarrasser la suspension des fragments de mycélium de taille importante, et une seconde fois sur un filtre de cellulose avec des pores de 5 µm de diamètre (Millipore Corporation, Allemagne) de manière à ne sélectionner que les spores seules ou associées par 2 (doublets). Les suspensions de spores sont alors centrifugées à 5 000 rpm pendant 10 minutes et le culot cellulaire est repris par 5 mL d'éthanol à 70%. Les spores sont laissées en contact avec l'éthanol pendant 15 minutes de

manière à les inactiver, puis les tubes sont mis à centrifuger une seconde fois à 5 000 rpm pendant 10 minutes et le culot cellulaire est repris avec 5 mL d'eau stérile contenant 0,5% de Tween 80.

Les suspensions de spores sont par la suite séparées en aliquots de 1 mL : un premier aliquot est utilisé pour compter les spores à la cellule de Malassez, tandis que le second aliquot est utilisé pour compter les spores à l'aide de la cytométrie en flux.

III.4.2) Comptage par cytomètrie en flux

Ce comptage est réalisé à l'aide d'un cytomètre en flux Gallios (Beckman Coulter, USA), et les données ont été acquises à l'aide du logiciel d'analyse Kaluza (Beckman Coulter, USA). Les cellules ont été analysées suivant deux paramètres : leur taille (Forward Scatter ou FS) et leur granulométrie (Side Scatter ou SS). Chaque échantillon est analysé pendant 200 secondes, et est supplémenté à l'aide de 50 µL de billes fluorescentes de 5 µm de diamètre (Sphero Accucount Fluorescent Particles 5 µm, Interchim, USA) de manière à permettre de calculer la concentration de spores dans l'échantillon, ainsi que de billes fluorescentes de 2 µm de diamètre (Fluoresbrite YG Microspheres 2 µm, Polysciences Europe GmbH, Allemagne) de manière à déterminer la région où les spores d'*Aspergillus versicolor* vont se trouver, en raison de leur diamètre aérodynamique qui est de 2 à 3,5 µm.

La concentration de spores est calculée en se basant sur une formule indiquée par le fournisseur c'est à dire nombre de cellules par µL = (A / B) x (C / D) dans laquelle :

A correspond au nombre d'événements enregistrés pour les régions « Spores 1 » (spores seules) et « Spores 2 » (spores sous forme de doublets). A = « Spores 1 » + 2 x « Spores 2 » ;

B correspond à la concentration de billes dans la solution utilisée ;

C correspond au nombre d'événements enregistrés pour la région « Accucount » (billes de comptage) pour 50 µL de billes dans l'échantillon ;

D correspond au volume initial de la solution testée (1000 µL dans le cas présent).

III.4.3) Quantification par qPCR

III.4.3.1) Extraction de l'ADN fongique

Une fois les suspensions de spores quantifiées par cytométrie en flux et par comptage optique à la cellule de Malassez, une extraction d'ADN est réalisée sur 2 mL de suspension de spores pour chaque échantillon. Ces extractions sont réalisées à l'aide du kit Nucleospin® Plant II (Macherey-Nagel, Allemagne), avec une première étape adaptée en raison de la nature liquide de l'échantillon. Les suspensions de spores sont centrifugées à 5 000 rpm pendant 15 minutes, et le culot est repris dans 400 µL de Tampon PL1 puis transvasé dans un microtube de 2 mL contenant 1 g de billes de verre de 1 mm de diamètre et 2 billes de verre de 5 mm de diamètre. Le tube est ensuite agité à 20 Hz pendant 15 minutes dans un TissueLyser (QIAGEN, Allemagne). La suite du protocole est identique à celui précédemment décrit dans le paragraphe 2.1.2.2 concernant l'extraction d'ADN des micromycètes. Le volume final d'élution de l'ADN est ici de 50 µL.

L'ADN des bioaérosols a été extrait selon les mêmes modalités, avec comme seule différence le matériel de départ qui consistait en 5 mL de liquide de collecte.

III.4.3.2) qPCR

La quantification d'*Aspergillus versicolor* dans les bioaérosols a été effectuée selon les modalités suivantes. Les qPCR ont été réalisées à la plate-forme technique PROTEOGEN (Université de Caen, France) à l'aide d'un CFX Connect™ Real-Time PCR Detection System et du logiciel CFX manager 2.0 (BioRad, USA) pour le suivi et le retraitement des données. L'amplification au SYBR Green a été utilisée à l'aide du Takara master mix (Takara Bio, Japon). Les amorces utilisées pour l'amplification étaient les amorces Aversi r/f publiées par Libert *et al*. (2015), de séquence respective :
5'-AGTTCGCTGCGTTCTTCATC-3' et 5'-CTGAGAGTGATGCAGTCTGAGTCTG-3'. Les cycles d'amplification ont consisté en une phase d'activation de 2 minutes à 95°C suivie de 45 cycles alternant entre une phase de séparation à 95°C pendant 1 minute et 1 phase de fixation et d'élongation à 60°C de 30 secondes, puis d'une phase terminale d'élongation à 60°C pendant 5 minutes. Une courbe de fusion allant de 50°C à 95°C avec une augmentation de la température de 0,5°C toutes les 5 secondes est réalisée à la fin de chaque qPCR. Dans chaque run, un témoin négatif (eau UP) ainsi qu'une gamme de 1000, 100, 10, 1 et 0,1 pg d'ADN d'*Aspergillus versicolor* (HAB04) ont été ajouté de manière à valider le résultat de la qPCR

(pas de réponse du témoin négatif) et quantifier le résultat en se reportant à la courbe d'étalonnage de la gamme.

La spécificité des amorces, qui sont connues pour s'hybrider avec *Aspergillus versicolor, A. sydowii et A. creber*, a été vérifiée en testant des échantillons d'eau UP contenant 100 µg d'ADN de différentes espèces fongiques les plus récurrentes dans nos prélèvements d'air en milieu intérieur (**Tableau 10**).

Tableau 10 : Liste des isolats fongiques testés en qPCR pour vérifier la spécificité des amorces.

Espèce fongique	**Nombre d'isolats testés**	**Origine (habitation)**
Aspergillus flavus	1	HAB11
Aspergillus fumigatus	2	HAB09 ; HAB11
Aspergillus versicolor	9	HAB01 ; HAB02 ; HAB03 ; HAB04 ; HAB07 ; HAB08 ; HAB10 ; HAB16 ; HAB17
Penicillium chrysogenum	2	HAB04
Penicillium crustosum	1	HAB09
Penicillium olsonii	1	HAB09

D'éventuelles inhibitions de la reconnaissance d'*Aspergillus versicolor* par les espèces les plus fréquemment retrouvées dans les habitats en quantité parfois importantes ont également été testées à l'aide d'échantillon d'eau UP contenant un mélange de 50 ng d'ADN d'*Aspergillus versicolor* (HAB04) et de 50 ng de *Penicillium chysogenum* (HAB04), *P. brevicompactum* (HAB04) ou *P. olsonii* (HAB09).

Les limites de détection et de quantification du système ont été testées selon les recommandations de Broeders *et al*. (2014). La limite de détection a été déterminée en se basant sur la LOD_6[3] :

Sont réalisés 3 essais de 6 réplicats pour 7 dilutions d'ADN d'*Aspergillus versicolor* correspondant à 10 ; 5 ; 2 ; 1 ; 0,5 ; 0,2 et 0,1 copies d'ADN génomique qui ont été amplifiées par qPCR. La limite de répétabilité a été déterminée comme étant la concentration la plus basse

[3] LOD6 : Mesure expérimentale de la répétabilité des tests de qPCR portant sur au moins 3 séries de 6 répliquats.

pour laquelle au moins 95% des échantillons testés donnent une réponse positive. La limite de quantification a été évaluée en amplifiant 10 réplicats de dilutions allant de 1 ng à 1 fg d'ADN d'*Aspergillus versicolor*. La limite de détection a été déterminée comme étant le point de gamme pour lequel les 10 amplifications ont été positives et pour lesquelles l'écart type n'excédait pas 1.

III.5) Evaluation de l'impact des facteurs climatiques sur la croissance et la toxinogenèse fongique

III.5.1) Culture en enceinte contrôlée

Huit espèces fongiques récurrentes dans les habitations et/ou connues pour leur impact sur la santé humaine sont sélectionnées et étudiées en enceinte climatique (« mycotron ») pour déterminer l'impact de la température ambiante et de l'HR sur leur prolifération et leur capacité à produire des mycotoxines *in vitro*.

Les espèces concernées sont *Aspergillus flavus* (HAB11), *A. fumigatus* (HAB07), *A. versicolor* (HAB06), *Paecilomyces variotii* (HAB03), *Penicillium brevicompactum* (HAB09), *P. chrysogenum* (HAB04), *P. olsonii* (HAB09) et *Stachybotrys chartarum* (HAB05).

Les essais sont réalisés sur filtres dans des Erlenmeyers qui sont placés en enceinte climatique KWBF (Binder GmbH, Allemagne). Trois conditions climatiques différentes sont testées :

- 25°C et 80% d'HR,
- 25°C et 40% d'HR,
- 19°C et 40% d'HR.

Pour ces trois conditions, un cycle de 12 heures de luminosité est programmé, ainsi qu'un taux de renouvellement de l'air de 40% du volume de l'enceinte par heure.

Pour réaliser ces expérimentations (**Figure 33**), un filtre en fibre de verre GF/C de 125 mm de diamètre (Whatman, Royaume-Uni) est déposé au fond d'un Erlenmeyer de 250 mL fermé à l'aide d'un bouchon BugStopper (Whatman, Royaume-Uni) permettant à l'air de passer mais empêchant les contaminants de l'air de pénétrer dans l'Erlenmeyer. L'ensemble est autoclavé à 121°C pendant 15 minutes. Les filtres sont ensuite séchés sur une plaque chauffante à 40°C sous PSM pendant 4 heures de manière à évacuer l'humidité résiduelle dans l'Erlenmeyer. Finalement, 2 mL de milieu MEA sans agar sont déposés stérilement sur le filtre.

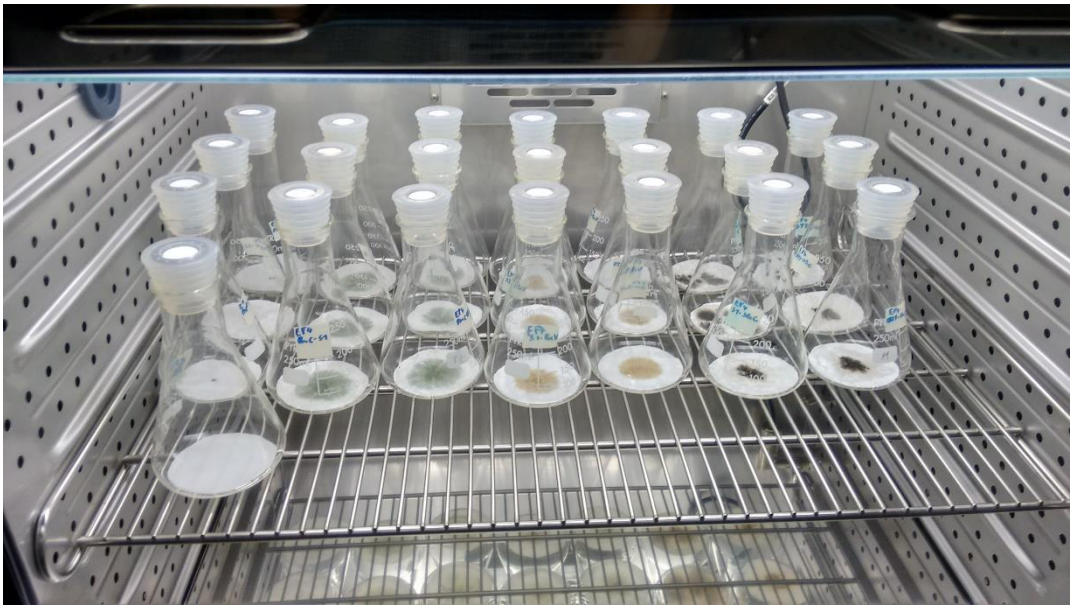


Figure 33 : Expérience en enceinte climatique. (Source : laboratoire ToxEMAC, Delanoë)

Pour chaque espèce fongique et chaque condition, 6 filtres sont ensemencés à l'aide d'un dépôt central d'une suspension calibrée de 10^4 spores/mL dans de la gélose molle (0,2% agar + 0,05% Tween 80). Les suspensions de spores sont préparées en grattant une boîte de culture de 10 jours sur milieu MEA. Le matériel fongique est déposé dans un tube de 15 mL contenant 10 mL d'eau stérile additionnée de 0,5% de Tween 80. Après agitation au vortex, la suspension de spores est filtrée sur une gaze stérile pour éliminer les fragments de mycélium. La concentration de spores est déterminée à l'aide d'un comptage à la cellule de Malassez, et la dilution est ajustée à $5x10^4$ spores/mL. 500 µL de cette suspension de spores sont mélangés à 2 mL de gélose molle pour l'ensemencement des filtres.

Le diamètre de croissance des moisissures est mesuré quotidiennement (triplicats), et s'accompagne d'un suivi de l'HR dans un Erlenmeyer témoin (**Figure 34**). Au terme de l'expérience, des filtres (triplicats) sont extraits par 8 mL d'acétate d'éthyle additionné de 1% d'acide acétique. Après une agitation à 300 rpm par minute durant 30 min, l'acétate d'éthyle est récupéré, divisé en deux aliquots de 4 mL qui sont évaporés à sec sous flux d'azote puis conservés à -20°C. Ces aliquots servent respectivement à évaluer la cytotoxicité sur lignées cellulaires A549 et HaCAT (voir protocole paragraphe 3.2) et à quantifier les éventuelles mycotoxines produites (voir protocole paragraphe 2.5).

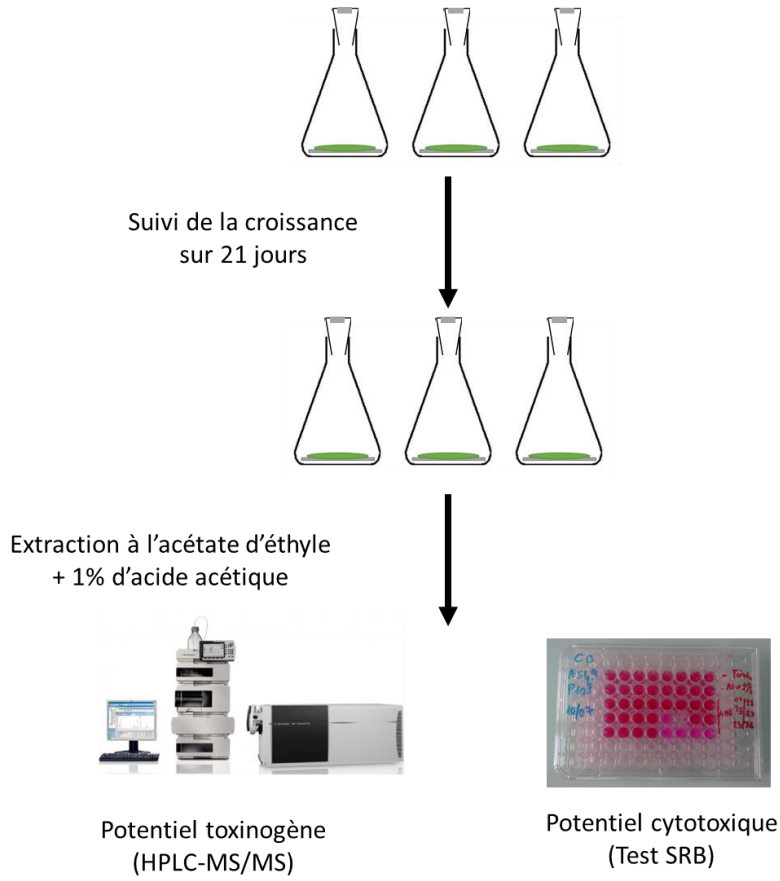


Figure 34 : Analyses effectuées après incubation des Erlenmeyers en enceinte climatique.

Dans le cas d'*Aspergillus versicolor*, les extraits utilisés pour la quantification multi-mycotoxines sont également testés pour l'étude des profils métaboliques.

III.5.2) Etude des profils métaboliques d'*Aspergillus versicolor* par HPLC-QTOF/MS

Afin d'évaluer l'impact des conditions climatiques sur le métabolisme secondaire d'*Aspergillus versicolor*, nous avons réalisé une première approche exploratoire en « métabolomique » avec notre partenaire LABEO. Cette approche permet de déterminer quels sont les métabolites dont la production varie selon différentes conditions d'HR et de température testées.

Une base de données a ainsi été construite à l'aide d'une recherche dans la littérature des métabolites produits par *A. versicolor*. La liste des métabolites et des publications ainsi sélectionnés est donnée un peu plus loin dans le **tableau 11**.

Pour ce faire, l'HPLC-QTOF/MS a été utilisée de manière à séparer et analyser les molécules présentes dans les extraits : les composés des extraits sont tout d'abord séparés dans la colonne

de chromatographie liquide selon la manière dont ils sont retenus par la phase stationnaire. Ces composés sont ensuite électrisés par la source électrospray, ce qui permet de les ioniser et de les séparer au niveau du quadripôle selon leur rapport masse sur charge. Ils sont par la suite fragmentés au contact du gaz de collision et le temps de vol nécessaire aux ions accélérés par une tension électrique pour atteindre le détecteur en parcourant un tube de vol dans lequel aucune tension ne s'exerce. Ce principe permet de séparer les ions par ordre croissant de masse, les ions les plus légers disposant d'une vitesse de vol plus élevée et atteignant le détecteur en premier par rapport aux ions plus lourds. Ils sont ensuite enregistrés et quantifiés au niveau du détecteur.

Pour établir les profils métaboliques, à 50 µL de chaque extrait ont été additionnés 450 µL d'un mélange eau UP / acétonitrile (90/10) et 50 µL d'un mélange d'étalons internes (diclofénac C13 10 mg/L et caféine C13 10 mg/L). Ces extraits sont injectés en Chromatographie Liquide Haute Performance dans une colonne BEH (Bridged Ethylen Hybrid) Agilent G1316C couplé à un Spectromètre de Masse en tandem composé d'un quadripôle et d'un temps de vol (HPLC- Q-TOF/MS). Le système 6540 Q-TOF LC/MS (Agilent Technologies, USA) fonctionne en mode positif et négatif. Il permet de séparer tout d'abord les molécules sur la colonne de chromatographie selon leur affinité pour cette dernière, puis de fragmenter ces molécules et de les analyser selon leur rapport de masse sur charge (m/z) et leur temps de vol.

Les paramètres chromatographiques utilisés sont les suivants : injection de 5 µL de chaque échantillon en triplicat à un débit de 0,45 mL/min dans un mélange Eau UP + 0,1% d'acide formique, avec évolution du gradient à 100% d'acétonitrile en 10 minutes, puis dans 100% d'acétronitrile pendant 1 minute. Les paramètres appliqués au spectromètre de masse sont les suivants : injection à 300°C dans de l'azote à un débit de 10 L/ min et à une température de nébulisation de 45 psi. La désolvatation est réalisée dans de l'azote à 400 °C et à un débit de 12 L/min.

Une solution de diclofenac ^{13}C à 10 mg/L (Sigma-Aldricht, France) a été utilisée comme étalon interne pour évaluer la performance de l'appareil et la répétabilité des injections. Cet étalon interne a été utilisé pour les modes positifs et négatifs. Les résultats du dosage de la stérigmatocystine par HPLC-MS/MS décrit dans le paragraphe I.4.11 ont également étés utilisés comme étalon pour vérifier la fiabilité de l'analyse (en vérifiant les pics correspondant à cette mycotoxine).

L'analyse des données a été réalisée à l'aide du logiciel Mass Profiler (Agilent, USA). Ce logiciel permet l'exploitation des données de spectrométrie de masse et peut être utilisé dans n'importe quelle analyse différentielle de spectrométrie de masse pour déterminer les relations entre plusieurs échantillons. Ce logiciel propose également des outils d'analyses et de visualisation des résultats pour les résultats de GC/MS, LC/MS, CE/MS ou ICP/MS, et peut fonctionner avec les logiciels Agilent MassHunter Workstation, Spectrum Mill et ChemStation, permettant d'identifier et d'annoter les composés ainsi que de réaliser des analyses de métabolomique et de protéomique.

Les critères de sélection pour les différents composés proposés ont été les suivants :

- Hauteur du pic supérieure au bruit de fond, soit 1500 coups pour le mode positif et 1000 coups pour le mode négatif.
- Ions sélectionnés : ionisations H^+ pour le mode positif et H^- pour le mode négatif, ainsi que les adduits Na^+, K^+, NH_4^+, Cl^- et $HCOO^-$ pour les deux modes.
- Limite de charge des molécules de 1.
- Temps de rétention (RT) variant de 2,5%.
- Variabilité de la masse des composés comprise entre 20 ppm ± 2 ppm.
- Valeur d'expansion symétrique des pics inférieure à 50 ppm.
- Intégration selon les paramètres constructeurs Agile 2 (Agilent, USA).

Pour chaque injection, la pression est vérifiée visuellement (superposition des profils de pression), et la répétabilité de chacun des triplicats est vérifiée selon les critères suivants : nombre de pics, largeur des pics, bruit de fond bas et constant, récurrence dans les réplicats. Ces paramètres sont consultés à l'aide du logiciel Masshunter Qualitative Analysis (Agilent, USA).

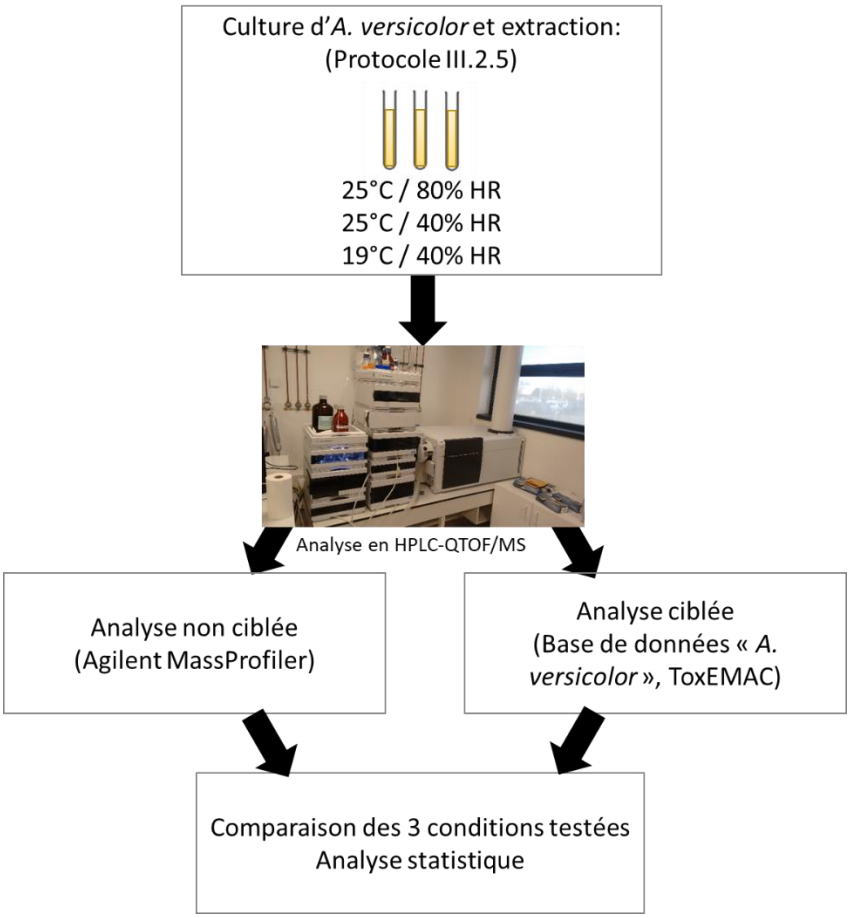


Figure 35 : Approche utilisée pour l'analyse et la comparaison des métabolites produits par *A. versicolor* dans les 3 conditions climatiques testées.

Deux types d'analyse sont réalisées (**Figure 35**) :

- Une analyse non ciblée à l'aide du logiciel Mass Profiler, qui permet de détecter et quantifier les différentes molécules suivant leur masse mesurée (m/z) et leur temps de rétention (RT). Une liste est alors établie regroupant toutes les molécules produites dans toutes les conditions étudiées. Cette analyse prend également en compte la présence de massifs isotopiques pour l'identification des molécules. Les données obtenues sont traitées de manière à éliminer les résultats non spécifiques ou liés au bruit de fond. Seules les molécules retrouvées dans tous les réplicats d'une ou de plusieurs conditions ont été conservés de manière à ne tenir compte que des molécules liées aux conditions de culture testées. Les molécules restantes sont alors regroupées dans un fichier excel, en renseignant leur masse, leur abondance et leur temps de rétention, permettant ainsi d'effectuer des tests statistiques pour isoler les molécules qui sont produites en quantité

significativement différentes pour une ou plusieurs des 3 conditions testées (paragraphe III.6). Seuls les pics disposant d'un score supérieur ou égal à 80% (de manière à éliminer les résultats non spécifiques) ainsi qu'une abondance relative supérieure à 10 000 (de manière à éliminer les résultats liés au bruit de fond) sont conservés pour l'analyse statistique.

- Une analyse ciblée a aussi été réalisée. Pour cela nous avons constitué, en fonction des données de la littérature existant sur cette espèce fongique, une base de données regroupant 81 métabolites (**Tableau 11**). Comme décrit précédemment, les composés obtenus sur les profils métaboliques des conditions testées sont confrontés à la base de données « *A. versicolor* ».

Pour ces deux approches, le niveau d'identification selon Schymanski *et al*. (2014) se situe au niveau 5 (**Figure 36**), car les informations générées par ces analyses seules ne renseignent que la masse et le temps de rétention des différents composés sur la colonne utilisée.

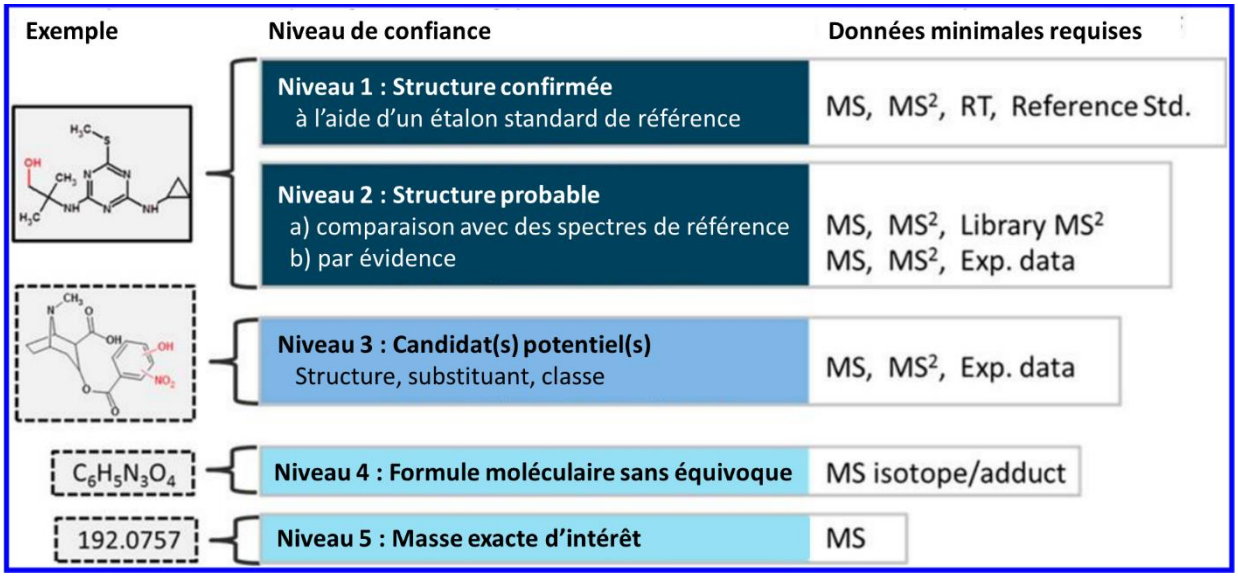


Figure 36 : Niveaux de confiance utilisés pour l'identification des substances selon les méthodes employées : Spectrométrie de masse (MS), Spectrométrie de masse en tandem (MS^2), Données expérimentales (Exp. data), Base de données de spectrométrie de masse en tandem (Library MS^2), Temps de rétention (RT) et données de standard de référence (Reference Std.). (Source : Schymanski et al. 2014)

Pour identifier les différentes molécules à des niveaux de confiance supérieurs, des analyses supplémentaires seraient nécessaires : pour le niveau 4, la connaissance de la formule brute exacte est requise, tandis que le niveau 3 requière la connaissance de la structure des composés. Pour les niveaux de confiance 2 et 1, une solide évidence sur la structure de la molécule est requise, ce qui passe respectivement par la comparaison avec des bases de données solides et

la comparaison avec un standard pur. Les différentes actions possibles sur les données acquises seront abordées plus en détail dans la discussion.

Tableau 11 : Liste des molécules de la base de données « *A. versicolor* » (ToxEMAC).

N°	Nom du composé	Formule Brute	Masse moléculaire (g/mol)	Références
1	1'-O-ethyl-6,8-di-O-methylaverantin	$C_{24}H_{29}O_7$	429,1913	Dou *et al.* (2014)
2	1,3-Dihydroxy-6,8-dimethoxy-2-(1-methoxyhexyl)-9,10-anthraquinone	$C_{23}H_{26}O_7$	414,448	Shao *et al.* (2008)
3	3,6-O-dimethylviridicatin	$C_{17}H_{15}NNaO_3$	304,0944	Wang et al. (2016)
4	3-O-methylviridicatol	$C_{16}H_{14}NO_3$	268,0968	Wang *et al.* (2016)
5	5-methoxysterigmatocystin	$C_{19}H_{14}O_7$	354,314	Holker et Kagal (1968)
6	6-Deoxyversicolorin A	$C_{18}H_{10}O_6$	322,268	Fukuyama *et al.* (1979)
7	6-O-methylaverufin	$C_{21}H_{18}O_7$	382,36	Miao *et al.* (2012)
8	8-O-methylaverythin	$C_{21}H_{19}O_6$	367,1182	Dou *et al.* (2014)
9	8-O-methylversicolorin A	$C_{19}H_{11}O_7$	351,0505	Dou *et al.* (2014)
10	8-O-methylversicolorin B	$C_{19}H_{13}O_7$	353,0661	Dou *et al.* (2014)
11	9ξ-O-2 Brevianamide Q	$C_{27}H_{33}N_3O_3$	447,251	Miao *et al.* (2012)
12	Arugosin C	$C_{25}H_{28}O_6$	424,486	Hawas *et al.* (2012)
13	Arugosin K	$C_{28}H_{32}O_7$	480,549	Li *et al.* (2017)
14	Asperversin A	$C_{47}H_{58}O_{10}$	782,957	Miao *et al.* (2012)
15	Aspergillomarasmine A	$C_{10}H_{17}N_3O_8$	307,257	King *et al.* (2014)
16	Asteltoxin	$C_{23}H_{30}O_7$	418,4801	Wang *et al.* (2015)
17	Aversin	$C_{20}H_{16}O_7$	368,341	Miao *et al.* (2012)
18	Avertoxin A	$C_{23}H_{37}O_7$	473,2539	Wang *et al.* (2015)
19	Avertoxin B	$C_{28}H_{37}O_9$	517,2438	Wang *et al.* (2015)
20	Avertoxin C	$C_{27}H_{35}O_9$	503,2281	Wang *et al.* (2015)
21	Avertoxin D	$C_{27}H_{37}O_7$	473,2539	Wang *et al.* (2015)
22	Averufin	$C_{20}H_{16}O_7$	368,337	Holker *et al.* (1966)

23	Averufin dimethyl ether	$C_{22}H_{20}O_7$	396,39	Miao *et al*. (2012)
24	Averythrin	$C_{20}H_{18}O_6$	354,353	Roffey (1978)
25	Brevianamide K	$C_{21}H_{21}N_3O_2$	347,418	Miao *et al*. (2012)
26	Brevianamide M	$C_{18}H_{15}N_3O_3$	321,336	Miao *et al*. (2012)
27	Cerevisterol	$C_{18}H_{15}N_3O_3$	321,33	Miao *et al*. (2012)
28	Cotteslosin A	$C_{34}H_{45}N_5O_7$	635,75	Fremlin *et al*. (2009)
29	Cotteslosin B	$C_{35}H_{47}N_5O_7$	649,777	Fremlin *et al*. (2009)
30	Cottoquinazoline A	$C_{23}H_{19}N_5O_4$	429,428	Fremlin *et al*. (2009)
31	Cyclopenol	$C_{17}H_{14}N_2O_4$	310,304	Wang *et al*. (2016)
32	Dechlorogriseofulvin	$C_{17}H_{18}O_6$	318,321	Kingston et Chen (1976)
33	Dehydroaustin	$C_{27}H_{30}O_9$	498,522	Simpson *et al*. (1982)
34	Dehydroaverufin	$C_{20}H_{14}O_7$	366,325	Berger *et al*. (1976)
35	Deoxyaverufinone	$C_{20}H_{16}O_7$	368,341	Berger *et al*. (1976)
36	Dihydrosterigmatocystin	$C_{18}H_{14}O_6$	326,304	Hatsuda *et al*. (1972)
37	Dimethoxysterigmatocystin	$C_{20}H_{16}O_8$	384,336	Turner et Aldridge (1984).
38	Diorcinol	$C_{14}H_{14}O_3$	196,201	Fremlin *et al*. (2009)
39	Emodin	$C_{15}H_{10}O_5$	270,237	Hawas *et al*. (2012)
40	Ergosterol-5,8-peroxide	$C_{28}H_{46}O_3$	428,65	Miao *et al*. (2012)
41	Griseofulvin	$C_{17}H_{17}ClO_6$	352,766	Kingston et Chen (1976)
42	Kipukasin A	$C_{21}H_{24}N_2O_{10}Na$	478,449	Jiao *et al*. (2007)
43	Kipukasin B	$C_{20}H_{22}N_2O_{10}$	464,423	Jiao *et al*. (2007)
44	Kipukasin C	$C_{20}H_{22}N_2O_{10}$	464,423	Jiao *et al*. (2007)
45	Kipukasin D	$C_{19}H_{22}N_2O_9$	436,413	Jiao *et al*. (2007)
46	Kipukasin E	$C_{19}H_{22}N_2O_9$	436,413	Jiao *et al*. (2007)
47	Kipukasin F	$C_{21}H_{25}N_2O_{10}$	478,449	Jiao *et al*. (2007)
48	Kipukasin H	$C_{18}H_{20}N_2O_9$	408,359	Jiao *et al*. (2007)
49	Lovastatin	$C_{24}H_{36}O_5$	404,54	Tarek *et al*. (2015)

50	Nidurufin	$C_{20}H_{16}O_8$	384,336	Vijai (2016)
51	Norsolonic Acid	$C_{20}H_{18}O_7$	370,353	Cole et Cox (1981)
52	O-methylaversin	$C_{21}H_{18}O_7$	382,363	Holmwood et Roberts (1971)
53	O-Methyldihydrosterigmatocystin	$C_{19}H_{16}O_6$	340,327	Davies *et al*. (1960)
54	O-Methylsterigmatocystin	$C_{19}H_{14}O_6$	338,311	Birkinshaw et Hammady (1957)
55	Parasiticol	$C_{16}H_{14}O_6$	302,279	Heathcote et Dutton (1969)
56	Riboflavin	$C_{17}H_{20}N_4O_6$	376,364	Domsh *et al*. (1980)
57	Sterigmatin	$C_{17}H_{10}O_6$	310,258	Fukuyama *et al*. (1975)
58	Sterigmatocystin	$C_{18}H_{12}O_6$	324,284	Fremlin *et al*. (2009)
59	Variecoxanthone A	$C_{20}H_{20}O_5$	340,37	Wang *et al*. (2016)
60	Versicoloid A	$C_{19}H_{25}N_3NaO_4$	382,1737	Wang *et al*. (2016)
61	Versicoloid B	$C_{19}H_{25}N_3NaO_5$	398,1686	Wang *et al*. (2016)
62	Versicolorin A	$C_{18}H_{10}O_7$	338,268	Hamasaki *et al*. (1967a)
63	Versicolorin B	$C_{18}H_{12}O_7$	340,284	Hamasaki *et al*. (1967a)
64	Versicolorin C	$C_{18}H_{12}O_7$	340,284	Hamasaki *et al*. (1967a)
65	Versicolorone	$C_{20}H_{16}O_7$	368,337	Berger-Derguee et Berger (1982)
66	Versiconal hemiacetal acetate	$C_{20}H_{16}O_9$	400,336	Hamasaki *et al*. (1967b)
67	Versicone A	$C_{21}H_{22}O_5$	377,1359	Wang *et al*. (2016)
68	Versicone B	$C_{22}H_{24}O_6$	407,1465	Wang *et al*. (2016)
69	Versicone C	$C_{21}H_{22}O_6$	393,1309	Wang *et al*. (2016)
70	Versicone D	$C_{21}H_{22}O_5$	377,1359	Wang *et al*. (2016)
71	Versicone E	$C_{21}H_{21}NO_6$	383,395	Li *et al*. (2017)
72	Versicone F	$C_{22}H_{24}O_6$	384,422	Li *et al*. (2017)
73	Versicone G	$C_{24}H_{26}O_7$	426,459	Li *et al*. (2017)
74	Versicone H	$C_{18}H_{18}O_6$	330,332	Li *et al*. (2017)
75	Versiconol	$C_{18}H_{16}O_8$	360,315	Steyn *et al*. (1979)
76	Versiconol acetate	$C_{20}H_{18}O_9$	402,352	Steyn *et al*. (1979)
77	Versiol	$C_{16}H_{22}O_3$	262,344	Fukuyama *et al*. (1978)

78	Violaceol I	$C_{14}H_{14}O_5$	262,258	Fremlin *et al*. (2009)
79	Violaceol II	$C_{14}H_{14}O_5$	262,258	Fremlin *et al*. (2009)
80	Viridicatol	$C_{15}H_{11}NO_3$	253,253	Fremlin *et al*. (2009)
81	Xanthone	$C_{13}H_8O_2$	196,201	Kingston et Chen (1976)

III.6) Analyses statistiques

Les indices de diversité fongique ont été déterminés en utilisant l'index de Shannon et de Waever (1949).

Une analyse exploratoire préliminaire fournit les statistiques descriptives des différentes données collectées :

- Pour les variables qualitatives, la fréquence a été utilisée.
- Pour les variables quantitatives, la moyenne, l'écart type de la moyenne, la médiane et les principaux quartiles ont été utilisés.

L'analyse des données repose essentiellement sur l'utilisation de tests non paramétriques. Pour des variables quantitatives, le test de Kruskal-Wallis et le test de Wilcoxon ont été utilisés et pour les variables qualitatives, le test du Chi2 et le test exact de Fisher. Le type de test statistique utilisé est adapté suivant les effectifs de manière à respecter leurs conditions d'utilisation.

La corrélation de Spearman a été utilisée pour déterminer les corrélations entre les résultats obtenus par la méthode culturale et ceux obtenus par la biologie moléculaire dans le cadre du développement d'outils méthodologiques pour suivre la contamination de l'air par *A. versicolor*.

Les résultats ont été analysés à l'aide du logiciel SAS (SAS Institute Inc., Cary, North Carolina) version 9.4. Une valeur de $p < 0,05$ a été considérée comme étant significatif.

Pour la recherche de différences significatives concernant les niveaux de production de molécules dans les différentes conditions de cultures d'*Aspergillus versicolor* (étude en enciente climatique), le test de Wilcoxon a été utilisé en considérant les valeurs de $p < 0,01$ comme significatives en raison du grand nombre de données à traiter.

IV) Résultats

IV.1) Description des habitats et recueil des données de santé

De novembre 2015 à juin 2018, 48 habitations ont été recrutées dans l'étude CLIMATOX et ont fait l'objet d'une visite. La provenance de ces habitations est la suivante :

- 16 par le Service Communal d'Hygiène et de Santé (SCHS) de la ville de Caen.
- 10 par les Conseillers Médicaux en Environnements Intérieurs (CMEI) de Normandie.
- 11 par l'association de défense des locataires de Normandie.
- 11 par participation directe.

IV.1.1) Caractéristiques des habitats

La localisation des habitations (**Figure 37**) ainsi que leur type et leur environnement direct sont données dans le **Tableau 12**.

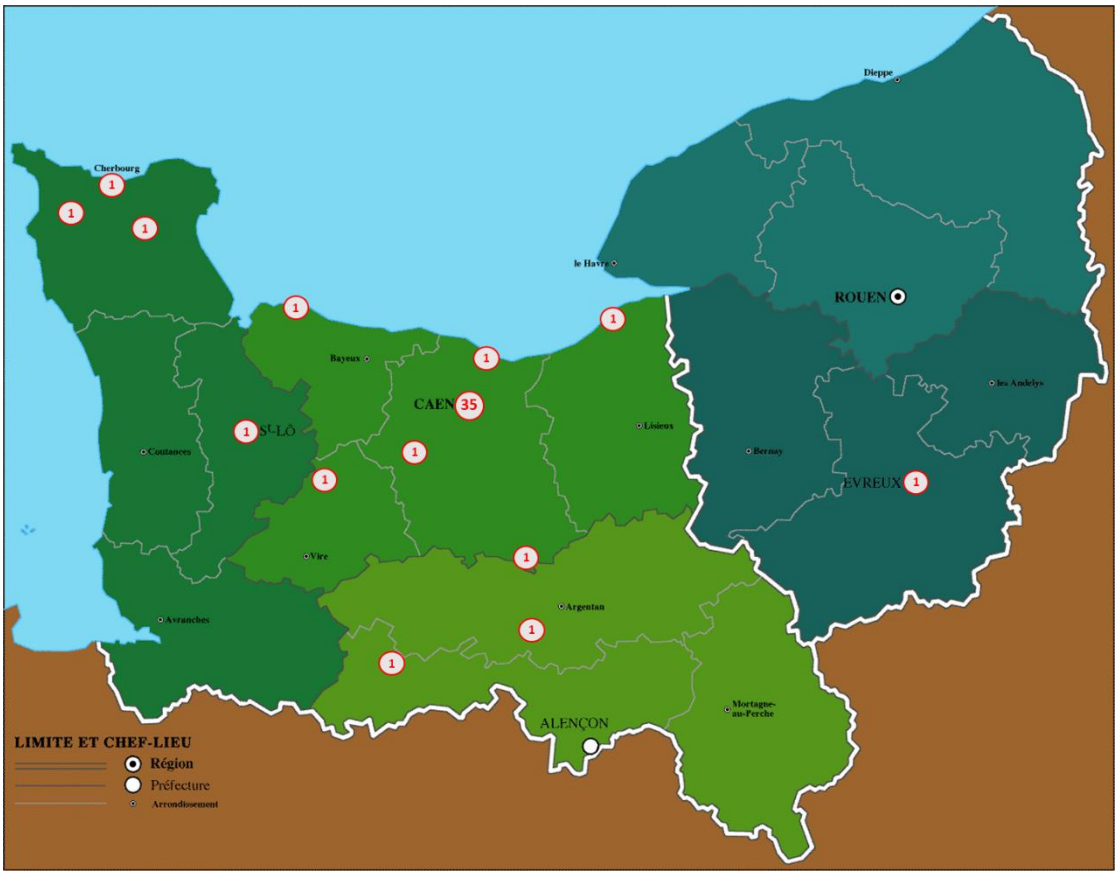


Figure 37 : Carte de la Normandie et répartition des prélèvements de l'étude CLIMATOX (Source : Normandie Web).

Tableau 12 : Lieu, date et type d'habitation visitée dans le cadre de l'étude CLIMATOX.

Habitation	Lieu (département)	Date de la visite	Type	Environnement
HAB01	Caen (14)	13/11/15	Appartement	Urbain
HAB02	Caen (14)	13/11/15	Appartement	Urbain
HAB03	Caen (14)	13/11/15	Appartement	Urbain
HAB04	Le Moulin du Chevalier (14)	04/12/15	Pavillon	Rural
HAB05	Caen (14)	08/01/16	Appartement	Urbain
HAB06	Caen (14)	22/01/16	Appartement	Urbain
HAB07	Caen (14)	02/02/16	Appartement	Urbain
HAB08	Falaise (14)	11/02/16	Appartement	Urbain
HAB09	Caen (14)	22/02/16	Appartement	Urbain
HAB10	Caen (14)	09/05/16	Appartement	Péri-urbain
HAB11	Mondeville (14)	13/05/16	Pavillon	Rural
HAB12	Aunay-sur-Odon (14)	20/05/16	Pavillon	Péri-urbain
HAB13	Ouistreham (14)	27/05/16	Appartement	Péri-urbain
HAB14	Mondeville (14)	02/06/16	Pavillon	Rural
HAB15	Caen (14)	09/06/16	Pavillon	Péri-urbain
HAB16	Gibberville (14)	17/06/16	Pavillon	Rural
HAB17	Caen (14)	22/06/16	Appartement	Urbain
HAB18	Caen (14)	08/07/16	Appartement	Urbain
HAB19	Mondeville (14)	15/07/16	Pavillon	Péri-urbain
HAB20	Caen (14)	26/08/16	Appartement	Urbain
HAB21	Vieux pont (61)	09/09/16	Pavillon	Rural
HAB22	Mondeville (14)	16/09/16	Pavillon	Péri-urbain
HAB23	Mondeville (14)	29/09/16	Pavillon	Péri-urbain
HAB24	Caen (14)	06/10/16	Pavillon	Ville
HAB25	Mondeville (14)	14/10/16	Pavillon	Péri-urbain
HAB26	Hérouville Saint-Clair (14)	17/10/16	Appartement	Péri-urbain
HAB27	Saint-Lô (50)	18/11/16	Pavillon	Péri-urbain
HAB28	Caen (14)	02/12/16	Appartement	Urbain
HAB29	Trouville-sur-mer (14)	09/12/16	Appartement	Urbain
HAB30	Caen (14)	03/02/17	Appartement	Péri-urbain
HAB31	Colombelles (14)	16/02/17	Pavillon	Péri-urbain
HAB32	Englesqueville La Percée (14)	23/02/17	Pavillon	Rural
HAB33	Caen (14)	03/03/17	Appartement	Urbain
HAB34	Hérouville Saint-Clair (14)	22/03/17	Appartement	Péri-urbain
HAB35	Hérouville Saint-Clair (14)	31/03/17	Appartement	Péri-urbain
HAB36	Caen (14)	07/04/17	Pavillon	Péri-urbain
HAB37	Caen (14)	04/05/17	Appartement	Urbain
HAB38	Caen (14)	19/05/17	Appartement	Urbain
HAB39	Caen (14)	26/05/17	Appartement	Urbain
HAB40	Hérouville Saint-Clair (14)	01/06/17	Appartement	Péri-urbain
HAB41	Tourlaville (50)	23/06/17	Appartement	Péri-urbain
HAB42	Teurtheville-Hague (50)	24/08/17	Pavillon	Rural
HAB43	Domfront (61)	06/09/17	Appartement	Urbain
HAB44	Ifs (14)	22/09/17	Appartement	Péri-urbain
HAB45	Caen (14)	27/10/17	Appartement	Urbain
HAB46	Caen (14)	17/11/17	Appartement	Urbain
HAB47	Valognes (50)	01/02/18	Pavillon	Urbain
HAB48	Evreux (27)	15/03/18	Appartement	Urbain

La majorité des lieux de prélèvements sont des appartements (n=30) dont 21 sont situés en ville et 9 en banlieue. Les 18 pavillons étudiés sont, quant à eux, situés en banlieue (n=9), en zone rurale (n=7) ou en ville (n=2).

Lors de ces prélèvements, les valeurs de température et d'humidité relative relevées se sont révélées assez variables (**Figure 38 et Tableau 13**) : la température moyenne observée était de 21,99°C avec un écart type de 2,51°C et la température médiane de 22,25°C avec une valeur minimum de 12,64 °C et une valeur maximum de 26,10°C. Au niveau de l'humidité relative, la valeur moyenne observée était de 60,68% et la médiane de 60,50%, avec un écart type de 7,55%. La valeur la plus basse relevée était de 44,84% contre 74,30% pour la valeur la plus élevée.

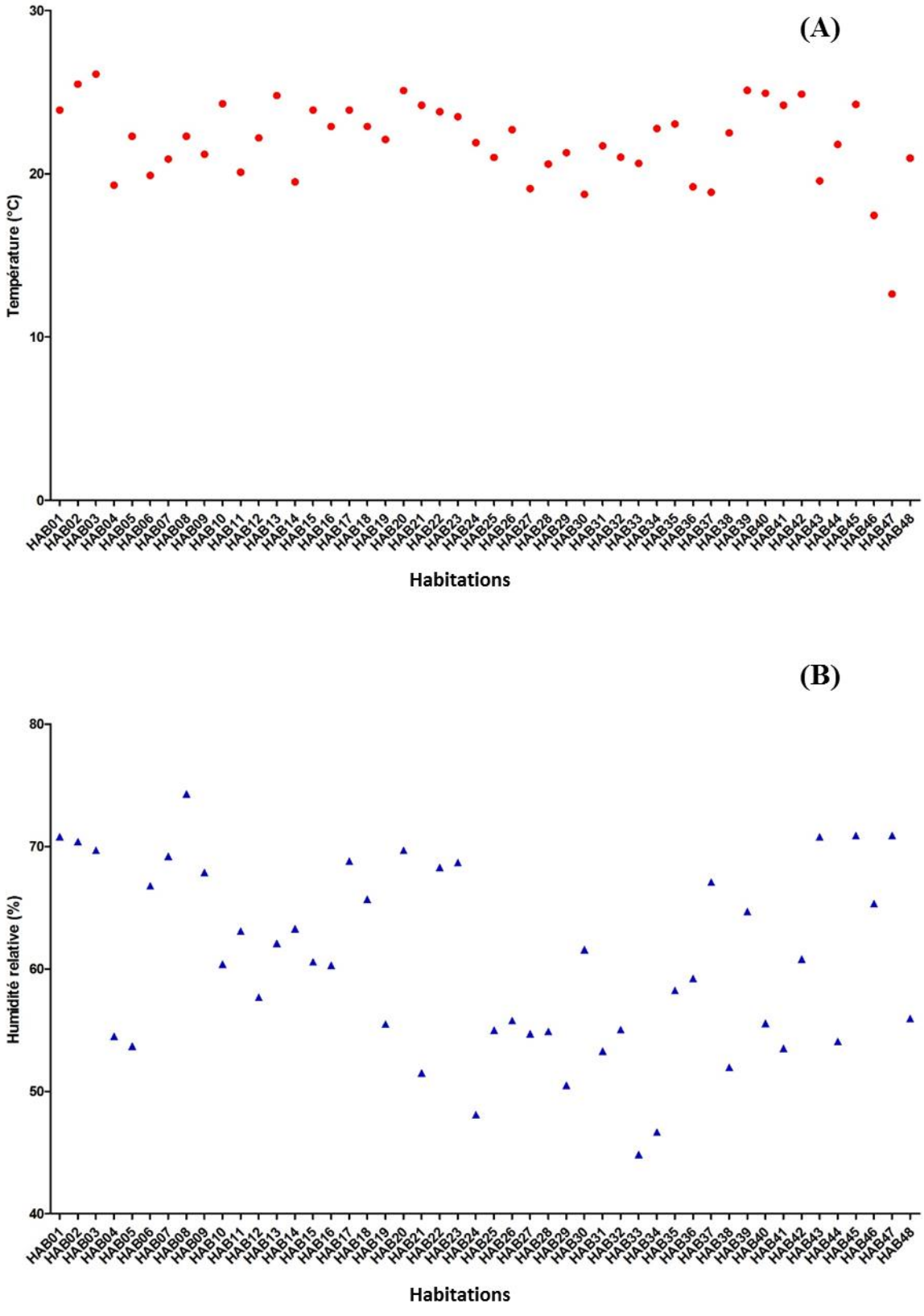


Figure 38 : Valeurs de température (A) et d'humidité relative (B) dans les différentes habitations étudiées.

Les taux de particules totales de 0,3 à 20 µm par m^3 d'air relevés affichaient une valeur moyenne de 1,16 x 10^8 avec un écart type de 3,07 x 10^8, et une valeur médiane de 3,57 x 10^7, avec le taux le plus bas à 7,80 x 10^6, et le taux le plus élevé à 2,01 x 10^9 (**Tableau 13**). La **Figure 39** et le **Tableau 14** présentent la répartition des tailles de particules au sein des habitations, mettant en évidence la présence de particules fines de taille inférieure à 2,5 µm (PM 2,5).

Tableau 13 : Caractéristiques physiques des habitations visitées : température, humidité relative et taux de particules de 0,3 à 20 µm par m^3 d'air.

Habitation	**Température (°C)**	**Humidité relative (%)**	**Particules totales (0,3 à 20 µm) par m^3 d'air**
HAB01	23,87	70,83	4,93 x 10^7
HAB02	25,55	70,45	4,99 x 10^7
HAB03	26,08	69,62	3,02 x 10^7
HAB04	19,35	54,53	1,54 x 10^7
HAB05	22,35	53,67	3,32 x 10^8
HAB06	19,94	66,13	7,94 x 10^8
HAB07	20,85	69,16	1,11 x 10^7
HAB08	22,31	74,34	2,01 x 10^9
HAB09	21,16	67,91	6,19 x 10^7
HAB10	24,31	60,36	1,63 x 10^8
HAB11	20,13	63,10	1,31 x 10^8
HAB12	22,16	57,71	2,44 x 10^7
HAB13	24,80	62,11	8,01 x 10^7
HAB14	19,51	63,31	6,78 x 10^7
HAB15	23,86	60,61	7,02 x 10^7
HAB16	22,88	60,48	1,80 x 10^7
HAB17	23,94	68,85	2,64 x 10^7
HAB18	22,93	65,69	2,11 x 10^7
HAB19	22,13	55,54	1,60 x 10^8
HAB20	25,11	69,67	1,43 x 10^8
HAB21	24,19	51,49	7,80 x 10^6
HAB22	23,77	68,34	2,92 x 10^7
HAB23	23,46	68,83	2,57 x 10^7
HAB24	21,91	48,09	1,10 x 10^7
HAB25	21,01	55,03	8,98 x 10^7
HAB26	22,66	55,80	3,42 x 10^7
HAB27	19,12	54,73	1,07 x 10^7
HAB28	20,65	54,89	6,17 x 10^7
HAB29	21,24	50,49	5,50 x 10^7
HAB30	18,75	61,58	6,59 x 10^7
HAB31	21,72	53,29	3,72 x 10^7
HAB32	21,02	55,05	2,59 x 10^7
HAB33	20,64	44,84	2,45 x 10^7
HAB34	22,77	46,68	1,01 x 10^7
HAB35	23,05	58,25	1,87 x 10^7
HAB36	19,20	59,23	7,44 x 10^7
HAB37	18,87	67,10	3,72 x 10^8

HAB38	22,51	51,97	$4,27 \times 10^7$
HAB39	25,11	64,69	$3,24 \times 10^7$
HAB40	24,93	55,56	$4,28 \times 10^7$
HAB41	24,20	53,51	$1,73 \times 10^7$
HAB42	24,88	60,80	$8,87 \times 10^6$
HAB43	19,57	70,80	$3,27 \times 10^7$
HAB44	21,80	54,08	$2,10 \times 10^7$
HAB45	24,25	70,90	$4,03 \times 10^7$
HAB46	17,45	65,35	$9,59 \times 10^7$
HAB47	12,64	70,89	$1,01 \times 10^7$
HAB48	20,96	55,95	$1,05 \times 10^7$

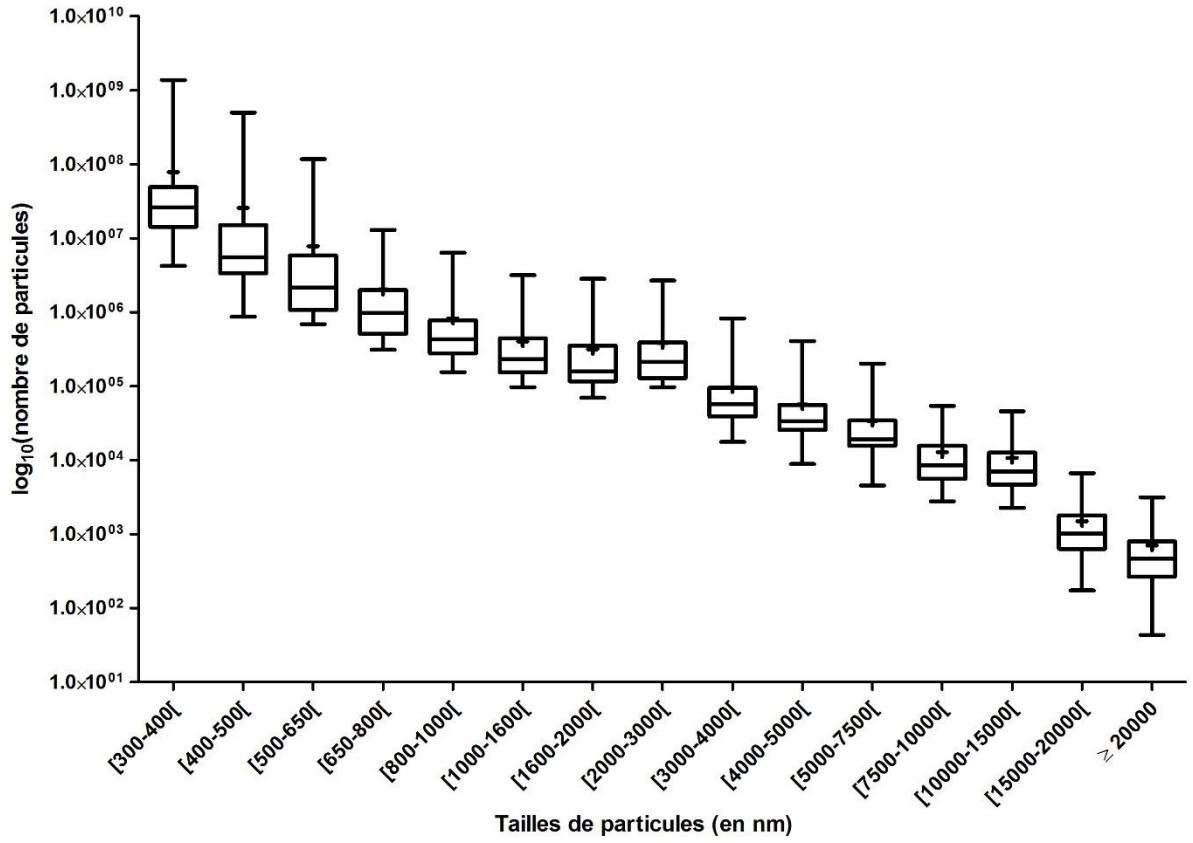


Figure 39 : Répartition du nombre de particules par m^3 d'air selon leur taille.

Tableau 14 : Valeurs observées pour les taux de particules par m^3 d'air dans les habitations.

Particules	Moyenne	Minimum	Maximum
0,3 à 20 µm	1,16 $x10^8$	7,80 $x10^6$	2,01 $x10^9$
2 à 15 µm	5,94 $x10^5$	1,59 $x10^5$	4,19 $x10^6$
0,3 à 0,4 µm	7,87 $x10^7$	4,24 $x10^6$	1,38 $x10^9$
0,4 à 0,5 µm	2,57 $x10^7$	8,70 $x10^5$	4,98 $x10^8$
0,5 à 0,65 µm	7,79 $x10^6$	6,89 $x10^5$	1,17 $x10^8$
0,65 à 0,8 µm	2,03 $x10^6$	3,11 $x10^5$	1,30 $x10^7$
0,8 à 1 µm	8,22 $x10^5$	1,55 $x10^5$	6,35 $x10^6$
1 à 1,6 µm	4,02 $x10^5$	9,70 $x10^4$	3,16 $x10^6$
1,6 à 2 µm	3,17 $x10^5$	6,98 $x10^4$	2,84 $x10^6$
2 à 3 µm	3,84 $x10^5$	9,73 $x10^4$	2,67 $x10^6$
3 à 4 µm	9,64 $x10^4$	1,77 $x10^4$	8,28 $x10^5$
4 à 5 µm	5,65 $x10^4$	8,90 $x10^3$	4,05 $x10^5$
5 à 7,5 µm	3,41 $x10^4$	4,56 $x10^3$	2,02 $x10^5$
7,5 à 10 µm	1,28 $x10^4$	2,78 $x10^3$	5,42 $x10^4$
10 à 15 µm	1,08 $x10^4$	2,26 $x10^3$	4,57 $x10^4$
15 à 20 µm	1,50 $x10^3$	1,74 $x10^2$	6,65 $x10^3$
>20 µm	7,05 $x10^2$	4,33 $x10^1$	3,16 $x10^3$

La **Figure 40** présente les particules de 2 à 15 µm par m^3 d'air, fenêtre correspondant à la taille de la plupart des spores fongiques, dans chaque habitation étudiée. La valeur moyenne est de 5,94 $x10^5$ avec un écart type de 1,59 x 10^5 ; la valeur médiane de 3,72 x 10^5 avec un minimum à 1,59 $x10^5$ et un maximum à 4,19 $x10^6$.

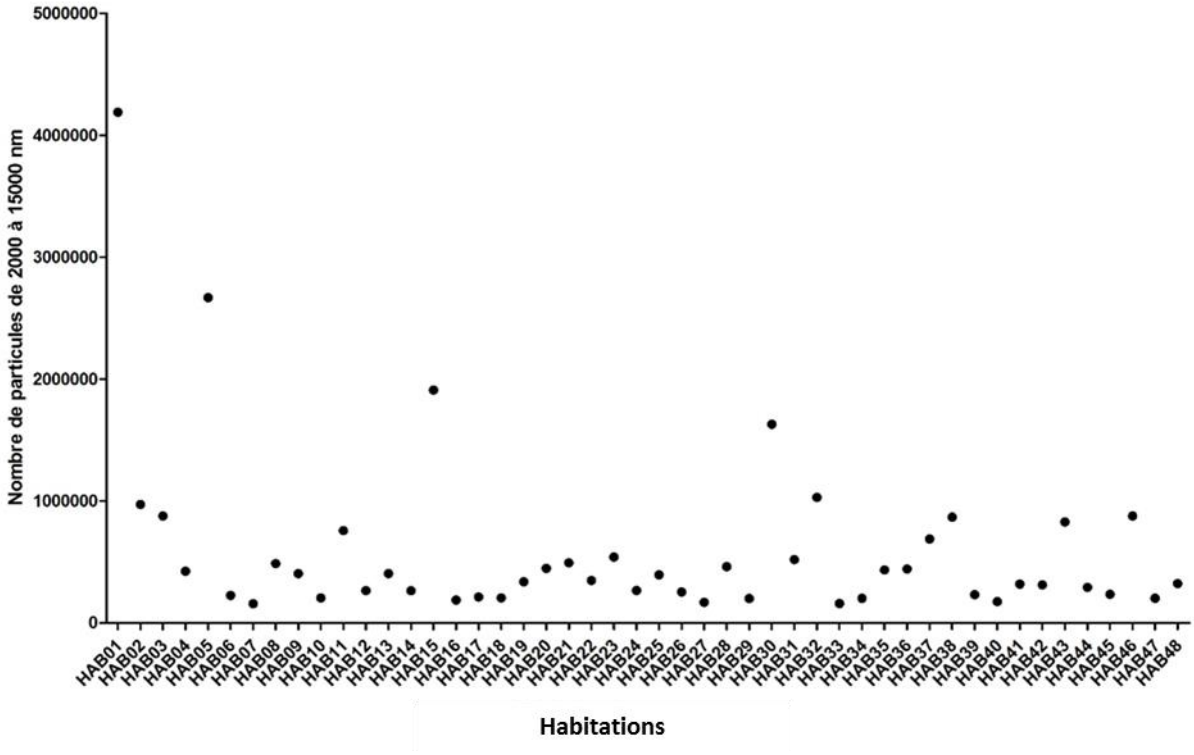


Figure 40 : Distribution des particules de 2 à 15 µm dans les habitations.

La surface contaminée par les moisissures a également été évaluée dans les habitations : celle-ci est faible (< 0,3 m^2) pour 8 habitations, moyenne (entre 0,3 et 3 m^2) pour 29 habitations et élevée (> 3 m^2) pour les 11 autres.

Les principales caractéristiques énergétiques des différentes habitations sont regroupées dans le **Tableau 15**. Parmi les 48 habitations étudiées, 13 étaient équipées d'un chauffage central, tandis que les 35 restantes disposaient d'un chauffage individuel. Parmi les types de chauffage, la plupart étaient électriques (n=21), et au gaz (n=20). Seulement 4 habitats étaient chauffés au fioul, 2 au bois et dans 1 cas, le résident n'avait pas connaissance de la nature du chauffage de son habitation. Concernant la ventilation, 26 habitations étaient équipées de VMC à débit constant et 1 d'une VMC à double flux, tandis que les 21 autres habitations n'étaient pas équipées de VMC. Enfin, la plupart des habitations disposaient d'un double vitrage au niveau des fenêtres (n=41), les fenêtres des habitations restantes n'étant équipées que d'un vitrage simple (n=7).

Tableau 15 : Principales caractéristiques énergétiques des habitations étudiées dans le cadre de l'étude CLIMATOX : type du chauffage (individuel ou collectif), nature du chauffage (électrique, gaz, fioul ou bois), type de ventilation (naturelle ou ventilation mécanique assistée) et type de vitrage (simple ou double).

Habitation	Type de chauffage	Nature du chauffage	Ventilation	Vitrage
HAB01	Individuel	Electricité	Ventilation naturelle	Double vitrage
HAB02	Individuel	Electricité	Ventilation naturelle	Double vitrage
HAB03	Individuel	Electricité	Ventilation naturelle	Double vitrage
HAB04	Individuel	Fioul	Ventilation naturelle	Double vitrage
HAB05	Individuel	Electricité	Ventilation naturelle	Vitrage simple
HAB06	Individuel	Electricité	VMC débit constant	Double vitrage
HAB07	Collectif	Gaz	Ventilation naturelle	Vitrage simple
HAB08	Collectif	Fioul	Ventilation naturelle	Double vitrage
HAB09	Individuel	Electricité	Ventilation naturelle	Double vitrage
HAB10	Collectif	Non renseigné	Ventilation naturelle	Vitrage simple
HAB11	Individuel	Gaz	VMC débit constant	Double vitrage
HAB12	Individuel	Gaz	VMC débit constant	Double vitrage
HAB13	Individuel	Electricité	VMC débit constant	Double vitrage
HAB14	Individuel	Gaz	VMC débit constant	Double vitrage
HAB15	Individuel	Electricité	VMC débit constant	Vitrage simple
HAB16	Individuel	Gaz	VMC débit constant	Double vitrage
HAB17	Collectif	Fioul	Ventilation naturelle	Double vitrage
HAB18	Individuel	Electricité	Ventilation naturelle	Double vitrage
HAB19	Individuel	Gaz	VMC débit constant	Double vitrage
HAB20	Individuel	Gaz	Ventilation naturelle	Double vitrage
HAB21	Individuel	Fioul	Ventilation naturelle	Double vitrage
HAB22	Individuel	Gaz	VMC débit constant	Double vitrage
HAB23	Individuel	Gaz	VMC débit constant	Double vitrage
HAB24	Individuel	Gaz	VMC double flux	Double vitrage
HAB25	Individuel	Gaz	VMC débit constant	Double vitrage
HAB26	Collectif	Gaz	VMC débit constant	Double vitrage
HAB27	Individuel	Electricité	VMC débit constant	Double vitrage
HAB28	Individuel	Electricité	Ventilation naturelle	Double vitrage
HAB29	Collectif	Electricité	VMC débit constant	Double vitrage
HAB30	Individuel	Electricité	VMC débit constant	Double vitrage
HAB31	Individuel	Gaz	VMC débit constant	Double vitrage
HAB32	Individuel	Bois	VMC débit constant	Double vitrage
HAB33	Collectif	Gaz	Ventilation naturelle	Double vitrage
HAB34	Collectif	Gaz	VMC débit constant	Double vitrage
HAB35	Collectif	Gaz	VMC débit constant	Double vitrage
HAB36	Individuel	Electricité	VMC débit constant	Double vitrage
HAB37	Individuel	Electricité	VMC débit constant	Vitrage simple
HAB38	Individuel	Electricité	VMC débit constant	Double vitrage
HAB39	Individuel	Gaz	Ventilation naturelle	Double vitrage
HAB40	Collectif	Gaz	VMC débit constant	Double vitrage
HAB41	Collectif	Gaz	Ventilation naturelle	Double vitrage
HAB42	Individuel	Bois	VMC débit constant	Double vitrage
HAB43	Collectif	Electricité	Ventilation naturelle	Double vitrage
HAB44	Collectif	Electricité	VMC débit constant	Double vitrage
HAB45	Individuel	Gaz	Ventilation naturelle	Double vitrage
HAB46	Individuel	Electricité	Ventilation naturelle	Vitrage simple

HAB47	Individuel	Electricité	VMC débit constant	Vitrage simple
HAB48	Individuel	Electricité	Ventilation naturelle	Double vitrage

IV.1.2) Données de santé

Dans chacune des habitations, au moins un des résidents a répondu au questionnaire de santé sur les symptômes ressentis dans l'habitation dégradée. Au total, 52 questionnaires de santé ont été saisis. Les résultats obtenus (**Figure 41**) montrent que les symptômes les plus fréquemment rencontrés sont l'encombrement nasal et la gêne respiratoire, suivis des troubles du sommeil, des problèmes de démangeaisons et des maux de gorge et de tête. La liste détaillée des différents symptômes est fournie dans le **Tableau 16**.

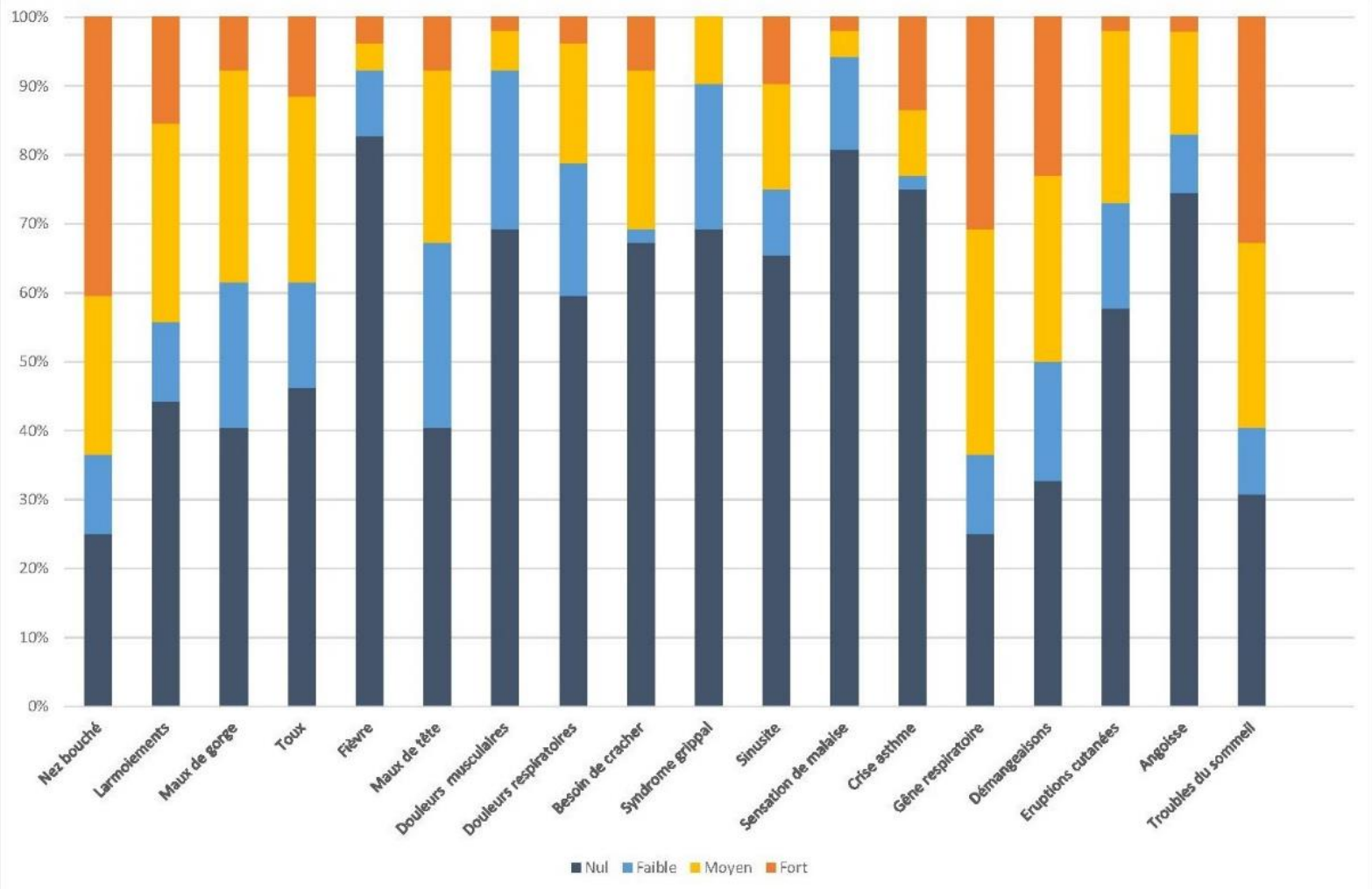


Figure 41 : Fréquence des différents symptômes dans les habitations selon leur intensité (bleu foncé = nul, bleu clair = faible, jaune = moyen et orange = fort).

Tableau 16 : Symptômes renseignés lors des visites à domicile (n=52).

Symptôme ressenti	Occurrence	Intensité faible	Intensité moyenne	Intensité forte
Encombrement nasal	75,00 %	11,54 %	23,08 %	40,38 %
Gêne respiratoire	75, 00 %	11,54 %	32,69 %	30,77 %
Troubles du sommeil	69,23 %	9,62 %	26,92 %	32,69 %
Démangeaisons	67.31 %	17,31 %	26,92 %	23,08 %
Maux de gorge	59,62 %	21,15 %	30,77 %	7,69 %
Maux de tête	59,62 %	26,92 %	25,00 %	7,69 %
Irritation des yeux	55,77 %	11,54%	28,85 %	15,38 %
Toux	53,85 %	15,38 %	26,92 %	11,54 %
Eruptions cutanées	42,31 %	15,38 %	25,00 %	1,92 %
Douleurs respiratoires	40,38 %	19,23 %	17,31 %	3,85 %
Sinusite	34,62 %	9,62 %	15,38 %	9,62 %
Besoin de cracher	32,69 %	1,92 %	23,08 %	7,69 %
Douleurs musculaires	30,77 %	23,08 %	5,77 %	1,92 %
Syndrome grippal	30,77 %	21,15 %	9,62 %	0,00 %
Crises d'asthme	25,00 %	1,92 %	9,62 %	13,46 %
Angoisse	23,08 %	7,69 %	13,46 %	1,92 %
Sensation de malaise	19,23 %	13,46 %	3,85 %	1,92 %
Fièvre	17,31 %	9,62 %	3,85 %	3,85 %

IV.2) Caractérisation microbiologique des bioaérosols

IV.2.1) Analyse de la microfonge de l'air

Les prélèvements dans les habitations ont permis de mesurer la présence des différents contaminants de l'air intérieur (**Annexe 7**).

En ce qui concerne la présence des micromycètes dans l'air, l'approche culturale a permis de mettre en évidence des contaminations très variables dans les différentes habitations, avec une valeur moyenne de 1,02 x 10^4 CFU/m^3 d'air et un écart type de 5,33 x 10^5 CFU/m^3 d'air, ainsi qu'une valeur médiane de 2,76 x 10^2 CFU/m^3 d'air avec la concentration la plus faible de 1,67 x 10^1 CFU/m^3 d'air et la concentration la plus élevée de 3,61 x 10^5 CFU/m^3 d'air (**Figure 42**).

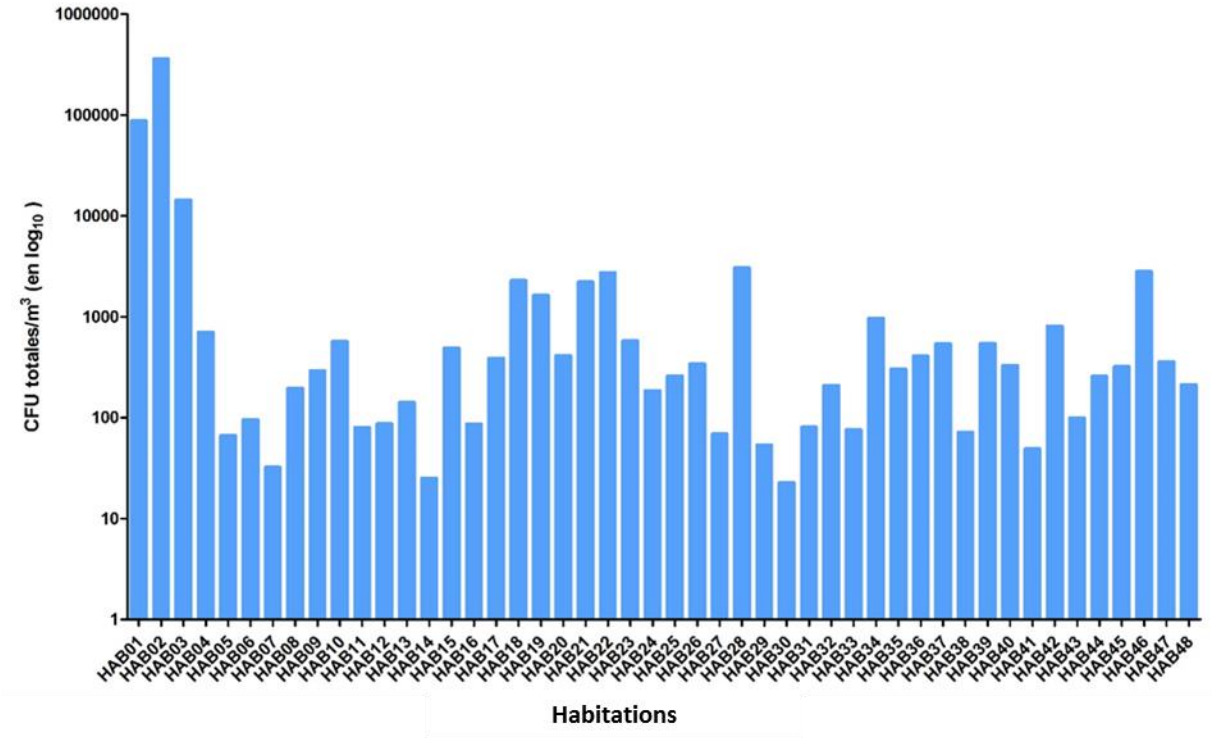


Figure 42 : Concentrations en particules fongiques viables dans l'air pour les différentes habitations de l'étude CLIMATOX.

Au total, 103 espèces fongiques ont été isolées des prélèvements d'air. Parmi ces espèces, 101 ont pu être quantifiées dans les prélèvements (**Tableau 17 / Annexe 8**). Ces différentes espèces se répartissent en 39 genres différents, parmi lesquels deux sont particulièrement représentés : les genres *Aspergillus* et *Penicillium*.

Tableau 17 : Concentrations des différentes espèces fongiques isolées lors des prélèvements d'air et classées selon leurs occurrences.

Espèce	**Occurrence (n = 48)**	**Concentration (CFU/m^3 d'air)**				
		Moyenne	**Ecart Type**	**Médiane**	**Minimum**	**Maximum**
Penicillium chrysogenum	36	243,04	825,60	12,00	3,78	5190,00
Aspergillus versicolor	35	9321,47	50862,30	17,90	4,72	344000,00
Penicillium crustosum	32	37,68	146,66	2,85	0,94	741,00
Penicillium brevicompactum	30	38,36	108,36	3,33	0,83	669,00
Aspergillus fumigatus	20	2,18	5,66	0	0,76	29,00
Penicillium glabrum	19	17,79	48,17	0	0,94	256,00

Penicillium expansum	13	1,61	5,92	0	0,51	39,30
Penicillium olsonii	13	15,30	48,21	0	0,73	280,00
Aspergillus flavus	10	0,94	3,00	0	0,81	15,60
Aspergillus niger	10	0,26	0,58	0	0,51	2,22
Botrytis cinerea	10	1,68	5,93	0	0,51	35,50
Cladosporium cladosporioides	9	33,01	142,76	0	1,67	741,00
Penicillium nalgiovense	9	1,90	4,92	0	2,22	23,90
Rhodotorula mucilaginosa	9	0,68	2,24	0	0,94	11,10
Aspergillus sydowii	8	9,83	53,71	0	0,94	370,00
Cladosporium herbarum	8	6,60	32,61	0	1,17	224,00
Chaetomium globosum	7	0,40	2,03	0	0,81	13,90
Paecilomyces variotii	7	1,09	4,65	0	1,11	31,10
Penicillium citrinum	7	2,51	9,10	0	0,88	54,90
Penicillium waksmanii	7	1,93	7,44	0	2,22	44,20
Aspergillus pseudoglaucus	6	1,67	6,57	0	1,17	41,90
Cladosporium sphaerospermum	6	1,61	6,72	0	0,51	39,60
Basidiomycètes	5	1,21	6,12	0	1,11	41,55
Penicillium italicum	5	1,00	4,00	0	1,02	20,00
Penicillium piceum	5	0,30	1,20	0	1,11	7,78
Penicillium purpurogenum	5	6,45	43,14	0	0,86	299,00
Penicillium simplicissimum	5	0,52	0,52	0	2,22	9,72
Arthrinium phaeospermum	4	0,24	1,14	0	0,97	7,67
Aspergillus ustus	4	0,74	4,00	0	1,11	27,20
Penicillium rugulosum	4	0,65	3,93	0	0,87	27,20
Penicillium viridicatum	4	0,29	1,19	0	1,14	6,67
Talaromyces flavus	4	0,16	0,67	0	0,97	4,31
Aspergillus melleus	3	0,06	0,33	0	0,96	2,08
Cryptococcus albidus	3	0,86	4,70	0	3,33	32,10
Emericella nidulans	3	0,26	1,21	0	0,81	6,67
Penicillium aurantiogriseum	3	0,32	1,60	0	5,56	9,72
Penicillium citreonigrum	3	0,29	1,46	0	1,06	9,58

Penicillium digitatum	3	0,09	0,38	0	1,02	2,20
Penicillium granulatum	3	0,31	1,65	0	1,10	11,10
Penicillium paxilli	3	0,63	3,06	0	13,90	16,30
Penicillium variabile	3	3,40	2,26	0	0,76	157,00
Rhizopus stolonifer	3	0,16	0,97	0	1,11	6,67
Stachybotrys chartarum	3	0,19	0,80	0	1,11	4,44
Actinomucor elegans	2	0,14	0,71	0	2,22	4,42
Aphanocladium album	2	1,74	11,09	0	6,67	76,70
Aspergillus montevidensis	2	0,09	0,43	0	2,08	2,22
Chrysonilia sitophila	2	0,21	1,04	0	4,11	6,04
Fusarium culmorum	2	0,02	0,16	0	0,89	1,10
Fusarium graminearum	2	0,07	0,35	0	0,97	2,22
Fusarium oxysporum	2	0,06	0,33	0	0,68	2,22
Mucor hiemalis	2	0,04	0,22	0	0,96	1,17
Mucor plumbeus	2	0,08	0,45	0	1,11	2,96
Paecilomyces lilacinus	2	0,14	0,66	0	3,17	3,33
Penicillium atramentosum	2	0,44	2,03	0	9,58	10,50
Penicillium canescens	2	0,53	3,52	0	1,11	24,40
Penicillium fellutanum	2	11,53	76,64	0	22,22	531,00
Penicillium hirsutum	2	0,09	0,44	0	2,11	2,22
Penicillium inflatum	2	0,23	1,15	0	3,78	7,08
Penicillium janczewskii	2	1,01	6,81	0	1,11	47,20
Penicillium puberulum	2	0,74	4,48	0	4,67	30,80
Penicillium roquefortii	2	1,33	8,98	0	1,53	62,20
Penicillium verrucosum	2	7,28	50,08	0	2,22	347,00
Penicillium verruculosum	2	0,05	0,25	0	0,94	1,47
Trichoderma polysporum	2	0,02	0,11	0	0,71	0,76
Trichoderma viride	2	0,04	0,17	0	0,73	0,96
Hyphodermella rosae	2	0,32	1,94	0	2,22	13,30
Absidia cylindrospora	1	0,46	3,16	0	21,90	21,90
Acremonium percisinum	1	0,05	0,32	0	0,86	0,86

Alternaria alternata	1	0,02	0,12	0	0,86	0,86
Aspergillus caespitosus	1	0,18	1,24	0	8,61	8,61
Aspergillus clavatus	1	0,02	0,12	0	0,81	0,81
Aspergillus europaeus	1	0,02	0,14	0	0,97	0,97
Aspergillus glaucus	1	0,12	0,80	0	5,56	5,56
Aspergillus ruber	1	0,02	0,14	0	0,94	0,94
Chaetomium sp	1	0,03	0,24	0	1,67	1,67
Chrysosporium pannorum	1	0,07	0,49	0	3,42	3,42
Gliocladium sp	1	0,02	0,13	0	0,88	0,88
Mucor mucedo	1	0,02	0,14	0	0,96	0,96
Mycotypha microspora	1	0,15	1,06	0	7,33	7,33
Naganishia diffluens	1	0,14	0,95	0	6,61	6,61
Penicillium capsulatum	1	0,58	3,98	0	27,60	27,60
Penicillium decumbens	1	0,11	0,76	0	5,29	5,29
Penicillium griseofulvum	1	0,46	3,20	0	2,22	2,22
Penicillium implicatum	1	0,02	0,13	0	0,88	0,88
Penicillium loliense	1	0,02	0,15	0	1,04	1,04
Penicillium restrictum	1	0,43	2,96	0	20,50	20,50
Penicillium sclerotiorum	1	0,02	0,16	0	1,11	1,11
Penicillium spinulosum	1	0,23	1,60	0	11,10	11,10
Phanerochaete sp	1	0,78	5,37	0	37,20	37,20
Phoma sp	1	0,02	0,17	0,17	1,17	1,17
Pithomyces chartarum	1	0,11	0,74	0	5,13	5,13
Scedosporium prolificans	1	0,02	0,16	0	1,11	1,11
Sclerotinia sp	1	0,03	0,22	0	1,53	1,53
Thamnidium elegans	1	0,04	0,28	0	1,92	1,92
Trichoderma harzianum	1	0,17	1,16	0	8,06	8,06
Trichoderma koningii	1	0,09	0,64	0	4,44	4,44
Ulocladium chartarum	1	0,20	1,40	0	9,72	9,72

La richesse spécifique (nombre d'espèces différentes isolées dans le prélèvement) était comprise entre 4 et 20 selon les habitations, avec une valeur moyenne et une médiane de 10 espèces par habitation. Les indices de Shannon-Weaver variaient également considérablement selon les habitations (**Figure 43**).

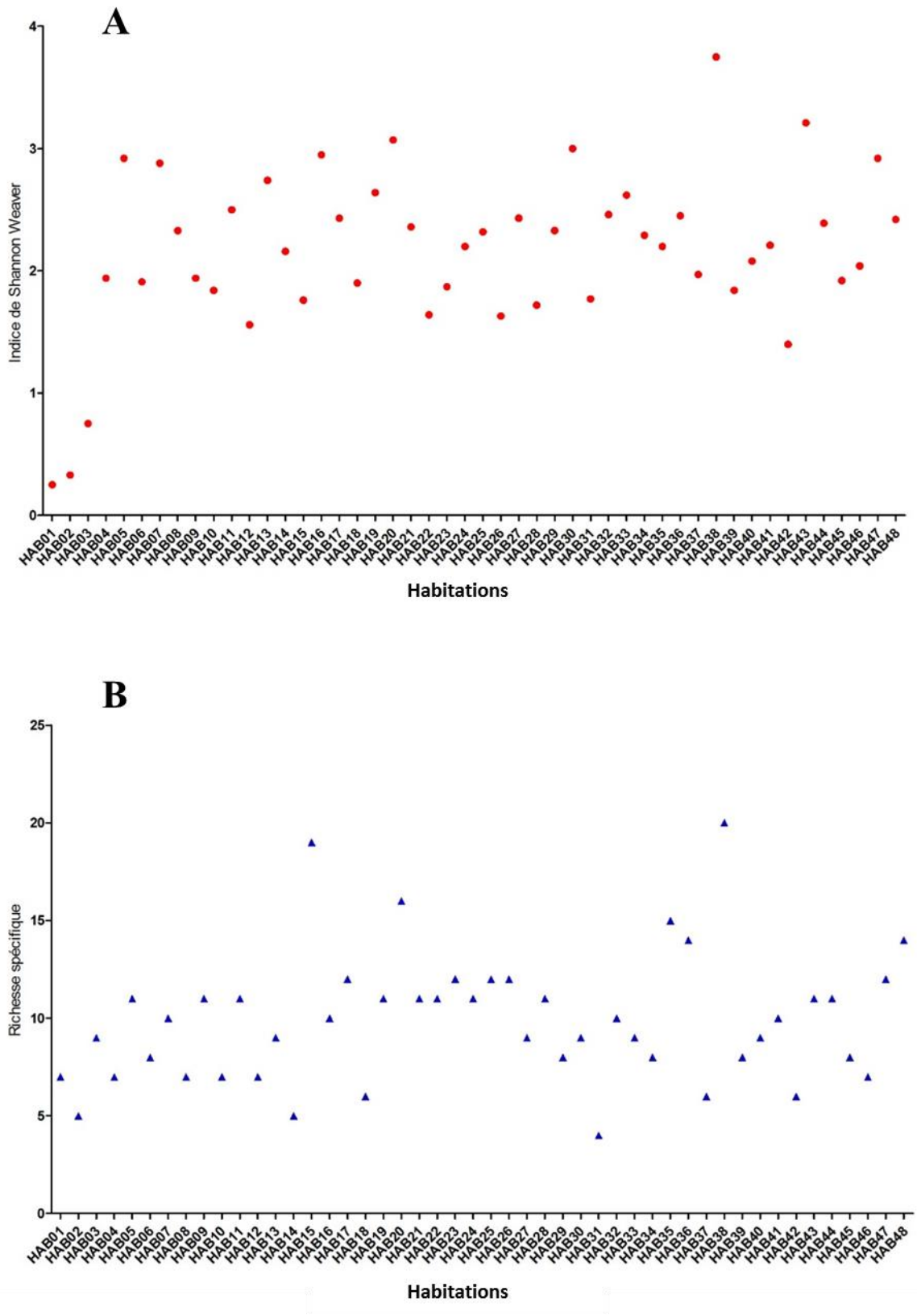


Figure 43 : Indice de Shannon-Weaver (A) et Richesse spécifique (B) pour chacune des habitations.

Au niveau des différents genres isolés, trois principaux groupes ont été retrouvés de manière récurrente (**Figure 44**) : *Cladosporium*, *Aspergillus* et *Penicillium*.

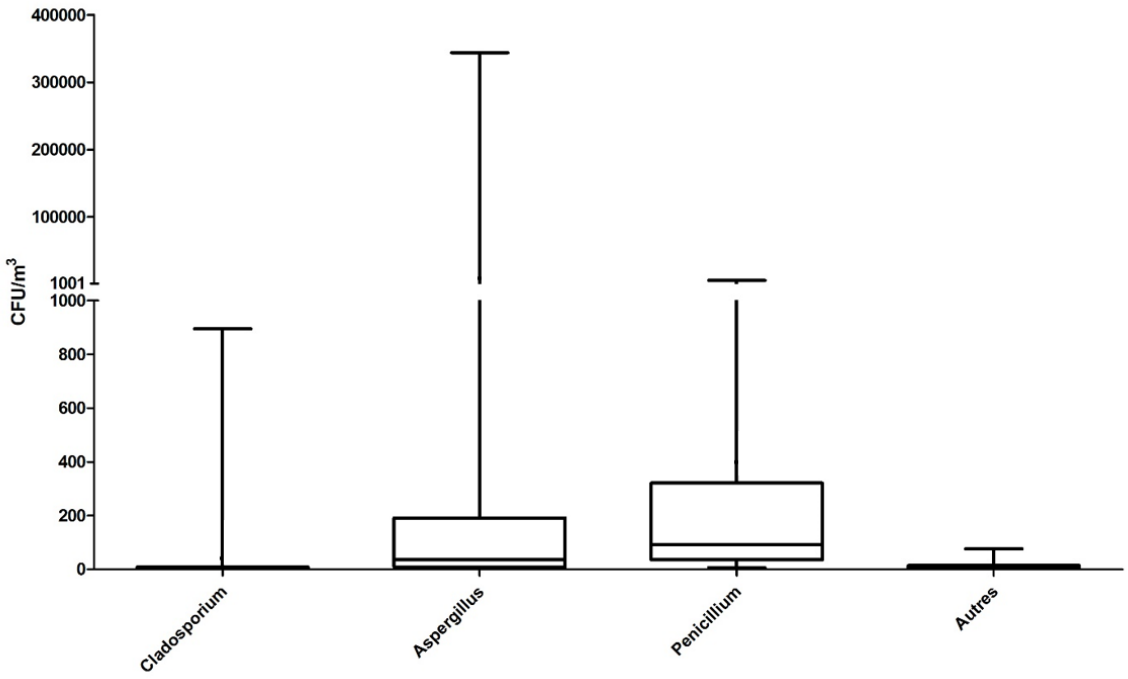


Figure 44 : Représentation en box-plot des différents groupes fongiques identifiés dans les habitations.
La barre centrale représente la moyenne, tandis que les boîtes du haut et du bas définissent les limites dans laquelle sont comprises la moitié des valeurs. Les barres supérieures et inférieures des box-plot représentent respectivement la valeur maximale et minimale.

Le détail de la répartition des espèces identifiées dans les différents groupes est le suivant :

- Au niveau du genre *Aspergillus* (**Figure 45 / Annexes 9 et 10**), *A. versicolor* (n=35) constitue l'espèce majoritaire dans les habitations les plus contaminées ; la concentration la plus élevée pour cette espèce étant de 3,44 x 10^5 CFU/m^3 d'air. Deux autres espèces de ce genre ont également été identifiées de manière récurrente : *A. flavus* (n=10) et *A. fumigatus* (n=20) qui sont retrouvées à des taux compris entre 0 et 29 CFU/m^3 d'air.

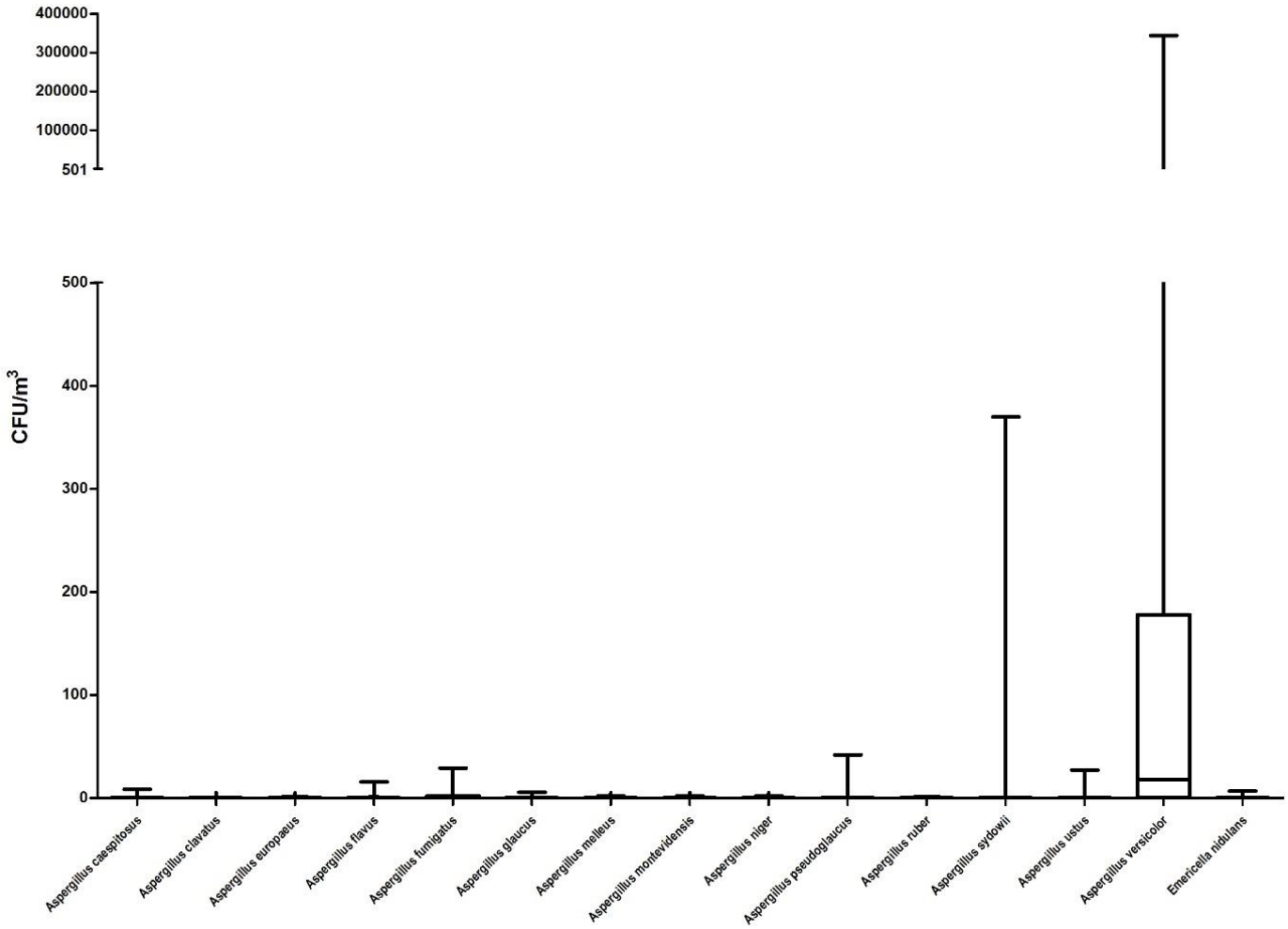


Figure 45 : Représentation en box-plot de la répartition des espèces du genre *Aspergillus* dans les prélèvements d'air.

La barre centrale représente la moyenne, tandis que les boîtes du haut et du bas définissent les limites dans laquelle sont comprises la moitié des valeurs. Les barres supérieures et inférieures des box-plot représentent respectivement la valeur maximale et minimale.

- Au niveau du genre *Cladosporium* (**Figure 46 / Annexe 11**), trois espèces sont retrouvées de manière relativement récurrente : *C. cladosporioides* (n=9), *C. herbarum* (n=8) et *C. sphaerospermum* (n=6). Leur concentration dans l'air varie également fortement, de 0,51 CFU/m^3 d'air pour la concentration observée la plus faible à 741,00 CFU/m^3 d'air pour la concentration la plus élevée. *C. cladosporioides* est l'espèce la plus fréquente et pour laquelle les concentrations dans l'air les plus élevées ont été observées.

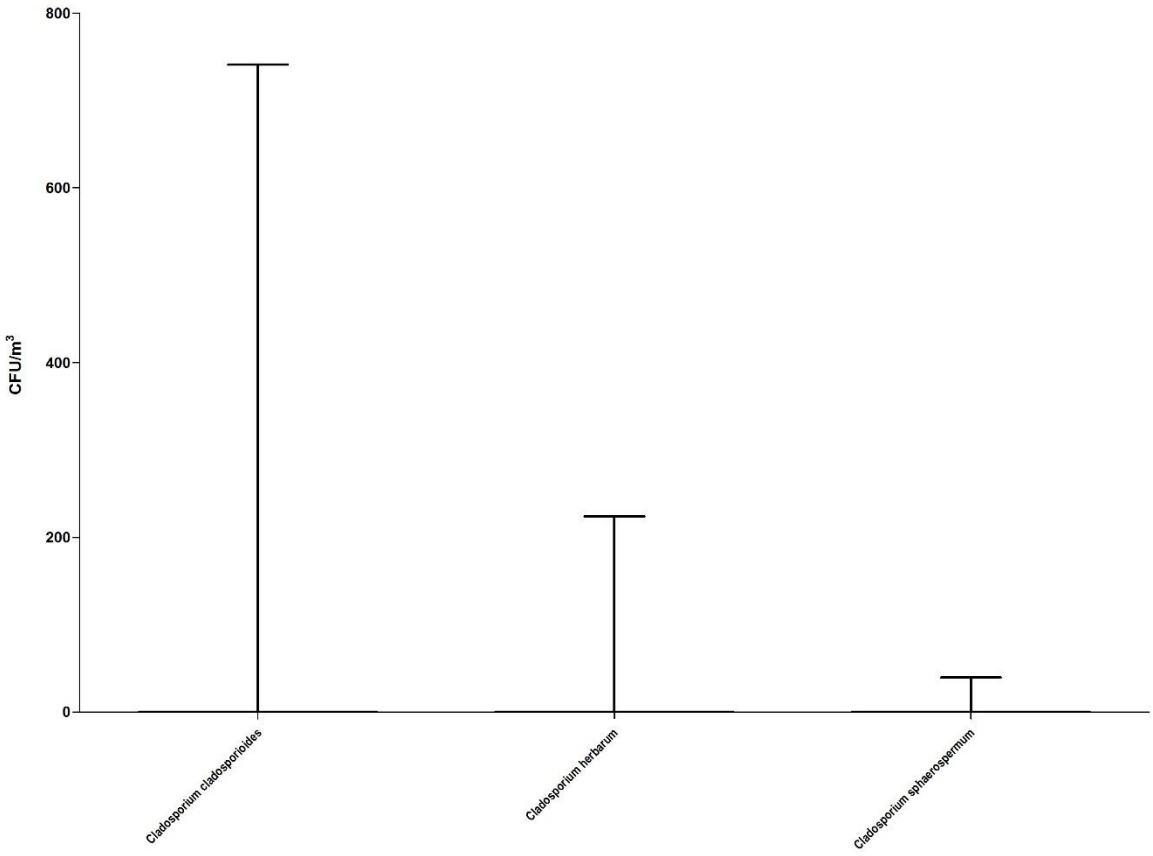


Figure 46 : Représentation en box-plot de la répartition des espèces du genre *Cladosporium* dans les prélèvements d'air.

La barre centrale représente la moyenne, tandis que les boîtes du haut et du bas définissent les limites dans laquelle sont comprises la moitié des valeurs. Les barres supérieures et inférieures des box-plot représentent respectivement la valeur maximale et minimale.

- Au niveau des espèces du genre *Penicillium* (**Figure 47 / Annexe 12**), un grand nombre d'espèces a pu être isolé et identifié. Parmi elles, seuls *P. chrysogenum*, *P. crustosum*, *P. brevicompactum*, *P. expansum*, *P. glabrum* et *P. olsonii* ont été identifiés dans au moins 10 habitations, les autres espèces étant présentes de manière bien plus sporadique. Pour *P. chrysogenum*, les concentrations observées sont les plus élevées, variant de 3,78 CFU/m^3 d'air à 5170,00 CFU/m^3 d'air.

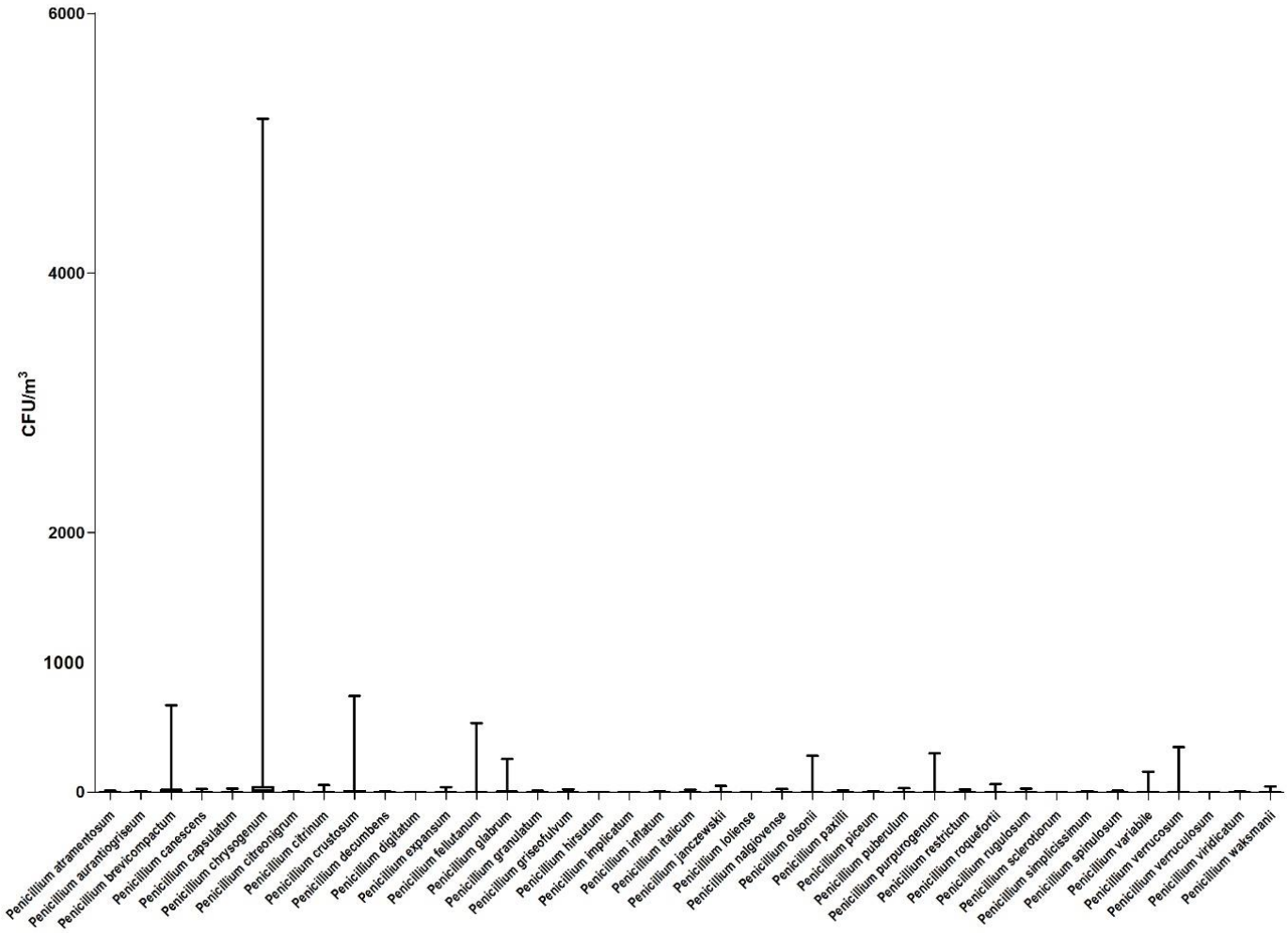


Figure 47 : Représentation en box-plot de la répartition des espèces du genre *Penicillium* dans les prélèvements d'air.

La barre centrale représente la moyenne, tandis que les boîtes du haut et du bas définissent les limites dans laquelle sont comprises la moitié des valeurs. Les barres supérieures et inférieures des box-plot représentent respectivement la valeur maximale et minimale.

- Au niveau des autres genres fongiques (**Figure 48 / Annexe 13**), un grand nombre d'espèces réparties dans plus de 25 genres ont pu être isolées et identifiées, à des concentrations inférieures à 80 CFU/m^3 d'air.

  Parmi ces espèces, plusieurs Mucorales ont été identifiées : *Absidia cylindrospora*, *Actinomucor elegans*, *Mucor* spp, *Mycotypha microspora*, *Rhizopus stolonifer* et *Thamnidium elegans*.

  Des Ascomycètes tels que *Acremonium strictum*, *Aphanocladium album*, *Alternaria alternata*, *Botrytis cinerea*, *Chaetomium globosum*, *Chrysonilia sitophila*, *Chrysosporium pannorum*, *Fusarium* spp, *Gliocladium sp*, *Paecilomyces sp*, *Phoma sp*,

Pithomyces chartarum, *Scedosporium prolificans*, *Sclerotinia sp*, *Stachybotrys chartarum*, *Trichoderma* spp et *Ulocladium sp*.

Des espèces appartenant à la classe des *Basidiomycètes* comme *Hyphodermella rosae* et *Phanerochaete sp*. La présence de Basidiomycètes a également été mise en évidence dans 4 habitations, sans pouvoir être précisément identifiés malgré l'utilisation de la biologie moléculaire.

Des levures appartenant à la classe des *Basidiomycètes* telles que *Cryptococcus albidus*, *Naganishia diffluens* et *Rhodotorula mucilaginosa*.

Enfin, 2 espèces ont pu être identifiées mais pas quantifiées, en raison de leur présence uniquement sur boîte-mère et non sur la dilution permettant le comptage : *Absidia spinosa* et *Phialemonium sp*.

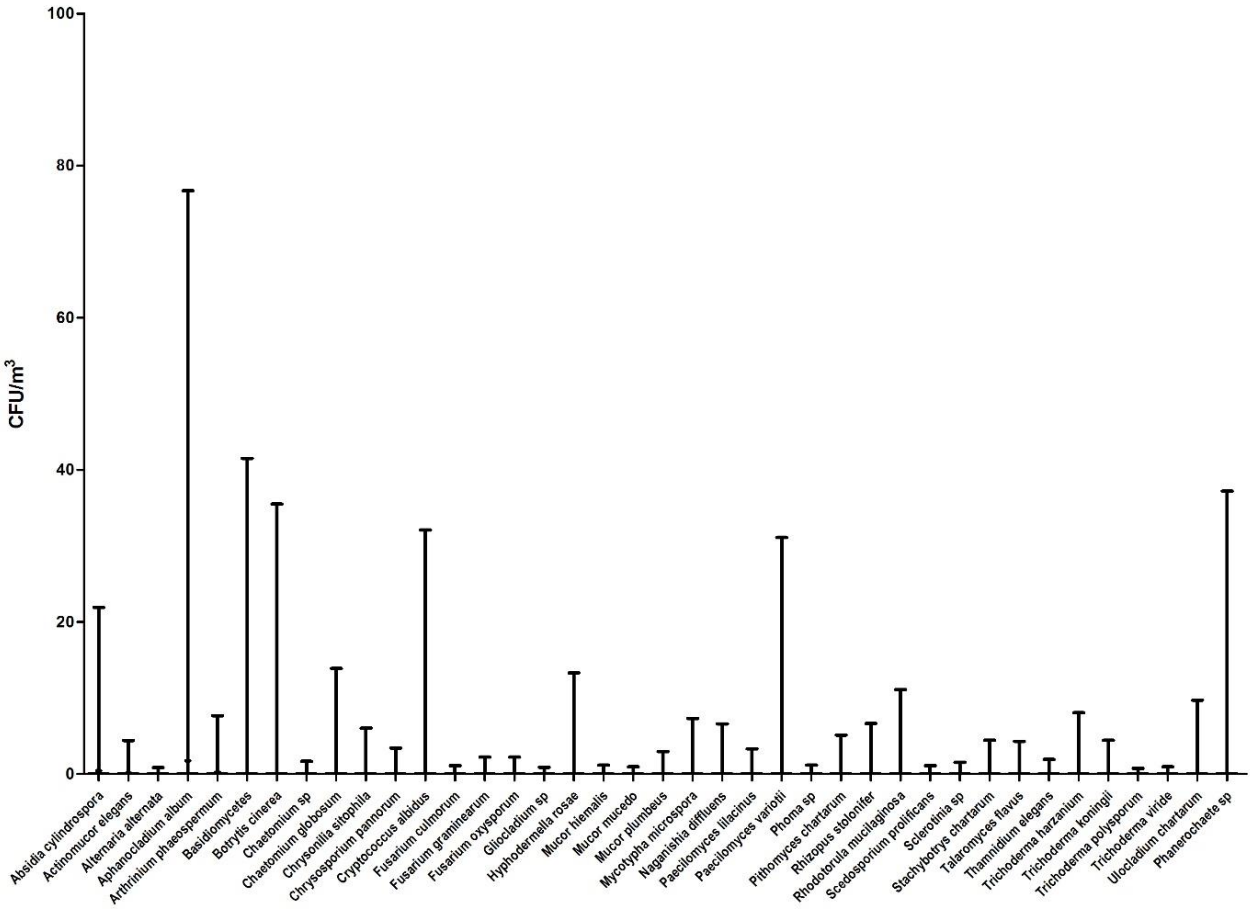


Figure 48 : Représentation en box-plot de la répartition des espèces appartenant aux autres genres fongiques dans les prélèvements d'air.

La barre centrale représente la moyenne, tandis que les boîtes du haut et du bas définissent les limites dans laquelle sont comprises la moitié des valeurs. Les barres supérieures et inférieures des box-plot représentent respectivement la valeur maximale et minimale.

IV.2.2) Evaluation du potentiel toxinogène des isolats fongiques

Les 40 isolats du genre *Aspergillus* testés en HPLC-MS/MS ont permis de détecter la production de plusieurs mycotoxines par différentes espèces du genre *Aspergillus* (**Tableau 18 et Annexe 14**) :

Tableau 18 : Production de mycotoxines par les différentes espèces du genre *Aspergillus* identifiées par HPLC-MS/MS.

Espèce	**Mycotoxine**	**Nombre d'isolats producteurs**	**Production (min – max, en ng/g de milieu)**
Aspergillus flavus	Acide cyclopiazonique	7/8	34,39 – 264,14
Aspergillus fumigatus	Fumagilline	13/15	391,52 – 2971,28
	Gliotoxine	10/15	4,01 – 58284,67
	Verruculogène	15/15	1,83 – 19738,52
Aspergillus glaucus	-	-	-
Aspergillus europaeus	-	-	-
Aspergillus melleus	Ochratoxine A	2/2	13,35 – 454,02
	Ochratoxine B	2/2	8,68 – 1199,99
Aspergillus montevidensis	-	-	-
Aspergillus niger	Fumonisine B2	1/6	171,78
Aspergillus pseudoglaucus	Acide mycophénolique	3/3	3909,61 – 4014,76
Aspergillus versicolor	Stérigmatocystine	3/3	3128,00 – 50731,68

- : Absence de production de mycotoxines quantifiées par la méthode employée.

Nous observons ainsi que la plupart de nos isolats d'*A. flavus* sont capables de produire de l'acide cyclopiazonique dans nos conditions expérimentales, mais qu'aucun d'entre eux n'a produit d'aflatoxines.

Les isolats d'*A. fumigatus* ont tous été capables de produire du verruculogène, 13 des 15 isolats testés ont produit de la fumagilline et 10 d'entre eux ont produit de la gliotoxine. Parmi les isolats de cette espèce, certains isolats se sont révélés capables de produire *in vitro* des quantités importantes de ces mycotoxines.

IV.2.3) Etude de la résistance des isolats d'*Aspergillus fumigatus* aux antifongiques

Les différents isolats fongiques testés par rapport à leur résistance ont tous donnés des résultats similaires lors du screening sur milieu RADAR contenant de l'itraconazole ou du voriconazole :

- Les 8 isolats d'*A. flavus* ainsi que les 14 isolats d'*A. fumigatus* se sont tous révélés sensibles aux deux antifongiques.
- Les 2 isolats d'*A. ustus* se sont révélés résistants aux deux antifongiques.

Les isolats d'*Aspergillus fumigatus* testés en EUCAST se sont tous révélés sensibles aux antifongiques (**Tableau 19**).

Tableau 19 : Valeurs des CMI (en mg/L) pour les différents isolats d'*A. fumigatus* testés. Pour chaque antibiotique, les isolats sont considérés sensibles si la CMI mesurée est inférieure à 2 mg/L pour l'amphotéricine B, la caspofungine, l'itraconazole et le voriconazole, et 0,5 mg/L pour le posaconazole (Alanio et Bretagne 2010).

Isolat	Habitat	Amphotéricine B	Caspofungine	Itraconazole	Posaconazole	Voriconazole
ASfu06	Urbain	2,67	>16	0,21	0,12	0,42
ASfu07	Urbain	2,67	10,00	0,12	0,21	0,42
ASfu09	Urbain	2,67	>16	0,12	0,25	0,37
ASfu11	Rural	4,00	8,00	0,12	0,12	0,37
ASfu13	Péri-urbain	2,00	>16	0,21	0,10	0,50
ASfu14	Rural	2,00	>16	0,21	0,12	0,67
ASfu15	Péri-urbain	2,00	>16	0,33	0,21	1,00
ASfu17	Urbain	2,67	>16	0,17	0,08	0,50
ASfu19	Péri-urbain	2,00	>16	0,17	0,06	0,50
ASfu20	Urbain	2,00	>16	0,25	0,12	0,50
ASfu21	Rural	2,00	>16	0,42	0,12	1,00
ASfu22	Péri-urbain	4,00	8,00	0,12	0,15	0,42
ASfu26	Péri-urbain	3,33	16,00	0,12	0,08	0,37
ASfu29	Urbain	3,33	3,00	0,25	0,25	0,37

IV.2.4) Quantification des endotoxines et des glucanes

Pour les endotoxines (**Figure 49**), la concentration moyenne par m^3 d'air était de 13,27 ng/m^3 et la médiane à 5,79 ng/m^3, avec un écart type de 18,35 ng/m^3. La concentration la plus basse était de 0,14 ng/m^3 d'air, contre 91,13 ng/m^3 d'air pour la valeur la plus élevée.

Pour les (1-3)-β-D-glucanes (**Figure 50**), la valeur moyenne était de 1,56 ng/m^3 d'air et la médiane de 1,05 ng/m^3 d'air, avec un écart type de 2,21 ng/m^3 d'air. La valeur la plus basse était de 0,16 ng/m^3 d'air, contre 15,48 ng/m^3 d'air pour la valeur la plus haute. Un tableau

regroupant toutes les concentrations observées d'endotoxines et de (1-3)-β-D-glucanes est donné en **Annexe 15**.

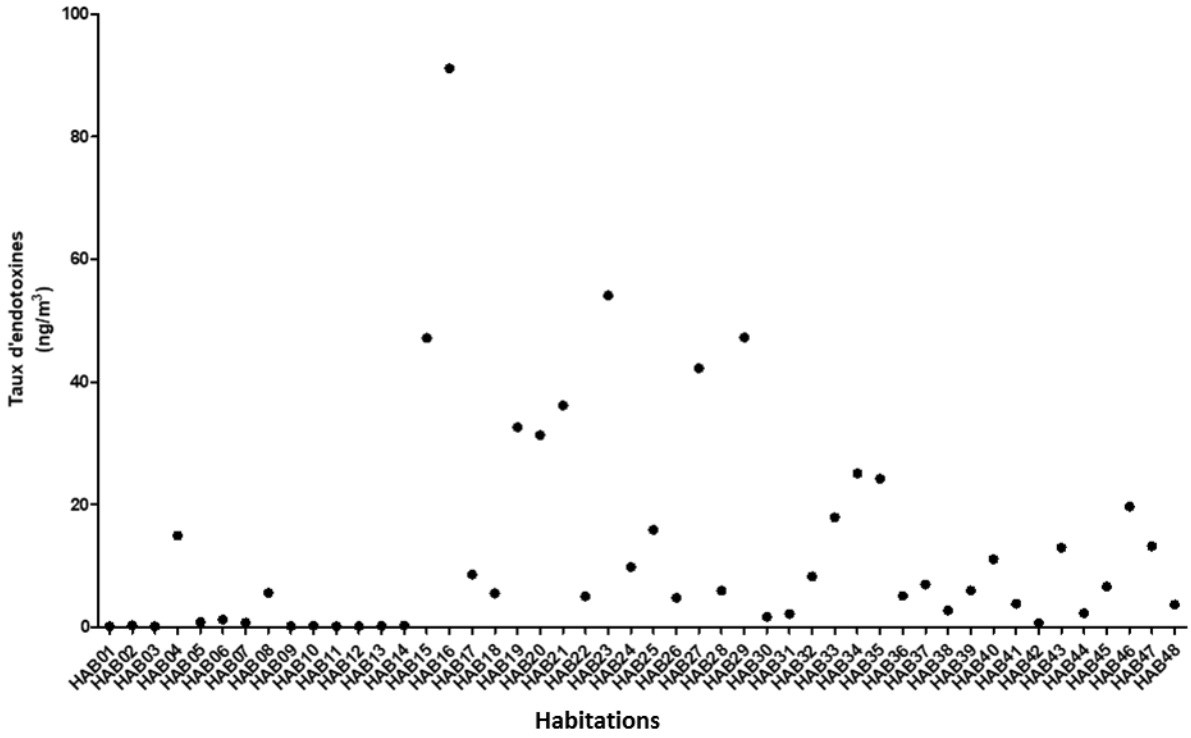


Figure 49 : Taux d'endotoxines relevés dans les habitations.

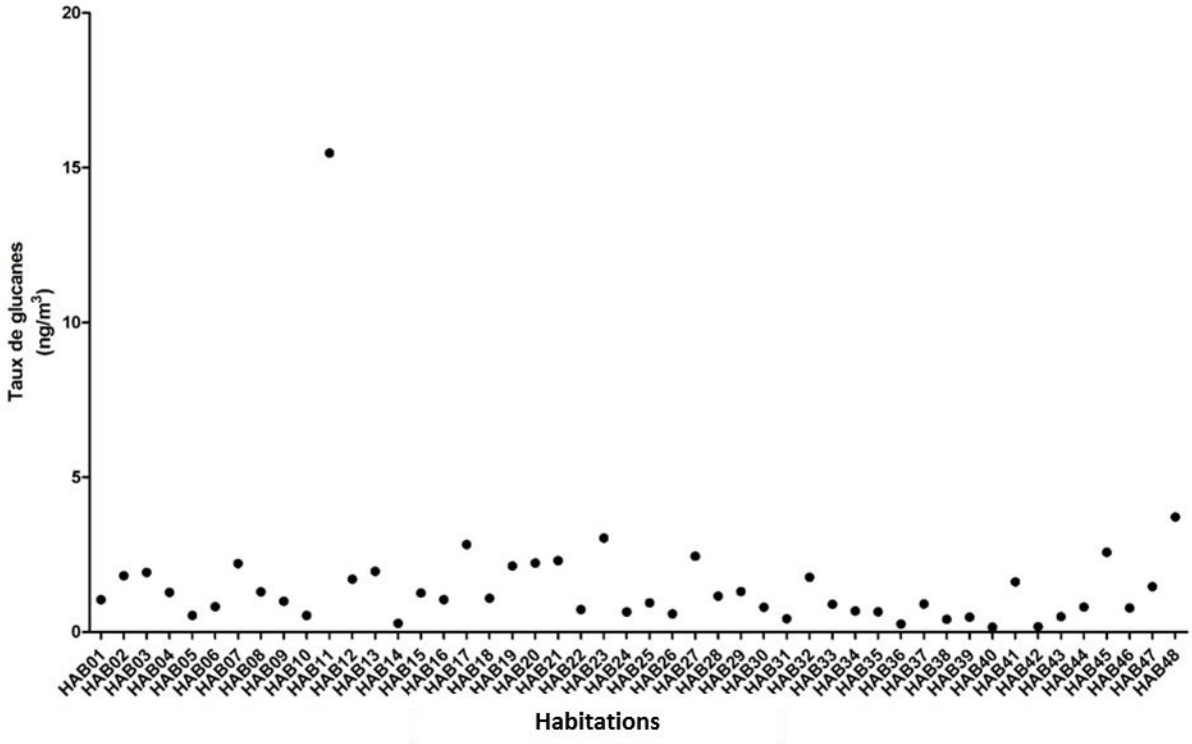


Figure 50 : Taux de (1-3)-β-D-glucanes relevés dans les habitations.

IV.2.5) Evaluation de la contamination des surfaces par les acariens

Le dosage semi-quantitatif de la contamination par les acariens dans les poussières à l'aide de l'Acarex® Test a donné pour résultat une concentration nulle dans 4 habitations (HAB04, HAB 11, HAB16 et HAB26), faible dans 41 habitations et moyenne dans les 3 restantes (HAB02, HAB03 et HAB47). La liste des résultats de l'Acarex® Test pour chacune des différentes habitations est donnée dans l'**Annexe 15**.

IV.2.6) Etude exploratoire de la contamination bactérienne de l'air

L'étude exploratoire portant sur la présence de bactéries dans deux habitations dégradées (HAB37 et HAB38) a permis de mettre en évidence la présence des espèces suivantes à l'aide de l'approche culturale et moléculaire (**Tableaux 20 et 21**). Les concentrations bactériennes moyennes observées à l'aide de l'impacteur sur gélose Sampl'Air® étaient de 2,0 x 10^2 CFU/m^3 pour HAB37 et de 1,3 x 10^3 CFU/m^3 pour HAB38. En ce qui concerne l'utilisation du biocollecteur Coriolis®, aucune colonie n'a été obtenue pour HAB37, probablement en raison des problèmes de pression osmotique imposés aux bactéries avec le liquide de collecte utilisé (Eau UP + 0,02% Tween 80). Pour HAB38, pour laquelle l'analyse des bactéries avait été réalisée à l'aide d'une collecte dans du PBS, une concentration bactérienne moyenne de 2,9 x 10^3 CFU/m^3 a été obtenue.

Tableau 20 : Liste des différentes espèces bactériennes isolées lors des prélèvements de bioaérosols dans les habitations HAB37 et HAB38.

Espèce	**Habitation(s)**	**Espèce**	**Habitation(s)**
Acinobacter sp	HAB37	*Pseudomonas graminis*	HAB38
Arthrobacter sp	HAB37	*Rhodococcus sp*	HAB37
Bacillus sp	HAB38	*Roseomonas mucosa*	HAB37 et HAB38
Bacillus megaterium	HAB38	*Staphylococcus capitis*	HAB37
Kocuria sp	HAB37	*Staphylococcus epidermis*	HAB38
Kocuria rosae	HAB38	*Staphylococcus haemolyticus*	HAB38
Micrococcus sp	HAB38	*Staphylococcus hominis*	HAB38
Panteoa sp	HAB38	*Staphylococcus lentus*	HAB37
Panteoa agglomerans	HAB37	*Staphylococcus pasteuri*	HAB37
Paracoccus yeei	HAB37	*Staphylococcus warneri*	HAB38
Pseudomonas sp	HAB37 et HAB38		

Tableau 21 : Concentrations bactériennes totales en fonction de l'habitation et du système de collecte de bioaérosols (Coriolis® ou Sampl'air®).

Habitation	Dénombrement bactérien total Coriolis® (CFU/m^3)	Dénombrement bactérien total Sampl'air® (CFU/m^3)
HAB37	0	1,1 – 2,9 x 10^2
HAB38	2,3 – 3,5 x 10^3	0,6 – 2,1 x 10^3

IV.3) Etude statistique des résultats

IV.3.1) Recherche de corrélations

Les analyses statistiques ont permis de mettre en évidence des corrélations entre différentes variables issues de nos prélèvements. Les résultats obtenus sont exposés ci-après.

L'analyse des coefficients de Spearman (**Tableau 22**) a été réalisée entre les paramètres d'humidité relative, de température, d'endotoxines, de β-D-glucanes, de richesse spécifique et d'indice d'équitabilité. Ce dernier est calculé à partir de la richesse spécifique et des concentrations des différentes espèces présentes dans le milieu, il permet de déterminer si la répartition des différentes espèces est égale (indice proche de 1) ou inégale (indice proche de 0).

Ont été mis en évidence :

- Une corrélation négative (r= -0,42 / p= 0,0026) entre la température et l'indice d'équitabilité.
- Une corrélation positive (r= 0,30 / p= 0,0354) entre la richesse spécifique et le taux d'endotoxines dans l'air.

Tableau 22 : Coefficients de Spearman entre les paramètres de l'humidité relative, de la température, des endotoxines, des glucanes, de la richesse spécifique et de l'indice d'équitabilité.

	Humidité relative	Température	Endotoxines	Glucanes	Richesse spécifique	Indice équitabilité
Moyenne	60,68	21,99	13,27	1,56	9,92	0,67
Ecart type	7,55	2,51	18,35	2,21	3,32	0,19
Minimum	44,84	12,64	0,14	0,16	4,00	0,09
Maximum	74,30	26,10	91,12	15,48	20,00	0,95
Médiane	60,50	22,25	5,79	1,05	10,00	0,68
Analyses statistiques						
Humidité relative	-	0,3556	0,0842	0,0982	0,4549	0,3700

	Humidité relative	Température	Endotoxines	Glucanes	Richesse spécifique	Indice équitabilité
Température	0,3556	-	0,5224	0,6247	0,9047	**0,0026**
Endotoxines	0,0842	0,5224	-	0,3860	**0,0354**	0,3217
Glucanes	0,0982	0,6247	0,3860	-	0,2671	0,6088
Richesse spécifique	0,4549	0,9047	**0,0354**	0,2671	-	0,4582
Indice d'équitabilité	0,3700	**0,0026**	0,3217	0,6088	0,4582	-
Coefficient de corrélation						
Humidité relative	1,00000	0,13632	-0,25186	0,24149	-0,11044	-0,13232
Température	0,13632	1,00000	-0,09462	0,07242	-0,01776	**-0,42442**
Endotoxines	-0,25186	-0,09462	1,00000	0,12799	**0,30436**	0,14610
Glucanes	0,24149	0,07242	0,12799	1,00000	0,16342	-0,07577
Richesse spécifique	-0,11044	-0,01776	**0,30436**	0,16342	1,00000	-0,10963
Indice d'équitabilité	-0,13232	**-0,42442**	0,14610	-0,07577	-0,10963	1,00000

Résultats en rouge : résultats pour lesquels une différence significative inférieure à 0,05 est observée.

Une analyse des coefficients de Spearman a également été réalisée entre les concentrations en CFU totales par m^3 d'air (toutes espèces fongiques confondues), ainsi que celles d'*Aspergillus versicolor* et de *Penicillium chrysogenum* (**Tableau 23**).

Tableau 23 : Coefficients de Spearman entre les concentrations en CFU totales par m^3 d'air, les CFU d'*Aspergillus versicolor* et celles de *Penicillium chrysogenum*.

	CFU totales	*Aspergillus versicolor*	*Penicillium chrysogenum*
Moyenne	$1,02 \times 10^4$	$9,32 \times 10^3$	$2,43 \times 10^2$
Ecart type	$5,33 \times 10^4$	$5,09 \times 10^4$	$8,26 \times 10^2$
Minimum	$2,27 \times 10^1$	0	0
Maximum	$3,61 \times 10^5$	$3,44 \times 10^5$	$5,19 \times 10^3$
Médiane	$3,13 \times 10^2$	$1,79 \times 10^1$	$1,20 \times 10^1$
Analyses statistiques			
CFU totales	-	**<0,0001**	**0,0008**
Aspergillus versicolor	**<0,0001**	-	**0,0006**
Penicillium chrysogenum	**0,0008**	**0,0006**	-

	CFU totales	*Aspergillus versicolor*	*Penicillium chrysogenum*
Coefficient de corrélation			
CFU totales	1,00000	**0,60387**	**0,46990**
Aspergillus versicolor	**0,60387**	1,00000	**0,47637**
Penicillium chrysogenum	**0,46990**	**0,47637**	1,00000

Résultats en rouge : résultats pour lesquels une différence significative inférieure à 0,05 est observée.

Elle a permis de mettre en évidence :

- Une corrélation positive (r= 0,60387 / p< 0,0001) entre la concentration fongique totale et la concentration d'*A. versicolor* dans l'air.
- Une autre corrélation positive (r= 0,46990 / p< 0,0008) entre la concentration fongique totale et la concentration de *P. chrysogenum* dans l'air.
- Une dernière corrélation positive (r= 0,47637 / p< 0,0006) entre la concentration d'*A. versicolor* dans l'air et la concentration de *P. chrysogenum* dans l'air.

Une analyse des coefficients de Spearman a été réalisée pour croiser les concentrations des différentes espèces fongiques les plus récurrentes identifiées dans l'air avec différents paramètres physiques et d'autres contaminants biologiques des bioaérosols (**Tableau 24**).

Tableau 24 : Coefficients de Spearman entre les concentrations dans l'air (CFU) de différentes espèces fongiques (espèces totales, *A. versicolor*, *A. fumigatus*, *P. brevicompactum*, *P. chrysogenum* et *P. crustosum*) et la concentration de particules de 0,3 à 20 µm dans l'air, la concentration de particules de 2 à 15 µm, la concentration d'endotoxines, la concentration de glucanes, l'humidité relative, la température et le temps d'ouverture des fenêtres.

	Particules totales	Particules de 2 à 15 µm	Endotoxines	Glucanes	Humidité relative	Température	Temps d'ouverture
Moyenne	$1{,}16 \times 10^{8}$	$5{,}94 \times 10^{5}$	13,27	1,56	60,68	21,99	2,41
Ecart type	$3{,}07 \times 10^{8}$	$7{,}16 \times 10^{5}$	18,35	2,21	7,55	2,51	3,96
Minimum	$7{,}80 \times 10^{6}$	$1{,}59 \times 10^{5}$	0,14	0,16	44,84	12,64	0
Maximum	$2{,}01 \times 10^{9}$	$4{,}19 \times 10^{6}$	91,12	15,48	74,30	26,10	18,00
Médiane	$3{,}57 \times 10^{7}$	$3{,}72 \times 10^{5}$	5,79	1,05	60,50	22,25	1,00
Analyses statistiques							
CFU totales	0,8338	0,1368	0,4667	0,6901	0,0515	0,0079	0,9548
Aspergillus versicolor	**0,0205**	**0,0181**	0,5367	0,5671	**0,0029**	0,6678	0,2655
Aspergillus fumigatus	0,7960	0,6324	0,7975	0,9407	0,7179	0,8670	0,4946

	Particules totales	Particules de 2 à 15 µm	Endotoxines	Glucanes	Humidité relative	Température	Temps d'ouverture
Penicillium brevicompactum	0,8655	0,7058	0,1324	0,3207	0,9245	0,8598	0,5953
Penicillium chrysogenum	0,0569	0,2153	0,6734	0,6645	**0,0168**	**0,0385**	0,8925
Penicillium crustosum	0,1151	**0,0009**	0,8388	0,7067	0,7935	0,0647	0,0740
Coefficient de corrélation							
CFU totales	-0,03110	0,21793	0,10758	0,05905	0,28274	0,37902	0,00839
Aspergillus versicolor	**0,33355**	**0,33986**	-0,09139	0,08470	**0,42040**	0,06355	-0,16395
Aspergillus fumigatus	0,03832	-0,07082	-0,03802	0,01103	-0,05351	0,02483	-0,10100
Penicillium brevicompactum	0,02510	-0,05591	0,22032	0,14642	-0,01405	0,02618	-0,07861
Penicillium chrysogenum	0,27675	0,18217	0,06242	0,06422	**0,34353**	**0,29977**	-0,02003
Penicillium crustosum	0,23042	**0,46260**	-0,03014	0,05575	0,03880	0,26878	-0,26024

Résultats en rouge : résultats pour lesquels une différence significative inférieure à 0,05 est observée.

Plusieurs observations peuvent être faites à partir de ces résultats :

- Des facteurs de corrélation positifs ont été mis en évidence pour *Aspergillus versicolor* :
  - avec la concentration de particules de 0,3 à 20 µm (r= 0,33355 / p= 0,0205),
  - avec la concentration de particules de 2 à 15 µm (r= 0,33986 / p= 0,0181)
  - avec le taux d'humidité (r= 0,42040 / p= 0,0029).
- Des facteurs de corrélation positifs ont été mis en évidence pour *Penicillium chrysogenum* :
  - avec l'humidité relative (r= 0,34353 / p= 0,0168)
  - avec la température (r= 0,29977 / p= 0,0385).
- De même, un facteur de corrélation positif a été trouvé pour *Penicillium crustosum* avec la concentration de particules de 2 à 15 µm (r= 0,4626 / p= 0,0009).

IV.3.2) Recherche de variables explicatives

Pour compléter l'étude des corrélations, la recherche de variables explicatives à l'aide des tests de Wilcoxon et de Kruskal-Wallis a permis de mettre en évidence des liens entre plusieurs paramètres.

IV.3.2.1) Contamination fongique totale et concentrations des espèces fongiques récurrentes

La recherche de variables explicatives pour les espèces récurrentes (*Aspergillus versicolor*, *A. fumigatus*, *Penicillium brevicompactum*, *P. chrysogenum* et *P. crustosum*) par rapport à la surface contaminée a donné les résultats suivants (**Tableaux 25 et 26**) :

- Une relation explicative a été observée entre les différentes catégories de surface contaminée et le nombre de CFU totales quantifiées (p=0,0421), ainsi que les concentrations dans l'air d'*Aspergillus versicolor* (p=0,0039) et de *Penicillium chrysogenum* (p=0,0386).
- Pour les CFU totales, cette relation concerne principalement la différence observée entre les catégories de surface contaminée « Moyenne » et « Elevée » (p=0,0167).
- Pour *A. versicolor*, cette relation concerne principalement la différence observée entre les catégories de surface « Faible » et « Moyenne » (p=0,0155) et entre les catégories « Faible » et « Elevée » (p=0,0035).
- Pour *A. versicolor*, cette relation concerne principalement la différence observée entre les catégories de surface « Moyenne » et « Elevée » (p=0,0190) et les catégories « Faible » et « Elevée » (p=0,0465).

Tableau 25 : Recherche de variables explicatives (à l'aide d'un test de Kruskal-Wallis) pour la concentration fongique totale et la concentration des espèces fongiques récurrentes par rapport à la surface contaminée.

Variable étudiée		**Surface contaminée**			**p-value**
		Faible	Moyenne	Elevée	
	N	8	29	11	
CFU totales	Médiane	257,50	212,00	408,00	**0,0421**
	Min	53,80	22,70	99,40	
	Max	2220,00	3070,00	361000,00	
Aspergillus fumigatus	Médiane	1,53	0,00	0,00	**0,0506**
	Min	0,00	0,00	0,00	
	Max	29,00	26,70	1,10	
Aspergillus versicolor	Médiane	0,00	17,50	122,00	**0,0039**
	Min	0,00	0,00	0,00	
	Max	55,00	1590,00	344000,00	
Penicillium brevicompactum	Médiane	5,56	2,56	4,56	**0,7271**
	Min	0,00	0,00	0,00	
	Max	48,60	290,00	669,00	
Penicillium chrysogenum	Médiane	11,40	7,78	32,90	**0,0386**
	Min	0,00	0,00	0,00	
	Max	39,90	1000,00	5190,00	
	Médiane	3,86	0,96	5,07	**0,1368**

Penicillium crustosum	Min	0,00	0,00	0,00	
	Max	719,00	28,90	741,00	

Résultats en rouge : résultats pour lesquels une différence significative inférieure à 0,05 est observée.

Tableau 26 : Recherche de variables explicatives (à l'aide d'un test de Wilcoxon) pour la concentration fongique totale et la concentration des espèces fongiques récurrentes par rapport aux différentes catégories de surface contaminée.

Variable étudiée	Surface contaminée	N	Médiane	Min	Max	p-value
CFU totales	Faible	8	257,50	53,80	2220,00	**0,8681**
	Moyenne	29	212,00	22,70	3070,00	
	Moyenne	29	212,00	22,70	3070,00	**0,0167**
	Elevée	11	408,00	99,40	361000,00	
	Faible	8	257,50	53,80	2220,00	**0,0632**
	Elevée	11	408,00	99,40	361000,00	
Aspergillus versicolor	Faible	8	0,00	0,00	55,00	**0,0155**
	Moyenne	29	17,50	0,00	1590,00	
	Moyenne	29	17,50	0,00	1590,00	**0,0577**
	Elevée	11	122,00	0,00	344000,00	
	Faible	8	0,00	0,00	55,00	**0,0035**
	Elevée	11	122,00	0,00	344000,00	
Penicillium chrysogenum	Faible	8	11,40	0,00	39,90	**0,6947**
	Moyenne	29	7,78	0,00	1000,00	
	Moyenne	29	7,78	0,00	1000,00	**0,0190**
	Elevée	11	32,90	0,00	5190,00	
	Faible	8	11,40	0,00	39,90	**0,0465**
	Elevée	11	32,90	0,00	5190,00	
Penicillium crustosum	Faible	8	3,86	0,00	719,00	**0,3934**
	Moyenne	29	0,96	0,00	28,90	
	Moyenne	29	0,96	0,00	28,90	**0,0549**
	Elevée	11	5,07	0,00	741,00	
	Faible	8	3,86	0,00	719,00	**0,4308**
	Elevée	11	5,07	0,00	741,00	

Résultats en rouge : résultats pour lesquels une différence significative inférieure à 0,05 est observée.

La recherche de variables explicatives pour les espèces récurrentes a également été réalisée par rapport aux caractéristiques des habitations suivantes : la présence ou l'absence d'une odeur de moisi, de traces d'humidité, d'animaux, de plantes dans l'habitation, ainsi que le type de chauffage (central ou individuel), le type d'énergie utilisé pour la cuisson, la présence d'un déshumidificateur ou d'un absorbeur, l'utilisation d'un sèche-linge. Les résultats de ces analyses sont donnés dans les tableaux ci-dessous (**Tableaux 27 à 36**).

Tableau 27 : Recherche de variables explicatives (à l'aide d'un test de Wilcoxon) pour la concentration fongique totale et la concentration des espèces fongiques récurrentes par rapport à la présence d'une odeur de moisi dans l'habitat.

Variable étudiée		Odeur de moisi		p-value
		Oui	Non	
	N	20	28	
CFU totales	Médiane	331,00	307,00	**0,8100**
	Min	25,00	22,70	
	Max	361000,00	3070,00	
Aspergillus fumigatus	Médiane	0,38	0,00	**0,5750**
	Min	0,00	0,00	
	Max	29,00	26,70	
Aspergillus versicolor	Médiane	47,65	15,75	**0,4533**
	Min	0,00	0,00	
	Max	344000,00	1590,00	
Penicillium brevicompactum	Médiane	3,95	3,15	**0,9659**
	Min	0,00	0,00	
	Max	208,00	669,00	
Penicillium chrysogenum	Médiane	7,43	14,20	**0,7841**
	Min	0,00	0,00	
	Max	5190,00	1000,00	
Penicillium crustosum	Médiane	4,09	1,95	**0,2819**
	Min	0,00	0,00	
	Max	741,00	719,00	

Aucune relation explicative n'a été mise en évidence entre les espèces fongiques les plus récurrentes et la présence d'une odeur de moisi dans l'habitat.

Tableau 28 : Recherche de variables explicatives (à l'aide d'un test de Wilcoxon) pour la concentration fongique totale et la concentration des espèces fongiques récurrentes par rapport à la présence de traces d'humidité.

Variable étudiée		Présence de traces d'humidité		p-value
		Oui	Non	
	N	39	9	
CFU totales	Médiane	304,00	390,00	**0,7917**
	Min	22,70	25,00	
	Max	88100,00	361000,00	
Aspergillus fumigatus	Médiane	0,00	0,00	**0,4518**
	Min	0,00	0,00	
	Max	29,00	3,33	
Aspergillus versicolor	Médiane	26,00	17,50	**0,6216**
	Min	0,00	0,00	
	Max	85200,00	344000,00	
	Médiane	3,33	3,33	**0,5167**

Penicillium brevicompactum	Min	0,00	0,00	
	Max	669,00	46,10	
Penicillium chrysogenum	Médiane	12,30	11,70	
	Min	0,00	0,00	**0,5944**
	Max	2220,00	5190,00	
Penicillium crustosum	Médiane	3,07	0,00	
	Min	0,00	0,00	**0,5628**
	Max	719,00	741,00	

Aucune relation explicative n'a été mise en évidence entre les espèces fongiques les plus récurrentes et la présence de traces d'humidité dans l'habitat.

Tableau 29 : Recherche de variables explicatives (à l'aide d'un test de Wilcoxon) pour la concentration fongique totale et la concentration des espèces fongiques récurrentes par rapport à la présence d'animaux dans l'habitation.

Variable étudiée		**Présence d'animaux**		**p-value**
		Oui	**Non**	
	N	22	26	
CFU totales	Médiane	307,00	317,00	
	Min	32,20	22,70	**0,9835**
	Max	2740,00	361000,00	
Aspergillus fumigatus	Médiane	0,00	0,40	
	Min	0,00	0,00	**0,2120**
	Max	26,70	29,00	
Aspergillus versicolor	Médiane	39,30	6,25	
	Min	0,00	0,00	**0,0723**
	Max	1230,00	344000,00	
Penicillium brevicompactum	Médiane	3,15	5,17	
	Min	0,00	0,00	**0,5185**
	Max	290,00	669,00	
Penicillium chrysogenum	Médiane	17,80	9,28	
	Min	0,00	0,00	**0,9170**
	Max	1000,00	5190,00	
Penicillium crustosum	Médiane	2,43	3,45	
	Min	0,00	0,00	**0,7921**
	Max	28,90	741,00	

Aucune relation n'a été mise en évidence entre les espèces fongiques les plus récurrentes et la présence d'animaux dans l'habitat.

Tableau 30 : Recherche de variables explicatives (à l'aide d'un test de Kruskal-Wallis) pour la concentration fongique totale et la concentration des espèces fongiques récurrentes par rapport à la présence et au nombre de plantes dans l'habitation.

Variable étudiée		Présence de plantes			p-value
		0	1 à 4	Plus de 5	
	N	17	19	12	
CFU totales	Médiane	390,00	304,00	234,00	**0,3397**
	Min	53,80	22,70	25,00	
	Max	361000,00	2740,00	2290,00	
Aspergillus fumigatus	Médiane	0,00	0,00	0,00	**0,8704**
	Min	0,00	0,00	0,00	
	Max	29,00	4,72	5,88	
Aspergillus versicolor	Médiane	55,00	26,00	0,00	**0,0908**
	Min	0,00	0,00	0,00	
	Max	344000,00	1230,00	522,00	
Penicillium brevicompactum	Médiane	11,70	0,83	1,28	**0,0604**
	Min	0,00	0,00	0,00	
	Max	669,00	208,00	120,00	
Penicillium chrysogenum	Médiane	23,30	11,70	4,58	**0,3090**
	Min	0,00	0,00	0,00	
	Max	5190,00	355,00	1000,00	
Penicillium crustosum	Médiane	3,78	2,42	2,01	**0,7201**
	Min	0,00	0,00	0,00	
	Max	741,00	28,30	719,00	

Aucune relation n'a été mise en évidence entre les espèces fongiques les plus récurrentes et la présence de plantes dans l'habitat.

Tableau 31 : Recherche de variables explicatives (à l'aide d'un test de Wilcoxon) pour la concentration fongique totale et la concentration des espèces fongiques récurrentes par rapport au type de chauffage de l'habitat.

Variable étudiée		Type de chauffage		p-value
		Individuel	Centralisé	
	N	35	13	
CFU totales	Médiane	358,00	258,00	**0,1439**
	Min	22,70	32,20	
	Max	361000,00	966,00	
Aspergillus fumigatus	Médiane	0,00	0,00	**0,9587**
	Min	0,00	0,00	
	Max	26,70	29,00	
Aspergillus versicolor	Médiane	38,30	4,63	**0,0093**
	Min	0,00	0,00	
	Max	344000,00	191,00	
	Médiane	4,56	1,54	**0,2497**

Penicillium brevicompactum	Min	0,00	0,00	
	Max	669,00	46,10	
Penicillium chrysogenum	Médiane	11,70	12,30	
	Min	0,00	0,00	**0,9627**
	Max	5190,00	164,00	
Penicillium crustosum	Médiane	5,07	0,00	
	Min	0,00	0,00	**0,0061**
	Max	741,00	4,83	

Résultats en rouge : résultats pour lesquels une différence significative inférieure à 0,05 est observée.

L'analyse statistique a permis de mettre en évidence une relation entre le type de chauffage et la concentration de deux espèces fongiques : *Aspergillus versicolor* (p=0,0093) et *Penicillium crustosum* (p=0,0061).

Tableau 32 : Recherche de variables explicatives (à l'aide d'un test de Kruskal-Wallis) pour la concentration fongique totale et la concentration des espèces fongiques récurrentes par rapport au type de ventilation de l'habitation.

Variable étudiée		**Type de ventilation**			**p-value**
		Ventilation naturelle	**VMC débit constant**	**VMC double flux**	
	N	21	26	1	
CFU totales	Médiane	411,00	259,00	185,00	
	Min	32,20	22,70	185,00	**0,1824**
	Max	361000,00	2740,00	185,00	
Aspergillus fumigatus	Médiane	0,00	0,38	0,00	
	Min	0,00	0,00	0,00	**0,5266**
	Max	29,00	5,88	0,00	
Aspergillus versicolor	Médiane	28,60	15,75	0,00	
	Min	0,00	0,00	0,00	**0,1540**
	Max	344000,00	1230,00	0,00	
Penicillium brevicompactum	Médiane	13,70	2,23	13,40	
	Min	0,00	0,00	13,40	**0,0933**
	Max	669,00	290,00	13,40	
Penicillium chrysogenum	Médiane	16,10	10,04	10,50	
	Min	0,00	0,00	10,50	**0,5904**
	Max	5190,00	288,00	10,50	
Penicillium crustosum	Médiane	2,22	3,43	3,83	
	Min	0,00	0,00	3,83	**0,8466**
	Max	741,00	28,90	3,83	

Aucune relation n'a été mise en évidence entre les espèces fongiques les plus récurrentes et le type de ventilation utilisé dans l'habitat.

Tableau 33 : Recherche de variables explicatives (à l'aide d'un test de Kruskal-Wallis) pour la concentration fongique totale et la concentration des espèces fongiques récurrentes par rapport au type d'énergie utilisé pour la cuisine.

Variable étudiée		Energie pour la cuisson				p-value
		Aucune	Electricité	Gaz	Propane	
	N	1	20	24	3	
CFU totales	Médiane	539,00	350,00	282,00	812,00	**0,4566**
	Min	539,00	22,70	25,00	99,40	
	Max	539,00	361000,00	2740,00	2220,00	
Aspergillus fumigatus	Médiane	0,00	0,38	0,00	0,00	**0,6922**
	Min	0,00	0,00	0,00	0,00	
	Max	0,00	26,70	29,00	4,86	
Aspergillus versicolor	Médiane	210,00	36,65	20,00	4,63	**0,1217**
	Min	210,00	0,00	0,00	0,00	
	Max	210,00	344000,00	1230,00	5,65	
Penicillium brevicompactum	Médiane	0,00	7,39	2,80	1,54	**0,4513**
	Min	0,00	0,00	0,00	0,00	
	Max	0,00	669,00	290,00	48,60	
Penicillium chrysogenum	Médiane	109,00	13,65	14,20	0,00	**0,2137**
	Min	109,00	0,00	0,00	0,00	
	Max	109,00	5190,00	355,00	6,00	
Penicillium crustosum	Médiane	9,78	2,65	2,53	6,17	**0,6718**
	Min	9,78	0,00	0,00	0,00	
	Max	9,78	741,00	28,90	719,00	

Aucune relation n'a été mise en évidence entre les espèces fongiques les plus récurrentes et le type d'énergie utilisée pour la cuisine.

Tableau 34 : Recherche de variables explicatives (à l'aide d'un test de Wilcoxon) pour la concentration fongique totale et la concentration des espèces fongiques récurrentes par rapport à l'utilisation d'un sèche-linge dans l'habitation.

Variable étudiée		Présence et utilisation d'un sèche-linge		p-value
		Oui	Non	
	N	20	28	
CFU totales	Médiane	263,50	313,00	**0,3521**
	Min	25,00	22,70	
	Max	2740,00	361000,00	
Aspergillus fumigatus	Médiane	1,11	0,00	**0,0818**
	Min	0,00	0,00	
	Max	4,86	29,00	
Aspergillus versicolor	Médiane	13,40	27,30	**0,3527**
	Min	0,00	0,00	

	Max	1230,00	344000,00	
Penicillium brevicompactum	Médiane	8,84	2,76	
	Min	0,00	0,00	**0,5492**
	Max	290,00	669,00	
Penicillium chrysogenum	Médiane	9,28	15,85	
	Min	0,00	0,00	**0,4417**
	Max	1000,00	5190,00	
Penicillium crustosum	Médiane	4,59	1,33	
	Min	0,00	0,00	**0,2819**
	Max	719,00	741,00	

Aucune relation n'a été mise en évidence entre les espèces fongiques les plus récurrentes et l'utilisation d'un sèche-linge dans l'habitation.

Tableau 35 : Recherche de variables explicatives (à l'aide d'un test de Wilcoxon) pour la concentration fongique totale et la concentration des espèces fongiques récurrentes par rapport à l'utilisation d'un absorbeur ou d'un déshumidificateur dans l'habitat.

Variable étudiée		**Présence et utilisation d'un absorbeur ou d'un déshumidificateur**		**p-value**
		Oui	**Non**	
	N	18	30	
CFU totales	Médiane	251,00	336,00	
	Min	22,00	25,00	**0,1696**
	Max	2740,00	361000,00	
Aspergillus fumigatus	Médiane	0,40	0,00	
	Min	0,00	0,00	**0,2635**
	Max	26,70	29,00	
Aspergillus versicolor	Médiane	11,13	39,30	
	Min	0,00	0,00	**0,3550**
	Max	1230,00	344000,00	
Penicillium brevicompactum	Médiane	3,82	3,33	
	Min	0,00	0,00	**0,5711**
	Max	208,00	669,00	
Penicillium chrysogenum	Médiane	7,03	15,85	
	Min	0,00	0,00	**0,3395**
	Max	109,00	5190,00	
Penicillium crustosum	Médiane	1,95	3,86	
	Min	0,00	0,00	**0,7041**
	Max	719,00	741,00	

Aucune relation n'a été mise en évidence entre les espèces fongiques les plus récurrentes et l'utilisation d'un absorbeur ou d'un déshumidificateur dans l'habitation.

Tableau 36 : Recherche de variables explicatives (à l'aide d'un test de Kruskal-Wallis) pour la concentration fongique totale et la concentration des espèces fongiques récurrentes par rapport au type d'absorbeur ou de déshumidificateur utilisé dans l'habitat.

Variable étudiée		Utilisation d'un absorbeur / déshumidificateur				p-value
		Aucun	Absorbeur	Déshumidificateur électrique	Déshumidificateur industriel	
	N	30	14	3	1	
CFU totales	Médiane	336,00	266,00	87,20	390,00	**0,3862**
	Min	25,00	22,70	66,70	390,00	
	Max	361000,00	2740,00	292,00	390,00	
Aspergillus fumigatus	Médiane	0,00	0,95	0,00	0,00	**0,4745**
	Min	0,00	0,00	0,00	0,00	
	Max	29,00	5,88	26,70	0,00	
Aspergillus versicolor	Médiane	39,30	15,15	6,67	7,78	**0,6486**
	Min	0,00	0,00	0,00	7,78	
	Max	344000,00	1230,00	18,30	7,78	
Penicillium brevicompactum	Médiane	3,33	2,76	7,78	46,10	**0,6927**
	Min	0,00	0,00	0,00	46,10	
	Max	669,00	208,00	22,20	46,10	
Penicillium chrysogenum	Médiane	15,85	7,03	1,11	55,60	**0,3674**
	Min	0,00	0,00	0,00	55,60	
	Max	5190,00	109,00	11,70	55,60	
Penicillium crustosum	Médiane	3,86	2,05	2,22	0,00	**0,6986**
	Min	0,00	0,00	0,00	0,00	
	Max	741,00	719,00	11,70	0,00	

Aucune relation n'a été mise en évidence entre les espèces fongiques les plus récurrentes et l'utilisation d'un absorbeur ou d'un déshumidificateur dans l'habitation.

IV.3.2.2) Allergie et consultation médicale

Une recherche de variables explicatives a été réalisée pour l'apparition d'une allergie, les antécédents d'allergie et la consultation d'un médecin suite aux problèmes de santé ressentis dans l'habitat.

Les variables explicatives sélectionnées pour cette analyse sont :

- Des variables quantitatives : la concentration fongique totale dans l'air (CFU totales), la concentration d'*Aspergillus versicolor*, *Aspergillus fumigatus*, *Penicillium brevicompactum*, *Penicillium chrysogenum*, *Penicillium crustosum*, la concentration de particules totales (0,3 à 20 µm, la concentration de particules de 2 à 15 µm, les concentrations en endotoxines et en (1-3)-β-D-glucanes, la température et l'humidité relative relevées dans l'habitation, le temps d'ouverture moyen des fenêtres et le temps moyen passé dans l'habitat.

- Des variables qualitatives : la contamination des surfaces par les acariens, l'exposition au tabagisme actif ou passif, l'étendue de la surface contaminée par les moisissures, la présence d'une odeur de moisi ou de traces d'humidité, la présence de plantes ou d'animaux dans l'habitat, le type de ventilation, de chauffage et d'énergie pour la cuisine utilisé dans l'habitation, l'utilisation d'un sèche-linge, le type de vitrage de l'habitat, l'utilisation d'un absorbeur ou d'une déshumidificateur dans l'habitat et le type d'humidificateur ou de déshumidificateur employé.

Les résultats de cette analyse sont donnés dans les **Tableaux 37 à 39**.

Tableau 37 : Recherche de variables explicatives de l'allergie chez les résidents. Les tests utilisés sont des tests de Wilcoxon pour les variables quantitatives et des tests de Fisher ou du Khi2 (marqué par un astérisque) pour les variables qualitatives.

Allergie	**Variables explicatives**					**p-value**
CFU totales (CFU/m³ d'air)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	313,00	53265,60	22,70	361000,00	
Absence	33	322,00	791,54	22,70	2810,00	**0,6390**
Présence	16	325,00	91099,87	66,70	361000,00	
***Aspergillus versicolor* (CFU/m³ d'air)**						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	17,90	50862,30	0,00	344000,00	
Absence	33	14,00	233,83	0,00	1230,00	**0,4448**
Présence	16	17,90	86969,02	0,00	344000,00	
***Aspergillus fumigatus* (CFU/m³ d'air)**						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	0,00	5,66	0,00	29,00	
Absence	33	0,00	5,13	0,00	29,00	**0,5179**
Présence	16	0,00	6,69	0,00	26,70	
***Penicillium brevicompactum* (CFU/m³ d'air)**						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	3,33	108,36	0,00	669,00	
Absence	33	2,96	128,17	0,00	669,00	**0,9477**
Présence	16	0,00	6,69	0,00	26,70	
***Penicillium chrysogenum* (CFU/m³ d'air)**						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	12,00	825,60	0,00	5190,00	
Absence	33	16,10	215,91	0,00	1000,00	**0,5255**
Présence	16	6,58	1377,26	0,00	5190,00	
***Penicillium crustosum* (CFU/m³ d'air)**						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	2,85	146,66	0,00	741,00	
Absence	33	2,42	124,55	0,00	719,00	**0,2413**
Présence	16	4,62	34,91	0,00	129,00	
Particules totales (par m³ d'air)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	35680000,00	306900000,00	7800874,00	2007000000,00	
Absence	33	32700000,00	365247672,12	7801157,52	2006813492,60	**0,4817**
Présence	16	39950000,00	79742514,06	8870000,00	332237664,69	

Particules de 2 à 15 µm de diamètre (par m^3 d'air)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	371621,00	716121,00	158983,00	4194709,00	
Absence	33	323094,46	303064,69	158983,43	1632460,00	**0,1471**
Présence	16	491374,27	1106600,92	169320,79	4194709,14	
Concentration d'endotoxines (ng / m^3 d'air)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	5,79	18,35	0,14	91,13	
Absence	33	5,98	14,01	0,17	54,15	**0,2962**
Présence	16	2,45	25,30	0,14	91,13	
Concentration de glucanes (ng / m^3 d'air)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	1,05	2,21	0,16	15,48	
Absence	33	0,95	0,91	0,16	3,72	**0,7981**
Présence	16	1,05	3,65	0,17	15,48	
Température (°C)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	22,25	2,51	12,64	26,10	
Absence	33	22,20	2,20	17,45	25,11	**0,7816**
Présence	16	22,41	3,15	12,64	26,10	
Humidité relative (%)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	60,50	7,55	44,84	74,30	
Absence	33	60,80	7,14	44,84	74,30	**0,5648**
Présence	16	60,45	8,30	46,68	70,89	
Temps d'ouverture des fenêtres (heure / jour)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	1,00	3,96	0,00	18,00	
Absence	33	1,00	4,60	0,00	18,00	**0,1628**
Présence	16	0,75	2,93	0,00	12,00	
Durée d'exposition quotidienne (heure / jour)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	40	14,00	4,35	4,00	24,00	
Absence	29	14,00	4,22	7,00	24,00	**0,3654**
Présence	11	12,00	4,73	4,00	20,00	

Acarex test									
	Effectif total		Faible		Moyen		Nul		
	N	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	42	100,00	3	100,00	4	100,00	
NON	33	67,35	31	73,81			2	50,00	**0,0256**
OUI	16	32,65	11	26,19	3	100,00	2	50,00	

Tabagisme actif							
	Effectif total		NON		OUI		
	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	34	100,00	15	100,00	
NON	33	67,35	24	70,59	9	60,00	**0,5198**
OUI	16	32,65	10	29,41	6	40,00	

Tabagisme passif							
	Effectif total		NON		OUI		
	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	28	100,00	21	100,00	**0,9299***

NON	33	67,35	19	67,86	14	66,67	
OUI	16	32,65	9	32,14	7	33,33	

Surface contaminée

	Effectif total		Faible		Moyenne		Elevée		
	N	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	11	100,00	8	100,00	30	100,00	
NON	33	67,35	7	63,64	6	75,00	20	66,67	**1,0000**
OUI	16	32,65	4	36,36	2	25,00	10	33,33	

Odeur de moisi

	Effectif total		NON		OUI		
	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	29	100,00	20	100,00	
NON	33	67,35	19	65,52	14	70,00	**0,7422***
OUI	16	32,65	10	34,48	6	30,00	

Présence de plantes

	Effectif total		0		1 à 4		5 et +		
	N	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	17	100,00	20	100,00	12	100,00	
NON	33	67,35	9	52,94	15	75,00	9	75,00	**0,2928***
OUI	16	32,65	8	47,06	5	25,00	3	25,00	

Présence d'animaux

	Effectif total		NON		OUI		
	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	26	100,00	23	100,00	
NON	33	67,35	16	61,54	17	73,91	**0,3566***
OUI	16	32,65	10	38,46	6	26,09	

Type de ventilation

	Effectif total		Ventilation naturelle		VMC débit constant		VMC double flux		VMC non fonctionnelle		
	n	%	N	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	21	100,00	23	100,00	1	100,00	4	100.00	
NON	33	67,35	15	71,43	16	69,57			2	50.00	**0.4421**
OUI	16	32,65	6	28,57	7	30,43	1	100,00	2	50.00	

Type de chauffage

	Effectif total		Centralisé		Individuel		
	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	100,00	13	100,00	36	100,00	100,00	
NON	67,35	12	92,31	21	58,33	67,35	**0,0374**
OUI	32,65	1	7,69	15	41,67	32,65	

Présence et usage d'un sèche-linge

	Effectif total		NON		OUI		
	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	28	100,00	21	100,00	**0,4817***
NON	33	67,35	20	71,43	13	61,90	

OUI	16	32,65	8	28,57	8	38,10					

Utilisation d'un déshumidificateur ou d'un absorbeur

	Effectif total		Aucun		Absorbeur		Déshumidificateur électrique		Déshumidificateur industriel		
	n	%	N	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	31	100,00	14	100,00	3	100,00	1	100.00	
NON	33	67,35	21	67,74	10	71,43	1	33,33	1	100.00	**0.6514**
OUI	16	32,65	10	32,26	4	28,57	2	66,67			

Utilisation d'un déshumidificateur ou d'un absorbeur

	Effectif total		NON		OUI		
	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	31	100,00	18	100,00	
NON	33	67,35	21	67,74	12	66,67	**0,9383***
OUI	16	32,65	10	32,26	6	33,33	

Energie utilisée pour la cuisson

	Effectif total		Aucune		Electricité		Gaz de ville		Propane		
	n	%	N	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	1	100,00	20	100,00	24	100,00	4	100.00	
NON	33	67,35	1	100,00	10	50,00	19	79,17	3	75.00	**0.1428**
OUI	16	32,65			10	50,00	5	20,83	1	25.00	

Type de vitrage

	Effectif total		Vitrage simple		Double vitrage		
	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	7	100,00	42	100,00	
NON	33	67,35	4	57,14	29	69,05	**0,6685**
OUI	16	32,65	3	42,86	13	30,95	

Présence de traces d'humidité dans l'habitat

	Effectif total		NON		OUI		
	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	9	100,00	40	100,00	
NON	33	67,35	3	33,33	30	75,00	**0,0432**
OUI	16	32,65	6	66,67	10	25,00	

Résultats en rouge : résultats pour lesquels une différence significative inférieure à 0,05 est observée.

Pour l'allergie, nous observons une relation entre la contamination par les acariens (p=0,0256), le type de chauffage (p=0,0374) et la présence de traces d'humidité (p=0,0432).

Tableau 38 : Recherche de variables explicatives pour l'allergie préalable à l'emménagement dans l'habitat dégradé par rapport aux données recueillies lors des visites à domicile et l'analyse des bioaérosols. Les tests utilisés sont des tests de Wilcoxon pour les variables quantitatives et des tests de Fisher ou du Khi2 (marqué par un astérisque) pour les variables qualitatives.

Allergie préalable	**Variables explicatives**					**p-value**
CFU totales (CFU/m³ d'air)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	313,00	53265,60	22,70	361000,00	
Absence	36	336,00	61410,87	22,70	361000,00	**0,4827**
Présence	13	185,00	3939,29	66,70	14400,00	
***Aspergillus versicolor* (CFU/m³ d'air)**						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	17,90	50862,30	0,00	344000,00	
Absence	36	21,75	58648,92	0,00	344000,00	**0,8103**
Présence	13	12,80	3479,22	0,00	12600,00	
***Aspergillus fumigatus* (CFU/m³ d'air)**						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	0,00	5,66	0,00	29,00	
Absence	36	0,00	4,93	0,00	29,00	**0,6471**
Présence	13	0,00	7,39	0,00	26,70	
***Penicillium brevicompactum* (CFU/m³ d'air)**						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	3,33	108,36	0,00	669,00	
Absence	36	2,80	123,20	0,00	669,00	**0,5932**
Présence	13	4,67	38,03	0,00	129,00	
***Penicillium chrysogenum* (CFU/m³ d'air)**						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	12,00	825,60	0,00	5190,00	
Absence	36	26,05	934,76	0,00	5190,00	**0,0431**
Présence	13	3,78	306,41	0,00	1110,00	
***Penicillium crustosum* (CFU/m³ d'air)**						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	2,85	146,66	0,00	741,00	
Absence	36	3,21	168,54	0,00	741,00	**0,9816**
Présence	13	3,07	20,35	0,00	74,10	
Particules totales (par m³ d'air)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	35680000,00	306900000,00	7800874,00	2007000000,00	
Absence	36	37229676,61	350061040,50	7801157,52	2006813492,60	**0,2129**
Présence	13	30173642,68	89015897,68	8870000,00	332237664,69	
Particules de 2 à 15 µm de diamètre (par m³ d'air)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	371621,00	716121,00	158983,00	4194709,00	
Absence	36	342906,02	732372,91	158983,43	4194709,14	**0,9458**
Présence	13	405156,49	670892,49	169320,79	2673703,11	
Concentration d'endotoxines (ng / m³ d'air)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	5,79	18,35	0,14	91,13	
Absence	36	5,79	14,92	0,17	54,15	**0,4549**
Présence	13	2,74	26,03	0,14	91,13	
Concentration de glucanes (ng / m³ d'air)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	1,05	2,21	0,16	15,48	

Absence	36	1,07	0,88	0,16	3,72	**0,5113**
Présence	13	1,00	4,07	0,17	15,48	

Température (°C)

	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	22,25	2,51	12,64	26,10	
Absence	36	22,50	2,22	17,45	25,50	**0,4826**
Présence	13	21,90	3,23	12,64	26,10	

Humidité relative (%)

	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	60,50	7,55	44,84	74,30	
Absence	36	61,19	7,18	44,84	74,30	**0,1321**
Présence	13	54,90	7,98	46,68	70,89	

Temps d'ouverture des fenêtres (heure / jour)

	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	1,00	3,96	0,00	18,00	
Absence	36	1,00	4,44	0,00	18,00	**0,2110**
Présence	13	0,50	3,24	0,00	12,00	

Durée d'exposition quotidienne (heure / jour)

	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	40	14,00	4,35	4,00	24,00	
Absence	30	14,00	4,65	4,00	24,00	**0,7517**
Présence	10	13,00	3,56	12,00	20,00	

Acarex test

	Effectif total		Faible		Moyen		Nul		
	N	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	42	100,00	3	100,00	4	100,00	
NON	36	73,47	33	78,57	1	33,33	2	50,00	**0,0976**
OUI	13	26,53	9	21,43	2	66,67	2	50,00	

Tabagisme actif

	Effectif total		NON		OUI		
	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	34	100,00	15	100,00	
NON	36	73,47	27	79,41	9	60,00	**0,1781**
OUI	13	26,53	7	20,59	6	40,00	

Tabagisme passif

	Effectif total		NON		OUI		
	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	28	100,00	21	100,00	
NON	36	73,47	22	78,57	14	66,67	**0,6583**
OUI	13	26,53	6	21,43	7	33,33	

Surface contaminée

	Effectif total		Faible		Moyenne		Elevée		
	N	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	8	100,00	30	100,00	11	100,00	
NON	36	73,47	6	75,00	21	70,00	9	81,82	**0,8970**
OUI	13	26,53	2	25,00	9	30,00	2	18,18	

Odeur de moisi

	Effectif total		NON		OUI		
	N	%	N	%	N	%	

TOTAL	49	100,00	29	100,00	20	100,00	
NON	36	73,47	20	68,97	16	80,00	**0,3899***
OUI	13	26,53	9	31,03	4	20,00	

Présence de plantes

	Effectif total		0		1 à 4		5 et +		
	N	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	17	100,00	20	100,00	12	100,00	
NON	36	73,47	12	70,59	15	75,00	9	75,00	**1,0000**
OUI	13	26,53	5	29,41	5	25,00	3	25,00	

Présence d'animaux

	Effectif total		NON		OUI		
	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	26	100,00	23	100,00	
NON	36	73,47	19	73,08	17	73,91	**0,9473***
OUI	13	26,53	7	26,92	6	26,09	

Type de ventilation

	Effectif total		Ventilation naturelle		VMC débit constant		VMC double flux		VMC non fonctionnelle		
	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	21	100,00	23	100,00	1	100,00	4	100.00	
NON	36	73,47	17	80,95	17	73,91			2	50.00	**0,1861**
OUI	13	26,53	4	19,05	6	26,09	1	100,00	2	50.00	

Type de chauffage

	Effectif total		Centralisé		Individuel		
	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	13	100,00	36	100,00	
NON	36	73,47	12	92,31	24	66,67	**0,1401**
OUI	13	26,53	1	7,69	12	33,33	

Présence et usage d'un sèche-linge

	Effectif total		NON		OUI		
	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	28	100,00	21	100,00	
NON	36	73,47	22	78,57	14	66,67	**0,3503***
OUI	13	26,53	6	21,43	7	33,33	

Utilisation d'un déshumidificateur ou d'un absorbeur

	Effectif total		Aucun		Absorbeur		Déshumidificateur électrique		Déshumidificateur industriel		
	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	31	100,00	14	100,00	3	100,00	1	100.00	
NON	36	73,47	23	74,19	11	78,57	1	33,33	1	100.00	**0.5212**
OUI	13	26,53	8	25,81	3	21,43	2	66,67			

Utilisation d'un déshumidificateur ou d'un absorbeur

	Effectif total		NON		OUI		
	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	31	100,00	18	100,00	**1,0000**

NON	36	73,47	23	74,19	13	72,22					
OUI	13	26,53	8	25,81	5	27,78					
Energie utilisée pour la cuisson											
	Effectif total		Aucune		Electricité		Gaz de ville		Propane		
	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	1	100,00	20	100,00	24	100,00	4	100.00	
NON	36	73,47	1	100,00	13	65,00	19	79,17	3	75.00	**0.7334**
OUI	13	26,53			7	35,00	5	20,83	1	25.00	
Type de vitrage											
	Effectif total		Vitrage simple		Double vitrage						
	N	%	N	%	N	%					
TOTAL	49	100,00	7	100,00	42	100,00					
NON	36	73,47	5	71,43	31	73,81					**1,0000**
OUI	13	26,53	2	28,57	11	26,19					
Présence de traces d'humidité dans l'habitat											
	Effectif total		NON		OUI						
	N	%	N	%	N	%					
TOTAL	49	100,00	9	100,00	40	100,00					
NON	36	73,47	5	55,56	31	77,50					**0,2204**
OUI	13	26,53	4	44,44	9	22,50					

Résultats en rouge : résultats pour lesquels une différence significative inférieure à 0,05 est observée.

Pour les antécédents d'allergie (allergie préalable à l'emménagement dans l'habitat dégradé), une relation avec la concentration de *Penicillium chrysogenum* (p=0,0431) a été identifiée.

Tableau 39 : Recherche de variables explicatives pour la consultation médicale en raison des problèmes liés à l'habitat dégradé chez les résidents par rapport aux données recueillies lors des visites à domicile et l'analyse des bioaérosols. Les tests utilisés sont des tests de Wilcoxon pour les variables quantitatives et des tests de Fisher ou du Khi2 (marqué par un astérique) pour les variables qualitatives.

Consultation médicale	**Variables explicatives**								**p-value**
CFU totales (CFU/m³ d'air)									
Acarex test									
	Effectif total		Faible		Moyen		Nul		
	N	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	42	100,00	3	100,00	4	100,00	
NON	25	51,02	22	52,38			3	75,00	**0,1930**
OUI	24	48,98	20	47,62	3	100,00	1	25,00	
Tabagisme actif									
	Effectif total		NON		OUI				

	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	34	100,00	15	100,00	
NON	25	51,02	19	55,88	6	40,00	**0,3054***
OUI	24	48,98	15	44,12	9	60,00	

Tabagisme passif

	Effectif total		NON		OUI		
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	28	100,00	21	100,00	
NON	25	51,02	15	53,57	10	47,62	**0,6800***
OUI	24	48,98	13	46,43	11	52,38	

Surface contaminée

	Effectif total		Faible		Moyenne		Elevée		
	N	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	8	100,00	30	100,00	11	100,00	
NON	25	51,02	6	75,00	16	53,33	3	27,27	**0,1161**
OUI	24	48,98	2	25,00	14	46,67	8	72,73	

Odeur de moisi

	Effectif total		NON		OUI		
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	29	100,00	20	100,00	
NON	25	51,02	17	58,62	8	40,00	**0,2000***
OUI	24	48,98	12	41,38	12	60,00	

Présence de plantes

	Effectif total		0		1 à 4		5 et +		
	N	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	17	100,00	20	100,00	12	100,00	
NON	25	51,02	7	41,18	13	65,00	5	41,67	**0,2667***
OUI	24	48,98	10	58,82	7	35,00	7	58,33	

Présence d'animaux

	Effectif total		NON		OUI		
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	26	100,00	23	100,00	
NON	25	51,02	13	50,00	12	52,17	**0,8792***
OUI	24	48,98	13	50,00	11	47,83	

Type de ventilation

	Effectif total		Ventilation naturelle		VMC débit constant		VMC double flux		VMC non fonctionnelle		
	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	21	100,00	23	100,00	1	100,00	4	100.00	
NON	25	51,02	10	47,62	14	60,87	1	100,00			**0.0935**
OUI	24	48,98	11	52,38	9	39,13			4	100.00	

Type de chauffage

	Effectif total		Centralisé		Individuel		
	n	%	N	%	N	%	

TOTAL	49	100,00	13	100,00	36	100,00	
NON	25	51,02	10	76,92	15	41,67	**0,0293***
OUI	24	48,98	3	23,08	21	58,33	

Présence et usage d'un sèche-linge

	Effectif total		NON		OUI		
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	28	100,00	21	100,00	
NON	25	51,02	16	57,14	9	42,86	**0,3222***
OUI	24	48,98	12	42,86	12	57,14	

Utilisation d'un déshumidificateur ou d'un absorbeur

	Effectif total		Aucun		Absorbeur		Déshumidificateur électrique		Déshumidificateur industriel		
	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	31	100,00	14	100,00	3	100,00	1	100.00	
NON	25	51,02	16	51,61	5	35,71	3	100,00	1	100.00	**0.1335**
OUI	24	48,98	15	48,39	9	64,29					

Utilisation d'un déshumidificateur ou d'un absorbeur

	Effectif total		NON		OUI		
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	31	100,00	18	100,00	
NON	25	51,02	16	51,61	9	50,00	**0,9113***
OUI	24	48,98	15	48,39	9	50,00	

Energie utilisée pour la cuisson

	Effectif total		Aucune		Electricité		Gaz de ville		Propane		
	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	1	100,00	20	100,00	24	100,00	4	100.00	
NON	25	51,02			10	50,00	14	58,33	1	25.00	**0.4510**
OUI	24	48,98	1	100,00	10	50,00	10	41,67	3	75.00	

Type de vitrage

	Effectif total		Vitrage simple		Double vitrage		
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	7	100,00	42	100,00	
NON	25	51,02	3	42,86	22	52,38	**0,7019**
OUI	24	48,98	4	57,14	20	47,62	

Présence de traces d'humidité dans l'habitat

	Effectif total		NON		OUI		
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	9	100,00	40	100,00	
NON	25	51,02	4	44,44	21	52,50	**0,7252**
OUI	24	48,98	5	55,56	19	47,50	

Résultats en rouge : résultats pour lesquels une différence significative inférieure à 0,05 est observée.

Pour la consultation médicale suite aux problèmes de santé développés dans l'habitat dégradé, une relation avec le type de chauffage utilisé dans l'habitation (p=0,0293) a été mise en évidence.

IV.3.2.3) Prescriptions médicales

Dans le cas où le résident a consulté un médecin suite à ses problèmes de santé observés dans l'habitat dégradé, le traitement prescrit a été renseigné et une recherche de variables explicatives a été menée pour chaque type de traitement par rapport aux variables décrites précédemment (**Tableaux 40 à 47**).

Tableau 40 : Recherche de variables explicatives pour la prescription d'antibiotiques suite à la consultation médicale. Les tests utilisés sont des tests de Fisher.

Antibiotiques	Variable Acarex test								p-value
	Effectif total		Faible		Moyen		Nul		
	N	%	N	%	N	%	N	%	
CFU totales (CFU/m³ d'air)									
	N		Médiane		Ecart type		Minimum	Maximum	
TOTAL	49		313,00		53265,60		22,70	361000,00	
Absence	46		298,00		54417,78		22,70	361000,00	**0,1084**
Présence	3		2220,00		7639,21		322,00	14400,00	
***Aspergillus versicolor* (CFU/m³ d'air)**									
	N		Médiane		Ecart type		Minimum	Maximum	
TOTAL	49		17,90		50862,30		0,00	344000,00	
Absence	46		15,75		51959,35		0,00	344000,00	**0,7844**
Présence	3		28,60		7266,37		0,00	12600,00	
***Aspergillus fumigatus* (CFU/m³ d'air)**									
	N		Médiane		Ecart type		Minimum	Maximum	
TOTAL	49		0,00		5,66		0,00	29,00	
Absence	46		0,00		5,77		0,00	29,00	**0,9813**
Présence	3		0,00		2,81		0,00	4,86	
***Penicillium brevicompactum* (CFU/m³ d'air)**									
	N		Médiane		Ecart type		Minimum	Maximum	
TOTAL	49		3,33		108,36		0,00	669,00	
Absence	46		2,98		110,62		0,00	669,00	**0,1400**
Présence	3		48,60		36,04		2,96	74,10	
***Penicillium chrysogenum* (CFU/m³ d'air)**									
	N		Médiane		Ecart type		Minimum	Maximum	
TOTAL	49		12,00		825,60		0,00	5190,00	
Absence	46		11,10		833,06		0,00	5190,00	**0,6585**
Présence	3		29,10		632,63		0,00	1110,00	
***Penicillium crustosum* (CFU/m³ d'air)**									
	N		Médiane		Ecart type		Minimum	Maximum	
TOTAL	49		2,85		146,66		0,00	741,00	
Absence	46		2,85		108,94		0,00	741,00	**0,0936**
Présence	3		74,10		395,13		0,99	719,00	

Particules totales (par m³ d'air)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	35680000,00	306900000,00	7800874,00	2007000000,00	
Absence	46	35679676,61	313146927,33	8870000,00	2006813492,60	**0,3069**
Présence	3	30173642,68	16629521,78	7801157,52	40300000,00	
Particules de 2 à 15 µm de diamètre (par m³ d'air)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	371621,00	716121,00	158983,00	4194709,00	
Absence	46	342906,02	729735,83	158983,43	4194709,14	**0,4914**
Présence	3	493547,49	322973,47	235600,00	877441,08	
Concentration d'endotoxines (ng / m³ d'air)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	5,79	18,35	0,14	91,13	
Absence	46	5,57	18,40	0,15	91,13	**0,9501**
Présence	3	6,63	19,20	0,14	36,17	
Concentration de glucanes (ng / m³ d'air)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	1,05	2,21	0,16	15,48	
Absence	46	0,98	2,26	0,16	15,48	**0,0352**
Présence	3	2,31	0,32	1,93	2,58	
Température (°C)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	22,25	2,51	12,64	26,10	
Absence	46	22,15	2,48	12,64	25,50	**0,0285**
Présence	3	24,25	1,08	24,20	26,10	
Humidité relative (%)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	60,50	7,55	44,84	74,30	
Absence	46	60,50	7,32	44,84	74,30	**0,4042**
Présence	3	69,70	10,87	51,50	70,90	
Temps d'ouverture des fenêtres (heure / jour)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	1,00	3,96	0,00	18,00	
Absence	46	1,00	4,02	0,00	18,00	**0,9320**
Présence	3	1,00	6,58	0,25	12,00	
Durée d'exposition quotidienne (heure / jour)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	40	14,00	4,35	4,00	24,00	
Absence	38	14,00	4,28	4,00	24,00	**0,0477**
Présence	2	20,50	0,71	20,00	21,00	

TOTAL	49	100,00	42	100,00	3	100,00	4	100,00	
NON	46	93,88	40	95,24	2	66,67	4	100,00	**0,1900**
OUI	3	6,12	2	4,76	1	33,33			

Tabagisme actif							
	Effectif total		NON		OUI		
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	34	100,00	15	100,00	
NON	46	93,88	31	91,18	15	100,00	**0,5433**
OUI	3	6,12	3	8,82			

Tabagisme passif			
	Effectif total	NON	OUI

	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	28	100,00	21	100,00	
NON	46	93,88	26	92,86	20	95,24	**1,0000**
OUI	3	6,12	2	7,14	1	4,76	

Surface contaminée

	Effectif total		Faible		Moyenne		Elevée		
	n	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	8	100,00	30	100,00	11	100,00	
NON	46	93,88	7	87,50	30	100,00	9	81,82	**0,0526**
OUI	3	6,12	1	12,50			2	18,18	

Odeur de moisi

	Effectif total		NON		OUI		
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	29	100,00	20	100,00	
NON	46	93,88	27	93,10	19	95,00	**1,0000**
OUI	3	6,12	2	6,90	1	5,00	

Présence de plantes

	Effectif total		0		1 à 4		5 et +		
	n	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	17	100,00	20	100,00	12	100,00	
NON	46	93,88	16	94,12	19	95,00	11	91,67	**1,0000**
OUI	3	6,12	1	5,88	1	5,00	1	8,33	

Présence d'animaux

	Effectif total		NON		OUI		
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	26	100,00	23	100,00	
NON	46	93,88	24	92,31	22	95,65	**1,0000**
OUI	3	6,12	2	7,69	1	4,35	

Type de ventilation

	Effectif total		Ventilation naturelle		VMC débit constant		VMC double flux		VMC non fonctionnelle		
	n	%	N	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	21	100,00	23	100,00	1	100,00	4	100.00	
NON	46	93,88	18	85,71	23	100,00	1	100,00	4	100.00	**0,2485**
OUI	3	6,12	3	14,29							

Type de chauffage

	Effectif total		Centralisé		Individuel		
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	13	100,00	36	100,00	
NON	46	93,88	13	100,00	33	91,67	**0,5555**
OUI	3	6,12			3	8,33	

Présence et usage d'un sèche-linge

	Effectif total		NON		OUI		

	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	28	100,00	21	100,00	
NON	46	93,88	26	92,86	20	95,24	**1,0000**
OUI	3	6,12	2	7,14	1	4,76	

Utilisation d'un déshumidificateur ou d'un absorbeur

	Effectif total		Aucun		Absorbeur		Déshumidificateur électrique		Déshumidificateur industriel		
	n	%	N	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	31	100,00	14	100,00	3	100,00	1	100.00	
NON	46	93,88	30	96,77	12	85,71	3	100,00	1	100.00	**0.4027**
OUI	3	6,12	1	3,23	2	14,29					

Utilisation d'un déshumidificateur ou d'un absorbeur

	Effectif total		NON		OUI		
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	31	100,00	18	100,00	
NON	46	93,88	30	96,77	16	88,89	**0,5457**
OUI	3	6,12	1	3,23	2	11,11	

Energie utilisée pour la cuisson

	Effectif total		Aucune		Electricité		Gaz de ville		Propane		
	n	%	N	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	1	100,00	20	100,00	24	100,00	4	100.00	
NON	46	93,88	1	100,00	19	95,00	23	95,83	3	75.00	**0.3430**
OUI	3	6,12			1	5,00	1	4,17	1	25.00	

Type de vitrage

	Effectif total		Vitrage simple		Double vitrage		
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	7	100,00	42	100,00	
NON	46	93,88	7	100,00	39	92,86	**1,0000**
OUI	3	6,12			3	7,14	

Présence de traces d'humidité dans l'habitat

	Effectif total		NON		OUI		
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	9	100,00	40	100,00	
NON	46	93,88	9	100,00	37	92,50	**1,0000**
OUI	3	6,12			3	7,50	

Une relation entre la prescription d'antibiotiques et la concentration en glucanes dans l'air (p=0,0352) ainsi que la température (p=0,0285) et le temps passé dans l'habitation (p=0,0477) a été mise en évidence.

Tableau 41 : Recherche de variables explicatives pour la prescription d'antihistaminiques suite à la consultation médicale. Les tests utilisés sont des tests de Fisher.

Anti-histaminiques	Variable					p-value
CFU totales (CFU/m³ d'air)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	313,00	53265,60	22,70	361000,00	
Absence	46	298,00	54401,19	22,70	361000,00	**0,2514**
Présence	3	490,00	1079,36	358,00	2290,00	
***Aspergillus versicolor* (CFU/m³ d'air)**						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	17,90	50862,30	0,00	344000,00	
Absence	46	13,40	51944,19	0,00	344000,00	**0,2302**
Présence	3	122,00	266,28	17,50	522,00	
***Aspergillus fumigatus* (CFU/m³ d'air)**						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	0,00	5,66	0,00	29,00	
Absence	46	0,00	5,78	0,00	29,00	**0,6905**
Présence	3	0,00	0,68	0,00	1,17	
***Penicillium brevicompactum* (CFU/m³ d'air)**						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	3,33	108,36	0,00	669,00	
Absence	46	2,80	109,99	0,00	669,00	**0,2754**
Présence	3	7,00	65,96	4,56	120,00	
***Penicillium chrysogenum* (CFU/m³ d'air)**						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	12,00	825,60	0,00	5190,00	
Absence	46	11,10	835,51	0,00	5190,00	**0,5416**
Présence	3	35,40	567,41	0,00	1000,00	
***Penicillium crustosum* (CFU/m³ d'air)**						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	2,85	146,66	0,00	741,00	
Absence	46	2,85	149,72	0,00	741,00	**0,8652**
Présence	3	5,83	4,89	0,00	9,72	
Particules totales (par m³ d'air)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	35680000,00	306900000,00	7800874,00	2007000000,00	
Absence	46	35679676,61	313241421,16	7801157,52	2006813492,60	**0,4281**
Présence	3	21148529,25	31988559,16	10100000,00	70197621,25	
Particules de 2 à 15 µm de diamètre (par m³ d'air)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	371621,00	716121,00	158983,00	4194709,00	
Absence	46	371620,85	701290,46	158983,43	4194709,14	**0,6766**
Présence	3	206351,70	985052,56	202700,00	1910684,00	
Concentration d'endotoxines (ng / m³ d'air)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	5,79	18,35	0,14	91,13	
Absence	46	5,36	18,10	0,14	91,13	**0,2186**
Présence	3	13,19	22,18	5,53	47,20	
Concentration de glucanes (ng / m³ d'air)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	1,05	2,21	0,16	15,48	
Absence	46	0,98	2,27	0,16	15,48	**0,5734**
Présence	3	1,26	0,19	1,09	1,47	

Température (°C)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	22,25	2,51	12,64	26,10	
Absence	46	22,25	2,16	17,45	26,10	**0,7703**
Présence	3	22,90	6,23	12,64	23,90	

Humidité relative (%)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	60,50	7,55	44,84	74,30	
Absence	46	60,35	7,52	44,84	74,30	**0, 2034**
Présence	3	65,70	5,15	60,60	70,89	

Temps d'ouverture des fenêtres (heure / jour)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	1,00	3,96	0,00	18,00	
Absence	46	1,00	4,26	0,00	18,00	**0,9830**
Présence	3	1,00	0,76	0,50	2,00	

Durée d'exposition quotidienne (heure / jour)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	40	14,00	4,35	4,00	24,00	
Absence	37	14,00	3,78	7,00	21,00	**0,4989**
Présence	3	20,00	10,58	4,00	24,00	

Acarex test									
	Effectif total		Faible		Moyen		Nul		
	n	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	42	100,00	3	100,00	4	100,00	
NON	46	93,88	40	95,24	2	66,67	4	100,00	**0,1900**
OUI	3	6,12	2	4,76	1	33,33			

Tabagisme actif							
	Effectif total		NON		OUI		
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	34	100,00	15	100,00	
NON	46	93,88	33	97,06	13	86,67	**0,2185**
OUI	3	6,12	1	2,94	2	13,33	

Tabagisme passif							
	Effectif total		NON		OUI		
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	28	100,00	21	100,00	
NON	46	93,88	27	96,43	19	90,48	**0,5691**
OUI	3	6,12	1	3,57	2	9,52	

Surface contaminée									
	Effectif total		Faible		Moyenne		Elevée		
	n	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	8	100,00	30	100,00	11	100,00	
NON	46	93,88	8	100,00	28	93,33	10	90,91	**1,0000**
OUI	3	6,12			2	6,67	1	9,09	

Odeur de moisi						
	Effectif total		NON		OUI	
	n	%	N	%	N	%

TOTAL	49	100,00	29	100,00	20	100,00	
NON	46	93,88	27	93,10	19	95,00	**1,0000**
OUI	3	6,12	2	6,90	1	5,00	

Présence de plantes

	Effectif total		0		1 à 4		5 et +		
	n	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	17	100,00	20	100,00	12	100,00	
NON	46	93,88	15	88,24	20	100,00	11	91,67	**0,3318**
OUI	3	6,12	2	11,76			1	8,33	

Présence d'animaux

	Effectif total		NON		OUI		
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	26	100,00	23	100,00	
NON	46	93,88	25	96,15	21	91,30	**0,5943**
OUI	3	6,12	1	3,85	2	8,70	

Type de ventilation

	Effectif total		Ventilation naturelle		VMC débit constant		VMC double flux		VMC non fonctionnelle		
	n	%	N	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	21	100,00	23	100,00	1	100,00	4	100.00	
NON	46	93,88	20	95,24	22	95,65	1	100,00	3	75.00	**0.4495**
OUI	3	6,12	1	4,76	1	4,35			1	25.00	

Type de chauffage

	Effectif total		Centralisé		Individuel		
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	13	100,00	36	100,00	
NON	46	93,88	13	100,00	33	91,67	**0,5555**
OUI	3	6,12			3	8,33	

Présence et usage d'un sèche-linge

	Effectif total		NON		OUI		
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	28	100,00	21	100,00	
NON	46	93,88	28	100,00	18	85,71	**0,0722**
OUI	3	6,12			3	14,29	

Utilisation d'un déshumidificateur ou d'un absorbeur

	Effectif total		Aucun		Absorbeur		Déshumidificateur électrique		Déshumidificateur industriel		
	n	%	N	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	14	100,00	31	100,00	3	100,00	1	100.00	
NON	46	93,88	13	92,86	29	93,55	3	100,00	1	100.00	**1.0000**
OUI	3	6,12	1	7,14	2	6,45					

Utilisation d'un déshumidificateur ou d'un absorbeur

	Effectif total		NON		OUI		

	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	31	100,00	18	100,00	
NON	46	93,88	29	93,55	17	94,44	**1,0000**
OUI	3	6,12	2	6,45	1	5,56	

Energie utilisée pour la cuisson

	Effectif total		Aucune		Electricité		Gaz de ville		Propane		
	n	%	N	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	1	100,00	20	100,00	24	100,00	4	100.00	
NON	46	93,88	1	100,00	18	90,00	23	95,83	4	100.00	**0.7004**
OUI	3	6,12			2	10,00	1	4,17			

Type de vitrage

	Effectif total		Vitrage simple		Double vitrage		
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	7	100,00	42	100,00	
NON	46	93,88	5	71,43	41	97,62	**0,0498**
OUI	3	6,12	2	28,57	1	2,38	

Présence de traces d'humidité dans l'habitat

	Effectif total		NON		OUI		
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	9	100,00	40	100,00	
NON	46	93,88	8	88,89	38	95,00	**0,4637**
OUI	3	6,12	1	11,11	2	5,00	

Résultats en rouge : résultats pour lesquels une différence significative inférieure à 0,05 est observée.

Une relation a été trouvée entre le type de vitrage utilisé dans l'habitation et la prescription d'antihistaminiques suite à la consultation médicale (p=0,0498).

Tableau 42 : Recherche de variables explicatives pour la prescription d'antiinflammatoires non stéroïdiens (AINS) suite à la consultation médicale. Les tests utilisés sont des tests de Fisher.

AINS	**Variable**					**p-value**
CFU totales (CFU/m³ d'air)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	313,00	53265,60	22,70	361000,00	
Absence	48	326,00	53263,55	22,70	361000,00	**0,9155**
Présence	1	292,00	-	292,00	292,00	
***Aspergillus versicolor* (CFU/m³ d'air)**						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	17,90	50862,30	0,00	344000,00	
Absence	48	17,90	50862,32	0,00	344000,00	**0,6427**
Présence	1	6,67	-	6,67	6,67	
***Aspergillus fumigatus* (CFU/m³ d'air)**						

	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	0,00	5,66	0,00	29,00	
Absence	48	0,00	4,37	0,00	29,00	**0,0739**
Présence	1	26,70	-	26,70	26,70	
***Penicillium brevicompactum* (CFU/m³ d'air)**						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	3,33	108,36	0,00	669,00	
Absence	48	3,15	108,47	0,00	669,00	**0,2929**
Présence	1	22,20	-	22,20	22,20	
***Penicillium chrysogenum* (CFU/m³ d'air)**						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	12,00	825,60	0,00	5190,00	
Absence	48	12,00	825,61	0,00	5190,00	**0,5440**
Présence	1	1,11	-	1,11	1,11	
***Penicillium crustosum* (CFU/m³ d'air)**						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	2,85	146,66	0,00	741,00	
Absence	48	3,43	146,64	0,00	741,00	**0,8572**
Présence	1	2,22	-	2,22	2,22	
Particules totales (par m³ d'air)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	35680000,00	306900000,00	7800874,00	2007000000,00	
Absence	48	33429676,61	307193916,29	7801157,52	2006813492,60	**0,5478**
Présence	1	61936798,56	-	61936798,56	61936798,56	
Particules de 2 à 15 µm de diamètre (par m³ d'air)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	371621,00	716121,00	158983,00	4194709,00	
Absence	48	342906,02	716766,00	158983,43	4194709,14	**0,9155**
Présence	1	405156,49	-	405156,49	405156,49	
Concentration d'endotoxines (ng / m³ d'air)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	5,79	18,35	0,14	91,13	
Absence	48	5,79	18,35	0,14	91,13	**0,1284**
Présence	1	0,17	-	0,17	0,17	
Concentration de glucanes (ng / m³ d'air)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	1,05	2,21	0,16	15,48	
Absence	48	1,05	2,22	0,16	15,48	**0,9718**
Présence	1	1,00	-	1,00	1,00	
Température (°C)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	22,25	2,51	12,64	26,10	
Absence	48	22,30	2,54	12,64	26,10	**0,6457**
Présence	1	21,20	-	21,20	21,20	
Humidité relative (%)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	60,50	7,55	44,84	74,30	
Absence	48	60,50	7,48	44,84	74,30	**0, 0847**
Présence	1	67,90	-	67,90	67,90	
Temps d'ouverture des fenêtres (heure / jour)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	1,00	3,96	0,00	18,00	
Absence	48	1,00	4,18	0,00	18,00	**0, 1694**
Présence	1	0,25	-	0,25	0,25	
Durée d'exposition quotidienne (heure / jour)						

	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	40	14,00	4,35	4,00	24,00	
Absence	40	14,00	4,36	4,00	24,00	-
Présence	0	-	-	-	-	

Acarex test

	Effectif total		Faible		Moyen		Nul		
	n	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	42	100,00	3	100,00	4	100,00	
NON	48	97,96	41	97,62	3	100,00	4	100,00	**1,0000**
OUI	1	2,04	1	2,38					

Tabagisme actif

	Effectif total		NON		OUI		
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	34	100,00	15	100,00	
NON	48	97,96	34	100,00	14	93,33	**0,3061**
OUI	1	2,04			1	6,67	

Tabagisme passif

	Effectif total		NON		OUI		
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	100,00	28	100,00	21	100,00	100,00	
NON	97,96	28	100,00	20	95,24	97,96	**0,4286**
OUI	2,04			1	4,76	2,04	

Surface contaminée

	Effectif total		Faible		Moyenne		Elevée		
	n	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	8	100,00	30	100,00	11	100,00	
NON	48	97,96	8	100,00	29	96,67	11	100,00	**1,0000**
OUI	1	2,04			1	3,33			

Odeur de moisi

	Effectif total		NON		OUI		
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	29	100,00	20	100,00	
NON	48	97,96	28	96,55	20	100,00	**1,0000**
OUI	1	2,04	1	3,45			

Présence de plantes

	Effectif total		0		1 à 4		5 et +		
	n	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	17	100,00	20	100,00	12	100,00	
NON	48	97,96	16	94,12	20	100,00	12	100,00	**0,5918**
OUI	1	2,04	1	5,88					

Présence d'animaux

	Effectif total		NON		OUI		
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	26	100,00	23	100,00	**0,4694**

NON	48	97,96	26	100,00	22	95,65					
OUI	1	2,04			1	4,35					

Type de ventilation

	Effectif total		Ventilation naturelle		VMC débit constant		VMC double flux		VMC non fonctionnelle		
	n	%	N	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	21	100,00	23	100,00	1	100,00	4	100.00	
NON	48	97,96	20	95,24	23	100,00	1	100,00	4	100.00	**0.5306**
OUI	1	2,04	1	4,76							

Type de chauffage

	Effectif total		Centralisé		Individuel		
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	13	100,00	36	100,00	
NON	48	97,96	13	100,00	35	97,22	**1,0000**
OUI	1	2,04			1	2,78	

Présence et usage d'un sèche-linge

	Effectif total		NON		OUI		
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	28	100,00	21	100,00	
NON	48	97,96	27	96,43	21	100,00	**1,0000**
OUI	1	2,04	1	3,57			

Utilisation d'un déshumidificateur ou d'un absorbeur

	Effectif total		Aucun		Absorbeur		Déshumidificateur électrique		Déshumidificateur industriel		
	n	%	N	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	31	100,00	14	100,00	3	100,00	1	100.00	
NON	48	97,96	31	100,00	14	100,00	2	66,67	1	100.00	**0.0816**
OUI	1	2,04					1	33,33			

Utilisation d'un déshumidificateur ou d'un absorbeur

	Effectif total		NON		OUI		
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	31	100,00	18	100,00	
NON	48	97,96	31	100,00	17	94,44	**0,3673**
OUI	1	2,04			1	5,56	

Energie utilisée pour la cuisson

	Effectif total		Aucune		Electricité		Gaz de ville		Propane		
	n	%	N	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	1	100,00	20	100,00	24	100,00	4	100.00	
NON	48	97,96	1	100,00	19	95,00	24	100,00	4	100.00	**0.5102**
OUI	1	2,04			1	5,00					

Type de vitrage

	Effectif total		Vitrage simple		Double vitrage	
	n	%	N	%	N	%

TOTAL	49	100,00	7	100,00	42	100,00	
NON	48	97,96	7	100,00	41	97,62	**1,0000**
OUI	1	2,04			1	2,38	
Présence de traces d'humidité dans l'habitat							
	Effectif total		NON		OUI		
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	9	100,00	40	100,00	
NON	48	97,96	9	100,00	39	97,50	**1,0000**
OUI	1	2,04			1	2,50	

Résultats en rouge : résultats pour lesquels une différence significative inférieure à 0,05 est observée.

Aucune relation n'a été trouvée entre l'habitat (caractéristiques et contamination aérienne), et la prescription d'AINS suite à la consultation médicale.

Tableau 43 : Recherche de variables explicatives pour la prescription d'une assistance respiratoire suite à la consultation médicale. Les tests utilisés sont des tests de Fisher.

Assistance respiratoire	**Variable**					**p-value**
CFU totales (CFU/m³ d'air)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	313,00	53265,60	22,70	361000,00	
Absence	48	313,00	53264,67	22,70	361000,00	**0,4578**
Présence	1	578,00	-	578,00	578,00	
***Aspergillus versicolor* (CFU/m³ d'air)**						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	17,90	50862,30	0,00	344000,00	
Absence	48	15,75	50863,11	0,00	344000,00	**0,2686**
Présence	1	212,00	-	212,00	212,00	
***Aspergillus fumigatus* (CFU/m³ d'air)**						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	0,00	5,66	0,00	29,00	
Absence	48	0,00	5,67	0,00	29,00	**0,3208**
Présence	1	2,11	-	2,11	2,11	
***Penicillium brevicompactum* (CFU/m³ d'air)**						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	3,33	108,36	0,00	669,00	
Absence	48	3,33	108,36	0,00	669,00	**0,2766**
Présence	1	0,00	-	0,00	0,00	
***Penicillium chrysogenum* (CFU/m³ d'air)**						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	12,00	825,60	0,00	5190,00	
Absence	48	11,10	825,86	0,00	5190,00	**0,3353**
Présence	1	45,40	-	45,40	45,40	
***Penicillium crustosum* (CFU/m³ d'air)**						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	2,85	146,66	0,00	741,00	
Absence	48	2,85	146,66	0,00	741,00	**0,6399**

Présence	1	5,28	-	5,28	5,28	
Particules totales (par m^3 d'air)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	35680000,00	306900000,00	7800874,00	2007000000,00	
Absence	48	35679676,61	307013881,55	7801157,52	2006813492,60	**0,6458**
Présence	1	25739433,82	-	25739433,82	25739433,82	
Particules de 2 à 15 µm de diamètre (par m^3 d'air)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	371621,00	716121,00	158983,00	4194709,00	
Absence	48	342906,02	717240,11	158983,43	4194709,14	**0,4161**
Présence	1	539746,06	-	539746,06	539746,06	
Concentration d'endotoxines (ng / m^3 d'air)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	5,79	18,35	0,14	91,13	
Absence	48	5,57	17,42	0,14	91,13	**0,1116**
Présence	1	54,15	-	54,15	54,15	
Concentration de glucanes (ng / m^3 d'air)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	1,05	2,21	0,16	15,48	
Absence	48	1,02	2,21	0,16	15,48	**0,1284**
Présence	1	3,04	-	3,04	3,04	
Température (°C)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	22,25	2,51	12,64	26,10	
Absence	48	22,25	2,53	12,64	26,10	**0,5958**
Présence	1	23,50	-	23,50	23,50	
Humidité relative (%)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	60,50	7,55	44,84	74,30	
Absence	48	60,50	7,46	44,84	74,30	**0, 3397**
Présence	1	68,70	-	68,70	68,70	
Temps d'ouverture des fenêtres (heure / jour)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	1,00	3,96	0,00	18,00	
Absence	48	1,00	4,18	0,00	18,00	**0, 4055**
Présence	1	0,50	-	0,50	0,50	
Durée d'exposition quotidienne (heure / jour)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	40	14,00	4,35	4,00	24,00	
Absence	39	14,00	4,34	4,00	24,00	**0,2539**
Présence	1	20,00	-	20,00	20,00	

Acarex test

	Effectif total		Faible		Moyen		Nul		
	n	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	42	100.00	3	100.00	4	100.00	
NON	48	97,96	41	97.62	3	100.00	4	100.00	**1.0000**
OUI	1	2,04	1	2.38					

Tabagisme actif

	Effectif total		NON		OUI		
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	34	100.00	15	100.00	**1.0000**
NON	48	97,96	33	97.06	15	100.00	

OUI	1	2,04	1	2.94			

Tabagisme passif

	Effectif total		NON		OUI		
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	28	100.00	21	100.00	
NON	48	97,96	28	100.00	20	95.24	**0.4286**
OUI	1	2,04			1	4.76	

Surface contaminée

	Effectif total		Faible		Moyenne		Elevée		
	n	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	8	100.00	30	100.00	11	100.00	
NON	48	97,96	8	100.00	29	96.67	11	100.00	**1.0000**
OUI	1	2,04			1	3.33			

Odeur de moisi

	Effectif total		NON		OUI		
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	29	100.00	20	100.00	
NON	48	97,96	28	96.55	20	100.00	**1.0000**
OUI	1	2,04	1	3.45			

Présence de plantes

	Effectif total		0		1 à 4		5 et +		
	n	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	17	100.00	20	100.00	12	100.00	
NON	48	97,96	17	100.00	19	95.00	12	100.00	**1.0000**
OUI	1	2,04			1	5.00			

Présence d'animaux

	Effectif total		NON		OUI		
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	26	100.00	23	100.00	
NON	48	97,96	26	100.00	22	95.65	**0.4694**
OUI	1	2,04			1	4.35	

Type de ventilation

	Effectif total		Ventilation naturelle		VMC débit constant		VMC double flux		VMC non fonctionnelle		
	n	%	N	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	21	100.00	23	100.00	1	100.00	4	100.00	
NON	48	97,96	21	100.00	22	95.65	1	100.00	4	100.00	**1.0000**
OUI	1	2,04			1	4.35					

Type de chauffage

	Effectif total		Centralisé		Individuel		
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	13	100.00	36	100.00	**1.0000**
NON	48	97,96	13	100.00	35	97.22	

OUI	1	2,04			1	2.78	

Présence et usage d'un sèche-linge

	Effectif total		NON		OUI		
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	28	100.00	21	100.00	
NON	48	97,96	28	100.00	20	95.24	**0.4286**
OUI	1	2,04			1	4.76	

Utilisation d'un déshumidificateur ou d'un absorbeur

	Effectif total		Aucun		Absorbeur		Déshumidificateur électrique		Déshumidificateur industriel		
	n	%	N	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	31	100.00	14	100.00	3	100.00	1	100.00	
NON	48	97,96	30	96.77	14	100.00	3	100.00	1	100.00	**1.0000**
OUI	1	2,04	1	3.23							

Utilisation d'un déshumidificateur ou d'un absorbeur

	Effectif total		NON		OUI		
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	31	100.00	18	100.00	
NON	48	97,96	30	96.77	18	100.00	**1.0000**
OUI	1	2,04	1	3.23			

Energie utilisée pour la cuisson

	Effectif total		Aucune		Electricité		Gaz de ville		Propane		
	n	%	N	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	1	100.00	20	100.00	24	100.00	4	100.00	
NON	48	97,96	1	100.00	20	100.00	23	95.83	4	100.00	**1.0000**
OUI	1	2,04					1	4.17			

Type de vitrage

	Effectif total		Vitrage simple		Double vitrage		
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	7	100.00	42	100.00	
NON	48	97,96	7	100.00	41	97.62	**1.0000**
OUI	1	2,04			1	2.38	

Présence de traces d'humidité dans l'habitat

	Effectif total		NON		OUI		
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	9	100.00	40	100.00	
NON	48	97,96	9	100.00	39	97.50	**1.0000**
OUI	1	2,04			1	2.50	

Résultats en rouge : résultats pour lesquels une différence significative inférieure à 0,05 est observée.

Aucune relation n'a été trouvée entre l'habitat (caractéristiques et contamination aérienne) et la prescription d'une assistance respiratoire suite à la consultation médicale.

Tableau 44 : Recherche de variables explicatives pour la prescription de corticoïdes suite à la consultation médicale. Les tests utilisés sont des tests de Fisher.

Corticoïdes	**Variable**					**p-value**
	CFU totales (CFU/m³ d'air)					
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	313,00	53265,60	22,70	361000,00	
Absence	42	276,00	55624,26	22,70	361000,00	**0,0370**
Présence	7	1640,00	32837,28	49,10	88100,00	
	***Aspergillus versicolor* (CFU/m³ d'air)**					
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	17,90	50862,30	0,00	344000,00	
Absence	42	16,15	53050,16	0,00	344000,00	**0,7952**
Présence	7	17,50	32158,96	0,00	85200,00	
	***Aspergillus fumigatus* (CFU/m³ d'air)**					
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	0,00	5,66	0,00	29,00	
Absence	42	0,00	6,01	0,00	29,00	**0,9616**
Présence	7	0,00	1,78	0,00	4,86	
	***Penicillium brevicompactum* (CFU/m³ d'air)**					
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	3,33	108,36	0,00	669,00	
Absence	42	3,15	107,80	0,00	669,00	**0,6183**
Présence	7	7,00	107,97	0,00	290,00	
	***Penicillium chrysogenum* (CFU/m³ d'air)**					
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	12,00	825,60	0,00	5190,00	
Absence	42	11,10	815,86	0,00	5190,00	**0,3059**
Présence	7	35,40	837,74	0,00	2220,00	
	***Penicillium crustosum* (CFU/m³ d'air)**					
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	2,85	146,66	0,00	741,00	
Absence	42	1,95	114,13	0,00	741,00	**0,0075**
Présence	7	9,72	265,18	2,42	719,00	
	Particules totales (par m³ d'air)					
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	35680000,00	306900000,00	7800874,00	2007000000,00	
Absence	42	35679676,61	327006154,26	8870000,00	2006813492,60	**0,3173**
Présence	7	21148529,25	54630853,82	7801157,52	160253215,95	
	Particules de 2 à 15 µm de diamètre (par m³ d'air)					
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	371621,00	716121,00	158983,00	4194709,00	
Absence	42	371620,85	461839,20	158983,43	2673703,11	**0, 3605**
Présence	7	337283,37	1483874,25	206351,70	4194709,14	
	Concentration d'endotoxines (ng / m³ d'air)					
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	5,79	18,35	0,14	91,13	
Absence	42	5,79	18,09	0,14	91,13	**0, 6272**
Présence	7	5,53	19,88	0,18	47,20	
	Concentration de glucanes (ng / m³ d'air)					
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	1,05	2,21	0,16	15,48	
Absence	42	0,93	2,36	0,16	15,48	**0, 4576**

Présence	7	1,26	0,73	0,17	2,31	
Température (°C)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	22,25	2,51	12,64	26,10	
Absence	42	21,85	2,59	12,64	26,10	**0,0439**
Présence	7	23,90	0,93	22,10	24,88	
Humidité relative (%)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	60,50	7,55	44,84	74,30	
Absence	42	60,60	7,64	44,84	74,30	**0, 6786**
Présence	7	60,60	6,88	51,50	70,80	
Temps d'ouverture des fenêtres (heure / jour)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	1,00	3,96	0,00	18,00	
Absence	42	1,00	3,92	0,00	18,00	**0, 5491**
Présence	7	1,00	5,47	0,50	12,00	
Durée d'exposition quotidienne (heure / jour)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	40	14,00	4,35	4,00	24,00	
Absence	34	14,00	3,81	7,00	21,00	**0,5649**
Présence	6	17,00	7,20	4,00	24,00	

Acarex test									
	Effectif total		Faible		Moyen		Nul		
	n	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	42	100,00	3	100,00	4	100,00	
NON	42	85,71	35	83,33	3	100,00	4	100,00	**1,0000**
OUI	7	14,29	7	16,67					

Tabagisme actif							
	Effectif total		NON		OUI		
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	34	100,00	15	100,00	
NON	42	85,71	28	82,35	14	93,33	**0,4142**
OUI	7	14,29	6	17,65	1	6,67	

Tabagisme passif							
	Effectif total		NON		OUI		
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	28	100,00	21	100,00	
NON	42	85,71	25	89,29	17	80,95	**0,4427**
OUI	7	14,29	3	10,71	4	19,05	

Surface contaminée									
	Effectif total		Faible		Moyenne		Elevée		
	n	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	8	100,00	30	100,00	11	100,00	
NON	42	85,71	7	87,50	25	83,33	10	90,91	**1,0000**
OUI	7	14,29	1	12,50	5	16,67	1	9,09	

Odeur de moisi						
	Effectif total		NON		OUI	
	n	%	N	%	N	%

TOTAL	49	100,00	29	100,00	20	100,00	
NON	42	85,71	24	82,76	18	90,00	**0,6848**
OUI	7	14,29	5	17,24	2	10,00	

Présence de plantes

	Effectif total		0		1 à 4		5 et +		
	n	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	17	100,00	20	100,00	12	100,00	
NON	42	85,71	14	82,35	18	90,00	10	83,33	**0,7726**
OUI	7	14,29	3	17,65	2	10,00	2	16,67	

Présence d'animaux

	Effectif total		NON		OUI		
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	26	100,00	23	100,00	
NON	42	85,71	22	84,62	20	86,96	**1,0000**
OUI	7	14,29	4	15,38	3	13,04	

Type de ventilation

	Effectif total		Ventilation naturelle		VMC débit constant		VMC double flux		VMC non fonctionnelle		
	n	%	N	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	21	100,00	23	100,00	1	100,00	4	100.00	
NON	42	85,71	17	80,95	20	86,96	1	100,00	4	100.00	**0.8629**
OUI	7	14,29	4	19,05	3	13,04					

Type de chauffage

	Effectif total		Centralisé		Individuel		
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	13	100,00	36	100,00	
NON	42	85,71	12	92,31	30	83,33	**0,6577**
OUI	7	14,29	1	7,69	6	16,67	

Présence et usage d'un sèche-linge

	Effectif total		NON		OUI		
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	28	100,00	21	100,00	
NON	42	85,71	27	96,43	15	71,43	**0,0328**
OUI	7	14,29	1	3,57	6	28,57	

Utilisation d'un déshumidificateur ou d'un absorbeur

	Effectif total		Aucun		Absorbeur		Déshumidificateur électrique		Déshumidificateur industriel		
	n	%	N	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	31	100,00	14	100,00	3	100,00	1	100.00	
NON	42	85,71	27	87,10	11	78,57	3	100,00	1	100.00	**0.8200**
OUI	7	14,29	4	12,90	3	21,43					

Utilisation d'un déshumidificateur ou d'un absorbeur

	Effectif total		NON		OUI		

	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	31	100,00	18	100,00	
NON	42	85,71	27	87,10	15	83,33	**0,6974**
OUI	7	14,29	4	12,90	3	16,67	

	Energie utilisée pour la cuisson										
	Effectif total		Aucune		Electricité		Gaz de ville		Propane		
	n	%	N	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	1	100,00	20	100,00	24	100,00	4	100.00	
NON	42	85,71	1	100,00	17	85,00	22	91,67	2	50.00	**0.1891**
OUI	7	14,29			3	15,00	2	8,33	2	50.00	

	Type de vitrage					
	Effectif total		Vitrage simple		Double vitrage	
	n	%	N	%	N	%
TOTAL	49	100,00	7	100,00	42	100,00
NON	42	85,71	6	85,71	36	85,71
OUI	7	14,29	1	14,29	6	14,29

	Présence de traces d'humidité dans l'habitat					
	Effectif total		NON		OUI	
	n	%	N	%	N	%
TOTAL	49	100,00	9	100,00	40	100,00
NON	42	85,71	8	88,89	34	85,00
OUI	7	14,29	1	11,11	6	15,00

Résultats en rouge : résultats pour lesquels une différence significative inférieure à 0,05 est observée.

Pour la prescription de corticoïdes, une relation a été trouvée avec la concentration fongique totale dans l'air (p=0,0370), la concentration de *Penicillium crustosum* dans l'air (p=0,0075), la température (p=0,0439) et le type de fenêtre utilisée dans l'habitat (p=0,0328).

Tableau 45 : Recherche de variables explicatives pour la prescription d'un test cutané d'allergie suite à la consultation médicale. Les tests utilisés sont des tests de Fisher.

Test cutané d'allergie	**Variable**					**p-value**
	CFU totales (CFU/m^3 d'air)					
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	313,00	53265,60	22,70	361000,00	
Absence	48	326,00	53262,66	22,70	361000,00	**0,2159**
Présence	1	68,90	-	68,90	68,90	
	***Aspergillus versicolor* (CFU/m^3 d'air)**					
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	17,90	50862,30	0,00	344000,00	

Absence	48	17,90	50862,29	0,00	344000,00	**0,2116**
Présence	1	0,00	-	0,00	0,00	
***Aspergillus fumigatus* (CFU/m³ d'air)**						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	0,00	5,66	0,00	29,00	
Absence	48	0,00	5,66	0,00	29,00	**0,4505**
Présence	1	0,00	-	0,00	0,00	
***Penicillium brevicompactum* (CFU/m³ d'air)**						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	3,33	108,36	0,00	669,00	
Absence	48	3,15	108,47	0,00	669,00	**0,3275**
Présence	1	19,80	-	19,80	19,80	
***Penicillium chrysogenum* (CFU/m³ d'air)**						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	12,00	825,60	0,00	5190,00	
Absence	48	12,00	825,63	0,00	5190,00	**0,6427**
Présence	1	3,78	-	3,78	3,78	
***Penicillium crustosum* (CFU/m³ d'air)**						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	2,85	146,66	0,00	741,00	
Absence	48	3,43	146,63	0,00	741,00	**0,2495**
Présence	1	0,00	-	0,00	0,00	
Particules totales (par m³ d'air)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	35680000,00	306900000,00	7800874,00	2007000000,00	
Absence	48	35679676,61	306911645,10	7801157,52	2006813492,60	**0,2159**
Présence	1	10681062,13	-	10681062,13	10681062,13	
Particules de 2 à 15 µm de diamètre (par m³ d'air)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	371621,00	716121,00	158983,00	4194709,00	
Absence	48	371620,85	714608,10	158983,43	4194709,14	**0, 1284**
Présence	1	169320,79	-	169320,79	169320,79	
Concentration d'endotoxines (ng / m³ d'air)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	5,79	18,35	0,14	91,13	
Absence	48	5,57	17,93	0,14	91,13	**0, 1679**
Présence	1	42,22	-	42,22	42,22	
Concentration de glucanes (ng / m³ d'air)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	1,05	2,21	0,16	15,48	
Absence	48	1,02	2,21	0,16	15,48	**0, 1908**
Présence	1	2,45	-	2,45	2,45	
Température (°C)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	22,25	2,51	12,64	26,10	
Absence	48	22,30	2,50	12,64	26,10	**0,1679**
Présence	1	19,10	-	19,10	19,10	
Humidité relative (%)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	60,50	7,55	44,84	74,30	
Absence	48	60,70	7,50	44,84	74,30	**0, 3767**
Présence	1	54,70	-	54,70	54,70	
Temps d'ouverture des fenêtres (heure / jour)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	1,00	3,96	0,00	18,00	

Absence	48	1,00	4,18	0,00	18,00	**0, 9712**
Présence	1	1,00	-	1,00	1,00	

Durée d'exposition quotidienne (heure / jour)

	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	40	14,00	4,35	4,00	24,00	
Absence	39	14,00	4,39	4,00	24,00	**0,5684**
Présence	1	18,00	-	18,00	18,00	

Acarex test

	Effectif total		Faible		Moyen		Nul		
	n	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	42	100,00	3	100,00	4	100,00	
NON	48	97,96	41	97,62	3	100,00	4	100,00	**1,0000**
OUI	1	2,04	1	2,38					

Tabagisme actif

	Effectif total		NON		OUI		
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	34	100,00	15	100,00	
NON	48	97,96	33	97,06	15	100,00	**1,0000**
OUI	1	2,04	1	2,94			

Tabagisme passif

	Effectif total		NON		OUI		
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	28	100,00	21	100,00	
NON	48	97,96	27	96,43	21	100,00	**1,0000**
OUI	1	2,04	1	3,57			

Surface contaminée

	Effectif total		Faible		Moyenne		Elevée		
	n	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	8	100,00	30	100,00	11	100,00	
NON	48	97,96	8	100,00	29	96,67	11	100,00	**1,0000**
OUI	1	2,04			1	3,33			

Odeur de moisi

	Effectif total		NON		OUI		
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	29	100,00	20	100,00	
NON	48	97,96	28	96,55	20	100,00	**1,0000**
OUI	1	2,04	1	3,45			

Présence de plantes

	Effectif total		0		1 à 4		5 et +		
	n	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	17	100,00	20	100,00	12	100,00	
NON	48	97,96	17	100,00	20	100,00	11	91,67	**0,2449**
OUI	1	2,04					1	8,33	

Présence d'animaux

	Effectif total		NON		OUI		
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	26	100,00	23	100,00	
NON	48	97,96	25	96,15	23	100,00	**1,0000**
OUI	1	2,04	1	3,85			

Type de ventilation

	Effectif total		Ventilation naturelle		VMC débit constant		VMC double flux		VMC non fonctionnelle		
	n	%	N	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	21	100,00	23	100,00	1	100,00	4	100.00	
NON	48	97,96	21	100,00	22	95,65	1	100,00	4	100.00	**1.0000**
OUI	1	2,04			1	4,35					

Type de chauffage

	Effectif total		Centralisé		Individuel		
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	13	100,00	36	100,00	
NON	48	97,96	13	100,00	35	97,22	**1,0000**
OUI	1	2,04			1	2,78	

Présence et usage d'un sèche-linge

	Effectif total		NON		OUI		
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	28	100,00	21	100,00	
NON	48	97,96	28	100,00	20	95,24	**0,4286**
OUI	1	2,04			1	4,76	

Utilisation d'un déshumidificateur ou d'un absorbeur

	Effectif total		Aucun		Absorbeur		Déshumidificateur électrique		Déshumidificateur industriel		
	n	%	N	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	31	100.00	14	100.00	3	100.00	1	100.00	
NON	48	97,96	31	100.00	13	92.86	3	100.00	1	100.00	**0.3673**
OUI	1	2,04			1	7.14					

Utilisation d'un déshumidificateur ou d'un absorbeur

	Effectif total		NON		OUI		
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	31	100.00	18	100.00	
NON	48	97,96	31	100.00	17	94.44	**0.3673**
OUI	1	2,04			1	5.56	

Energie utilisée pour la cuisson

	Effectif total		Aucune		Electricité		Gaz de ville		Propane		
	n	%	N	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	1	100.00	20	100.00	24	100.00	4	100.00	
NON	48	97,96	1	100.00	20	100.00	23	95.83	4	100.00	**1.0000**
OUI	1	2,04					1	4.17			

	Type de vitrage						
	Effectif total		Vitrage simple		Double vitrage		
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	7	100.00	42	100.00	
NON	48	97,96	7	100.00	41	97.62	**1.0000**
OUI	1	2,04			1	2.38	
	Présence de traces d'humidité dans l'habitat						
	Effectif total		NON		OUI		
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	9	100.00	40	100.00	
NON	48	97,96	8	88.89	40	100.00	**0.1837**
OUI	1	2,04	1	11.11			

Résultats en rouge : résultats pour lesquels une différence significative inférieure à 0,05 est observée.

Aucune relation n'a été trouvée entre l'habitat (caractéristiques et contamination aérienne) et la prescription d'un test cutané d'allergie.

Tableau 46 : Recherche de variables explicatives concernant la prescription d'un examen par imagerie par résonance magnétique (IRM) suite à la consultation médicale. Les tests utilisés sont des tests de Fisher.

IRM	**Variable**					**p-value**
	CFU totales (CFU/m³ d'air)					
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	313,00	53265,60	22,70	361000,00	
Absence	47	322,00	53819,98	22,70	361000,00	**0,9798**
Présence	2	398,80	428,79	95,60	702,00	
	***Aspergillus versicolor* (CFU/m³ d'air)**					
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	17,90	50862,30	0,00	344000,00	
Absence	47	14,00	51394,36	0,00	344000,00	**0,3199**
Présence	2	120,00	91,92	55,00	185,00	
	***Aspergillus fumigatus* (CFU/m³ d'air)**					
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	0,00	5,66	0,00	29,00	
Absence	47	0,00	5,72	0,00	29,00	**1,0000**
Présence	2	0,56	0,78	0,00	1,11	
	***Penicillium brevicompactum* (CFU/m³ d'air)**					
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	3,33	108,36	0,00	669,00	
Absence	47	2,96	109,43	0,00	669,00	**0,9793**
Présence	2	3,33	0,00	3,33	3,33	
	***Penicillium chrysogenum* (CFU/m³ d'air)**					
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	12,00	825,60	0,00	5190,00	
Absence	47	10,50	834,46	0,00	5190,00	**0,2957**
Présence	2	185,30	239,99	15,60	355,00	
	***Penicillium crustosum* (CFU/m³ d'air)**					

	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	2,85	146,66	0,00	741,00	
Absence	47	3,07	148,15	0,00	741,00	**0,8370**
Présence	2	3,61	5,11	0,00	7,22	
Particules totales (par m^3 d'air)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	35680000,00	306900000,00	7800874,00	2007000000,00	
Absence	47	34159353,22	293346245,88	7801157,52	2006813492,60	**0,7047**
Présence	2	404888286,52	550868704,22	15365290,22	794411282,82	
Particules de 2 à 15 µm de diamètre (par m^3 d'air)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	371621,00	716121,00	158983,00	4194709,00	
Absence	47	348528,66	722562,33	158983,43	4194709,14	**0, 6675**
Présence	2	325534,95	141206,41	225686,94	425382,97	
Concentration d'endotoxines (ng / m^3 d'air)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	5,79	18,35	0,14	91,13	
Absence	47	5,60	18,56	0,14	91,13	**1,0000**
Présence	2	8,08	9,69	1,23	14,93	
Concentration de glucanes (ng / m^3 d'air)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	1,05	2,21	0,16	15,48	
Absence	47	1,05	2,24	0,16	15,48	**1,0000**
Présence	2	1,05	0,33	0,82	1,28	
Température (°C)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	22,25	2,51	12,64	26,10	
Absence	47	22,30	2,51	12,64	26,10	**0,1005**
Présence	2	19,60	0,42	19,30	19,90	
Humidité relative (%)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	60,50	7,55	44,84	74,30	
Absence	47	60,60	7,53	44,84	74,30	**0, 8596**
Présence	2	60,65	8,70	54,50	66,80	
Temps d'ouverture des fenêtres (heure / jour)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	1,00	3,96	0,00	18,00	
Absence	47	1,00	4,22	0,00	18,00	**1,0000**
Présence	2	1,25	1,06	0,50	2,00	
Durée d'exposition quotidienne (heure / jour)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	40	14,00	4,35	4,00	24,00	
Absence	40	14,00	4,36	4,00	24,00	-
Présence	0	-	-	-	-	

Acarex test

	Effectif total		Faible		Moyen		Nul		
	n	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	42	100,00	3	100,00	4	100,00	
NON	47	95,92	41	97,62	3	100,00	3	75,00	**0,2679**
OUI	2	4,08	1	2,38			1	25,00	

Tabagisme actif

	Effectif total		NON		OUI	
	n	%	N	%	N	%

TOTAL	49	100,00	34	100,00	15	100,00	
NON	47	95,92	33	97,06	14	93,33	**0,5230**
OUI	2	4,08	1	2,94	1	6,67	

Tabagisme passif

	Effectif total		NON		OUI		
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	28	100,00	21	100,00	
NON	47	95,92	27	96,43	20	95,24	**1,0000**
OUI	2	4,08	1	3,57	1	4,76	

Surface contaminée

	Effectif total		Faible		Moyenne		Elevée		
	n	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	8	100,00	30	100,00	11	100,00	
NON	47	95,92	7	87,50	29	96,67	11	100,00	**0,3495**
OUI	2	4,08	1	12,50	1	3,33			

Odeur de moisi

	Effectif total		NON		OUI		
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	29	100,00	20	100,00	
NON	47	95,92	28	96,55	19	95,00	**1,0000**
OUI	2	4,08	1	3,45	1	5,00	

Présence de plantes

	Effectif total		0		1 à 4		5 et +		
	n	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	17	100,00	20	100,00	12	100,00	
NON	47	95,92	16	94,12	19	95,00	12	100,00	**1,0000**
OUI	2	4,08	1	5,88	1	5,00			

Présence d'animaux

	Effectif total		NON		OUI		
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	26	100,00	23	100,00	
NON	47	95,92	25	96,15	22	95,65	**1,0000**
OUI	2	4,08	1	3,85	1	4,35	

Type de ventilation

	Effectif total		Ventilation naturelle		VMC débit constant		VMC double flux		VMC non fonctionnelle		
	n	%	N	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	21	100,00	23	100,00	1	100,00	4	100.00	
NON	47	95,92	20	95,24	23	100,00	1	100,00	3	75.00	**0.1173**
OUI	2	4,08	1	4,76					1	25.00	

Type de chauffage

	Effectif total		Centralisé		Individuel		
	n	%	N	%	N	%	

TOTAL	49	100,00	13	100,00	36	100,00	
NON	47	95,92	13	100,00	34	94,44	**1,0000**
OUI	2	4,08			2	5,56	

Présence et usage d'un sèche-linge

	Effectif total		NON		OUI		
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	28	100,00	21	100,00	
NON	47	95,92	26	92,86	21	100,00	**0,5000**
OUI	2	4,08	2	7,14			

Utilisation d'un déshumidificateur ou d'un absorbeur

	Effectif total		Aucun		Absorbeur		Déshumidificateur électrique		Déshumidificateur industriel		
	n	%	N	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	31	100,00	14	100,00	3	100,00	1	100.00	
NON	47	95,92	29	93,55	14	100,00	3	100,00	1	100.00	**1.0000**
OUI	2	4,08	2	6,45							

Utilisation d'un déshumidificateur ou d'un absorbeur

	Effectif total		NON		OUI		
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	31	100,00	18	100,00	
NON	47	95,92	29	93,55	18	100,00	**0,5255**
OUI	2	4,08	2	6,45			

Energie utilisée pour la cuisson

	Effectif total		Aucune		Electricité		Gaz de ville		Propane		
	n	%	N	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	1	100,00	20	100,00	24	100,00	4	100.00	
NON	47	95,92	1	100,00	19	95,00	23	95,83	4	100.00	**1.0000**
OUI	2	4,08			1	5,00	1	4,17			

Type de vitrage

	Effectif total		Vitrage simple		Double vitrage		
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	7	100,00	42	100,00	
NON	47	95,92	7	100,00	40	95,24	**1,0000**
OUI	2	4,08			2	4,76	

Présence de traces d'humidité dans l'habitat

	Effectif total		NON		OUI		
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	9	100,00	40	100,00	
NON	47	95,92	8	88,89	39	97,50	**0,3367**
OUI	2	4,08	1	11,11	1	2,50	

Résultats en rouge : résultats pour lesquels une différence significative inférieure à 0,05 est observée.

Aucune relation n'a été trouvée entre l'habitat (caractéristiques et contamination aérienne) et la prescription d'un examen par IRM.

Tableau 47 : Recherche de variables explicatives pour la prescription de Ventoline® (salbutamol) suite à la consultation médicale. Les tests utilisés sont des tests de Fisher.

Ventoline® (salbutamol)	**Variable**					**p-value**
CFU totales (CFU/m³ d'air)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	313,00	53265,60	22,70	361000,00	
Absence	44	313,00	55608,57	22,70	361000,00	**0,8688**
Présence	5	578,00	1252,15	25,00	3070,00	
***Aspergillus versicolor* (CFU/m³ d'air)**						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	17,90	50862,30	0,00	344000,00	
Absence	44	17,90	53099,92	0,00	344000,00	**0,8414**
Présence	5	9,46	691,52	0,00	1590,00	
***Aspergillus fumigatus* (CFU/m³ d'air)**						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	0,00	5,66	0,00	29,00	
Absence	44	0,00	5,88	0,00	29,00	**0,2738**
Présence	5	2,11	2,47	0,00	5,88	
***Penicillium brevicompactum* (CFU/m³ d'air)**						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	3,33	108,36	0,00	669,00	
Absence	44	3,95	112,00	0,00	669,00	**0,3428**
Présence	5	0,00	57,42	0,00	129,00	
***Penicillium chrysogenum* (CFU/m³ d'air)**						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	12,00	825,60	0,00	5190,00	
Absence	44	13,95	860,01	0,00	5190,00	**0,1293**
Présence	5	0,00	19,84	0,00	45,40	
***Penicillium crustosum* (CFU/m³ d'air)**						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	2,85	146,66	0,00	741,00	
Absence	44	3,21	152,92	0,00	741,00	**0,8009**
Présence	5	3,07	2,68	0,00	6,17	
Particules totales (par m³ d'air)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	35680000,00	306900000,00	7800874,00	2007000000,00	
Absence	44	33429676,61	320107342,61	7801157,52	2006813492,60	**0,7916**
Présence	5	42700000,00	24557980,76	8870000,00	67796270,78	
Particules de 2 à 15 µm de diamètre (par m³ d'air)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	371621,00	716121,00	158983,00	4194709,00	
Absence	44	342906,02	745506,79	158983,43	4194709,14	**0, 4474**
Présence	5	462038,54	238492,90	265953,90	867600,00	
Concentration d'endotoxines (ng / m³ d'air)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	5,79	18,35	0,14	91,13	
Absence	44	5,79	17,93	0,14	91,13	**0,6676**

Présence	5	2,74	23,24	0,29	54,15	
Concentration de glucanes (ng / m³ d'air)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	1,05	2,21	0,16	15,48	
Absence	44	1,05	2,28	0,16	15,48	**0,2344**
Présence	5	0,41	1,20	0,17	3,04	
Température (°C)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	22,25	2,51	12,64	26,10	
Absence	44	22,25	2,57	12,64	26,10	**0,9736**
Présence	5	22,51	2,17	19,50	24,88	
Humidité relative (%)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	60,50	7,55	44,84	74,30	
Absence	44	60,50	7,63	44,84	74,30	**0, 7663**
Présence	5	60,80	6,67	51,97	68,70	
Temps d'ouverture des fenêtres (heure / jour)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	1,00	3,96	0,00	18,00	
Absence	44	1,00	4,11	0,00	18,00	**0,3983**
Présence	5	2,00	4,80	0,50	12,00	
Durée d'exposition quotidienne (heure / jour)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	40	14,00	4,35	4,00	24,00	
Absence	35	14,00	4,51	4,00	24,00	**0,9011**
Présence	5	14,00	3,44	12,00	20,00	

Acarex test

	Effectif total		Faible		Moyen		Nul		
	n	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	42	100,00	3	100,00	4	100,00	
NON	44	89,80	37	88,10	3	100,00	4	100,00	**1,0000**
OUI	5	10,20	5	11,90					

Tabagisme actif

	Effectif total		NON		OUI		
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	34	100,00	15	100,00	
NON	44	89,80	32	94,12	12	80,00	**0,1598**
OUI	5	10,20	2	5,88	3	20,00	

Tabagisme passif

	Effectif total		NON		OUI		
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	28	100,00	21	100,00	
NON	44	89,80	27	96,43	17	80,95	**0,1501**
OUI	5	10,20	1	3,57	4	19,05	

Surface contaminée

	Effectif total		Faible		Moyenne		Elevée		
	n	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	8	100,00	30	100,00	11	100,00	**0,3221**

NON	44	89,80	8	100,00	25	83,33	11	100,00	
OUI	5	10,20			5	16,67			

Odeur de moisi

	Effectif total		NON		OUI		
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	29	100,00	20	100,00	
NON	44	89,80	26	89,66	18	90,00	**1,0000**
OUI	5	10,20	3	10,34	2	10,00	

Présence de plantes

	Effectif total		0		1 à 4		5 et +		
	n	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	17	100,00	20	100,00	12	100,00	
NON	44	89,80	16	94,12	18	90,00	10	83,33	**0,7154**
OUI	5	10,20	1	5,88	2	10,00	2	16,67	

Présence d'animaux

	Effectif total		NON		OUI		
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	26	100,00	23	100,00	
NON	44	89,80	23	88,46	21	91,30	**1,0000**
OUI	5	10,20	3	11,54	2	8,70	

Type de ventilation

	Effectif total		Ventilation naturelle		VMC débit constant		VMC double flux		VMC non fonctionnelle		
	n	%	N	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	21	100,00	23	100,00	1	100,00	4	100.00	
NON	44	89,80	20	95,24	19	82,61	1	100,00	4	100.00	**0.5171**
OUI	5	10,20	1	4,76	4	17,39					

Type de chauffage

	Effectif total		Centralisé		Individuel		
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	13	100,00	36	100,00	
NON	44	89,80	13	100,00	31	86,11	**0,3064**
OUI	5	10,20			5	13,89	

Présence et usage d'un sèche-linge

	Effectif total		NON		OUI		
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	28	100,00	21	100,00	
NON	44	89,80	26	92,86	18	85,71	**0,6392**
OUI	5	10,20	2	7,14	3	14,29	

Utilisation d'un déshumidificateur ou d'un absorbeur

	Effectif total		Aucun		Absorbeur		Déshumidificateur électrique		Déshumidificateur industriel	
	n	%	N	%	N	%	N	%	N	%

TOTAL	49	100,00	31	100,00	14	100,00	3	100,00	1	100.00	
NON	44	89,80	27	87,10	13	92,86	3	100,00	1	100.00	**1.0000**
OUI	5	10,20	4	12,90	1	7,14					

Utilisation d'un déshumidificateur ou d'un absorbeur

	Effectif total		NON		OUI		
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	31	100,00	18	100,00	
NON	44	89,80	27	87,10	17	94,44	**0,6393**
OUI	5	10,20	4	12,90	1	5,56	

Energie utilisée pour la cuisson

	Effectif total		Aucune		Electricité		Gaz de ville		Propane		
	n	%	N	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	1	100,00	20	100,00	24	100,00	4	100.00	
NON	44	89,80	1	100,00	18	90,00	22	91,67	3	75.00	**0.5219**
OUI	5	10,20			2	10,00	2	8,33	1	25.00	

Type de vitrage

	Effectif total		Vitrage simple		Double vitrage		
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	7	100,00	42	100,00	
NON	44	89,80	7	100,00	37	88,10	**1,0000**
OUI	5	10,20			5	11,90	

Présence de traces d'humidité dans l'habitat

	Effectif total		NON		OUI		
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	9	100,00	40	100,00	
NON	44	89,80	8	88,89	36	90,00	**1,0000**
OUI	5	10,20	1	11,11	4	10,00	

Résultats en rouge : résultats pour lesquels une différence significative inférieure à 0,05 est observée.

Aucune relation n'a été trouvée entre l'habitat (caractéristiques et contamination aérienne) et la prescription de Ventoline®.

Le **Tableau 48** présente une synthèse des résultats obtenus pour les prescriptions médicales en lien avec l'habitat.

Tableau 48 : P-values obtenues pour la recherche des relations entre les caractéristiques de l'habitation et les prescriptions médicales.

	Test exact de Fischer							
	Antibiotiques	**Anti-histaminiques**	**AINS**	**Assistance respiratoire**	**Corticoïdes**	**Test allergie**	**IRM**	**Ventoline®**
CFU totales	0,1084	0,2514	0,9155	0,4578	0,0370	0,2159	0,9798	0,8688
Aspergillus versicolor	0,7844	0,2302	0,6427	0,2686	0,7952	0,2116	0,3199	0,8414
Aspergillus fumigatus	0,9813	0,6905	0,0739	0,3208	0,9616	0,4505	1,0000	0,2738
Penicillium brevicompactum	0,1400	0,2754	0,2929	0,2766	0,6183	0,3275	0,9793	0,3428
Penicillium chrysogenum	0,6585	0,5416	0,5440	0,3353	0,3059	0,6427	0,2957	0,1293
Penicillium crustosum	0,0936	0,8652	0,8572	0,6399	0,0075	0,2495	0,8370	0,8009
Particules totales	0,3069	0,4281	0,5478	0,6458	0,3173	0,2159	0,7047	0,7916
Particules de 2-15 µm	0,4914	0,6766	0,9155	0,4151	0,3605	0,1284	0,6675	0,4474
Endotoxines	0,9501	0,2186	0,1284	0,1116	0,6272	0,1679	1,0000	0,6676
Glucanes	0,0352	0,5734	0,9718	0,1284	0,4576	0,1908	1,0000	0,2344
Température	0,0285	0,7703	0,6457	0,5958	0,0439	0,1679	0,1005	0,9736
Humidité relative	0,4042	0,2034	0,0847	0,3397	0,6786	0,3767	0,8596	0,7663
Temps d'ouverture	0,9320	0,9830	0,1684	0,4055	0,5491	0,9712	1,0000	0,3983
Durée exposition	0,0477	0,4989	1,0000	0,2539	0,5649	0,5684	1,0000	0,9011
Acarex test	0,1900	0,2185	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	0,2679	1,0000
Tabagisme actif	0,5433	0,5691	0,3061	1,0000	0,4142	1,0000	0,5230	0,1598
Tabagisme passif	1,0000	1,0000	0,4286	0,4286	0,4427	1,0000	1,0000	0,1501
Surface contaminée	0,0526	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	0,3495	0,3221
Présence d'une odeur de moisi	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	0,6848	1,0000	1,0000	1,0000
Présence de plantes	1,0000	0,3318	0,5918	1,0000	0,7726	0,2449	1,0000	0,7154
Présence d'animaux	1,0000	0,5943	0,4694	0,4694	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
Type de ventilation	0,2485	0,4495	0,5306	1,0000	0,8629	1,0000	0,1173	0,5171
Type de chauffage	0,5555	0,5555	1,0000	1,0000	0,6577	1,0000	1,0000	0,3064
Utilisation d'un sèche-linge	1,0000	0,0722	1,0000	0,4286	0,0328	0,4286	0,5000	0,6392
Présence d'un déshumidificateur	0,5457	1,0000	0,3673	1,0000	0,6974	0,3673	0,5255	0,6393
Energie pour la cuisson	0,3430	0,7004	0,5102	1,0000	0,1891	1,0000	1,0000	0,5219
Type de vitrage	1,0000	0,0498	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
Présence de traces d'humidité	1,0000	0,4637	1,0000	1,0000	1,0000	0,1837	0,3367	1,0000

Résultats en rouge : résultats pour lesquels une différence significative inférieure à 0,05 est observée.

IV.3.2.4) Symptômes décrits par les habitants

Une recherche de variables explicatives a été menée entre les différents symptômes retrouvés chez les habitants et les caractéristiques des habitats. Une première analyse a été réalisée en utilisant les 4 niveaux d'intensité des symptômes (nul, faible, moyen et fort) recensés dans les questionnaires. En raison de la présence de faibles effectifs (parfois inférieurs à 5), une seconde analyse a été menée en utilisant les deux catégories suivantes de symptômes :

- Absence = nul

- Présence = faible + moyen + fort

Les résultats de ces deux analyses pour les différents symptômes sont présentés dans les **Tableaux 49 à 66**.

Tableau 49 : Recherche de variables explicatives pour le symptôme « Nez bouché » par niveau d'intensité (nul, faible, moyen et fort) et par catégorie (présence ou absence). Les tests statistiques utilisés étaient des tests de Kruskal-Wallis (classes d'intensité) et de Wilcoxon (catégorie) pour les variables quantitatives et des tests de Fisher ou du Khi2 (quand les effectifs le permettaient, marqué par un astérisque) pour les variables qualitatives.

Nez bouché	**Variables explicatives**					**p-value**
			CFU totales (CFU/m³ d'air)			
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	313,00	53265,60	22,70	361000,00	
Nul	12	145,00	497,82	27,00	1640,00	**0,2633**
Faible	6	169,00	213,47	86,30	578,00	
Moyen	12	317,00	4073,09	25,00	14400,00	
Fort	19	390,00	83935,67	53,80	361000,00	
Absence	12	145,00	497,82	22,70	1640,00	**0,1166**
Présence	37	342,00	60545,39	25,00	361000,00	
			***Aspergillus versicolor* (CFU/m³ d'air)**			
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	17,90	50862,30	0,00	344000,00	
Nul	12	10,28	84,95	0,00	237,00	**0,4840**
Faible	6	10,85	83,20	0,00	212,00	
Moyen	12	16,34	3620,37	0,00	12600,00	
Fort	19	40,30	80181,25	0,00	344000,00	
Absence	12	10,28	84,95	0,00	237,00	**0,3788**
Présence	37	18,30	57822,54	0,00	344000,00	
			***Aspergillus fumigatus* (CFU/m³ d'air)**			
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	0,00	5,66	0,00	29,00	
Nul	12	0,96	8,13	0,00	29,00	**0,0734**
Faible	6	1,64	1,56	0,00	3,50	
Moyen	12	0,00	7,59	0,00	26,70	
Fort	19	0,00	1,32	0,00	4,86	
Absence	12	0,96	8,13	0,00	29,00	**0,0758**

Présence	37	0,00	4,46	0,00	26,70	
***Penicillium brevicompactum* (CFU/m³ d'air)**						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	3,33	108,36	0,00	669,00	
Nul	12	0,42	83,22	0,00	290,00	**0,2150**
Faible	6	3,11	4,99	0,00	12,80	
Moyen	12	12,55	189,78	0,00	669,00	
Fort	19	4,56	57,73	0,00	208,00	
Absence	12	0,42	83,22	0,00	290,00	**0,0860**
Présence	37	7,00	114,86	0,00	669,00	
***Penicillium chrysogenum* (CFU/m³ d'air)**						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	12,00	825,60	0,00	5190,00	
Nul	12	6,58	123,20	0,00	355,00	**0,6586**
Faible	6	24,80	13,91	6,00	45,40	
Moyen	12	13,05	360,08	0,00	1110,00	
Fort	19	11,70	1265,11	0,00	5190,00	
Absence	12	6,58	123,20	0,00	355,00	**0,0860**
Présence	37	15,60	934,31	0,00	5190,00	
***Penicillium crustosum* (CFU/m³ d'air)**						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	2,85	146,66	0,00	741,00	
Nul	12	1,31	8,12	0,00	28,90	**0,4456**
Faible	6	0,00	2,87	0,00	5,83	
Moyen	12	3,86	20,51	0,00	74,10	
Fort	19	6,17	227,44	0,00	741,00	
Absence	12	1,31	8,12	0,00	28,90	**0,1699**
Présence	37	3,89	166,16	0,00	741,00	
Particules totales (par m³ d'air)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	35680000,00	306900000,00	7800874,00	2007000000,00	
Nul	12	29150000,00	49607487,41	10100000,00	160253215,95	**0,5284**
Faible	6	51448810,63	801155958,19	17951257,14	2006813492,60	
Moyen	12	64866534,67	216991498,83	8870000,00	794411282,82	
Fort	19	29221904,31	104407061,91	7801157,52	372000000,00	
Absence	12	29150000,00	49607487,41	10100000,00	160253215,95	**0,5768**
Présence	37	37200000,00	347432006,21	7801157,52	2006813492,60	
Particules de 2 à 15 µm de diamètre (par m³ d'air)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	371621,00	716121,00	158983,00	4194709,00	
Nul	12	328295,41	459430,49	158983,43	1632460,00	**0,5072**
Faible	6	513457,27	616110,22	187873,85	1910684,00	
Moyen	12	289544,18	241626,03	169320,79	877441,08	
Fort	19	348528,66	1011310,50	201111,78	4194709,14	
Absence	12	328295,41	459430,49	158983,43	1632460,00	**0,5455**
Présence	37	394713,03	778076,88	169320,79	4194709,14	
Concentration d'endotoxines (ng / m³ d'air)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	5,79	18,35	0,14	91,13	
Nul	12	7,12	10,39	0,15	32,63	**0,2319**
Faible	6	30,09	35,29	0,20	91,13	
Moyen	12	3,02	12,54	0,14	42,22	
Fort	19	5,53	13,81	0,17	47,25	
Absence	12	7,12	10,39	0,15	32,63	**0,7360**
Présence	37	5,53	20,20	0,14	91,13	

Concentration de glucanes (ng / m³ d'air)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	1,05	2,21	0,16	15,48	
Nul	12	1,09	4,20	0,16	15,48	**0,1916**
Faible	6	1,28	0,88	0,50	3,04	
Moyen	12	0,71	0,68	0,17	2,45	
Fort	19	1,16	0,93	0,17	3,72	
Absence	12	1,09	4,20	0,16	15,48	**0,9907**
Présence	37	1,05	0,87	0,17	3,72	
Température (°C)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	22,25	2,51	12,64	26,10	
Nul	12	21,56	2,11	18,75	25,11	**0,4584**
Faible	6	23,20	1,81	19,57	24,80	
Moyen	12	21,10	2,63	17,45	26,10	
Fort	19	22,90	2,90	12,64	25,50	
Absence	12	21,56	2,11	18,75	25,11	**0,5532**
Présence	37	22,30	2,65	12,64	26,10	
Humidité relative (%)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	60,50	7,55	44,84	74,30	
Nul	12	55,28	7,18	44,84	69,20	**0,0776**
Faible	6	65,40	5,93	60,30	74,30	
Moyen	12	60,60	6,41	48,10	69,70	
Fort	19	60,80	7,68	50,50	70,90	
Absence	12	55,28	7,18	44,84	69,20	**0,0315**
Présence	37	60,80	7,10	48,10	74,30	
Temps d'ouverture des fenêtres (heure / jour)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	1,00	3,96	0,00	18,00	
Nul	12	1,00	3,26	0,10	12,00	**0,9244**
Faible	6	0,75	2,18	0,50	6,00	
Moyen	12	0,75	5,67	0,00	18,00	
Fort	19	1,00	4,18	0,00	12,00	
Absence	12	1,00	3,26	0,10	12,00	**0,6343**
Présence	37	1,00	4,43	0,00	18,00	
Durée d'exposition quotidienne (heure / jour)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	40	14,00	4,35	4,00	24,00	
Nul	10	13,00	3,40	11,00	20,00	**0,5825**
Faible	5	20	8,01	4,00	20,00	
Moyen	9	14,00	3,44	9,00	20,00	
Fort	16	14,50	4,11	10,00	24,00	
Absence	10	13,00	3,40	11,00	20,00	**0,4963**
Présence	30	14,00	4,68	4,00	24,00	

Acarex test									
	Effectif total		Faible		Moyen		Nul		Test statistique
	N	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	42	100,00	3	100,00	4	100,00	
Nul	12	24,49	10	23,81			2	50,00	**0,4491**
Faible	6	12,24	5	11,90			1	25,00	
Moyen	12	24,49	10	23,81	1	33,33	1	25,00	
Fort	19	38,78	17	40,48	2	66,67			
Absence	12	24,49	10	23,81			2	50,00	**0,3604**
Présence	37	75,51	32	76,19	3	100,00	2	50,00	

Tabagisme actif

	Effectif total		NON		OUI		Test statistique
	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	34	100,00	15	100,00	
Nul	12	24,49	11	32,35	1	6,67	
Faible	6	12,24	5	14,71	1	6,67	**0,1911**
Moyen	12	24,49	6	17,65	6	40,00	
Fort	19	38,78	12	35,29	7	46,67	
Absence	12	24,49	11	32,35	1	6,67	**0,0754**
Présence	37	75,51	23	67,65	14	93,33	

Tabagisme passif

	Effectif total		NON		OUI		Test statistique
	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	28	100,00	21	100,00	
Nul	12	24,49	9	32,14	3	14,29	
Faible	6	12,24	4	14,29	2	9,52	**0,4340**
Moyen	12	24,49	6	21,43	6	28,57	
Fort	19	38,78	9	32,14	10	47,62	
Absence	12	24,49	9	32,14	3	14,29	**0,1503** *
Présence	37	75,51	19	67,86	18	85,71	

Surface contaminée

	Effectif total		Faible		Moyenne		Elevée		Test statistique
	N	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100,00	8	100,00	30	100,00	11	100,00	
Nul	12	24,49	3	37,50	9	30,00			
Faible	6	12,24			5	16,67	1	9,09	**0,1744**
Moyen	12	24,49	3	37,50	5	16,67	4	36,36	
Fort	19	38,78	2	25,00	11	36,67	6	54,55	
Absence	12	24,49			3	37,50	9	30,00	**0,0721**
Présence	37	75,51	11	100,00	5	62,50	21	70,00	

Odeur de moisi

	Effectif total		NON		OUI		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	29	100.00	20	100.00	
Nul	12	24.49	8	27.59	4	20.00	
Faible	6	12.24	6	20.69			**0,0752**
Moyen	12	24.49	7	24.14	5	25.00	
Fort	19	38.78	8	27.59	11	55.00	
Absence	12	24.49	8	27.59	4	20.00	**0,7377**
Présence	37	75.51	21	72.41	16	80.00	

Présence de plantes

	Effectif total		0		1 à 4		5 et +		Test statistique
	N	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	17	100.00	20	100.00	12	100.00	
Nul	12	24.49	2	11.76	7	35.00	3	25.00	
Faible	6	12.24	4	23.53	2	10.00			**0,3945**
Moyen	12	24.49	5	29.41	3	15.00	4	33.33	
Fort	19	38.78	6	35.29	8	40.00	5	41.67	
Absence	12	24.49	2	11.76	7	35.00	3	25.00	**0,2848**
Présence	37	75.51	15	88.24	13	65.00	9	75.00	

Présence d'animaux

	Effectif total		NON		OUI		Test statistique
	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	26	100.00	23	100.00	
Nul	12	24.49	8	30.77	4	17.39	
Faible	6	12.24	3	11.54	3	13.04	**0,5985**
Moyen	12	24.49	7	26.92	5	21.74	

Fort	19	38.78	8	30.77	11	47.83	
Absence	12	24.49	8	30.77	4	17.39	**0,2771** *
Présence	37	75.51	18	69.23	19	82.61	

Type de ventilation

	Effectif total		Ventilation naturelle		VMC débit constant		VMC double flux		VMC non fonctionnelle		Test statistique
	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	21	100.00	23	100.00	1	100.00	4	100.00	
Nul	12	24.49	5	23.81	7	30.43					**0,6512**
Faible	6	12.24	2	9.52	4	17.39					
Moyen	12	24.49	4	19.05	5	21.74	1	100.00	2	50.00	
Fort	19	38.78	10	47.62	7	30.43			2	50.00	
Absence	12	24.49	5	23.81	7	30.43					**0,7088**
Présence	37	75.51	16	76.19	16	69.57	1	100.00	4	100.00	

Type de chauffage

	Effectif total		Centralisé		Individuel		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	13	100.00	36	100.00	
Nul	12	24.49	5	38.46	7	19.44	**0,5230**
Faible	6	12.24	2	15.38	4	11.11	
Moyen	12	24.49	2	15.38	10	27.78	
Fort	19	38.78	4	30.77	15	41.67	
Absence	12	24.49	5	38.46	7	19.44	**0,2588**
Présence	37	75.51	8	61.54	29	80.56	

Présence et usage d'un sèche-linge

	Effectif total		NON		OUI		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	28	100.00	21	100.00	
Nul	12	24.49	8	28.57	4	19.05	**0,6640**
Faible	6	12.24	2	7.14	4	19.05	
Moyen	12	24.49	7	25.00	5	23.81	
Fort	19	38.78	11	39.29	8	38.10	
Absence	24.49	8	28.57	4	19.05	24.49	**0,4430** *
Présence	75.51	20	71.43	17	80.95	75.51	

Utilisation d'un déshumidificateur ou d'un absorbeur

	Effectif total		Aucun		Absorbeur		Déshumidificateur électrique		Déshumidificateur industriel		Test statistique
	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	31	100.00	14	100.00	3	100.00	1	100.00	
Nul	12	24.49	7	22.58	5	35.71					**0,4806**
Faible	6	12.24	3	9.68	3	21.43					
Moyen	12	24.49	10	32.26	1	7.14	1	33.33			
Fort	19	38.78	11	35.48	5	35.71	2	66.67	1	100.00	
Absence	12	24.49	7	22.58	5	35.71					**0,5963**
Présence	37	75.51	24	77.42	9	64.29	3	100.00	1	100.00	

Utilisation d'un déshumidificateur ou d'un absorbeur

	Effectif total		NON		OUI		Test statistique
	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	31	100.00	18	100.00	
Nul	12	24.49	7	22.58	5	27.78	**0,4273**
Faible	6	12.24	3	9.68	3	16.67	
Moyen	12	24.49	10	32.26	2	11.11	
Fort	19	38.78	11	35.48	8	44.44	
Absence	12	24.49	7	22.58	5	27.78	**0,7384** *
Présence	37	75.51	24	77.42	13	72.22	

	Energie utilisée pour la cuisson										Test statistique
	Effectif total		Aucune		Electricité		Gaz de ville		Propane		
	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	1	100.00	20	100.00	24	100.00	4	100.00	
Nul	12	24.49			4	20.00	8	33.33			**0,8539**
Faible	6	12.24			3	15.00	2	8.33	1	25.00	
Moyen	12	24.49			6	30.00	5	20.83	1	25.00	
Fort	19	38.78	1	100.00	7	35.00	9	37.50	2	50.00	
Absence	12	24.49			4	20.00	8	33.33			**0,5654**
Présence	37	75.51	1	100.00	16	80.00	16	66.67	4	100.00	

	Type de vitrage						Test statistique
	Effectif total		Vitrage simple		Double vitrage		
	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	7	100.00	42	100.00	
Nul	12	24.49	1	14.29	11	26.19	**1,0000**
Faible	6	12.24	1	14.29	5	11.90	
Moyen	12	24.49	2	28.57	10	23.81	
Fort	19	38.78	3	42.86	16	38.10	
Absence	12	24.49	1	14.29	11	26.19	**0,6651**
Présence	37	75.51	6	85.71	31	73.81	

	Présence de traces d'humidité dans l'habitat						Test statistique
	Effectif total		NON		OUI		
	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	9	100.00	40	100.00	
Nul	12	24.49	3	33.33	9	22.50	**0,9507**
Faible	6	12.24	1	11.11	5	12.50	
Moyen	12	24.49	2	22.22	10	25.00	
Fort	19	38.78	3	33.33	16	40.00	
Absence	12	24.49	3	33.33	9	22.50	**0,6693**
Présence	37	75.51	6	66.67	31	77.50	

Résultats en rouge : résultats pour lesquels une différence significative inférieure à 0,05 est observée.

Un lien entre le taux d'humidité relative (p=0,0315) et la fréquence de survenue des problèmes de nez bouché a pu être observé.

Tableau 50 : Recherche de variables explicatives pour le symptôme « Larmoiements » par niveau d'intensité (nul, faible, moyen et fort) et par catégorie (présence ou absence). Les tests statistiques utilisés étaient des tests de Kruskal-Wallis (classes d'intensité) et de Wilcoxon (fréquence) pour les variables quantitatives et des tests de Fisher ou du Khi2 (quand les effectifs le permettaient, marqué par un astérisque) pour les variables qualitatives.

Larmoiements	**Variables explicatives**					**p-value**
	CFU totales (CFU/m³ d'air)					
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	313,00	53265,60	22,70	361000,00	
Nul	23	260,00	867,00	22,70	3070,00	**0,6995**
Faible	6	350,00	298,55	53,80	812,00	
Moyen	12	313,00	104075,51	25,00	361000,00	
Fort	8	999,00	30551,10	71,60	88100,00	
Absence	23	260,00	867,00	22,70	3070,00	**0,4832**
Présence	26	340,00	71998,22	25,00	361000,00	
	***Aspergillus versicolor* (CFU/m³ d'air)**					

	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	17,90	50862,30	0,00	344000,00	
Nul	23	8,89	403,93	0,00	1590,00	
Faible	6	15,75	90,22	5,65	237,00	
Moyen	12	17,64	99273,66	0,00	344000,00	**0,1794**
Fort	8	139,00	29774,83	4,63	85200,00	
Absence	23	8,89	403,93	0,00	1590,00	**0,1147**
Présence	26	33,45	68752,67	0,00	344000,00	

***Aspergillus fumigatus* (CFU/m³ d'air)**

	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	0,00	5,66	0,00	29,00	
Nul	23	0,00	1,87	0,00	4,86	
Faible	6	0,00	1,41	0,00	3,50	
Moyen	12	0,40	10,62	0,00	29,00	**0,7479**
Fort	8	0,00	2,06	0,00	5,88	
Absence	23	0,00	1,87	0,00	4,86	**0,7871**
Présence	26	0,00	7,50	0,00	29,00	

***Penicillium brevicompactum* (CFU/m³ d'air)**

	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	3,33	108,36	0,00	669,00	
Nul	23	3,33	49,94	0,00	208,00	
Faible	6	1,73	2,84	0,00	7,00	
Moyen	12	8,33	33,43	0,00	120,00	**0,6999**
Fort	8	3,56	239,50	0,00	669,00	
Absence	23	3,33	49,94	0,00	208,00	**1,0000**
Présence	26	2,80	140,23	0,00	669,00	

***Penicillium chrysogenum* (CFU/m³ d'air)**

	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	12,00	825,60	0,00	5190,00	
Nul	23	6,80	73,05	0,00	355,00	
Faible	6	19,30	15,32	0,00	35,40	
Moyen	12	29,25	1488,59	0,00	5190,00	**0,2608**
Fort	8	147,89	791,67	0,00	2220,00	
Absence	23	6,80	73,05	0,00	355,00	**0,0913**
Présence	26	27,70	1096,47	0,00	5190,00	

***Penicillium crustosum* (CFU/m³ d'air)**

	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	2,85	146,66	0,00	741,00	
Nul	23	0,86	149,06	0,00	719,00	
Faible	6	2,15	2,57	0,00	6,17	
Moyen	12	3,41	212,87	0,00	741,00	**0,5219**
Fort	8	5,87	30,70	0,00	74,10	
Absence	23	0,86	149,06	0,00	719,00	**0,2753**
Présence	26	3,74	144,65	0,00	741,00	

Particules totales (par m³ d'air)

	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	35680000,00	306900000,00	7800874,00	2007000000,00	
Nul	23	34159353,22	434162146,84	7801157,52	2006813492,60	
Faible	6	29150000,00	23237773,25	8870000,00	70197621,25	
Moyen	12	33019716,91	102890365,88	10478773,80	372000000,00	**0,7243**
Fort	8	46013110,29	53855173,98	10100000,00	160253215,95	
Absence	23	34159353,22	434162146,84	7801157,52	2006813492,60	**0,8648**
Présence	26	36500000,00	76306606,67	8870000,00	372000000,00	

Particules de 2 à 15 µm de diamètre (par m³ d'air)

	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum
TOTAL	49	371621,00	716121,00	158983,00	4194709,00

Nul	23	348528,66	559520,26	158983,43	2673703,11	
Faible	6	272415,00	698322,91	187873,85	1910684,00	**0,1477**
Moyen	12	321200,96	237713,11	159700,00	971942,99	
Fort	8	848510,00	1270814,11	202700,00	4194709,14	
Absence	23	348528,66	559520,26	158983,43	2673703,11	**0,3726**
Présence	26	371219,93	821482,09	159700,00	4194709,14	
Concentration d'endotoxines (ng / m³ d'air)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	5,79	18,35	0,14	91,13	
Nul	23	5,12	12,24	0,17	42,22	
Faible	6	27,73	35,12	0,69	91,13	**0,3168**
Moyen	12	4,68	15,70	0,17	54,15	
Fort	8	7,86	11,76	0,14	32,63	
Absence	23	5,12	12,24	0,17	42,22	**0,8569**
Présence	26	6,31	22,20	0,14	91,13	
Concentration de glucanes (ng / m³ d'air)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	1,05	2,21	0,16	15,48	
Nul	23	0,82	0,80	0,16	2,83	
Faible	6	1,15	0,59	0,17	1,77	**0,7593**
Moyen	12	1,05	1,08	0,28	3,72	
Fort	8	1,26	5,09	0,41	15,48	
Absence	23	0,82	0,80	0,16	2,83	**0,4958**
Présence	26	1,07	2,91	0,17	15,48	
Température (°C)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	22,25	2,51	12,64	26,10	
Nul	23	22,20	2,02	18,75	25,10	
Faible	6	23,40	1,76	21,02	25,11	**0,4137**
Moyen	12	22,98	2,12	18,87	25,50	
Fort	8	21,10	4,17	12,64	26,10	
Absence	23	22,20	2,02	18,75	25,10	**0,6739**
Présence	26	22,71	2,92	12,64	26,10	
Humidité relative (%)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	60,50	7,55	44,84	74,30	
Nul	23	55,80	7,45	46,68	74,30	
Faible	6	60,45	5,04	50,50	64,69	**0,1508**
Moyen	12	64,50	7,92	44,84	70,90	
Fort	8	67,53	7,44	51,97	70,89	
Absence	23	55,80	7,45	46,68	74,30	**0,0984**
Présence	26	63,20	7,30	44,84	70,90	
Temps d'ouverture des fenêtres (heure / jour)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	1,00	3,96	0,00	18,00	
Nul	23	1,00	3,40	0,00	12,00	
Faible	6	1,50	4,46	0,50	12,00	**0,7811**
Moyen	12	1,00	4,33	0,25	12,00	
Fort	8	1,00	6,02	0,25	18,00	
Absence	23	1,00	3,40	0,00	12,00	**0,3355**
Présence	26	1,00	4,74	0,25	18,00	
Durée d'exposition quotidienne (heure / jour)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	40	14,00	4,35	4,00	24,00	
Nul	18	14,00	3,61	10,00	20,00	
Faible	6	14,00	5,18	4,00	20,00	**0,2535**

Moyen	10	17,00	3,86	12,00	24,00	
Fort	6	15,00	5,75	7,00	20,00	
Absence	18	14,00	3,61	10,00	20,00	**0,4087**
Présence	22	15,00	4,95	4,00	24,00	

Acarex test

	Effectif total		Faible		Moyen		Nul		Test statistique
	N	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	42	100.00	3	100.00	4	100.00	
Nul	23	46.94	21	50.00			2	50.00	
Faible	6	12.24	5	11.90			1	25.00	**0,1236**
Moyen	12	24.49	11	26.19	1	33.33			
Fort	8	16.33	5	11.90	2	66.67	1	25.00	
Absence	23	46.94	21	50.00			2	50.00	**0,3226**
Présence	26	53.06	21	50.00	3	100.00	2	50.00	

Tabagisme actif

	Effectif total		NON		OUI		Test statistique
	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	34	100.00	15	100.00	
Nul	23	46.94	15	44.12	8	53.33	
Faible	6	12.24	6	17.65			**0,4074**
Moyen	12	24.49	8	23.53	4	26.67	
Fort	8	16.33	5	14.71	3	20.00	
Absence	23	46.94	15	44.12	8	53.33	**0,5513** *
Présence	26	53.06	19	55.88	7	46.67	

Tabagisme passif

	Effectif total		NON		OUI		Test statistique
	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	28	100.00	21	100.00	
Nul	23	46.94	12	42.86	11	52.38	
Faible	6	12.24	6	21.43			**0,0360**
Moyen	12	24.49	4	14.29	8	38.10	
Fort	8	16.33	6	21.43	2	9.52	
Absence	23	46.94	12	42.86	11	52.38	**0,5086** *
Présence	26	53.06	16	57.14	10	47.62	

Surface contaminée

	Effectif total		Faible		Moyenne		Elevée		Test statistique
	N	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	8	100.00	30	100.00	11	100.00	
Nul	23	46.94	6	75.00	14	46.67	3	27.27	
Faible	6	12.24	1	12.50	5	16.67			**0,0865**
Moyen	12	24.49	1	12.50	8	26.67	3	27.27	
Fort	8	16.33			3	10.00	5	45.45	
Absence	23	46.94	6	75.00	14	46.67	3	27.27	**0,1403**
Présence	26	53.06	2	25.00	16	53.33	8	72.73	

Odeur de moisi

	Effectif total		NON		OUI		Test statistique
	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	29	100.00	20	100.00	
Nul	23	46.94	15	51.72	8	40.00	
Faible	6	12.24	6	20.69			**0,0421** *
Moyen	12	24.49	4	13.79	8	40.00	
Fort	8	16.33	4	13.79	4	20.00	
Absence	23	46.94	15	51.72	8	40.00	**0,4190** *
Présence	26	53.06	14	48.28	12	60.00	

Présence de plantes

	Effectif total	0	1 à 4	5 et +	Test statistique

	N	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	17	100.00	20	100.00	12	100.00	
Nul	23	46.94	5	29.41	11	55.00	7	58.33	
Faible	6	12.24	3	17.65	2	10.00	1	8.33	**0,2320**
Moyen	12	24.49	3	17.65	6	30.00	3	25.00	
Fort	8	16.33	6	35.29	1	5.00	1	8.33	
Absence	23	46.94	5	29.41	11	55.00	7	58.33	**0,1975** *
Présence	26	53.06	12	70.59	9	45.00	5	41.67	

Présence d'animaux

	Effectif total		NON		OUI		Test statistique
	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	26	100.00	23	100.00	
Nul	23	46.94	12	46.15	11	47.83	
Faible	6	12.24	2	7.69	4	17.39	**0,5124**
Moyen	12	24.49	6	23.08	6	26.09	
Fort	8	16.33	6	23.08	2	8.70	
Absence	23	46.94	12	46.15	11	47.83	0,9068 *
Présence	26	53.06	14	53.85	12	52.17	

Type de ventilation

	Effectif total		Ventilation naturelle		VMC débit constant		VMC double flux		VMC non fonctionnelle		Test statistique
	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	21	100.00	23	100.00	1	100.00	4	100.00	
Nul	23	46.94	8	38.10	11	47.83	1	100.00	3	75.00	
Faible	6	12.24	1	4.76	5	21.74					**0,4352**
Moyen	12	24.49	8	38.10	4	17.39					
Fort	8	16.33	4	19.05	3	13.04			1	25.00	
Absence	23	46.94	8	38.10	11	47.83	1	100.00	3	75.00	**0,3630**
Présence	26	53.06	13	61.90	12	52.17			1	25.00	

Type de chauffage

	Effectif total		Centralisé		Individuel		Test statistique
	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	13	100.00	36	100.00	
Nul	23	46.94	7	53.85	16	44.44	
Faible	6	12.24	1	7.69	5	13.89	**0,7459**
Moyen	12	24.49	4	30.77	8	22.22	
Fort	8	16.33	1	7.69	7	19.44	
Absence	23	46.94	7	53.85	16	44.44	**0,5604** *
Présence	26	53.06	6	46.15	20	55.56	

Présence et usage d'un sèche-linge

	Effectif total		NON		OUI		Test statistique
	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	28	100.00	21	100.00	
Nul	23	46.94	13	46.43	10	47.62	
Faible	6	12.24	2	7.14	4	19.05	**0,6649**
Moyen	12	24.49	8	28.57	4	19.05	
Fort	8	16.33	5	17.86	3	14.29	
Absence	23	46.94	13	46.43	10	47.62	**0,9341** *
Présence	26	53.06	15	53.57	11	52.38	

Utilisation d'un déshumidificateur ou d'un absorbeur

	Effectif total		Aucun		Absorbeur		Déshumidificateur électrique		Déshumidificateur industriel		Test statistique
	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	31	100.00	14	100.00	3	100.00	1	100.00	
Nul	23	46.94	15	48.39	5	35.71	2	66.67	1	100.00	**0,6930**
Faible	6	12.24	2	6.45	4	28.57					

Moyen	12	24.49	8	25.81	3	21.43	1	33.33			
Fort	8	16.33	6	19.35	2	14.29					
Absence	23	46.94	15	48.39	5	35.71	2	66.67	1	100.00	**0,5322**
Présence	26	53.06	16	51.61	9	64.29	1	33.33			

Utilisation d'un déshumidificateur ou d'un absorbeur							Test statistique
	Effectif total		NON		OUI		
	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	31	100.00	18	100.00	
Nul	23	46.94	15	48.39	8	44.44	
Faible	6	12.24	2	6.45	4	22.22	**0,4736**
Moyen	12	24.49	8	25.81	4	22.22	
Fort	8	16.33	6	19.35	2	11.11	
Absence	23	46.94	15	48.39	8	44.44	**0,7898** *
Présence	26	53.06	16	51.61	10	55.56	

Energie utilisée pour la cuisson											Test statistique
	Effectif total		Aucune		Electricité		Gaz de ville		Propane		
	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	1	100.00	20	100.00	24	100.00	4	100.00	
Nul	23	46.94			9	45.00	12	50.00	2	50.00	
Faible	6	12.24			2	10.00	3	12.50	1	25.00	**0,8233**
Moyen	12	24.49	1	100.00	5	25.00	6	25.00			
Fort	8	16.33			4	20.00	3	12.50	1	25.00	
Absence	23	46.94			9	45.00	12	50.00	2	50.00	**0,9526**
Présence	26	53.06	1	100.00	11	55.00	12	50.00	2	50.00	

Type de vitrage							Test statistique
	Effectif total		Vitrage simple		Double vitrage		
	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	7	100.00	42	100.00	
Nul	23	46.94	2	28.57	21	50.00	
Faible	6	12.24	1	14.29	5	11.90	**0,5919**
Moyen	12	24.49	2	28.57	10	23.81	
Fort	8	16.33	2	28.57	6	14.29	
Absence	23	46.94	2	28.57	21	50.00	**0,4238**
Présence	26	53.06	5	71.43	21	50.00	

Présence de traces d'humidité dans l'habitat							Test statistique
	Effectif total		NON		OUI		
	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	9	100.00	40	100.00	
Nul	23	46.94	5	55.56	18	45.00	
Faible	6	12.24	1	11.11	5	12.50	**1,0000**
Moyen	12	24.49	2	22.22	10	25.00	
Fort	8	16.33	1	11.11	7	17.50	
Absence	23	46.94	5	55.56	18	45.00	**0,7165**
Présence	26	53.06	4	44.44	22	55.00	

Résultats en rouge : résultats pour lesquels une différence significative inférieure à 0,05 est observée.

Un lien entre le tabagisme passif (p=0,0360), la présence d'une odeur de moisi dans l'habitat (p=0,0421) a pu être observé avec la survenue des problèmes d'irritation des yeux, mais ces résultats n'ont été observés que pour les différentes classes d'intensité du symptôme.

Tableau 51 : Recherche de variables explicatives pour le symptôme « Maux de gorge » par niveau d'intensité (nul, faible, moyen et fort) et par catégorie (présence ou absence). Les tests statistiques utilisés étaient des tests de Kruskal-Wallis (classes d'intensité) et de Wilcoxon (fréquence) pour les variables quantitatives et des tests de Fisher ou du Khi2 (quand les effectifs le permettaient, marqué par un astérisque) pour les variables qualitatives.

Maux de gorge	**Variables explicatives**					**p-value**
CFU totales (CFU/m³ d'air)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	313,00	53265,60	22,70	361000,00	
Nul	20	235,00	727,20	32,20	2740,00	**0,0176**
Faible	10	190,50	4502,88	22,70	14400,00	
Moyen	15	390,00	92996,91	25,00	361000,00	
Fort	4	1226,00	43547,38	578,00	88100,00	
Absence	20	235,00	727,20	32,20	2740,00	**0,2036**
Présence	29	358,00	68237,55	22,70	361000,00	
***Aspergillus versicolor* (CFU/m³ d'air)**						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	17,90	50862,30	0,00	344000,00	
Nul	20	15,15	275,18	0,00	1230,00	**0,2907**
Faible	10	11,73	3976,98	0,00	12600,00	
Moyen	15	28,60	88766,64	0,00	344000,00	
Fort	4	184,00	42537,81	5,65	85200,00	
Absence	20	15,15	275,18	0,00	1230,00	**0,1853**
Présence	29	28,60	65169,41	0,00	344000,00	
***Aspergillus fumigatus* (CFU/m³ d'air)**						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	0,00	5,66	0,00	29,00	
Nul	20	1,11	6,39	0,00	29,00	**0,1804**
Faible	10	0,00	2,19	0,00	5,88	
Moyen	15	0,00	6,87	0,00	26,70	
Fort	4	0,00	1,06	0,00	2,11	
Absence	20	1,11	6,39	0,00	29,00	**0,0387**
Présence	29	0,00	5,07	0,00	26,70	
***Penicillium brevicompactum* (CFU/m³ d'air)**						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	3,33	108,36	0,00	669,00	
Nul	20	3,33	46,39	0,00	208,00	**0,4098**
Faible	10	2,60	22,64	0,00	74,10	
Moyen	15	15,40	170,42	0,00	669,00	
Fort	4	0,00	145,00	0,00	290,00	
Absence	20	3,33	46,39	0,00	208,00	**0,4098**
Présence	29	2,96	133,35	0,00	669,00	
***Penicillium chrysogenum* (CFU/m³ d'air)**						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	12,00	825,60	0,00	5190,00	
Nul	20	19,45	78,60	0,00	355,00	**0,4463**
Faible	10	6,09	349,20	0,00	1110,00	
Moyen	15	6,00	1337,17	0,00	5190,00	
Fort	4	166,70	1061,99	0,00	2220,00	
Absence	20	19,45	78,60	0,00	355,00	**0,7816**
Présence	29	6,80	1045,80	0,00	5190,00	
***Penicillium crustosum* (CFU/m³ d'air)**						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	

TOTAL	49	2,85	146,66	0,00	741,00	
Nul	20	3,16	159,92	0,00	719,00	
Faible	10	2,85	23,23	0,00	74,10	**0,1845**
Moyen	15	0,99	190,40	0,00	741,00	
Fort	4	17,54	28,78	5,28	66,70	
Absence	20	3,16	159,92	0,00	719,00	**0,9505**
Présence	29	3,07	137,03	0,00	741,00	
Particules totales (par m³ d'air)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	35680000,00	306900000,00	7800874,00	2007000000,00	
Nul	20	30810952,16	190973617,04	7801157,52	794411282,82	
Faible	10	39950000,00	622193611,47	10478773,80	2006813492,95	**0,9816**
Moyen	15	40300000,00	46623772,53	8870000,00	162786870,19	
Fort	4	37532827,19	68186786,38	8870000,00	160253215,95	
Absence	20	30810952,16	190973617,04	7801157,52	794411282,82	**0,7758**
Présence	29	40300000,00	365651249,90	8870000,00	2006813492,60	
Particules de 2 à 15 µm de diamètre (par m³ d'air)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	371621,00	716121,00	158983,00	4194709,00	
Nul	20	333918,06	646746,01	158983,43	2673703,11	
Faible	10	464964,24	434550,96	201111,78	1632460,00	**0,3715**
Moyen	15	312570,00	261675,36	202700,00	971942,99	
Fort	4	438514,71	1901812,82	312570,00	4194709,14	
Absence	20	333918,06	646746,01	158983,43	2673703,11	**0,2632**
Présence	29	405156,49	760807,03	201111,78	4194709,14	
Concentration d'endotoxines (ng / m³ d'air)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	5,79	18,35	0,14	91,13	
Nul	20	7,62	22,50	0,15	91,13	
Faible	10	3,21	14,03	0,14	47,25	**0,5427**
Moyen	15	5,97	9,84	0,17	31,33	
Fort	4	16,66	26,31	0,18	54,15	
Absence	20	7,62	22,50	0,15	91,13	**0,1895**
Présence	29	5,12	14,43	0,14	54,15	
Concentration de glucanes (ng / m³ d'air)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	1,05	2,21	0,16	15,48	
Nul	20	1,00	3,26	0,16	15,48	
Faible	10	0,81	1,03	0,26	3,72	**0,8136**
Moyen	15	1,09	0,83	0,17	2,83	
Fort	4	1,60	1,25	0,17	3,04	
Absence	20	1,00	3,26	0,16	15,48	**0,7067**
Présence	29	1,05	0,94	0,17	3,72	
Température (°C)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	22,25	2,51	12,64	26,10	
Nul	20	22,50	2,09	18,87	25,11	
Faible	10	21,76	2,00	18,75	26,10	**0,4695**
Moyen	15	22,90	3,47	12,64	25,50	
Fort	4	23,70	1,15	22,10	24,88	
Absence	20	22,50	2,09	18,87	25,11	**0,8627**
Présence	29	22,20	2,81	12,64	26,10	
Humidité relative (%)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	60,50	7,55	44,84	74,30	
Nul	20	55,68	6,98	44,84	69,20	**0,0136**

Faible	10	55,01	8,49	48,10	74,30	
Moyen	15	65,70	5,48	54,90	70,90	
Fort	4	64,75	7,09	55,50	70,80	
Absence	20	55,68	6,98	44,84	69,20	**0,0451**
Présence	29	61,58	7,42	48,10	74,30	

Temps d'ouverture des fenêtres (heure / jour)

	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	1,00	3,96	0,00	18,00	
Nul	20	1,00	2,73	0,00	12,00	
Faible	10	1,50	3,61	0,10	12,00	**0,9585**
Moyen	15	1,00	5,60	0,25	18,00	
Fort	4	0,75	5,67	0,50	12,00	
Absence	20	1,00	2,73	0,00	12,00	**0,6249**
Présence	29	1,00	4,85	0,10	18,00	

Durée d'exposition quotidienne (heure / jour)

	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	40	14,00	4,35	4,00	24,00	
Nul	16	14,00	4,55	4,00	20,00	
Faible	8	14,00	3,16	11,00	20,00	**0,5994**
Moyen	13	14,00	5,07	7,00	24,00	
Fort	3	20,00	3,46	14,00	20,00	
Absence	16	14,00	4,55	4,00	20,00	**0,7372**
Présence	24	14,00	4,32	7,00	24,00	

Acarex test

	Effectif total		Faible		Moyen		Nul		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	42	100.00	3	100.00	4	100.00	
Nul	20	40.82	16	38.10			4	100.00	
Faible	10	20.41	9	21.43	1	33.33			**0,1958**
Moyen	15	30.61	13	30.95	2	66.67			
Fort	4	8.16	4	9.52					
Absence	20	40.82	16	38.10			4	100.00	**0,0124**
Présence	29	59.18	26	61.90	3	100.00			

Tabagisme actif

	Effectif total		NON		OUI		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	34	100.00	15	100.00	
Nul	20	40.82	17	50.00	3	20.00	
Faible	10	20.41	5	14.71	5	33.33	**0,0526**
Moyen	15	30.61	8	23.53	7	46.67	
Fort	4	8.16	4	11.76			
Absence	20	40.82	17	50.00	3	20.00	**0,0489** *
Présence	29	59.18	17	50.00	12	80.00	

Tabagisme passif

	Effectif total		NON		OUI		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	28	100.00	21	100.00	
Nul	20	40.82	12	42.86	8	38.10	
Faible	10	20.41	6	21.43	4	19.05	**0,9279**
Moyen	15	30.61	8	28.57	7	33.33	
Fort	4	8.16	2	7.14	2	9.52	
Absence	20	40.82	12	42.86	8	38.10	**0,7372** *
Présence	29	59.18	16	57.14	13	61.90	

Surface contaminée

	Effectif total	Faible	Moyenne	Elevée	Test statistique

	n	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	8	100.00	30	100.00	11	100.00	
Nul	20	40.82	6	75.00	12	40.00	2	18.18	
Faible	10	20.41	2	25.00	6	20.00	2	18.18	**0,1447**
Moyen	15	30.61			9	30.00	6	54.55	
Fort	4	8.16			3	10.00	1	9.09	
Absence	20	40.82	6	75.00	12	40.00	2	18.18	**0,0559**
Présence	29	59.18	2	25.00	18	60.00	9	81.82	

Odeur de moisi

	Effectif total		NON		OUI		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	29	100.00	20	100.00	
Nul	20	40.82	14	48.28	6	30.00	
Faible	10	20.41	5	17.24	5	25.00	**0,4971**
Moyen	15	30.61	7	24.14	8	40.00	
Fort	4	8.16	3	10.34	1	5.00	
Absence	20	40.82	14	48.28	6	30.00	**0,2008** *
Présence	29	59.18	15	51.72	14	70.00	

Présence de plantes

	Effectif total		0		1 à 4		5 et +		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	17	100.00	20	100.00	12	100.00	
Nul	20	40.82	5	29.41	9	45.00	6	50.00	
Faible	10	20.41	3	17.65	4	20.00	3	25.00	**0,8136**
Moyen	15	30.61	7	41.18	5	25.00	3	25.00	
Fort	4	8.16	2	11.76	2	10.00			
Absence	20	40.82	5	29.41	9	45.00	6	50.00	**0,4773** *
Présence	29	59.18	12	70.59	11	55.00	6	50.00	

Présence d'animaux

	Effectif total		NON		OUI		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	26	100.00	23	100.00	
Nul	20	40.82	11	42.31	9	39.13	
Faible	10	20.41	6	23.08	4	17.39	**0,7679**
Moyen	15	30.61	8	30.77	7	30.43	
Fort	4	8.16	1	3.85	3	13.04	
Absence	20	40.82	11	42.31	9	39.13	**0,8213** *
Présence	29	59.18	15	57.69	14	60.87	

Type de ventilation

	Effectif total		Ventilation naturelle		VMC débit constant		VMC double flux		VMC non fonctionnelle		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	21	100.00	23	100.00	1	100.00	4	100.00	
Nul	20	40.82	7	33.33	12	52.17			1	25.00	
Faible	10	20.41	3	14.29	4	17.39	1	100.00	2	50.00	**0,1911**
Moyen	15	30.61	10	47.62	4	17.39			1	25.00	
Fort	4	8.16	1	4.76	3	13.04					
Absence	20	40.82	7	33.33	12	52.17			1	25.00	**0,4689**
Présence	29	59.18	14	66.67	11	47.83	1	100.00	3	75.00	

Type de chauffage

	Effectif total		Centralisé		Individuel		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	13	100.00	36	100.00	
Nul	20	40.82	6	46.15	14	38.89	
Faible	10	20.41	3	23.08	7	19.44	**0,8343**
Moyen	15	30.61	4	30.77	11	30.56	
Fort	4	8.16			4	11.11	

Absence	20	40.82	6	46.15	14	38.89	**0,6478** *
Présence	29	59.18	7	53.85	22	61.11	

Présence et usage d'un sèche-linge

	Effectif total		NON		OUI		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	28	100.00	21	100.00	
~~Nul~~	20	40.82	10	35.71	10	47.62	**0,3855**
Faible	10	20.41	7	25.00	3	14.29	
Moyen	15	30.61	10	35.71	5	23.81	
Fort	4	8.16	1	3.57	3	14.29	
Absence	20	40.82	10	35.71	10	47.62	**0,4014** *
Présence	29	59.18	18	64.29	11	52.38	

Utilisation d'un déshumidificateur ou d'un absorbeur

	Effectif total		Aucun		Absorbeur		Déshumidificateur électrique		Déshumidificateur industriel		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	31	100.00	14	100.00	3	100.00	1	100.00	
Nul	20	40.82	10	32.26	9	64.29	1	33.33			**0,3592**
Faible	10	20.41	8	25.81	2	14.29					
Moyen	15	30.61	9	29.03	3	21.43	2	66.67	1	100.00	
Fort	4	8.16	4	12.90							
Absence	20	40.82	10	32.26	9	64.29	1	33.33			**0,1253**
Présence	29	59.18	21	67.74	5	35.71	2	66.67	1	100.00	

Utilisation d'un déshumidificateur ou d'un absorbeur

	Effectif total		NON		OUI		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	31	100.00	18	100.00	
Nul	20	40.82	10	32.26	10	55.56	**0,1885**
Faible	10	20.41	8	25.81	2	11.11	
Moyen	15	30.61	9	29.03	6	33.33	
Fort	4	8.16	4	12.90			
Absence	20	40.82	10	32.26	10	55.56	**0,1087** *
Présence	29	59.18	21	67.74	8	44.44	

Energie utilisée pour la cuisson

	Effectif total		Aucune		Electricité		Gaz de ville		Propane		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	1	100.00	20	100.00	24	100.00	4	100.00	
Nul	20	40.82	1	100.00	7	35.00	11	45.83	1	25.00	**0,7275**
Faible	10	20.41			6	30.00	4	16.67			
Moyen	15	30.61			6	30.00	7	29.17	2	50.00	
Fort	4	8.16			1	5.00	2	8.33	1	25.00	
Absence	20	40.82	1	100.00	7	35.00	11	45.83	1	25.00	**0,5430**
Présence	29	59.18			13	65.00	13	54.17	3	75.00	

Type de vitrage

	Effectif total		Vitrage simple		Double vitrage		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	7	100.00	42	100.00	
Nul	20	40.82	4	57.14	16	38.10	**0,4417**
Faible	10	20.41			10	23.81	
Moyen	15	30.61	3	42.86	12	28.57	
Fort	4	8.16			4	9.52	
Absence	20	40.82	4	57.14	16	38.10	**0,4221**
Présence	29	59.18	3	42.86	26	61.90	

Présence de traces d'humidité dans l'habitat

	Effectif total		NON		OUI		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	9	100.00	40	100.00	

Nul	20	40.82	6	66.67	14	35.00	
Faible	10	20.41			10	25.00	**0,2148**
Moyen	15	30.61	3	33.33	12	30.00	
Fort	4	8.16			4	10.00	
Absence	20	40.82	6	66.67	14	35.00	**0,1328**
Présence	29	59.18	3	33.33	26	65.00	

Résultats en rouge : résultats pour lesquels une différence significative inférieure à 0,05 est observée.

Un lien entre l'apparition des problèmes de maux de gorges chez les résidents et la concentration d'*Aspergillus fumigatus* dans l'air (p=0,0387), l'humidité relative (p=0,0451), la contamination des surfaces par les acariens (p=0,0124) et le tabagisme actif (p=0,0489) a pu être observé. En ce qui concerne l'intensité de ce symptôme, un lien a pu être observé avec la concentration fongique totale de l'air (p=0,0176) et l'humidité relative (p=0,0136).

Tableau 52 : Recherche de variables explicatives pour le symptôme « Toux » par niveau d'intensité (nul, faible, moyen et fort) et par catégorie (présence ou absence). Les tests statistiques utilisés étaient des tests de Kruskal-Wallis (classes d'intensité) et de Wilcoxon (fréquence) pour les variables quantitatives et des tests de Fisher ou du Khi2 (quand les effectifs le permettaient, marqué par un astérisque) pour les variables qualitatives.

Toux	**Variables explicatives**					**p-value**
CFU totales (CFU/m³ d'air)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	313,00	53265,60	22,70	361000,00	
Nul	21	260,00	484,89	32,20	2220,00	
Faible	8	337,50	127534,56	22,70	361000,00	**0,4119**
Moyen	14	601,00	23273,13	25,00	88100,00	
Fort	6	313,00	5745,71	49,10	14400,00	
Absence	21	260,00	484,89	32,20	2220,00	**0,2140**
Présence	28	374,00	69398,28	22,70	361000,00	
***Aspergillus versicolor* (CFU/m³ d'air)**						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	17,90	50862,30	0,00	344000,00	
Nul	21	9,46	71,37	0,00	210,00	
Faible	8	15,75	121597,90	0,00	344000,00	**0,0483**
Moyen	14	93,55	22690,11	0,00	85200,00	
Fort	6	2,83	5141,14	0,00	12600,00	
Absence	21	9,46	71,37	0,00	210,00	**0,0727**
Présence	28	39,30	66287,37	0,00	344000,00	
***Aspergillus fumigatus* (CFU/m³ d'air)**						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	0,00	5,66	0,00	29,00	
Nul	21	0,00	5,85	0,00	26,70	
Faible	8	0,59	9,99	0,00	29,00	**0,2852**
Moyen	14	0,00	0,94	0,00	3,33	
Fort	6	0,00	0,45	0,00	0,94	
Absence	21	0,00	5,85	0,00	26,70	**0,1919**
Présence	28	0,00	5,48	0,00	29,00	
***Penicillium brevicompactum* (CFU/m³ d'air)**						

	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	3,33	108,36	0,00	669,00	
Nul	21	3,33	16,59	0,00	62,20	**0,8018**
Faible	8	2,26	5,77	0,00	13,70	
Moyen	14	3,95	186,83	0,00	669,00	
Fort	6	9,18	28,38	0,00	74,10	
Absence	21	3,33	16,59	0,00	62,20	**0,5900**
Présence	28	3,15	138,89	0,00	669,00	

Penicillium chrysogenum (CFU/m³ d'air)

	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	12,00	825,60	0,00	5190,00	
Nul	21	6,80	77,74	0,00	355,00	**0,7878**
Faible	8	20,75	1828,26	0,00	5190,00	
Moyen	14	11,69	631,50	0,00	2220,00	
Fort	6	18,58	441,22	0,00	1110,00	
Absence	21	6,80	77,74	0,00	355,00	**0,3750**
Présence	28	13,95	1061,60	0,00	5190,00	

Penicillium crustosum (CFU/m³ d'air)

	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	2,85	146,66	0,00	741,00	
Nul	21	0,00	156,24	0,00	719,00	**0,2405**
Faible	8	4,33	260,77	0,00	741,00	
Moyen	14	6,42	18,11	0,00	66,70	
Fort	6	3,41	29,10	0,94	74,10	
Absence	21	0,00	156,24	0,00	719,00	**0,0418**
Présence	28	4,95	139,28	0,00	741,00	

Particules totales (par m³ d'air)

	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	35680000,00	306900000,00	7800874,00	2007000000,00	
Nul	21	42700000,00	432333954,39	7801157,52	2006813492,60	**0,2193**
Faible	8	41153741,72	25440363,22	11040718,37	85900000,00	
Moyen	14	43263110,29	202710293,27	8870000,00	794411282,82	
Fort	6	17987873,80	12113068,04	8870000,00	40300000,00	
Absence	21	42700000,00	432333954,39	7801157,52	2006813492,60	**0,4426**
Présence	28	31286821,34	146504573,93	8870000,00	794411282,82	

Particules de 2 à 15 µm de diamètre (par m³ d'air)

	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	371621,00	716121,00	158983,00	4194709,00	
Nul	21	405874,78	548752,39	158983,43	2673703,11	**0,9862**
Faible	8	403132,21	693852,04	159700,00	1910684,00	
Moyen	14	324926,69	1038680,23	202700,00	4194709,14	
Fort	6	321200,96	234322,97	235600,00	877441,08	
Absence	21	405874,78	548752,39	158983,43	2673703,11	**0,8399**
Présence	28	321200,96	817582,63	159700,00	4194709,14	

Concentration d'endotoxines (ng / m³ d'air)

	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	5,79	18,35	0,14	91,13	
Nul	21	6,98	21,45	0,17	91,13	**0,2237**
Faible	8	13,84	22,69	0,29	54,15	
Moyen	14	3,67	9,29	0,15	32,63	
Fort	6	3,75	8,97	0,14	24,20	
Absence	21	6,98	21,45	0,17	91,13	**0,5924**
Présence	28	5,28	15,67	0,14	54,15	

Concentration de glucanes (ng / m³ d'air)

	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum
TOTAL	49	1,05	2,21	0,16	15,48

Nul	21	1,00	0,74	0,16	2,45	
Faible	8	1,08	0,83	0,48	3,04	**0,7984**
Moyen	14	0,94	3,92	0,17	15,48	
Fort	6	1,78	1,29	0,17	3,72	
Absence	21	1,00	0,74	0,16	2,45	**0,6640**
Présence	28	1,07	2,83	0,17	15,48	
			Température (°C)			
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	22,25	2,51	12,64	26,10	
Nul	21	22,30	2,02	18,87	25,10	
Faible	8	22,70	2,33	18,75	25,50	**0,1386**
Moyen	14	21,76	3,19	12,64	24,88	
Fort	6	24,22	1,75	20,96	26,10	
Absence	21	22,30	2,02	18,87	25,10	**0,5993**
Présence	28	22,50	2,87	12,64	26,10	
			Humidité relative (%)			
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	60,50	7,55	44,84	74,30	
Nul	21	57,70	7,48	46,68	74,30	
Faible	8	61,09	9,68	44,84	70,40	**0,5421**
Moyen	14	64,32	6,28	53,29	70,89	
Fort	6	59,53	7,23	53,51	70,90	
Absence	21	57,70	7,48	46,68	74,30	**0,3475**
Présence	28	62,34	7,51	44,84	70,90	
			Temps d'ouverture des fenêtres (heure / jour)			
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	1,00	3,96	0,00	18,00	
Nul	21	1,00	1,53	0,00	6,00	
Faible	8	1,00	0,73	0,10	2,00	**0,4152**
Moyen	14	1,00	5,77	0,25	18,00	
Fort	6	6,50	6,17	0,25	12,00	
Absence	21	1,00	1,53	0,00	6,00	**0,1894**
Présence	28	1,00	5,16	0,10	18,00	
			Durée d'exposition quotidienne (heure / jour)			
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	40	14,00	4,35	4,00	24,00	
Nul	16	17,00	4,24	7,00	20,00	
Faible	7	14,00	5,19	4,00	20,00	**0,7532**
Moyen	12	13,50	4,61	9,00	24,00	
Fort	5	14,00	3,44	12,00	21,00	
Absence	16	17,00	4,24	7,00	20,00	**0,5201**
Présence	24	14,00	4,48	4,00	24,00	

				Acarex test					
	Effectif total		Faible		Moyen		Nul		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	42	100.00	3	100.00	4	100.00	
Nul	21	42.86	18	42.86			3	75.00	
Faible	8	16.33	7	16.67	1	33.33			**0,4668**
Moyen	14	28.57	12	28.57	1	33.33	1	25.00	
Fort	6	12.24	5	11.90	1	33.33			
Absence	21	42.86	18	42.86			3	75.00	**0,1834**
Présence	28	57.14	24	57.14	3	100.00	1	25.00	

							Test statistique
			Tabagisme actif				
	Effectif total		NON		OUI		
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	34	100.00	15	100.00	

Nul	21	42.86	15	44.12	6	40.00	
Faible	8	16.33	8	23.53			**0,0031**
Moyen	14	28.57	5	14.71	9	60.00	
Fort	6	12.24	6	17.65			
Absence	21	42.86	15	44.12	6	40.00	**0,7884** *
Présence	28	57.14	19	55.88	9	60.00	

Tabagisme passif

	Effectif total		NON		OUI		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	28	100.00	21	100.00	
Nul	21	42.86	13	46.43	8	38.10	
Faible	8	16.33	5	17.86	3	14.29	**0,8432**
Moyen	14	28.57	7	25.00	7	33.33	
Fort	6	12.24	3	10.71	3	14.29	
Absence	21	42.86	13	46.43	8	38.10	**0,5597** *
Présence	28	57.14	15	53.57	13	61.90	

Surface contaminée

	Effectif total		Faible		Moyenne		Elevée		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	8	100.00	30	100.00	11	100.00	
Nul	21	42.86	4	50.00	14	46.67	3	27.27	
Faible	8	16.33	3	37.50	4	13.33	1	9.09	**0,3308**
Moyen	14	28.57	1	12.50	9	30.00	4	36.36	
Fort	6	12.24			3	10.00	3	27.27	
Absence	21	42.86	4	50.00	14	46.67	3	27.27	**0,5586**
Présence	28	57.14	4	50.00	16	53.33	8	72.73	

Odeur de moisi

	Effectif total		NON		OUI		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	29	100.00	20	100.00	
Nul	21	42.86	14	48.28	7	35.00	
Faible	8	16.33	6	20.69	2	10.00	**0,3377**
Moyen	14	28.57	7	24.14	7	35.00	
Fort	6	12.24	2	6.90	4	20.00	
Absence	21	42.86	14	48.28	7	35.00	**0,3560** *
Présence	28	57.14	15	51.72	13	65.00	

Présence de plantes

	Effectif total		0		1 à 4		5 et +		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	17	100.00	20	100.00	12	100.00	
Nul	21	42.86	5	29.41	8	40.00	8	66.67	
Faible	8	16.33	4	23.53	3	15.00	1	8.33	**0,2070**
Moyen	14	28.57	7	41.18	4	20.00	3	25.00	
Fort	6	12.24	1	5.88	5	25.00			
Absence	21	42.86	5	29.41	8	40.00	8	66.67	**0,1288** *
Présence	28	57.14	12	70.59	12	60.00	4	33.33	

Présence d'animaux

	Effectif total		NON		OUI		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	26	100.00	23	100.00	
Nul	21	42.86	9	34.62	12	52.17	
Faible	8	16.33	6	23.08	2	8.70	**0,4402**
Moyen	14	28.57	7	26.92	7	30.43	
Fort	6	12.24	4	15.38	2	8.70	
Absence	21	42.86	9	34.62	12	52.17	**0,2152** *
Présence	28	57.14	17	65.38	11	47.83	

Type de ventilation	Effectif total		Ventilation naturelle		VMC débit constant		VMC double flux		VMC non fonctionnelle		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	21	100.00	23	100.00	1	100.00	4	100.00	
Nul	21	42.86	9	42.86	11	47.83			1	25.00	**0,4984**
Faible	8	16.33	3	14.29	4	17.39	1	100.00			
Moyen	14	28.57	5	23.81	6	26.09			3	75.00	
Fort	6	12.24	4	19.05	2	8.70					
Absence	21	42.86	9	42.86	11	47.83			1	25.00	**0,8204**
Présence	28	57.14	12	57.14	12	52.17	1	100.00	3	75.00	

Type de chauffage	Effectif total		Centralisé		Individuel		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	13	100.00	36	100.00	
Nul	21	42.86	7	53.85	14	38.89	**0,6307**
Faible	8	16.33	2	15.38	6	16.67	
Moyen	14	28.57	2	15.38	12	33.33	
Fort	6	12.24	2	15.38	4	11.11	
Absence	21	42.86	7	53.85	14	38.89	**0,3503** *
Présence	28	57.14	6	46.15	22	61.11	

Présence et usage d'un sèche-linge	Effectif total		NON		OUI		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	28	100.00	21	100.00	
Nul	21	42.86	14	50.00	7	33.33	**0,5004**
Faible	8	16.33	4	14.29	4	19.05	
Moyen	14	28.57	6	21.43	8	38.10	
Fort	6	12.24	4	14.29	2	9.52	
Absence	21	42.86	14	50.00	7	33.33	**0,2433** *
Présence	28	57.14	14	50.00	14	66.67	

Utilisation d'un déshumidificateur ou d'un absorbeur	Effectif total		Aucun		Absorbeur		Déshumidificateur électrique		Déshumidificateur industriel		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	31	100.00	14	100.00	3	100.00	1	100.00	
Nul	21	42.86	10	32.26	8	57.14	3	100.00			**0,1830**
Faible	8	16.33	5	16.13	3	21.43					
Moyen	14	28.57	12	38.71	1	7.14			1	100.00	
Fort	6	12.24	4	12.90	2	14.29					
Absence	21	42.86	10	32.26	8	57.14	3	100.00			**0,0424**
Présence	28	57.14	21	67.74	6	42.86			1	100.00	

Utilisation d'un déshumidificateur ou d'un absorbeur	Effectif total		NON		OUI		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	31	100.00	18	100.00	
Nul	21	42.86	10	32.26	11	61.11	**0,1503**
Faible	8	16.33	5	16.13	3	16.67	
Moyen	14	28.57	12	38.71	2	11.11	
Fort	6	12.24	4	12.90	2	11.11	
Absence	21	42.86	10	32.26	11	61.11	**0,0491** *
Présence	28	57.14	21	67.74	7	38.89	

Energie utilisée pour la cuisson	Effectif total		Aucune		Electricité		Gaz de ville		Propane		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	1	100.00	20	100.00	24	100.00	4	100.00	
Nul	21	42.86	1	100.00	9	45.00	9	37.50	2	50.00	**0,9880**

Faible	8	16.33			3	15.00	5	20.83			
Moyen	14	28.57			6	30.00	7	29.17	1	25.00	
Fort	6	12.24			2	10.00	3	12.50	1	25.00	
Absence	21	42.86	1	100.00	9	45.00	9	37.50	2	50.00	**0,7110**
Présence	28	57.14			11	55.00	15	62.50	2	50.00	

	Type de vitrage						
	Effectif total		Vitrage simple		Double vitrage		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	7	100.00	42	100.00	
Nul	21	42.86	4	57.14	17	40.48	
Faible	8	16.33	1	14.29	7	16.67	**0,9324**
Moyen	14	28.57	2	28.57	12	28.57	
Fort	6	12.24			6	14.29	
Absence	21	42.86	4	57.14	17	40.48	**0,4427**
Présence	28	57.14	3	42.86	25	59.52	

	Présence de traces d'humidité dans l'habitat						
	Effectif total		NON		OUI		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	9	100.00	40	100.00	
Nul	21	42.86	4	44.44	17	42.50	
Faible	8	16.33	2	22.22	6	15.00	**0,7588**
Moyen	14	28.57	3	33.33	11	27.50	
Fort	6	12.24			6	15.00	
Absence	21	42.86	4	44.44	17	42.50	**1,0000**
Présence	28	57.14	5	55.56	23	57.50	

Résultats en rouge : résultats pour lesquels une différence significative inférieure à 0,05 est observée.

Un lien entre les différentes classes d'intensité de toux ressenties par les résidents et la concentration aérienne d'*Aspergillus versicolor* (p=0,0483) et le tabagisme actif (p=0,0031) a pu être observé. Pour la présence de ce symptôme, un lien avec la concentration de *Penicillium crustosum* dans l'air (p=0,0418), et l'utilisation d'un absorbeur ou d'un déshumidificateur a pu être observé que ce soit par rapport à leur utilisation (p=0,0491) ou au type de matériel utilisé (p=0,0424).

Tableau 53 : Recherche de variables explicatives pour le symptôme « Fièvre » par niveau d'intensité (nul, faible, moyen et fort) et par catégorie (présence ou absence). Les tests statistiques utilisés étaient des tests de Kruskal-Wallis (classes d'intensité) et de Wilcoxon (fréquence) pour les variables quantitatives et des tests de Fisher ou du Khi2 (quand les effectifs le permettaient, marqué par un astérisque) pour les variables qualitatives.

Fièvre	**Variables explicatives**					**p-value**
	CFU totales (CFU/m³ d'air)					
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	313,00	53265,60	22,70	361000,00	
Nul	40	298,00	794,56	22,70	3070,00	
Faible	5	322,00	912,29	71,60	2290,00	**0,1474**
Moyen	2	51250,00	52113,77	14400,00	88100,00	
Fort	2	180526,90	255227,51	53,80	361000,00	
Absence	40	298,00	794,56	22,70	3070,00	**0,1752**
Présence	9	539,00	119407,26	53,80	361000,00	

***Aspergillus versicolor* (CFU/m³ d'air)**						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	17,90	50862,30	0,00	344000,00	
Nul	40	11,95	313,06	0,00	1590,00	
Faible	5	28,60	222,99	0,00	522,00	**0,0586**
Moyen	2	48900,00	51335,95	12600,00	85200,00	
Fort	2	172007,00	243234,83	14,00	344000,00	
Absence	40	11,95	313,06	0,00	1590,00	**0,0315**
Présence	9	210,00	114011,84	0,00	344000,00	
***Aspergillus fumigatus* (CFU/m³ d'air)**						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	0,00	5,66	0,00	29,00	
Nul	40	0,00	6,12	0,00	29,00	
Faible	5	0,00	2,56	0,00	5,88	**0,4347**
Moyen	2	0,00	0,00	0,00	0,00	
Fort	2	0,00	0,00	0,00	0,00	
Absence	40	0,00	6,12	0,00	29,00	**0,2402**
Présence	9	0,00	1,95	0,00	5,88	
***Penicillium brevicompactum* (CFU/m³ d'air)**						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	3,33	108,36	0,00	669,00	
Nul	40	3,95	117,30	0,00	669,00	
Faible	5	2,96	51,48	0,00	120,00	**0,7992**
Moyen	2	37,05	52,40	0,00	74,10	
Fort	2	1,32	1,86	0,00	2,63	
Absence	40	3,95	117,30	0,00	669,00	**1,0000**
Présence	9	2,63	43,06	0,00	120,00	
***Penicillium chrysogenum* (CFU/m³ d'air)**						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	12,00	825,60	0,00	5190,00	
Nul	40	7,92	130,37	0,00	715,00	
Faible	5	29,10	433,37	0,00	1000,00	**0,0455**
Moyen	2	1665,00	784,89	1110,00	2220,00	
Fort	2	2601,15	3661,19	12,30	5190,00	
Absence	40	7,92	130,37	0,00	715,00	**0,0197**
Présence	9	109,00	1721,45	0,00	5190,00	
***Penicillium crustosum* (CFU/m³ d'air)**						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	2,85	146,66	0,00	741,00	
Nul	40	2,32	113,16	0,00	719,00	
Faible	5	3,07	4,51	0,94	9,78	**0,0690**
Moyen	2	70,40	5,23	66,70	74,10	
Fort	2	371,82	522,11	2,63	741,00	
Absence	40	2,32	113,16	0,00	719,00	**0,0344**
Présence	9	9,72	241,72	0,94	741,00	
Particules totales (par m³ d'air)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	35680000,00	306900000,00	7800874,00	2007000000,00	
Nul	40	32550000,00	332803592,55	7801157,52	2006813492,60	
Faible	5	40300000,00	154132425,67	10478773,80	372000000,00	**0,9301**
Moyen	2	39749931,62	13542917,71	30173642,68	49326220,57	
Fort	2	52430010,21	3567391,57	49907483,44	54952536,98	
Absence	40	32550000,00	332803592,55	7801157,52	2006813492,60	**0,7469**
Présence	9	42700000,00	112482021,21	10478773,80	372000000,00	
Particules de 2 à 15 µm de diamètre (par m³ d'air)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	

TOTAL	49	371621,00	716121,00	158983,00	4194709,00	
Nul	40	342906,02	508921,08	158983,43	2673703,11	
Faible	5	323094,46	296607,07	206351,70	867600,00	**0,2081**
Moyen	2	2536075,11	2345662,74	877441,08	4194709,14	
Fort	2	586527,39	545059,98	201111,78	971942,99	
Absence	40	342906,02	508921,08	158983,43	2673703,11	**0,2725**
Présence	9	688960,00	1256284,61	201111,78	4194709,14	
Concentration d'endotoxines (ng / m³ d'air)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	5,79	18,35	0,14	91,13	
Nul	40	5,98	18,91	0,15	91,13	
Faible	5	5,53	1,85	2,74	6,98	**0,1639**
Moyen	2	0,16	0,02	0,14	0,18	
Fort	2	23,77	33,21	0,29	47,25	
Absence	40	5,98	18,91	0,15	91,13	**0,2401**
Présence	9	3,68	14,91	0,14	47,25	
Concentration de glucanes (ng / m³ d'air)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	1,05	2,21	0,16	15,48	
Nul	40	0,93	2,39	0,16	15,48	
Faible	5	1,09	1,37	0,41	3,72	**0,5190**
Moyen	2	1,49	0,62	1,05	1,93	
Fort	2	1,57	0,36	1,31	1,82	
Absence	40	0,93	2,39	0,16	15,48	**0,1508**
Présence	9	1,31	1,01	0,41	3,72	
Température (°C)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	22,25	2,51	12,64	26,10	
Nul	40	22,15	2,54	12,64	25,11	
Faible	5	22,51	2,06	18,87	24,25	**0,2602**
Moyen	2	25,00	1,56	23,90	26,10	
Fort	2	23,40	2,97	21,30	25,50	
Absence	40	22,15	2,54	12,64	25,11	**0,2668**
Présence	9	22,90	2,31	18,87	26,10	
Humidité relative (%)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	60,50	7,55	44,84	74,30	
Nul	40	60,35	7,18	44,84	74,30	
Faible	5	65,70	7,99	51,97	70,90	**0,2385**
Moyen	2	70,25	0,78	69,70	70,80	
Fort	2	60,45	14,07	50,50	70,40	
Absence	40	60,35	7,18	44,84	74,30	**0,1671**
Présence	9	67,10	8,45	50,50	70,90	
Temps d'ouverture des fenêtres (heure / jour)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	1,00	3,96	0,00	18,00	
Nul	40	1,00	4,28	0,00	18,00	
Faible	5	2,00	4,72	0,50	12,00	**0,2082**
Moyen	2	0,38	0,18	0,25	0,50	
Fort	2	1,50	0,71	1,00	2,00	
Absence	40	1,00	4,28	0,00	18,00	**0,6065**
Présence	9	1,00	3,72	0,25	12,00	
Durée d'exposition quotidienne (heure / jour)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	40	14,00	4,35	4,00	24,00	
Nul	34	14,00	4,18	4,00	20,00	**0,0350**

Faible	5	20,00	3,03	16,00	24,00	
Moyen	0					
Fort	1	14,00	,	14,00	14,00	
Absence	34	14,00	4,18	4,00	20,00	**0,0203**
Présence	6	19,00	3,60	14,00	24,00	

Acarex test

	Effectif total		Faible		Moyen		Nul		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	42	100.00	3	100.00	4	100.00	
Nul	40	81.63	35	83.33	1	33.33	4	100.00	
Faible	5	10.20	5	11.90					**0,0950**
Moyen	2	4.08	1	2.38	1	33.33			
Fort	2	4.08	1	2.38	1	33.33			
Absence	40	81.63	35	83.33	1	33.33	4	100.00	**0,0985**
Présence	9	18.37	7	16.67	2	66.67			

Tabagisme actif

	Effectif total		NON		OUI		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	34	100.00	15	100.00	
Nul	40	81.63	27	79.41	13	86.67	
Faible	5	10.20	3	8.82	2	13.33	**1,0000**
Moyen	2	4.08	2	5.88			
Fort	2	4.08	2	5.88			
Absence	40	81.63	27	79.41	13	86.67	**0,7021**
Présence	9	18.37	7	20.59	2	13.33	

Tabagisme passif

	Effectif total		NON		OUI		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	28	100.00	21	100.00	
Nul	40	81.63	22	78.57	18	85.71	
Faible	5	10.20	2	7.14	3	14.29	**0,4144**
Moyen	2	4.08	2	7.14			
Fort	2	4.08	2	7.14			
Absence	40	81.63	22	78.57	18	85.71	**0,7137**
Présence	9	18.37	6	21.43	3	14.29	

Surface contaminée

	Effectif total		Faible		Moyenne		Elevée		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	8	100.00	30	100.00	11	100.00	
Nul	40	81.63	7	87.50	26	86.67	7	63.64	
Faible	5	10.20			4	13.33	1	9.09	**0,0476**
Moyen	2	4.08					2	18.18	
Fort	2	4.08	1	12.50			1	9.09	
Absence	40	81.63	7	87.50	26	86.67	7	63.64	**0,2506**
Présence	9	18.37	1	12.50	4	13.33	4	36.36	

Odeur de moisi

	Effectif total		NON		OUI		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	29	100.00	20	100.00	
Nul	40	81.63	26	89.66	14	70.00	
Faible	5	10.20	2	6.90	3	15.00	**0,2563**
Moyen	2	4.08			2	10.00	
Fort	2	4.08	1	3.45	1	5.00	
Absence	40	81.63	26	89.66	14	70.00	**0,1326**
Présence	9	18.37	3	10.34	6	30.00	

Présence de plantes

	Effectif total		0		1 à 4		5 et +		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	17	100.00	20	100.00	12	100.00	
Nul	40	81.63	13	76.47	18	90.00	9	75.00	
Faible	5	10.20			2	10.00	3	25.00	**0,0422**
Moyen	2	4.08	2	11.76					
Fort	2	4.08	2	11.76					
Absence	40	81.63	13	76.47	18	90.00	9	75.00	**0,4568**
Présence	9	18.37	4	23.53	2	10.00	3	25.00	

Présence d'animaux

	Effectif total		NON		OUI		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	26	100.00	23	100.00	
Nul	40	81.63	21	80.77	19	82.61	
Faible	5	10.20	2	7.69	3	13.04	**0,6905**
Moyen	2	4.08	2	7.69			
Fort	2	4.08	1	3.85	1	4.35	
Absence	40	81.63	21	80.77	19	82.61	**1,0000**
Présence	9	18.37	5	19.23	4	17.39	

Type de ventilation

	Effectif total		Ventilation naturelle		VMC débit constant		VMC double flux		VMC non fonctionnelle		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	4	100.00	23	100.00	1	100.00	21	100.00	
Nul	40	81.63	4	100.00	20	86.96	1	100.00	15	71.43	
Faible	5	10.20			2	8.70			3	14.29	**0,8019**
Moyen	2	4.08							2	9.52	
Fort	2	4.08			1	4.35			1	4.76	
Absence	40	81.63	15	71.43	20	86.96	1	100.00	4	100.00	**0,4884**
Présence	9	18.37	6	28.57	3	13.04					

Type de chauffage

	Effectif total		Centralisé		Individuel		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	13	100.00	36	100.00	
Nul	40	81.63	12	92.31	28	77.78	
Faible	5	10.20			5	13.89	**0,3900**
Moyen	2	4.08			2	5.56	
Fort	2	4.08	1	7.69	1	2.78	
Absence	40	81.63	12	92.31	28	77.78	**0,4119**
Présence	9	18.37	1	7.69	8	22.22	

Présence et usage d'un sèche-linge

	Effectif total		NON		OUI		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	28	100.00	21	100.00	
Nul	40	81.63	21	75.00	19	90.48	
Faible	5	10.20	4	14.29	1	4.76	**0,5796**
Moyen	2	4.08	2	7.14			
Fort	2	4.08	1	3.57	1	4.76	
Absence	40	81.63	21	75.00	19	90.48	**0,2670**
Présence	9	18.37	7	25.00	2	9.52	

Utilisation d'un déshumidificateur ou d'un absorbeur

	Effectif total		Aucun		Absorbeur		Déshumidificateur électrique		Déshumidificateur industriel		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	31	100.00	14	100.00	3	100.00	1	100.00	
Nul	40	81.63	25	80.65	11	78.57	3	100.00	1	100.00	**0,7536**
Faible	5	10.20	2	6.45	3	21.43					

Moyen	2	4.08	2	6.45							
Fort	2	4.08	2	6.45							
Absence	40	81.63	25	80.65	11	78.57	3	100.00	1	100.00	**1,0000**
Présence	9	18.37	6	19.35	3	21.43					

Utilisation d'un déshumidificateur ou d'un absorbeur							Test statistique
	Effectif total		NON		OUI		
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	31	100.00	18	100.00	
Nul	40	81.63	25	80.65	15	83.33	
Faible	5	10.20	2	6.45	3	16.67	**0,3872**
Moyen	2	4.08	2	6.45			
Fort	2	4.08	2	6.45			
Absence	40	81.63	25	80.65	15	83.33	**1,0000**
Présence	9	18.37	6	19.35	3	16.67	

Energie utilisée pour la cuisson											Test statistique
	Effectif total		Aucune		Electricité		Gaz de ville		Propane		
	n	%	N	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	1	100.00	20	100.00	24	100.00	4	100.00	
Nul	40	81.63			14	70.00	22	91.67	4	100.00	
Faible	5	10.20	1	100.00	3	15.00	1	4.17			**0,1622**
Moyen	2	4.08			2	10.00					
Fort	2	4.08			1	5.00	1	4.17			
Absence	40	81.63			14	70.00	22	91.67	4	100.00	**0,0484**
Présence	9	18.37	1	100.00	6	30.00	2	8.33			

Type de vitrage							Test statistique
	Effectif total		Vitrage simple		Double vitrage		
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	7	100.00	42	100.00	
Nul	40	81.63	6	85.71	34	80.95	
Faible	5	10.20	1	14.29	4	9.52	**1,0000**
Moyen	2	4.08			2	4.76	
Fort	2	4.08			2	4.76	
Absence	40	81.63	6	85.71	34	80.95	**1,0000**
Présence	9	18.37	1	14.29	8	19.05	

Présence de traces d'humidité dans l'habitat							Test statistique
	Effectif total		NON		OUI		
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	9	100.00	40	100.00	
Nul	40	81.63	8	88.89	32	80.00	
Faible	5	10.20			5	12.50	**0,4075**
Moyen	2	4.08			2	5.00	
Fort	2	4.08	1	11.11	1	2.50	
Absence	40	81.63	8	88.89	32	80.00	**1,0000**
Présence	9	18.37	1	11.11	8	20.00	

Résultats en rouge : résultats pour lesquels une différence significative inférieure à 0,05 est observée.

Un lien entre la survenue de fièvre et la concentration dans l'air d'*Aspergillus versicolor* (p=0,0315), de *Penicillium chrysogenum* (p=0,0197), de *Penicillium crustosum* (p=0,0344), la durée d'exposition quotidienne (p=0,0203), l'étendue de la surface contaminée (p=0,476), la quantité de plantes présentes dans l'habitation (p=0,0422) et le type d'énergie utilisée pour la cuisson (p=0,0484) a pu être observé. Concernant l'intensité de ce symptôme chez les résidents, un lien avec la concentration de *Penicillium chrysogenum*

dans l'air (p=0,0455) et le temps quotidien d'aération des pièces (p=0,0350) a pu être observé.

Tableau 54 : Recherche de variables explicatives pour le symptôme « Maux de tête » par niveau d'intensité (nul, faible, moyen et fort) et par catégorie (présence ou absence). Les tests statistiques utilisés étaient des tests de Kruskal-Wallis (classes d'intensité) et de Wilcoxon (fréquence) pour les variables quantitatives et des tests de Fisher ou du Khi2 (quand les effectifs le permettaient, marqué par un astérisque) pour les variables qualitatives.

Maux de tête	**Variable explicatives**					**p-value**
CFU totales (CFU/m³ d'air)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	313,00	53265,60	22,70	361000,00	
Nul	20	244,00	725,39	22,70	3070,00	
Faible	14	324,00	3772,84	53,80	14400,00	
Moyen	11	304,00	26378,51	25,00	88100,00	**0,1010**
Fort	4	1811,00	179809,35	539,00	361000,00	
Absence	20	244,00	725,39	22,70	3070,00	
Présence	29	390,00	68235,61	25,00	361000,00	**0,2072**
***Aspergillus versicolor* (CFU/m³ d'air)**						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	17,90	50862,30	0,00	344000,00	
Nul	20	6,16	354,27	0,00	1590,00	
Faible	14	52,70	3343,08	0,00	12600,00	
Moyen	11	26,00	25644,27	0,00	85200,00	**0,0375**
Fort	4	277,50	171906,61	5,65	344000,00	
Absence	20	6,16	354,27	0,00	1590,00	
Présence	29	40,30	65170,09	0,00	344000,00	**0,0154**
***Aspergillus fumigatus* (CFU/m³ d'air)**						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	0,00	5,66	0,00	29,00	
Nul	20	0,00	8,37	0,00	29,00	
Faible	14	0,00	0,92	0,00	3,33	
Moyen	11	1,10	2,08	0,00	5,88	**0,0835**
Fort	4	0,00	0,00	0,00	0,00	
Absence	20	0,00	8,37	0,00	29,00	
Présence	29	0,00	1,56	0,00	5,88	**0,2678**
***Penicillium brevicompactum* (CFU/m³ d'air)**						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	3,33	108,36	0,00	669,00	
Nul	20	5,84	68,07	0,00	290,00	
Faible	14	7,52	36,78	0,00	120,00	
Moyen	11	2,56	62,22	0,00	208,00	**0,6442**
Fort	4	0,00	334,50	0,00	669,00	
Absence	20	5,84	68,07	0,00	290,00	
Présence	29	2,63	128,35	0,00	669,00	**0,7306**
***Penicillium chrysogenum* (CFU/m³ d'air)**						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	12,00	825,60	0,00	5190,00	
Nul	20	7,14	63,19	0,00	288,00	
Faible	14	7,29	380,84	0,00	1110,00	**0,2263**
Moyen	11	29,10	660,99	0,00	2220,00	

Fort	4	412,00	2477,71	0,00	5190,00	
Absence	20	7,14	63,19	0,00	288,00	**0,1261**
Présence	29	15,60	1043,63	0,00	5190,00	
***Penicillium crustosum* (CFU/m³ d'air)**						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	2,85	146,66	0,00	741,00	
Nul	20	0,43	6,73	0,00	28,90	
Faible	14	1,79	20,39	0,00	74,10	**0,0207**
Moyen	11	5,28	214,22	0,00	719,00	
Fort	4	7,98	367,00	5,07	741,00	
Absence	20	0,43	6,73	0,00	28,90	**0,0163**
Présence	29	5,07	186,42	0,00	741,00	
Particules totales (par m³ d'air)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	35680000,00	306900000,00	7800874,00	2007000000,00	
Nul	20	33279676,61	442260637,20	8870000,00	2006813492,60	
Faible	14	31436821,34	51533903,57	10478773,80	162786870,19	**0,8699**
Moyen	11	40300000,00	229044318,26	7801157,52	794411282,82	
Fort	4	72903741,72	164116778,46	8870000,00	372000000,00	
Absence	20	33279676,61	442260637,20	8870000,00	2006813492,60	**0,6399**
Présence	29	37200000,00	154204835,08	7801157,52	794411282,82	
Particules de 2 à 15 µm de diamètre (par m³ d'air)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	371621,00	716121,00	158983,00	4194709,00	
Nul	20	265588,39	688289,85	158983,43	2673703,11	
Faible	14	434071,48	281127,17	201111,78	1031600,00	**0,1346**
Moyen	11	394713,03	1154761,38	225686,94	4194709,14	
Fort	4	782915,00	291448,26	312570,00	971942,99	
Absence	20	265588,39	688289,85	158983,43	2673703,11	**0,0419**
Présence	29	435900,00	734730,48	201111,78	4194709,14	
Concentration d'endotoxines (ng / m³ d'air)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	5,79	18,35	0,14	91,13	
Nul	20	5,98	22,74	0,17	91,13	
Faible	14	5,33	13,51	0,14	47,25	**0,9035**
Moyen	11	5,04	17,65	0,18	54,15	
Fort	4	3,84	9,05	0,29	19,68	
Absence	20	5,98	22,74	0,17	91,13	**0,6254**
Présence	29	5,12	14,50	0,14	54,15	
Concentration de glucanes (ng / m³ d'air)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	1,05	2,21	0,16	15,48	
Nul	20	1,02	0,67	0,16	2,45	
Faible	14	1,30	3,88	0,26	15,48	**0,6687**
Moyen	11	0,95	0,94	0,28	3,04	
Fort	4	0,85	0,68	0,17	1,82	
Absence	20	1,02	0,67	0,16	2,45	**0,5552**
Présence	29	63,10	7,07	50,50	70,90	
Température (°C)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	22,25	2,51	12,64	26,10	
Nul	20	22,25	2,83	12,64	25,11	
Faible	14	21,51	2,21	19,20	26,10	**0,8328**
Moyen	11	23,50	1,77	19,50	24,25	
Fort	4	21,88	4,11	17,45	25,50	
Absence	20	22,25	2,83	12,64	25,11	**0,7992**

Présence	29	1,05	2,79	0,17	15,48	
Humidité relative (%)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	60,50	7,55	44,84	74,30	
Nul	20	59,00	7,90	44,84	74,30	**0,4451**
Faible	14	59,82	7,12	50,50	70,80	
Moyen	11	63,30	7,82	51,50	70,90	
Fort	4	66,23	4,00	60,80	70,40	
Absence	20	59,00	7,90	44,84	74,30	**0,2995**
Présence	29	22,51	2,32	17,45	26,10	
Temps d'ouverture des fenêtres (heure / jour)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	1,00	3,96	0,00	18,00	
Nul	20	1,00	2,73	0,00	12,00	**0,1526**
Faible	14	0,75	3,10	0,25	12,00	
Moyen	11	1,00	4,51	0,00	12,00	
Fort	4	7,00	8,18	1,00	18,00	
Absence	20	1,00	2,73	0,00	12,00	**0,5393**
Présence	29	1,00	4,84	0,00	18,00	
Durée d'exposition quotidienne (heure / jour)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	40	14,00	4,35	4,00	24,00	
Nul	16	14,50	4,54	4,00	20,00	**0,8774**
Faible	12	14,00	4,77	7,00	24,00	
Moyen	9	14,00	3,71	12,00	21,00	
Fort	3	14,00	5,51	9,00	20,00	
Absence	16	14,50	4,54	4,00	20,00	**0,8998**
Présence	24	14,00	4,33	7,00	24,00	

Acarex test									
	Effectif total		Faible		Moyen		Nul		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	42	100.00	3	100.00	4	100.00	
Nul	20	40.82	17	40.48	1	33.33	2	50.00	**0,5442**
Faible	14	28.57	11	26.19	1	33.33	2	50.00	
Moyen	11	22.45	11	26.19					
Fort	4	8.16	3	7.14	1	33.33			
Absence	20	40.82	17	40.48	1	33.33	2	50.00	**1,0000**
Présence	29	59.18	25	59.52	2	66.67	2	50.00	

Tabagisme actif							
	Effectif total		NON		OUI		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	34	100.00	15	100.00	
Nul	20	40.82	15	44.12	5	33.33	**0,9025**
Faible	14	28.57	9	26.47	5	33.33	
Moyen	11	22.45	7	20.59	4	26.67	
Fort	4	8.16	3	8.82	1	6.67	
Absence	20	40.82	15	44.12	5	33.33	**0,4790** *
Présence	29	59.18	19	55.88	10	66.67	

Tabagisme passif							
	Effectif total		NON		OUI		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	28	100.00	21	100.00	
Nul	20	40.82	14	50.00	6	28.57	**0,1170**
Faible	14	28.57	9	32.14	5	23.81	
Moyen	11	22.45	3	10.71	8	38.10	
Fort	4	8.16	2	7.14	2	9.52	

Absence	20	40.82	14	50.00	6	28.57			**0,1310** *
Présence	29	59.18	14	50.00	15	71.43			
Surface contaminée									
	Effectif total		Faible		Moyenne		Elevée		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	8	100.00	30	100.00	11	100.00	
Nul	20	40.82	5	62.50	14	46.67	1	9.09	**0,0720**
Faible	14	28.57	1	12.50	10	33.33	3	27.27	
Moyen	11	22.45	2	25.00	4	13.33	5	45.45	
Fort	4	8.16			2	6.67	2	18.18	
Absence	20	40.82	5	62.50	14	46.67	1	9.09	**0,0385**
Présence	29	59.18	3	37.50	16	53.33	10	90.91	
Odeur de moisi									
	Effectif total		NON		OUI				Test statistique
	n	%	N	%	N	%			
TOTAL	49	100.00	29	100.00	20	100.00			
Nul	20	40.82	16	55.17	4	20.00			**0,0739**
Faible	14	28.57	7	24.14	7	35.00			
Moyen	11	22.45	4	13.79	7	35.00			
Fort	4	8.16	2	6.90	2	10.00			
Absence	20	40.82	16	55.17	4	20.00			**0,0138** *
Présence	29	59.18	13	44.83	16	80.00			
Présence de plantes									
	Effectif total		0		1 à 4		5 et +		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	17	100.00	20	100.00	12	100.00	
Nul	20	40.82	8	47.06	7	35.00	5	41.67	**0,8999**
Faible	14	28.57	5	29.41	6	30.00	3	25.00	
Moyen	11	22.45	2	11.76	6	30.00	3	25.00	
Fort	4	8.16	2	11.76	1	5.00	1	8.33	
Absence	20	40.82	8	47.06	7	35.00	5	41.67	**0,7566** *
Présence	29	59.18	9	52.94	13	65.00	7	58.33	
Présence d'animaux									
	Effectif total		NON		OUI				Test statistique
	n	%	N	%	N	%			
TOTAL	49	100.00	26	100.00	23	100.00			
Nul	20	40.82	11	42.31	9	39.13			**0,7888**
Faible	14	28.57	6	23.08	8	34.78			
Moyen	11	22.45	7	26.92	4	17.39			
Fort	4	8.16	2	7.69	2	8.70			
Absence	20	40.82	11	42.31	9	39.13			**0,8213** *
Présence	29	59.18	15	57.69	14	60.87			
Type de ventilation									
	Effectif total		Ventilation naturelle		VMC débit constant		VMC double flux		VMC non fonctionnelle		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	21	100.00	23	100.00	1	100.00	4	100.00	
Nul	20	40.82	7	33.33	11	47.83	1	100.00	1	25.00	**0,8026**
Faible	14	28.57	8	38.10	4	17.39			2	50.00	
Moyen	11	22.45	4	19.05	6	26.09			1	25.00	
Fort	4	8.16	2	9.52	2	8.70					
Absence	20	40.82	7	33.33	11	47.83	1	100.00	1	25.00	**0,4689**
Présence	29	59.18	14	66.67	12	52.17			3	75.00	
Type de chauffage									
	Effectif total		Centralisé		Individuel				Test statistique
	n	%	N	%	N	%			

TOTAL	49	100.00	13	100.00	36	100.00	
Nul	20	40.82	6	46.15	14	38.89	
Faible	14	28.57	5	38.46	9	25.00	**0,5552**
Moyen	11	22.45	2	15.38	9	25.00	
Fort	4	8.16			4	11.11	
Absence	20	40.82	6	46.15	14	38.89	**0,6478** *
Présence	29	59.18	7	53.85	22	61.11	

Présence et usage d'un sèche-linge

	Effectif total		NON		OUI		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	28	100.00	21	100.00	
Nul	20	40.82	10	35.71	10	47.62	
Faible	14	28.57	9	32.14	5	23.81	**0,7458**
Moyen	11	22.45	6	21.43	5	23.81	
Fort	4	8.16	3	10.71	1	4.76	
Absence	20	40.82	10	35.71	10	47.62	**0,4014** *
Présence	29	59.18	18	64.29	11	52.38	

Utilisation d'un déshumidificateur ou d'un absorbeur

	Effectif total		Aucun		Absorbeur		Déshumidificateur électrique		Déshumidificateur industriel		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	31	100.00	14	100.00	3	100.00	1	100.00	
Nul	20	40.82	12	38.71	5	35.71	3	100.00			
Faible	14	28.57	10	32.26	3	21.43			1	100.00	**0,5962**
Moyen	11	22.45	6	19.35	5	35.71					
Fort	4	8.16	3	9.68	1	7.14					
Absence	20	40.82	12	38.71	5	35.71	3	100.00			**0,1353**
Présence	29	59.18	19	61.29	9	64.29			1	100.00	

Utilisation d'un déshumidificateur ou d'un absorbeur

	Effectif total		NON		OUI		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	31	100.00	18	100.00	
Nul	20	40.82	12	38.71	8	44.44	
Faible	14	28.57	10	32.26	4	22.22	**0,8284**
Moyen	11	22.45	6	19.35	5	27.78	
Fort	4	8.16	3	9.68	1	5.56	
Absence	20	40.82	12	38.71	8	44.44	**0,6938** *
Présence	29	59.18	19	61.29	10	55.56	

Energie utilisée pour la cuisson

	Effectif total		Aucune		Electricité		Gaz de ville		Propane		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	1	100.00	20	100.00	24	100.00	4	100.00	
Nul	20	40.82			9	45.00	10	41.67	1	25.00	
Faible	14	28.57			6	30.00	7	29.17	1	25.00	**0,2040**
Moyen	11	22.45			3	15.00	7	29.17	1	25.00	
Fort	4	8.16	1	100.00	2	10.00			1	25.00	
Absence	20	40.82			9	45.00	10	41.67	1	25.00	**0,9476**
Présence	29	59.18	1	100.00	11	55.00	14	58.33	3	75.00	

Type de vitrage

	Effectif total		Vitrage simple		Double vitrage		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	7	100.00	42	100.00	
Nul	20	40.82	4	57.14	16	38.10	
Faible	14	28.57	1	14.29	13	30.95	**0,0702**
Moyen	11	22.45			11	26.19	
Fort	4	8.16	2	28.57	2	4.76	
Absence	20	40.82	4	57.14	16	38.10	**0,4221**

Présence	29	59.18	3	42.86	26	61.90	
	Présence de traces d'humidité dans l'habitat						Test statistique
	Effectif total		NON		OUI		
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	9	100.00	40	100.00	
Nul	20	40.82	4	44.44	16	40.00	**0,8611**
Faible	14	28.57	3	33.33	11	27.50	
Moyen	11	22.45	1	11.11	10	25.00	
Fort	4	8.16	1	11.11	3	7.50	
Absence	20	40.82	4	44.44	16	40.00	**1,0000**
Présence	29	59.18	5	55.56	24	60.00	

Résultats en rouge : résultats pour lesquels une différence significative inférieure à 0,05 est observée.

Un lien entre la présence des maux de tête chez les résidents et la concentration dans l'air d'*Aspergillus versicolor* (p=0,0154), de *Penicillium crustosum* (p=0,0163), des particules de 2 à 15 µm (p=0,0419), l'étendue de la surface contaminée (p=0,0385) et la présence d'une odeur de moisi (p=0,0138) a pu être observé. Par rapport à l'intensité ressentie de ce symptôme, un lien avec la concentration d'*Aspergillus versicolor* (p=0,0375) et de *Penicillium crustosum* (p=0,0207) dans l'air a été observé.

Tableau 55 : Recherche de variables explicatives pour le symptôme « Douleurs musculaires » par niveau d'intensité (nul, faible, moyen et fort) et par catégorie (présence ou absence). Les tests statistiques utilisés étaient des tests de Kruskal-Wallis (classes d'intensité) et de Wilcoxon (fréquence) pour les variables quantitatives et des tests de Fisher ou du Khi2 (quand les effectifs le permettaient, marqué par un astérisque) pour les variables qualitatives.

Douleurs musculaires	**Variables explicatives**					**p-value**
	CFU totales (CFU/m³ d'air)					
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	313,00	53265,60	22,70	361000,00	
Nul	34	317,00	893,38	22,70	3070,00	**0,1181**
Faible	11	212,00	108775,27	25,00	361000,00	
Moyen	3	14400,00	47053,98	570,00	88100,00	
Fort	1	292,00	-	292,00	292,00	
Absence	34	317,00	893,38	22,70	3070,00	**0,8708**
Présence	15	322,00	94025,34	25,00	361000,00	
	***Aspergillus versicolor* (CFU/m³ d'air)**					
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	17,90	50862,30	0,00	344000,00	
Nul	34	11,95	343,59	0,00	1590,00	**0,0929**
Faible	11	17,50	103706,60	0,00	344000,00	
Moyen	3	12600,00	45918,90	191,00	85200,00	
Fort	1	6,67	-	6,67	6,67	
Absence	34	11,95	343,59	0,00	1590,00	**0,2688**
Présence	15	28,60	89723,27	0,00	344000,00	
	***Aspergillus fumigatus* (CFU/m³ d'air)**					
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	0,00	5,66	0,00	29,00	
Nul	34	0,00	5,06	0,00	29,00	**0,1487**
Faible	11	0,00	1,90	0,00	5,88	

Moyen	3	0,00	0,00	0,00	0,00	
Fort	1	26,70	-	26,70	26,70	
Absence	34	0,00	5,06	0,00	29,00	**0,6004**
Présence	15	0,00	6,89	0,00	26,70	
***Penicillium brevicompactum* (CFU/m³ d'air)**						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	3,33	108,36	0,00	669,00	
Nul	34	3,33	127,07	0,00	669,00	
Faible	11	2,63	6,19	0,00	18,90	**0,6368**
Moyen	3	15,60	39,06	0,00	74,10	
Fort	1	22,20	-	22,20	22,20	
Absence	34	3,33	127,07	0,00	669,00	**0,8413**
Présence	15	2,96	19,02	0,00	74,10	
***Penicillium chrysogenum* (CFU/m³ d'air)**						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	12,00	825,60	0,00	5190,00	
Nul	34	9,88	213,91	0,00	1000,00	
Faible	11	10,50	1559,09	0,00	5190,00	**0,5058**
Moyen	3	1110,00	1095,33	29,40	2220,00	
Fort	1	1,11	-	1,11	1,11	
Absence	34	9,88	213,91	0,00	1000,00	**0,5766**
Présence	15	12,30	1414,34	0,00	5190,00	
***Penicillium crustosum* (CFU/m³ d'air)**						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	2,85	146,66	0,00	741,00	
Nul	34	3,10	122,68	0,00	719,00	
Faible	11	3,07	221,98	0,00	741,00	**0,1376**
Moyen	3	66,70	40,81	0,00	74,10	
Fort	1	2,22	-	2,22	2,22	
Absence	34	3,10	122,68	0,00	719,00	**0,3424**
Présence	15	3,07	189,26	0,00	741,00	
Particules totales (par m³ d'air)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	35680000,00	306900000,00	7800874,00	2007000000,00	
Nul	34	27800475,90	360249625,22	7801157,52	2006813492,60	
Faible	11	42700000,00	102541810,05	10100000,00	372000000,00	**0,7073**
Moyen	3	49326220,57	71677993,33	30173642,68	162786870,19	
Fort	1	61936798,56	-	61936798,56	61936798,56	
Absence	34	27800475,90	360249625,22	7801157,52	2006813492,60	**0,4348**
Présence	15	49326220,57	90950569,13	10100000,00	372000000,00	
Particules de 2 à 15 µm de diamètre (par m³ d'air)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	371621,00	716121,00	158983,00	4194709,00	
Nul	34	342906,02	489379,31	158983,43	2673703,11	
Faible	11	323094,46	518589,43	201111,78	1910684,00	**0,6754**
Moyen	3	877441,08	2135577,79	206080,05	4194709,14	
Fort	1	405156,49	-	405156,49	405156,49	
Absence	34	342906,02	489379,31	158983,43	2673703,11	**0,3398**
Présence	15	405156,49	1042891,91	201111,78	4194709,14	
Concentration d'endotoxines (ng / m³ d'air)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	5,79	18,35	0,14	91,13	
Nul	34	5,98	19,21	0,15	91,13	
Faible	11	6,63	17,50	0,29	47,25	**0,0238**
Moyen	3	0,18	0,07	0,14	0,28	
Fort	1	0,17	-	0,17	0,17	

Absence	34	5,98	19,21	0,15	91,13	**0,1209**
Présence	15	2,74	15,87	0,14	47,25	

Concentration de glucanes (ng / m³ d'air)

	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	1,05	2,21	0,16	15,48	
Nul	34	1,00	2,57	0,16	15,48	**0,9998**
Faible	11	1,26	1,05	0,28	3,72	
Moyen	3	1,05	0,70	0,54	1,93	
Fort	1	1,00	-	1,00	1,00	
Absence	34	1,00	2,57	0,16	15,48	**1,0000**
Présence	15	1,05	0,93	0,28	3,72	

Température (°C)

	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	22,25	2,51	12,64	26,10	
Nul	34	22,30	2,13	17,45	25,11	**0,1685**
Faible	11	21,72	3,45	12,64	25,50	
Moyen	3	24,30	1,17	23,90	26,10	
Fort	1	21,20	-	21,20	21,20	
Absence	34	22,30	2,13	17,45	25,11	**0,8537**
Présence	15	21,90	3,30	12,64	26,10	

Humidité relative (%)

	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	60,50	7,55	44,84	74,30	
Nul	34	59,77	7,10	44,84	74,30	**0,3574**
Faible	11	60,60	8,74	48,10	70,90	
Moyen	3	69,70	5,71	60,40	70,80	
Fort	1	67,90	-	67,90	67,90	
Absence	34	59,77	7,10	44,84	74,30	**0,3453**
Présence	15	63,30	8,33	48,10	70,90	

Temps d'ouverture des fenêtres (heure / jour)

	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	1,00	3,96	0,00	18,00	
Nul	34	1,00	4,60	0,00	18,00	**0,0404**
Faible	11	2,00	3,24	0,25	12,00	
Moyen	3	0,50	0,14	0,25	0,50	
Fort	1	0,25	-	0,25	0,25	
Absence	34	1,00	4,60	0,00	18,00	**0,6978**
Présence	15	1,00	2,94	0,25	12,00	

Durée d'exposition quotidienne (heure / jour)

	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	40	14,00	4,35	4,00	24,00	
Nul	29	14,00	4,23	7,00	24,00	**0,8843**
Faible	10	15,00	5,16	4,00	21,00	
Moyen	1	16,00	,	16,00	16,00	
Fort	0					
Absence	29	14,00	4,23	7,00	24,00	**0,6675**
Présence	11	16,00	4,91	4,00	21,00	

Acarex test

	Effectif total		Faible		Moyen		Nul		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	42	100.00	3	100.00	4	100.00	
Nul	34	69.39	30	71.43			4	100.00	**0,0732**
Faible	11	22.45	9	21.43	2	66.67			
Moyen	3	6.12	2	4.76	1	33.33			
Fort	1	2.04	1	2.38					
Absence	34	69.39	30	71.43			4	100.00	**0,0202**

Présence	15	30.61	12	28.57	3	100.00	

Tabagisme actif							
	Effectif total		NON		OUI		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	34	100.00	15	100.00	
Nul	34	69.39	25	73.53	9	60.00	**0,4860**
Faible	11	22.45	7	20.59	4	26.67	
Moyen	3	6.12	2	5.88	1	6.67	
Fort	1	2.04			1	6.67	
Absence	34	69.39	25	73.53	9	60.00	**0,5022**
Présence	15	30.61	9	26.47	6	40.00	

Tabagisme passif							
	Effectif total		NON		OUI		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	28	100.00	21	100.00	
Nul	34	69.39	20	71.43	14	66.67	**0,8783**
Faible	11	22.45	6	21.43	5	23.81	
Moyen	3	6.12	2	7.14	1	4.76	
Fort	1	2.04			1	4.76	
Absence	34	69.39	20	71.43	14	66.67	**0,7204** *
Présence	15	30.61	8	28.57	7	33.33	

Surface contaminée									
	Effectif total		Faible		Moyenne		Elevée		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	8	100.00	30	100.00	11	100.00	
Nul	34	69.39	6	75.00	22	73.33	6	54.55	**0,6257**
Faible	11	22.45	2	25.00	6	20.00	3	27.27	
Moyen	3	6.12			1	3.33	2	18.18	
Fort	1	2.04			1	3.33			
Absence	34	69.39	6	75.00	22	73.33	6	54.55	**0,5130**
Présence	15	30.61	2	25.00	8	26.67	5	45.45	

Odeur de moisi							
	Effectif total		NON		OUI		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	29	100.00	20	100.00	
Nul	34	69.39	24	82.76	10	50.00	**0,0103**
Faible	11	22.45	4	13.79	7	35.00	
Moyen	3	6.12			3	15.00	
Fort	1	2.04	1	3.45			
Absence	34	69.39	24	82.76	10	50.00	**0,0145** *
Présence	15	30.61	5	17.24	10	50.00	

Présence de plantes									
	Effectif total		0		1 à 4		5 et +		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	17	100.00	20	100.00	12	100.00	
Nul	34	69.39	10	58.82	16	80.00	8	66.67	**0,5767**
Faible	11	22.45	4	23.53	3	15.00	4	33.33	
Moyen	3	6.12	2	11.76	1	5.00			
Fort	1	2.04	1	5.88					
Absence	34	69.39	10	58.82	16	80.00	8	66.67	**0,3687** *
Présence	15	30.61	7	41.18	4	20.00	4	33.33	

Présence d'animaux							
	Effectif total		NON		OUI		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	26	100.00	23	100.00	

Nul	34	69.39	18	69.23	16	69.57	
Faible	11	22.45	6	23.08	5	21.74	**0,9446**
Moyen	3	6.12	2	7.69	1	4.35	
Fort	1	2.04			1	4.35	
Absence	34	69.39	18	69.23	16	69.57	**0,9798** *
Présence	15	30.61	8	30.77	7	30.43	

Type de ventilation

	Effectif total		Ventilation naturelle		VMC débit constant		VMC double flux		VMC non fonctionnelle		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	21	100.00	23	100.00	1	100.00	4	100.00	
Nul	34	69.39	14	66.67	18	78.26			2	50.00	
Faible	11	22.45	3	14.29	5	21.74	1	100.00	2	50.00	**0,1433**
Moyen	3	6.12	3	14.29							
Fort	1	2.04	1	4.76							
Absence	34	69.39	14	66.67	18	78.26			2	50.00	**0,2492**
Présence	15	30.61	7	33.33	5	21.74	1	100.00	2	50.00	

Type de chauffage

	Effectif total		Centralisé		Individuel		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	13	100.00	36	100.00	
Nul	34	69.39	11	84.62	23	63.89	
Faible	11	22.45	1	7.69	10	27.78	**0,5421**
Moyen	3	6.12	1	7.69	2	5.56	
Fort	1	2.04			1	2.78	
Absence	34	69.39	11	84.62	23	63.89	**0,2925**
Présence	15	30.61	2	15.38	13	36.11	

Présence et usage d'un sèche-linge

	Effectif total		NON		OUI		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	28	100.00	21	100.00	
Nul	34	69.39	19	67.86	15	71.43	
Faible	11	22.45	5	17.86	6	28.57	**0,3432**
Moyen	3	6.12	3	10.71			
Fort	1	2.04	1	3.57			
Absence	34	69.39	19	67.86	15	71.43	**0,7884**
Présence	15	30.61	9	32.14	6	28.57	

Utilisation d'un déshumidificateur ou d'un absorbeur

	Effectif total		Aucun		Absorbeur		Déshumidificateur électrique		Déshumidificateur industriel		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	31	100.00	14	100.00	3	100.00	1	100.00	
Nul	34	69.39	21	67.74	10	71.43	2	66.67	1	100.00	
Faible	11	22.45	7	22.58	4	28.57					**0,3411**
Moyen	3	6.12	3	9.68							
Fort	1	2.04					1	33.33			
Absence	34	69.39	21	67.74	10	71.43	2	66.67	1	100.00	**1,0000**
Présence	15	30.61	10	32.26	4	28.57	1	33.33			

Utilisation d'un déshumidificateur ou d'un absorbeur

	Effectif total		NON		OUI		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	31	100.00	18	100.00	
Nul	34	69.39	21	67.74	13	72.22	
Faible	11	22.45	7	22.58	4	22.22	**0,4418**
Moyen	3	6.12	3	9.68			
Fort	1	2.04			1	5.56	
Absence	34	69.39	21	67.74	13	72.22	**0,7429** *

Présence	15	30.61	10	32.26	5	27.78					
Energie utilisée pour la cuisson											
	Effectif total		Aucune		Electricité		Gaz de ville		Propane		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	1	100.00	20	100.00	24	100.00	4	100.00	
Nul	34	69.39			12	60.00	18	75.00	4	100.00	
Faible	11	22.45	1	100.00	4	20.00	6	25.00			**0,1909**
Moyen	3	6.12			3	15.00					
Fort	1	2.04			1	5.00					
Absence	34	69.39			12	60.00	18	75.00	4	100.00	**0,1539**
Présence	15	30.61	1	100.00	8	40.00	6	25.00			
Type de vitrage											
	Effectif total		Vitrage simple		Double vitrage						Test statistique
	n	%	N	%	N	%					
TOTAL	49	100.00	7	100.00	42	100.00					
Nul	34	69.39	3	42.86	31	73.81					
Faible	11	22.45	3	42.86	8	19.05					**0,2193**
Moyen	3	6.12	1	14.29	2	4.76					
Fort	1	2.04			1	2.38					
Absence	34	69.39	3	42.86	31	73.81					**0,1794**
Présence	15	30.61	4	57.14	11	26.19					
Présence de traces d'humidité dans l'habitat											
	Effectif total		NON		OUI						Test statistique
	n	%	N	%	N	%					
TOTAL	49	100.00	9	100.00	40	100.00					
Nul	34	69.39	6	66.67	28	70.00					
Faible	11	22.45	3	33.33	8	20.00					**0,8560**
Moyen	3	6.12			3	7.50					
Fort	1	2.04			1	2.50					
Absence	34	69.39	6	66.67	28	70.00					**1,0000**
Présence	15	30.61	3	33.33	12	30.00					

Résultats en rouge : résultats pour lesquels une différence significative inférieure à 0,05 est observée.

Un lien entre l'apparition de douleurs musculaires chez les résidents et l'étendue de la surface contaminée (p=0,0202) et la présence d'une odeur de moisi (p=0,0145) a pu être observé. Un lien entre l'intensité de ce symptôme et la présence d'une odeur de moisi dans l'habitat (p=0,0103), la concentration d'endotoxines dans l'air (p=0,0238) et la durée quotidienne d'aération des pièces (p=0,0404) ressort également de l'analyse statistique.

Tableau 56 : Recherche de variables explicatives pour le symptôme « Douleurs resoiratoires » par niveau d'intensité (nul, faible, moyen et fort) et par catégorie (présence ou absence). Les tests statistiques utilisés étaient des tests de Kruskal-Wallis (classes d'intensité) et de Wilcoxon (fréquence) pour les variables quantitatives et des tests de Fisher ou du Khi2 (quand les effectifs le permettaient, marqué par un astérisque) pour les variables qualitatives.

Douleurs respiratoires	**Variables explicatives**					**p-value**
CFU totales (CFU/m³ d'air)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	313,00	53265,60	22,70	361000,00	
Nul	29	304,00	2691,39	22,70	14400,00	**0,3642**
Faible	10	198,50	114074,35	25,00	361000,00	
Moyen	8	640,00	30812,45	71,60	88100,00	
Fort	2	325,00	46,67	292,00	358,00	
Absence	29	304,00	2691,39	22,70	14400,00	**0,6254**
Présence	20	340,00	81936,73	25,00	361000,00	
***Aspergillus versicolor* (CFU/m³ d'air)**						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	17,90	50862,30	0,00	344000,00	
Nul	29	12,80	2340,13	0,00	12600,00	**0,4247**
Faible	10	9,83	108770,97	0,00	344000,00	
Moyen	8	125,05	30080,30	0,00	85200,00	
Fort	2	64,34	81,55	6,67	122,00	
Absence	29	12,80	2340,13	0,00	12600,00	**0,4980**
Présence	20	34,45	78246,87	0,00	344000,00	
***Aspergillus fumigatus* (CFU/m³ d'air)**						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	0,00	5,66	0,00	29,00	
Nul	29	0,00	5,43	0,00	29,00	**0,7978**
Faible	10	0,00	1,04	0,00	3,33	
Moyen	8	0,00	2,45	0,00	5,88	
Fort	2	13,35	18,88	0,00	26,70	
Absence	29	0,00	5,43	0,00	29,00	**0,8639**
Présence	20	0,00	6,01	0,00	26,70	
***Penicillium brevicompactum* (CFU/m³ d'air)**						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	3,33	108,36	0,00	669,00	
Nul	29	4,67	69,38	0,00	290,00	**0,6312**
Faible	10	1,32	7,72	0,00	18,90	
Moyen	8	2,76	234,21	0,00	669,00	
Fort	2	13,38	12,47	4,56	22,20	
Absence	29	4,67	69,38	0,00	290,00	**0,5313**
Présence	20	2,80	148,35	0,00	669,00	
***Penicillium chrysogenum* (CFU/m³ d'air)**						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	12,00	825,60	0,00	5190,00	
Nul	29	16,10	270,41	0,00	1110,00	**0,2197**
Faible	10	7,43	1638,89	0,00	5190,00	
Moyen	8	37,25	769,81	0,00	2220,00	
Fort	2	0,56	0,78	0,00	1,11	
Absence	29	16,10	270,41	0,00	1110,00	**0,6441**
Présence	20	7,43	1230,81	0,00	5190,00	
***Penicillium crustosum* (CFU/m³ d'air)**						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	2,85	146,66	0,00	741,00	
Nul	29	3,89	14,83	0,00	74,10	**0,7334**

Faible	10	3,21	232,89	0,00	741,00	
Moyen	8	4,07	251,13	0,00	719,00	
Fort	2	1,11	1,57	0,00	2,22	
Absence	29	3,89	14,83	0,00	74,10	**0,8279**
Présence	20	2,85	223,05	0,00	741,00	
Particules totales (par m³ d'air)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	35680000,00	306900000,00	7800874,00	2007000000,00	
Nul	29	32700000,00	389182900,38	8870000,00	2006813492,60	
Faible	10	43553741,72	46739024,81	8870000,00	162786870,19	**0,6518**
Moyen	8	33019716,91	27690614,45	7801157,52	95900000,00	
Fort	2	36018399,28	36654151,78	10100000,00	61936798,56	
Absence	29	32700000,00	389182900,38	8870000,00	2006813492,60	**0,2340**
Présence	20	38750000,00	37801240,95	7801157,52	162786870,19	
Particules de 2 à 15 µm de diamètre (par m³ d'air)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	371621,00	716121,00	158983,00	4194709,00	
Nul	29	348528,66	587804,27	158983,43	2673703,11	
Faible	10	315938,73	229406,65	201111,78	971942,99	**0,3019**
Moyen	8	516646,78	1315977,75	235600,00	4194709,14	
Fort	2	303928,25	143158,36	202700,00	405156,49	
Absence	29	348528,66	587804,27	158983,43	2673703,11	**0,5898**
Présence	20	364125,47	872901,62	201111,78	4194709,14	
Concentration d'endotoxines (ng / m³ d'air)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	5,79	18,35	0,14	91,13	
Nul	29	5,98	19,73	0,14	91,13	
Faible	10	2,92	14,34	0,28	47,25	**0,3929**
Moyen	8	10,78	19,16	0,18	54,15	
Fort	2	6,68	9,21	0,17	13,19	
Absence	29	5,98	19,73	0,14	91,13	**0,4765**
Présence	20	3,75	16,18	0,17	54,15	
Concentration de glucanes (ng / m³ d'air)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	1,05	2,21	0,16	15,48	
Nul	29	1,05	2,74	0,16	15,48	
Faible	10	0,59	1,10	0,17	3,72	**0,4829**
Moyen	8	1,17	0,97	0,41	3,04	
Fort	2	1,23	0,33	1,00	1,47	
Absence	29	1,05	2,74	0,16	15,48	**0,7295**
Présence	20	1,03	0,99	0,17	3,72	
Température (°C)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	22,25	2,51	12,64	26,10	
Nul	29	22,30	2,09	18,75	26,10	
Faible	10	21,81	2,24	19,20	25,50	**0,4818**
Moyen	8	23,01	2,51	17,45	24,25	
Fort	2	16,92	6,05	12,64	21,20	
Absence	29	22,30	2,09	18,75	26,10	**0,7602**
Présence	20	21,85	3,05	12,64	25,50	
Humidité relative (%)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	60,50	7,55	44,84	74,30	
Nul	29	60,80	7,30	44,84	74,30	
Faible	10	57,59	6,63	48,10	70,40	**0,1839**
Moyen	8	59,93	8,74	51,50	70,90	

Fort	2	69,40	2,12	67,90	70,89	
Absence	29	60,80	7,30	44,84	74,30	**0,5484**
Présence	20	59,82	7,88	48,10	70,90	

Temps d'ouverture des fenêtres (heure / jour)

	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	1,00	3,96	0,00	18,00	
Nul	29	1,00	2,32	0,00	12,00	
Faible	10	2,00	4,51	0,25	12,00	**0,0363**
Moyen	8	3,00	6,77	0,50	18,00	
Fort	2	1,13	1,24	0,25	2,00	
Absence	29	1,00	2,32	0,00	12,00	**0,0075**
Présence	20	2,00	5,43	0,25	18,00	

Durée d'exposition quotidienne (heure / jour)

	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	40	14,00	4,35	4,00	24,00	
Nul	24	14,00	4,76	4,00	24,00	
Faible	9	14,00	2,65	12,00	20,00	**0,3483**
Moyen	6	19,00	4,65	9,00	21,00	
Fort	1	20,00	-	20,00	20,00	
Absence	24	14,00	4,76	4,00	24,00	**0,4094**
Présence	16	15,00	3,74	9,00	21,00	

Acarex test

	Effectif total		Faible		Moyen		Nul		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	42	100.00	3	100.00	4	100.00	
Nul	29	59.18	25	59.52	1	33.33	3	75.00	
Faible	10	20.41	9	21.43	1	33.33			**0,2581**
Moyen	8	16.33	7	16.67			1	25.00	
Fort	2	4.08	1	2.38	1	33.33			
Absence	29	59.18	25	59.52	1	33.33	3	75.00	**0,6878**
Présence	20	40.82	17	40.48	2	66.67	1	25.00	

Tabagisme actif

	Effectif total		NON		OUI		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	34	100.00	15	100.00	
Nul	29	59.18	23	67.65	6	40.00	
Faible	10	20.41	6	17.65	4	26.67	**0,1002**
Moyen	8	16.33	5	14.71	3	20.00	
Fort	2	4.08			2	13.33	
Absence	29	59.18	23	67.65	6	40.00	**0,0696** *
Présence	20	40.82	11	32.35	9	60.00	

Tabagisme passif

	Effectif total		NON		OUI		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	28	100.00	21	100.00	
Nul	29	59.18	19	67.86	10	47.62	
Faible	10	20.41	4	14.29	6	28.57	**0,2397**
Moyen	8	16.33	5	17.86	3	14.29	
Fort	2	4.08			2	9.52	
Absence	29	59.18	19	67.86	10	47.62	**0,1538** *
Présence	20	40.82	9	32.14	11	52.38	

Surface contaminée

	Effectif total		Faible		Moyenne		Elevée		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	8	100.00	30	100.00	11	100.00	
Nul	29	59.18	5	62.50	19	63.33	5	45.45	**0,8385**

Faible	10	20.41	2	25.00	6	20.00	2	18.18	
Moyen	8	16.33	1	12.50	4	13.33	3	27.27	
Fort	2	4.08			1	3.33	1	9.09	
Absence	29	59.18	5	62.50	19	63.33	5	45.45	**0,6547**
Présence	20	40.82	3	37.50	11	36.67	6	54.55	

Odeur de moisi

	Effectif total		NON		OUI		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	29	100.00	20	100.00	
Nul	29	59.18	19	65.52	10	50.00	
Faible	10	20.41	3	10.34	7	35.00	**0,1798**
Moyen	8	16.33	6	20.69	2	10.00	
Fort	2	4.08	1	3.45	1	5.00	
Absence	29	59.18	19	65.52	10	50.00	**0,2774** *
Présence	20	40.82	10	34.48	10	50.00	

Présence de plantes

	Effectif total		0		1 à 4		5 et +		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	17	100.00	20	100.00	12	100.00	
Nul	29	59.18	10	58.82	12	60.00	7	58.33	
Faible	10	20.41	3	17.65	5	25.00	2	16.67	**0,7557**
Moyen	8	16.33	2	11.76	3	15.00	3	25.00	
Fort	2	4.08	2	11.76					
Absence	29	59.18	10	58.82	12	60.00	7	58.33	**0,9950** *
Présence	20	40.82	7	41.18	8	40.00	5	41.67	

Présence d'animaux

	Effectif total		NON		OUI		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	26	100.00	23	100.00	
Nul	29	59.18	17	65.38	12	52.17	
Faible	10	20.41	5	19.23	5	21.74	**0,5574**
Moyen	8	16.33	4	15.38	4	17.39	
Fort	2	4.08			2	8.70	
Absence	29	59.18	17	65.38	12	52.17	**0,3477** *
Présence	20	40.82	9	34.62	11	47.83	

Type de ventilation

	Effectif total		Ventilation naturelle		VMC débit constant		VMC double flux		VMC non fonctionnelle		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	21	100.00	23	100.00	1	100.00	4	100.00	
Nul	29	59.18	11	52.38	17	73.91			1	25.00	
Faible	10	20.41	4	19.05	3	13.04	1	100.00	2	50.00	**0,0824**
Moyen	8	16.33	5	23.81	3	13.04					
Fort	2	4.08	1	4.76					1	25.00	
Absence	29	59.18	11	52.38	17	73.91			1	25.00	**0,0901**
Présence	20	40.82	10	47.62	6	26.09	1	100.00	3	75.00	

Type de chauffage

	Effectif total		Centralisé		Individuel		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	13	100.00	36	100.00	
Nul	29	59.18	9	69.23	20	55.56	
Faible	10	20.41	3	23.08	7	19.44	**0,7348**
Moyen	8	16.33	1	7.69	7	19.44	
Fort	2	4.08			2	5.56	
Absence	29	59.18	9	69.23	20	55.56	**0,3899** *
Présence	20	40.82	4	30.77	16	44.44	

Présence et usage d'un sèche-linge

	Effectif total		NON		OUI		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	28	100.00	21	100.00	
Nul	29	59.18	17	60.71	12	57.14	**0,5744**
Faible	10	20.41	4	14.29	6	28.57	
Moyen	8	16.33	6	21.43	2	9.52	
Fort	2	4.08	1	3.57	1	4.76	
Absence	29	59.18	17	60.71	12	57.14	**0,8013** *
Présence	20	40.82	11	39.29	9	42.86	

Utilisation d'un déshumidificateur ou d'un absorbeur

	Effectif total		Aucun		Absorbeur		Déshumidificateur électrique		Déshumidificateur industriel		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	31	100.00	14	100.00	3	100.00	1	100.00	
Nul	29	59.18	16	51.61	10	71.43	2	66.67	1	100.00	**0,3438**
Faible	10	20.41	9	29.03	1	7.14					
Moyen	8	16.33	5	16.13	3	21.43					
Fort	2	4.08	1	3.23			1	33.33			
Absence	29	59.18	16	51.61	10	71.43	2	66.67	1	100.00	**0,6490**
Présence	20	40.82	15	48.39	4	28.57	1	33.33			

Utilisation d'un déshumidificateur ou d'un absorbeur

	Effectif total		NON		OUI		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	31	100.00	18	100.00	
Nul	29	59.18	16	51.61	13	72.22	**0,2081**
Faible	10	20.41	9	29.03	1	5.56	
Moyen	8	16.33	5	16.13	3	16.67	
Fort	2	4.08	1	3.23	1	5.56	
Absence	29	59.18	16	51.61	13	72.22	**0,1571** *
Présence	20	40.82	15	48.39	5	27.78	

Energie utilisée pour la cuisson

	Effectif total		Aucune		Electricité		Gaz de ville		Propane		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	1	100.00	20	100.00	24	100.00	4	100.00	
Nul	29	59.18	1	100.00	11	55.00	15	62.50	2	50.00	**0,9869**
Faible	10	20.41			4	20.00	5	20.83	1	25.00	
Moyen	8	16.33			4	20.00	3	12.50	1	25.00	
Fort	2	4.08			1	5.00	1	4.17			
Absence	29	59.18	1	100.00	11	55.00	15	62.50	2	50.00	**0,9476**
Présence	20	40.82			9	45.00	9	37.50	2	50.00	

Type de vitrage

	Effectif total		Vitrage simple		Double vitrage		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	7	100.00	42	100.00	
Nul	29	59.18	4	57.14	25	59.52	**0,5419**
Faible	10	20.41	1	14.29	9	21.43	
Moyen	8	16.33	1	14.29	7	16.67	
Fort	2	4.08	1	14.29	1	2.38	
Absence	29	29	59.18	4	57.14	25	**1,0000**
Présence	20	20	40.82	3	42.86	17	

Présence de traces d'humidité dans l'habitat

	Effectif total		NON		OUI		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	9	100.00	40	100.00	
Nul	29	59.18	6	66.67	23	57.50	**1,0000**
Faible	10	20.41	2	22.22	8	20.00	
Moyen	8	16.33	1	11.11	7	17.50	

Fort	2	4.08			2	5.00	
Absence	29	59.18	6	66.67	23	57.50	**0,7199**
Présence	20	40.82	3	33.33	17	42.50	

Résultats en rouge : résultats pour lesquels une différence significative inférieure à 0,05 est observée.

Un lien entre le temps d'aération quotidien des pièces avec la présence (p=0,0363) et l'intensité (p=0,0075) ressentie des douleurs respiratoires a pu être observé chez les résidents.

Tableau 57 : Recherche de variables explicatives pour le symptôme « Besoin de cracher » par niveau d'intensité (nul, faible, moyen et fort) et par catégorie (présence ou absence). Les tests statistiques utilisés étaient des tests de Kruskal-Wallis (classes d'intensité) et de Wilcoxon (fréquence) pour les variables quantitatives et des tests de Fisher ou du Khi2 (quand les effectifs le permettaient, marqué par un astérisque) pour les variables qualitatives.

Besoin de cracher	**Variables explicatives**					**p-value**
	CFU totales (CFU/m³ d'air)					
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	313,00	53265,60	22,70	361000,00	
Nul	33	258,00	835,72	22,70	3070,00	
Faible	1	260,00	-	260,00	260,00	
Moyen	11	390,00	4230,50	95,60	14400,00	**0,4106**
Fort	4	44211,00	170852,37	71,60	361000,00	
Absence	33	258,00	835,72	22,70	3070,00	**0,1222**
Présence	16	374,00	91101,42	71,60	361000,00	
	***Aspergillus versicolor* (CFU/m³ d'air)**					
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	17,90	50862,30	0,00	344000,00	
Nul	33	11,10	290,51	0,00	1590,00	
Faible	1	26,00	-	26,00	26,00	
Moyen	11	73,30	3758,84	0,00	12600,00	**0,1855**
Fort	4	42614,30	162822,72	9,46	344000,00	
Absence	33	11,10	290,51	0,00	1590,00	**0,0489**
Présence	16	64,15	86966,69	0,00	344000,00	
	***Aspergillus fumigatus* (CFU/m³ d'air)**					
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	0,00	5,66	0,00	29,00	
Nul	33	0,00	6,68	0,00	29,00	
Faible	1	0,00	-	0,00	0,00	
Moyen	11	0,00	0,72	0,00	2,11	**0,5931**
Fort	4	0,00	2,94	0,00	5,88	
Absence	33	0,00	6,68	0,00	29,00	**0,2130**
Présence	16	0,00	1,52	0,00	5,88	
	***Penicillium brevicompactum* (CFU/m³ d'air)**					
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	3,33	108,36	0,00	669,00	
Nul	33	2,63	125,86	0,00	669,00	
Faible	1	0,00	-	0,00	0,00	
Moyen	11	11,70	61,85	0,00	208,00	**0,1771**
Fort	4	1,28	1,60	0,00	2,96	

Absence	33	2,63	125,86	0,00	669,00	**0,7346**
Présence	16	3,33	53,00	0,00	208,00	
***Penicillium chrysogenum* (CFU/m³ d'air)**						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	12,00	825,60	0,00	5190,00	
Nul	33	3,78	212,16	0,00	1000,00	**0,0405**
Faible	1	30,20	-	30,20	30,20	
Moyen	11	32,90	331,14	0,00	1110,00	
Fort	4	1124,55	2450,19	5,37	5190,00	
Absence	33	3,78	212,16	0,00	1000,00	**0,0053**
Présence	16	31,55	1363,32	0,00	5190,00	
***Penicillium crustosum* (CFU/m³ d'air)**						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	2,85	146,66	0,00	741,00	
Nul	33	2,22	124,52	0,00	719,00	**0,3055**
Faible	1	10,40	-	10,40	10,40	
Moyen	11	3,83	21,57	0,00	74,10	
Fort	4	34,89	360,00	0,99	741,00	
Absence	33	2,22	124,52	0,00	719,00	**0,2457**
Présence	16	4,12	183,49	0,00	741,00	
Particules totales (par m³ d'air)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	35680000,00	306900000,00	7800874,00	2007000000,00	
Nul	33	37200000,00	347776165,36	7801157,52	2006813492,60	**0,4650**
Faible	1	89822363,41	-	89822363,41	89822363,41	
Moyen	11	26379047,49	231924201,63	10100000,00	794411282,82	
Fort	4	46013110,29	4793475,42	40300000,00	49907483,44	
Absence	33	37200000,00	347776165,36	7801157,52	2006813492,60	**0,7011**
Présence	16	31436821,34	190751582,65	10100000,00	794411282,82	
Particules de 2 à 15 µm de diamètre (par m³ d'air)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	371621,00	716121,00	158983,00	4194709,00	
Nul	33	319307,45	555229,70	158983,43	2673703,11	**0,34008**
Faible	1	394713,03	-	394713,03	394713,03	
Moyen	11	425382,97	233480,49	202700,00	877441,08	
Fort	4	919771,50	1781453,87	235600,00	4194709,14	
Absence	33	319307,45	555229,70	158983,43	2673703,11	**0,2242**
Présence	16	430641,48	963500,37	202700,00	4194709,14	
Concentration d'endotoxines (ng / m³ d'air)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	5,79	18,35	0,14	91,13	
Nul	33	5,53	20,30	0,15	91,13	**0,3164**
Faible	1	15,88	-	15,88	15,88	
Moyen	11	9,80	15,09	0,14	54,15	
Fort	4	1,52	3,02	0,18	6,63	
Absence	33	5,53	20,30	0,15	91,13	**0,8063**
Présence	16	7,62	13,40	0,14	54,15	
Concentration de glucanes (ng / m³ d'air)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	48	1,05	2,21	0,16	15,48	
Nul	33	1,05	2,61	0,16	15,48	**0,9641**
Faible	1	0,95	-	0,95	0,95	
Moyen	11	0,82	0,94	0,26	3,04	
Fort	4	1,44	0,94	0,41	2,58	
Absence	33	1,05	2,61	0,16	15,48	**0,8898**
Présence	16	1,00	0,89	0,26	3,04	

Température (°C)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	22,25	2,51	12,64	26,10	
Nul	33	22,20	2,10	17,45	25,11	
Faible	1	21,00	-	21,00	21,00	
Moyen	11	21,90	3,64	12,64	26,10	**0,2441**
Fort	4	24,08	1,23	22,51	25,50	
Absence	33	22,20	2,10	17,45	25,11	
Présence	16	22,78	3,29	12,64	26,10	**0,9066**

Humidité relative (%)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	60,50	7,55	44,84	74,30	
Nul	33	60,30	6,78	44,84	74,30	
Faible	1	55,00	-	55,00	55,00	
Moyen	11	68,30	7,72	48,10	70,89	**0,0873**
Fort	4	70,60	9,37	51,97	70,90	
Absence	33	60,30	6,78	44,84	74,30	
Présence	16	68,50	7,99	48,10	70,90	**0,0313**

Temps d'ouverture des fenêtres (heure / jour)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	1,00	3,96	0,00	18,00	
Nul	33	1,00	4,65	0,00	18,00	
Faible	1	0,00	-	0,00	0,00	
Moyen	11	1,00	1,07	0,25	4,00	**0,2783**
Fort	4	2,50	5,31	0,50	12,00	
Absence	33	1,00	4,65	0,00	18,00	
Présence	16	1,00	2,91	0,00	12,00	**0,7353**

Durée d'exposition quotidienne (heure / jour)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	40	14,00	4,35	4,00	24,00	
Nul	29	14,00	4,26	4,00	24,00	
Faible	1	14,00	-	14,00	14,00	
Moyen	8	17,00	5,07	7,00	20,00	**0,3892**
Fort	2	19,50	2,12	18,00	21,00	
Absence	29	14,00	4,26	4,00	24,00	
Présence	11	18,00	4,62	7,00	21,00	**0,2499**

Acarex test									
	Effectif total		Faible		Moyen		Nul		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	42	100.00	3	100.00	4	100.00	
Nul	33	67.35	30	71.43			3	75.00	
Faible	1	2.04	1	2.38					
Moyen	11	22.45	8	19.05	2	66.67	1	25.00	**0,1474**
Fort	4	8.16	3	7.14	1	33.33			
Absence	33	67.35	30	71.43			3	75.00	
Présence	16	32.65	12	28.57	3	100.00	1	25.00	**0,0389**

Tabagisme actif							Test statistique
	Effectif total		NON		OUI		
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	34	100.00	15	100.00	
Nul	33	67.35	23	67.65	10	66.67	
Faible	1	2.04	1	2.94			
Moyen	11	22.45	7	20.59	4	26.67	**0,9189**
Fort	4	8.16	3	8.82	1	6.67	
Absence	33	67.35	23	67.65	10	66.67	
Présence	16	32.65	11	32.35	5	33.33	**1,0000**

Tabagisme passif	Effectif total		NON		OUI		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	28	100.00	21	100.00	
Nul	33	67.35	22	78.57	11	52.38	
Faible	1	2.04			1	4.76	**0,0469**
Moyen	11	22.45	3	10.71	8	38.10	
Fort	4	8.16	3	10.71	1	4.76	
Absence	33	67.35	22	78.57	11	52.38	**0,0530** *
Présence	16	32.65	6	21.43	10	47.62	

Surface contaminée	Effectif total		Faible		Moyenne		Elevée		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	8	100.00	30	100.00	11	100.00	
Nul	33	67.35	6	75.00	26	86.67	1	9.09	
Faible	1	2.04					1	9.09	**0,0001**
Moyen	11	22.45	2	25.00	3	10.00	6	54.55	
Fort	4	8.16			1	3.33	3	27.27	
Absence	33	67.35	1	9.09	6	75.00	26	86.67	**0,0000**
Présence	16	32.65	10	90.91	2	25.00	4	13.33	

Odeur de moisi	Effectif total		NON		OUI		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	29	100.00	20	100.00	
Nul	33	67.35	23	79.31	10	50.00	
Faible	1	2.04	1	3.45			**0,0652**
Moyen	11	22.45	4	13.79	7	35.00	
Fort	4	8.16	1	3.45	3	15.00	
Absence	33	67.35	23	79.31	10	50.00	**0,0315** *
Présence	16	32.65	6	20.69	10	50.00	

Présence de plantes	Effectif total		0		1 à 4		5 et +		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	17	100.00	20	100.00	12	100.00	
Nul	33	67.35	9	52.94	14	70.00	10	83.33	
Faible	1	2.04			1	5.00			**0,5044**
Moyen	11	22.45	6	35.29	4	20.00	1	8.33	
Fort	4	8.16	2	11.76	1	5.00	1	8.33	
Absence	33	67.35	9	52.94	14	70.00	10	83.33	**0,2162** *
Présence	16	32.65	8	47.06	6	30.00	2	16.67	

Présence d'animaux	Effectif total		NON		OUI		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	26	100.00	23	100.00	
Nul	33	67.35	17	65.38	16	69.57	
Faible	1	2.04			1	4.35	**0,7279**
Moyen	11	22.45	6	23.08	5	21.74	
Fort	4	8.16	3	11.54	1	4.35	
Absence	33	67.35	17	65.38	16	69.57	**0,7555** *
Présence	16	32.65	9	34.62	7	30.43	

Type de ventilation	Effectif total		Ventilation naturelle		VMC débit constant		VMC double flux		VMC non fonctionnelle		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	21	100.00	23	100.00	1	100.00	4	100.00	
Nul	33	67.35	14	66.67	18	78.26			1	25.00	**0,0794**
Faible	1	2.04			1	4.35					

Moyen	11	22.45	4	19.05	3	13.04	1	100.00	3	75.00	
Fort	4	8.16	3	14.29	1	4.35					
Absence	33	67.35	14	66.67	18	78.26			1	25.00	**0,0707**
Présence	16	32.65	7	33.33	5	21.74	1	100.00	3	75.00	

Type de chauffage							Test statistique
	Effectif total		Centralisé		Individuel		
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	13	100.00	36	100.00	
Nul	33	67.35	10	76.92	23	63.89	
Faible	1	2.04			1	2.78	**0,7557**
Moyen	11	22.45	3	23.08	8	22.22	
Fort	4	8.16			4	11.11	
Absence	33	67.35	10	76.92	23	63.89	**0,5018**
Présence	16	32.65	3	23.08	13	36.11	

Présence et usage d'un sèche-linge							Test statistique
	Effectif total		NON		OUI		
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	28	100.00	21	100.00	
Nul	33	67.35	16	57.14	17	80.95	
Faible	1	2.04	1	3.57			**0,1909**
Moyen	11	22.45	7	25.00	4	19.05	
Fort	4	8.16	4	14.29			
Absence	33	67.35	16	57.14	17	80.95	**0,0786** *
Présence	16	32.65	12	42.86	4	19.05	

Utilisation d'un déshumidificateur ou d'un absorbeur											Test statistique
	Effectif total		Aucun		Absorbeur		Déshumidificateur électrique		Déshumidificateur industriel		
	n	%	N	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	31	100.00	14	100.00	3	100.00	1	100.00	
Nul	33	67.35	20	64.52	10	71.43	3	100.00			
Faible	1	2.04	1	3.23							**0,5796**
Moyen	11	22.45	8	25.81	2	14.29			1	100.00	
Fort	4	8.16	2	6.45	2	14.29					
Absence	33	67.35	20	64.52	10	71.43	3	100.00			**0,3780**
Présence	16	32.65	11	35.48	4	28.57			1	100.00	

Utilisation d'un déshumidificateur ou d'un absorbeur							Test statistique
	Effectif total		NON		OUI		
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	31	100.00	18	100.00	
Nul	33	67.35	20	64.52	13	72.22	
Faible	1	2.04	1	3.23			**0,8170**
Moyen	11	22.45	8	25.81	3	16.67	
Fort	4	8.16	2	6.45	2	11.11	
Absence	33	67.35	20	64.52	13	72.22	**0,5792** *
Présence	16	32.65	11	35.48	5	27.78	

Energie utilisée pour la cuisson											Test statistique
	Effectif total		Aucune		Electricité		Gaz de ville		Propane		
	n	%	N	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	1	100.00	20	100.00	24	100.00	4	100.00	
Nul	33	67.35	1	100.00	14	70.00	15	62.50	3	75.00	
Faible	1	2.04					1	4.17			**0,7940**
Moyen	11	22.45			3	15.00	7	29.17	1	25.00	
Fort	4	8.16			3	15.00	1	4.17			
Absence	33	67.35	1	100.00	14	70.00	15	62.50	3	75.00	**0,9319**
Présence	16	32.65			6	30.00	9	37.50	1	25.00	

Type de vitrage				Test statistique
	Effectif total	Vitrage simple	Double vitrage	

	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	7	100.00	42	100.00	
Nul	33	67.35	6	85.71	27	64.29	
Faible	1	2.04			1	2.38	
Moyen	11	22.45	1	14.29	10	23.81	**0,8480**
Fort	4	8.16			4	9.52	
Absence	33	67.35	6	85.71	27	64.29	
Présence	16	32.65	1	14.29	15	35.71	**0,4017**

	Présence de traces d'humidité dans l'habitat						
	Effectif total		NON		OUI		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	9	100.00	40	100.00	
Nul	33	67.35	6	66.67	27	67.50	
Faible	1	2.04			1	2.50	
Moyen	11	22.45	2	22.22	9	22.50	**1,0000**
Fort	4	8.16	1	11.11	3	7.50	
Absence	33	67.35	6	66.67	27	67.50	
Présence	16	32.65	3	33.33	13	32.50	**1,0000**

Résultats en rouge : résultats pour lesquels une différence significative inférieure à 0,05 est observée.

Un lien entre la fréquence d'observation du symptôme « besoin de cracher » et la concentration dans l'air d'*Aspergillus versicolor* (p=0,0489), de *Penicillium chrysogenum* (p=0,0053), l'humidité relative (p=0,0313), la contamination des surfaces par les acariens (p=0,0389), l'étendue de la surface contaminée par les moisissures (p<0,0001) et la présence d'une odeur de moisi (p=0,0315) a été observé. Par rapport à l'intensité ressentie de ce symptôme, un lien a été mis en évidence avec la concentration de *Penicillium chrysogenum* dans l'air (p=0,0405), l'exposition au tabagisme passif (p=0,0315) et l'étendue de la surface contaminée (p=0,001).

Tableau 58 : Recherche de variables explicatives pour le symptôme « Syndrome grippal » par niveau d'intensité (nul, faible, moyen et fort) et par catégorie (présence ou absence). Les tests statistiques utilisés étaient des tests de Kruskal-Wallis (classes d'intensité) et de Wilcoxon (fréquence) pour les variables quantitatives et des tests de Fisher ou du Khi2 (quand les effectifs le permettaient, marqué par un astérisque) pour les variables qualitatives.

Syndrome grippal	**Variables explicatives**					**p-value**
	CFU totales (CFU/m³ d'air)					
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	313,00	53265,60	22,70	361000,00	
Nul	36	326,00	822,31	22,70	3070,00	
Faible	8	148,60	127571,92	25,00	361000,00	**0,1147**
Moyen	5	2290,00	37939,66	80,60	88100,00	
Absence	36	326,00	822,31	22,70	3070,00	
Présence	13	212,00	100616,76	25,00	361000,00	**0,9188**
	***Aspergillus versicolor* (CFU/m³ d'air)**					
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	17,90	50862,30	0,00	344000,00	
Nul	36	10,28	328,99	0,00	1590,00	**0,0305**

Faible	8	26,15	121607,20	0,00	344000,00	
Moyen	5	522,00	37014,07	40,30	85200,00	
Absence	36	10,28	328,99	0,00	1590,00	**0,1022**
Présence	13	40,30	96036,46	0,00	344000,00	
***Aspergillus fumigatus* (CFU/m³ d'air)**						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	0,00	5,66	0,00	29,00	
Nul	36	0,00	6,44	0,00	29,00	
Faible	8	0,00	1,17	0,00	3,33	**0,3215**
Moyen	5	0,00	0,34	0,00	0,76	
Absence	36	0,00	6,44	0,00	29,00	**0,1776**
Présence	13	0,00	0,95	0,00	3,33	
***Penicillium brevicompactum* (CFU/m³ d'air)**						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	3,33	108,36	0,00	669,00	
Nul	36	4,62	123,02	0,00	669,00	
Faible	8	0,00	6,61	0,00	18,90	**0,0741**
Moyen	5	11,70	53,75	0,00	120,00	
Absence	36	4,62	123,02	0,00	669,00	**0,1224**
Présence	13	0,00	36,99	0,00	120,00	
***Penicillium chrysogenum* (CFU/m³ d'air)**						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	12,00	825,60	0,00	5190,00	
Nul	36	13,65	136,32	0,00	715,00	
Faible	8	3,89	1828,80	0,00	5190,00	**0,2635**
Moyen	5	1000,00	921,82	0,00	2220,00	
Absence	36	13,65	136,32	0,00	715,00	**0,8281**
Présence	13	7,78	1498,24	0,00	5190,00	
***Penicillium crustosum* (CFU/m³ d'air)**						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	2,85	146,66	0,00	741,00	
Nul	36	2,32	119,29	0,00	719,00	
Faible	8	1,79	260,95	0,00	741,00	**0,0379**
Moyen	5	24,20	32,64	3,78	74,10	
Absence	36	2,32	119,29	0,00	719,00	**0,0779**
Présence	13	6,67	202,45	0,00	741,00	
Particules totales (par m³ d'air)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	35680000,00	306900000,00	7800874,00	2007000000,00	
Nul	36	32550000,00	350491554,81	7801157,52	2006813492,60	
Faible	8	52430010,21	119081847,65	10478773,80	372000000,00	**0,7215**
Moyen	5	37200000,00	20616189,11	21148529,25	74400000,00	
Absence	36	32550000,00	350491554,81	7801157,52	2006813492,60	**0,4617**
Présence	13	49326220,57	95106840,64	10478773,80	372000000,00	
Particules de 2 à 15 µm de diamètre (par m³ d'air)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	371621,00	716121,00	158983,00	4194709,00	
Nul	36	328295,41	530351,80	158983,43	2673703,11	
Faible	8	506027,23	339454,30	201111,78	1031600,00	**0,2142**
Moyen	5	520710,00	1664542,08	206351,70	4194709,14	
Absence	36	328295,41	530351,80	158983,43	2673703,11	**0,1054**
Présence	13	520710,00	1054117,46	201111,78	4194709,14	
Concentration d'endotoxines (ng / m³ d'air)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	5,79	18,35	0,14	91,13	
Nul	36	7,62	19,44	0,17	91,13	**0,0425**

Faible	8	1,99	16,04	0,15	47,25	
Moyen	5	2,16	2,60	0,14	5,53	
Absence	36	7,62	19,44	0,17	91,13	**0,0149**
Présence	13	2,16	12,68	0,14	47,25	

Concentration de glucanes (ng / m³ d'air)

	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	1,05	2,21	0,16	15,48	
Nul	36	0,93	0,80	0,16	3,04	
Faible	8	1,74	4,99	0,28	15,48	**0,1964**
Moyen	5	1,05	0,66	0,26	1,93	
Absence	36	0,93	0,80	0,16	3,04	**0,3591**
Présence	13	1,31	4,02	0,26	15,48	

Température (°C)

	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	22,25	2,51	12,64	26,10	
Nul	36	22,61	2,61	12,64	25,11	
Faible	8	20,99	2,04	18,87	25,50	**0,3256**
Moyen	5	22,90	2,56	19,20	26,10	
Absence	36	22,61	2,61	12,64	25,11	**0,4020**
Présence	13	21,30	2,29	18,87	26,10	

Humidité relative (%)

	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	60,50	7,55	44,84	74,30	
Nul	36	60,50	7,74	44,84	74,30	
Faible	8	60,40	6,70	50,50	70,40	**0,6880**
Moyen	5	65,70	7,40	53,29	70,80	
Absence	36	60,50	7,74	44,84	74,30	**0,5790**
Présence	13	63,10	6,88	50,50	70,80	

Temps d'ouverture des fenêtres (heure / jour)

	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	1,00	3,96	0,00	18,00	
Nul	36	1,00	4,71	0,00	18,00	
Faible	8	1,00	0,65	0,50	2,00	**0,2863**
Moyen	5	0,50	1,63	0,25	4,00	
Absence	36	1,00	4,71	0,00	18,00	**0,4727**
Présence	13	1,00	1,07	0,25	4,00	

Durée d'exposition quotidienne (heure / jour)

	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	40	14,00	4,35	4,00	24,00	
Nul	30	14,00	4,46	4,00	21,00	
Faible	7	14,00	2,82	12,00	20,00	**0,4866**
Moyen	3	20,00	6,11	12,00	24,00	
Absence	30	14,00	4,46	4,00	21,00	**0,6238**
Présence	10	14,50	4,18	12,00	24,00	

Acarex test

	Effectif total		Faible		Moyen		Nul		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	42	100.00	3	100.00	4	100.00	
Nul	36	73.47	32	76.19	1	33.33	3	75.00	
Faible	8	16.33	6	14.29	1	33.33	1	25.00	**0,2692**
Moyen	5	10.20	4	9.52	1	33.33			
Absence	36	73.47	32	76.19	1	33.33	3	75.00	**0,2138**
Présence	13	26.53	10	23.81	2	66.67	1	25.00	

Tabagisme actif

	Effectif total		NON		OUI		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	

TOTAL	49	100.00	34	100.00	15	100.00	
Nul	36	73.47	25	73.53	11	73.33	
Faible	8	16.33	7	20.59	1	6.67	**0,2002**
Moyen	5	10.20	2	5.88	3	20.00	
Absence	36	73.47	25	73.53	11	73.33	**1,0000**
Présence	13	26.53	9	26.47	4	26.67	

------	**Tabagisme passif**						Test statistique
	Effectif total		NON		OUI		
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	28	100.00	21	100.00	
Nul	36	73.47	19	67.86	17	80.95	
Faible	8	16.33	7	25.00	1	4.76	**0,1598**
Moyen	5	10.20	2	7.14	3	14.29	
Absence	36	73.47	19	67.86	17	80.95	**0,3042** *
Présence	13	26.53	9	32.14	4	19.05	

	Surface contaminée								Test statistique
	Effectif total		Faible		Moyenne		Elevée		
	n	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	8	100.00	30	100.00	11	100.00	
Nul	36	73.47	7	87.50	22	73.33	7	63.64	
Faible	8	16.33	1	12.50	6	20.00	1	9.09	**0,3631**
Moyen	5	10.20			2	6.67	3	27.27	
Absence	36	73.47	7	87.50	22	73.33	7	63.64	**0,5293**
Présence	13	26.53	1	12.50	8	26.67	4	36.36	

	Odeur de moisi						Test statistique
	Effectif total		NON		OUI		
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	29	100.00	20	100.00	
Nul	36	73.47	25	86.21	11	55.00	
Faible	8	16.33	3	10.34	5	25.00	**0,0421**
Moyen	5	10.20	1	3.45	4	20.00	
Absence	36	73.47	25	86.21	11	55.00	**0,0150** *
Présence	13	26.53	4	13.79	9	45.00	

	Présence de plantes								Test statistique
	Effectif total		0		1 à 4		5 et +		
	n	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	17	100.00	20	100.00	12	100.00	
Nul	36	73.47	12	70.59	17	85.00	7	58.33	
Faible	8	16.33	2	11.76	2	10.00	4	33.33	**0,3310**
Moyen	5	10.20	3	17.65	1	5.00	1	8.33	
Absence	36	73.47	12	70.59	17	85.00	7	58.33	**0,2351**
Présence	13	26.53	5	29.41	3	15.00	5	41.67	

	Présence d'animaux						Test statistique
	Effectif total		NON		OUI		
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	26	100.00	23	100.00	
Nul	36	73.47	20	76.92	16	69.57	
Faible	8	16.33	4	15.38	4	17.39	**0,8968**
Moyen	5	10.20	2	7.69	3	13.04	
Absence	36	73.47	20	76.92	16	69.57	**0,5604** *
Présence	13	26.53	6	23.08	7	30.43	

	Type de ventilation										Test statistique
	Effectif total		Ventilation naturelle		VMC débit constant		VMC double flux		VMC non fonctionnelle		
	n	%	N	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	21	100.00	23	100.00	1	100.00	4	100.00	

Nul	36	73.47	16	76.19	17	73.91	1	100.00	2	50.00	
Faible	8	16.33	2	9.52	6	26.09					**0,0639**
Moyen	5	10.20	3	14.29					2	50.00	
Absence	36	73.47	16	76.19	17	73.91	1	100.00	2	50.00	**0,7303**
Présence	13	26.53	5	23.81	6	26.09			2	50.00	

Type de chauffage

	Effectif total		Centralisé		Individuel		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	13	100.00	36	100.00	
Nul	36	73.47	12	92.31	24	66.67	
Faible	8	16.33	1	7.69	7	19.44	**0,2716**
Moyen	5	10.20			5	13.89	
Absence	36	73.47	12	92.31	24	66.67	**0,1401**
Présence	13	26.53	1	7.69	12	33.33	

Présence et usage d'un sèche-linge

	Effectif total		NON		OUI		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	28	100.00	21	100.00	
Nul	36	73.47	20	71.43	16	76.19	
Faible	8	16.33	5	17.86	3	14.29	**1,0000**
Moyen	5	10.20	3	10.71	2	9.52	
Absence	36	73.47	20	71.43	16	76.19	**0,7087** *
Présence	13	26.53	8	28.57	5	23.81	

Utilisation d'un déshumidificateur ou d'un absorbeur

	Effectif total		Aucun		Absorbeur		Déshumidificateur électrique		Déshumidificateur industriel		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	31	100.00	14	100.00	3	100.00	1	100.00	
Nul	36	73.47	21	67.74	12	85.71	2	66.67	1	100.00	
Faible	8	16.33	5	16.13	2	14.29	1	33.33			**0,5981**
Moyen	5	10.20	5	16.13							
Absence	36	73.47	21	67.74	12	85.71	2	66.67	1	100.00	**0,5673**
Présence	13	26.53	10	32.26	2	14.29	1	33.33			

Utilisation d'un déshumidificateur ou d'un absorbeur

	Effectif total		NON		OUI		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	31	100.00	18	100.00	
Nul	36	73.47	21	67.74	15	83.33	
Faible	8	16.33	5	16.13	3	16.67	**0,2396**
Moyen	5	10.20	5	16.13			
Absence	36	73.47	21	67.74	15	83.33	**0,3218**
Présence	13	26.53	10	32.26	3	16.67	

Energie utilisée pour la cuisson

	Effectif total		Aucune		Electricité		Gaz de ville		Propane		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	1	100.00	20	100.00	24	100.00	4	100.00	
Nul	36	73.47			14	70.00	18	75.00	4	100.00	
Faible	8	16.33	1	100.00	2	10.00	5	20.83			**0,2179**
Moyen	5	10.20			4	20.00	1	4.17			
Absence	36	73.47			14	70.00	18	75.00	4	100.00	**0,2860**
Présence	13	26.53	1	100.00	6	30.00	6	25.00			

Type de vitrage

	Effectif total		Vitrage simple		Double vitrage		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	7	100.00	42	100.00	
Nul	36	73.47	6	85.71	30	71.43	
Faible	8	16.33	1	14.29	7	16.67	**1,0000**

Moyen	5	10.20			5	11.90	
Absence	36	73.47	6	85.71	30	71.43	**0,6577**
Présence	13	26.53	1	14.29	12	28.57	
Présence de traces d'humidité dans l'habitat							
	Effectif total		NON		OUI		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	9	100.00	40	100.00	
Nul	36	73.47	6	66.67	30	75.00	
Faible	8	16.33	3	33.33	5	12.50	**0,3236**
Moyen	5	10.20			5	12.50	
Absence	36	73.47	6	66.67	30	75.00	**0,6831**
Présence	13	26.53	3	33.33	10	25.00	

Résultats en rouge : résultats pour lesquels une différence significative inférieure à 0,05 est observée.

Un lien entre le syndrome grippal ressenti par les résidents et la concentration d'endotoxines dans l'air (p=0,0149) et la présence d'une odeur de moisi dans l'habitat (p=0,150) a été observé. Par rapport à l'intensité ressentie de ce symptôme, un lien avec la concentration dans l'air d'*Aspergillus versicolor* (p=0,0305), de *Penicillium crustosum* (p=0,0379), des endotoxines (p=0,0425) et la présence d'une odeur de moisi dans l'habitat (p=0,0425) a été mis en évidence.

Tableau 59 : Recherche de variables explicatives pour le symptôme « Sinusite » par niveau d'intensité (nul, faible, moyen et fort) et par catégorie (présence ou absence). Les tests statistiques utilisés étaient des tests de Kruskal-Wallis (classes d'intensité) et de Wilcoxon (fréquence) pour les variables quantitatives et des tests de Fisher ou du Khi2 (quand les effectifs le permettaient, marqué par un astérisque) pour les variables qualitatives.

Sinusite	**Variables explicatives**					**p-value**
CFU totales (CFU/m³ d'air)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	313,00	53265,60	22,70	361000,00	
Nul	31	260,00	15853,62	32,20	88100,00	
Faible	5	185,00	224,62	22,70	570,00	**0,1393**
Moyen	8	493,00	781,36	49,10	2290,00	
Fort	5	539,00	161219,17	304,00	361000,00	
Absence	31	260,00	15853,62	32,20	88100,00	**0,4937**
Présence	18	383,00	84961,89	22,70	361000,00	
***Aspergillus versicolor* (CFU/m³ d'air)**						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	17,90	50862,30	0,00	344000,00	
Nul	31	11,10	15371,96	0,00	85200,00	
Faible	5	4,72	82,36	0,00	191,00	**0,2911**
Moyen	8	114,65	168,63	0,00	522,00	
Fort	5	122,00	153803,75	0,00	344000,00	
Absence	31	11,10	15371,96	0,00	85200,00	**0,2369**
Présence	18	69,20	81056,54	0,00	344000,00	
***Aspergillus fumigatus* (CFU/m³ d'air)**						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	0,00	5,66	0,00	29,00	
Nul	31	0,00	6,88	0,00	29,00	**0,1980**

Faible	5	0,00	2,26	0,00	4,72	
Moyen	8	0,00	0,75	0,00	2,11	
Fort	5	0,00	0,00	0,00	0,00	
Absence	31	0,00	6,88	0,00	29,00	**0,0958**
Présence	18	0,00	1,36	0,00	4,72	
***Penicillium brevicompactum* (CFU/m³ d'air)**						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	3,33	108,36	0,00	669,00	
Nul	31	4,67	124,26	0,00	669,00	
Faible	5	1,89	7,68	0,00	15,60	**0,6383**
Moyen	8	3,15	104,03	0,00	290,00	
Fort	5	0,00	6,68	0,00	15,40	
Absence	31	4,67	124,26	0,00	669,00	**0,3493**
Présence	18	2,43	71,37	0,00	290,00	
***Penicillium chrysogenum* (CFU/m³ d'air)**						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	12,00	825,60	0,00	5190,00	
Nul	31	11,70	449,11	0,00	2220,00	
Faible	5	0,97	12,52	0,00	29,40	**0,3065**
Moyen	8	37,25	345,76	0,00	1000,00	
Fort	5	109,00	2291,62	0,00	5190,00	
Absence	31	11,70	449,11	0,00	2220,00	**0,3516**
Présence	18	19,80	1219,40	0,00	5190,00	
***Penicillium crustosum* (CFU/m³ d'air)**						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	2,85	146,66	0,00	741,00	
Nul	31	3,07	128,69	0,00	719,00	
Faible	5	0,00	1,71	0,00	3,83	**0,1366**
Moyen	8	3,10	9,57	0,00	28,90	
Fort	5	6,17	329,13	0,00	741,00	
Absence	31	3,07	128,69	0,00	719,00	**0,7197**
Présence	18	3,10	173,73	0,00	741,00	
Particules totales (par m³ d'air)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	35680000,00	306900000,00	7800874,00	2007000000,00	
Nul	31	37200000,00	375723050,03	7801157,52	2006813492,60	
Faible	5	67796270,78	60712088,57	11040718,37	162786870,19	**0,7224**
Moyen	8	25819716,91	49380948,76	15365290,22	160253215,95	
Fort	5	18700000,00	157450659,85	8870000,00	372000000,00	
Absence	31	37200000,00	375723050,03	7801157,52	2006813492,60	**0,5406**
Présence	18	25819716,91	89812410,19	8870000,00	372000000,00	
Particules de 2 à 15 µm de diamètre (par m³ d'air)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	371621,00	716121,00	158983,00	4194709,00	
Nul	31	394713,03	846311,46	158983,43	4194709,14	
Faible	5	266518,37	615672,55	206080,05	1632460,00	**0,9013**
Moyen	8	381333,17	262299,92	206351,70	1031600,00	
Fort	5	435900,00	309657,11	202700,00	971942,99	
Absence	31	394713,03	846311,46	158983,43	4194709,14	**0,8276**
Présence	18	328295,41	376822,02	202700,00	1632460,00	
Concentration d'endotoxines (ng / m³ d'air)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	5,79	18,35	0,14	91,13	
Nul	31	5,60	20,43	0,14	91,13	
Faible	5	1,71	3,97	0,28	9,80	**0,3020**
Moyen	8	7,44	17,95	3,82	54,15	

Fort	5	6,98	9,97	0,29	24,20	
Absence	31	5,60	20,43	0,14	91,13	**0,9339**
Présence	18	6,08	13,92	0,28	54,15	
Concentration de glucanes (ng / m³ d'air)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	1,05	2,21	0,16	15,48	
~~Nul~~	31	1,05	2,69	0,16	15,48	
Faible	5	0,65	0,22	0,28	0,81	**0,1000**
Moyen	8	1,70	0,88	0,26	3,04	
Fort	5	0,91	0,65	0,17	1,82	
Absence	31	1,05	2,69	0,16	15,48	**0,7874**
Présence	18	1,00	0,82	0,17	3,04	
Température (°C)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	22,25	2,51	12,64	26,10	
Nul	31	22,30	2,08	17,45	26,10	
Faible	5	21,80	2,20	18,75	24,30	**0,7833**
Moyen	8	22,50	2,04	19,20	24,25	
Fort	5	23,05	5,34	12,64	25,50	
Absence	31	22,30	2,08	17,45	26,10	**0,5135**
Présence	18	22,00	3,13	12,64	25,50	
Humidité relative (%)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	60,50	7,55	44,84	74,30	
Nul	31	60,60	7,92	44,84	74,30	
Faible	5	60,40	6,30	48,10	63,30	**0,3500**
Moyen	8	57,37	7,01	53,51	70,90	
Fort	5	67,10	5,71	58,25	70,89	
Absence	31	60,60	7,92	44,84	74,30	**0,7874**
Présence	18	60,60	6,85	48,10	70,90	
Temps d'ouverture des fenêtres (heure / jour)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	1,00	3,96	0,00	18,00	
Nul	31	1,00	3,76	0,00	18,00	
Faible	5	2,00	4,93	0,10	12,00	**0,2001**
Moyen	8	1,50	5,04	0,50	12,00	
Fort	5	2,00	4,72	1,00	12,00	
Absence	31	1,00	3,76	0,00	18,00	**0,0485**
Présence	18	2,00	4,64	0,10	12,00	
Durée d'exposition quotidienne (heure / jour)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	40	14,00	4,35	4,00	24,00	
Nul	24	14,00	4,33	4,00	20,00	
Faible	5	13,00	1,92	11,00	16,00	**0,0765**
Moyen	7	20,00	4,61	12,00	24,00	
Fort	4	17,00	3,46	14,00	20,00	
Absence	24	14,00	4,33	4,00	20,00	**0,1310**
Présence	16	15,00	4,16	11,00	24,00	

Acarex test

	Effectif total		Faible		Moyen		Nul		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	42	100.00	3	100.00	4	100.00	
Nul	31	63.27	27	64.29	1	33.33	3	75.00	
Faible	5	10.20	5	11.90					**0,1923**
Moyen	8	16.33	7	16.67			1	25.00	
Fort	5	10.20	3	7.14	2	66.67			

Absence	31	63.27	27	64.29	1	33.33	3	75.00	**0,6733**
Présence	18	36.73	15	35.71	2	66.67	1	25.00	

Tabagisme actif							Test statistique
	Effectif total		NON		OUI		
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	34	100.00	15	100.00	
Nul	31	63.27	22	64.71	9	60.00	**0,6207**
Faible	5	10.20	2	5.88	3	20.00	
Moyen	8	16.33	6	17.65	2	13.33	
Fort	5	10.20	4	11.76	1	6.67	
Absence	31	63.27	22	64.71	9	60.00	**0,7528** *
Présence	18	36.73	12	35.29	6	40.00	

Tabagisme passif							Test statistique
	Effectif total		NON		OUI		
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	28	100.00	21	100.00	
Nul	31	63.27	20	71.43	11	52.38	**0,3484**
Faible	5	10.20	3	10.71	2	9.52	
Moyen	8	16.33	4	14.29	4	19.05	
Fort	5	10.20	1	3.57	4	19.05	
Absence	31	63.27	20	71.43	11	52.38	**0,1711** *
Présence	18	36.73	8	28.57	10	47.62	

Surface contaminée									Test statistique
	Effectif total		Faible		Moyenne		Elevée		
	n	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	8	100.00	30	100.00	11	100.00	
Nul	31	63.27	7	87.50	18	60.00	6	54.55	**0,2865**
Faible	5	10.20	1	12.50	4	13.33			
Moyen	8	16.33			6	20.00	2	18.18	
Fort	5	10.20			2	6.67	3	27.27	
Absence	31	63.27	7	87.50	18	60.00	6	54.55	**0,3168**
Présence	18	36.73	1	12.50	12	40.00	5	45.45	

Odeur de moisi							Test statistique
	Effectif total		NON		OUI		
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	29	100.00	20	100.00	
Nul	31	63.27	19	65.52	12	60.00	**0,3139**
Faible	5	10.20	3	10.34	2	10.00	
Moyen	8	16.33	6	20.69	2	10.00	
Fort	5	10.20	1	3.45	4	20.00	
Absence	31	63.27	19	65.52	12	60.00	**0,6938** *
Présence	18	36.73	10	34.48	8	40.00	

Présence de plantes									Test statistique
	Effectif total		0		1 à 4		5 et +		
	n	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	17	100.00	20	100.00	12	100.00	
Nul	31	63.27	13	76.47	12	60.00	6	50.00	**0,4979**
Faible	5	10.20			2	10.00	3	25.00	
Moyen	8	16.33	2	11.76	4	20.00	2	16.67	
Fort	5	10.20	2	11.76	2	10.00	1	8.33	
Absence	31	63.27	13	76.47	12	60.00	6	50.00	**0,3205** *
Présence	18	36.73	4	23.53	8	40.00	6	50.00	

Présence d'animaux							Test statistique
	Effectif total		NON		OUI		
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	26	100.00	23	100.00	

Nul	31		63.27		20		76.92		11	47.83	
Faible	5		10.20		3		11.54		2	8.70	**0,0497**
Moyen	8		16.33		1		3.85		7	30.43	
Fort	5		10.20		2		7.69		3	13.04	
Absence	31		63.27		20		76.92		11	47.83	**0,0350** *
Présence	18		36.73		6		23.08		12	52.17	

Type de ventilation

	Effectif total		Ventilation naturelle		VMC débit constant		VMC double flux		VMC non fonctionnelle		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	21	100.00	23	100.00	1	100.00	4	100.00	
Nul	31	63.27	15	71.43	14	60.87			2	50.00	
Faible	5	10.20	1	4.76	3	13.04	1	100.00			**0,3499**
Moyen	8	16.33	4	19.05	3	13.04			1	25.00	
Fort	5	10.20	1	4.76	3	13.04			1	25.00	
Absence	31	63.27	15	71.43	14	60.87			2	50.00	**0,4724**
Présence	18	36.73	6	28.57	9	39.13	1	100.00	2	50.00	

Type de chauffage

	Effectif total		Centralisé		Individuel		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	13	100.00	36	100.00	
Nul	31	63.27	9	69.23	22	61.11	
Faible	5	10.20	2	15.38	3	8.33	**0,7863**
Moyen	8	16.33	1	7.69	7	19.44	
Fort	5	10.20	1	7.69	4	11.11	
Absence	31	63.27	9	69.23	22	61.11	**0,7426**
Présence	18	36.73	4	30.77	14	38.89	

Présence et usage d'un sèche-linge

	Effectif total		NON		OUI		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	28	100.00	21	100.00	
Nul	31	63.27	18	64.29	13	61.90	
Faible	5	10.20	3	10.71	2	9.52	**0,9620**
Moyen	8	16.33	4	14.29	4	19.05	
Fort	5	10.20	3	10.71	2	9.52	
Absence	31	63.27	18	64.29	13	61.90	**0,8642** *
Présence	18	36.73	10	35.71	8	38.10	

Utilisation d'un déshumidificateur ou d'un absorbeur

	Effectif total		Aucun		Absorbeur		Déshumidificateur électrique		Déshumidificateur industriel		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	31	100.00	14	100.00	3	100.00	1	100.00	
Nul	31	63.27	18	58.06	9	64.29	3	100.00	1	100.00	
Faible	5	10.20	4	12.90	1	7.14					**1,0000**
Moyen	8	16.33	5	16.13	3	21.43					
Fort	5	10.20	4	12.90	1	7.14					
Absence	31	63.27	18	58.06	9	64.29	3	100.00	1	100.00	**0,5694**
Présence	18	36.73	13	41.94	5	35.71					

Utilisation d'un déshumidificateur ou d'un absorbeur

	Effectif total		NON		OUI		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	31	100.00	18	100.00	
Nul	31	63.27	18	58.06	13	72.22	
Faible	5	10.20	4	12.90	1	5.56	**0,7782**
Moyen	8	16.33	5	16.13	3	16.67	
Fort	5	10.20	4	12.90	1	5.56	
Absence	31	63.27	18	58.06	13	72.22	**0,3217** *

Présence	18		36.73		13		41.94		5		27.78	
	Energie utilisée pour la cuisson										
	Effectif total		Aucune		Electricité		Gaz de ville		Propane		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	1	100.00	20	100.00	24	100.00	4	100.00	
Nul	31	63.27			14	70.00	14	58.33	3	75.00	
Faible	5	10.20			3	15.00	2	8.33			**0,3156**
Moyen	8	16.33			2	10.00	6	25.00			
Fort	5	10.20	1	100.00	1	5.00	2	8.33	1	25.00	
Absence	31	63.27			14	70.00	14	58.33	3	75.00	**0,5469**
Présence	18	36.73	1	100.00	6	30.00	10	41.67	1	25.00	
	Type de vitrage										
	Effectif total		Vitrage simple				Double vitrage				Test statistique
	n	%	N	%			N	%			
TOTAL	49	100.00	7	100.00			42	100.00			
Nul	31	63.27	4	57.14			27	64.29			
Faible	5	10.20	1	14.29			4	9.52			**0,1790**
Moyen	8	16.33					8	19.05			
Fort	5	10.20	2	28.57			3	7.14			
Absence	31	63.27	4	57.14			27	64.29			**0,6974**
Présence	18	36.73	3	42.86			15	35.71			
	Présence de traces d'humidité dans l'habitat										
	Effectif total		NON				OUI				Test statistique
	n	%	N	%			N	%			
TOTAL	49	100.00	9	100.00			40	100.00			
Nul	31	63.27	6	66.67			25	62.50			
Faible	5	10.20	1	11.11			4	10.00			**1,0000**
Moyen	8	16.33	1	11.11			7	17.50			
Fort	5	10.20	1	11.11			4	10.00			
Absence	31	63.27	6	66.67			25	62.50			**1,0000**
Présence	18	36.73	3	33.33			15	37.50			

Résultats en rouge : résultats pour lesquels une différence significative inférieure à 0,05 est observée.

Un lien entre l'occurrence des sinusites chez les résidents et la durée d'aération des pièces (p=0,0485) et la présence d'animaux dans l'habitat (p=0,0350) a été observé. Pour l'intensité à laquelle ce symptôme est ressenti, un lien avec la présence d'animaux dans l'habitat a également été mis en évidence (p=0,0497).

Tableau 60 : Recherche de variables explicatives pour le symptôme « Sensation de malaise » par niveau d'intensité (nul, faible, moyen et fort) et par catégorie (présence ou absence). Les tests statistiques utilisés étaient des tests de Kruskal-Wallis (classes d'intensité) et de Wilcoxon (fréquence) pour les variables quantitatives et des tests de Fisher ou du Khi2 (quand les effectifs le permettaient, marqué par un astérisque) pour les variables qualitatives.

Sensation de malaise	**Variables explicatives**					**p-value**
	CFU totales (CFU/m^3 d'air)					
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	313,00	53265,60	22,70	361000,00	
Nul	39	292,00	771,21	22,70	3070,00	**0,1316**
Faible	7	539,00	136179,36	53,80	361000,00	

Moyen	2	7405,50	9891,72	411,00	14400,00	
Fort	1	88100,00	-	88100,00	88100,00	
Absence	39	292,00	771,21	22,70	3070,00	**0,0646**
Présence	10	558,50	113714,58	53,80	361000,00	
***Aspergillus versicolor* (CFU/m³ d'air)**						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	17,90	50862,30	0,00	344000,00	
Nul	39	9,46	321,94	0,00	1590,00	
Faible	7	210,00	129968,10	0,00	344000,00	**0,0218**
Moyen	2	6372,00	8807,72	144,00	12600,00	
Fort	1	85200,00	-	85200,00	85200,00	
Absence	39	9,46	321,94	0,00	1590,00	**0,0038**
Présence	10	211,00	108602,19	0,00	344000,00	
***Aspergillus fumigatus* (CFU/m³ d'air)**						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	0,00	5,66	0,00	29,00	
Nul	39	0,00	6,22	0,00	29,00	
Faible	7	0,00	0,82	0,00	2,11	**0,6405**
Moyen	2	1,67	2,35	0,00	3,33	
Fort	1	0,00	-	0,00	0,00	
Absence	39	0,00	6,22	0,00	29,00	**0,3364**
Présence	10	0,00	1,17	0,00	3,33	
***Penicillium brevicompactum* (CFU/m³ d'air)**						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	3,33	108,36	0,00	669,00	
Nul	39	3,33	60,43	0,00	290,00	
Faible	7	0,00	251,60	0,00	669,00	**0,1507**
Moyen	2	68,15	8,41	62,20	74,10	
Fort	1	0,00	-	0,00	0,00	
Absence	39	3,33	60,43	0,00	290,00	**0,8988**
Présence	10	1,32	207,88	0,00	669,00	
***Penicillium chrysogenum* (CFU/m³ d'air)**						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	12,00	825,60	0,00	5190,00	
Nul	39	8,06	171,53	0,00	1000,00	
Faible	7	45,40	1923,32	0,00	5190,00	**0,2287**
Moyen	2	555,00	784,89	0,00	1110,00	
Fort	1	2220,00	-	2220,00	2220,00	
Absence	39	8,06	171,53	0,00	1000,00	**0,1010**
Présence	10	77,20	1659,41	0,00	5190,00	
***Penicillium crustosum* (CFU/m³ d'air)**						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	2,85	146,66	0,00	741,00	
Nul	39	1,67	114,68	0,00	719,00	
Faible	7	5,28	277,16	0,94	741,00	**0,0108**
Moyen	2	51,20	32,39	28,30	74,10	
Fort	1	66,70	-	66,70	66,70	
Absence	39	1,67	114,68	0,00	719,00	**0,0020**
Présence	10	16,99	228,23	0,94	741,00	
Particules totales (par m³ d'air)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	35680000,00	306900000,00	7800874,00	2007000000,00	
Nul	39	32400000,00	337371249,51	7801157,52	2006813492,60	
Faible	7	49907483,44	126226013,96	10478773,80	372000000,00	**0,7026**
Moyen	2	86691309,65	79928051,15	30173642,68	143208976,63	
Fort	1	49326220,57	-	49326220,57	49326220,57	

Absence	39	32400000,00	337371249,51	7801157,52	2006813492,60	**0,2590**
Présence	10	49616852,01	107291593,04	10478773,80	372000000,00	
Particules de 2 à 15 µm de diamètre (par m³ d'air)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	371621,00	716121,00	158983,00	4194709,00	
Nul	39	312570,00	519243,14	158983,43	2673703,11	
Faible	7	539746,06	279212,86	201111,78	971942,99	**0,0594**
Moyen	2	662744,52	303626,79	448047,95	877441,08	
Fort	1	4194709,14	-	4194709,14	4194709,14	
Absence	39	312570,00	519243,14	158983,43	2673703,11	**0,0136**
Présence	10	614353,03	1162551,66	201111,78	4194709,14	
Concentration d'endotoxines (ng / m³ d'air)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	5,79	18,35	0,14	91,13	
Nul	39	5,60	17,75	0,15	91,13	
Faible	7	6,98	22,53	0,29	54,15	**0,4312**
Moyen	2	15,74	22,05	0,14	31,33	
Fort	1	0,18	-	0,18	0,18	
Absence	39	5,60	17,75	0,15	91,13	**0,9308**
Présence	10	5,33	20,68	0,14	54,15	
Concentration de glucanes (ng / m³ d'air)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	1,05	2,21	0,16	15,48	
Nul	39	0,95	2,41	0,16	15,48	
Faible	7	1,31	1,23	0,43	3,72	**0,3064**
Moyen	2	2,08	0,21	1,93	2,23	
Fort	1	1,05	-	1,05	1,05	
Absence	39	0,95	2,41	0,16	15,48	**0,1042**
Présence	10	1,57	1,05	0,43	3,72	
Température (°C)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	22,25	2,51	12,64	26,10	
Nul	39	22,30	2,44	12,64	25,11	
Faible	7	21,30	2,69	17,45	25,50	**0,0927**
Moyen	2	25,60	0,71	25,10	26,10	
Fort	1	23,90	-	23,90	23,90	
Absence	39	22,30	2,44	12,64	25,11	**0,5937**
Présence	10	22,61	2,88	17,45	26,10	
Humidité relative (%)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	60,50	7,55	44,84	74,30	
Nul	39	60,30	7,22	44,84	74,30	
Faible	7	65,35	8,13	50,50	70,40	**0,1337**
Moyen	2	69,70	0,00	69,70	69,70	
Fort	1	70,80	-	70,80	70,80	
Absence	39	60,30	7,22	44,84	74,30	**0,1240**
Présence	10	67,90	7,80	50,50	70,80	
Temps d'ouverture des fenêtres (heure / jour)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	1,00	3,96	0,00	18,00	
Nul	39	1,00	3,83	0,00	12,00	
Faible	7	1,00	6,41	0,25	18,00	**0,1700**
Moyen	2	0,25	0,00	0,25	0,25	
Fort	1	0,50	-	0,50	0,50	
Absence	39	1,00	3,83	0,00	12,00	**0,4168**
Présence	10	0,75	5,46	0,25	18,00	

Durée d'exposition quotidienne (heure / jour)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	40	14,00	4,35	4,00	24,00	
Nul	33	14,00	4,39	4,00	24,00	**0,3504**
Faible	6	15,00	4,40	9,00	20,00	
Moyen	1	10,00	-	10,00	10,00	
Fort	0					
Absence	33	14,00	4,39	4,00	24,00	**0,6137**
Présence	7	14,00	4,47	9,00	20,00	

Acarex test									
	Effectif total		Faible		Moyen		Nul		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	42	100.00	3	100.00	4	100.00	
Nul	39	79.59	34	80.95	1	33.33	4	100.00	**0,1889**
Faible	7	14.29	6	14.29	1	33.33			
Moyen	2	4.08	1	2.38	1	33.33			
Fort	1	2.04	1	2.38					
Absence	39	79.59	34	80.95	1	33.33	4	100.00	**0,1235**
Présence	10	20.41	8	19.05	2	66.67			

Tabagisme actif							
	Effectif total		NON		OUI		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	34	100.00	15	100.00	
Nul	39	79.59	26	76.47	13	86.67	**1,0000**
Faible	7	14.29	5	14.71	2	13.33	
Moyen	2	4.08	2	5.88			
Fort	1	2.04	1	2.94			
Absence	39	79.59	26	76.47	13	86.67	**0,7021**
Présence	10	20.41	8	23.53	2	13.33	

Tabagisme passif							
	Effectif total		NON		OUI		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	28	100.00	21	100.00	
Nul	39	79.59	21	75.00	18	85.71	**0,7063**
Faible	7	14.29	4	14.29	3	14.29	
Moyen	2	4.08	2	7.14			
Fort	1	2.04	1	3.57			
Absence	39	79.59	21	75.00	18	85.71	**0,4823**
Présence	10	20.41	7	25.00	3	14.29	

Surface contaminée									
	Effectif total		Faible		Moyenne		Elevée		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	8	100.00	30	100.00	11	100.00	
Nul	39	79.59	7	87.50	25	83.33	7	63.64	**0,5178**
Faible	7	14.29	1	12.50	4	13.33	2	18.18	
Moyen	2	4.08			1	3.33	1	9.09	
Fort	1	2.04					1	9.09	
Absence	39	79.59	7	87.50	25	83.33	7	63.64	**0,4118**
Présence	10	20.41	1	12.50	5	16.67	4	36.36	

Odeur de moisi							
	Effectif total		NON		OUI		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	29	100.00	20	100.00	
Nul	39	79.59	26	89.66	13	65.00	**0,0605**
Faible	7	14.29	3	10.34	4	20.00	
Moyen	2	4.08			2	10.00	

Fort	1	2.04			1	5.00	
Absence	39	79.59	26	89.66	13	65.00	**0,0681**
Présence	10	20.41	3	10.34	7	35.00	

Présence de plantes									
	Effectif total		0		1 à 4		5 et +		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	17	100.00	20	100.00	12	100.00	
Nul	39	79.59	12	70.59	16	80.00	11	91.67	**0,9492**
Faible	7	14.29	3	17.65	3	15.00	1	8.33	
Moyen	2	4.08	1	5.88	1	5.00			
Fort	1	2.04	1	5.88					
Absence	39	79.59	12	70.59	16	80.00	11	91.67	**0,4482**
Présence	10	20.41	5	29.41	4	20.00	1	8.33	

Présence d'animaux							
	Effectif total		NON		OUI		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	26	100.00	23	100.00	
Nul	39	79.59	20	76.92	19	82.61	**0,6072**
Faible	7	14.29	3	11.54	4	17.39	
Moyen	2	4.08	2	7.69			
Fort	1	2.04	1	3.85			
Absence	39	79.59	20	76.92	19	82.61	**0,7307**
Présence	10	20.41	6	23.08	4	17.39	

Type de ventilation											
	Effectif total		Ventilation naturelle		VMC débit constant		VMC double flux		VMC non fonctionnelle		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	21	100.00	23	100.00	1	100.00	4	100.00	
Nul	39	79.59	15	71.43	20	86.96	1	100.00	3	75.00	**0,6256**
Faible	7	14.29	3	14.29	3	13.04			1	25.00	
Moyen	2	4.08	2	9.52							
Fort	1	2.04	1	4.76							
Absence	39	79.59	15	71.43	20	86.96	1	100.00	3	75.00	**0,5336**
Présence	10	20.41	6	28.57	3	13.04			1	25.00	

Type de chauffage							
	Effectif total		Centralisé		Individuel		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	13	100.00	36	100.00	
Nul	39	79.59	12	92.31	27	75.00	**0,8660**
Faible	7	14.29	1	7.69	6	16.67	
Moyen	2	4.08			2	5.56	
Fort	1	2.04			1	2.78	
Absence	39	79.59	12	92.31	27	75.00	**0,2528**
Présence	10	20.41	1	7.69	9	25.00	

Présence et usage d'un sèche-linge							
	Effectif total		NON		OUI		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	28	100.00	21	100.00	
Nul	39	79.59	22	78.57	17	80.95	**1,0000**
Faible	7	14.29	4	14.29	3	14.29	
Moyen	2	4.08	1	3.57	1	4.76	
Fort	1	2.04	1	3.57			
Absence	39	79.59	22	78.57	17	80.95	**1,0000**
Présence	10	20.41	6	21.43	4	19.05	

Utilisation d'un déshumidificateur ou d'un absorbeur						
	Effectif total	Aucun	Absorbeur	Déshumidificateur électrique	Déshumidificateur industriel	Test statistique

	n	%	N	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	31	100.00	14	100.00	3	100.00	1	100.00	
Nul	39	79.59	23	74.19	12	85.71	3	100.00	1	100.00	
Faible	7	14.29	6	19.35	1	7.14					**0,8546**
Moyen	2	4.08	1	3.23	1	7.14					
Fort	1	2.04	1	3.23							
Absence	39	79.59	23	74.19	12	85.71	3	100.00	1	100.00	**0,6960**
Présence	10	20.41	8	25.81	2	14.29					

Utilisation d'un déshumidificateur ou d'un absorbeur							Test statistique
	Effectif total		NON		OUI		
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	31	100.00	18	100.00	
Nul	39	79.59	23	74.19	16	88.89	
Faible	7	14.29	6	19.35	1	5.56	**0,5193**
Moyen	2	4.08	1	3.23	1	5.56	
Fort	1	2.04	1	3.23			
Absence	39	79.59	23	74.19	16	88.89	**0,2876**
Présence	10	20.41	8	25.81	2	11.11	

Energie utilisée pour la cuisson											Test statistique
	Effectif total		Aucune		Electricité		Gaz de ville		Propane		
	n	%	N	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	1	100.00	20	100.00	24	100.00	4	100.00	
Nul	39	79.59			15	75.00	20	83.33	4	100.00	
Faible	7	14.29	1	100.00	3	15.00	3	12.50			**0,4640**
Moyen	2	4.08			1	5.00	1	4.17			
Fort	1	2.04			1	5.00					
Absence	39	79.59			15	75.00	20	83.33	4	100.00	**0,2474**
Présence	10	20.41	1	100.00	5	25.00	4	16.67			

Type de vitrage							Test statistique
	Effectif total		Vitrage simple		Double vitrage		
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	7	100.00	42	100.00	
Nul	39	79.59	5	71.43	34	80.95	
Faible	7	14.29	2	28.57	5	11.90	**0,5551**
Moyen	2	4.08			2	4.76	
Fort	1	2.04			1	2.38	
Absence	39	79.59	5	71.43	34	80.95	**0,6202**
Présence	10	20.41	2	28.57	8	19.05	

Présence de traces d'humidité dans l'habitat							Test statistique
	Effectif total		NON		OUI		
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	9	100.00	40	100.00	
Nul	39	79.59	8	88.89	31	77.50	
Faible	7	14.29	1	11.11	6	15.00	**1,0000**
Moyen	2	4.08			2	5.00	
Fort	1	2.04			1	2.50	
Absence	39	79.59	8	88.89	31	77.50	**0,6631**
Présence	10	20.41	1	11.11	9	22.50	

Résultats en rouge : résultats pour lesquels une différence significative inférieure à 0,05 est observée.

Un lien entre les sensations de malaise chez les résidents et la concentration dans l'air d'*Aspergillus versicolor* (p=0,0038), de *Penicillium crustosum* (p=0,0020) et des particules de 2 à 15 µm de diamètre (p=0,0136) a été observé. Pour l'intensité de ce symptôme, un

lien avec la concentration aérienne d'*Aspergillus versicolor* (p=0,0218) et de *Penicillium crustosum* (p=0,0108) a été mis en évidence.

Tableau 61 : Recherche de variables explicatives pour le symptôme « Crise d'asthme » par niveau d'intensité (nul, faible, moyen et fort) et par catégorie (présence ou absence). Les tests statistiques utilisés étaient des tests de Kruskal-Wallis (classes d'intensité) et de Wilcoxon (fréquence) pour les variables quantitatives et des tests de Fisher ou du Khi2 (quand les effectifs le permettaient, marqué par un astérisque) pour les variables qualitatives.

Crise d'asthme	**Variables explicatives**					**p-value**
CFU totales (CFU/m³ d'air)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	313,00	53265,60	22,70	361000,00	
Nul	37	304,00	14525,75	22,70	88100,00	
Faible	1	196,00	-	196,00	196,00	**0,6539**
Moyen	5	358,00	161263,76	212,00	361000,00	
Fort	6	329,30	1170,18	25,00	3070,00	
Absence	37	304,00	14525,75	22,70	88100,00	**0,6419**
Présence	12	350,00	104045,79	25,00	361000,00	
***Aspergillus versicolor* (CFU/m³ d'air)**						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	17,90	50862,30	0,00	344000,00	
Nul	37	17,50	14085,81	0,00	85200,00	
Faible	1	8,89	-	8,89	8,89	**0,9357**
Moyen	5	122,00	153807,17	0,00	344000,00	
Fort	6	24,88	632,42	0,00	1590,00	
Absence	37	17,50	14085,81	0,00	85200,00	**0,6727**
Présence	12	24,88	99248,22	0,00	344000,00	
***Aspergillus fumigatus* (CFU/m³ d'air)**						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	0,00	5,66	0,00	29,00	
Nul	37	0,00	6,37	0,00	29,00	
Faible	1	0,00	-	0,00	0,00	**0,7579**
Moyen	5	0,00	0,86	0,00	1,94	
Fort	6	1,06	2,40	0,00	5,88	
Absence	37	0,00	6,37	0,00	29,00	**0,9896**
Présence	12	0,00	1,86	0,00	5,88	
***Penicillium brevicompactum* (CFU/m³ d'air)**						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	3,33	108,36	0,00	669,00	
Nul	37	4,67	121,28	0,00	669,00	
Faible	1	0,00	-	0,00	0,00	**0,3424**
Moyen	5	4,56	7,26	0,00	18,90	
Fort	6	0,00	52,47	0,00	129,00	
Absence	37	4,67	121,28	0,00	669,00	**0,2020**
Présence	12	1,28	36,68	0,00	129,00	
***Penicillium chrysogenum* (CFU/m³ d'air)**						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	12,00	825,60	0,00	5190,00	
Nul	37	12,30	435,50	0,00	2220,00	
Faible	1	16,10	-	16,10	16,10	**0,2532**
Moyen	5	39,90	2281,75	0,00	5190,00	

Fort	6	0,00	18,22	0,00	45,40	
Absence	37	12,30	435,50	0,00	2220,00	**0,3419**
Présence	12	2,69	1489,48	0,00	5190,00	
***Penicillium crustosum* (CFU/m³ d'air)**						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	2,85	146,66	0,00	741,00	
Nul	37	3,78	117,94	0,00	719,00	
Faible	1	0,00	-	0,00	0,00	
Moyen	5	0,94	330,85	0,00	741,00	**0,6392**
Fort	6	4,18	8,95	0,00	24,20	
Absence	37	3,78	117,94	0,00	719,00	**0,6530**
Présence	12	2,01	212,85	0,00	741,00	
Particules totales (par m³ d'air)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	35680000,00	306900000,00	7800874,00	2007000000,00	
Nul	37	32700000,00	144546676,90	7801157,52	794411282,82	
Faible	1	2006813492,60	-	2006813492,60	2006813492,60	
Moyen	5	15365290,22	17500013,59	10100000,00	49907483,44	**0,1506**
Fort	6	39950000,00	22030669,35	8870000,00	67796270,78	
Absence	37	32700000,00	144546676,90	7801157,52	794411282,82	**0,4639**
Présence	12	35679676,61	570116838,26	8870000,00	2006813492,60	
Particules de 2 à 15 µm de diamètre (par m³ d'air)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	371621,00	716121,00	158983,00	4194709,00	
Nul	37	337283,37	804999,09	158983,43	4194709,14	
Faible	1	487168,48	-	487168,48	487168,48	
Moyen	5	323094,46	311259,06	202700,00	971942,99	**0,6614**
Fort	6	491374,27	213692,74	265953,90	867600,00	
Absence	37	337283,37	804999,09	158983,43	4194709,14	**0,3961**
Présence	12	443710,75	238514,14	202700,00	971942,99	
Concentration d'endotoxines (ng / m³ d'air)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	5,79	18,35	0,14	91,13	
Nul	37	6,63	19,20	0,14	91,13	
Faible	1	5,60	-	5,60	5,60	
Moyen	5	4,81	6,35	0,29	14,93	**0,9064**
Fort	6	2,45	21,23	0,29	54,15	
Absence	37	6,63	19,20	0,14	91,13	**0,5150**
Présence	12	4,25	14,97	0,29	54,15	
Concentration de glucanes (ng / m³ d'air)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	1,05	2,21	0,16	15,48	
Nul	37	1,00	2,45	0,16	15,48	
Faible	1	1,30	-	1,30	1,30	
Moyen	5	1,47	1,17	0,59	3,72	**0,2810**
Fort	6	0,42	1,10	0,17	3,04	
Absence	37	1,00	2,45	0,16	15,48	**0,7536**
Présence	12	1,22	1,11	0,17	3,72	
Température (°C)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	22,25	2,51	12,64	26,10	
Nul	37	22,30	2,19	17,45	26,10	
Faible	1	22,30	-	22,30	22,30	
Moyen	5	20,96	4,82	12,64	25,50	**0,8414**
Fort	6	22,12	1,95	19,50	24,88	
Absence	37	22,30	2,19	17,45	26,10	**0,4639**

Présence	12	22,01	3,34	12,64	25,50	
Humidité relative (%)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	60,50	7,55	44,84	74,30	
Nul	37	60,60	7,41	44,84	70,90	
Faible	1	74,30	-	74,30	74,30	
Moyen	5	55,95	8,36	54,50	70,89	**0,3023**
Fort	6	57,85	6,55	51,97	68,70	
Absence	37	60,60	7,41	44,84	70,90	**0,8161**
Présence	12	58,37	7,98	51,97	74,30	
Temps d'ouverture des fenêtres (heure / jour)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	1,00	3,96	0,00	18,00	
Nul	37	1,00	4,43	0,00	18,00	
Faible	1	0,50	-	0,50	0,50	
Moyen	5	1,00	0,67	0,50	2,00	**0,8065**
Fort	6	1,25	4,53	0,25	12,00	
Absence	37	1,00	4,43	0,00	18,00	**0,8584**
Présence	12	1,00	3,27	0,25	12,00	
Durée d'exposition quotidienne (heure / jour)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	40	14,00	4,35	4,00	24,00	
Nul	31	14,00	4,63	4,00	24,00	
Faible	0	-	-	-	-	
Moyen	3	16,00	4,51	11,00	20,00	**0,9645**
Fort	6	13,50	3,37	12,00	20,00	
Absence	31	14,00	4,63	4,00	24,00	**0,9086**
Présence	9	14,00	3,52	11,00	20,00	

Acarex test									
	Effectif total		Faible		Moyen		Nul		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	42	100.00	3	100.00	4	100.00	
Nul	37	75.51	34	80.95	1	33.33	2	50.00	
Faible	1	2.04	1	2.38					
Moyen	5	10.20	1	2.38	2	66.67	2	50.00	**0,0806**
Fort	6	12.24	6	14.29					
Absence	37	75.51	34	80.95	1	33.33	2	50.00	**0,0755**
Présence	12	24.49	8	19.05	2	66.67	2	50.00	

Tabagisme actif							
	Effectif total		NON		OUI		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	34	100.00	15	100.00	
Nul	37	75.51	28	82.35	9	60.00	
Faible	1	2.04			1	6.67	
Moyen	5	10.20	4	11.76	1	6.67	**0,0587**
Fort	6	12.24	2	5.88	4	26.67	
Absence	37	75.51	28	82.35	9	60.00	**0,1484**
Présence	12	24.49	6	17.65	6	40.00	

Tabagisme passif							
	Effectif total		NON		OUI		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	28	100.00	21	100.00	
Nul	37	75.51	22	78.57	15	71.43	
Faible	1	2.04	1	3.57			
Moyen	5	10.20	4	14.29	1	4.76	**0,1195**
Fort	6	12.24	1	3.57	5	23.81	

Absence	37	75.51	22	78.57	15	71.43			**0,5650** *
Présence	12	24.49	6	21.43	6	28.57			
Surface contaminée									
	Effectif total		Faible		Moyenne		Elevée		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	8	100.00	30	100.00	11	100.00	
Nul	37	75.51	7	87.50	21	70.00	9	81.82	
Faible	1	2.04			1	3.33			
Moyen	5	10.20	1	12.50	2	6.67	2	18.18	**0,4632**
Fort	6	12.24			6	20.00			
Absence	37	75.51	7	87.50	21	70.00	9	81.82	**0,7166**
Présence	12	24.49	1	12.50	9	30.00	2	18.18	
Odeur de moisi									
	Effectif total		NON		OUI				Test statistique
	n	%	N	%	N	%			
TOTAL	49	100.00	29	100.00	20	100.00			
Nul	37	75.51	23	79.31	14	70.00			
Faible	1	2.04	1	3.45					**0,7206**
Moyen	5	10.20	2	6.90	3	15.00			
Fort	6	12.24	3	10.34	3	15.00			
Absence	37	75.51	23	79.31	14	70.00			**0,5123**
Présence	12	24.49	6	20.69	6	30.00			
Présence de plantes									
	Effectif total		0		1 à 4		5 et +		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	17	100.00	20	100.00	12	100.00	
Nul	37	75.51	14	82.35	14	70.00	9	75.00	
Faible	1	2.04			1	5.00			
Moyen	5	10.20	2	11.76	2	10.00	1	8.33	**0,9610**
Fort	6	12.24	1	5.88	3	15.00	2	16.67	
Absence	37	75.51	14	82.35	14	70.00	9	75.00	**0,7059**
Présence	12	24.49	3	17.65	6	30.00	3	25.00	
Présence d'animaux									
	Effectif total		NON		OUI				Test statistique
	n	%	N	%	N	%			
TOTAL	49	100.00	26	100.00	23	100.00			
Nul	37	75.51	19	73.08	18	78.26			
Faible	1	2.04	1	3.85					**1,0000**
Moyen	5	10.20	3	11.54	2	8.70			
Fort	6	12.24	3	11.54	3	13.04			
Absence	37	75.51	19	73.08	18	78.26			**0,6737** *
Présence	12	24.49	7	26.92	5	21.74			
Type de ventilation									
	Effectif total		Ventilation naturelle		VMC débit constant		VMC double flux		VMC non fonctionnelle		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	21	100.00	23	100.00	1	100.00	4	100.00	
Nul	37	75.51	16	76.19	18	78.26	1	100.00	2	50.00	
Faible	1	2.04	1	4.76							
Moyen	5	10.20	3	14.29	1	4.35			1	25.00	**0,4180**
Fort	6	12.24	1	4.76	4	17.39			1	25.00	
Absence	37	75.51	16	76.19	18	78.26	1	100.00	2	50.00	**0,6101**
Présence	12	24.49	5	23.81	5	21.74			2	50.00	
Type de chauffage									
	Effectif total		Centralisé		Individuel				Test statistique
	n	%	N	%	N	%			

TOTAL	49	100.00	13	100.00	36	100.00	
Nul	37	75.51	11	84.62	26	72.22	
Faible	1	2.04	1	7.69			**0,1742**
Moyen	5	10.20	1	7.69	4	11.11	
Fort	6	12.24			6	16.67	
Absence	37	75.51	11	84.62	26	72.22	**0,4737**
Présence	12	24.49	2	15.38	10	27.78	

Présence et usage d'un sèche-linge

	Effectif total		NON		OUI		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	28	100.00	21	100.00	
Nul	37	75.51	22	78.57	15	71.43	
Faible	1	2.04	1	3.57			**0,6374**
Moyen	5	10.20	3	10.71	2	9.52	
Fort	6	12.24	2	7.14	4	19.05	
Absence	37	75.51	22	78.57	15	71.43	**0,5650** *
Présence	12	24.49	6	21.43	6	28.57	

Utilisation d'un déshumidificateur ou d'un absorbeur

	Effectif total		Aucun		Absorbeur		Déshumidificateur électrique		Déshumidificateur industriel		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	31	100.00	14	100.00	3	100.00	1	100.00	
Nul	37	75.51	20	64.52	13	92.86	3	100.00	1	100.00	
Faible	1	2.04	1	3.23							**0,6236**
Moyen	5	10.20	5	16.13							
Fort	6	12.24	5	16.13	1	7.14					
Absence	37	75.51	20	64.52	13	92.86	3	100.00	1	100.00	**0,1344**
Présence	12	24.49	11	35.48	1	7.14					

Utilisation d'un déshumidificateur ou d'un absorbeur

	Effectif total		NON		OUI		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	31	100.00	18	100.00	
Nul	37	75.51	20	64.52	17	94.44	
Faible	1	2.04	1	3.23			**0,1217**
Moyen	5	10.20	5	16.13			
Fort	6	12.24	5	16.13	1	5.56	
Absence	37	75.51	20	64.52	17	94.44	**0,0356**
Présence	12	24.49	11	35.48	1	5.56	

Energie utilisée pour la cuisson

	Effectif total		Aucune		Electricité		Gaz de ville		Propane		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	1	100.00	20	100.00	24	100.00	4	100.00	
Nul	37	75.51	1	100.00	16	80.00	17	70.83	3	75.00	
Faible	1	2.04					1	4.17			**0,9491**
Moyen	5	10.20			2	10.00	3	12.50			
Fort	6	12.24			2	10.00	3	12.50	1	25.00	
Absence	37	75.51	1	100.00	16	80.00	17	70.83	3	75.00	**0,9095**
Présence	12	24.49			4	20.00	7	29.17	1	25.00	

Type de vitrage

	Effectif total		Vitrage simple		Double vitrage		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	7	100.00	42	100.00	
Nul	37	75.51	6	85.71	31	73.81	
Faible	1	2.04			1	2.38	**0,6854**
Moyen	5	10.20	1	14.29	4	9.52	
Fort	6	12.24			6	14.29	

Absence	37	75.51	6	85.71	31	73.81	**0,6651**
Présence	12	24.49	1	14.29	11	26.19	
	Présence de traces d'humidité dans l'habitat						
	Effectif total		NON		OUI		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	9	100.00	40	100.00	
Nul	37	75.51	6	66.67	31	77.50	
Faible	1	2.04			1	2.50	**0,4829**
Moyen	5	10.20	2	22.22	3	7.50	
Fort	6	12.24	1	11.11	5	12.50	
Absence	37	75.51	6	66.67	31	77.50	**0,6693**
Présence	12	24.49	3	33.33	9	22.50	

Résultats en rouge : résultats pour lesquels une différence significative inférieure à 0,05 est observée.

Un lien entre la survenue des crises d'asthme et l'utilisation d'un absorbeur ou d'un déshumidificateur a été observé (p=0,0356).

Tableau 62 : Recherche de variables explicatives pour le symptôme « Gêne respiratoire » par niveau d'intensité (nul, faible, moyen et fort) et par catégorie (présence ou absence). Les tests statistiques utilisés étaient des tests de Kruskal-Wallis (classes d'intensité) et de Wilcoxon (fréquence) pour les variables quantitatives et des tests de Fisher ou du Khi2 (quand les effectifs le permettaient, marqué par un astérisque) pour les variables qualitatives.

Gêne respiratoire	**Variables explicatives**					**p-value**
	CFU totales (CFU/m³ d'air)					
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	313,00	53265,60	22,70	361000,00	
Nul	13	390,00	879,84	22,70	2740,00	
Faible	6	203,00	121,56	76,10	411,00	**0,6856**
Moyen	16	313,00	89963,29	25,00	361000,00	
Fort	14	325,00	23394,08	49,10	88100,00	
Absence	13	390,00	879,84	22,70	2740,00	**0,5484**
Présence	36	276,00	61393,29	25,00	361000,00	
	***Aspergillus versicolor* (CFU/m³ d'air)**					
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	17,90	50862,30	0,00	344000,00	
Nul	13	4,72	339,18	0,00	1230,00	
Faible	6	46,65	51,76	0,00	144,00	**0,3563**
Moyen	16	27,30	85808,11	0,00	344000,00	
Fort	14	29,30	22743,87	0,00	85200,00	
Absence	13	4,72	339,18	0,00	1230,00	**0,0803**
Présence	36	33,45	58611,84	0,00	344000,00	
	***Aspergillus fumigatus* (CFU/m³ d'air)**					
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	0,00	5,66	0,00	29,00	
Nul	13	1,10	2,03	0,00	4,86	
Faible	6	0,56	11,55	0,00	29,00	**0,3907**
Moyen	16	0,00	1,94	0,00	5,88	
Fort	14	0,00	7,09	0,00	26,70	
Absence	13	1,10	2,03	0,00	4,86	**0,2270**
Présence	36	0,00	6,46	0,00	29,00	
	***Penicillium brevicompactum* (CFU/m³ d'air)**					

	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	3,33	108,36	0,00	669,00	
Nul	13	7,78	91,40	0,00	290,00	**0,2554**
Faible	6	1,67	24,58	0,00	62,20	
Moyen	16	1,28	35,48	0,00	129,00	
Fort	14	6,17	177,39	0,00	669,00	
Absence	13	7,78	91,40	0,00	290,00	**0,0944**
Présence	36	2,60	113,43	0,00	669,00	

Penicillium chrysogenum (CFU/m³ d'air)

	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	12,00	825,60	0,00	5190,00	
Nul	13	28,80	75,87	0,00	288,00	**0,1689**
Faible	6	0,49	8,07	0,00	16,10	
Moyen	16	26,20	1296,19	0,00	5190,00	
Fort	14	6,40	638,45	0,00	2220,00	
Absence	13	28,80	75,87	0,00	288,00	**0,4575**
Présence	36	7,92	946,38	0,00	5190,00	

Penicillium crustosum (CFU/m³ d'air)

	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	2,85	146,66	0,00	741,00	
Nul	13	1,67	198,28	0,00	719,00	**0,8971**
Faible	6	2,89	10,89	0,00	28,30	
Moyen	16	3,74	184,05	0,00	741,00	
Fort	14	3,10	17,75	0,00	66,70	
Absence	13	1,67	198,28	0,00	719,00	**0,4965**
Présence	36	3,43	123,19	0,00	741,00	

Particules totales (par m³ d'air)

	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	35680000,00	306900000,00	7800874,00	2007000000,00	
Nul	13	29221904,31	42786953,50	7801157,52	160253215,95	**0,4320**
Faible	6	84554488,31	795579664,71	21000000,00	2006813492,60	
Moyen	16	46303741,72	87226524,58	8870000,00	372000000,00	
Fort	14	34950000,00	87276398,34	8870000,00	332237664,69	
Absence	13	29221904,31	42786953,50	7801157,52	160253215,95	**0,2129**
Présence	36	41500000,00	351428526,39	8870000,00	2006813492,60	

Particules de 2 à 15 µm de diamètre (par m³ d'air)

	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	371621,00	716121,00	158983,00	4194709,00	
Nul	13	254324,61	576695,10	169320,79	1910684,00	**0,3988**
Faible	6	369903,98	315832,50	159700,00	1031600,00	
Moyen	16	430641,48	258308,51	158983,43	971942,99	
Fort	14	364125,47	1157711,65	202700,00	4194709,14	
Absence	13	254324,61	576695,10	169320,79	1910684,00	**0,1079**
Présence	36	415628,87	756525,74	158983,43	4194709,14	

Concentration d'endotoxines (ng / m³ d'air)

	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	5,79	18,35	0,14	91,13	
Nul	13	11,11	25,41	1,71	91,13	**0,0196**
Faible	6	6,93	11,56	1,23	31,33	
Moyen	16	4,36	16,95	0,14	54,15	
Fort	14	2,92	6,11	0,17	19,68	
Absence	13	11,11	25,41	1,71	91,13	**0,0052**
Présence	36	3,75	12,89	0,14	54,15	

Concentration de glucanes (ng / m³ d'air)

	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum
TOTAL	49	1,05	2,21	0,16	15,48

Nul	13	0,80	0,88	0,16	2,83	
Faible	6	1,10	0,58	0,81	2,23	**0,4245**
Moyen	16	1,30	3,62	0,17	15,48	
Fort	14	0,89	0,91	0,17	3,72	
Absence	13	0,80	0,88	0,16	2,83	**0,7476**
Présence	36	1,07	2,51	0,17	15,48	

Température (°C)

	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	22,25	2,51	12,64	26,10	
Nul	13	22,90	1,97	18,75	25,11	
Faible	6	21,41	1,83	19,90	25,10	**0,5993**
Moyen	16	21,91	2,37	18,87	26,10	
Fort	14	21,96	3,27	12,64	24,88	
Absence	13	22,90	1,97	18,75	25,11	**0,2389**
Présence	36	21,76	2,66	12,64	26,10	

Humidité relative (%)

	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	60,50	7,55	44,84	74,30	
Nul	13	55,80	7,00	46,68	68,80	
Faible	6	60,93	11,23	44,84	74,30	**0,5110**
Moyen	16	62,60	7,02	50,50	70,90	
Fort	14	60,60	6,66	53,29	70,89	
Absence	13	55,80	7,00	46,68	68,80	**0,1380**
Présence	36	61,45	7,47	44,84	74,30	

Temps d'ouverture des fenêtres (heure / jour)

	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	1,00	3,96	0,00	18,00	
Nul	13	1,00	0,53	0,10	2,00	
Faible	6	0,50	4,68	0,25	12,00	**0,6172**
Moyen	16	1,50	3,86	0,00	12,00	
Fort	14	1,00	5,79	0,00	18,00	
Absence	13	1,00	0,53	0,10	2,00	**0,7545**
Présence	36	1,00	4,71	0,00	18,00	

Durée d'exposition quotidienne (heure / jour)

	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	40	14,00	4,35	4,00	24,00	
Nul	13	14,00	4,99	4,00	20,00	
Faible	4	13,00	3,42	10,00	18,00	**0,6435**
Moyen	12	14,00	3,49	12,00	21,00	
Fort	11	15,00	5,02	7,00	24,00	
Absence	13	14,00	4,99	4,00	20,00	**0,7146**
Présence	27	14,00	4,12	7,00	24,00	

Acarex test

	Effectif total		Faible		Moyen		Nul		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	42	100.00	3	100.00	4	100.00	
Nul	13	26.53	11	26.19			2	50.00	
Faible	6	12.24	6	14.29					**0,6370**
Moyen	16	32.65	12	28.57	2	66.67	2	50.00	
Fort	14	28.57	13	30.95	1	33.33			
Absence	13	26.53	11	26.19			2	100.00	**0,4088**
Présence	36	73.47	31	73.81	3	100.00	2	50.00	

Tabagisme actif

	Effectif total		NON		OUI		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	34	100.00	15	100.00	

Nul	13	26.53	12	35.29	1	6.67	
Faible	6	12.24	3	8.82	3	20.00	**0,0167**
Moyen	16	32.65	13	38.24	3	20.00	
Fort	14	28.57	6	17.65	8	53.33	
Absence	13	26.53	12	35.29	1	6.67	**0,0426**
Présence	36	73.47	22	64.71	14	93.33	

Tabagisme passif

	Effectif total		NON		OUI		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	28	100.00	21	100.00	
Nul	13	26.53	9	32.14	4	19.05	
Faible	6	12.24	4	14.29	2	9.52	**0,5885**
Moyen	16	32.65	9	32.14	7	33.33	
Fort	14	28.57	6	21.43	8	38.10	
Absence	13	26.53	9	32.14	4	19.05	**0,3042** *
Présence	36	73.47	19	67.86	17	80.95	

Surface contaminée

	Effectif total		Faible		Moyenne		Elevée		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	8	100.00	30	100.00	11	100.00	
Nul	13	26.53	5	62.50	7	23.33	1	9.09	
Faible	6	12.24	2	25.00	4	13.33			**0,0441**
Moyen	16	32.65	1	12.50	10	33.33	5	45.45	
Fort	14	28.57			9	30.00	5	45.45	
Absence	13	26.53	5	62.50	7	23.33	1	9.09	**0,0354**
Présence	36	73.47	3	37.50	23	76.67	10	90.91	

Odeur de moisi

	Effectif total		NON		OUI		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	29	100.00	20	100.00	
Nul	13	26.53	11	37.93	2	10.00	
Faible	6	12.24	3	10.34	3	15.00	**0,1520**
Moyen	16	32.65	9	31.03	7	35.00	
Fort	14	28.57	6	20.69	8	40.00	
Absence	13	26.53	11	37.93	2	10.00	**0,0295** *
Présence	36	73.47	18	62.07	18	90.00	

Présence de plantes

	Effectif total		0		1 à 4		5 et +		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	17	100.00	20	100.00	12	100.00	
Nul	13	26.53	4	23.53	4	20.00	5	41.67	
Faible	6	12.24	2	11.76	2	10.00	2	16.67	**0,8077**
Moyen	16	32.65	5	29.41	8	40.00	3	25.00	
Fort	14	28.57	6	35.29	6	30.00	2	16.67	
Absence	13	26.53	4	23.53	4	20.00	5	41.67	**0,4173**
Présence	36	73.47	13	76.47	16	80.00	7	58.33	

Présence d'animaux

	Effectif total		NON		OUI		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	26	100.00	23	100.00	
Nul	13	26.53	10	38.46	3	13.04	
Faible	6	12.24	4	15.38	2	8.70	**0,1280**
Moyen	16	32.65	7	26.92	9	39.13	
Fort	14	28.57	5	19.23	9	39.13	
Absence	13	26.53	10	38.46	3	13.04	**0,0443** *
Présence	36	73.47	16	61.54	20	86.96	

Type de ventilation	Effectif total		Ventilation naturelle		VMC débit constant		VMC double flux		VMC non fonctionnelle		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	21	100.00	23	100.00	1	100.00	4	100.00	
Nul	13	26.53	3	14.29	9	39.13	1	100.00			
Faible	6	12.24	3	14.29	2	8.70			1	25.00	**0,0127**
Moyen	16	32.65	6	28.57	10	43.48					
Fort	14	28.57	9	42.86	2	8.70			3	75.00	
Absence	13	26.53	3	14.29	9	39.13	1	100.00			**0,0519**
Présence	36	73.47	18	85.71	14	60.87			4	100.00	

Type de chauffage	Effectif total		Centralisé		Individuel		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	13	100.00	36	100.00	
Nul	13	26.53	4	30.77	9	25.00	
Faible	6	12.24	3	23.08	3	8.33	**0,4985**
Moyen	16	32.65	3	23.08	13	36.11	
Fort	14	28.57	3	23.08	11	30.56	
Absence	13	26.53	4	30.77	9	25.00	**0,7273**
Présence	36	73.47	9	69.23	27	75.00	

Présence et usage d'un sèche-linge	Effectif total		NON		OUI		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	28	100.00	21	100.00	
Nul	13	26.53	5	17.86	8	38.10	
Faible	6	12.24	5	17.86	1	4.76	**0,3230**
Moyen	16	32.65	9	32.14	7	33.33	
Fort	14	28.57	9	32.14	5	23.81	
Absence	13	26.53	5	17.86	8	38.10	**0,1123** *
Présence	36	73.47	23	82.14	13	61.90	

Utilisation d'un déshumidificateur ou d'un absorbeur	Effectif total		Aucun		Absorbeur		Déshumidificateur électrique		Déshumidificateur industriel		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	31	100.00	14	100.00	3	100.00	1	100.00	
Nul	13	26.53	5	16.13	7	50.00			1	100.00	
Faible	6	12.24	4	12.90	2	14.29					**0,0478**
Moyen	16	32.65	13	41.94	3	21.43					
Fort	14	28.57	9	29.03	2	14.29	3	100.00			
Absence	13	26.53	5	16.13	7	50.00			1	100.00	**0,0218**
Présence	36	73.47	26	83.87	7	50.00	3	100.00			

Utilisation d'un déshumidificateur ou d'un absorbeur	Effectif total		NON		OUI		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	31	100.00	18	100.00	
Nul	13	26.53	5	16.13	8	44.44	
Faible	6	12.24	4	12.90	2	11.11	**0,1340**
Moyen	16	32.65	13	41.94	3	16.67	
Fort	14	28.57	9	29.03	5	27.78	
Absence	13	26.53	5	16.13	8	44.44	**0,0454**
Présence	36	73.47	26	83.87	10	55.56	

Energie utilisée pour la cuisson	Effectif total		Aucune		Electricité		Gaz de ville		Propane		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	1	100.00	20	100.00	24	100.00	4	100.00	
Nul	13	26.53			4	20.00	8	33.33	1	25.00	**0,7101**

Faible	6	12.24			2	10.00	4	16.67			
Moyen	16	32.65	1	100.00	6	30.00	8	33.33	1	25.00	
Fort	14	28.57			8	40.00	4	16.67	2	50.00	
Absence	13	26.53			4	20.00	8	33.33	1	25.00	**0,8388**
Présence	36	73.47	1	100.00	16	80.00	16	66.67	3	75.00	

	Type de vitrage						
	Effectif total		Vitrage simple		Double vitrage		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	7	100.00	42	100.00	
Nul	13	26.53	1	14.29	12	28.57	
Faible	6	12.24			6	14.29	**0,3800**
Moyen	16	32.65	2	28.57	14	33.33	
Fort	14	28.57	4	57.14	10	23.81	
Absence	13	26.53	1	14.29	12	28.57	**0,6577**
Présence	36	73.47	6	85.71	30	71.43	

	Présence de traces d'humidité dans l'habitat						
	Effectif total		NON		OUI		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	9	100.00	40	100.00	
Nul	13	26.53	4	44.44	9	22.50	
Faible	6	12.24			6	15.00	**0,2702**
Moyen	16	32.65	4	44.44	12	30.00	
Fort	14	28.57	1	11.11	13	32.50	
Absence	13	26.53	4	44.44	9	22.50	**0,2240**
Présence	36	73.47	5	55.56	31	77.50	

Résultats en rouge : résultats pour lesquels une différence significative inférieure à 0,05 est observée.

Un lien entre la présence de gêne respiratoire (dyspnée) chez les résidents et la concentration d'endotoxines dans l'air (p=0,0052), le tabagisme actif (p=0,0426), l'étendue de la surface contaminée (p=0,0354), la présence d'une odeur de moisi (p=0,0295), la présence d'animaux dans l'habitat (p=0,0443), l'utilisation d'un absorbeur ou d'un déshumidificateur (p=0,0454) ainsi que le type d'absorbeur ou de déshumidificateur utilisé (p=0,0218) a été observé. Pour l'intensité de ce symptôme, un lien avec la concentration des endotoxines dans l'air (p=0,0196), le tabagisme actif (p=0,0167), l'étendue de la surface contaminée (p=0,0441), et le type de ventilation (p=0,127) et du type d'absorbeur ou de déshumidificateur employé (p=0,0478) a été mis en évidence.

Tableau 63 : Recherche de variables explicatives pour le symptôme « Démangeaisons » par niveau d'intensité (nul, faible, moyen et fort) et par catégorie (présence ou absence). Les tests statistiques utilisés étaient des tests de Kruskal-Wallis (classes d'intensité) et de Wilcoxon (fréquence) pour les variables quantitatives et des tests de Fisher ou du Khi2 (quand les effectifs le permettaient, marqué par un astérisque) pour les variables qualitatives.

Démangeaisons	**Variables explicatives**					**p-value**
	CFU totales (CFU/m³ d'air)					
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	313,00	53265,60	22,70	361000,00	
Nul	17	304,00	703,14	32,20	3070,00	**0,2848**
Faible	7	322,00	308,14	95,60	812,00	

Moyen	14	147,70	853,82	22,70	2740,00	
Fort	11	1640,00	108690,96	53,80	361000,00	
Absence	17	304,00	703,14	32,20	3070,00	**0,8091**
Présence	32	332,00	65024,84	22,70	361000,00	
***Aspergillus versicolor* (CFU/m³ d'air)**						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	17,90	50862,30	0,00	344000,00	
Nul	17	17,50	380,03	0,00	1590,00	
Faible	7	5,65	85,96	0,00	237,00	**0,0438**
Moyen	14	4,68	326,10	0,00	1230,00	
Fort	11	156,00	103881,04	0,00	344000,00	
Absence	17	17,50	380,03	0,00	1590,00	**0,8404**
Présence	32	16,15	62104,35	0,00	344000,00	
***Aspergillus fumigatus* (CFU/m³ d'air)**						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	0,00	5,66	0,00	29,00	
Nul	17	0,00	6,43	0,00	26,70	
Faible	7	0,00	1,26	0,00	3,33	**0,1658**
Moyen	14	0,95	7,54	0,00	29,00	
Fort	11	0,00	1,77	0,00	5,88	
Absence	17	0,00	6,43	0,00	26,70	**0,7591**
Présence	32	0,00	5,22	0,00	29,00	
***Penicillium brevicompactum* (CFU/m³ d'air)**						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	3,33	108,36	0,00	669,00	
Nul	17	4,67	33,52	0,00	129,00	
Faible	7	2,96	5,85	0,00	13,40	**0,6548**
Moyen	14	2,61	55,10	0,00	208,00	
Fort	11	4,56	206,15	0,00	669,00	
Absence	17	4,67	33,52	0,00	129,00	**0,8378**
Présence	32	3,15	130,29	0,00	669,00	
***Penicillium chrysogenum* (CFU/m³ d'air)**						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	12,00	825,60	0,00	5190,00	
Nul	17	7,78	44,80	0,00	164,00	
Faible	7	15,60	12,51	0,00	29,20	**0,4136**
Moyen	14	7,43	92,73	0,00	355,00	
Fort	11	288,00	1568,13	0,00	5190,00	
Absence	17	7,78	44,80	0,00	164,00	**0,6949**
Présence	32	12,00	998,79	0,00	5190,00	
***Penicillium crustosum* (CFU/m³ d'air)**						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	2,85	146,66	0,00	741,00	
Nul	17	0,86	7,18	0,00	28,30	
Faible	7	3,83	2,88	0,00	7,22	**0,0811**
Moyen	14	3,10	191,30	0,00	719,00	
Fort	11	9,72	218,50	0,00	741,00	
Absence	17	0,86	7,18	0,00	28,30	**0,0975**
Présence	32	3,86	178,06	0,00	741,00	
Particules totales (par m³ d'air)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	35680000,00	306900000,00	7800874,00	2007000000,00	
Nul	17	42800000,00	90797184,02	10100000,00	372000000,00	
Faible	7	32400000,00	289935008,61	8870000,00	794411282,82	**0,8899**
Moyen	14	30960952,16	526920914,24	7801157,52	2006813492,60	
Fort	11	42700000,00	43440455,66	10100000,00	160253215,95	

Absence	17	42800000,00	90797184,02	10100000,00	372000000,00	**0,6440**
Présence	32	33429676,61	370986403,74	7801157,52	2006813492,60	
Particules de 2 à 15 µm de diamètre (par m³ d'air)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	371621,00	716121,00	158983,00	4194709,00	
Nul	17	394713,03	441921,27	158983,43	1910684,00	
Faible	7	266518,37	64820,53	225686,94	405874,78	**0,2341**
Moyen	14	434071,48	687381,95	159700,00	2673703,11	
Fort	11	520710,00	1144648,80	201111,78	4194709,14	
Absence	17	394713,03	441921,27	158983,43	1910684,00	**0,3133**
Présence	32	342906,02	817980,11	159700,00	4194709,14	
Concentration d'endotoxines (ng / m³ d'air)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	5,79	18,35	0,14	91,13	
Nul	17	8,61	23,76	0,15	91,13	
Faible	7	1,23	3,82	0,20	9,80	**0,4006**
Moyen	14	5,08	15,60	0,17	54,15	
Fort	11	3,68	15,61	0,14	47,25	
Absence	17	8,61	23,76	0,15	91,13	**0,1755**
Présence	32	4,92	13,96	0,14	54,15	
Concentration de glucanes (ng / m³ d'air)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	1,05	2,21	0,16	15,48	
Nul	17	1,05	3,52	0,16	15,48	
Faible	7	0,65	0,93	0,17	2,58	**0,4023**
Moyen	14	0,85	0,81	0,26	3,04	
Fort	11	1,31	0,94	0,41	3,72	
Absence	17	1,05	3,52	0,16	15,48	**0,3664**
Présence	32	0,98	0,88	0,17	3,72	
Température (°C)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	22,25	2,51	12,64	26,10	
Nul	17	21,80	1,95	18,87	25,10	
Faible	7	24,80	2,00	19,90	25,11	**0,1782**
Moyen	14	22,25	2,02	18,75	24,20	
Fort	11	22,10	3,76	12,64	26,10	
Absence	17	21,80	1,95	18,87	25,10	**0,8172**
Présence	32	22,30	2,80	12,64	26,10	
Humidité relative (%)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	60,50	7,55	44,84	74,30	
Nul	17	60,30	6,70	46,68	69,70	
Faible	7	62,10	7,14	48,10	70,90	**0,7900**
Moyen	14	58,47	8,40	44,84	74,30	
Fort	11	65,35	8,36	50,50	70,89	
Absence	17	60,30	6,70	46,68	69,70	**0,6440**
Présence	32	61,19	7,94	44,84	74,30	
Temps d'ouverture des fenêtres (heure / jour)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	1,00	3,96	0,00	18,00	
Nul	17	1,00	2,77	0,00	12,00	
Faible	7	6,00	5,28	0,50	12,00	**0,0371**
Moyen	14	1,00	3,08	0,00	12,00	
Fort	11	1,00	5,17	0,25	18,00	
Absence	17	1,00	2,77	0,00	12,00	**0,0781**
Présence	32	1,00	4,64	0,00	18,00	

Durée d'exposition quotidienne (heure / jour)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	40	14,00	4,35	4,00	24,00	
Nul	15	14,00	4,42	4,00	20,00	
Faible	6	14,00	3,71	12,00	21,00	**0,6191**
Moyen	11	13,00	4,46	7,00	20,00	
Fort	8	17,00	4,87	9,00	24,00	
Absence	15	14,00	4,42	4,00	20,00	**0,5429**
Présence	25	14,00	4,36	7,00	24,00	

Acarex test									
	Effectif total		Faible		Moyen		Nul		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	42	100.00	3	100.00	4	100.00	
Nul	17	34.69	15	35.71			2	50.00	
Faible	7	14.29	7	16.67					**0,0765**
Moyen	14	28.57	12	28.57			2	50.00	
Fort	11	22.45	8	19.05	3	100.00			
Absence	17	34.69	15	35.71			2	50.00	**0,4713**
Présence	32	65.31	27	64.29	3	100.00	2	50.00	

Tabagisme actif							Test statistique
	Effectif total		NON		OUI		
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	34	100.00	15	100.00	
Nul	17	34.69	13	38.24	4	26.67	
Faible	7	14.29	6	17.65	1	6.67	**0,5248**
Moyen	14	28.57	9	26.47	5	33.33	
Fort	11	22.45	6	17.65	5	33.33	
Absence	17	34.69	13	38.24	4	26.67	**0,4330** *
Présence	32	65.31	21	61.76	11	73.33	

Tabagisme passif							Test statistique
	Effectif total		NON		OUI		
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	28	100.00	21	100.00	
Nul	17	34.69	10	35.71	7	33.33	
Faible	7	14.29	3	10.71	4	19.05	**0,8786**
Moyen	14	28.57	8	28.57	6	28.57	
Fort	11	22.45	7	25.00	4	19.05	
Absence	17	34.69	10	35.71	7	33.33	**0,8624** *
Présence	32	65.31	18	64.29	14	66.67	

Surface contaminée									Test statistique
	Effectif total		Faible		Moyenne		Elevée		
	n	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	8	100.00	30	100.00	11	100.00	
Nul	17	34.69	2	25.00	13	43.33	2	18.18	
Faible	7	14.29	2	25.00	4	13.33	1	9.09	**0,4431**
Moyen	14	28.57	3	37.50	8	26.67	3	27.27	
Fort	11	22.45	1	12.50	5	16.67	5	45.45	
Absence	17	34.69	2	25.00	13	43.33	2	18.18	**0,2796**
Présence	32	65.31	6	75.00	17	56.67	9	81.82	

Odeur de moisi							Test statistique
	Effectif total		NON		OUI		
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	29	100.00	20	100.00	
Nul	17	34.69	11	37.93	6	30.00	
Faible	7	14.29	6	20.69	1	5.00	**0,2276**
Moyen	14	28.57	8	27.59	6	30.00	

Fort	11	22.45	4	13.79	7	35.00		
Absence	17	34.69	11	37.93	6	30.00	**0,5665** *	
Présence	32	65.31	18	62.07	14	70.00		

Présence de plantes

	Effectif total		0		1 à 4		5 et +		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	17	100.00	20	100.00	12	100.00	
Nul	17	34.69	5	29.41	7	35.00	5	41.67	**0,4299**
Faible	7	14.29	2	11.76	4	20.00	1	8.33	
Moyen	14	28.57	3	17.65	7	35.00	4	33.33	
Fort	11	22.45	7	41.18	2	10.00	2	16.67	
Absence	17	34.69	5	29.41	7	35.00	5	41.67	**0,7915** *
Présence	32	65.31	12	70.59	13	65.00	7	58.33	

Présence d'animaux

	Effectif total		NON		OUI		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	26	100.00	23	100.00	
Nul	17	34.69	9	34.62	8	34.78	**0,9769**
Faible	7	14.29	3	11.54	4	17.39	
Moyen	14	28.57	8	30.77	6	26.09	
Fort	11	22.45	6	23.08	5	21.74	
Absence	17	34.69	9	34.62	8	34.78	**0,9905** *
Présence	32	65.31	17	65.38	15	65.22	

Type de ventilation

	Effectif total		Ventilation naturelle		VMC débit constant		VMC double flux		VMC non fonctionnelle		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	21	100.00	23	100.00	1	100.00	4	100.00	
Nul	17	34.69	6	28.57	11	47.83					**0,2183**
Faible	7	14.29	2	9.52	3	13.04	1	100.00	1	25.00	
Moyen	14	28.57	7	33.33	6	26.09			1	25.00	
Fort	11	22.45	6	28.57	3	13.04			2	50.00	
Absence	17	34.69	6	28.57	11	47.83					**0,2013**
Présence	32	65.31	15	71.43	12	52.17	1	100.00	4	100.00	

Type de chauffage

	Effectif total		Centralisé		Individuel		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	13	100.00	36	100.00	
Nul	17	34.69	7	53.85	10	27.78	**0,0814**
Faible	7	14.29			7	19.44	
Moyen	14	28.57	5	38.46	9	25.00	
Fort	11	22.45	1	7.69	10	27.78	
Absence	17	34.69	7	53.85	10	27.78	**0,1722**
Présence	32	65.31	6	46.15	26	72.22	

Présence et usage d'un sèche-linge

	Effectif total		NON		OUI		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	28	100.00	21	100.00	
Nul	17	34.69	11	39.29	6	28.57	**0,8125**
Faible	7	14.29	3	10.71	4	19.05	
Moyen	14	28.57	8	28.57	6	28.57	
Fort	11	22.45	6	21.43	5	23.81	
Absence	17	34.69	11	39.29	6	28.57	**0,4335** *
Présence	32	65.31	17	60.71	15	71.43	

Utilisation d'un déshumidificateur ou d'un absorbeur

	Effectif total	Aucun	Absorbeur	Déshumidificateur électrique	Déshumidificateur industriel	Test statistique

	n	%	N	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	31	100.00	14	100.00	3	100.00	1	100.00	
Nul	17	34.69	9	29.03	6	42.86	1	33.33	1	100.00	
Faible	7	14.29	5	16.13	2	14.29					**0,4697**
Moyen	14	28.57	7	22.58	5	35.71	2	66.67			
Fort	11	22.45	10	32.26	1	7.14					
Absence	17	34.69	9	29.03	6	42.86	1	33.33	1	100.00	**0,4539**
Présence	32	65.31	22	70.97	8	57.14	2	66.67			

Utilisation d'un déshumidificateur ou d'un absorbeur							Test statistique
	Effectif total		NON		OUI		
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	31	100.00	18	100.00	
Nul	17	34.69	9	29.03	8	44.44	
Faible	7	14.29	5	16.13	2	11.11	**0,1164**
Moyen	14	28.57	7	22.58	7	38.89	
Fort	11	22.45	10	32.26	1	5.56	
Absence	17	34.69	9	29.03	8	44.44	**0,2745** *
Présence	32	65.31	22	70.97	10	55.56	

Energie utilisée pour la cuisson											Test statistique
	Effectif total		Aucune		Electricité		Gaz de ville		Propane		
	n	%	N	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	1	100.00	20	100.00	24	100.00	4	100.00	
Nul	17	34.69	1	100.00	8	40.00	8	33.33			
Faible	7	14.29			2	10.00	3	12.50	2	50.00	**0,1436**
Moyen	14	28.57			3	15.00	9	37.50	2	50.00	
Fort	11	22.45			7	35.00	4	16.67			
Absence	17	34.69	1	100.00	8	40.00	8	33.33			**0,2407**
Présence	32	65.31			12	60.00	16	66.67	4	100.00	

Type de vitrage							Test statistique
	Effectif total		Vitrage simple		Double vitrage		
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	7	100.00	42	100.00	
Nul	17	34.69	4	57.14	13	30.95	
Faible	7	14.29			7	16.67	**0,4798**
Moyen	14	28.57	1	14.29	13	30.95	
Fort	11	22.45	2	28.57	9	21.43	
Absence	17	34.69	4	57.14	13	30.95	**0,2172**
Présence	32	65.31	3	42.86	29	69.05	

Présence de traces d'humidité dans l'habitat							Test statistique
	Effectif total		NON		OUI		
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	9	100.00	40	100.00	
Nul	17	34.69	5	55.56	12	30.00	
Faible	7	14.29			7	17.50	**0,4046**
Moyen	14	28.57	3	33.33	11	27.50	
Fort	11	22.45	1	11.11	10	25.00	
Absence	17	34.69	5	55.56	12	30.00	**0,2440**
Présence	32	65.31	4	44.44	28	70.00	

Résultats en rouge : résultats pour lesquels une différence significative inférieure à 0,05 est observée.

Un lien entre l'intensité des démangeaisons cutanées ressenties par les résidents et la concentration dans l'air d'*Aspergillus versicolor* (p=0,438) et le temps d'aération quotidien des pièces (p=0,0371) a été observé.

Tableau 64 : Recherche de variables explicatives pour le symptôme « Eruption cutanées » par niveau d'intensité (nul, faible, moyen et fort) et par catégorie (présence ou absence). Les tests statistiques utilisés étaient des tests de Kruskal-Wallis (classes d'intensité) et de Wilcoxon (fréquence) pour les variables quantitatives et des tests de Fisher ou du Khi2 (quand les effectifs le permettaient, marqué par un astérisque) pour les variables qualitatives.

Eruptions cutanées	**Variables explicatives**					**p-value**
CFU totales (CFU/m³ d'air)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	313,00	53265,60	22,70	361000,00	
Nul	27	260,00	814,50	32,20	3070,00	
Faible	8	375,00	852,44	80,00	2740,00	**0,2909**
Moyen	13	212,00	99745,00	22,70	361000,00	
Fort	1	88100,00	-	88100,00	88100,00	
Absence	27	260,00	814,50	32,20	3070,00	**0,5071**
Présence	22	336,00	78095,98	22,70	361000,00	
***Aspergillus versicolor* (CFU/m³ d'air)**						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	17,90	50862,30	0,00	344000,00	
Nul	27	17,50	308,16	0,00	1590,00	
Faible	8	33,45	422,64	0,00	1230,00	**0,4211**
Moyen	13	9,46	95160,95	0,00	344000,00	
Fort	1	85200,00	-	85200,00	85200,00	
Absence	27	17,50	308,16	0,00	1590,00	**0,6049**
Présence	22	21,30	74573,67	0,00	344000,00	
***Aspergillus fumigatus* (CFU/m³ d'air)**						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	0,00	5,66	0,00	29,00	
Nul	27	0,00	7,36	0,00	29,00	
Faible	8	0,93	0,85	0,00	2,11	**0,8293**
Moyen	13	0,00	2,27	0,00	5,88	
Fort	1	0,00	-	0,00	0,00	
Absence	27	0,00	7,36	0,00	29,00	**0,8214**
Présence	22	0,00	1,83	0,00	5,88	
***Penicillium brevicompactum* (CFU/m³ d'air)**						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	3,33	108,36	0,00	669,00	
Nul	27	4,67	128,77	0,00	669,00	
Faible	8	5,37	71,87	0,00	208,00	**0,7019**
Moyen	13	2,56	83,67	0,00	290,00	
Fort	1	0,00	-	0,00	0,00	
Absence	27	4,67	128,77	0,00	669,00	**0,5848**
Présence	22	2,60	76,16	0,00	290,00	
***Penicillium chrysogenum* (CFU/m³ d'air)**						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	12,00	825,60	0,00	5190,00	
Nul	27	8,06	149,11	0,00	715,00	
Faible	8	31,00	52,52	0,00	164,00	**0,2296**
Moyen	13	12,30	1436,11	0,00	5190,00	
Fort	1	2220,00	-	2220,00	2220,00	
Absence	27	8,06	149,11	0,00	715,00	**0,1838**
Présence	22	22,45	1184,96	0,00	5190,00	
***Penicillium crustosum* (CFU/m³ d'air)**						

	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	2,85	146,66	0,00	741,00	
Nul	27	2,22	137,63	0,00	719,00	**0,2325**
Faible	8	4,84	3,22	0,99	12,10	
Moyen	13	0,94	203,83	0,00	741,00	
Fort	1	66,70	-	66,70	66,70	
Absence	27	2,22	137,63	0,00	719,00	**0,4131**
Présence	22	3,84	156,98	0,00	741,00	

Particules totales (par m³ d'air)

	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	35680000,00	306900000,00	7800874,00	2007000000,00	
Nul	27	32400000,00	166984951,57	7801157,52	794411282,82	**0,9094**
Faible	8	31690628,76	39756918,08	8870000,00	131279922,52	
Moyen	13	42800000,00	544160542,94	10100000,00	2006813492,60	
Fort	1	49326220,57	-	49326220,57	49326220,57	
Absence	27	32400000,00	166984951,57	7801157,52	794411282,82	**0,7554**
Présence	22	41500000,00	419286853,08	8870000,00	2006813492,60	

Particules de 2 à 15 µm de diamètre (par m³ d'air)

	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	371621,00	716121,00	158983,00	4194709,00	
Nul	27	394713,03	564778,45	158983,43	2673703,11	**0,3826**
Faible	8	392214,33	172193,19	235600,00	758337,61	
Moyen	13	323094,46	439022,55	175070,00	1632460,00	
Fort	1	4194709,14	-	4194709,14	4194709,14	
Absence	27	394713,03	564778,45	158983,43	2673703,11	**0,6082**
Présence	22	342906,02	865466,67	175070,00	4194709,14	

Concentration d'endotoxines (ng / m³ d'air)

	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	5,79	18,35	0,14	91,13	
Nul	27	8,25	20,26	0,17	91,13	**0,3101**
Faible	8	5,08	18,39	0,15	54,15	
Moyen	13	3,68	14,41	0,14	47,25	
Fort	1	0,18	-	0,18	0,18	
Absence	27	8,25	20,26	0,17	91,13	**0,1654**
Présence	22	4,92	15,45	0,14	54,15	

Concentration de glucanes (ng / m³ d'air)

	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	1,05	2,21	0,16	15,48	
Nul	27	0,95	0,72	0,17	2,83	**0,9451**
Faible	8	0,70	5,18	0,17	15,48	
Moyen	13	1,31	0,95	0,16	3,72	
Fort	1	1,05	-	1,05	1,05	
Absence	27	0,95	0,72	0,17	2,83	**0,7477**
Présence	22	1,19	3,17	0,16	15,48	

Température (°C)

	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	22,25	2,51	12,64	26,10	
Nul	27	21,80	2,18	17,45	25,11	**0,7399**
Faible	8	23,28	2,00	19,20	24,88	
Moyen	13	22,20	3,46	12,64	26,10	
Fort	1	23,90	-	23,90	23,90	
Absence	27	21,80	2,18	17,45	25,11	**0,5331**
Présence	22	22,61	2,93	12,64	26,10	

Humidité relative (%)

	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum
TOTAL	49	60,50	7,55	44,84	74,30

Nul	27	60,30	7,55	44,84	70,80	
Faible	8	61,95	5,56	55,80	70,90	**0,1565**
Moyen	13	61,58	7,89	50,50	74,30	
Fort	1	70,80	-	70,80	70,80	
Absence	27	60,30	7,55	44,84	70,80	**0,0562**
Présence	22	62,34	7,04	50,50	74,30	

Temps d'ouverture des fenêtres (heure / jour)

	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	1,00	3,96	0,00	18,00	
Nul	27	1,00	4,74	0,00	18,00	
Faible	8	1,00	5,11	0,50	12,00	**0,7646**
Moyen	13	1,00	1,04	0,10	4,00	
Fort	1	0,50	-	0,50	0,50	
Absence	27	1,00	4,74	0,00	18,00	**0,9345**
Présence	22	1,00	3,34	0,10	12,00	

Durée d'exposition quotidienne (heure / jour)

	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	40	14,00	4,35	4,00	24,00	
Nul	22	14,00	4,52	4,00	20,00	
Faible	8	14,00	4,14	11,00	21,00	**0,2845**
Moyen	10	17,00	3,87	11,00	24,00	
Fort	0	-	-	-	-	
Absence	22	14,00	4,52	4,00	20,00	**0,1521**
Présence	18	15,50	3,94	11,00	24,00	

Acarex test

	Effectif total		Faible		Moyen		Nul		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	42	100.00	3	100.00	4	100.00	
Nul	27	55.10	25	59.52			2	50.00	
Faible	8	16.33	6	14.29			2	50.00	**0,0498**
Moyen	13	26.53	10	23.81	3	100.00			
Fort	1	2.04	1	2.38					
Absence	27	55.10	25	59.52			2	50.00	**0,1265**
Présence	22	44.90	17	40.48	3	100.00	2	50.00	

Tabagisme actif

	Effectif total		NON		OUI		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	34	100.00	15	100.00	
Nul	27	55.10	19	55.88	8	53.33	
Faible	8	16.33	6	17.65	2	13.33	**0,8840**
Moyen	13	26.53	8	23.53	5	33.33	
Fort	1	2.04	1	2.94			
Absence	27	55.10	19	55.88	8	53.33	**0,8687** *
Présence	22	44.90	15	44.12	7	46.67	

Tabagisme passif

	Effectif total		NON		OUI		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	28	100.00	21	100.00	
Nul	27	55.10	14	50.00	13	61.90	
Faible	8	16.33	3	10.71	5	23.81	**0,2155**
Moyen	13	26.53	10	35.71	3	14.29	
Fort	1	2.04	1	3.57			
Absence	27	55.10	14	50.00	13	61.90	**0,4070** *
Présence	22	44.90	14	50.00	8	38.10	

Surface contaminée

	Effectif total	Faible	Moyenne	Elevée	Test statistique

	n	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	8	100.00	30	100.00	11	100.00	
Nul	27	55.10	5	62.50	19	63.33	3	27.27	
Faible	8	16.33	1	12.50	3	10.00	4	36.36	**0,1599**
Moyen	13	26.53	2	25.00	8	26.67	3	27.27	
Fort	1	2.04					1	9.09	
Absence	27	55.10	5	62.50	19	63.33	3	27.27	**0,1119**
Présence	22	44.90	3	37.50	11	36.67	8	72.73	

Odeur de moisi

	Effectif total		NON		OUI		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	29	100.00	20	100.00	
Nul	27	55.10	18	62.07	9	45.00	
Faible	8	16.33	5	17.24	3	15.00	**0,4084**
Moyen	13	26.53	6	20.69	7	35.00	
Fort	1	2.04			1	5.00	
Absence	27	55.10	18	62.07	9	45.00	**0,2377** *
Présence	22	44.90	11	37.93	11	55.00	

Présence de plantes

	Effectif total		0		1 à 4		5 et +		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	17	100.00	20	100.00	12	100.00	
Nul	27	55.10	10	58.82	11	55.00	6	50.00	
Faible	8	16.33	1	5.88	6	30.00	1	8.33	**0,2486**
Moyen	13	26.53	5	29.41	3	15.00	5	41.67	
Fort	1	2.04	1	5.88					
Absence	27	55.10	10	58.82	11	55.00	6	50.00	**0,8952** *
Présence	22	44.90	7	41.18	9	45.00	6	50.00	

Présence d'animaux

	Effectif total		NON		OUI		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	26	100.00	23	100.00	
Nul	27	55.10	14	53.85	13	56.52	
Faible	8	16.33	3	11.54	5	21.74	**0,6420**
Moyen	13	26.53	8	30.77	5	21.74	
Fort	1	2.04	1	3.85			
Absence	27	55.10	14	53.85	13	56.52	**0,8509** *
Présence	22	44.90	12	46.15	10	43.48	

Type de ventilation

	Effectif total		Ventilation naturelle		VMC débit constant		VMC double flux		VMC non fonctionnelle		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	21	100.00	23	100.00	1	100.00	4	100.00	
Nul	27	55.10	14	66.67	10	43.48	1	100.00	2	50.00	
Faible	8	16.33	1	4.76	6	26.09			1	25.00	**0,4113**
Moyen	13	26.53	5	23.81	7	30.43			1	25.00	
Fort	1	2.04	1	4.76							
Absence	27	55.10	14	66.67	10	43.48	1	100.00	2	50.00	**0,3082**
Présence	22	44.90	7	33.33	13	56.52			2	50.00	

Type de chauffage

	Effectif total		Centralisé		Individuel		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	13	100.00	36	100.00	
Nul	27	55.10	8	61.54	19	52.78	
Faible	8	16.33	2	15.38	6	16.67	**1,0000**
Moyen	13	26.53	3	23.08	10	27.78	
Fort	1	2.04			1	2.78	

Absence	27	55.10	8	61.54	19	52.78	**0,5862** *
Présence	22	44.90	5	38.46	17	47.22	

Présence et usage d'un sèche-linge

	Effectif total		NON		OUI		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	28	100.00	21	100.00	
~~Nul~~	27	55.10	16	57.14	11	52.38	
Faible	8	16.33	3	10.71	5	23.81	**0,6114**
Moyen	13	26.53	8	28.57	5	23.81	
Fort	1	2.04	1	3.57			
Absence	27	55.10	16	57.14	11	52.38	**0,7402** *
Présence	22	44.90	12	42.86	10	47.62	

Utilisation d'un déshumidificateur ou d'un absorbeur

	Effectif total		Aucun		Absorbeur		Déshumidificateur électrique		Déshumidificateur industriel		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	31	100.00	14	100.00	3	100.00	1	100.00	
Nul	27	55.10	14	45.16	10	71.43	2	66.67	1	100.00	
Faible	8	16.33	6	19.35	2	14.29					**0,8091**
Moyen	13	26.53	10	32.26	2	14.29	1	33.33			
Fort	1	2.04	1	3.23							
Absence	27	55.10	14	45.16	10	71.43	2	66.67	1	100.00	**0,2659**
Présence	22	44.90	17	54.84	4	28.57	1	33.33			

Utilisation d'un déshumidificateur ou d'un absorbeur

	Effectif total		NON		OUI		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	31	100.00	18	100.00	
Nul	27	55.10	14	45.16	13	72.22	
Faible	8	16.33	6	19.35	2	11.11	**0,3137**
Moyen	13	26.53	10	32.26	3	16.67	
Fort	1	2.04	1	3.23			
Absence	27	55.10	14	45.16	13	72.22	**0,0664** *
Présence	22	44.90	17	54.84	5	27.78	

Energie utilisée pour la cuisson

	Effectif total		Aucune		Electricité		Gaz de ville		Propane		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	1	100.00	20	100.00	24	100.00	4	100.00	
Nul	27	55.10	1	100.00	12	60.00	11	45.83	3	75.00	
Faible	8	16.33			1	5.00	6	25.00	1	25.00	**0,4260**
Moyen	13	26.53			6	30.00	7	29.17			
Fort	1	2.04			1	5.00					
Absence	27	55.10	1	100.00	12	60.00	11	45.83	3	75.00	**0,5141**
Présence	22	44.90			8	40.00	13	54.17	1	25.00	

Type de vitrage

	Effectif total		Vitrage simple		Double vitrage		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	7	100.00	42	100.00	
Nul	27	55.10	6	85.71	21	50.00	
Faible	8	16.33			8	19.05	**0,4164**
Moyen	13	26.53	1	14.29	12	28.57	
Fort	1	2.04			1	2.38	
Absence	27	55.10	6	85.71	21	50.00	**0,1116**
Présence	22	44.90	1	14.29	21	50.00	

Présence de traces d'humidité dans l'habitat

	Effectif total		NON		OUI		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	9	100.00	40	100.00	

Nul	27	55.10	6	66.67	21	52.50	
Faible	8	16.33	1	11.11	7	17.50	**1,0000**
Moyen	13	26.53	2	22.22	11	27.50	
Fort	1	2.04			1	2.50	
Absence	27	55.10	6	66.67	21	52.50	**0,4876**
Présence	22	44.90	3	33.33	19	47.50	

Résultats en rouge : résultats pour lesquels une différence significative inférieure à 0,05 est observée.

Un lien entre la contamination des surfaces par les acariens et l'intensité des problèmes d'éruptions cutanées (p=0,0498) a été observé.

Tableau 65 : Recherche de variables explicatives pour le symptôme « Angoisse » par niveau d'intensité (nul, faible, moyen et fort) et par catégorie (présence ou absence). Les tests statistiques utilisés étaient des tests de Kruskal-Wallis (classes d'intensité) et de Wilcoxon (fréquence) pour les variables quantitatives et des tests de Fisher ou du Khi2 (quand les effectifs le permettaient, marqué par un astérisque) pour les variables qualitatives.

Angoisse	**Variables explicatives**					**p-value**
	CFU totales (CFU/m³ d'air)					
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	313,00	53265,60	22,70	361000,00	
Nul	32	317,00	824,10	22,70	3070,00	
Faible	4	312,65	266,84	71,60	543,00	**0,4358**
Moyen	7	80,60	1020,65	25,00	2810,00	
Fort	1	358,00	-	358,00	358,00	
Absence	32	317,00	824,10	22,70	3070,00	**0,8748**
Présence	17	322,00	88507,39	25,00	361000,00	
	***Aspergillus versicolor* (CFU/m³ d'air)**					
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	17,90	50862,30	0,00	344000,00	
Nul	32	8,34	352,30	0,00	1590,00	
Faible	4	111,40	123,11	9,46	237,00	**0,4237**
Moyen	7	11,10	126,35	0,00	345,00	
Fort	1	122,00	-	122,00	122,00	
Absence	32	8,34	352,30	0,00	1590,00	**0,0606**
Présence	17	40,30	84487,05	0,00	344000,00	
	***Aspergillus fumigatus* (CFU/m³ d'air)**					
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	0,00	5,66	0,00	29,00	
Nul	32	0,00	4,80	0,00	26,70	
Faible	4	1,75	2,88	0,00	5,88	**0,6039**
Moyen	7	0,94	10,56	0,00	29,00	
Fort	1	0,00	-	0,00	0,00	
Absence	32	0,00	4,80	0,00	26,70	**0,8781**
Présence	17	0,00	7,02	0,00	29,00	
	***Penicillium brevicompactum* (CFU/m³ d'air)**					
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	3,33	108,36	0,00	669,00	
Nul	32	5,17	65,99	0,00	290,00	
Faible	4	1,70	2,07	0,00	4,67	**0,8750**
Moyen	7	2,96	250,73	0,00	669,00	
Fort	1	4,56	-	4,56	4,56	
Absence	32	5,17	65,99	0,00	290,00	**0,5827**

Présence	17	2,96	161,22	0,00	669,00	
***Penicillium chrysogenum* (CFU/m³ d'air)**						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	12,00	825,60	0,00	5190,00	
Nul	32	9,28	180,91	0,00	1000,00	**0,2286**
Faible	4	27,75	45,61	5,37	109,00	
Moyen	7	0,00	268,49	0,00	715,00	
Fort	1	0,00	-	0,00	0,00	
Absence	32	9,28	180,91	0,00	1000,00	**0,4023**
Présence	17	26,30	1325,13	0,00	5190,00	
***Penicillium crustosum* (CFU/m³ d'air)**						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	2,85	146,66	0,00	741,00	
Nul	32	3,21	126,44	0,00	719,00	**0,6979**
Faible	4	2,37	4,29	0,00	9,78	
Moyen	7	0,99	8,67	0,00	24,20	
Fort	1	0,00	-	0,00	0,00	
Absence	32	3,21	126,44	0,00	719,00	**0,5638**
Présence	17	3,07	178,09	0,00	741,00	
Particules totales (par m³ d'air)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	35680000,00	306900000,00	7800874,00	2007000000,00	
Nul	32	33429676,61	368448655,72	7801157,52	2006813492,60	**0,5219**
Faible	4	37550000,00	170793373,89	17951257,14	372000000,00	
Moyen	7	37200000,00	31205546,89	10478773,80	95900000,00	
Fort	1	10100000,00	-	10100000,00	10100000,00	
Absence	32	33429676,61	368448655,72	7801157,52	2006813492,60	**0,8336**
Présence	17	37200000,00	107644887,71	10100000,00	372000000,00	
Particules de 2 à 15 µm de diamètre (par m³ d'air)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	371621,00	716121,00	158983,00	4194709,00	
Nul	32	342906,02	394681,41	169320,79	1910684,00	**0,5425**
Faible	4	460610,00	336554,75	187873,85	867600,00	
Moyen	7	265953,90	257917,83	158983,43	876870,00	
Fort	1	202700,00	-	202700,00	202700,00	
Absence	32	342906,02	394681,41	169320,79	1910684,00	**0,5706**
Présence	17	425382,97	1061052,34	158983,43	4194709,14	
Concentration d'endotoxines (ng / m³ d'air)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	5,79	18,35	0,14	91,13	
Nul	32	5,79	16,45	0,15	54,15	**0,7183**
Faible	4	6,48	42,98	2,74	91,13	
Moyen	7	3,68	8,14	0,29	19,68	
Fort	1	13,19	-	13,19	13,19	
Absence	32	5,79	16,45	0,15	54,15	**0,3720**
Présence	17	3,68	21,64	0,14	91,13	
Concentration de glucanes (ng / m³ d'air)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	1,05	2,21	0,16	15,48	
Nul	32	1,05	2,64	0,16	15,48	**0,5908**
Faible	4	0,70	0,31	0,41	1,05	
Moyen	7	0,90	1,30	0,28	3,72	
Fort	1	1,47	-	1,47	1,47	
Absence	32	1,05	2,64	0,16	15,48	**0,9247**
Présence	17	1,05	0,92	0,28	3,72	
Température (°C)						

	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	22,25	2,51	12,64	26,10	
Nul	32	22,50	1,93	18,75	25,10	
Faible	4	22,71	2,59	18,87	25,11	**0,1003**
Moyen	7	20,90	2,07	17,45	24,25	
Fort	1	12,64	-	12,64	12,64	
Absence	32	22,50	1,93	18,75	25,10	**0,4308**
Présence	17	21,72	3,35	12,64	26,10	

Humidité relative (%)

	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	60,50	7,55	44,84	74,30	
Nul	32	59,82	7,01	46,68	74,30	
Faible	4	62,50	6,65	51,97	67,10	**0,4655**
Moyen	7	63,30	9,43	44,84	70,90	
Fort	1	70,89	-	70,89	70,89	
Absence	32	59,82	7,01	46,68	74,30	**0,2888**
Présence	17	64,69	8,29	44,84	70,90	

Temps d'ouverture des fenêtres (heure / jour)

	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	1,00	3,96	0,00	18,00	
Nul	32	1,00	3,85	0,00	12,00	
Faible	4	2,00	1,44	0,50	4,00	**0,3748**
Moyen	7	1,00	7,04	0,25	18,00	
Fort	1	2,00	-	2,00	2,00	
Absence	32	1,00	3,85	0,00	12,00	**0,4081**
Présence	17	1,00	4,77	0,00	18,00	

Durée d'exposition quotidienne (heure / jour)

	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	40	14,00	4,35	4,00	24,00	
Nul	29	14,00	4,45	4,00	24,00	
Faible	4	19,00	2,83	14,00	20,00	**0,2799**
Moyen	6	14,50	4,36	9,00	21,00	
Fort	1	20,00	-	20,00	20,00	
Absence	29	14,00	4,45	4,00	24,00	**0,1975**
Présence	11	18,00	3,96	9,00	21,00	

Acarex test

	Effectif total		Faible		Moyen		Nul		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	44	100.00	40	100.00	1	100.00	3	100.00	
Nul	32	72.73	30	75.00			2	66.67	
Faible	4	9.09	3	7.50			1	33.33	**0,0319**
Moyen	7	15.91	7	17.50					
Fort	1	2.27			1	100.00			
Absence	32	65.31	30	71.43			2	50.00	**0,0322**
Présence	17	34.69	12	28.57	3	100.00	2	50.00	

Tabagisme actif

	Effectif total		NON		OUI		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	44	100.00	30	100.00	14	100.00	
Nul	32	72.73	23	76.67	9	64.29	
Faible	4	9.09	3	10.00	1	7.14	**0,4754**
Moyen	7	15.91	4	13.33	3	21.43	
Fort	1	2.27			1	7.14	
Absence	32	65.31	23	67.65	9	60.00	**0,6043** *
Présence	17	34.69	11	32.35	6	40.00	

Tabagisme passif

	Effectif total		NON		OUI		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	44	100.00	23	100.00	21	100.00	
Nul	32	72.73	16	69.57	16	76.19	**0,5684**
Faible	4	9.09	2	8.70	2	9.52	
Moyen	7	15.91	5	21.74	2	9.52	
Fort	1	2.27			1	4.76	
Absence	32	65.31	16	57.14	16	76.19	**0,1657** *
Présence	17	34.69	12	42.86	5	23.81	

Surface contaminée

	Effectif total		Faible		Moyenne		Elevée		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	44	100.00	8	100.00	28	100.00	8	100.00	
Nul	32	72.73	7	87.50	20	71.43	5	62.50	**0,4439**
Faible	4	9.09			4	14.29			
Moyen	7	15.91	1	12.50	4	14.29	2	25.00	
Fort	1	2.27					1	12.50	
Absence	32	65.31	7	87.50	20	66.67	5	45.45	**0,1833**
Présence	17	34.69	1	12.50	10	33.33	6	54.55	

Odeur de moisi

	Effectif total		NON		OUI		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	44	100.00	27	100.00	17	100.00	
Nul	32	72.73	23	85.19	9	52.94	**0,0629**
Faible	4	9.09	2	7.41	2	11.76	
Moyen	7	15.91	2	7.41	5	29.41	
Fort	1	2.27			1	5.88	
Absence	32	65.31	23	79.31	9	45.00	**0,0131** *
Présence	17	34.69	6	20.69	11	55.00	

Présence de plantes

	Effectif total		0		1 à 4		5 et +		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	44	100.00	14	100.00	18	100.00	12	100.00	
Nul	32	72.73	10	71.43	13	72.22	9	75.00	**0,8029**
Faible	4	9.09	1	7.14	1	5.56	2	16.67	
Moyen	7	15.91	2	14.29	4	22.22	1	8.33	
Fort	1	2.27	1	7.14					
Absence	32	65.31	10	58.82	13	65.00	9	75.00	**0,6657** *
Présence	17	34.69	7	41.18	7	35.00	3	25.00	

Présence d'animaux

	Effectif total		NON		OUI		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	44	100.00	23	100.00	21	100.00	
Nul	32	72.73	17	73.91	15	71.43	**0,9373**
Faible	4	9.09	2	8.70	2	9.52	
Moyen	7	15.91	4	17.39	3	14.29	
Fort	1	2.27			1	4.76	
Absence	32	65.31	17	65.38	15	65.22	**0,9902** *
Présence	17	34.69	9	34.62	8	34.78	

Type de ventilation

	Effectif total		Ventilation naturelle		VMC débit constant		VMC double flux		VMC non fonctionnelle		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	44	100.00	16	100.00	23	100.00	1	100.00	4	100.00	
Nul	32	72.73	10	62.50	19	82.61	1	100.00	2	50.00	**0,0885**
Faible	4	9.09	1	6.25	3	13.04					
Moyen	7	15.91	5	31.25	1	4.35			1	25.00	

Fort	1	2.27							1	25.00	
Absence	32	65.31	10	47.62	19	82.61	1	100.00	2	50.00	**0,0421**
Présence	17	34.69	11	52.38	4	17.39			2	50.00	

Type de chauffage

	Effectif total		Centralisé		Individuel		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	44	100.00	13	100.00	31	100.00	
Nul	32	72.73	11	84.62	21	67.74	
Faible	4	9.09			4	12.90	
Moyen	7	15.91	2	15.38	5	16.13	**0,6823**
Fort	1	2.27			1	3.23	
Absence	32	65.31	11	84.62	21	58.33	**0,1051**
Présence	17	34.69	2	15.38	15	41.67	

Présence et usage d'un sèche-linge

	Effectif total		NON		OUI		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	44	100.00	23	100.00	21	100.00	
Nul	32	72.73	16	69.57	16	76.19	
Faible	4	9.09	3	13.04	1	4.76	
Moyen	7	15.91	4	17.39	3	14.29	**0,7700**
Fort	1	2.27			1	4.76	
Absence	32	65.31	16	57.14	16	76.19	
Présence	17	34.69	12	42.86	5	23.81	**0,1657** *

Utilisation d'un déshumidificateur ou d'un absorbeur

	Effectif total		Aucun		Absorbeur		Déshumidificateur électrique		Déshumidificateur industriel		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	44	100.00	27	100.00	14	100.00	2	100.00	1	100.00	
Nul	32	72.73	20	74.07	9	64.29	2	100.00	1	100.00	
Faible	4	9.09			4	28.57					
Moyen	7	15.91	6	22.22	1	7.14					**0,1295**
Fort	1	2.27	1	3.70							
Absence	32	65.31	20	64.52	9	64.29	2	66.67	1	100.00	
Présence	17	34.69	11	35.48	5	35.71	1	33.33			**1,0000**

Utilisation d'un déshumidificateur ou d'un absorbeur

	Effectif total		NON		OUI		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	44	100.00	27	100.00	17	100.00	
Nul	32	72.73	20	74.07	12	70.59	
Faible	4	9.09			4	23.53	
Moyen	7	15.91	6	22.22	1	5.88	**0,0219**
Fort	1	2.27	1	3.70			
Absence	32	65.31	20	64.52	12	66.67	
Présence	17	34.69	11	35.48	6	33.33	**0,8788** *

Energie utilisée pour la cuisson

	Effectif total		Aucune		Electricité		Gaz de ville		Propane		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	44	100.00	1	100.00	16	100.00	23	100.00	4	100.00	
Nul	32	72.73			11	68.75	17	73.91	4	100.00	
Faible	4	9.09	1	100.00	2	12.50	1	4.35			
Moyen	7	15.91			3	18.75	4	17.39			**0,4019**
Fort	1	2.27					1	4.35			
Absence	32	65.31			11	55.00	17	70.83	4	100.00	
Présence	17	34.69	1	100.00	9	45.00	7	29.17			**0,1570**

Type de vitrage

	Effectif total		Vitrage simple		Double vitrage		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	

TOTAL	44	100.00	6	100.00	38	100.00	
Nul	32	72.73	2	33.33	30	78.95	
Faible	4	9.09	1	16.67	3	7.89	**0,0268**
Moyen	7	15.91	2	33.33	5	13.16	
Fort	1	2.27	1	16.67			
Absence	32	65.31	2	28.57	30	71.43	**0,0406**
Présence	17	34.69	5	71.43	12	28.57	

	Présence de traces d'humidité dans l'habitat						Test statistique
	Effectif total		NON		OUI		
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	44	100.00	6	100.00	38	100.00	
Nul	32	72.73	5	83.33	27	71.05	
Faible	4	9.09			4	10.53	**1,0000**
Moyen	7	15.91	1	16.67	6	15.79	
Fort	1	2.27			1	2.63	
Absence	32	65.31	5	55.56	27	67.50	**0,7001**
Présence	17	34.69	4	44.44	13	32.50	

Résultats en rouge : résultats pour lesquels une différence significative inférieure à 0,05 est observée.

Un lien entre l'angoisse ressentie chez les résidents et la contamination des surfaces par les acariens (p=0,0322), la présence d'une odeur de moisi (p=0,0131), le type de ventilation (p=0,0421) et le type de vitrage de l'habitat (p=0,0406) a été observé. Concernant l'intensité de ce symptôme, un lien avec la contamination des surfaces par les acariens (p=0,0319), l'utilisation d'un absorbeur ou d'un déshumidificateur dans l'habitat (p=0,0219) et le type de vitrage de l'habitat (p=0,0268) a été observé.

Tableau 66 : Recherche de variables explicatives pour le symptôme « Troubles du sommeil » par niveau d'intensité (nul, faible, moyen et fort) et par catégorie (présence ou absence). Les tests statistiques utilisés étaient des tests de Kruskal-Wallis (classes d'intensité) et de Wilcoxon (fréquence) pour les variables quantitatives et des tests de Fisher ou du Khi2 (quand les effectifs le permettaient, marqué par un astérisque) pour les variables qualitatives.

Troubles du sommeil	**Variables explicatives**					**p-value**
	CFU totales (CFU/m³ d'air)					
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	313,00	53265,60	22,70	361000,00	
Nul	13	196,00	257,30	22,70	966,00	
Faible	5	260,00	903,03	32,20	2220,00	**0,3984**
Moyen	14	416,00	96077,45	49,10	361000,00	
Fort	17	408,00	21218,34	25,00	88100,00	
Absence	13	196,00	257,30	22,70	966,00	**0,1054**
Présence	36	383,00	61355,98	25,00	361000,00	
	***Aspergillus versicolor* (CFU/m³ d'air)**					
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	17,90	50862,30	0,00	344000,00	
Nul	13	7,78	64,58	0,00	237,00	
Faible	5	11,10	91,29	0,00	212,00	**0,1713**
Moyen	14	23,05	91675,19	0,00	344000,00	
Fort	17	73,30	20635,86	0,00	85200,00	

Absence	13	7,78	64,58	0,00	237,00	**0,0578**
Présence	36	33,45	58604,46	0,00	344000,00	
***Aspergillus fumigatus* (CFU/m³ d'air)**						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	0,00	5,66	0,00	29,00	
Nul	13	0,00	1,89	0,00	4,74	**0,2094**
Faible	5	3,33	1,96	0,00	4,86	
Moyen	14	0,00	7,65	0,00	29,00	
Fort	17	0,00	6,48	0,00	26,70	
Absence	13	0,00	1,89	0,00	4,74	**0,5415**
Présence	36	0,00	6,44	0,00	29,00	
***Penicillium brevicompactum* (CFU/m³ d'air)**						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	3,33	108,36	0,00	669,00	
Nul	13	1,89	12,81	0,00	46,10	**0,5590**
Faible	5	0,00	21,05	0,00	48,60	
Moyen	14	3,15	62,79	0,00	208,00	
Fort	17	11,70	169,86	0,00	669,00	
Absence	13	1,89	12,81	0,00	46,10	**0,3293**
Présence	36	3,95	123,63	0,00	669,00	
***Penicillium chrysogenum* (CFU/m³ d'air)**						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	12,00	825,60	0,00	5190,00	
Nul	13	15,60	43,98	0,00	164,00	**0,7611**
Faible	5	23,30	19,21	0,00	45,40	
Moyen	14	20,70	1385,94	0,00	5190,00	
Fort	17	3,78	581,33	0,00	2220,00	
Absence	13	15,60	43,98	0,00	164,00	**0,8281**
Présence	36	7,92	945,47	0,00	5190,00	
***Penicillium crustosum* (CFU/m³ d'air)**						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	2,85	146,66	0,00	741,00	
Nul	13	0,00	3,63	0,00	11,70	**0,2045**
Faible	5	5,28	319,82	0,00	719,00	
Moyen	14	4,36	196,48	0,00	741,00	
Fort	17	3,78	17,42	0,00	66,70	
Absence	13	0,00	3,63	0,00	11,70	**0,0359**
Présence	36	4,36	168,22	0,00	741,00	
Particules totales (par m³ d'air)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	35680000,00	306900000,00	7800874,00	2007000000,00	
Nul	13	26379047,49	568435561,43	10100000,00	2006813492,60	**0,8536**
Faible	5	25739433,82	39127447,52	7801157,52	89822363,41	
Moyen	14	33429676,61	31070765,77	8870000,00	131279922,52	
Fort	17	49326220,57	91514743,64	8870000,00	372000000,00	
Absence	13	26379047,49	568435561,43	10100000,00	2006813492,60	**0,9819**
Présence	36	38750000,00	68582052,19	7801157,52	372000000,00	
Particules de 2 à 15 µm de diamètre (par m³ d'air)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	371621,00	716121,00	158983,00	4194709,00	
Nul	13	264658,42	749712,39	175070,00	2673703,11	**0,8524**
Faible	5	405874,78	146987,55	158983,43	539746,06	
Moyen	14	386955,81	470873,47	159700,00	1910684,00	
Fort	17	337283,37	943401,83	169320,79	4194709,14	
Absence	13	264658,42	749712,39	175070,00	2673703,11	**0,4280**
Présence	36	399934,76	705513,75	158983,43	4194709,14	

Concentration d'endotoxines (ng / m³ d'air)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	5,79	18,35	0,14	91,13	
Nul	13	8,25	24,27	0,17	91,13	**0,7286**
Faible	5	15,88	23,44	0,20	54,15	
Moyen	14	5,51	15,94	0,14	47,25	
Fort	17	3,68	13,33	0,17	42,22	
Absence	13	8,25	24,27	0,17	91,13	**0,5187**
Présence	36	5,08	15,91	0,14	54,15	
Concentration de glucanes (ng / m³ d'air)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	1,05	2,21	0,16	15,48	
Nul	13	0,80	0,71	0,16	2,83	**0,0860**
Faible	5	2,21	0,75	0,95	3,04	
Moyen	14	1,27	3,86	0,17	15,48	
Fort	17	0,91	0,96	0,17	3,72	
Absence	13	0,80	0,71	0,16	2,83	**0,2435**
Présence	36	1,13	2,51	0,17	15,48	
Température (°C)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	22,25	2,51	12,64	26,10	
Nul	13	22,30	1,79	18,75	25,11	**0,4279**
Faible	5	23,50	1,82	20,90	24,80	
Moyen	14	23,25	2,32	19,30	26,10	
Fort	17	21,72	3,12	12,64	25,10	
Absence	13	22,30	1,79	18,75	25,11	**0,6343**
Présence	36	21,95	2,74	12,64	26,10	
Humidité relative (%)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	60,50	7,55	44,84	74,30	
Nul	13	58,25	7,95	46,68	74,30	**0,9107**
Faible	5	62,10	7,96	51,50	69,20	
Moyen	14	60,70	8,54	44,84	70,90	
Fort	17	60,80	6,53	51,97	70,89	
Absence	13	58,25	7,95	46,68	74,30	**0,4897**
Présence	36	60,80	7,35	44,84	70,90	
Temps d'ouverture des fenêtres (heure / jour)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	49	1,00	3,96	0,00	18,00	
Nul	13	1,00	0,61	0,00	2,00	**0,4003**
Faible	5	1,00	2,44	0,00	6,00	
Moyen	14	1,00	4,72	0,25	12,00	
Fort	17	1,00	5,24	0,25	18,00	
Absence	13	1,00	0,61	0,00	2,00	**0,1382**
Présence	36	1,00	4,68	0,00	18,00	
Durée d'exposition quotidienne (heure / jour)						
	N	Médiane	Ecart type	Minimum	Maximum	
TOTAL	40	14,00	4,35	4,00	24,00	
Nul	10	14,00	3,39	11,00	20,00	**0,0637**
Faible	4	20,00	3,00	14,00	20,00	
Moyen	11	12,00	4,61	4,00	21,00	
Fort	15	16,00	4,25	9,00	24,00	
Absence	10	14,00	3,39	11,00	20,00	**0,7278**
Présence	30	14,00	4,68	4,00	24,00	

	Acarex test				Test
	Effectif total	Faible	Moyen	Nul	statistique

	n	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	42	100.00	3	100.00	4	100.00	
Nul	13	26.53	12	28.57			1	25.00	
Faible	5	10.20	5	11.90					
Moyen	14	28.57	9	21.43	2	66.67	3	75.00	**0,2140**
Fort	17	34.69	16	38.10	1	33.33			
Absence	13	26.53	12	28.57			1	25.00	
Présence	36	73.47	30	71.43	3	100.00	3	75.00	**0,8044**

Tabagisme actif							
	Effectif total		NON		OUI		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	34	100.00	15	100.00	
Nul	13	26.53	10	29.41	3	20.00	
Faible	5	10.20	5	14.71			
Moyen	14	28.57	12	35.29	2	13.33	**0,0183**
Fort	17	34.69	7	20.59	10	66.67	
Absence	13	26.53	10	29.41	3	20.00	
Présence	36	73.47	24	70.59	12	80.00	**0,7274**

Tabagisme passif							
	Effectif total		NON		OUI		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	28	100.00	21	100.00	
Nul	13	26.53	9	32.14	4	19.05	
Faible	5	10.20	1	3.57	4	19.05	**0,1478**
Moyen	14	28.57	10	35.71	4	19.05	
Fort	17	34.69	8	28.57	9	42.86	
Absence	13	26.53	9	32.14	4	19.05	
Présence	36	73.47	19	67.86	17	80.95	**0,3042** *

Surface contaminée									
	Effectif total		Faible		Moyenne		Elevée		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	8	100.00	30	100.00	11	100.00	
Nul	13	26.53	4	50.00	8	26.67	1	9.09	
Faible	5	10.20	1	12.50	3	10.00	1	9.09	
Moyen	14	28.57	3	37.50	6	20.00	5	45.45	**0,1186**
Fort	17	34.69			13	43.33	4	36.36	
Absence	13	26.53	4	50.00	8	26.67	1	9.09	
Présence	36	73.47	4	50.00	22	73.33	10	90.91	**0,1405**

Odeur de moisi							
	Effectif total		NON		OUI		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	29	100.00	20	100.00	
Nul	13	26.53	9	31.03	4	20.00	
Faible	5	10.20	4	13.79	1	5.00	
Moyen	14	28.57	9	31.03	5	25.00	**0,3327**
Fort	17	34.69	7	24.14	10	50.00	
Absence	13	26.53	9	31.03	4	20.00	
Présence	36	73.47	20	68.97	16	80.00	**0,3899** *

Présence de plantes									
	Effectif total		0		1 à 4		5 et +		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	17	100.00	20	100.00	12	100.00	
Nul	13	26.53	3	17.65	6	30.00	4	33.33	
Faible	5	10.20	1	5.88	3	15.00	1	8.33	
Moyen	14	28.57	7	41.18	6	30.00	1	8.33	**0,4545**
Fort	17	34.69	6	35.29	5	25.00	6	50.00	

Absence	13	26.53	3	17.65	6	30.00	4	33.33	**0,6058**
Présence	36	73.47	14	82.35	14	70.00	8	66.67	

Présence d'animaux

	Effectif total		NON		OUI		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	26	100.00	23	100.00	
Nul	13	26.53	9	34.62	4	17.39	**0,1798**
Faible	5	10.20	1	3.85	4	17.39	
Moyen	14	28.57	9	34.62	5	21.74	
Fort	17	34.69	7	26.92	10	43.48	
Absence	13	26.53	9	34.62	4	17.39	**0,1729** *
Présence	36	73.47	17	65.38	19	82.61	

Type de ventilation

	Effectif total		Ventilation naturelle		VMC débit constant		VMC double flux		VMC non fonctionnelle		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	21	100.00	23	100.00	1	100.00	4	100.00	
Nul	13	26.53	4	19.05	7	30.43	1	100.00	1	25.00	**0,6606**
Faible	5	10.20	2	9.52	3	13.04					
Moyen	14	28.57	8	38.10	6	26.09					
Fort	17	34.69	7	33.33	7	30.43			3	75.00	
Absence	13	26.53	4	19.05	7	30.43	1	100.00	1	25.00	**0,3446**
Présence	36	73.47	17	80.95	16	69.57			3	75.00	

Type de chauffage

	Effectif total		Centralisé		Individuel		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	13	100.00	36	100.00	
Nul	13	26.53	5	38.46	8	22.22	**0,3101**
Faible	5	10.20	1	7.69	4	11.11	
Moyen	14	28.57	5	38.46	9	25.00	
Fort	17	34.69	2	15.38	15	41.67	
Absence	13	26.53	5	38.46	8	22.22	**0,2884**
Présence	36	73.47	8	61.54	28	77.78	

Présence et usage d'un sèche-linge

	Effectif total		NON		OUI		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	28	100.00	21	100.00	
Nul	13	26.53	11	39.29	2	9.52	**0,0679**
Faible	5	10.20	1	3.57	4	19.05	
Moyen	14	28.57	7	25.00	7	33.33	
Fort	17	34.69	9	32.14	8	38.10	
Absence	13	26.53	11	39.29	2	9.52	**0,0195** *
Présence	36	73.47	17	60.71	19	90.48	

Utilisation d'un déshumidificateur ou d'un absorbeur

	Effectif total		Aucun		Absorbeur		Déshumidificateur électrique		Déshumidificateur industriel		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	31	100.00	14	100.00	3	100.00	1	100.00	
Nul	13	26.53	6	19.35	4	28.57	2	66.67	1	100.00	**0,7146**
Faible	5	10.20	4	12.90	1	7.14					
Moyen	14	28.57	9	29.03	5	35.71					
Fort	17	34.69	12	38.71	4	28.57	1	33.33			
Absence	13	26.53	6	19.35	4	28.57	2	66.67	1	100.00	**0,1077**
Présence	36	73.47	25	80.65	10	71.43	1	33.33			

Utilisation d'un déshumidificateur ou d'un absorbeur

	Effectif total		NON		OUI		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	

TOTAL	49	100.00	31	100.00	18	100.00	
Nul	13	26.53	6	19.35	7	38.89	
Faible	5	10.20	4	12.90	1	5.56	**0,5131**
Moyen	14	28.57	9	29.03	5	27.78	
Fort	17	34.69	12	38.71	5	27.78	
Absence	13	26.53	6	19.35	7	38.89	**0,1840**
Présence	36	73.47	25	80.65	11	61.11	

Energie utilisée pour la cuisson

	Effectif total		Aucune		Electricité		Gaz de ville		Propane		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	1	100.00	20	100.00	24	100.00	4	100.00	
Nul	13	26.53			5	25.00	8	33.33			
Faible	5	10.20			2	10.00	2	8.33	1	25.00	**0,5672**
Moyen	14	28.57			4	20.00	8	33.33	2	50.00	
Fort	17	34.69	1	100.00	9	45.00	6	25.00	1	25.00	
Absence	13	26.53			5	25.00	8	33.33			**0,6356**
Présence	36	73.47	1	100.00	15	75.00	16	66.67	4	100.00	

Type de vitrage

	Effectif total		Vitrage simple		Double vitrage		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	7	100.00	42	100.00	
Nul	13	26.53	1	14.29	12	28.57	
Faible	5	10.20	1	14.29	4	9.52	**0,4562**
Moyen	14	28.57	1	14.29	13	30.95	
Fort	17	34.69	4	57.14	13	30.95	
Absence	13	26.53	1	14.29	12	28.57	**0,6577**
Présence	36	73.47	6	85.71	30	71.43	

Présence de traces d'humidité dans l'habitat

	Effectif total		NON		OUI		Test statistique
	n	%	N	%	N	%	
TOTAL	49	100.00	9	100.00	40	100.00	
Nul	13	26.53	3	33.33	10	25.00	
Faible	5	10.20			5	12.50	**0,5251**
Moyen	14	28.57	4	44.44	10	25.00	
Fort	17	34.69	2	22.22	15	37.50	
Absence	13	26.53	3	33.33	10	25.00	**0,6831**
Présence	36	73.47	6	66.67	30	75.00	

Résultats en rouge : résultats pour lesquels une différence significative inférieure à 0,05 est observée.

Un lien entre la présence de troubles du sommeil chez les résidents avec la concentration dans l'air de *Penicillium crustosum* (p=0,0359) et l'utilisation d'un sèche-linge dans l'habitation (p=0,0195) a été observé. Par rapport à l'intensité ressentie de ce symptôme, un lien avec le tabagisme actif a été mis en évidence (p=0,0183).

Le **Tableau 67** résume les différentes variables explicatives mises en évidence pour les symptômes ressentis chez les résidents.

Tableau 67 : Synthèse des variables explicatives mises en évidence pour la présence ou le niveau d'intensité des différents symptômes observés chez les résidents.

Symptôme	**Niveau d'intensité** (Nul/Faible/Moyen /Fort)	**Catégorie** (Absence/Présence)
Nez bouché	Aucune variable explicative	Humidité relative (p=0,0315)
Larmoiements	Tabagisme passif (p=0,0360) Odeur de moisi (p=0,0421)	Aucune variable explicative
Maux de gorge	CFU totales (p=0,0176) Humidité relative (p=0,0451)	CFU d'*Aspergillus fumigatus* (p=0,0387) Humidité relative (p=0,0136) Acariens (p=0,0124) Tabagisme actif (p=0,0489)
Toux	CFU d'*Aspergillus versicolor* (p=0,0483) Tabagisme actif (p=0,0031)	CFU de *Penicillium crustosum* (p=0,0418) Présence Absorbeur / Déshumidificateur (p=0,0424) Type Absorbeur / Déshumidificateur (p=0,0491)
Fièvre	CFU de *Penicillium chrysogenum* (p=0,0455) Durée d'aération quotidienne (p=0,0350) Surface contaminée (p=0,0476) Présence de plantes dans l'habitat (p=0,0422)	CFU d'*Aspergillus versicolor* (p=0,0315) CFU de *Penicillium chrysogenum* (p=0,0197) CFU de *Penicillium crustosum* (p=0,0344) Durée d'aération quotidienne (p=0,0203) Type d'énergie utilisée pour la cuisine (p=0,0484)
Maux de tête	CFU d'*Aspergillus versicolor* (p=0,0375) CFU de *Penicillium crustosum* (p=0,0207)	CFU d'*Aspergillus versicolor* (p=0,0154) CFU de *Penicillium crustosum* (p=0,0163) Particules de 2-15 µm (p=0,0419) Surface contaminée (p=0,0419) Odeur de moisi (p=0,0138)
Douleurs musculaires	Odeur de moisi (p=0,0238) Endotoxines (p=0,0404) Durée d'aération quotidienne (p=0,0103)	Surface contaminée (p=0,0202) Odeur de moisi (p=0,0145)
Douleurs respiratoires	Durée d'aération quotidienne (p=0,0363)	Durée d'aération quotidienne (p=0,0075)
Besoin de cracher	CFU de *Penicillium chrysogenum* (p=0,0405) Tabagisme passif (p=0,0469) Surface contaminée (p=0,0001)	CFU d'*Aspergillus versicolor* (p=0,0489) CFU de *Penicillium chrysogenum* (p=0,0053) Humidité relative (p=0,0313) Acariens (p<0,0001) Odeur de moisi (p=0,0315)
Syndrome grippal	CFU d'*Aspergillus versicolor* (p=0,0305) CFU de *Penicillium crustosum* (p=0,0379) Endotoxines (p=0,0425) Odeur de moisi (p=0,0421)	Endotoxines (p=0,0149) Odeur de moisi (p=0,0150)
Sinusite	Présence d'animaux dans l'habitat (p=0,0497)	Durée d'aération quotidienne (p=0,0485) Présence d'animaux dans l'habitat (p=0,0350)
Sensation de malaise	CFU d'*Aspergillus versicolor* (p=0,0218) CFU de *Penicillium crustosum* (p=0,0108)	CFU d'*Aspergillus versicolor* (p=0,0038) CFU de *Penicillium crustosum* (p=0,0020) Particules de 2-15 µm (p=0,0136)

Crises d'asthme	Aucune variable explicative	Présence Absorbeur / Déshumidificateur (p=0,0356)
Gêne respiratoire	Endotoxines (p=0,0196) Tabagisme actif (p=0,0167) Surface contaminée (p=0,0441) Type de ventilation dans l'habitat (p=0,0127 Type Absorbeur / Déshumidificateur (p=0,0478)	Endotoxines (p=0,0052) Tabagisme actif (p=0,0426) Surface contaminée (p=0,0354) Odeur de moisi (p=0,0295) Présence d'animaux dans l'habitat (p=0,0443) Présence Absorbeur / Déshumidificateur (p=0,0218) Type Absorbeur / Déshumidificateur (p=0,0454)
Démangeaisons	CFU d'*Aspergillus versicolor* (p=0,0438) Durée d'aération quotidienne (p=0,0371)	Aucune variable explicative
Eruptions cutanées	Acariens (p=0,0498)	Aucune variable explicative
Angoisse	Acariens (p=0,0319) Présence Absorbeur / Déshumidificateur (p=0,0219) Type de vitrage (p=0,0268)	Acariens (p=0,0322) Odeur de moisi (p=0,0131) Type de ventilation dans l'habitat (p=0,0421) Type de vitrage (p=0,0406)
Troubles du sommeil	Tabagisme actif (p=0,0183)	CFU de *Penicillium crustosum* (p=0,0359) Utilisation d'un sèche-linge (p=0,0195)

En rouge : variables signant une contamination fongique
En vert : variables signant une contamination par bactéries ou acariens
En bleu : variable humidité

Des variables signant la contamination fongique (CFU, surface contaminée, odeur de moisi ressortent essentiellement pour des symptômes ORL et respiratoires mais aussi parfois pour des manifestations cliniques d'autre nature (anxiété, problèmes cutanés). Les autres contaminants microbiologiques tels que les endotoxines et les acariens sont mentionnés dans le cas de maux de gorge, douleurs musculaires, syndrome grippal ou gêne respiratoire. Enfin, l'humidité relative est à citer pour des symptômes tels que le nez bouché, les maux de gorge et le besoin de cracher.

IV.4) Caractérisation toxicologique des bioaérosols

IV.4.1) Cytotoxicité des bioaérosols

Le potentiel cytotoxique des bioaérosols a été testé vis-à-vis des deux lignées cellulaires : A549 et HaCaT (**Figure 51**).

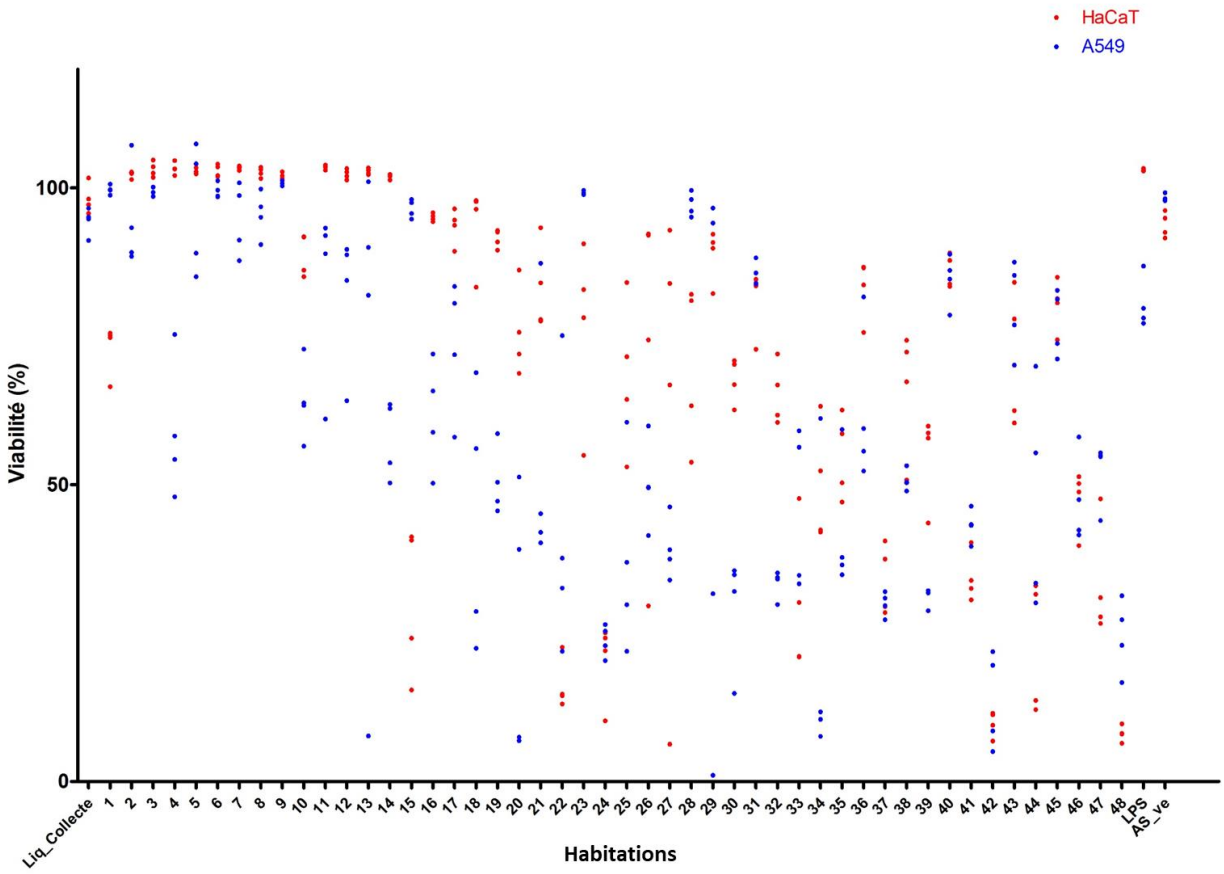


Figure 51 : Cytotoxicité des 48 bioaérosols sur les deux lignées cellulaires.

Témoins : liquide de collecte vierge (Liq_Collecte), LPS 100 ng/L (LPS) et extrait d'*A. versicolor* HAB01(AS_ve).

Une cytotoxicité variable a ainsi pu être observée pour les différents bioaérosols, avec pour certains bioaérosols (HAB05, HAB11, HAB13, HAB15, HAB16, HAB18, HAB19, HAB20, HAB28, HAB30, HAB32, HAB38) une réponse différente des deux lignées cellulaires.

Un test de corrélation de Spearman (**Tableau 68**) montre cependant qu'il existe un lien entre les réponses des deux lignées cellulaires aux différents bioaérosols testés (r= 0,67885 / p< 0,0001).

Tableau 68 : Corrélation de Spearman entre les viabilités cellulaires des deux lignées exposées aux bioaérosols.

Coefficients de corrélation de Spearman		
Lignée cellulaire	**A549**	**HaCaT**
Facteur de corrélation	1,00000	0,67855
A549	0,67855	1,00000

Coefficients de corrélation de Spearman		
Lignée cellulaire	**A549**	**HaCaT**
HaCaT		
p-value		
A549	1,00000	<0,0001
HaCaT	<0,0001	1,00000

L'analyse des coefficients de corrélation de Spearman entre la cytotoxicité observée pour chacune des deux lignées et les différents contaminants biologiques analysés dans les bioaérosols a permis de mettre en évidence deux facteurs de corrélation pour la lignée HaCaT (**Tableau 69**) :

- **Une corrélation négative (r= -0,29935 / p= 0,0367) avec le taux d'endotoxines.**
- **Une corrélation positive (r= 0,29568 / p= 0,0391) avec le taux de β-D-glucanes sont observées.**

Tableau 69 : Corrélation de Spearman entre la viabilité des deux lignées cellulaires et les contaminants biologiques des bioaérosols.

Coefficients de corrélation de Spearman		
	A549 (n=49)	**HaCaT (n=49)**
Facteurs de corrélation		
CFU totales	0,00066	-0,14312
Aspergillus versicolor	0,27334	0,14715
Aspergillus fumigatus	0,13153	0,12436
Penicillium brevicompactum	-0,02434	-0,00727
Penicillium chrysogenum	0,26688	0,25648
Penicillium crustosum	0,02674	-0,29935
Endotoxines	-0,27558	-0,27558
Glucanes	0,20404	0,29568
p-value		
CFU totales	0,9964	0,3266
Aspergillus versicolor	0,0574	0,3130

Coefficients de corrélation de Spearman		
	A549 (n=49)	**HaCaT (n=49)**
Aspergillus fumigatus	0,3677	0,3946
Penicillium brevicompactum	0,8682	0,9604
Penicillium chrysogenum	0,0638	0,0753
Penicillium crustosum	0,8553	0,7598
Endotoxines	0,0553	0,0367
Glucanes	0,1596	0,0391

IV.4.2) Etude exploratoire du potentiel inflammatoire

Une première analyse semi-quantitative des cytokines induites après exposition à des bioaérosols issus de 12 habitations (cf. Tableau 9) ont permis de mettre en évidence que l'IL-1β et le GM-CSF étaient induits dans les deux lignées.

Concernant la lignée de cellules respiratoires (**Figure 52**), des réponses sont également observées pour l'IL-6, l'IL-17A et l'IFN-γ pour certains bioaérosols.

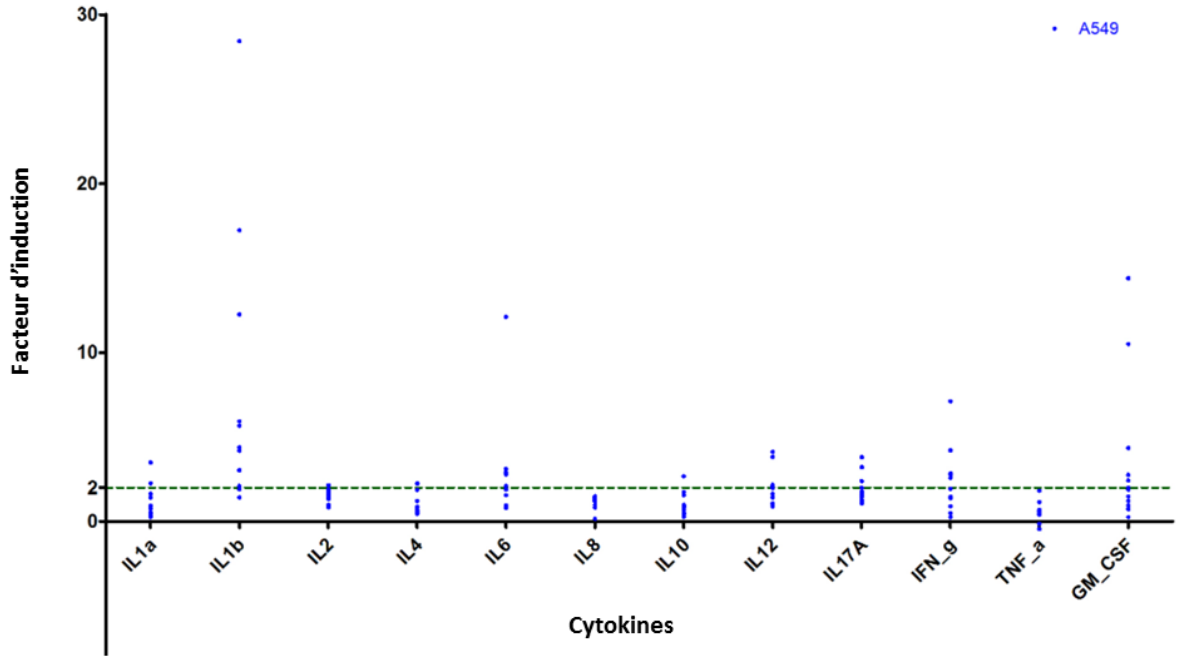


Figure 52 : Profil de réponse inflammatoire (screening de 12 cytokines) de la lignée A549 exposée aux 12 bioaérosols testés.

La barre verte en pointillé indique la limite à partir de laquelle le facteur d'induction est supérieur à 2. Au-delà de cette limite, la cytokine est considérée comme étant induite dans la condition évaluée.

Concernant la lignée de cellules cutanées (**Figure 53**), une réponse de l'IL-1α est observée pour certains bioaérosols.

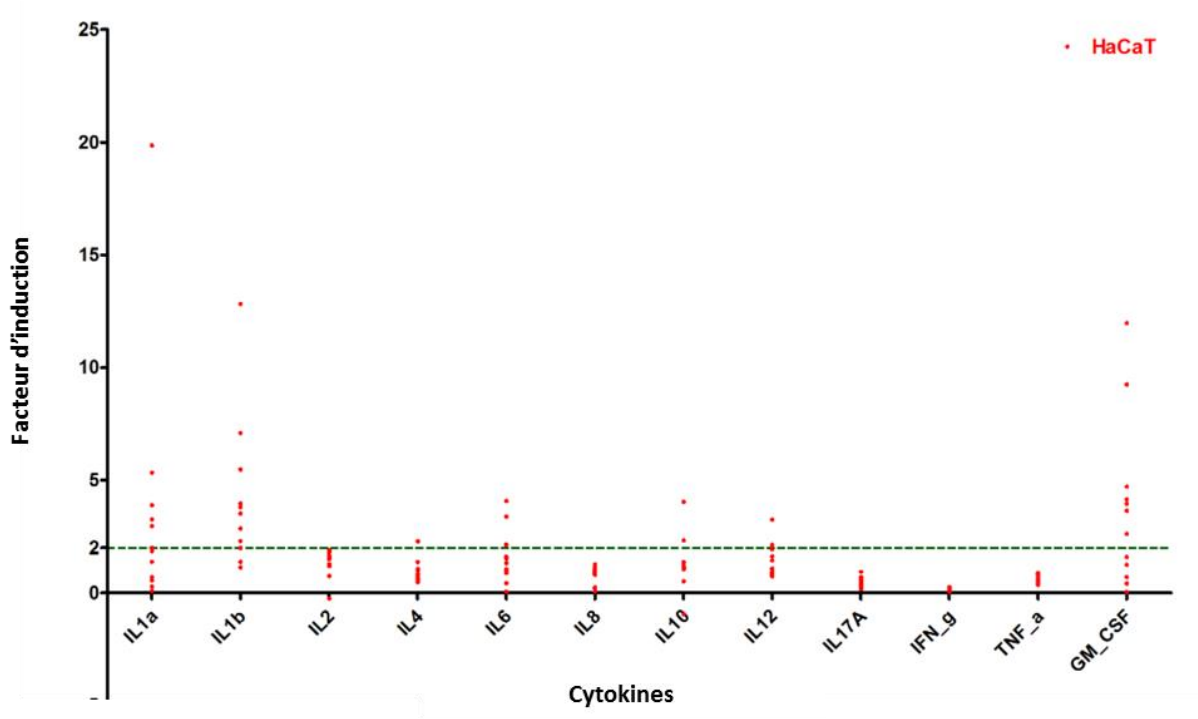


Figure 53 : Profil de réponse inflammatoire (screening de 12 cytokines) de la lignée HaCaT exposée aux 12 bioaérosols testés.

La barre verte en pointillé indique la limite à partir de laquelle le facteur d'induction est supérieur à 2. Au-delà de cette limite, la cytokine est considérée comme étant induite dans la condition évaluée.

Une première analyse statistique a été réalisée à partir des résultats des tests d'inflammation, en recherchant des facteurs de corrélation entre les niveaux de cytokines mesurés et les différents composants quantifiés au sein des bioaérosols (**Tableaux 70 et 71)**.

Tableau 70 : Coefficients de corrélation de Spearman entre la production de cytokines par les cellules A549 exposées aux bioaérosols et les contaminants biologiques des bioaérosols.

Variables étudiées	IL1α (n=12)	IL1β (n=12)	IL2 (n=12)	IL4 (n=12)	IL6 (n=12)	IL8 (n=12)	IL10 (n=12)	IL12 (n=12)	IL17A (n=12)	IFN-γ (n=12)	TNF-α (n=12)	GM-CSF (n=12)
Facteurs de corrélation												
CFU totales	0,08757	-0,07706	0,09139	-0,27671	0,03521	0,12960	0,17483	-0,1471	-0,45534	0,36364	0,14035	0,32867
Aspergillus versicolor	0,29422	-0,08406	0,28471	-0,27321	-0,10564	0,27321	0,23077	-0,06305	-0,37478	0,48252	0,43158	0,52448
Aspergillus fumigatus	0,04674	-0,20751	0,11819	0,33650	0,14659	-0,24303	-0,52999	-0,06543	0,43184	-0,22021	-0,03371	-0,36950
Penicillium brevicompactum	-0,04113	-0,17573	-0,20824	-0,70852	-0,38339	0,35332	-0,16422	0,05795	0,47858	0,00373	-0,43822	0,28366
Penicillium chrysogenum	0,52632	0,17018	0,35740	-0,05965	0,02116	0,13509	0,13310	0,02982	-0,25965	0,30823	0,29350	0,38179
Penicillium crustosum	0,61377	0,17284	0,71859	0,04586	-0,06383	-0,10582	0,44367	0,32805	-0,23281	0,42959	0,30389	0,38733
Endotoxines	0,12609	-0,40981	-0,32689	-0,49737	0,00000	0,63398	-0,45455	-0,16462	0,12259	0,11189	-0,09474	0,43357
Glucanes	0,10858	0,25219	0,12302	0,58494	0,60565	-0,02102	0,20280	0,09107	-0,30473	0,42657	0,46667	0,09790
P-value												
CFU totales	0,7867	0,8119	0,7776	0,3839	0,9135	0,6881	0,5868	0,6482	0,1369	0,2453	0,6635	0,2969
Aspergillus versicolor	0,3533	0,7951	0,3698	0,3902	0,7439	0,3902	0,4705	0,8457	0,2300	0,1121	0,1612	0,0800
Aspergillus fumigatus	0,8853	0,5175	0,7145	0,2849	0,6494	0,4466	0,0763	0,8399	0,1610	0,4916	0,9172	0,2372
Penicillium brevicompactum	0,8990	0,5849	0,5160	0,0099	0,2186	0,2599	0,6100	0,8580	0,1155	0,9908	0,1542	0,3716
Penicillium crustosum	0,0338	0,5911	0,0085	0,8875	0,8438	0,7434	0,1485	0,2979	0,4665	0,1634	0,3369	0,2135
Penicillium chrysogenum	0,0788	0,5970	0,2541	0,8539	0,9479	0,6755	0,6801	0,9267	0,4151	0,3297	0,3545	0,2207
Endotoxines	0,6962	0,1858	0,2997	0,0999	1,0000	0,0268	0,1377	0,6092	0,7043	0,7292	0,7696	0,1591
Glucanes	0,7369	0,4291	0,7033	0,0457	0,0369	0,9483	0,5273	0,7783	0,3355	0,1667	0,1262	0,7621

Tableau 71 : Coefficients de corrélation de Spearman entre la production de cytokines par les cellules HaCaT exposées aux bioaérosols et les contaminants biologiques des bioaérosols.

Variables étudiées	IL1α (n=12)	IL1β (n=12)	IL2 (n=12)	IL4 (n=12)	IL6 (n=12)	IL8 (n=12)	IL10 (n=12)	IL12 (n=12)	IL17A (n=12)	IFN-γ (n=12)	TNF-α (n=12)	GM-CSF (n=12)
Facteurs de corrélation												
CFU totales	0,24476	0,20280	0,21016	-0,40559	0,39860	0,07706	0,15088	-0,21716	0,20315	0,15874	-0,00699	0,27972
Aspergillus versicolor	0,11189	-0,05594	0,16813	-0,47552	0,30769	-0,11559	-0,00702	-0,18564	0,10858	0,07760	0,00699	0,20280
Aspergillus fumigatus	0,15303	0,17169	-0,05608	0,47401	-0,16049	-0,17386	0,01311	0,19442	-0,19068	-0,00753	-0,02239	0,01120
Penicillium brevicompactum	0,34711	0,34711	0,36641	-0,44415	0,13810	0,09160	-0,16855	-0,34772	-0,72534	0,08660	0,01493	0,05225
Penicillium crustosum	0,11972	-0,14789	-0,05644	-0,19015	0,31691	-0,14462	-0,25088	0,01764	0,10935	-0,06039	0,06338	0,20423
Penicillium chrysogenum	0,20315	0,05254	-0,07018	-0,35377	0,42382	-0,01053	-0,03691	0,00175	0,12456	0,01060	0,05604	0,39930
Endotoxines	0,51049	0,38462	0,15762	-0,32168	0,06993	-0,02102	0,08421	-0,52539	-0,56042	0,32453	0,18182	0,19580
Glucanes	-0,44056	-0,09091	-0,27671	0,32168	-0,09790	-0,02452	0,32983	0,16813	0,56743	-0,20459	-0,30070	0,06294
P-value												
CFU totales	0,4433	0,5273	0,5121	0,1908	0,1993	0,8119	0,6397	0,4978	0,5266	0,6222	0,9828	0,3786
Aspergillus versicolor	0,7292	0,8629	0,6015	0,1182	0,3306	0,7206	0,9827	0,5635	0,7369	0,8105	0,9828	0,5273
Aspergillus fumigatus	0,6349	0,5937	0,8626	0,1195	0,6183	0,5889	0,9677	0,5448	0,5528	0,9815	0,9449	0,9724
Penicillium brevicompactum	0,2690	0,2690	0,2414	0,1480	0,6686	0,7771	0,6005	0,2681	0,0076	0,7890	0,9633	0,8719
Penicillium crustosum	0,7109	0,6465	0,8617	0,5539	0,3155	0,6538	0,4316	0,9566	0,7351	0,8521	0,8449	0,5243
Penicillium chrysogenum	0,5266	0,8712	0,8284	0,2593	0,1698	0,9741	0,9093	0,9957	0,6997	0,9739	0,8627	0,1985
Endotoxines	0,0899	0,2170	0,6247	0,3079	0,8290	0,9483	0,7947	0,0794	0,0581	0,3034	0,5717	0,5419
Glucanes	0,1517	0,7787	0,3839	0,3079	0,7621	0,9397	0,2951	0,6015	0,0543	0,5236	0,3423	0,8459

Plusieurs associations, qui seront à confirmer avec des travaux plus approfondis, ont pu être mises en évidence :

- Pour la lignée A549 :

- Entre la concentration de *Penicillium crustosum* et la production d'IL-1α (r= 0,61377 / p= 0,0388) et d'IL-2 (r= 0,71859 / p= 0,0085).

- Entre le taux de β-D-glucanes et la production d'IL-6(r= 0,60565 / p= 0,0369).

- Entre le taux d'endotoxines et la production d'IL-8 (r= 0,63398 / p= 0,0268).

- Pour la lignée HaCAT :

- Entre la concentration de *Penicillium brevicompactum* et la production d'IL-17A (r= -0,72534 / p= 0,0076).

IV.5) Utilisation de la qPCR couplée à la cytométrie en flux pour le suivi d'*Aspergillus versicolor* dans les bioaérosols

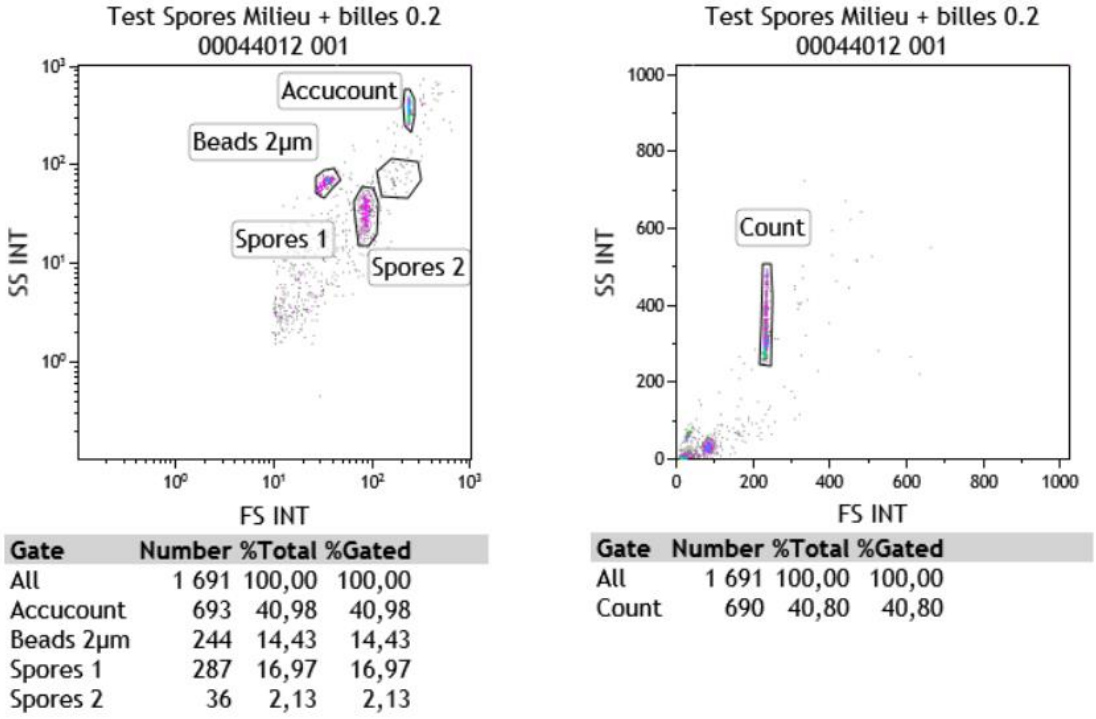
Les 7 suspensions de spores qui ont été préparées et quantifiées à la fois à l'aide du comptage à la cellule de Malassez et par cytométrie en flux ont permis d'établir le tableau suivant (**Tableau 72**).

Tableau 72 : Caractéristiques des suspensions de spores quantifiées par cytométrie de flux (billes de comptage, spores simples, spores en doublons, et concentration calculée) et par la cellule de Malassez.

Suspension de spores	Billes de comptage	Spores (simples)	Spores (doublons)	Concentration calculée (spore/mL)	Concentration obtenue à la cellule de Malassez (spore/mL)
1	3205	909	300	$2,3 \times 10^4$	$3,2 \times 10^4$
2	563	178	140	$4,0 \times 10^4$	$3,7 \times 10^4$
3	2673	333	130	$1,1 \times 10^4$	$1,0 \times 10^4$
4	422	126	159	$5,2 \times 10^4$	$4,6 \times 10^4$
5	2535	416	208	$1,6 \times 10^4$	$1,1 \times 10^4$
6	2492	545	289	$2,2 \times 10^4$	$2,3 \times 10^4$
7	2886	399	207	$1,4 \times 10^4$	$2,7 \times 10^4$

Les suspensions de spores analysées en cytométrie en flux ont permis de déterminer plusieurs zones d'intérêt (**Figure 54**).

- La zone « Accucount », correspondant à la zone où sont regroupées les billes de comptage ajoutées à la suspension pour permettre de calculer la concentration de spores.
- La zone « Beads 2µm », correspondant aux billes de 2 µm ajoutées à la suspension, qui permettent de créer un repère de taille proche de celle des spores sous forme simple.
- La zone « Spores » 1, correspondant à la zone dans laquelle les spores sous forme individualisée sont retrouvées.
- La zone « Spores 2 », correspondant à la zone dans laquelle les spores sous forme de doublons sont retrouvées.



Gate	Number	%Total	%Gated
All	1 691	100,00	100,00
Accucount	693	40,98	40,98
Beads 2µm	244	14,43	14,43
Spores 1	287	16,97	16,97
Spores 2	36	2,13	2,13

Gate	Number	%Total	%Gated
All	1 691	100,00	100,00
Count	690	40,80	40,80

Figure 54 : Exemple de profils de cytométrie en flux obtenus pour la suspension de spores 1, classant les cellules selon leur taille (Forward Scatter – FS) suivant une échelle logarithmique (gauche) ou linéaire (droite) et par rapport à leur granulométrie (Side Scatter – SS).

Le nombre de billes Accucount a permis de calculer la concentration de spores de chacun des échantillons en se basant sur la quantité de billes comptées dans l'échantillon (ajout de 50 µL d'une solution contenant 49655 billes par mL à 1 mL de suspension de spores).

La concentration de spores dans les échantillons a été calculée à l'aide de la formule suivante (fournie par le fournisseur) : nombre de spores par µL = (A / B) x (C / D) où :

A = nombre d'événements pour l'échantillon test (ici : "" « Spores 1 » + 2 x "" « Spores 2 »).

B = nombre d'événements pour les billes « Accucount ».

C = concentration de billes « Accucount » pour 50 µL du lot utilisé.

D = volume de l'échantillon initial utilisé en µL (ici : 1000 µL).

Les suspensions de spores ont été quantifiées à l'aide de la cytométrie en flux, permettant de créer une droite d'étalonnage pour convertir les résultats obtenus par qPCR (qui correspondent à une quantité d'ADN dans l'échantillon de départ) à une concentration de spores dans l'échantillon (**Figure 55**).

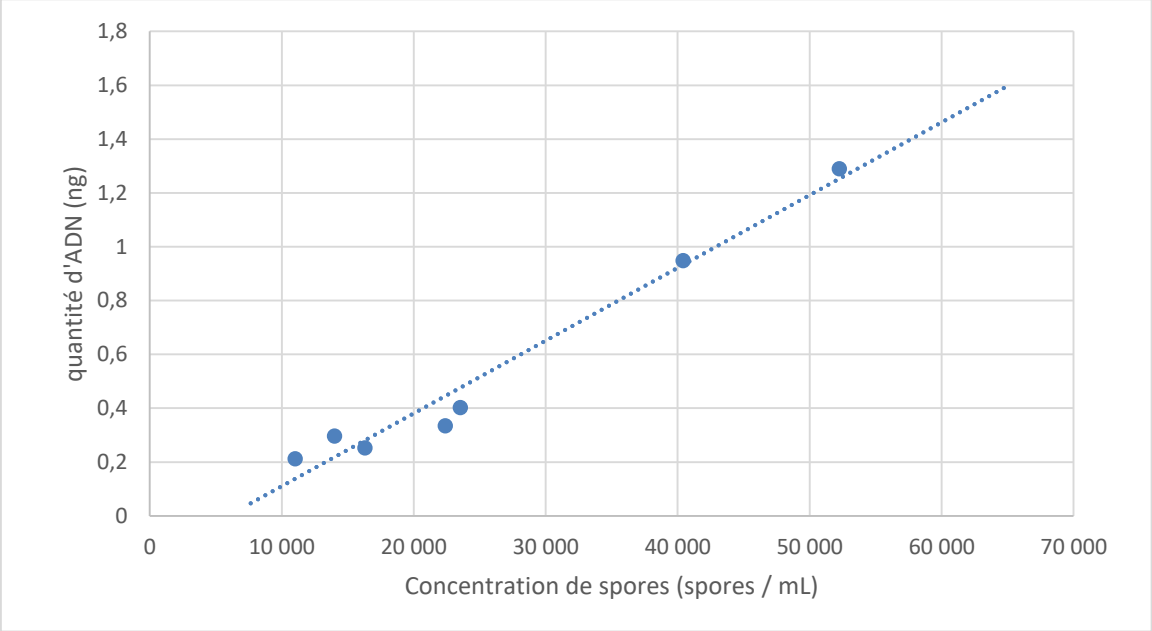


Figure 55 : Droite d'étalonnage obtenue à l'aide des 7 suspensions de spores testées.

La droite d'étalonnage dispose d'un R^2 de 0,969. En se basant sur la pente de la droite d'étalonnage, un coefficient de conversion moyen de $1,24 \pm 0,36 \times 10^{12}$ spores par µg d'ADN a été établi. Ce taux de conversion a été appliqué aux résultats de qPCR des bioaérosols pour déterminer la concentration d'*A. versicolor* dans les aliquots de 2 mL et dans le volume total de liquide de collecte pour chaque bioaérosol, permettant d'obtenir une concentration de cette espèce fongique dans l'air et de comparer ces résultats à ceux obtenus par approche culturale (**Figure 56**).

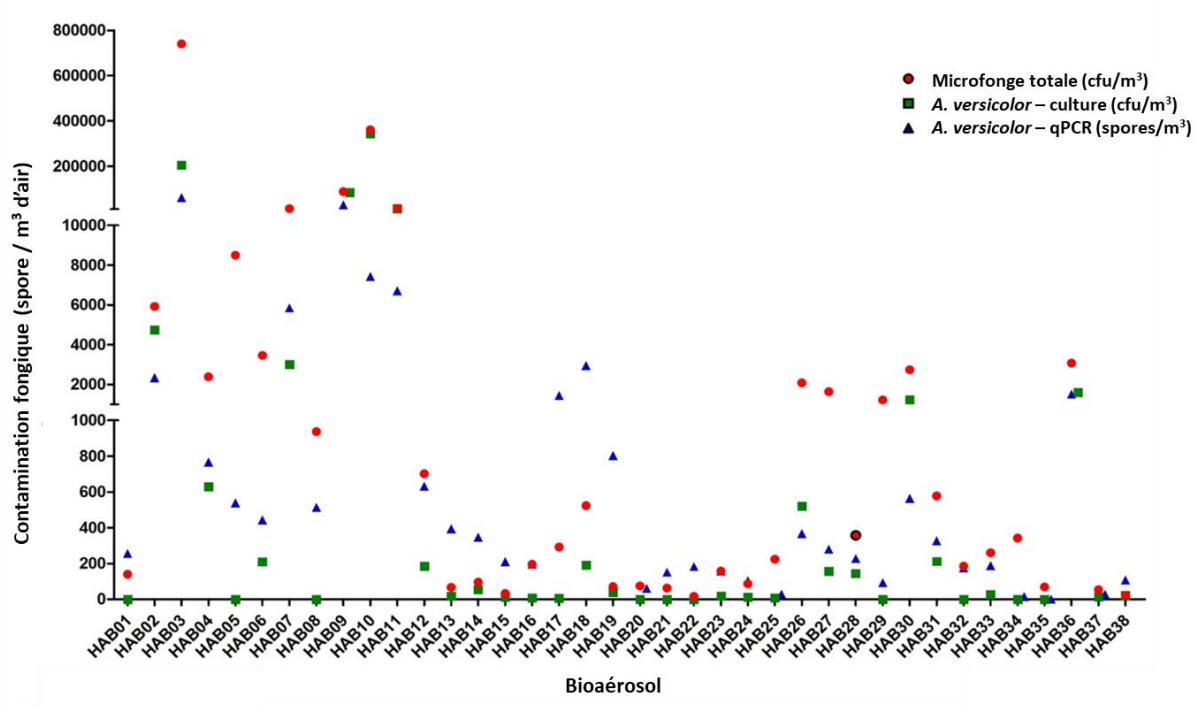


Figure 56 : Quantification d'*A. versicolor* dans les bioaérosols par qPCR (triangle bleu), comparée aux résultats de quantification d'*A. versicolor* (carré vert) et de la microfonge viable totale (rond rouge) obtenus par l'approche culturale.

Les bioaérosols des 38 habitations testées ont été analysés à la fois par approche culturale et par qPCR. Les résultats obtenus par approche culturale ont donné des résultats allant de 1,7 x10^1 à 3,6 x10^5 CFU/m^3 d'air, tandis que ceux par l'approche de qPCR ont présenté des résultats allant de 0,6 x10^1 à 3,4 x10^5 équivalent CFU/m^3.

L'analyse statistique a mis en évidence une corrélation (r = 0,704, p <0,001) entre les concentrations obtenues par l'approche culturale et celles obtenues par qPCR. De plus, aucune différence significative (p = 0,153) n'a été trouvée entre les résultats de ces deux méthodes de quantification.

La limite de quantification de la méthode développée a été déterminée à 10 fg d'ADN d'*A. versicolor*, valeur pour laquelle chacune des 10 amplifications a été réussie et pour laquelle l'écart type des Cq était inférieur à 1. Le coefficient de corrélation de la courbe de calibration (R^2) était de 0,996 (**Tableau 73**).

Tableau 73 : Résultats de qPCR pour la détermination de la limite de quantification d'*A. versicolor*.

Concentration d'ADN fongique (fg/µL)	Valeur Cq moyenne	Ecart type du Cq	Nombre d'essais réussis (n=10)
10^6	18,28	0,24	10
10^5	21,41	0,31	10
10^4	25,10	0,52	10
10^3	28,65	0,43	10
10^2	31,97	0,38	10
10	35,17	0,89	10
1	38,23	1,92	4

Au niveau des contrôles, toutes les amplifications réalisées avec les amorces Aversi sur les espèces témoins des genres *Aspergillus*, *Paecilomyces* et *Penicillium* se sont révélées négatives.

La LOD6 (limite de détection) a été déterminée de 5 à 2 copies d'ADN génomique d'*A. versicolor* (Cq 34,7 ±1,04 et 35,16 ±0,91 respectivement). Les valeurs r et RSDr étaient respectivement de 3,53 et 6,62% pour la valeur du Cq à la LOD6.

Par rapport à l'isolat utilisé pour calibrer la qPCR (*A. versicolor* HAB04), le Ct obtenu pour les 8 autres isolats d'*A. versicolor* étudiés (cf. Tableau 10) a donné une réponse variant de 0,3 à 3,5 fois celle de l'isolat utilisé pour la même quantité d'ADN initiale.

IV.6) Déterminants climatiques influençant la croissance et la toxinogenèse fongique

IV.6.1) Suivi de la croissance et du potentiel toxinogène de micromycètes issus de bioaérosols

Les expériences en enceinte climatique ont permis de mettre en évidence des différences au niveau de la croissance et de la production de mycotoxines.

Pour la croissance, différents types de profils ont pu être observés (**Figure 57**) :

- Pour *Aspergillus flavus*, *A. fumigatus*, *A. versicolor*, *Paecilomyces variotii* et *Penicillium olsonii*, la croissance semble être plus rapide à 25°C et 80% HR, avec une diminution de cette vitesse de croissance à 25°C et 40% HR et une diminution encore plus importante à 19°C et 40% HR.
- Pour *Penicillium brevicompactum* et *Stachybotrys chartarum*, la condition la plus favorable à la croissance semble être également 25°C et 80% HR. Contrairement aux espèces précédentes, la croissance en fin d'expérimentation (21 jours) se révèle plus

importante avec la condition 19°C et 40% HR plutôt que 25°C et 40% HR (essentiellement pour *P. brevicompactum*).

- Pour *Penicillium chrysogenum*, un profil différent est obtenu : la croissance maximale est observée pour la condition 19°C et 40% HR. Cette croissance est légèrement moins importante à 25°C et 80% HR et encore moins importante à 25°C et 40% HR.

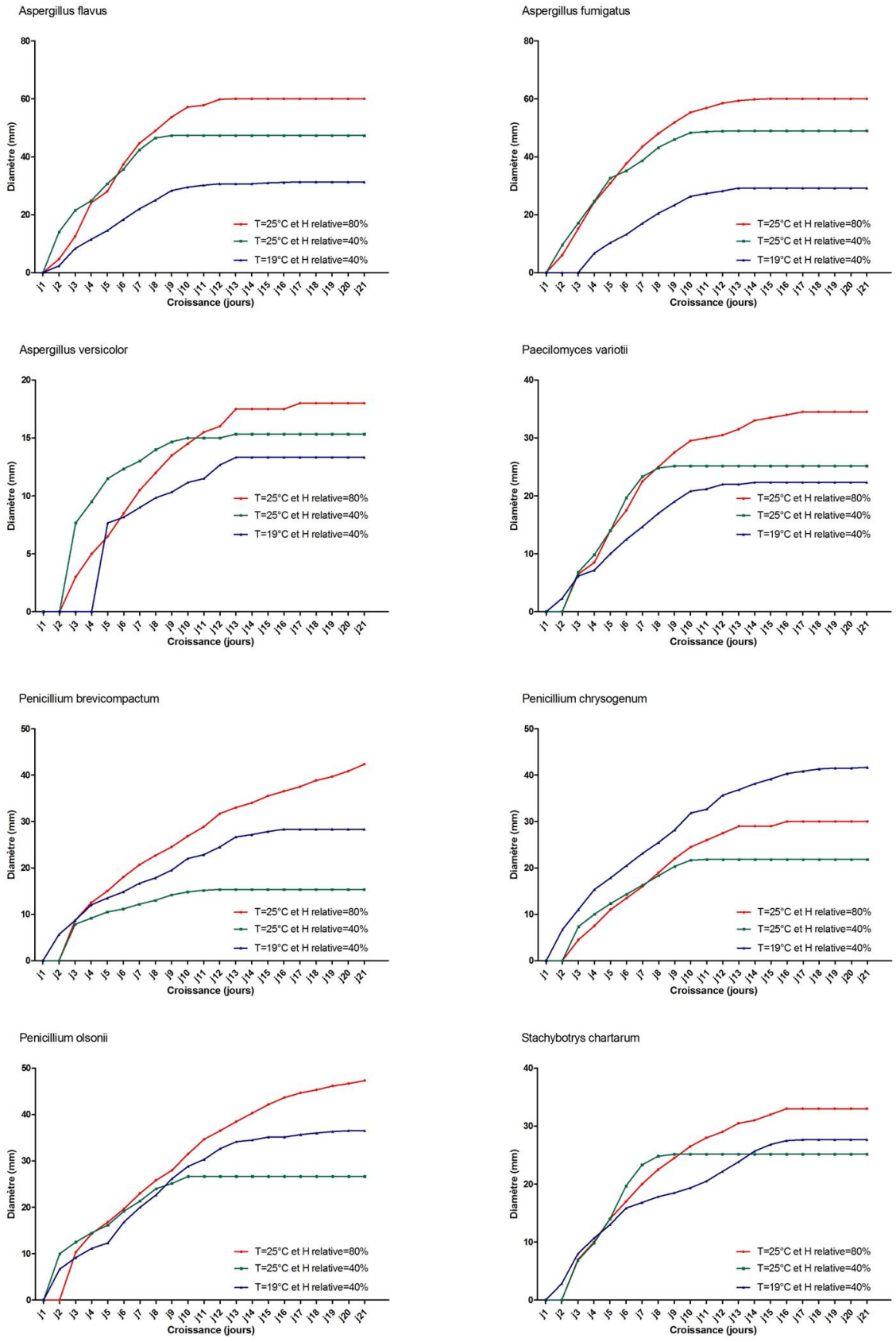


Figure 57 : Profils de croissance des différentes espèces fongiques testées en enceinte climatique selon les 3 conditions de croissance : 25°C et 80% HR (en rouge), 25°C et 40% HR (en vert) et 19°C et 40% HR (en bleu).

Les isolats *A. flavus*, *A. fumigatus*, *A. versicolor* et *P. brevicompactum* ont produit des mycotoxines qui ont pu être quantifiées en HPLC-MS/MS :

- *A. flavus* a produit de l'acide cyclopiazonique (**Figure 58**). La production maximale a été observée pour la condition 25°C / 80% HR, tandis qu'une quantité moindre a été produite à la condition 25°C / 40% HR et une quantité largement inférieure à 19°C / 40% HR.

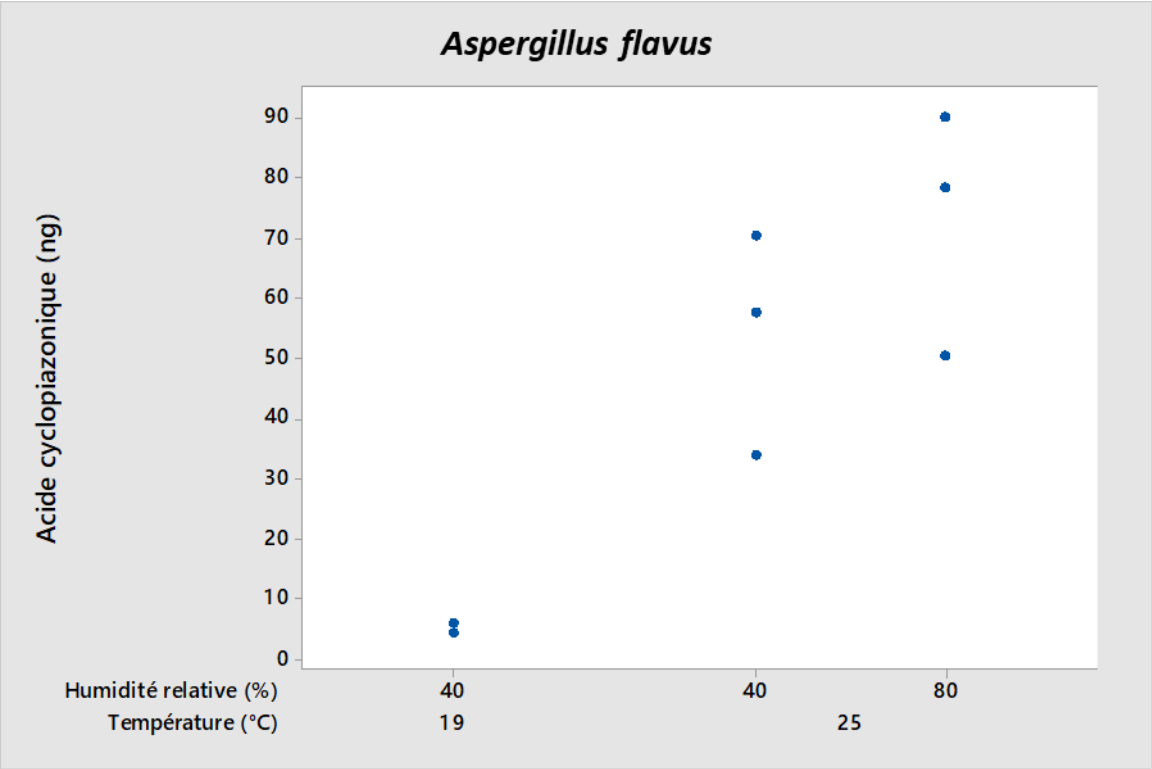


Figure 58 : Production d'acide cyclopiazonique par *A. flavus* dans les 3 conditions testées en enceinte climatique.

- *A. fumigatus* a produit de la fumagilline (**Figure 59**), de la gliotoxine (**Figure 60**) et du verruculogène (**Figure 61**). La production de fumagilline et de gliotoxine étaient maximales pour la condition 25°C / 80% HR, et moins importantes pour les conditions 25°C / 40% HR et 19°C / 40% HR. La production de verruculogène était, quant à elle, relativement équivalente pour les conditions 25°C / 80% HR et 25°C / 40% HR, mais plus limitée pour la condition 19°C / 40% HR.

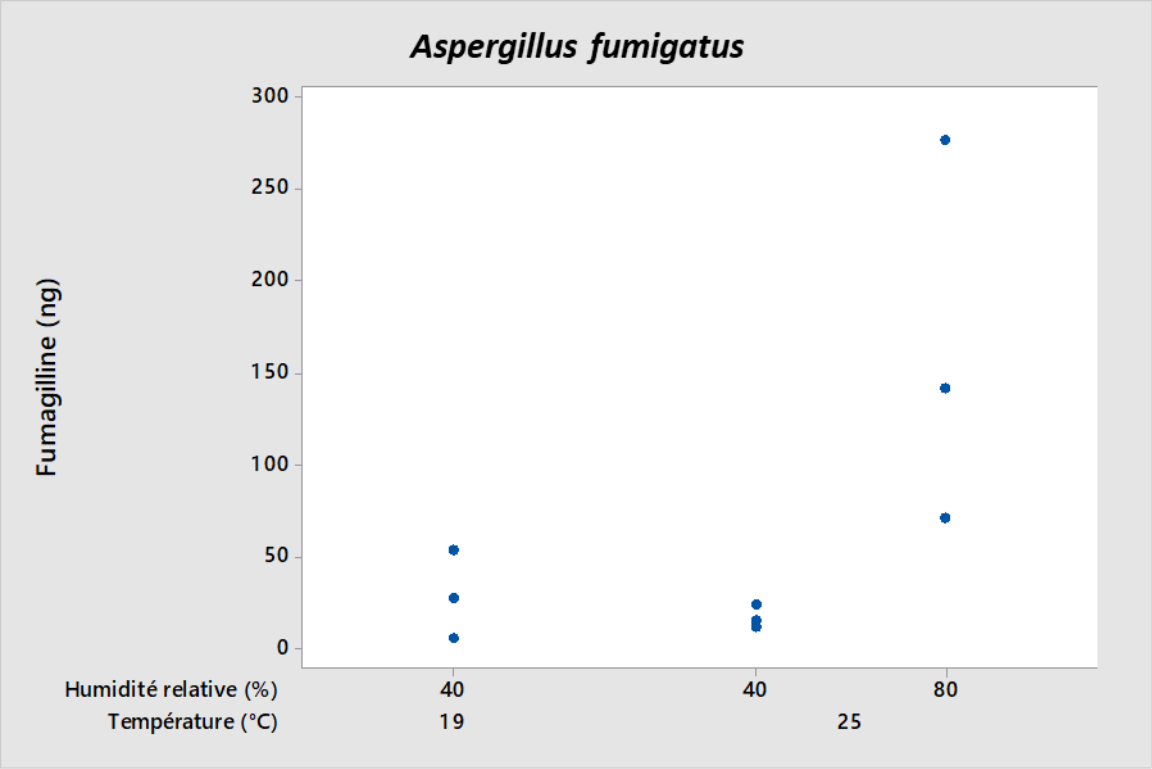


Figure 59 : Production de fumagilline par *A. fumigatus* dans les 3 conditions testées en enceinte climatique.

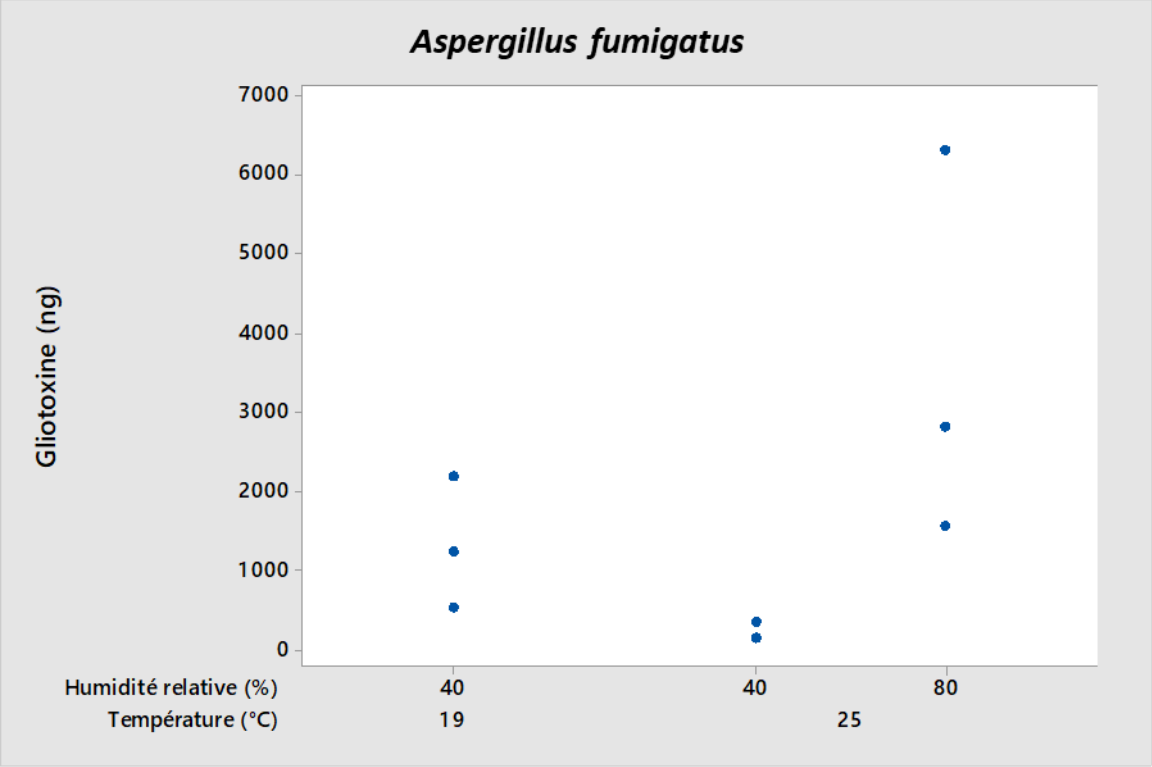


Figure 60 : Production de gliotoxine par *A. fumigatus* dans les 3 conditions testées en enceinte climatique.

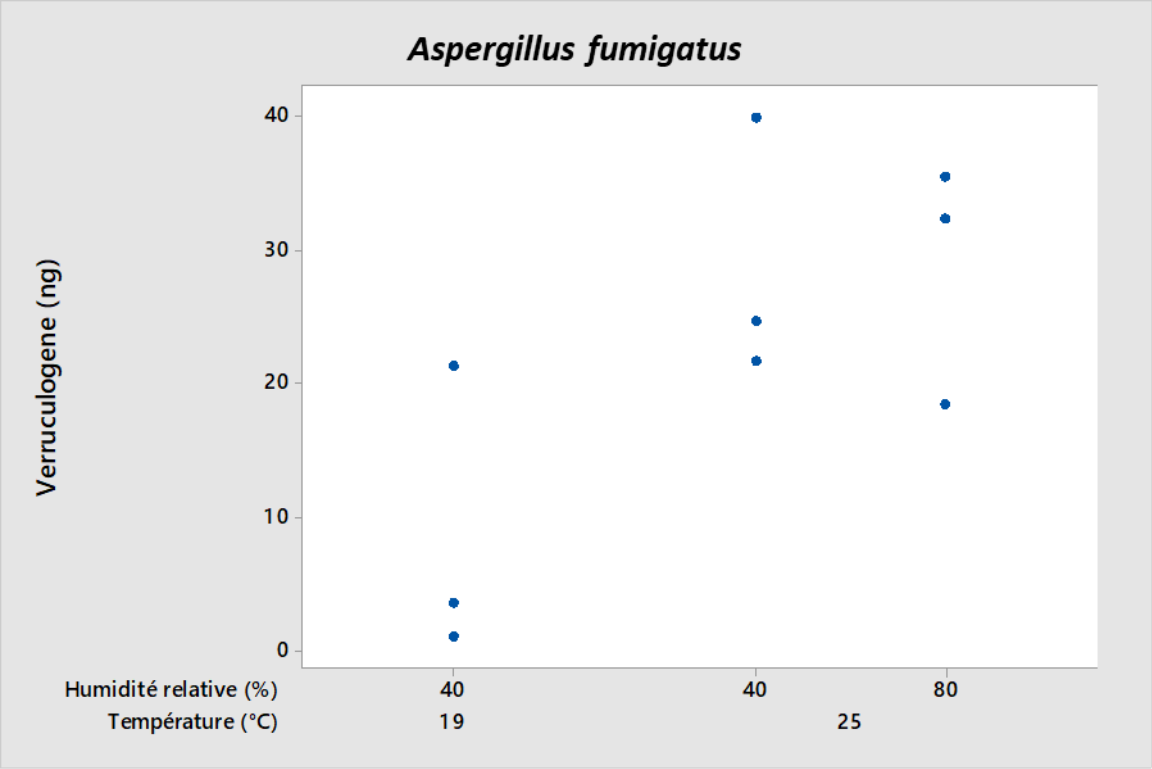


Figure 61 : Production de verruculogène par *A. fumigatus* dans les 3 conditions testées en enceinte climatique.

- *A. versicolor* a produit de la stérigmatocystine dans les 3 conditions testées (**Figure 62**). La production était maximale pour la condition 25°C / 40% HR, avec une nette diminution de cette production pour la condition 25°C / 80% HR et une diminution encore plus importante pour la condition 19°C / 40% HR.

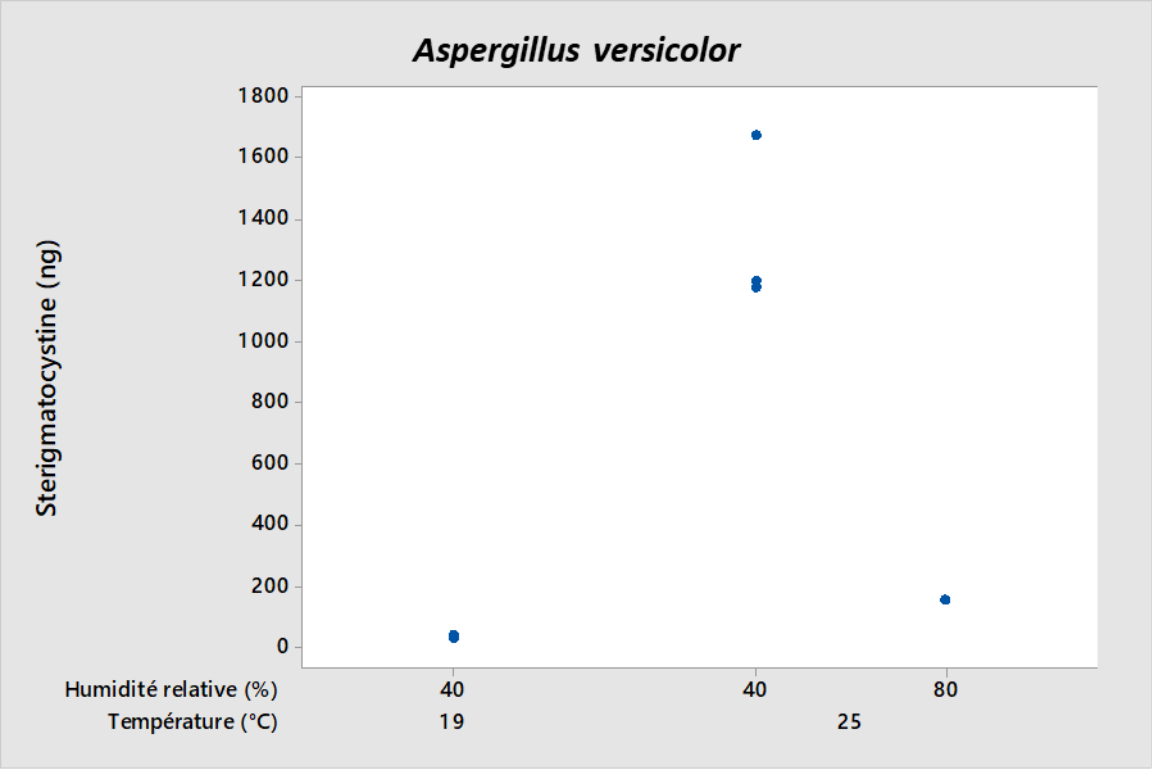


Figure 62 : Production de stérigmatocystine par *A. versicolor* dans les 3 conditions testées en enceinte climatique.

- *P. brevicompactum* a produit de l'acide mycophénolique (**Figure 63**). La production maximale a été obtenue pour la condition 19°C / 40% HR, avec une production diminuée pour la condition 25°C / 40% HR et encore plus faible pour la condition 25°C / 80% HR.

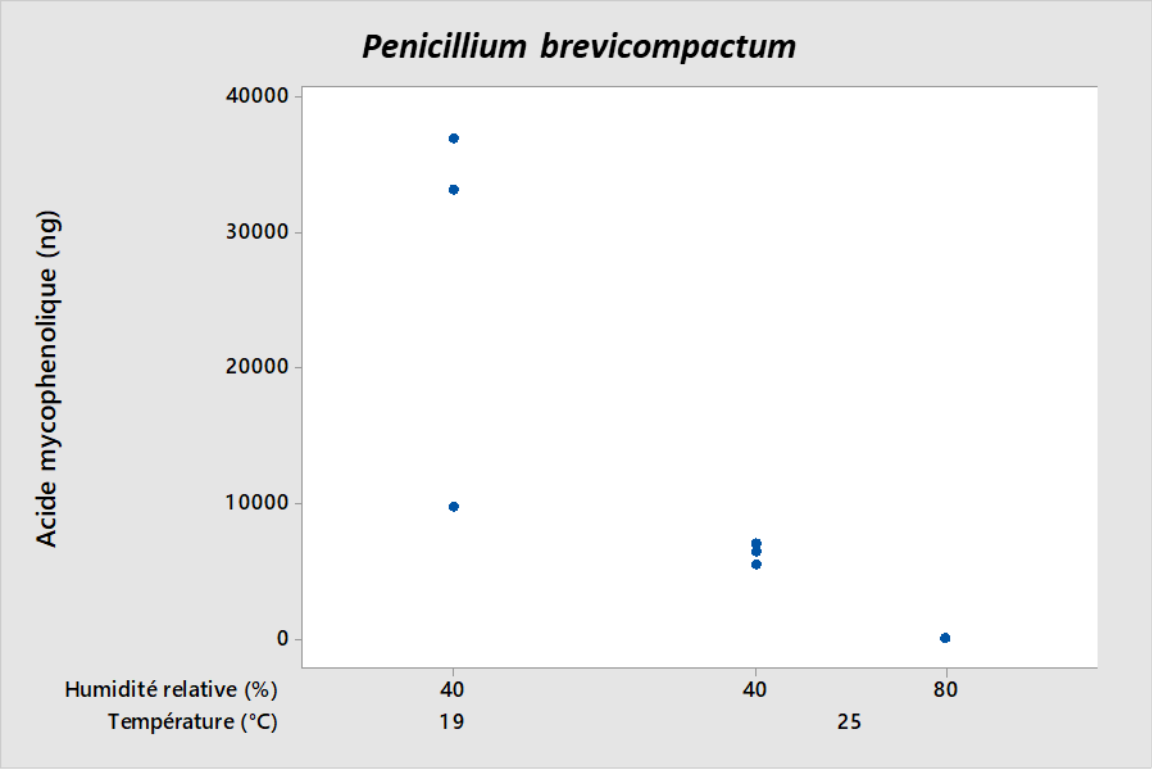


Figure 63 : Production d'acide mycophénolique par *P. brevicompactum* dans les 3 conditions testées en enceinte climatique.

Le **Tableau 74** résume l'effet des conditions climatiques testées sur la croissance et la production de mycotoxines des isolats fongiques (**Annexe 16**).

Tableau 74 : Bilan des essais de croissance et de production de mycotoxines en enceinte climatique.

Isolat fongique	**Conditions testées**		
	19°C / 40% HR	**25°C / 40% HR**	**25°C / 80% HR**
Aspergillus flavus	+ CPA +	++ CPA ++	+++ CPA +++
Aspergillus fumigatus	+ FUM ++ GLIO ++ VER +	++ FUM + GLIO + VER ++	+++ FUM +++ GLIO +++ VER ++
Aspergillus versicolor	+ STER +	++ STER +++	+++ STER ++
Paecilomyces variotii	+	++	+++
Penicillium brevicompactum	++ MPA +++	+ MPA ++	+++ MPA +
Penicillium chrysogenum	+++	+	++
Penicillium olsonii	++	+	+++

Stachybotrys chartarum	++	+	+++

Echelle de croissance (définie en fonction de la valeur moyenne à 21 jours): +, ++, +++
Echelle de production de mycotoxine (définie en fonction de la valeur moyenne des concentrations) : abréviation de la mycotoxine +, ++, +++
CPA : acide cyclopiazonique
FUM : fumagilline
GLI : gliotoxine
MPA : acide mycophénolique
STER : stérigmatocystine
VER : verruculogène

IV.6.2) Potentiel cytotoxique des isolats fongiques en fonction de conditions de culture testées

En ce qui concerne la cytotoxicité des extraits des isolats fongiques testés (**Figure 64**), une absence de cytotoxicité ou une cytotoxicité très faible a été observée pour la plupart d'entre eux.

- Pour *A. flavus*, une cytotoxicité minimale sur les deux lignées a été observée pour la condition 19°C / 40% HR, avec une légère augmentation de cette cytotoxicité à 25°C / 40% HR et une augmentation plus importante à 25°C / 80% HR.

- Pour *A. fumigatus*, une absence de cytotoxicité sur les deux lignées a été observée à 19°C et 40% HR ; une cytotoxicité modérée à 25°C / 40% HR, et une augmentation plus importante, surtout sur la lignée A549 à 25°C / 80% HR, ont été mises en évidence.

- Pour *A. versicolor*, une cytotoxicité faible sur les deux lignées a été observée pour toutes les conditions, à l'exception de la condition 25°C / 40% HR pour les cellules HaCaT.

- Pour *P. variotii*, une absence de cytotoxicité est notée sur les deux lignées pour les 3 conditions testées.

- Les extraits de *P. brevicompactum* ne se sont pas révélés cytotoxiques pour les deux lignées, à l'exception de la condition 25°C / 80% HR sur les cellules HaCat pour laquelle une cytotoxicité faible a été observée.

- Pour les extraits de *P. chrysogenum*, les extraits des conditions 25°C / 80% HR et 25°C / 40% HR se sont révélés faiblement cytotoxiques, tandis que les extraits de la condition 19°C / 40% HR ne se sont pas révélés cytotoxiques.

- Pour les extraits de *P. olsonii*, seuls les extraits de la condition 25°C / 40% HR se sont révélés cytotoxiques vis-à-vis des cellules HaCaT, mais pas vis-à-vis des cellules A549. Les autres extraits n'ont pas fait preuve de potentiel cytotoxique.

- Pour *S. chartarum*, tous les extraits se sont révélés légèrement cytotoxiques sur les deux lignées cellulaires.

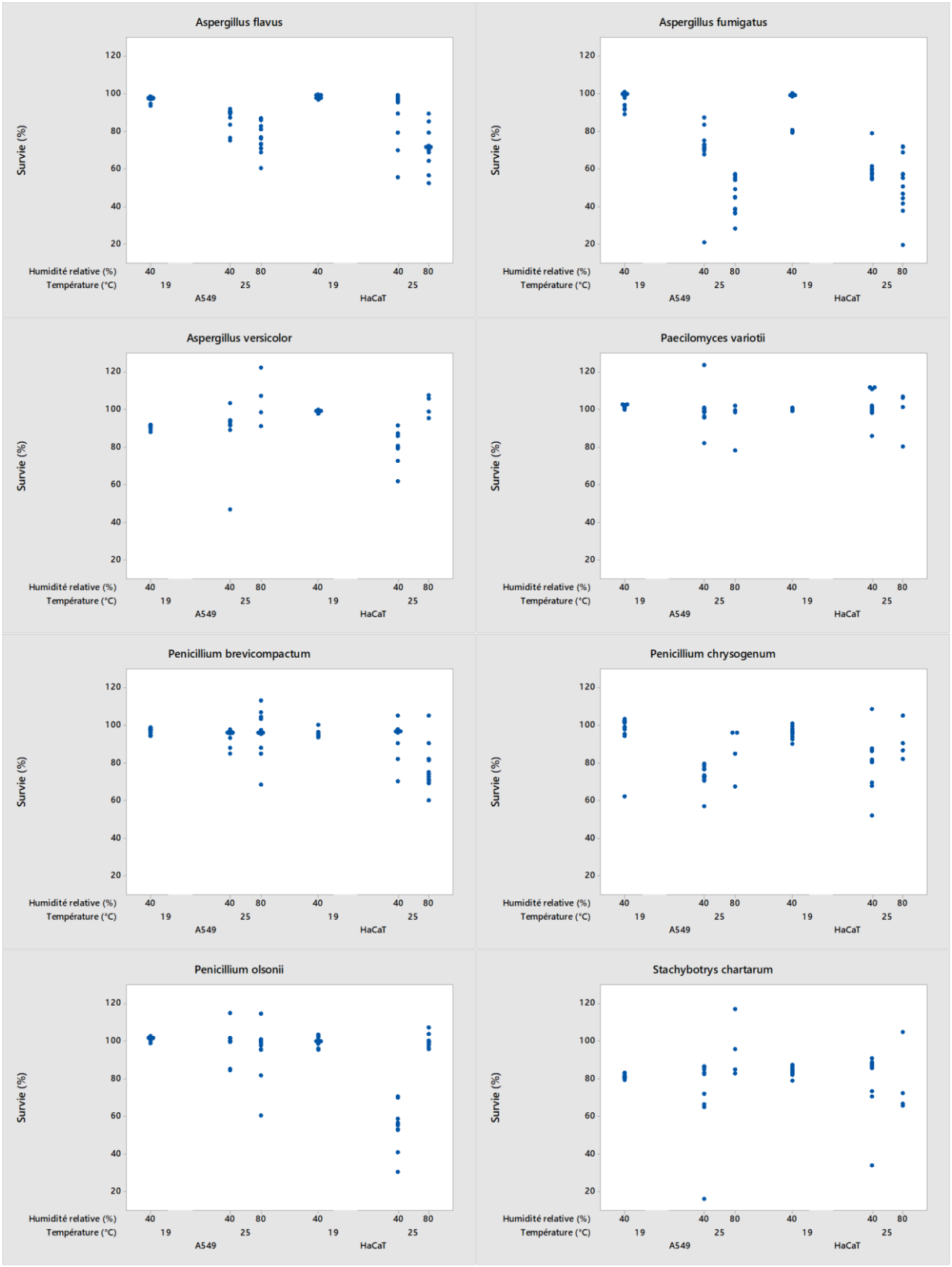


Figure 64 : Cytotoxicité des extraits fongiques vis-à-vis des cellules A549 et HaCaT en fonction des 3 conditions climatiques testées.

Le tableau suivant résume les potentiels cytotoxiques et toxinogènes des extraits fongiques (**Tableau 75**).

Tableau 75 : Bilan des propriétés toxinogéniques et cytotoxiques des extraits fongiques en fonction des conditions de culture.

Isolat fongique	**Condition testée**	**Mycotoxine(s) produite(s)**	**Concentration moyenne en mycotoxine(s) (ng/Erlenmeyer)**	**Potentiel cytotoxique (% de survie)**
Aspergillus flavus	25°C / 80% HR	Acide cyclopiazonique	$1{,}46 \times 10^{2}$	A549 : + (77%) HaCaT : ++ (71%)
	25°C / 40% HR	Acide cyclopiazonique	$1{,}08 \times 10^{2}$	A549 : + (86%) HaCaT : 0 (93%)
	19°C / 40% HR	Acide cyclopiazonique	$9{,}79 \times 10^{0}$	A549 : 0 (97%) HaCaT : 0 (99%)
Aspergillus fumigatus	25°C / 80% HR	Fumagilline Gliotoxine Verruculogène	$3{,}26 \times 10^{2}$ $7{,}13 \times 10^{3}$ $5{,}76 \times 10^{1}$	A549 : +++ (45%) HaCaT : ++ (52%)
	25°C / 40% HR	Fumagilline Gliotoxine Verruculogène	$3{,}44 \times 10^{1}$ $5{,}80 \times 10^{2}$ $5{,}76 \times 10^{1}$	A549 : 0 (97%) HaCaT : 0 (93%)
	19°C / 40% HR	Fumagilline Gliotoxine Verruculogène	$5{,}76 \times 10^{1}$ $2{,}65 \times 10^{3}$ $1{,}73 \times 10^{1}$	A549 : 0 (96%) HaCaT : 0 (99%)
Aspergillus versicolor	25°C / 80% HR	Stérimatocystine	$3{,}06 \times 10^{2}$	A549 : 0 (100%) HaCaT : 0 (100%)
	25°C / 40% HR	Stérimatocystine	$2{,}70 \times 10^{3}$	A549 : 0 (91%) HaCaT : + (80%)
	19°C / 40% HR	Stérimatocystine	$7{,}2 \times 10^{1}$	A549 : 0 (90%) HaCaT : 0 (99%)
Paecilomyces variotii	25°C / 80% HR	-	-	A549 : 0 (94%) HaCaT : 0 (99%)
	25°C / 40% HR	-	-	A549 : 0 (100%) HaCaT : 0 (100%)
	19°C / 40% HR	-	-	A549 : 0 (100%) HaCaT : 0 (100%)
Penicillium brevicompactum	25°C / 80% HR	Acide mycophénolique	$4{,}09 \times 10^{1}$	A549 : 0 (96%) HaCaT : + (77%)

	25°C / 40% HR	Acide mycophénolique	1,25 x 10^4	A549 : 0 (92%) HaCaT : 0 (96%)
	19°C / 40% HR	Acide mycophénolique	4,28 x 10^4	A549 : 0 (97%) HaCaT : 0 (96%)
Penicillium chrysogenum	25°C / 80% HR	-	-	A549 : 0 (92%) HaCaT : 0 (100%)
	25°C / 40% HR	-	-	A549 : + (85%) HaCaT : 0 (96%)
	19°C / 40% HR	-	-	A549 : 0 (97%) HaCaT : 0 (96%)
Penicillium olsonii	25°C / 80% HR	-	-	A549 : + (88%) HaCaT : 0 (100%)
	25°C / 40% HR	-	-	A549 : 0 (100%) HaCaT : ++ (65%)
	19°C / 40% HR	-	-	A549 : 0 (100%) HaCaT : 0 (100%)
Stachybotrys chartarum	25°C / 80% HR	-	-	A549 : 0 (95%) HaCaT : + (77%)
	25°C / 40% HR	-	-	A549 : + (75%) HaCaT : + (80%)
	19°C / 40% HR	-	-	A549 : + (81%) HaCaT : + (84%)

- : pas de production de mycotoxines quantifiées par la méthode utilisée.
Echelle de cytotoxicité : 0 (90 à 100% de survie cellulaire) ; + (75 à 89% de survie cellulaire), ++ (50 à 74% de survie cellulaire), +++ (0 à 49% de survie cellulaire).

Dans le cas d'*A. flavus* et *A. fumigatus* on remarque une cytotoxicité plus marquée pour la condition la plus favorable à la production de mycotoxines (25°C et 80% HR).

IV.7) Comparaison des profils métaboliques d'*Aspergillus versicolor* en fonction des conditions climatiques testées

IV.7.1) Analyse non ciblée

L'analyse non ciblée a permis d'identifier 283 molécules différentes après traitement des données. Les analyses statistiques ont permis de déterminer parmi toutes ces molécules 117 qui étaient produites à un niveau significativement différent ($p < 0,001$) selon les trois conditions testées (**Tableau 76**).

Tableau 76 : Caractéristiques et abondance moyenne des différentes molécules identifiées par l'approche non ciblée.

N° composé	Masse (g/mol)	RT (min)	Abondance (25°C / 80% HR)	Abondance (25°C / 40% HR)	Abondance (19°C / 40% HR)
1	143,095	0,90	193825	861670	12344143
3	230,080	1,88	13700434	211175	9634
4	273,267	5,69	677091	830054	7129234
8	103,100	0,84	230192	1002870	5057147
14	113,084	2,03	2408341	113245	2257621
15	444,180	4,90	2488686	3300566	32216
16	230,079	2,19	5343986	403775	2585
24	145,053	1,76	372092	52197	1589621
26	215,094	1,48	18574	52132	1425853
28	192,138	2,50	1817538	402315	1196961
29	183,057	0,88	287910	369792	1147016
30	281,054	3,39	1405994	257083	4416
32	170,058	1,88	1558116	20876	6543
33	249,109	1,64	52527	481318	1341236
35	242,126	2,50	51767	193007	920447
36	139,061	0,85	573321	802703	285574
41	212,069	1,64	1212635	29049	6499
42	152,049	1,87	1155485	21179	0
44	173,046	1,10	301566	31967	571646
47	386,174	6,08	135760	167555	693445
50	122,048	0,95	76614	32258	414375
51	148,946	0,75	24360	7856	422966
55	123,032	0,97	285403	74664	428575
56	187,990	1,05	622699	20570	199073
58	310,067	1,22	92756	22744	322158
59	489,237	4,90	365977	487739	18705
60	238,122	5,21	621359	153325	364938
61	212,068	2,78	543343	14197	0
62	229,241	5.72	45526	53205	431654
66	466,306	9,14	60847	379048	9014
67	188,068	0,99	435208	23461	148620
68	278,153	8,31	378829	463763	381349
75	171,010	1,07	420529	936	75256
80	234,101	1,88	97581	58168	388789
81	206,152	3,42	629974	181501	260108
82	370,220	2,39	80189	336088	225482
83	502,299	2,90	49254	300671	173856
85	546,325	3,04	37912	294882	177666
87	171,969	1,00	431560	16215	79559
88	458,273	2,75	61339	330136	229573
91	270,073	1,61	367886	17408	63797
94	175,953	0,75	135196	50155	221165
95	269,088	1,02	145842	36162	215360
97	459.263	6,75	59860	43747	319280
108	284,051	1,00	146840	35818	176787
109	291,087	4,42	25317	200748	0
111	148,038	3,43	269858	29459	170165
114	151,062	1,97	125347	30165	58317

115	248,098	5,99	120873	67215	146326
119	210,137	2,75	61610	2207501	5151549
121	144,002	0,91	103286	171784	42840
122	206,152	3,90	239085	25501	74191
126	283,103	1,29	239659	30156	97601
128	683,195	10,46	97078	147515	206205
131	206,152	3,42	624403	181290	261988
134	271,251	5,83	19581	25078	174771
137	551,404	7,27	176396	202004	177947
138	639,456	7,32	141327	176849	145359
139	595,429	7,30	165174	198402	162468
142	159,996	1,01	195519	40941	93838
146	212,973	1,05	218494	2453	50783
147	194,110	1,65	43336	62650	213808
152	431,230	6,08	93436	124240	419674
158	683,482	7,33	119093	151708	118926
159	175,024	1,25	180645	20216	64045
162	296,033	4,25	160569	32896	0
166	190,158	5,13	188722	76496	101231
168	126,031	1,45	211586	0	107866
170	201,173	0,92	149288	107291	0
173	192,136	2,50	1773379	401411	1198467
174	208,053	0,91	20923	129698	26735
175	396,120	6,88	131861	0	12815
176	287,282	5,94	142669	18245	37227
177	342,288	5,98	91808	120960	100011
179	176,000	0,91	63542	150242	29198
181	199,194	7,50	80946	81349	129147
183	289,262	5,76	22195	62346	98636
187	222,057	5,71	36463	10011	101053
190	133,997	1,25	130477	17061	36692
194	130,997	0,75	136276	2802	32847
195	727,508	7,35	90902	120232	89475
196	113,058	0,85	82433	99900	28128
197	99,068	1,41	394771	121617	1519553
198	419,221	5,72	34159	90382	28247
199	281,054	3,58	148272	37120	0
203	249,044	3,43	102415	14084	60523
204	159,067	1,04	18735	2385	174357
205	180,006	3,39	130675	27308	0
207	314,043	4,24	115524	57430	0
209	463,351	7,21	109279	110851	100779
215	127,100	2,77	112934	23209	40355
216	260,103	5,21	612421	156950	351242
220	385,168	6,69	29960	99802	0
221	771,534	7.37	61593	85566	63081
222	243,111	1,30	88410	11433	47765
226	287,282	5,74	129110	15295	28633
230	232,017	1,02	96317	18874	89157
231	555,434	9,23	58068	69900	52593
233	186,010	1,32	67340	3766	67154
234	475,196	5,95	24318	52459	1782
240	275,137	2,19	85579	12261	1135

242	599,460	9,23	49345	57649	43774
244	323,210	8,31	73908	80001	60559
245	301,298	6,50	34377	34130	48933
246	203,020	1,25	62706	2899	19937
253	643,486	9,21	46871	64681	40415
259	233,028	3,43	48539	4799	28940
260	244,963	3,43	48899	1812	28484
263	815,559	7,38	35344	51431	37074
264	466,306	8,77	19005	28289	0
265	245,236	4,75	21151	23410	462987
266	244,122	2,93	49877	130318	358490
270	231,973	1,25	46823	0	12470
271	473,160	6,69	11206	33630	0
272	732,464	7,36	30883	36966	27749
277	573,208	6,03	43760	13428	0
278	208,017	3,43	40587	0	25727

Parmi ces composés, tous ont été retrouvés comme étant produits dans la condition 25°C / 80% HR, tandis que 16 composés (en rouge dans le tableau) n'ont pas été identifiés pour une autre condition climatique testée : 4 d'entre eux n'ont pas été retrouvés dans la condition 25°C / 40% HR et 12 n'ont pas été retrouvés dans la condition 19°C / 40% HR.

IV.7.2) Analyse ciblée

La recherche dans la base de données que nous avons constituée pour les métabolites connus d'*Aspergillus versicolor* a permis de mettre en évidence 30 métabolites potentiels (masses moléculaires identiques), qui sont produits à différentes concentrations selon les conditions testées (**Figure 65**).

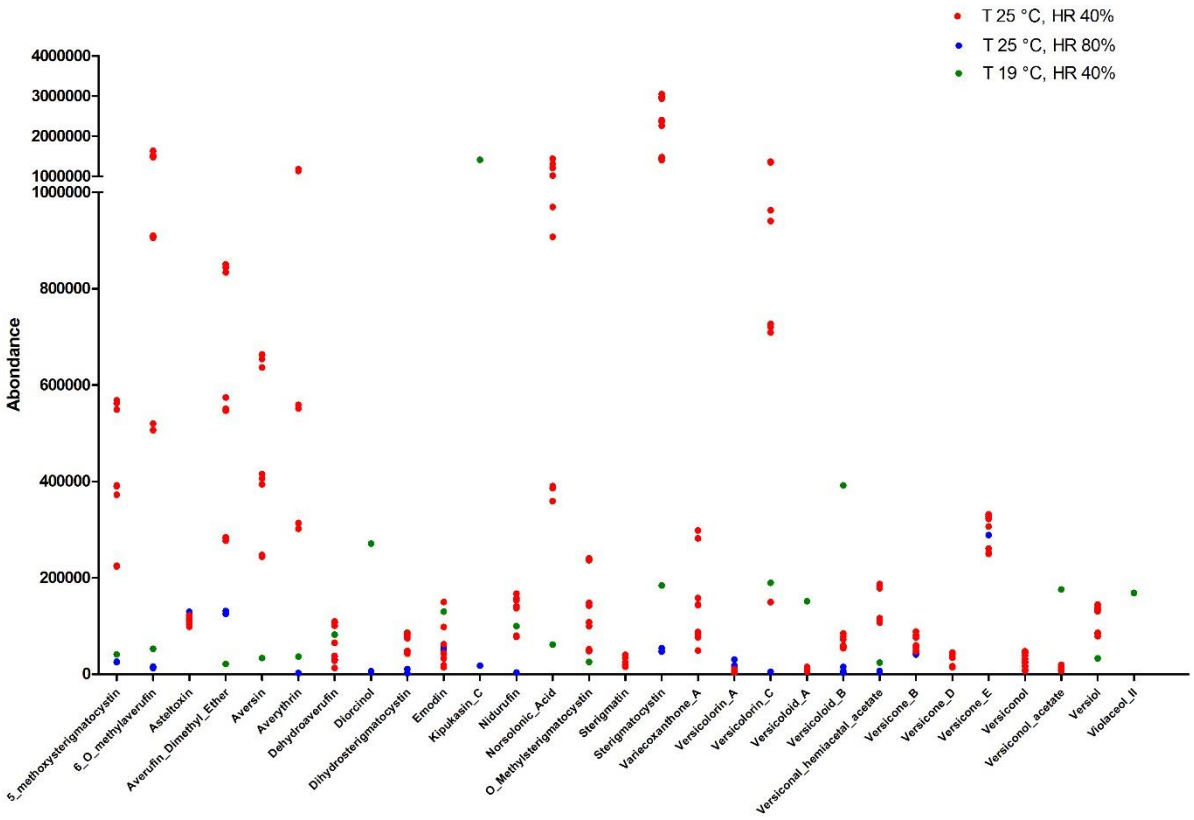


Figure 65 : Abondance des différents métabolites probables produits par *A. versicolor* lors de la culture dans les différentes conditions climatiques étudiées.

Il ressort de cette analyse que :

- Pour la condition 25°C / 80% HR :

  Au total 10 métabolites potentiels ne sont pas détectés : Aversin, Norsolonic acid, O-methylsterigmatocystin, Sterigmatine, Variecoxanthone A, Versicoloid A, Versicone D, Versiconol, Versiconol acetate, Versiol, Violaceol II.

- Pour la condition 25°C / 40% HR :

  Trois métabolites potentiels ne sont pas détectés dans cette condition : Diorcinol, Kipukasin C, Violaceol II.

  De nombreux métabolites sont produits en quantité importante par rapport aux autres conditions testées : 5-methoxystérigmatocystine, 6-O-methylaverufin, Averufin dimethyl ether, Averythrin, Norsolonic Acid, O-methylstérigmatocystin, Sterigmatin, Sterigmatocystin, Variecoxanthone A, Versicolorin C, Versicoloid B, Versiconal hemiacetal acetate, Versicone D, Versiol.

- Concernant la condition 19°C / 40% HR :

  Trois métabolites potentiels ne sont pas détectés : Variecoxanthone A, Versicone B, Versicone D.

  D'autres métabolites sont produits en quantité importante par rapport aux autres conditions : Diorcinol, Emodin, Kipukasin C, Versicoloid A, Versiconol acetate, Violaceol II.

Une analyse statistique a été réalisée de manière à déterminer si des différences significatives existaient entre les différentes conditions climatiques pour chacun des métabolites probables. Les résultats de cette analyse sont présentés dans le **tableau 77**.

Tableau 77 : Résultats des analyses statistiques pour la recherche de différences significatives concernant la production des différents métabolites potentiels par *A. versicolor* selon les différentes conditions climatiques testées.

Composé	Test du Khi2	Condition	N	Médiane	Min	Max	Test de Wilcoxon
5-methoxysterigmatocystin	<0,0001	25°C / 40% HR	9	390167	223850	568423	<0,0001
		19°C / 40% HR	9	18566	0	66437	
		25°C / 80% HR	3	26189	25245	26303	0,4773
		19°C / 40% HR	9	18566	0	66437	
		25°C / 80% HR	3	26189	25245	26303	0,0091
		25°C / 40% HR	9	390167	223850	568423	
6-O-methylaverufin	<0,0001	25°C / 40% HR	9	910023	506276	1635598	<0,0001
		19°C / 40% HR	9	0	0	54680	
		25°C / 80% HR	3	15230	12865	15935	0,4273
		19°C / 40% HR	9	0	0	54680	
		25°C / 80% HR	3	15230	12865	15935	0,0091
		25°C / 40% HR	9	910023	506276	1635598	
Asteltoxin	0,1696	25°C / 40% HR	9	110407	98462	122223	1,0000
		19°C / 40% HR	9	108213	94214	144475	
		25°C / 80% HR	3	123294	114416	129753	0,1455
		19°C / 40% HR	9	108213	94214	144475	
		25°C / 80% HR	3	123294	114416	129753	0,0636
		25°C / 40% HR	9	110407	98462	122223	
Aversin	<0,0001	25°C / 40% HR	9	406278	244070	663422	<0,0001
		19°C / 40% HR	9	29611	20135	50576	
		25°C / 80% HR	3	0	0	0	0,0091
		19°C / 40% HR	9	29611	20135	50576	
		25°C / 80% HR	3	0	0	0	0,0091
		25°C / 40% HR	9	406278	244070	663422	
Averufin dimethyl ether	<0,0001	25°C / 40% HR	9	550740	277235	850232	<0,0001

		19°C / 40% HR	9	23509	7242	32372	
		25°C / 80% HR	3	125537	125337	131302	0,0091
		19°C / 40% HR	9	23509	7242	32372	
		25°C / 80% HR	3	125537	125337	131302	0,0091
		25°C / 40% HR	9	550740	277235	850232	
Averythrin	<0,0001	25°C / 40% HR	9	558954	301730	1175404	<0,0001
		19°C / 40% HR	9	0	0	41508	
		25°C / 80% HR	3	2518	0	2755	0,8091
		19°C / 40% HR	9	0	0	41508	
		25°C / 80% HR	3	2518	0	2755	0,0091
		25°C / 40% HR	9	558954	301730	1175404	
Dehydroaverufin	0,2773	25°C / 40% HR	9	65013	13008	109560	0,2868
		19°C / 40% HR	9	10433	0	196721	
		25°C / 80% HR	3	28914	0	30310	1,0000
		19°C / 40% HR	9	10433	0	196721	
		25°C / 80% HR	3	28914	0	30310	0,1000
		25°C / 40% HR	9	65013	13008	109560	
Dihydrosterigmatocystin	0,0699	25°C / 40% HR	9	75129	42804	85149	0,7104
		19°C / 40% HR	9	19789	0	154590	
		25°C / 80% HR	3	2433	0	10789	0,1455
		19°C / 40% HR	9	19789	0	154590	
		25°C / 80% HR	3	2433	0	10789	0,0091
		25°C / 40% HR	9	75129	42804	85149	
Diorcinol	<0,0001	25°C / 40% HR	9	0	0	0	<0,0001
		19°C / 40% HR	9	245391	35244	552268	
		25°C / 80% HR	3	6243	4925	6409	0,0091
		19°C / 40% HR	9	245391	35244	552268	
		25°C / 80% HR	3	6243	4925	6409	0,0045
		25°C / 40% HR	9	0	0	0	
Emodin	0,0263	25°C / 40% HR	9	42937	14571	149965	0,0244
		19°C / 40% HR	9	85753	34652	240162	
		25°C / 80% HR	3	53692	50922	58621	0,0636
		19°C / 40% HR	9	85753	34652	240162	
		25°C / 80% HR	3	53692	50922	58621	0,4818
		25°C / 40% HR	9	42937	14571	149965	
Kipukasin C	<0,0001	25°C / 40% HR	9	0	0	0	<0,0001
		19°C / 40% HR	9	151503	138776	4060354	
		25°C / 80% HR	3	0	0	17806	0,0091
		19°C / 40% HR	9	151503	138776	4060354	
		25°C / 80% HR	3	0	0	17806	0,2500
		25°C / 40% HR	9	0	0	0	
Nidurufin	0,0025	25°C / 40% HR	9	140723	77621	167398	0,0770
		19°C / 40% HR	9	107084	25126	134780	
		25°C / 80% HR	3	3891	3614	3936	0,0091
		19°C / 40% HR	9	107084	25126	134780	
		25°C / 80% HR	3	3891	3614	3936	0,0091
		25°C / 40% HR	9	140723	77621	167398	
Norsolonic acid	<0,0001	25°C / 40% HR	9	969390	359069	1433918	<0,0001
		19°C / 40% HR	9	21062	9622	286945	
		25°C / 80% HR	3	0	0	0	0,0091
		19°C / 40% HR	9	21062	9622	286945	
		25°C / 80% HR	3	0	0	0	0,0091
		25°C / 40% HR	9	969390	359069	1433918	
O-methylsterigmatocystin	<0,0001	25°C / 40% HR	9	142455	47938	240650	<0,0001
		19°C / 40% HR	9	0	0	36447	
		25°C / 80% HR	3	0	0	0	0,5091
		19°C / 40% HR	9	0	0	36447	
		25°C / 80% HR	3	0	0	0	0,0091
		25°C / 40% HR	9	142455	47938	240650	

Sterigmatin	<0,0001	25°C / 40% HR	9	20583	15470	40304	0,0005
		19°C / 40% HR	9	0	0	17868	
		25°C / 80% HR	3	0	0	0	0,5091
		19°C / 40% HR	9	0	0	17868	
		25°C / 80% HR	3	0	0	0	0,0091
		25°C / 40% HR	9	20583	15470	40304	
Sterigmatocystin	<0,0001	25°C / 40% HR	9	2361619	1398928	3048459	<0,0001
		19°C / 40% HR	9	15938	10090	556463	
		25°C / 80% HR	3	47495	47104	54219	0,4818
		19°C / 40% HR	9	15938	10090	556463	
		25°C / 80% HR	3	47495	47104	54219	0,0091
		25°C / 40% HR	9	2361619	1398928	3048459	
Variecoxanthone A	<0,0001	25°C / 40% HR	9	143264	49008	298405	<0,0001
		19°C / 40% HR	9	0	0	0	
		25°C / 80% HR	3	0	0	0	1,0000
		19°C / 40% HR	9	0	0	0	
		25°C / 80% HR	3	0	0	0	0,0091
		25°C / 40% HR	9	143264	49008	298405	
Versicoloid A	<0,0001	25°C / 40% HR	9	6226	0	15341	<0,0001
		19°C / 40% HR	9	150327	79722	228985	
		25°C / 80% HR	3	0	0	0	0,0091
		19°C / 40% HR	9	150327	79722	228985	
		25°C / 80% HR	3	0	0	0	0,1364
		25°C / 40% HR	9	6226	0	15341	
Versicoloid B	<0,0001	25°C / 40% HR	9	59066	53762	84974	<0,0001
		19°C / 40% HR	9	438786	256043	479421	
		25°C / 80% HR	3	6618	3633	15259	0,0091
		19°C / 40% HR	9	438786	256043	479421	
		25°C / 80% HR	3	6618	3633	15259	0,0091
		25°C / 40% HR	9	59066	53762	84974	
Versicolorin A	0,0827	25°C / 40% HR	9	8325	4306	11008	0,3248
		19°C / 40% HR	9	6095	0	26995	
		25°C / 80% HR	3	18133	16633	30871	0,2000
		19°C / 40% HR	9	6095	0	26995	
		25°C / 80% HR	3	18133	16633	30871	0,0091
		25°C / 40% HR	9	8325	4306	11008	
Versicolorin C	<0,0001	25°C / 40% HR	9	940277	149697	1364718	0,0003
		19°C / 40% HR	9	95658	24596	470443	
		25°C / 80% HR	3	5234	4862	5398	0,0091
		19°C / 40% HR	9	95658	24596	470443	
		25°C / 80% HR	3	5234	4862	5398	0,0091
		25°C / 40% HR	9	940277	149697	1364718	
Versiconal hemiacetal acetate	<0,0001	25°C / 40% HR	9	179875	107031	187405	<0,0001
		19°C / 40% HR	9	0	0	25204	
		25°C / 80% HR	3	6062	4400	6855	0,4273
		19°C / 40% HR	9	0	0	25204	
		25°C / 80% HR	3	6062	4400	6855	0,0091
		25°C / 40% HR	9	179875	107031	187405	
Versicone B	<0,0001	25°C / 40% HR	9	59137	0	88381	0,0004
		19°C / 40% HR	9	0	0	0	
		25°C / 80% HR	3	41799	41192	46917	0,0045
		19°C / 40% HR	9	0	0	0	
		25°C / 80% HR	3	41799	41192	46917	0,0636
		25°C / 40% HR	9	59137	0	88381	
Versicone D	<0,0001	25°C / 40% HR	9	34921	14438	45206	<0,0001
		19°C / 40% HR	9	0	0	0	
		25°C / 80% HR	3	0	0	0	1,0000
		19°C / 40% HR	9	0	0	0	
		25°C / 80% HR	3	0	0	0	0,0091

		25°C / 40% HR	9	34921	14438	45206	
Versicone E	0,0008	25°C / 40% HR	9	323881	249693	331782	0,0019
		19°C / 40% HR	9	245192	222291	287284	
		25°C / 80% HR	3	322822	288693	327829	0,0091
		19°C / 40% HR	9	245192	222291	287284	
		25°C / 80% HR	3	322822	288693	327829	1,0000
		25°C / 40% HR	9	323881	249693	331782	
Versiconol	0,0047	25°C / 40% HR	9	26240	7150	47505	0,0939
		19°C / 40% HR	9	16358	0	22818	
		25°C / 80% HR	3	0	0	0	0,0273
		19°C / 40% HR	9	16358	0	22818	
		25°C / 80% HR	3	0	0	0	0,0091
		25°C / 40% HR	9	26240	7150	47505	
Versiconol acetate	<0,0001	25°C / 40% HR	9	13835	0	19741	<0,0001
		19°C / 40% HR	9	242244	40170	257127	
		25°C / 80% HR	3	0	0	0	0,0091
		19°C / 40% HR	9	242244	40170	257127	
		25°C / 80% HR	3	0	0	0	0,0273
		25°C / 40% HR	9	13835	0	19741	
Versiol	<0,0001	25°C / 40% HR	9	133836	78927	144875	<0,0001
		19°C / 40% HR	9	30906	21526	45469	
		25°C / 80% HR	3	0	0	0	0,0091
		19°C / 40% HR	9	30906	21526	45469	
		25°C / 80% HR	3	0	0	0	0,0091
		25°C / 40% HR	9	133836	78927	144875	
Violaceol II	<0,0001	25°C / 40% HR	9	0	0	0	<0,0001
		19°C / 40% HR	9	202771	16972	299825	
		25°C / 80% HR	3	0	0	0	0,0091
		19°C / 40% HR	9	202771	16972	299825	
		25°C / 80% HR	3	0	0	0	1,0000
		25°C / 40% HR	9	0	0	0	

Pour un certain nombre de métabolites potentiels, une différence significative est observée pour leur production dans les différentes conditions expérimentales :

- Pour 2 métabolites potentiels (Asteltoxin ; Dehydroaverufin), aucune différence significative de production entre les 3 conditions testées n'est observée.
- Pour 2 métabolites potentiels (Dihydrosterigmatocystin ; Versicolorin A), une différence significative de production est observée entre la condition 25°C / 80% HR et 25°C / 40% HR, mais pas entre les autres conditions.
- Pour 1 métabolite potentiel (Emodin), une différence significative de production est observée entre la condition 25°C / 40% HR et 19°C / 40% HR, mais pas entre les autres conditions.
- Pour 5 métabolites potentiels (Kipukasin C, Versicoloid A, Versicone B ; Versicone E ; Violaceol II), une différence significative de production de ces métabolites a été retrouvé dans toutes les conditions sauf entre les conditions 25°C / 80% HR et 25°C / 40% HR.

- Pour 2 métabolites potentiels (Nidurufin ; Versiconol), une différence significative de production de ce métabolite a été retrouvé dans toutes les conditions sauf entre les conditions 25°C / 40% HR et 19°C / 40% HR.
- Pour 9 métabolites potentiels (5-methoxysterigmatocystin ; 6-O-methylaverufin ; Averythrin ; o-Methylversicolorin ; Sterigmatin ; Sterigmatocystin ; Variecoxanthone A ; Versiconal hemiacetal acetate ; Versicone D), une différence significative de production de ces métabolites a été retrouvé entre toutes les conditions sauf entre les conditions 25°C / 80% HR et 19°C / 40% HR.
- Enfin, pour les 8 métabolites potentiels restants (Aversin ; Averufin dimethyl ether ; Diorcinol ; Norsolonic acid ; Versicoloid B ; Versicolorin C ; Versiconol acetate ; Versiol), une différence significative dans la production de ces métabolites a été mise en évidence entre chacune des 3 conditions testées.

V) Discussion et perspectives

V.1) Elaboration de l'étude et originalité de l'approche

L'étude CLIMATOX a consisté en une approche globale et originale sur le problème de l'exposition aux moisissures dans les habitats dégradés en couplant étude de terrain et expérimentations en laboratoire, et en analysant à la fois la microfonge présente dans l'air intérieur et les symptômes ressentis par les résidents.

L'originalité de notre étude repose dans un premier temps sur l'identification de la microfonge viable en précisant les espèces fongiques présentes permettant ainsi d'avoir une visibilité sur la biodiversité fongique des habitats au niveau spécifique. Cette approche pourra être complétée par une approche métagénomique, qui permet d'identifier les différentes espèces fongiques présentes dans l'environnement en s'affranchissant des biais liés à la culture (Degois *et al*. 2017). La plupart des études portant sur l'exposition aux moisissures se limitent à une identification des genres fongiques ou se focalisent uniquement sur quelques espèces fongiques (Hargreaves *et al*. 2003 ; Holme *et al*. 2010).

Le choix du biocollecteur basé sur la technologie cyclonique a été fait en s'appuyant sur une étude précédente du laboratoire dans des habitations atteintes par la mérule (*Serpula lacrymans*), celle-ci ayant permis de comparer ce mode de prélèvement avec des filtres (Pottier *et al*., 2014). Cette approche a permis d'éviter plusieurs problèmes :

i. la saturation des boîtes de Petri liée aux impacteurs sur gélose ;
ii. le faible volume de collecte qui peut être lié à l'utilisation de certains impacteurs en milieu liquide ;
iii. les difficultés de remise en suspension nécessaire des spores fongiques avec certains impacteurs sur filtre.

Quelques études avaient déjà utilisé cet appareil pour étudier des organismes fongiques dans différents environnements comme le milieu hospitalier (Bellanger *et al*. 2012 ; Heutte *et al*. 2017 ; Méheust *et al*. 2013), les centrales de compostage (Bonifait *et al*. 2017) et des fermes d'élevage de porcs (Blais-Lecours *et al*. 2012 ; Bonifait *et al*. 2014).

D'un point de vue des données de santé, l'étude CLIMATOX a permis le recueil et la constitution d'une base de données « habitats » qui continue d'être enrichie et pourra être mobilisée pour de futurs travaux. La majorité des études existantes se focalise sur les personnes

asthmatiques ou allergiques, c'est le cas par exemple de l'étude ECRHS (European Community Respiratory Health Survey), qui porte sur l'exposition aux moisissures au sein d'une cohorte européenne de patients adultes asthmatiques en quantifiant par qPCR des moisissures présentes dans les poussières collectées dans les habitats (Valkonen *et al*. 2018). Dans cette étude, aucune association entre les moisissures quantifiées par qPCR et l'asthme n'a pu être mise en évidence. Notre travail constitue une approche complémentaire en documentant l'exposition aux contaminants fongiques et microbiens (endotoxines, β-D-glucanes) en milieu intérieur et en recueillant des informations de santé sur les habitants. Il permet, grâce à la base de données constituée et aux analyses statistiques, de confronter des données liées à la contamination de l'habitat avec des symptômes. Ces analyses univariées pourront de plus être complétées par des analyses multivariées lorsque les effectifs seront plus importants. L'approche multivariée permettra de préciser l'impact des variables explicatives en ajustant sur d'autres variables d'intérêt. Elle permettra également d'élaborer un indicateur de contamination intérieure qui devra ensuite être validé sur le terrain.

L'approche en enceinte climatique constitue également une originalité de ce travail en étudiant l'effet de déterminants climatiques sur la croissance et la toxinogenèse fongique.

V.2) Contamination fongique des bioaérosols

V.2.1) Description de la microfonge

Peu d'études se sont intéressées à la diversité de la microfonge dans les habitats (**Tableau 78**). Parmi ces études, plusieurs d'entre elles utilisent des impacteurs sur milieu gélosé, et sont donc limitées en termes de concentration maximale de moisissures quantifiables.

Tableau 78 : Liste des études culturales portant sur la microfonge des habitats.

Etude et pays concerné	**Nature des habitations étudiées**	**Appareil de collecte**	**Contamination fongique (CFU/m^3)**	**Genres fongiques récurrents identifiés**
Beguin et Nolard 1994 Belgique	Habitations de patients asthmatiques (n=130)	Impacteur sur gélose (Reuter centrifugal air sampler)	375 à >3750[a]	*Aspergillus* (90% des habitations), *Cladosporium* (98% des habitations), *Penicillium* (98% des habitations)
Hargreaves *et al*. 2003 Australie	Habitations quelconques (n=14)	Impacteur sur gélose (Reuter Centrifugal Air Sampler)	125-2063	*Alternaria*, *Cladosporium*, *Curvularia*, *Fusarium*, *Penicillium*

Holme *et al*. 2010 Suède	Habitations d'enfants asthmatiques (n=382)	Impacteur sur gélose (MicroBio 2)	25 à >5300 [a]	*Aspergillus, Cladosporium, Penicillium*
Jones *et al*. 2011 Etats-Unis	Habitations de patients asthmatiques et de témoins (n=50 et 49 respectivement)	Impacteur sur gélose (Bukhard portable air sampler)	23 à 3388	*Aspergillus* (68% des habitations), *Cladosporium* (98% des habitations), *Penicillium* (91% des habitations)
Jovanovic *et al*. 2004 Allemagne	Habitations de patients allergiques et de témoins (n=199 et 198 respectivement)	Impacteur sur gélose (MAS 100 sampler)	105 à 15000	*Aspergillus, Cladosporium, Penicillium*
Pottier *et al*. 2014 France	Habitations dégradées par la mérule (n=20)	Biocollecteur à force cyclonique (Coriolis® µ)	15 à 580000	*Alternaria, Aspergillus, Chaetomium, Cladosporium, Epicoccum, Penicillium, Trichoderma, Ulocladium*
Reponen *et al*. 1994 Finlande	Garderies (n=3) et habitations (n=6) touchées par des infiltrations d'eau	Impacteur sur gélose (Andersen six-stage sampler)	20 à 9800	*Aspergillus, Cladosporium, Penicillium, Oidiodendron*

[a] Saturation de la boîte de Petri pour cette concentration

Dans notre étude, nous avons également trouvé des concentrations fongiques variant fortement selon l'habitation, allant de 16,7 à 361000 CFU/m^3 d'air. Ces niveaux sont en accord avec ceux observés dans les autres études culturales (voir **Tableau 1**) portant sur l'habitat, avec néanmoins des valeurs de contamination fongique aérienne plus élevées dans les habitats les plus dégradés. Pour les habitations les plus contaminées, les niveaux de concentration de particules fongiques viables dans l'air sont proches de ceux observés dans des environnements très contaminés comme les centrales de compostage, qui sont de l'ordre de 10^4 à 10^6 CFU/m^3 d'air (Bonifait *et al*. 2017).

La diversité fongique a été appréhendée au travers de l'indice d'équitabilité de Piélou, calculé à partir de la richesse spécifique, et de l'indice de Shannon-Weaver. Cet indice d'équitabilité varie de 0 lorsqu'une espèce domine à 1 lorsqu'il y a une répartition équitable des individus dans les espèces observées. D'une manière globale, nous avons observé une forte variabilité des indices d'équitabilité. Malgré l'absence d'élément de comparaison dans la bibliographie, nous pouvons distinguer 3 catégories d'habitations. La première concerne les habitations disposant d'un indice d'équitabilité très bas (inférieur à 0,25), qui regroupe les 3 habitations dans lesquelles une très forte contamination fongique a été observée avec la présence majoritaire d'*A. versicolor* par rapport aux autres espèces. La seconde catégorie correspond aux 10 habitations disposant d'un indice d'équitabilité compris entre 0,25 et 0,6, pour lesquelles nous observons des concentrations fongiques totales dans l'air supérieures à 100 CFU/m^3 d'air,

avec la présence de 2 à 4 espèces dominantes (généralement *A. versicolor* et des espèces du genre *Penicillium*). Enfin, la dernière catégorie comprend les 35 habitations restantes, dans lesquelles nous observons des taux de contamination fongique très variables (allant de 1,67 $x10^1$ à 2,81 x 10^3 CFU/m^3 d'air), mais pour lesquelles nous n'observons pas de dominance d'une ou plusieurs espèces fongiques par rapport aux autres. Ces résultats semblent indiquer l'existence d'associations d'espèces fongiques dans les habitats, qu'il serait intéressant d'étudier à l'aide d'analyses en composante principale (ACP) pour déterminer les associations et les paramètres (température, humidité relative, matériaux, …) favorisant la présence dominante de certaines espèces comme *A. versicolor* dans l'air de certains habitats. Néanmoins, des effectifs importants sont nécessaires pour ce type d'analyses, ce qui nécessite de continuer à renseigner la base de données sur les habitats dégradés créée durant ce doctorat.

Au niveau de la diversité fongique identifiée, nous retrouvons les trois principaux genres fongiques (*Aspergillus, Cladosporium* et *Penicillium*) récurrents classiquement décrits dans l'air intérieur des habitats, mais contrairement aux études précédemment citées, *Cladosporium* n'est pas le genre fongique majoritaire dans notre étude. Cette différence ne semble pas liée au type d'impacteur utilisé, le système cyclonique ayant précédemment montré son efficacité dans la collecte de *Cladosporium* en milieu intérieur (Pottier *et al*. 2014). De même, nous n'avons quasiment pas identifié d'espèces du genre *Alternaria* (présent dans seulement 1 bioaérosol de notre étude), alors que ce genre est classiquement décrit dans certaines études utilisant des impacteurs sur gélose (Beguin et Nolard 1994 ; Hargreaves *et al*. 2003).

Parmi les autres espèces récurrentes identifiées lors notre étude, *Botrytis cinerea, Paecilomyces variotii, Rhodotorula mucilaginosa* et *Chaetomium globosum* ont été observées dans plus de 10% des habitations. Parmi ces espèces, seuls les genres *Botrytis* et *Chaetomium* ont été identifiés dans les habitats étudiés par Beguin et Nolard (1999), avec dans leur étude une fréquence similaire pour *Chaetomiun* et une fréquence bien plus importante pour *Botrytis cinerea* présent dans 68,46% des habitations. *Cryptococcus albidus* et *Stachybotrys chartarum* qui sont deux espèces fongiques potentiellement dangereuses en santé humaine et animale ont été retrouvées à de faibles concentrations dans l'air de 3 habitats. La première est connue pour sa capacité à causer des infections (cryptococcose) et la seconde en raison de sa toxicité pulmonaire et son caractère toxinogène. Un certain nombre de genre fongiques a également été observé avec une très faible occurence (dans moins de 5% des habitations) : *Absidia sp,*

Acremonium sp, Actinomucor sp, Aphanocladium sp, Chrysonilia sp, Chrysosporium sp, Fusarium sp, Gliocladium sp, Hyphodermella sp, Mucor sp, Mycotypha sp, Naganishia sp, Phanerochaete sp, Phoma sp, Pithomyces sp, Scedosporium sp, Sclerotinia sp, Rhizopus sp, Thamnidium sp, Trichoderma sp et *Ulocladium sp*. La faible récurrence de ces genres fongiques pourrait suggérer que les espèces identifiées proviennent d'un apport externe à l'habitat (air extérieur, aliments, …). Certains de ces genres fongiques comprenant des espèces cellulolytiques, leur présence pourrait aussi être liée à la dégradation des matériaux par les moisissures.

Parmi les espèces identifiées, nous avons également mis en évidence des espèces cellulotytiques susceptibles de participer à la dégradation de l'habitat, comme les genres *Chaetomium* et *Trichoderma* (Beldman *et al*. 1985). D'autres micromycètes sont capables de produire des mycotoxines, telles que *Aspergillus flavus, A. versicolor, Penicillium brevicompactum* ou *Stachybortrys chartarum* (Jarvis et Miller 2005) ou peuvent être responsables d'infections chez des personnes au statut immunitaire déficitaire comme *Aspergillus fumigatus*, *Fusarium* spp ou *Paecilomyces* spp (Houbraken *et al*. 2010).

Parmi les différentes espèces que nous avons identifiées dans cette étude, *Penicillium chrysogenum* constitue l'espèce la plus récurrente (75%). Cette espèce a déjà été décrite comme étant présente de manière relativement récurrente dans l'air intérieur des habitats, Beguin et Nolard (1994) l'ayant identifiée dans 31,53% des habitations. En dehors de ses capacités connues à produire des métabolites secondaires d'intérêt, des activités cellulolytiques importantes ont été décrites pour certains isolats de cette espèce (Andersen *et al*. 2016), ce qui pourrait expliquer sa présence dans les habitats dégradés.

Au niveau du genre *Penicillium*, d'autres espèces ont également été retrouvées de manière plus ou moins récurrente :
P. crustosum constitue la seconde espèce représentative de ce genre dans les bioaérosols (67%) et la troisième espèce fongique la plus récurrente après *P. chrysogenum* et *A. versicolor*. Cette espèce est relativement peu décrite dans l'air des habitats dégradés, mais est connue pour être présente au niveau des centrales de compostage et de déchets végétaux (Fisher *et al*. 1999 ; Rundberget *et al*. 2004). Cette espèce est de plus capable de produire deux mycotoxines : la roquefortine C et le penitrème A (un intermédiaire de la paxilline) (Kokkonen *et al*. 2005).

P. brevicompactum est la troisième espèce de ce genre étant la plus présente dans les bioaérosols collectés dans notre étude (63%). Il s'agit d'une espèce souvent détectée au niveau des

environnements intérieurs et des déchets végétaux, qui est connue pour produire plusieurs mycotoxines, notamment de l'acide mycophénolique, un métabolite secondaire aux propriétés immunosuppressives (Rand *et al*. 2005).

P. glabrum est également une espèce récurrente dans l'air des habitations étudiées (40%), bien que sa fréquence soit inférieure à celle des trois espèces précédemment citées. Cette espèce est connue pour dégrader les plantes et les fruits, pour être capable de produire de la patuline et est principalement décrite au niveau des centrales de compostage (Domsch *et al*. 1980 ; Fisher *et al*. 1999).

Parmi le genre *Aspergillus*, l'espèce *A. versicolor* doit faire l'objet d'une attention particulière car elle constitue la seconde espèce la plus récurrente dans cette étude. De plus, parmi les 9 habitations pour lesquelles la concentration fongique totale est supérieure à 1000 CFU/m^3 d'air, *A. versicolor* constituait au moins 50% des CFU totales quantifiées pour 5 d'entre elles. Cette espèce pose question en termes de sécurité sanitaire car elle est connue pour produire une mycotoxine, la stérigmatocystine, qui est mutagène, cancérogène (classé en 2B par le CIRC), hépatotoxique et génotoxique, et pour provoquer des manifestations respiratoires chez la souris suite à des expositions à 1 x 10^6 spores lors d'injections intra-trachéales (Jussila *et al*. 2002).
En raison de sa récurrence dans les habitats et de l'intérêt sanitaire qu'elle suscite, nous avons sélectionné cette espèce pour mettre au point et évaluer l'efficacité d'une méthode de quantification rapide de cette moisissure dans l'air en utilisant la cytométrie en flux et la qPCR (voir paragraphes III-4 de la partie matériel et méthodes et IV-5 de la partie résultats). Cette méthode a été utilisée sur les bioaérosols collectés dans les 38 premières habitations de l'étude. L'analyse statistique de ces résultats a permis de montrer la corrélation de cette technique avec l'approche culturale. Cependant l'analyse de la région génétique utilisée pour cette quantification moléculaire montre une forte variabilité entre les 8 isolats d'*A. versicolor* collectés dans différentes habitations, ce qui pourrait constituer une limite de cette approche. Pour améliorer cette méthode, un travail portant sur la méthode de concentration et d'extraction de l'ADN sur les bioaérosols collectés à l'aide du Coriolis® pourrait permettre d'améliorer le rendement de cette extraction. D'autres amorces de PCR ciblant d'autres régions génétiques pourraient également être étudiées pour tenter de s'affranchir des problèmes liés aux répétitions aléatoires de la région génétique actuellement utilisée.

L'utilisation de la qPCR pour quantifier les moisissures dans les bioaérosols est relativement récente, les connaissances sur la physiologie et la biologie moléculaire des bactéries étant plus avancées que celles concernant les moisissures. Ainsi des différences de résultats entre moisissures et bactéries lors de l'extraction d'ADN et l'analyse par qPCR suivant les même protocoles ne sont pas expliquées : par exemple, une étude récente (Mbareche *et al*. 2017) suggère que la centrifugation des suspensions microbiennes visant à concentrer les cellules avant l'extraction de l'ADN, pourrait n'être que d'une efficacité très limitée pour la plupart des moisissures en raison de leur structure et de l'abondance des molécules hydrophobes sur leur surface. De même, les connaissances du génome des champignons restent limitées, avec peu de séquences complètes disponibles pour les différentes espèces, et le choix des séquences consensus utilisées pour l'identification des champignons reste discutable. La région génétique actuellement la plus utilisée pour l'identification des espèces fongiques est la région ITS, qui n'offre pas la meilleure discrimination lors du séquençage, mais qui présente l'avantage de disposer d'amorces très robustes pour la plupart des espèces fongiques (Stielow *et al*. 2015).

Parmi les autres espèces du genre *Aspergillus* identifiées dans notre étude, *A. flavus* et *A. fumigatus* doivent être mentionnées en raison de leur récurrence et de leur caractère potentiellement pathogène et toxinogène.

A. flavus est une espèce très décrite pour sa capacité à produire de nombreuses mycotoxines, en particulier des aflatoxines, responsables d'intoxications alimentaires chez l'Homme et l'animal (Jarvis et Miller 2005 ; Seyedmousavi et al. 2015). Il s'agit d'une espèce en revanche relativement peu décrite au niveau de l'air intérieur. Dans notre étude, sa présence sporadique dans l'air (10 habitations sur les 48) ainsi que sa faible concentration (comprise entre 0,81 à 15,60 CFU/m^3 d'air) laissent supposer que sa présence serait plus probablement liée à un apport de l'air extérieur plutôt qu'à une croissance sur les matériaux dégradés. Cette espèce n'a pas été retrouvée dans l'étude précédente portant sur les habitations atteintes par la mérule (Pottier *et al*. 2014) et seulement avec une fréquence de 5,38% dans l'étude belge portant sur les habitations (Beguin et Nolard 1994), ce qui supporterait cette hypothèse. Dans notre étude, cette espèce a été isolée dans 3 habitations situées en zone rurale, 5 habitations situées en zone péri-urbaine et seulement 2 situées en zone urbaine ; il est ainsi possible que le lieu d'habitation intervienne, une étude antérieure effectuée au laboratoire l'ayant retrouvée dans des fermes d'élevage (Lanier *et al*. 2010).

De même, *A. fumigatus* est une espèce capable de produire plusieurs mycotoxines et constitue le principal agent responsable des aspergilloses respiratoires (Latgé 1999). Dans notre étude une concentration fongique relativement faible a été observée (0,76 à 29,00 CFU/m^3 d'air), mais la fréquence de cette espèce s'est révélée nettement plus élevée que celle d'*A. flavus* (20 habitations sur les 48 de l'étude). Cette espèce a déjà été signalée comme étant récurrente à des niveaux similaires dans l'air des habitats (Beguin et Nolard 1999). Elle a par ailleurs été retrouvée à une concentration moyenne de 34 CFU/m^3 d'air dans 10% des habitations dégradées par la mérule (Pottier *et al*. 2014), ainsi que sur moins de 1% des matériaux d'habitats ayant subi des dégâts des eaux (Andersen *et al*. 2011). En raison de la dangerosité de cette espèce fongique pour les personnes immunodéprimées et de sa récurrence dans nos prélèvements, nous nous sommes intéressés à la résistance aux antifongiques de 14 isolats de cette espèce provenant de bioaérosols collectés dans des habitats issus de zones différentes (urbaine, péri-urbaine ou rurale). L'émergence d'isolats d'*A. fumigatus* résistants aux antifongiques azolés est en effet un problème émergent qui pourrait être lié, selon certains auteurs, à l'utilisation intensive d'antifongiques azolés en agriculture, favorisant ainsi l'apparition de ces mutants résistants (Howard et Arendrup 2011). Parmi les 14 isolats testés, nous n'avons pas observé de différences de réponses aux antifongiques selon leur origine géographique. Néanmoins, en raison du nombre relativement faible d'isolats testés, il serait intéressant de continuer à tester d'autres isolats issus d'habitats de différentes origines.

De façon plus exceptionnelle, nous avons pu isoler et identifier dans un de nos bioaérosols une espèce aspergillaire très récemment décrite : *Aspergillus europaeus*. Cette espèce a été principalement identifiée en provenance d'échantillon de sol (identifiée dans 14 échantillons de sol différents), mais aussi d'un échantillon d'air d'habitation, et n'est actuellement pas connue pour produire de mycotoxines (Hubka *et al*. 2016).

Parmi les autres espèces fongiques observées, certaines présentent un intérêt d'un point de vue de la qualité du bâti et de la qualité de l'air.

Stachybotrys chartarum est une espèce suspectée d'être à l'origine de problèmes de santé rencontrés dans des habitats dégradés en raison de sa capacité à produire plusieurs mycotoxines particulièrement toxiques (principalement des trichothécènes comme les satratoxines) et de leur implication dans des cas d'hémorragies pulmonaires chez de jeunes enfants aux Etats-Unis (Pollart *et al*. 2013). Dans le cadre de notre étude, cette espèce n'a été observée que dans 6,25%

des habitations, à des concentrations très faibles (inférieures à 5 CFU/m^3 d'air). Dans l'étude précédente concernant les habitations touchées par la mérule, *Stachybotrys chartarum* avait été identifié dans 15% des habitations à une concentration moyenne de 27 CFU/m^3 d'air. Dans l'étude de Beguin et Nolard (1999), qui utilise également une approche culturale, cette espèce a été retrouvée à une fréquence de 16,92% et à des concentrations plus élevées (20 à 145 CFU/m^3 d'air). Cette moisissure a également été recherchée sur des matériaux de construction dégradés par Pietarinen *et al*. (2008), en utilisant des méthodes culturales ainsi qu'un test de qPCR spécifique à cette espèce. Ils ont ainsi pu identifier cette moisissure sur 25% des matériaux testés à l'aide de la qPCR contre seulement 1% des matériaux à l'aide de la culture sur milieu MEA. Ceci pourrait être lié aux caractéristiques de cette moisissure, notamment de sa croissance très lente et souvent discrète, ainsi qu'à la nature de ces spores qualifiées d'humides car recouvertes d'un mucilage et donc peu volatiles. La mise en évidence de cette moisissure est donc probablement sous-estimée (Hossain *et al*. 2004).

Paecilomyces variotii est considéré comme un pathogène émergent inhabituel, causant des hyalohyphomycoses principalement cutanées ou liées à des cathéters (Houbraken *et al*. 2010). Cette espèce a été identifiée dans notre étude avec une récurrence non négligeable (7 habitations sur les 48), mais à des concentrations relativement faibles (inférieures à 40 CFU/m^3 d'air). *P. lilacinus* est une espèce appartenant au même genre fongique et considérée comme disposant d'une pathogénicité équivalente à *P. variotii*. Néanmoins, cette espèce n'a été identifiée dans notre étude que dans 2 habitations à des concentrations très faibles (inférieures à 5 CFU/m^3 d'air).

Les espèces du genre *Fusarium*, que nous avons identifiées avec une faible récurrence et de faibles concentrations dans l'air, sont considérées comme étant des agents pathogènes émergents chez les patients immunodéprimés (Galimberti *et al*. 2012).

Quelques espèces du genre *Trichoderma* ont également été observées et identifiées, à des fréquences et des concentrations très faibles. Les espèces de ce genre fongique sont, tout comme celles du genre *Fusarium* précédemment cité, considérées comme des pathogènes émergents chez les patients immunodéprimés (Walsh *et al*. 2004). Ce genre est également connu pour ses propriétés cellulolytiques responsables de la dégradation de matériaux (Pottier *et al.* 2014 ; Beldman *et al*. 1985).

Enfin, deux espèces de levures potentiellement pathogènes ont été identifiées dans nos prélèvements : *Cryptococcus albidus*, isolée dans 3 bioaérosols, et *Naganishia diffluens*

(anciennement *Cryptococcus diffluens*), isolée dans 1 seule habitation. Ce genre fongique est connu pour être rare dans les habitations (Adan et Samson 2011), les espèces de ce genre étant généralement retrouvées dans le sol, ou parfois sur la peau humaine de manière transitoire (Kurtzman *et al*. 2010).

V.2.2) Analyse des corrélations

Dans le cadre de cette étude, plusieurs paramètres ont été testés de manière à déterminer s'ils étaient corrélés avec la concentration totale en organismes fongiques viables et les concentrations des différentes espèces fongiques récurrentes dans les bioaérosols.

Ces analyses ont permis de mettre en évidence une corrélation entre la concentration dans l'air d'*Aspergillus versicolor* et de *P. crustosum* avec la concentration en particules de 2 à 15 µm, ainsi qu'une corrélation entre la concentration d'*A. versicolor* et la concentration des particules totales de 0,3 à 20 µm. Une corrélation entre les CFU totales dans l'air et les particules de 2 à 15 µm avait déjà été observée dans une étude précédente sur les habitats dégradés par la mérule (Pottier *et al*. 2014), il semble donc que ce paramètre particules de 2 à 15 µm pourrait être utilisé comme un des indicateurs de la contamination fongique en milieu intérieur dégradé.

Un lien a également été trouvé entre la contamination fongique observée sur les surfaces (catégories), critère proposé par l'ANSES (2016), et les concentrations dans l'air des CFU totales ainsi qu'avec les concentrations dans l'air d'*A. versicolor* et de *P. chrysogenum*. L'étendue de la surface contaminée étant un indicateur simple et rapide à utiliser par les inspecteurs de salubrité ou les CMEI n'ayant pas de formation spécifique en mycologie, il pourrait être pertinent d'utiliser ce paramètre comme le premier indicateur lors des visites à domicile avant d'envisager des analyses plus approfondies et plus lourdes à mettre en place. A l'inverse, Reponen *et al*. (2010) n'avaient pas observé de lien entre la surface contaminée et la concentration entre les différentes espèces fongiques de l'air dans leur étude. Cette observation pourrait s'expliquer par une approche méthodologique différente de celle que nous avons suivie : les catégories de surface contaminées dans l'étude de Reponen sont différentes (inférieure ou supérieure à 0,2 m^2) et la quantification des spores dans l'air se base uniquement sur la biologie moléculaire et non sur une approche culturale.

V.3) Autres contaminants biologiques des bioaérosols

Les taux de contamination de l'air en endotoxines observés dans les prélèvements se sont révélés pour la plupart des habitations en dessous des concentrations seuils recommandées par l'INRS pour la sécurité au travail (moins de 20 ng/m^3 d'air). Néanmoins, pour 10 habitations, les concentrations d'endotoxines dans l'air étaient comprises entre 20 et 100 ng/m^3 d'air, ce qui est considéré comme étant une situation non satisfaisante sur les lieux de travail pour des durées d'exposition quotidienne de 8 heures (INRS 2018). Parmi ces 10 habitations, 5 d'entre elles disposaient d'un taux de contamination fongique supérieur à 100 CFU/m^3, et 2 d'un taux supérieur à 1000 CFU/m^3 d'air. Les durées d'exposition quotidienne dans les habitations relevées auprès des résidents étant généralement supérieures à cette valeur de 8 heures, leur exposition à des concentrations aussi élevées en endotoxines pourrait constituer un problème pour ces résidents. En effet les endotoxines peuvent altérer la fonction respiratoire et diminuer le volume expiratoire au travers d'un phénomène inflammatoire. A forte concentration, elles sont également connues pour causer le syndrome toxique des poussières organiques, qui se traduit par de la fièvre, des sensations de malaise, des douleurs et une gêne respiratoire ainsi que de la toux (INRS 2018).

En ce qui concerne les β-D-glucanes, aucune recommandation par rapport à l'exposition individuelle ou professionnelle n'existe à ce jour. Nous n'avons néanmoins pas pu observer de concentrations supérieures à 20 ng/m^3 d'air dans les prélèvements comme cela a été le cas pour les endotoxines. Certains auteurs proposent d'utiliser les β-D-glucanes comme indicateur de la contamination fongique des habitats dégradés du fait que dans cet environnement la principale source pour ce métabolite serait représentée par les moisissures (Rylander 1999). Dans notre étude, aucune corrélation entre la concentration dans l'air en β-D-glucanes et les concentrations fongiques totales ou des différentes espèces récurrentes n'ont été mises en évidence, ce qui ne permet pas de proposer les β-D-glucanes comme indicateur de contamination aérienne. Pour vérifier cette absence de lien, une autre méthode de dosage que le test LAL employé dans cette étude, comme par exemple l'utilisation de techniques de quantification par immunofluorescence (Rao et al. 2007) pourrait être utilisée pour confirmer ou infirmer les résultats obtenus. Une étude récente a également démontré que, pour 4 espèces communes de l'air intérieur (*A. fumigatus*, *A. versicolor*, *P. chrysogenum* et *S. chartarum*), la répartition en β-D-glucanes n'était pas la même entre les spores et le mycélium, cette molécule se trouvant principalement au niveau du mycélium (Øya *et al*. 2018), ce qui pourrait également être un facteur expliquant l'absence de corrélation observée dans notre étude.

Finalement, l'étude de la contamination des surfaces par les acariens nous a permis de constater des taux de contamination faibles dans la plupart des habitats. Aucune étude s'intéressant à la quantité d'antigènes des acariens dans les habitats dégradés n'a été réalisée, mais plusieurs études se sont intéressées aux concentrations des antigènes des acariens dans les matelas de larges cohortes européennes (Zock *et al*. 2006 ; Gent *et al*. 2012 ; Valkonen *et al*. 2018). Dans ces études, des concentrations comparables à celles correspondant aux catégories les plus faibles (moins de 10 µg d'antigène /g de poussière) ont été retrouvées dans la majorité des logements, ce qui semblerait indiquer que la présence de moisissures dans l'habitat ne favorise pas la prolifération des acariens.

L'étude préliminaire sur les bactéries aura permis de déterminer les conditions optimales pour la collecte des bactéries en milieu intérieur à l'aide du biocollecteur Coriolis®. Elle aura également permis de mettre en évidence que les bactéries identifiées dans le milieu intérieur ne sont pour la majorité pas des pathogènes, à l'exception de *Roseomonas mucosa*, de *Staphylococcus haemolyticus* et de certaines bactéries du genre *Pseudomonas*, qui sont parfois des pathogènes opportunistes (Aujoulat *et al*. 2012). La plupart des bactéries retrouvées appartiennent à des genres bactériens connus au niveau de la peau (*Bacillus*, *Micrococcus*, *Pantoea*, *Pseudomonas*, *Staphylococcus*) ou retrouvés de manière ubiquitaire (*Arthrobacter*, *Bacillus*, *Kocuria*), ce qui est en accord avec les observations de Lax et al. (2014) selon lesquelles la flore bactérienne des habitations est principalement impactée par les bactéries de la peau des habitants. On peut en revanche noter l'absence d'Actinomycètes tels que *Streptomyces* spp habituellement décrits dans des environnements intérieurs très contaminés par les moisissures comme les centrales de compostages, des fermes d'élevage ou des habitats (Johansson *et al*. 2014 ; Park *et al*. 2017). Cette absence est surprenante, et pourrait être due au faible nombre d'habitats inclues dans cette analyse exploratoire (qui se limite à deux habitats) ou aux milieux de culture utilisés. Pour confirmer ou infirmer cette absence, il pourrait être intéressant d'analyser un nombre plus important d'habitations, voir même d'utiliser des techniques s'affranchissant des problèmes liés à la culture comme le séquençage à haut débit (Degois *et al*. 2017).

V.4) Toxicité des bioaérosols et effets sur la santé

V.4.1) Cytotoxicité et potentiel inflammatoire

L'évaluation du potentiel cytotoxique des bioaérosols collectés dans les habitats dégradés a permis de mettre en évidence que les réponses observées sur les deux lignées cellulaires testées

(pulmonaire A549 et cutanée HaCaT) sont liées. En revanche, uniquement des corrélations très faibles ont été observées entre la concentration dans l'air de *Penicillium crustosum* et des β-D-glucanes avec la cytotoxicité observée sur les cellules HaCaT. Dans l'étude de Létourneau *et al*. (2010), le potentiel cytotoxique de bioaérosols provenant de centrales de production de tourbe a été évalué sur des cellules A549. Dans les 5 bioaérosols étudiés, la concentration en bactéries, en moisissures et en endotoxines a été évaluée. Malgré des concentrations largement plus élevée, allant de 1,1 $x10^4$ à 2,4 x 10^7 CFU/m^3 pour les moisissures et de 14,1 à 141,7 ng/m^3 d'air pour les endotoxines, aucune corrélation n'avait été observée entre la concentration des contaminants microbiologiques et la cytotoxicité observée. Hirvonen *et al*. 2005 ont démontré dans une étude portant sur la cytotoxicité d'extraits de poussières d'habitats pour lesquels les concentrations fongiques et bactériennes étaient connues, un rôle plus important de la charge bactérienne dans la cytotoxicité par rapport à la charge fongique. Il pourrait-être intéressant pour les prochains prélèvements de comptabiliser le nombre total de bactéries (CFU/m^3) afin d'identifier si la concentration bactérienne totale possède un effet sur la cytotoxicité du bioaérosol.

L'étude exploratoire du potentiel inflammatoire des bioaérosols sur les deux lignées cellulaires a quant à elle permit de mettre en évidence que plusieurs cytokines semblaient induites dans les deux lignées cellulaires suite à cette exposition, notamment l'IL-1β et le GM-CSF, tandis que chez la lignée HaCaT, l'IL-1α semblait être induite de manière spécifique. Cette induction spécifique de l'IL-1α semble cohérente car cette cytokine qui est connue pour jouer un rôle central au niveau de la peau dans la réponse aux stress (Welss *et al*. 2004). Quelques études se sont intéressées aux niveaux de cytokines retrouvés chez des personnes fréquentant régulièrement des endroits contaminés par des moisissures. Ainsi, dans une étude portant sur les niveaux de cytokines dans les liquides de lavage bronchoalvéolaires d'élèves fréquentant des écoles dégradées par des moisissures, Hirvonen *et al*. (1999) ont retrouvés des niveaux de TNF-α, d'IL-6 et de monoxyde d'azote significativement plus élevés chez ces élèves que chez des élèves fréquentant des écoles exemptes de moisissures. Dans une étude similaire, Purokivi *et al*. ont identifié des taux significativement plus élevés d'IL-1, d'IL-6 et de TNF-α chez les travailleurs affectés à des écoles dégradées par des moisissures en comparaison de ceux travaillant dans des écoles saines. Une étude portant sur la réponse cellulaire des cellules A549 et Beas-2B à différentes endotoxines avait déjà signalé cette induction de l'IL-1β et du GM-CSF en réponse à cette exposition (Koyama *et al*. 2000).

Une véritable analyse quantitative de plusieurs cytokines d'intérêt à l'aide d'une méthode en cytométrie en flux est prévue pour confirmer ces résultats préliminaires obtenus dans notre étude. Par ailleurs cette analyse sera réalisée pour tous les bioaérosols collectés dans l'étude de manière à disposer d'un effectif suffisant pour réaliser des tests statistiques robustes.

V.4.2) Impact sanitaire des bioaérosols

L'analyse statistique des données de santé recueillies chez les résidents par rapport aux caractéristiques des habitats et des bioaérosols a permis de mettre en évidence un certain nombre de variables explicatives pour les problèmes d'allergie (voir **Tableaux 37 et 38** de la partie **Résultats**) et pour les symptômes de santé ressentis par les résidents (voir synthèse cf. **Tableau 67** de la partie **Résultats**).

Un lien a été mis en évidence entre la présence d'allergie (tous types d'allergie confondus) chez les résidents et la contamination des surfaces par les acariens, le type de chauffage utilisé dans l'habitation (individuel ou collectif) et la présence de traces d'humidité dans l'habitat. La contamination des surfaces par les acariens et la présence de traces d'humidité susceptibles d'augmenter l'humidité relative et la concentration en moisissures dans les bioaérosols sont des facteurs connus de l'allergie (Carrer *et al*. 2001).

Plusieurs variables explicatives ont été mises en évidence comme participant à un ou plusieurs symptômes ressentis par les résidents. La plupart des études évaluant les effets sur la santé de l'exposition aux moisissures s'accorde pour mettre en évidence des manifestations respiratoires liées à cette exposition, notamment l'aggravation de l'asthme et la gêne respiratoire (ANSES 2016). Dans notre étude, en plus de ces effets respiratoires, des effets cutanés liés à l'exposition à *A. versicolor* ont été mis en évidence et n'avaient jusque-là pas été décrits dans la littérature.

Par rapport à la contamination fongique de l'air des habitats (CFU totales), seul un lien avec l'intensité des maux de gorges ressentis a été mis en évidence.

En ce qui concerne les particules de 2 à 15 µm de diamètre, un lien avec la fréquence des maux de tête et des sensations de malaise a été mis en évidence. Ce résultat semble logique et est renforcé par le fait que dans notre étude, le taux de particules de 2 à 15 µm est corrélé avec les concentrations d'*A. versicolor* et de *P. crustosum*, qui sont eux aussi en lien avec ces symptômes.

Parmi les différentes espèces fongiques, *A. versicolor* a été mise en évidence comme étant en lien avec l'intensité des problèmes de toux, la fréquence des problèmes de fièvre, la fréquence et l'intensité des maux de tête, la fréquence du besoin de cracher, l'intensité de symptômes de type grippal, la fréquence et l'intensité des sensations de malaise et l'intensité des problèmes de démangeaisons. En ce qui concerne *A. fumigatus*, l'analyse statistique a trouvé un lien avec la fréquence des maux de gorges chez les résidents.

Une autre étude avait déjà rapporté une association entre la concentration des moisissures du genre *Aspergillus* dans l'air et le SBS (qui correspond à un ensemble de symptômes non-spécifiques incluant l'irritation des yeux, du nez et de la gorge et une sensation de fatigue), mais sans identifier les espèces incriminées et leur rôle dans ce syndrome (Takigawa *et al*. 2009).

Pour les espèces du genre *Penicillium*, aucun lien entre la concentration dans l'air de *P. brevicompactum* et les différents symptômes documentés n'a été mis en évidence. Pour *P. chrysogenum*, un lien a été mis en évidence entre la concentration dans l'air de cette moisissure et la fréquence et l'intensité des problèmes de fièvre et du besoin de cracher. Pour *P. crustosum,* un lien a été trouvé entre la concentration de cette moisissure et la fréquence de la toux, de la fièvre, la fréquence et l'intensité des maux de tête, l'intensité des problèmes de syndrome grippal, la fréquence et l'intensité des sensations de malaise et la fréquence des troubles du sommeil.

Sharpe *et al*. (2015) a démontré à l'aide d'une méta-analyse un lien entre l'exposition à différents genres fongiques et l'exacerbation des problèmes d'asthme chez les patients. Parmi ces genres fongiques, les genres *Aspergillus* et *Penicillium* avaient été reportés, genres pour lesquels nous n'avons pas trouvé d'association avec les problèmes d'asthme dans notre étude, peut-être en raison du nombre modeste de résidents asthmatiques (n=11) présents dans notre campagne de prélèvement.

Concernant les autres contaminants biologiques, des liens ont été trouvés entre la concentration d'endotoxines dans l'air, l'étendue des surfaces contaminées par les moisissures, la contamination des surfaces par les acariens, la présence d'une odeur de moisi dans l'habitat et certains symptômes décrits chez les habitants.

Pour la concentration d'endotoxines dans l'air, un lien a été mis en évidence avec l'intensité des douleurs musculaires, ainsi que la fréquence et l'intensité des manifestations de type

syndrome grippal et de gêne respiratoire. Ces résultats sont cohérents avec les connaissances actuelles portant sur l'exposition aux endotoxines en milieu professionnel, pour lesquels l'exposition à de fortes concentration d'endotoxines est liée à des problèmes de fièvre, de maux de tête, de l'irritation des yeux et du nez, une gêne respiratoire et des douleurs respiratoires (Liebers *et al*. 2008).

Pour l'étendue des surfaces contaminées, un lien a été mis en évidence avec l'intensité de la fièvre et du besoin de cracher, la fréquence des problèmes de maux de gorge et de douleurs musculaires, ainsi que la fréquence et l'intensité des problèmes de gêne respiratoire. Ces symptômes, à l'exception de la gêne respiratoire, ont également été retrouvés comme étant statistiquement liés à l'exposition à *A. versicolor*. Ce résultat semble logique, un facteur de corrélation entre la surface contaminée et la concentration dans l'air de cette moisissure ayant été mis en évidence. Cela conforte également l'intérêt de cet indicateur qui a été proposé par l'ANSES (2016) mais qui n'avait pas été jusque-là utilisé dans une étude de terrain. Dans leur étude portant sur les travailleurs affectés à des écoles dans lesquelles la dégradation par les moisissures était apparente, Purokivi *et al*. (2001) ont noté des plaintes fréquentes des travailleurs concernant les maux de gorges, le besoin de cracher, l'irritation des yeux, la gêne respiratoire, les problèmes de nez bouché et la toux, mais n'ont pas réalisé d'analyses statistiques sur ces symptômes de santé.

Par rapport à la contamination des surfaces par les acariens, un lien a été mis en évidence avec la fréquence des problèmes de maux de gorge et du besoin de cracher, avec l'intensité des problèmes d'éruptions cutanées et la fréquence et l'intensité des problèmes d'angoisse. Ces problèmes observés sont probablement dus au caractère allergénique des acariens, qui sont connus pour aggraver les problèmes d'allergie et d'asthme et pour favoriser les manifestations de symptômes respiratoires (Carrer *et al*. 2001).

Enfin concernant l'odeur de moisi dans l'habitat, un lien a été mis en évidence avec l'intensité des problèmes d'irritation des yeux, la fréquence des problèmes de maux de tête, de gêne respiratoire et d'angoisse, ainsi que la fréquence et l'intensité des problèmes de douleurs musculaires et de syndrome grippal. Dans une étude portant sur la capacité respiratoire de personnes vivant des habitations dégradées, Hernberg *et al*. (2014) a également observé une réduction du volume respiratoire chez les personnes exposées à une odeur de moisi par rapport à des sujets sains. Plusieurs études (Fiedler *et al*. 2001 ; Moularat *et al*. 2011), suggèrent un lien entre les COVm produits par les moisissures et l'odeur de moisi. Il pourrait ainsi être intéressant

d'analyser les différents COVm présent dans l'air des habitations dégradées pour voir si des liens existent entre les différents COVm, l'odeur de moisi et les symptômes ressentis.

En plus de ces contaminants microbiologiques, certains facteurs abiotiques ont été mis en évidence par l'analyse statistique comme ayant un lien avec certains symptômes de santé.

Parmi ces facteurs, l'humidité relative a été mise en évidence comme ayant un lien avec la fréquence et l'intensité des maux de gorge et la fréquence des problèmes d'encombrement nasal et du besoin de cracher. L'humidité relative avait été mise en évidence comme étant en lien avec l'exacerbation de l'asthme, la toux, la gêne respiratoire et les problèmes des voies aériennes supérieures dans la saisine de l'ANSES en 2016, ce qui conforte nos résultats.

Le tabagisme s'est aussi révélé avoir un lien avec plusieurs symptômes respiratoires. Un lien a été mis en évidence entre le tabagisme actif et l'intensité des problèmes de toux et des troubles du sommeil, la fréquence des problèmes de maux de gorge, ainsi qu'avec la fréquence et l'intensité des problèmes de gêne respiratoire, tandis que pour le tabagisme passif, un lien a été observé avec l'intensité des problèmes d'irritation des yeux et du besoin de cracher. Ce type de symptômes respiratoires accompagné par du tabagisme a également été retrouvé par Brunekreef (1992) qui a établi à l'aide d'une étude par questionnaire un lien puissant entre le tabagisme et les problèmes de toux, de gêne respiratoire et du besoin de cracher chez les hommes et les femmes vivant dans des habitats dégradés.

La durée d'aération quotidienne de l'habitat s'est révélée être liée à la fréquence et l'intensité des problèmes de fièvre et de douleurs respiratoires, à la fréquence des problèmes de sinusite et à l'intensité des problèmes de douleurs musculaires et de démangeaisons. Cet effet sur les symptômes ressentis pourrait être lié à la diminution de la concentration des contaminants biologiques dans l'air en raison d'une aération fréquente, néanmoins, dans leur étude, Dallongeville *et al*. (2015) ont observé que l'ouverture des fenêtres n'impactait pas les concentrations en moisissures dans les pièces.

L'utilisation d'un absorbeur ou d'un déshumidificateur s'est révélé avoir un impact sur plusieurs symptômes renseignés par le questionnaire. Ainsi, un lien entre l'utilisation de ce type d'appareil et la fréquence des problèmes de toux, des crises d'asthme et de gêne respiratoire, ainsi que sur l'intensité des problèmes d'angoisse a été mis en évidence. Cet impact peut être lié à l'abaissement de l'humidité relative de l'air, conduisant à une diminution des symptômes

liés à l'humidité relative, qui correspondent aux problèmes de crises d'asthme, de gêne respiratoire et de toux dans le rapport de l'ANSES (2016). Cet impact peut également être en partie psychologique, car un lien a également été trouvé avec l'angoisse des résidents dans l'habitation.

Enfin, la présence d'animaux dans l'habitat a été mise en évidence par l'analyse statistique comme ayant un lien avec la fréquence et l'intensité des problèmes de sinusite ainsi qu'avec la fréquence des problèmes de gêne respiratoire. Ces liens pourraient être liés aux effets allergisants des poils d'animaux, qui sont connus pour favoriser les problèmes d'allergies, d'asthme et de manifestations respiratoires chez les personnes sensibles (Carrer *et al*. 2001).

Tous ces résultats ont été obtenus à l'aide d'analyses univariées réalisées à partir des données collectées dans le cadre de ce projet. A l'avenir, des analyses multivariées seront réalisées lorsque les données collectées sur l'ensemble des habitations prévues dans le projet seront colligées, de manière à déterminer dans quelle mesure ces différents paramètres participent aux symptômes rencontrés chez les résidents.

V.5) Déterminants climatiques influençant la croissance et la toxinogénèse fongique

Dans le système que nous avons mis au point pour évaluer l'impact de la température et de l'humidité relative sur la croissance et la toxinogénèse fongique (étude en enceinte climatique), nous avons pu observer des réponses différentes des espèces fongiques aux conditions testées (voir synthèse cf. **Tableau 74** de la partie Résultats).

Au niveau de la croissance des différentes souches fongiques, nous avons pu observer un impact très marqué de la température sur les 3 espèces du genre *Aspergillus* (*A. flavus*, *A. fumigatus* et *A. versicolor*), sur *Paecilomyces variotii* et sur *Penicillium olsonii* qui se développent davantage à 25°C qu'à 19°C. Pour *P. brevicompactum* et *Stachybotrys chartarum*, cet impact de la température semble moins important que celui de l'humidité relative : ces deux espèces se sont mieux développées à 19°C / 40% HR plutôt qu'à 25°C / 40% HR. Pour la dernière espèce, *P. chrysogenum*, la baisse de la température s'est même révélée être favorable pour la croissance de cette espèce, qui s'est mieux développée à 19°C / 40% HR qu'aux deux conditions à 25°C.

Par rapport à l'impact de l'humidité relative sur la croissance, toutes les espèces fongiques testées, à l'exception de *P. chrysogenum*, se sont mieux développées à 80% HR qu'à 40% HR.

Dans le cas de *P. chrysogenum*, cette espèce s'est mieux développée à 25°C / 80% HR qu'à 25°C / 40% HR, mais la croissance maximale a été obtenue à 19°C / 40% HR, ce qui suggère que la température est le facteur le plus déterminant pour la croissance de cette espèce fongique.

Dans son étude portant sur les conditions de température et d'humidité relative optimales pour la croissance et la germination fongique, Ayrest (1965) avait déterminé une température optimale de croissance respectivement de 33 °C et 40 °C pour *A. flavus* et *A. fumigatus*. Ceci est bien supérieur aux conditions que nous avons testées mais va dans le même sens que nos observations selon lesquelles une température élevée est favorable à la croissance de ces deux espèces fongiques. Concernant l'humidité relative pour ces deux espèces, il a déterminé une Aw optimale supérieure à 0,98 pour ces deux espèces, ce qui est également en accord avec notre observation selon laquelle une humidité relative élevée favorise la croissance de ces deux espèces. Pour *A. versicolor*, les conditions optimales pour la croissance mentionnées dans la littérature correspondent à une Aw comprise entre 0,90 et 0,95 et une température comprise entre 23 et 26 °C (Adan et Samson 2011), ce qui correspond à la condition pour laquelle nous avons observé la croissance maximale. Concernant *Stachybotrys chartarum*, cet auteur a observé une température optimale de 23°C et une Aw optimale supérieure à 0,98. La proximité des deux conditions de température étudiées dans notre étude (19 et 25 °C) avec la température optimale de cette espèce pourrait donc expliquer pourquoi nous observons un impact plus marqué de l'humidité relative comparé à celui de la température sur la croissance de cette souche dans notre système expérimental. Domsh *et al*. (1980) ont noté pour *Penicillium chrysogenum* une température de croissance optimale de 23 °C. Pour *Paecilomyces variotii*, cette température optimale de croissance a été évaluée à une température comprise entre 25 et 35 °C, ce qui va dans le sens de nos observations. Pour les autres espèces, aucune étude semblable n'a été trouvée, d'où l'intérêt de cette étude.

Nous avons également pu observer des facteurs de corrélation positifs de la concentration aérienne de *Penicillium chrysogenum* avec la température et l'humidité relative. Ces résultats sont différents de ceux obtenus pour la croissance en enceinte climatique, pour laquelle une température et une humidité relative basse semblent plus favorables. Cela pourrait en revanche montrer qu'une température et une humidité relative élevée favorisent la sporulation de cette espèce, ce qui va dans les sens des observations réalisées par Sautour *et al*. (2001). Pour *Aspergillus versicolor*, un facteur de corrélation positif avait été observé entre l'humidité relative et la concentration de cette moisissure dans l'air, ce qui est cohérent avec nos

observations en enceinte climatique dans laquelle la croissance maximale avait été obtenue en condition d'HR élevée.

Concernant la production de mycotoxines, un effet de la température a été observé sur la production d'acide cyclopiazonique par *A. flavus*, cette espèce se révélant moins toxinogène dans la condition à 19°C que dans les deux conditions à 25°C. L'absence de production d'aflatoxines par cette espèce peut en revanche être plus liée au type de support utilisé pour la croissance qu'aux conditions environnementales. En effet Nielsen *et al*. (2004) ont déjà décrit des absences de production d'aflatoxines par leurs isolats habituellement producteurs sur certains types de milieux gélosés et sur certains matériaux. Il serait intéressant d'étudier la capacité à produire des aflatoxines par nos isolats d'*A. flavus* en recherchant la présence des gènes de synthèse et en mesurant leur expression dans différentes conditions de culture par RT-qPCR. Pour *A. fumigatus*, c'est l'HR qui a le plus impacté la production de mycotoxines, les quantités de fumagilline et de gliotoxine produites par cette espèce étant bien moins importantes dans les conditions à 40% HR qu'à 80% HR. Pour le verruculogène en revanche, nous n'avons pas observé d'impact de la température ou de l'HR sur la production de cette mycotoxine. Pour cette espèce, la condition pour laquelle la croissance été maximale (25°C / 80% HR) s'est également révélée être la condition pour laquelle la production de mycotoxines était la plus élevée. Pour *A. versicolor*, nous avons observé une production relativement similaire de stérigmatocystique à 25°C / 80% HR et à 19°C / 40% HR, mais une production bien plus importante à 25°C / 40% HR, condition qui ne correspond pas à la condition de croissance la plus favorable pour *A. versicolor*. Enfin pour *P. brevicompactum*, nous avons observé une production d'acide mycophénolique bien supérieure dans les deux conditions pour lesquelles la croissance se trouve réduite (19°C / 40% HR et 25°C / 40% HR). Ces observations confirment que croissance fongique et métabolisme secondaire ne sont pas toujours liés et montrent l'intérêt d'investiguer ces deux aspects pour mieux appréhender le risque fongique en milieu intérieur.

Les tests de cytotoxicité effectués au terme de l'expérience à partir des extraits fongiques ont permis de montrer une cytotoxicité nulle ou faible pour *Paecilomyces variotii*, *Penicillium brevicompactum* et *A. versicolor*. Pour *P. chrysogenum* et *P. olsonii*, seule une cytotoxicité faible a été observée dans une seule condition pour chacune de ces espèces (25°C / 40% HR et 25°C / 80% HR, respectivement). Pour *A. flavus*, une cytotoxicité faible a été observée dans les 2 conditions à 25°C, tandis que pour *S. chartarum*, une cytotoxicité faible a été observée dans les 2 conditions à 40% HR. L'absence de cytotoxicité des extraits de *S. chartarum* peut paraître

surprenante, mais pourrait être liée à l'existence au sein de cette espèce de deux chémotypes différents dont le premier produit principalement des trichothécènes à l'origine d'une cytotoxicité importante, tandis que le second chémotype produit principalement des atranones et se caractérise par une toxicité plus modérée (Andersen *et al*. 2002). Il est possible que l'isolat testé dans notre étude appartienne au second chémotype, ce qui pourrait être vérifié en recherchant le type de métabolites produits par cet isolat. *A. fumigatus* constitue la seule espèce capable de causer une cytotoxicité importante dans une condition, la condition 25°C / 80% HR, qui correspond à la condition pour laquelle la croissance et la toxinogenèse de cette espèce se sont révélées maximales.

Il serait intéressant d'approfondir ces analyses en testant l'impact de ces conditions climatiques sur des co-cultures de différentes espèces fongiques récurrentes, notamment *A. versicolor*, *P. chrysogenum* et *P. crustosum*, qui sont les micromycètes les plus récurrents dans les bioaérosols et qui, d'après les analyses statistiques réalisées, semblent avoir un lien avec certains symptômes ressentis. De même, il pourrait être intéressant de tester une condition intermédiaire en termes d'humidité relative (par exemple, 60% HR dans les deux conditions de température étudiées), de manière à vérifier l'impact de l'HR sur la croissance et la toxinogénèse des espèces fongiques étudiées. Il pourrait également être intéressant de tester l'effet de cycles successifs température/HR mimant par exemple un apport massif d'humidité puis un apport faible de façon à reproduire des situations observées en milieu intérieur (dégât des eaux, isolation extérieure défaillante, mauvaise évacuation des eaux sanitaires, phénomènes climatiques extrêmes, …).

L'étude exploratoire des profils métabolites d'*A. versicolor* dans les différentes conditions expérimentales testées a permis d'obtenir des informations différentes selon les approches employées.

L'analyse non ciblée a permis de mettre en évidence 278 métabolites potentiels produits à des concentrations significativement différentes selon la température et l'HR, parmi lesquels 16 sont produits uniquement dans une seule condition expérimentale testée. Une analyse plus approfondie de ces métabolites serait alors intéressante. Dans un premier temps, pour préciser ces résultats, il faudrait analyser les données de fragmentation des ions fils (couplage MS/MS)

pour émettre des hypothèses sur la structure de ces molécules. Cela permettrait ainsi d'atteindre un niveau de confiance de 3 (structure probable) voire de 2 (identification par analogie avec les données de la littérature).

L'analyse ciblée, quant à elle, nous a permis d'identifier 30 métabolites potentiels chez *A. versicolor* dans une ou plusieurs des conditions expérimentales testées avec des différences significatives entre les 3 conditions. Parmi ces métabolites, certains sont impliqués dans la voie de la production de la stérigmatocystine, comme les versicolorines et la 5-méthoxystérigmatocystine par exemple (Kelkar *et al*. 1997), tandis que d'autres sont des métabolites ayant été récemment décrits et dont le rôle n'est pas encore élucidé, comme les versicones (Li *et al*. 2016). Pour approfondir les résultats de l'analyse ciblée, il serait possible d'étudier les molécules correspondantes en HPLC-MS/MS pour confirmer les résultats obtenus en les comparant aux temps de rétention et aux profils de fragmentation des molécules correspondantes. Dans le cas où les standards de ces métabolites ne sont pas disponibles, un travail d'isolement et de purification de ces molécules à partir d'extraits fongiques serait nécessaire, ce qui pourrait également permettre de tester leur potentiel cytotoxique.

V.6) Conclusion générale

Notre étude CLIMATOX a consisté à coupler une approche de terrain (questionnaire épidémiologique et prélèvements) avec des expérimentations en laboratoire. De cette approche globale et pluridisciplinaire, un descriptif de la contamination fongique des habitats dégradés a pu être réalisé. Ainsi plus de 100 espèces fongiques différentes réparties dans 31 genres fongiques ont pu être observées, avec une récurrence particulière de 3 micromycètes : *Penicillium chrysogenum*, *Aspergillus versicolor* et *Penicillium crustosum*. Contrairement à *A. versicolor* et *P. chrysogenum*, qui sont des espèces récurrentes bien connues dans les bâtiments dégradés, *P. crustosum* n'avait pas encore été mis en évidence dans cet environnement. Cette espèce est connue comme étant capable de produire des mycotoxines trémorgènes telles que le pénitrème (Kokkonen *et al*. 2005).

La constitution d'une base de données habitats a permis de recueillir des informations concernant le bâti et les données de santé des habitants, et ensuite de pouvoir effectuer une approche statistique de ce travail qui se poursuit actuellement avec l'inclusion de nouvelles habitations. Les analyses présentées dans ce travail de doctorat ont mis en évidence des liens entre la concentration de plusieurs espèces fongiques (*A. versicolor*, *P. chrysogenum* et *P.*

crustosum) dans l'air et plusieurs symptômes de santé ressentis par les résidents. Parmi les symptômes retrouvés chez les résidents, en plus des symptômes respiratoires déjà connus, un symptôme cutané (démangeaisons) a été retrouvé de manière récurrente et en lien avec la concentration d'*A. versicolor* dans l'air.

Cette étude aura également permis de confirmer et proposer plusieurs indicateurs microbiologiques pouvant aider le gestionnaire au diagnostic de l'habitat dégradé par les moisissures (**Figure 66**). Ainsi l'indicateur « surface contaminée » proposé par l'ANSES ressort de façon positive dans notre étude en étant corrélé avec deux espèces récurrentes (*A. versicolor* et *P. chrysogenum*) et en constituant une variable explicative de différents symptômes de santé. D'autres indicateurs microbiologiques semblent pertinents pour le suivi de la qualité de l'air dans les habitats dégradés : la concentration de *P. crustosum* dans l'air, la concentration des particules de 2 à 15 µm, la présence d'une odeur de moisi dans l'habitat et la concentration d'endotoxines dans l'air. L'étude CLIMATOX se prolonge actuellement avec l'inclusion de nouvelles habitations afin de pouvoir déterminer à long terme des seuils d'exposition aux espèces fongiques récurrentes et aux CFU totales au-delà desquels les symptômes sont présents.

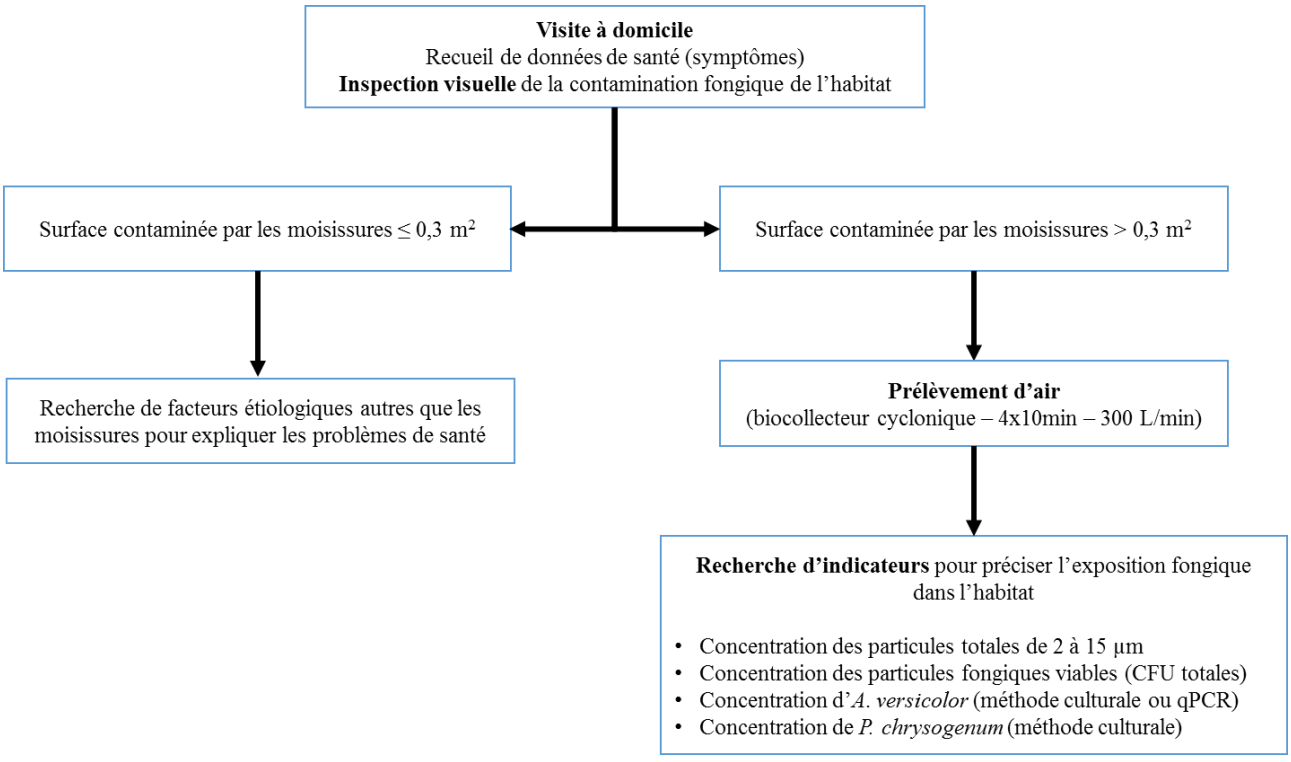


Figure 66 : Arbre décisionnel dans le cadre de la démarche diagnostique applicable aux habitats dégradés.

Les analyses toxicologiques des bioaérosols effectuées sur les deux lignées cellulaires (pulmonaire et cutanée) ont permis de mettre en évidence des réponses variables de cytotoxicité qui n'ont pas pu être expliquées par les seuls paramètres physiques et biologiques mesurés dans les bioaérosols au cours de cette étude. Ceci montre la complexité des bioaérosols et la nécessaire investigation d'autres contaminants (bactéries, virus, …) et interactions possibles entre constituants des bioaérosols. Pour ce qui est de la réponse inflammatoire, nos résultats sont en accord avec ceux déjà décrits dans la littérature (induction de l'IL-1 et du GM-CSF), avec notamment une absence de l'induction de l'IL-6. Cette absence d'induction peut être due au modèle d'exposition, qui induit déjà une production de cette cytokine par les cellules, ainsi que la sensibilité du test employé, qui ne permet pas de discriminer suffisamment les résultats entre le témoin et les cellules exposées.

L'étude de l'impact de deux facteurs climatiques (la température et l'HR) sur 8 espèces fongiques d'intérêt dans les habitats dégradés, nous a permis de voir un impact important de la température sur les espèces du genre *Aspergillus* et sur *P. variotii*, tandis que cet impact est plus limité sur les autres espèces étudiées. Nous avons également pu observer des productions de mycotoxines pour *A. versicolor* et *P. brevicompactum* qui ne semblent pas liées à la croissance fongique, et qui pourrait être liées à des réponses aux contraintes du milieu. Ces données de laboratoire seront poursuivies de façon à pouvoir déterminer les conditions les plus favorables au développement et à la toxicité fongique, et pouvoir ainsi proposer des mesures efficaces pour mieux anticiper et réduire le « risque fongique » en milieu intérieur.

Références

Adan O., Samson R. Fundamentals of mold growth in indoor environments and strategies for healthy living. Wageningen Academics 2011: 523 pages.

AFNOR 2003, norme NF EN 14031, Mai 2003.

Andersen B, Friswad J, Søndergaard I, Rasmussen S, Larsen L. Associations between Fungal Species and Water-Damaged Building Materials. Applied and Environmental Microbiology 2011; 77(12): 4180-4188.

Andersen B., Poulsen R., Hansen G. Cellulolytic and xylanolytic activities of common indoor fungi. International Biodeterioration & Biodegradation 2016; 107: 111-116.

Antova T., Pattenden S., Brunekreef B., Heinrich J., Rudnai P., Forastiere F., Luttmann-Gibson H., Grize L., Katsenlson B., Moshammer H., Nikiforov B., Slachtova H., Slotova K., Zlotkowska R., Fletcher T. Exposure to indoor mould and children's respiratory health in the PATY study. Journal of Epidemiology and Community Health 2008; 62: 708-714.

Araki A, Kanazawa A, Kawai T, Eitaki Y, Morimoto K, Nakayama K, Shibata E, Tanaka M, Takigawa T, Takesumi Y, Chikara H, Saijo Y, Kishi R. The relationship between exposure to microbial volatile organic compound and allergy prevalence in single-family homes. Science of the Total Environment 2012; 423: 18-16.

ANSES. Fiche de description de danger biologique transmissible par les aliments : "*Bacillus cereus*", 2011. 4 pages.

ANSES. Moisissures dans le bâti. Avis de l'ANSES, rapport d'expertise collective, 2016. 370 pages.

Association de surveillance de la qualité de l'air en région Centre-Val de Loire, https://www.ligair.fr/faq/show/id/12956 (consultation le 12/03/2018).

Aujoulat F., Roger F., Bourdier A., Lotthé A., Lamy B., Marchandin H., Jumas-Bilak E. From Environment to Man: Genome Evolution and Adaptation of Human Opportunistic Bacterial Pathogens. Genes 2012; 3(2): 191-232.

Ayerst G. The Effects of Moisture and Temperature on Growth and Spore Germination in some Fungi. Journal of Stored Products Research 1969; 5(2): 127-141.

Barker J., Stevens D., Bloomfield S.F. Spread and prevention of some common viral infections in community facilities and domestic homes. Journal of Applied Microbiology 2001; 91(1): 7-21.

Bedhod B., Sordillo J.E., Hoffman E.B., Datta S., Muilinberg M.L., Scott J.A., Chew J., Platts-Mills T., Schartz J., Burge H. Gold D.R. Protection associated with yeasts in house dust contrasts with increased risk associated with yeasts in indoor air and other fungal taxa. Allergy: European Journal of Allergy and Clinical Immunology 2013; 68(11): 1410-1418.

Beijer L., Thorn J., Rylander R. Mould exposure at home relates to inflammatory markers in blood. European Respiratory Journal 2003; 21: 317-322.

Beldman G., Searle-van Leeuwen M., Rombouts F., Voragen F. The cellulase of *Trichoderma* viride. European Journal of Biochemistry 1985; 146(2): 301-308.

Beguin H. and Nolard N. Mould biodiversity in homes I. Air and surface analysis of 130 dwellings. Aerobiologia 1994; 10: 157-166.

Bellanger A.P., Reboux G., Scherer E., Vacheyrou M., Million L. Contribution of a Cyclonic-Based Liquid Air Collector for Detecting *Aspergillus fumigatus* by QPCR in Air Samples. Journal of Occupational and Environmental Hygiene 2012; 9: 7-11.

Benhamou N., Rey P. Stimulateurs des défenses naturelles des plantes : une nouvelle stratégie phytosanitaire dans un contexte d'écoproduction durable. I. Principes de la résistance induite. Phytotprotection 2012; 92(1): 1-23.

Bennett J., Inamdar A. Are Some Fungal Volatile Organic Compounds (VOCs) Mycotoxins? Toxins 2015; 7: 3785-3804.

Bex V., Barral S., Dusséaux M., Bordenave L., Mouilleseaux A., Squinazi F. Audits environnementaux dans l'habitat : l'expérience du laboratoire d'hygiène de la ville de Paris. Journal de Mycologie Médicale 2006; 16: 197-203.

Bhatnagar D., Lillehoj E., Arora D. Handbook of Applied Mycology: Volume 5: Mycotoxins in Ecological Systems. Marcel Dekker, Inc. 1992: 1-443.

Bjurman J., Ergosterol as an Indicator of Mould Growth on Wood in Relation to Culture Age, Humidity Stress and Nutrient Level. International Biodeterioration & Biodegradation 1994; 1: 355-368.

Black J., Dean T., Byfield G., Foarde K., Menetrey M. Determining Fungi rRNA Copy Number by PCR. Journal of Biomolecular Techniques 2013; 24: 32-38.

Black P., Udy A., Brodie S. Sensitivity to fungal allergens is a risk factor for life-threatening asthma. Allergy 2000; 55: 501–504.

Blais-Lecours P., Veillette M., Marsolais D., Duchaine C. Characterization of Bioaerosols from Dairy Barns: Reconstructing the Puzzle of Occupational Respiratory Diseases Using Molecular Approaches. Applied and Environmental Microbiology 2012; 78(9): 3242-3248.

Bonifait L., Veillette M., Létourneau V., Grenier D., Duchaine C. Detection of *Streptococcus* suis in bioaerosols of swine confinement buildings. Applied and Environmental Microbiology 2014; 80(11): 3296-3304.

Bonifait L., Marchand G., Viellette M., M'Bareche H., Dubuis M.E., Pépin C., Cloutier Y., Bernard Y., Duchaine C. Workers' exposure to bioaerosols from three different types of composting facilities. Journal of Occupational and Environmental Hygiene 2017; 14(10): 815-822.

Bornehag C., Blomquist G., Gyntelberg F., Järvholm B., Malmberg P., Nordvall L., Nielsen A., Pershagen G., Sundell J. Dampness in Buildings and Health. Indoor Air 2001; 11: 72-86.

Bousquet P., Chinn S., Janson C., Kogevinas M., Burney P., Jarvis D., European Community Respiratory Health Survey I. Geographical variation in the prevalence of positive skin tests to environmental aeroallergens in the European Community Respiratory Health Survey I. Allergy 2007; 62: 301–9.

Brewer J., Thrasher J., Straus D., Madison R., Hooper D. Detection of Mycotoxins in Patients with Chronic Fatigue Syndrome. Toxins 2031; 5: 605-617.

Broeders S., Huber I., Grohmann L., Berben G., Taverniers I., Mazzara M., Roosens N., Morisset D. Guidelines for validation of qualitative real-time PCR methods. Trends in Food Science & Technology 2014; 37: 115-126.

Brunekreef B. Damp housing and adult respiratory symptoms. Allergy 1992; 47: 498-502.

Bundy K., Gent J., Beckett W., Bracken M., Belanger K., Triche E., Leaderer B. Household airborne *Penicillium* associated with peak expiratory flow variability in asthmatic children. Annals of Allergy, Asthma and Immunology 2009; 103(1): 26-30.

Bush R., Portnoy J., Saxon A., Terr A., Wood A. The medical effects of mold exposure. Journal of Allergy of Clinical Immunology 2006; 117(2): 326-333.

Cabral J. Can we use indoor fungi as bioindicators of indoor air quality? Historical perspectives and open questions. Science of the Total Environment 2010; 408: 4285-4295.

Cage B., Schreiber K., Barnes C., Portnoy J. Evaluation of four bioaerosol samplers in the outdoor environment. Annals of Allergy, Asthma and Immunology 1996; 77: 401-406.

Carrer P., Maroni M., Alcini D., Cavallo D. Allergens in indoor air: environmental assessment and health effects. Science of the Total Environment 2001; 270: 33-42.

Casas L., Tischer C., Wouters I.M., Valkonen M., Gehring U., Doekes G., Torrent M., Pekkanen J., Garcia-Esteban R., Hyvärinen A., Heinrich J., Sunyer J. Endotoxin, extracellular polysaccharides, and β(1 -3)-glucan concentrations in dust and their determinants in four European birth cohorts: Results from the HITEA project. Indoor Air 2013; 23(3): 208-218.

Checkoway H., Lundin J.I., Coestello S., Ray R., Li W., Eisen E.A., Astrakianakis G., Seixas N., Applebaum K., Gao D.L., Thomas D.B. Possible pro-carcinogenic association of endotoxin on lung cancer among Shanghai women textile workers. British Journal of Cancer 2014; 111: 603-607.

Chew G, Rogers C, Burge H, Muilenberg M, Gold D. Dustborne and airborne fungal propagules represent a different spectrum of fungi with differing relations to home characterisitics. Allergy 2003; 58: 13-20.

Cooley JD, Wong WC, Jumper CA, Strauss DC. Correlation between the prevalence of certain fungi and sick building syndrome. Occupational and Environmental Medicine 1998; 55: 579–584.

Curtis L., Lieberman A., Stark M., Rea W., Vetter M. Adverse Health effects of Indoor molds. Journal of Nutritional & Environmental Medecine 2004; 14(3): 261-274.

D'Amato G., Spieksma F., Liccardi G., Jäger S., Russo M., Kontou-Fili K., Nikkels H., Wüthrich B., Bonini S. Pollen-related allergy in Europe. Allergy 1998; 53: 567-578.

Dales R., Miller D., Ruest K., Guay M., Judek S. Airborne endotoxin is associated with respiratory illness in the first 2 years of life. Environmental Health Perspectives 2006; 114(4): 610-614.

Dales R., Ruest K., Guay M., Marro L., Miller D. Residential fungal growth and incidence of acute respiratory illness during the first two years of life. Environmental Research 2010; 110(7): 692-698.

Dallongeville A, Le Cann P, Zmirou-Navier D, Chevrier C, Costet N, Annesi-Maesano I, Blanchard O. Concentration and determinants of molds and allergens in indoor air and house dust of French dwellings. Science of the Total Environment 2015; 536: 964-972.

Dalphin J.C., Reboux G. Pneumopathies d'hypersensibilité en milieu professionnel. EMC – Toxicologie-Pathologie 2005; 2(1): 15-30.

Dannemiller K., Lang-Yoona N., Yamamoto N., Rudich Y., Peccia J. Combining real-time PCR and next-generation DNA sequencing to provide quantitative comparisons of fungal aerosol populations. Atmospheric Environment 2014; 84: 113-121.

Dannemiller K., Gent J., Leaderer B., Peccia J. Indoor microbial communities: Influence on asthma severity in atopic and nonatopic children. The Journal of Allergy and Clinical Immunology 2016; 138(1): 76-83.

Dassonville C., Mandin C., Kirchner S. Pollutions a` l'intérieur des espaces clos : sources, niveaux et impact sanitaire. Volet 1 : contaminants biologiques. Archives des maladies professionnelles et de l'environnement 2014 ; 75 : 433-441.

Degois J., Clerc F., Simon X., Bontemps C., Leblond P., Duquenne P. First Metagenomic Survey of the Microbial Diversity in Bioaerosols Emitted in Waste Sorting Plants. Annals of Work Exposure and Health 2017; 61(9): 1076-1086.

Delanoë A., Guillamin M., Heutte N., Gente S., Séguin V., Garon D. Interest of the qPCR method calibrated with flow cytometry to quantify *Aspergillus versicolor* in mold-damaged homes and comparison with the cultural approach. Atmospheric Pollution Research 2018; 9(5): 871-876.

De Lucca A., Boué M., Carter-Wientjes C., Bhatnagar D. Volatile profies and afltoxin production by toxigenic and non-toxigenic isolates of *Aspergillus flavus* grown on sterile and non-sterile cracked corn. Annals of Agricultural and Environmental Medicine 2012; 19(1): 91-98.

Derbez M., Berthineau B., Cochet V., Lethrosne M., Pignon C., Riberon J., Kirchner S. Indoor air quality and comfort in seven newly built, energy-efficient houses in France. Building and Environment 2014; 72: 173-187.

Dick S., Friend A., Dynes K., AlKandari F., Doust E., Cowie H., Ayres J., Turner S. A systematic review of associations between exposures and development of asthma in children aged up to 9 years. BMJ Open 4(11).

Domsch K.H., Gams W., Anderson T.H. Compendium of soil fungi. Academic Press, 1980, London, 672 pages.

Douwes J., Pearce N., Heederik D. Does environmental endotoxin exposure prevent asthma?. Thorax 2002; 57: 86-90.

Douwes J. (1->3)-Beta-D-glucans and respiratory health: a review of the scientific evidence. Indoor Air 2005; 15(3): 160-169.

Douwes J., Siebers R., Wouters I.M., Doekes G., Fitzharris P., Crane J. Endotoxin, (1→3)-β-Dglucans and fungal extra-cellular polysaccharides in New Zealand homes: A pilot study. Annals of Agricultural and Environmental Medecine 2006; 12(2): 361-365.

ESCMID. EUCAST Definitive Document EDef 7.1: method for the determination of broth dilution MICs of antifungal agents for fermentative yeasts. European Society of Clinical Microbiology and Infectious Diseases 2008; 14: 398-405.

Eduard W. Fungal spores: A critical review of the toxicological and epidemiological evidence as a basis for occupational exposure limit setting. Critical Reviews in Toxicology 2009; 39(10): 799-864.

Enoch D.A., Ludlam H.A., Brown N.M. Invasive fungal infections: a review of epidemiology and management options. Journal of Medical Microbiology 2006; 55: 509-818.

Evolution Biotech, http://www.evolutionbiotech.com /?page_id=4991. Consulté le 12/03/2018.

Fabian P., McDevitt J., Houseman E., Milton D. Airborne influenza virus detection with four aerosol samplers using molecular and infectivity assays: considerations for a new infectious virus aerosol sampler. Indoor Air 2009; 19: 433-441.

Farnswoth J., Goyal S., Won Kim S., Kueln T., Raynor P., Ramakrishnan M.A., Ananthraman S., Tang W. Development of a method for bacteria and virus recovery from heating, ventilation, and air conditioning (HVAC) filters. Journal of Environmental Monitoring 2006; 8: 1006-1013.

Fiedler K, Schütz E, Geh S. Detection of microbial volatile organic compounds (MVOCs) produced by moulds on various materials. International Journal of Hygiene and Environmental Health 2001: 204; 111-121.

Finska Riksdagen. Finska revisionsutskottets betänkande, 1/2013 rd, Finska Riksdagen. 2013. Parlement finlandais.

Fisher G., Schwalbe R., Möller M., Ostowski R., Dott W. Species-specific production of microbial volatile organic compounds (mVOC) by airborne fungi from a compost facility. Chemosphere 1999; 39(5): 795-810.

Fisk W., Lei-Gomez Q., Mendell M. Meta-analyses of the associations of respiratory health effects with dampness and mold in homes. Indoor Air 2007; 17:284-296.

Flannigan B. Air sampling for fungi in indoor environments. Journal of Aerosol Sciences 1997; 28(3): 381–392.

Fog Nielsen K. Mycotoxin production by indoor molds. Fungal Genetics and Biology 2003; 39: 103-117.

Foster S., Bedford K., Gould M., Coward W., Hewitt C. Respiratory syncytial virus infection and virus-induced inflammation are modified by contaminants of indoor air. Immunology 2003; 108(1): 109-115.

Futura-Sciences / ministère de la santé, 2018) (https://www.futura-sciences.com/sante/dossiers/medecine-tout-savoir-grippe-312/page/4/), consulté le 12/03/18.

Galimberti R., Torre A., Batzan M., Rodriguez-Chiappetta F. Emerging systemic fungal infections. Clinics in Dermatology 2012; 30: 633-650.

Gent J., Kezik J., Hill M., Tsai E., Li D.W., Leaderer B. Household mold and dust allergens: Exposure, sensitization and childhood asthma morbidity. Environmental Research 2012; 118: 86-93.

Ghosh B., Lal H., Srivastava A. Review of bioaerosols in indoor environment with special reference to sampling, analysis and control mechanisms. Environmental International 2015; 85: 254-272.

Glass N.L., Donaldson G.C. Development of primer sets designed for use with the PCR to amplify conserved genes from filamentous ascomycetes. Applied Environmental Microbiology 1995; 61(4): 1323-1330.

Górny RL. Filamentous microorganisms and their fragments in indoor air—a review. Annales of Agricultural and Environmental Medicine 2004; 11: 185–197.

Green BJ., Tovey ER., Sercombe JK., Blachere FM., Beezhold DH., Schmechel D. Airborne fungal fragments and allergenicity. Medical Mycology 2006; 44(Suppl 1): 245–255.

Greff-Mirguet G. Échantillonnage et analyse des endotoxines dans l'air. Cahiers de Notes Documentaires - Hygiène et Sécurité du Travail 2002; 187: 73-87.

Hagmolen of Ten Have W., van den Berg N.J., van der Palen J., van Aalderen W.M., Bindels P.J. Residential exposure to mould and dampness is associated with adverse respiratory health. Clinical & Experimental Allergy 2007; 37(12): 1827-1832.

Hamad I., Ranque S., Azhar E., Yasir M., Jiman-Fatani A., Tissot-Dupont H., Raout D., Bittar F. Culturomics and Amplicon-based Metagenomic Approaches for the Study of Fungal Population in Human Gut Microbiota. Scientific Reports 2017; 7: 16788.

Hargreaves M., Parappukkaran S., Morawska L., Hitchins J., He C., Gilbert D. A pilot investigation into associations between indoor airborne fungal and non-biological particle concentrations in residential houses in Brisbane, Australia. The Science of the Total Environment 2003; 312: 89-101.

Herbarth O., Schlink U., Müller A., Richter M. Spatiotemporal distribution of airborne mould spores in apartments. Mycology Research 2003; 107(11): 1361 –1371.

Hernberg S., Sripaiboonkij P., Quansah R., Jaakkola J., Jaakkola M. Indoor molds and lung function in healthy adults. Respiratory Medecine 2014; 108: 677-684.

Herrera M.L., Vallor A.C., Gelfond J.A., Patterson T.F., Wickes B.L. Strain-Dependent Variation in 18S Ribosomal DNA Copy Numbers in *Aspergillus fumigatus*. Journal of Clinical Microbiology 2009; 47(5): 1325-1332.

Hinrikson H., Hurst S., Lott T., Warnock D., Morrison C. Assessment of Ribosomal Large-Subunit D1-D2, Internal Transcribed Spacer 1, and Internal Transcribed Spacer 2 Regions as Targets for Molecular Identification of Medically Important *Aspergillus* Species. Journal of Clinical Microbiology 2005; 43(5): 2092-2103.

Hirvonen M.R., Ruotsalainen M., Roponen M., Hyvärinen A., Husman T., Kosma V.M., Komulainen M., Savolainen K., Nevalainen A. Nitric Oxide and Proinflammatory Cytokines in Nasal Lavage Fluid Associated with Symptoms and Exposure to Moldy Building Microbes. American Journal of Respiratory and Critical Care Medecine 1999; 160: 1943-1946.

Hirvonen M.R., Huttunen K., Roponen M. Bacterial strains from moldy buildings are highly potent inducers of inflammatory and cytotoxic effects. Indoor Air 2005; 15(9): 65-70.

Holme J., Hägerhed-Engman L., Mattsson J., Sundell J., Bornehag C. Culturable mold in indoor air and its association with moisture related problems and asthma and allergy among Swedish children. Indoor Air 2010; 20: 329-340.

Hossain M., Ahmed M., Ghannoum M. Attributes of *Stachybotrys chartarum* and its association with human disease. Journal of Allergy and Clinical Immunology 2004; 113(2): 200-208.

Houbraken J., Verweij P., Rijs A., Borman A., Samson R. Identification of *Paecilomyces variotii* in Clinical Samples and Settings. Clinical Microbiology 2010; 48(8): 2754-2761.

Howard S., Arendrup M. Acquired antifungal drug resistance in *Aspergillus fumigatus*: epidemiology and detection. Medical Mycology 2011; Supplement 1: 90-95.

Hubka V., Nováková A., Samson R., Houbraken J., Frisvad J., Sklenář F., Varga J., Kolařík M. *Aspergillus europaeus* sp. nov., a widely distributed soil-borne species related to *A. wentii* (section Cremei). Plant systematics and Evolution 2016; 302(6): 641-650.

Huttunen K., Pelkonen J., Nielsen K., Nuutinen U., Jussila J., Hirvonen M.R. Synergistic interaction in simultaneous exposure to *Streptomyces californicus* and *Stachybotrys chartarum*. Environmental Health Perspectives 2004; 112(6): 659-665.

Hwang B.F., Liu I.P., Huang T.P. Molds, parental atopy and pediatric incident asthma. Indoor Air 2011; 21(6): 472-478.

Hwang B.F., Liu I.P., Huang T.P. Gene-environment interaction between interleukin-4 promoter and molds in childhood asthma. Annals of Epidemiology 2012; 22(4):250-256.

INRS. Online resource: http://www.inrs.fr/risques/endotoxines-en-milieu-professionnel.html. Consulté le 15/02/2018.

Iossifova Y., Reponen T., Bernstein D., Levin L., Kalra H., Campo P., Villareal M., Lockey J., Hershey J., LeMasters G. House dust (1-3)-β-D-glucan and wheezing in infants. Allergy: European Journal of Allergy and Clinical Immunology 2007; 62(5): 504-513.

Iossifova Y., Reponen T., Ryan P., Levin L., Bernstein D., Lockey J., Hershey G., Villareal M., LeMasters G. Mold exposure during infancy as a predictor of potential asthma development. Annals of Allergy, Asthma and Immunology 2009; 102(2): 131-137.

Jaakkola M., Quansah R., Hugg T., Heikkinen S., Jaakkola J. Association of indoor dampness and molds with rhinitis risk: A systematic review and meta-analysis. Journal of Allergy and Clinical Immunology 2013; 132(5): 1099-1110.

Jarvis B., Miller D. Mycotoxins as harmful air contaminants. Applied Microbiology Biotechnologies 2005; 66: 367-372.

Jedrychowski W., Maugeri U., Perera F., Stigter L., Jankowski J., Butscher M., Mroz E., Flak E., Skarupa A., Sowa A. Cognitive function of 6-year old children exposed tomold-contaminated homes in early postnatal period. Prospective birth cohort study in Poland. Physiology and Behavior 2011; 104(5): 989-995.

Johansson E., Reponen T., Meller J., Vesper S., Yadav J. Association of *Streptomyces* community composition determined by PCR-denaturing gradient gel electrophoresis with indoor mold status. Environmental Monitoring and Assessment 2014; 186(12): 8773-8783.

Jones A.P. Indoor air quality and Health. Atmospheric Environment 1999; 33: 4535-4564.

Jones R., Recer G., Hwang S., Lin S. Association between indoor mold and asthma among children in Buffalo, New York. Indoor Air 2011; 21: 156-164.

Jovanovic S., Felder-Kennel A., Gabrio T., Kouros B., Link B., Maisner V., Piechotowski I., Schick H., Schrimpf M., Weidner U., Zöllner I., Schwenk M. Indoor fungi levels in homes of children with and without allergy history. International Journal of Hygiene and Environmental Health 2004; 207(4): 369-378.

Jussila j, Komulainen H, Kosma V, Nevalinen A, Pelkonen J, Hirvonen M. Spores of *Aspergillus versicolor* isolated from indoor air of a moisture-damaged building provoke acute inflammation in mouse lungs. Inhalation Toxicology 2002; 14: 1261-1277.

Kanchongkittiphon W., Mendell M.J., Gaffin J.M., Wang G., Phipatanakul W. Indoor environmental exposures and exacerbation of asthma: An update to the 2000 review by the institute of medicine. Environmental Health Perspectives 2015; 123(1): 6-20.

Karvala K. Toksala E., Luukkonen R., Lappalainen S., UItti J., Nordman H. New-onset adult asthma in relation to damp and moldy workplaces. International Archives of Occupational and Environmental Health 2010; 83(8): 855-865.

Karvonen A., Hyvärinen A., Roponen M., Hoffman M., Korppi M., Remes S., von Mutius E., Nevalainen A., Pekkanen J. Confirmed moisture damage at home, respiratory symptoms and atopy in early life: a birth-cohort study. Pediatrics 2009; 124(2): e329-38.

Kelkar H., Skloss T., Haw J., Keller N., Adams T. *Aspergillus nidulans* stcL Encodes a Putative Cytochrome P-450 Monooxygenase Required for Bisfuran Desaturation during Aflatoxin/Sterigmatocystin Biosynthesis. The Journal of Biological Chemistry 1997; 272(3): 1589-1594.

Kettleson E., Adhikari A., Vesper S., Coombs K., Indugula R., Reponen T. Key determinants of the fungal and bacterial microbiomes in homes. Environmental Research 2015; 138: 130-135.

Klich M.A. Identification of common *Aspergillus* species. Centraalbureau voor Schimmelcultures, 2002, Utrecht, The Netherlands, 116 pages.

Kokkonen M., Jestoi M., Rizzo A. The effect of substrate on mycotoxin production of selected *Penicillium* strains. International Journal of Food Microbiology 2005; 99: 207–214.

Koufache K., Puel O., Delaforge M., Rivollet D., Coste A., Cordonnier C., Escudier E., Botterel F., Bretagne S. Verruculogen associated with *Aspergillus fumigatus* hyphae and conidia modifies the electrophysiological properties of human nasal epithelial cells. BMC Microbiology 2007; 7(5).

Kurtzman C., Fell J., Boekhout T. The Yeast (5th Edition). Elsevier Science 2010; 2354 pages.

Lagier J.C., Armougon F., Million M., Hugon P., Pagnier I., Robert C., Bittar F., Fournous G., Gimenez G., Maraninchi M., Trape J.F., Koonin E.V., La Scola B., Raoult D. Microbial culturomics:

paradigm shift in the human gut microbiome study. Clinical Microbiology and Infections 2012; 18(12): 1185-1193.

Laitinen S. Importance of sampling, extraction and preservation for the quantitation of biologically active endotoxin. Annals of Agricultural and Medicine 1999; 6: 33-38.

Lanier C., Richard E., Heutte N., Picquet R., Bouchart V., Garon D. Airborne molds and mycotoxins associated with handling of corn silage and oilseed cakes in agricultural environment. Atmospheric Environment 2010; 44 (16): 1980-1986.

Larsson M., Hägerhed-Engman L., Moniruzzaman S., Janson S., Sundell J., Bornehag C.G. Can we trust cross-sectional studies when studying the risk of moisture-related problems indoor for asthma in children ? International Journal of Environmental Health Research 2011; 21(4): 237-247.

Latgé JP. *Aspergillus fumigatus* and Aspergillosis. Clinical Microbiology Reviews 1999; 12(2): 310-350.

Lax S., Smith D.P., Hampton-Marcell J., Owens SM., Handley KM., Scott NM. Longitudinal analysis of microbial interaction between humans and the indoor environment. Science 2014; 345: 1048-1052.

Le Mao J., Hoyet C., David B. Détection des allergènes d'acariens dans la poussière de maison. Techniques immunochimiques et/ou dosage de la guanine. Revue Française d'allergologie 1988; 28(2): 213-129.

Létourneau V., Mériaux A., Goyier N., Chakir J., Cormier Y., Duchaine C. Biological activities of respirable dust from Eastern Canadian peat moss factories. Toxicology in vitro 2010; 24: 1273-1278.

Libert X., Chasseur C., Bladt S., Packeu A., Bureau F., Roosens N.H., De Keersmaecker S.C.J. Development and performance assessment of a qualitative SYBR® green real-time PCR assay for the detection of *Aspergillus versicolor* in indoor air, Applied Microbiology Biotechnologies 2015; 99: 7267-7282.

Liebers V., Raulf-Heimsoth M., Brüning T. Health effects due to endotoxin inhalation (review). Archives of Toxicology 2008; 82: 203-210.

Lin X., Reponen T., Willeke K., Grinshpun S., Foarde K., Ensor D. Long-term sampling of airborne bacteria and fungi into a non-evaporating liquid. Atmospheric Environment 1999; 33(26): 4291-4298.

Madigan M., Martinko J., Parker J. Brock Biology of microorganisms. Pentice Hall International Editions, 2007: 1-991.

Maheswaran D., Zeng Y., Chan-Yeung M., Scott J., Osornio-Vargas A., Becker A., Kozyrskyj A. Exposure to Beta-(1 ,3)-D-Glucan in House Dust at Age 7–1 0 is Associated with Airway Hyperresponsiveness and Atopic Asthma by Age 11–14. Plos One 2014; 9(16): e98878.

Martinez KF, Rao CY, Burton NC. Exposure assessement and analysis for biological agents. Grana 2004; 43: 193–208.

Mbareche H., Brisebois E., Veillette M., Duchaine C. Bioaerosol sampling and detection methods based on molecular approaches: No pain no gain. Science of the Total Environment 2017; 599: 2095-2104.

McGrath JJ, Wong WC, Cooley JD, Straus DC. Continually measured fungal profiles in sick building syndrome. Current Microbiology 1999; 38: 33–36.

Méheust D., le Cann P., Gangneux J.P. Rapid quantification of viable fungi in hospital environments: analysis of air and surface samples using solid-phase cytometry. Journal of Hospital Infection 2013; 83: 122-126.

Mendell M., Mirer A., Cheung K., Tong M., Douwes J. Respiratory and Allergic Health Effects of Dampness, Mold, and Dampness-Related Agents: A Review of the Epidemiologic Evidence. Environmental Health Perspectives 2011; 119(6): 748-756.

Montana E., Etzel R., Allan T., Horgan T., Dearborn D. Environmental risk factors associated with pediatric idiopathic pulmonary hemorrhage and hemosiderosis in a Cleveland community. Pediatrics 1997; 99: E5.

Moularat S, Hulin M, Robine E, Annesi-Maesano I, Caillaud D. Airborne fungal volatile organic compounds in rural and urban dwellings Detection of mould contamination in 94 homes determined by visual inspection and airborne fungal volatile organic compounds method. Science of the Total Environment 2011; 409: 2005-2009.

Moschandreas D.J., Pagilla K.R., Storino L.V. Time and Space Uniformity of Indoor Bacteria Concentrations in Chicago Area Residences. Aerosol Science and Technology 2003; 37(11): 899-906.

Murtoniemi T, Penttinen P, Nevaleinen A, Hirvonen MR. Effect of microbial cocultivation on inflammatory and cytotoxic potential of spores. Inhalation-Toxicologie 2005; 17: 681–693.

Mudarri D., Fisk W. J. Public health and economic impact of dampness and mold. Indoor Air 2007; 17 (3): 226-235.

MYCOTA, Fungal contaminants of cultural heritage. http://mycota-crcc.mnhn.fr/site/accueil.php. Consulté le 15/06/2018.

Naegele A., Reboux G., Scherer E., Roussel S., Millon L. Fungal food choices of *Dermatophagoides farinae* affect indoor fungi selection and dispersal. International Journal of Environmental Research 2013; 23(2): 91-95.

Normand A.C., Vacheyrou M., Sudre B., Heederik D.J., Piarroux R. Assessment of dust sampling methods for the study of cultivable-microorganism exposure in stables. Applied and Environmental Microbiology 2009; 75 (24): 7617-7623.

O'Connor GT, Walter M, Mitchell H, Kattan M, Morgan WJ, Gruchalla RS. Airborne fungi in the homes of children with asthma in low-income urban communities: the Inner-City Asthma Study. Journal of Allergy and Clinical Immunology 2004; 114: 599–606.

Osborne M., Reponen T., Adhikari A., Cho S.H., Grinshpu S., Levin L., Bernstein D., LeMasters G. Specific fungal exposures, allergic sensitization, and rhinitis in infants. Pediatric Allergy and Immunology 2006; 17: 450–457.

Otto M. *Staphylococcus aureus* toxins. Current Opinions in Microbiology 2014; 17: 32-37.

Øya E., Afanou A., Malla M., Uhlig S., Rolen E., Skaar I., Straumfors A., Winberg J., Bang B., Schwarze P., Eduard W., Holme J. Characterization and pro-inflammatory responses of spore and hyphae samples from various mold species. Indoor Air 2018; 28(1): 28-39.

Pandey S., Hoselton S., Schuh J. The impact of *Aspergillus fumigatus* viability and sensitization to its allergens on the murine allergic asthma phenotype. BioMed Research International 2013.

Park J.H., Cox-Ganser J.M., White S.K., Laney A.S., Caufield S.M., Turner W.A., Sumner A.D., Kreiss K. Bacteria in a water-damaged building: associations of actinomycetes and non-tuberculous mycobacteria with respiratory health in occupants. Indoor Air 2015; 19(3): 268-277.

Pasanen A.L., Niininen M., Kalliokoski P. Airborne *Cladosporium* and other fungi in damp versus reference residences. Atmospheric Environment 1992; 26B (1): 121-124.Peltola J., Andersson M.A., Haahtela., Mussalo-Rauhamaa H., Rainey F.A., Kroppenstedt R.M., Samson R.A., Salkinoja-Salonen M.S. Toxic-Metabolite-Producing Bacteria and Fungus in an Indoor Environment. Applied and Environmental Microbiology 2001; 67(7): 3269-3274.

Pennanen S., Mussalo-Rauhamaa H., Harju A., Pippuri M., Liesivuori J., Elg P., Hakala K., Haahtela T. Exposure to Mites, Sensitisation and Allergy to Mites in Moisture Damaged Buildings. Indoor and Built Environment 2007; 16(1): 19-27.

Piérard G., Arrese J., Quatresooz P. Comparative Clinicopathological Manifestations of Human Aspergillosis. Exogenous Dermatology 2005; 3: 144-153).

Pietarinen V.M., Rintala H., Hyvärinen A., Lignell U., Kärkkäinen P., Nevalainen A. Quantitative PCR analysis of fungi and bacteria in building materials and comparison to culture-based analysis. Journal of Environmental Monitoring 2008; 10: 655-663.

Pitkäranta M., Mekin T., Hyvärinen A., Paulin L., Auvinen P., Nevalainen A. Analysis of fungal flora in indoor dust by ribosomal DNA sequence analysis, quantitative PCR, and culture. Applied Environmental Microbiology 2008; 74(1): 233–44.

Pitkäranta M., Meklin T., Hyvärinen A., Nevalainen A., Paulin L., Auvinen P., Lignell U., Rintala H. Molecular profiling of fungal communities in moisture damaged buildings before and after remediation - a comparison of culture-dependent and culture-independent methods. BMC Microbiology 2011; 11: 235.

Pitt J.I. The genus *Penicillium* and its teleomorphic states *Eupenicillium* and *Talaromyces*. Academic Press, 1979, London, 152 pages.

Pitt J.I. A laboratory guide to common *Penicillium* species. Food Science Australia, 2000, North Ryde, 187 pages.

Polizzi V, Adams A, Picco AM, Adriens E, Lenoir J, Van Petegems C, De Saeger S, De Kimpe N. Influence of environmental conditions on production of volatiles by *Trichoderma atroviride* in relation with the sick building syndrome. Building and Environment 2011; 46: 945-954.

Pollard G., Shaw A., Sowa M., Rand T., Thliveris J., Scott J. *Stachybotrys chartarum* (atra) spore extract alters surfactant protein expression and surfactant function in isolated fetal rat lung epithelial cells, fibroblasts and human A549 cells. Open Journal of Pediatrics 2013; 3: 243-256.

Pottier D, André V, Rioult JP, Bourreau A, Duhamel C, Kientz-Bouchard V, Richard E, Guibert M, Vérité P, Garon D. Airborne molds and mycotoxins in *Serpula lacrymans*–damaged homes. Atmospheric Pollution Research 2014; 5: 325-334.

Purokivi M.K., Hirvonen M.R., Randell J.T., Roponen M.H., Meklin T.M., Nevalainenen A.I., Husman T.M., Tukianen H.O. Changes in pro-inflammatory cytokines in association with exposure to moisture-damaged building microbes. European Respiratory Journal 2001; 18: 951-958.

Quansah R., Jaakkola M.S., Hugg T., Heikkinen S., Jaakkola J.J. Residential dampness and molds and the risks of developing asthma: a systematic review and meta-analysis. PLOS ONE 2012; 7(11): e47526.

Rao C., Riggs M., Chew G., Muilenberg M., Thorne P., Van Sickle D., Dunn K., Brown C. Characterization of Airborne Molds, Endotoxins, and Glucans in Homes in New Orleans after Hurricanes Katrina and Rita. Applied and Environmental Microbioly 2007; 73(5): 1630-1634.

Rapport IGAS. Evaluation du fonctionnement des services communaux d'hygiène et de santé. 2009, 89 pages.

Rand T., Giles S., Flemming J., Miller J., Puniani E. Inflammatory and Cytotoxic Responses in Mouse Lungs Exposed to Purified Toxins from Building Isolated *Penicillium brevicompactum* Dierckx and *P. chrysogenum* Thom. Toxicological Sciences 2005; 87(1): 213-222.

Rand T., DiPenta J., Robbins C., Miller J.D. Effects of low molecular weight fungal compounds on inflammatory gene transcription and expression in mouse alveolar macrophages. Chemico-Biological Interactions 2011; 190: 139-147.

Reponen T., Hyvärinen A., Ruuskanen J., Raunemaa T., Nevalainen A. Comparison of concentrations and size distributions of fungal spores in buildings with and without mould problems. Journal of Aerosol Sciences 1994; 25(8): 1595-1603.

Reponen T, Seo SC, Grimsley F, Lee T, Crawford C, Grinshpun SA. Fungal fragments in moldy houses: a field study in homes in New Orleans and Southern Ohio. Atmospheric Environment 2007; 41: 8140–8149.

Reponen T, Singh U, Schaffer C, Vesper S, Johansson E, Adhikari A, Grinshpun S, Indugula R, Ryan P, Levin L, LeMasters G. Visually observed mold and moldy odor versus quantitatively measured microbial exposure in homes. Science of the Total Environment 2010; 408: 5565-5574.

Richard E. Contribution à l'évaluation de l'exposition aux spores fongiques et mycotoxines en milieu agricole : étude des ensilages de maïs. Thèse de sciences, Université de Caen 2009 : 1-224.

Rivera A, Van Epps H, Hohl T, Rizzuto G, Pamer E. Distinct $CD4^+$-T-Cell Responses to Live and Heat-Inactivated *Aspergillus fumigatus* Conidia. Infection and Immunity 2005; 73(11): 7170-7179.

Robbins C, Swenson L, Nealley M, Kelman B, Gots R. Health Effects of Mycotoxins in Indoor Air: A Critical Review. Applied Occupational and Environmental Hygiene 2000; 15(10): 773-784.

Romano F., Gustén J., Joppolo C., Ljungqvist B., Reinmüller B. Some aspects on the sampling efficiency of microbial impaction air samplers. Particuology 2015; 20: 110-113.

Rundberget T., Skaar I., Arne Flåøyen A. The presence of *Penicillium* and *Penicillium* mycotoxins in food wastes. International Journal of Food Microbiology 2004; 90: 181-188.

Russell C, Mitchell J, Godish T. Apparent viability if airborne mould spore/particles determined from culturable/viable and total mould spore sampling methods. Proceedings of Indoor Air 1999; 4: 934-938.

Rylander R. Indoor Air-Related Effects and Airborne (1-3)-β-D-Glucan. Environmental Health Perspectives 1999; 107(3): 501-503.

Rylander R., Lin R.H. (1-3)-β-D-glucan — relationship to indoor air-related symptoms, allergy and asthma. Toxicology 2000; 152: 47-52.

Sautour M., Rouget A., Dantigny P., Divies C., Bensoussan M. Prediction of conidial germination of *Penicillium chrysogenum* as influenced by temperature, water activity and pH. Letters in Applied Microbiology 2001; 32: 131-134.

Sayan M., Mossman B. The NLRP3 inflammasome in pathogenic particle and fibre-associated lung inflammation and diseases. Particle and Fibre Toxicology 2016; 13: 51.

Scherer E, Rocchi S, Reboux G, Vandentorren S, Roussel S, Vacheyrou M, Raherison C, Millon L. qPCR standard operating procedure for measuring microorganisms in dust from dwellings in large cohort studies. Science of the Total Environment 2014; 466-467: 716-724.

Schleibinger H., Laussmann D., Bornehag G.C., Eis D., Rueden H. Microbial volatile organic compounds in the air of moldy and mold-free indoor environments. Indoor Air 2008; 18: 113-124.

Schlosser O., Robert S., Debeaupuis C. Aspergillus fumigatus and mesophilic moulds in air in the surrounding environment downwind of non-hazardous waste landfill sites. International Journal of Hygiene and Environmental Health 2016; 2016(3): 239-251.

Schmechel D., Gorny R., Simpson J.P., Reponen T., Grinshpun S.A., Lewis D. Limitations of monoclonal antibodies for monitoring of fungal aerosols using *Penicillium brevicompactum* as a model fungus. Journal of Immunological Methods 2003; 283: 235-245.Schroer K., Biagini Myers J., Ryan P., LeMasters G., Bernstein D., Villareal M., Lockey J., Reponen T., Grinshpun S., Khurana Hershey G. Associations between multiple environmental exposures and glutathione S-transferase P1 on persistent wheezing in a birth cohort. Journal of Pediatrics 2009; 154(3): 401-408.

Schulz T., Senkpiel K., Ohgke H. Comparison of the toxicity of reference mycotoxins and spore extracts of common indoor moulds. Internationnal Journal of Hygiene and Environmental Health 2004; 207: 267-277.

Schymanski E., Jeon J., Gulde R., Fenner K., Ruff M., Singer H., Hollender J. Identifying Small Molecules via High Resolution Mass Spectrometry: Communicating Confidence. Environmental Science & Technology 2014; 48: 2097-2098.

Seo SC, Repone T, Levin L, Borchelt T, Grinshpun SA. Aerosolization of particulate (1 → 3)-β-D-glucan from moldy materials. Applied Environmental Microbiology 2008; 74(3): 585–593.

Seo SC, Reponen T, Levin L, Grinshpun SA. Size-fractionated (1 → 3)-β-D-glucan concentrations aerosolized from different moldy building materials. Science of the Total Environment 2009; 407: 806–814.

Seo Sc, Gyu Ji Y, Yoo Y, Hee Kwon M, Choung JT. Submicron fungal fragments as another indoor biocontaminant in elementary schools. Environmental Science Processes & Impacts 2015; 17: 1164-1172.

Seyedmousavi S., Guillot J., Arné P., de Hoog GS., Mouton JW., Melchers WJ., Verweij PE. *Aspergillus* and aspergilloses in wild and domestic animals: a global health concern with parallels to human disease. Medical Mycology 2015; 53(8): 765-797.

Shannon C.E., Waever W. The mathematical theory of communication. University of Illinois, 1949, Urbana.

Sharpe R.A., Bearman N., Thornton C.R., Husk K., Osborne N.J. Indoor fungal diversity and asthma: a meta-analysis and systematic review of risk factors. Journal of Allergy and Clinical Immunology 2015; 135(1); 110-122.

Singh J. Fungal problems in historic buildings. Journal of Architectural Conservation 2000; 6(1): 17-37.

Smid T., Heederik D., Houba R., Quanjer P. Dust- and Endotoxin-related respiratory effects in the animal feed industry. American Review of Respiratory Diseases 1992; 146(6): 1474-1479.

Smith J.E., Anderson J.G., Lewis C.W., Murad Y.M. Cytotoxic fungal spores in the indoor atmosphere of the damp domestic environment. FEMS Microbiology Letters 1992; 100, 337-344.

Stetzenbach LD, Buttner MP, Cruz P. Detection and enumeration of airborne biocontaminants. Current Opinion in Biotechnologies 2004; 15: 170–174.

Stielow J.B., Lévesque C.A., Seifert K.A., Meyer W., Irinyi L., Smits D., Renfurm R., Verkley G., Groenewald M., Chaduli D., Lomascolo A., Welti S., Lesage-Meessen L., Favel A., Al-Hatmi A.M.S., Damm U., Yilmazl N., Houbraken J., Lombarl L., Quaedvlieg W., Binder M., Vaas L.A.I., Vu D., Yurkov A., Begerow D., Roehl O., Guerriero M., Fonseca A., Samerpitak K., van Diepeningen A.D., Dolatabadi S., Moreno L.F., Casaregola S., Mallet S., Jacques N., Roscini L., Egidi E., Bizet C., Garcia-Hermoso D., Martin M.P., Deng S., Groenewald J.Z., Boekhout T., de Beer Z.W., Barnes I., Duong T.A., Wingfield M.J., de Hoog G.S., Crous P.W., Lewis C.T., Hambleton S., Moussa T.A.A., Al-Zahrani H.S., Almaghrabi O.A., Louis-Seize G., Assabgui R., McCormick W., Omer G., Dukik K., Cardinali G., Eberhardt U., de Vries M., Robert V. One fungus, which genes? Development and assessment of universal primers for potential secondary fungal DNA barcodes. Persoonia 2015; 35: 242-263.

Takigawa T., Wang B.L., Sakano N., Wang D.H., Ogino K., Kishi R. A longitudinal study of environmental risk factors for subjective symptoms associated with sick building syndrome in new dwellings. Science of the Total Environment 2009; 407(19): 5223-5228.

Thibaudon M., Caillaud D., Besancenot J.P. Méthodes d'étude des pollens atmosphériques et calendriers polliniques. Revue des Maladies Respiratoires 2013; 30(6): 463-479.

Tischer C., Gehring U., Chen C.M., Kerkhof M., Koppelman G., Sausenthaler S., Herbarth O., Schaaf B., Lehmann I., Krämer U., Berdel D., von Berg A., Peter Bauer C., Koletzko S., Wichmann H., Brunekreef B., Heinrich J. Respiratory health in children, and indoor exposure to (1,3)- beta-D-glucan, EPS mould components and endotoxin. European Respiratory Journal 2011; 37(5): 1050-1059.

Todar K. Todar's Online Textbook of Bacteriology. Online ressource : http://www.textbookofbacteriology.net/index.html. Consulté le 12/02/2018.

Tsuchiya M., Takaoka A., Tokioka N., Matsuura S. Development of an endotoxin-specific Limulus amebocyte lysate test blocking beta-glucan-mediated pathway by carboxymethylated curdlan and its application. Europe PMC 1990; 45(6): 903-911.

Valkonen M., Täubelle M., Pekkanen J., Tisher C., Rintala H., Zock J.P., Casas L., Probst-Hensch N., Forsberg B., Holm M., Janson C., Pin I., Gislason T., Jarvis D., Heinrich J., Hyvärinen A. Microbial characteristics in homes of asthmatic and nonasthmatic adults in the ECRHS cohort. Indoor Air 2018; 28: 16-27.

Van den Berg M., Albang R., Albermann K., Badger J., Daran JM., Driessen A., Garcia-Estrada C., Fedorova N., Harris N., Heijne W., Joardar V., Kiel J., Kovalchuk A., Martin J., Nierman W., Nijland J., Pronk J., Roubos J., Van der Klei I., Van Peij N., Veenhuis M., Von Dörhen H., Wagner C., Wortman J., Bovenberg R. Genome sequencing and analysis of the filamentous fungus *Penicillium chrysogenum*. Nature Biotechnology 2008; 26: 1161-1168.

Van den Heever J., Thompson T., Curtis J., Ibrahim A., Pernal S. Fumagillin: An Overview of Recent Scientific Advances and Their Significance for Apiculture. Journal of Agricultural and Food Chemistry 2014; 62: 2728-2737.

Verdier T., Coutand M., Bertron A., Roques C. A review of indoor microbial growth across building materials and sampling and analysis methods. Building and Environment 2014; 80: 136-149.

Versilovskis A., De Saeger S. Sterigmatocystin: Occurrence in foodstuffs and analytical methods – An overview. Molecular Nutrition and Food Research 2010; 31(1): 15-24.

Vesper S., McKinstry C., Haugland R., Wymer L., Bradham K., Ashley P., Cox D., Dewalt G., Friedman W. Development of an Environmental Relative Moldiness Index for US Homes. Journal of Occupational and Environmental Medicine 2007; 49(8): 829-833.

Vesper S. Traditional mould analysis compared to a DNA-based method of mould analysis. Critical Review in Microbiology 2011; 31(1): 15-24.

Visagie C.M., Houbraken J., Friswad J.C., Hong S.B., Klaasen C.H.W., Perrone G., Seifert K.A., Varga J., Yaguchi T., Samson R.A. Identification and Nomeclature of the Genus *Penicillium*. Studies in Mycology 2014; 78: 343-371.

Von Arx J.A. The genus of fungi sporulating in pure culture. Cramer, 1981, Vaduz, 315 pages.

Wålinder R, Ernstgard L, Norbäck D, Wieslander G, Johanson G. Acute effects of 1-octen-3-ol, a microbial volatile organic compound (MVOC) - An experimental study. Toxicology Letters 2008; 181: 141 –147.

Walsh T., Groll A., Hiemenz J., Fleming R., Roilides E., Anaissie E. Infections due to emerging and uncommon medically important fungal pathogens. Clinical Microbiology and Infection 2004; 10(1): 48-66.

Walsh T, Anaissie E, Denning D, Herbrecht R, Kontoyiannis D, Marr K. Treatment of aspergillosis: clinical practice guidelines of the Infectious Diseases of America. Clinical Infectious Diseases 2008; 46: 327-360.

Welss T., Basketter D., Schröder K. In vitro skin irritation: facts and future. State of the art review of mechanisms and models. Toxicology in Vitro 2004; 18(3): 231-243.

Wen H.J., Chiang T.L., Lin S.J., Guo Y. Predicting risk for childhood asthma by pre-pregnancy, perinatal, and postnatal factors. Pediatric Allergy and Immunology 2015; 26(3): 272-279.

White T.J., Bruns S.L., Taylor J.W. Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics pages 315-322. In: Protocols: A guide to Methods and Applications, Innis M.A., Gelfand D.H., Sninsky J.J., White T.J. Academic Press 1990, Inc., New York.

WHO Europe (World Health Organisation Europe). Indoor air pollutants: exposure and health effects. Copenhagen, pp. 1-42, 1983.

WHO Europe (World Health Organization Europe). WHO Guidelines for Indoor Air Quality: Dampness and Mould. Copenhagen, pp. 1-228, 2009.

Wilkins K., Larsen K., Simkus M. Volatile metabolites from mold growth on building materials and synthetic media. Chemosphere 2000; 41: 437-446.

Woudenberg J.H.C., Groenewald J.Z., Binder M. Crous P.W. *Alternaria* Redefined. Studies in Mycology 2013; 75: 171-212.

Yamamoto N., Dannemiller K.C., Bibby K., Peccia J. Identification accuracy and diversity reproducibility associated with internal transcribed spacer-based fungal taxonomic library preparation. Environmental Microbiology 2014; 16: 2764–2776.

Yang C., Pakpour S., Klironomos J., Li D.W. Biology of Microfungi. Chapter 15: Microfungi in Indoor Environments: What Is Known and What Is Not. Fungal Biology, Springer International Publishing Switzerland; pp. 373-412.

Zock J.P., Heinrich J., Jarvis D., Verlato G., Norbäck D., Plana E., Sunyer J., Chinn S., Oliveri M., Soon A., Villani S., Ponzio M., Dahlman-Hoglund A., Svanes C. Luczynska C. Distribution and determinants of house dust mite allergens in Europe: The European Community Respiratory Health Survey II. Journal of Allergy and Clinical Immunology 2006; 118(3): 682-690.

Annexes

Annexe 1 : Article - Journal Ouest-France (09/05/2016).

Caen

Ils cherchent des logements avec moisissures

Après la mérule, champignon attaquant le bois, l'équipe de « Toxicologie de l'environnement : milieux aériens et cancers » traque les moisissures pour en connaître les conséquences sur la santé.

Pourquoi ? Comment ?

Qu'est-ce que Climatox ?
C'est une étude lancée par l'équipe de recherche « Toxicologie de l'environnement : milieux aériens et cancers » de l'université de Caen, et basée au centre François-Baclesse.

« **Qui dit moisissures, dit humidité. Grâce à des prélèvements réalisés dans des logements présentant des moisissures, nous allons pouvoir évaluer l'impact sur l'environnement et la santé** », explique Antoine Delanoë, doctorant chargé de l'étude et des prélèvements dans les logements. Il a reçu une bourse du conseil régional.

Il est aussi question, *via* cette étude, de déterminer les facteurs climatiques et comprendre comment tout cela évolue selon la température. « **Et voir comment interagissent les différentes moisissures entre elles une fois libérées dans l'air avec d'autres « polluants ».** »

Quelles peuvent être les conséquences sur la santé ?
La dégradation des habitats et de la qualité de l'air intérieur liée à l'humidité est de plus en plus préoccupante, sur le plan sanitaire et économique : « **Ces polluants biologiques sont susceptibles d'engendrer des maladies respiratoires chroniques comme de l'asthme, mais aussi des soucis cutanés, comme de l'eczéma, ou des troubles du sommeil** », ajoute le professeur David Garon.

Comment procèdent les scientifiques ?
« **Nous allons chez les personnes ayant des habitations avec des moisissures. En une heure, je fais quatre prélèvements de l'air, de dix minutes à chaque fois,** détaille Antoine Delanoë. **J'en profite aussi pour voir les matériaux présents dans les pièces humides.** » Les personnes doivent aussi répondre à un questionnaire anonyme.

Les prélèvements sont ensuite apportés en laboratoire où ils sont mis en culture pour voir ce qu'on trouve exactement dans l'air respiré par les occupants d'un logement.

Pour faire avancer l'étude Climatox, l'équipe recherche des personnes habitant des logements avec des moisissures « **et qui seraient d'accord pour que des prélèvements d'air soient réalisés chez eux** ».

Une fois l'étude achevée que se passera-t-il ?
« **Nous voudrions contribuer à mieux définir ce qu'est l'insalubrité en termes de santé** », expliquent les deux chercheurs. Un projet soutenu par l'Agence régionale de santé (ARS) et le service hygiène de la ville de Caen.

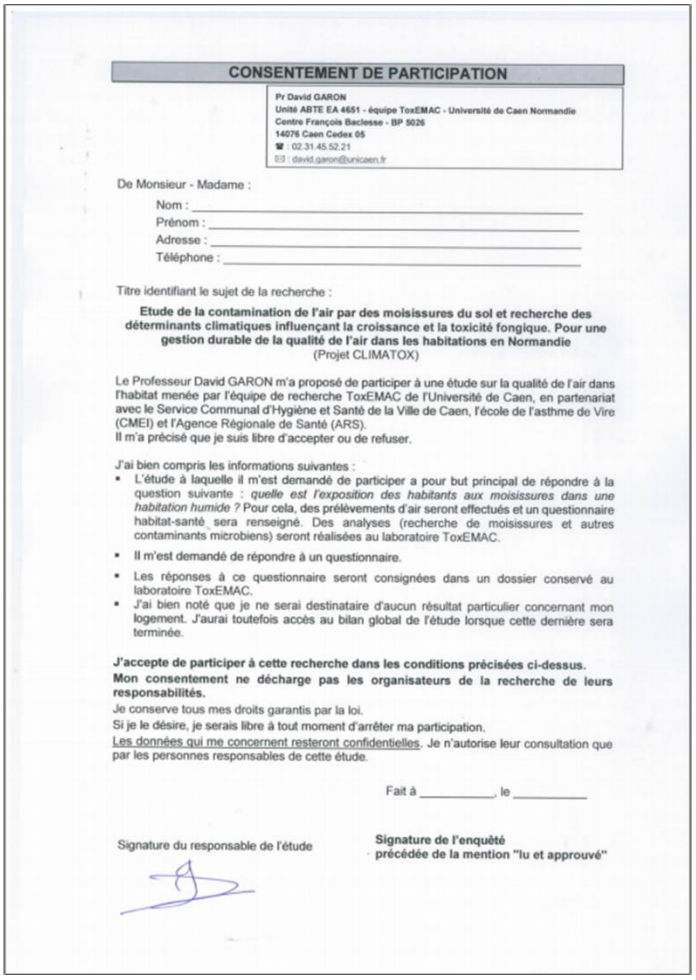
Des résultats qui pourraient aussi aider les structures qui font de la rénovation de logements.

Nathalie TRAVADON

Pour participer à cette recherche gratuite et anonyme : envoyer un e-mail à : climatox.contact@gmail.com

Antoine Delanoë, doctorant chargé de l'étude, et le professeur David Garon.

Annexe 2 : Accord de consentement de participation utilisé dans le cadre de l'étude CLIMATOX.



CONSENTEMENT DE PARTICIPATION

Pr David GARON
Unité ABTE EA 4651 - équipe ToxEMAC - Université de Caen Normandie
Centre François Baclesse - BP 5026
14076 Caen Cedex 05
☎ : 02.31.45.52.21
✉ : david.garon@unicaen.fr

De Monsieur - Madame :

Nom : _____
Prénom : _____
Adresse : _____
Téléphone : _____

Titre identifiant le sujet de la recherche :

Etude de la contamination de l'air par des moisissures du sol et recherche des déterminants climatiques influençant la croissance et la toxicité fongique. Pour une gestion durable de la qualité de l'air dans les habitations en Normandie
(Projet CLIMATOX)

Le Professeur David GARON m'a proposé de participer à une étude sur la qualité de l'air dans l'habitat menée par l'équipe de recherche ToxEMAC de l'Université de Caen, en partenariat avec le Service Communal d'Hygiène et Santé de la Ville de Caen, l'école de l'asthme de Vire (CMEI) et l'Agence Régionale de Santé (ARS).
Il m'a précisé que je suis libre d'accepter ou de refuser.

J'ai bien compris les informations suivantes :

- L'étude à laquelle il m'est demandé de participer a pour but principal de répondre à la question suivante : *quelle est l'exposition des habitants aux moisissures dans une habitation humide ?* Pour cela, des prélèvements d'air seront effectués et un questionnaire habitat-santé sera renseigné. Des analyses (recherche de moisissures et autres contaminants microbiens) seront réalisées au laboratoire ToxEMAC.
- Il m'est demandé de répondre à un questionnaire.
- Les réponses à ce questionnaire seront consignées dans un dossier conservé au laboratoire ToxEMAC.
- J'ai bien noté que je ne serai destinataire d'aucun résultat particulier concernant mon logement. J'aurai toutefois accès au bilan global de l'étude lorsque cette dernière sera terminée.

J'accepte de participer à cette recherche dans les conditions précisées ci-dessus.
Mon consentement ne décharge pas les organisateurs de la recherche de leurs responsabilités.
Je conserve tous mes droits garantis par la loi.
Si je le désire, je serais libre à tout moment d'arrêter ma participation.
Les données qui me concernent resteront confidentielles. Je n'autorise leur consultation que par les personnes responsables de cette étude.

Fait à _____, le _____

Signature du responsable de l'étude

Signature de l'enquêté précédée de la mention "lu et approuvé"

Annexe 3 : Fiche d'intervention utilisée durant les visites à domicile.

EVALUATION DE LA QUALITE MICROBIOLOGIQUE DE L'AIR DANS LES HABITATS HUMIDES EN NORMANDIE (Projet CLIMATOX – 2015)

FICHE D'INTERVENTION

HAB n° /__/__/
Date /__/__/ /__/__/ 20/__/__/

RENSEIGNEMENTS

NOM - PRENOM : _____

Adresse: _____

Code postal : /__/__/__/__/__/

Ville : _____

Département : _____ /__/__/

Téléphone : ____-____-____-____-____

Nom du (des) observateur(s) : _____

Date de l'observation : /__/__/ /__/__/ 20/__/__/

Heure d'arrivée : /__/__/ h /__/__/ min

Heure de départ : /__/__/ h /__/__/ min

Signature du (des) observateur(s) :

2

AVANT L'INTERVENTION
LISTE DU MATERIEL A VERIFER LA VEILLE DU DEPART

Matériel	Cocher la case après vérification
Pochette rouge avec : • 1 Feuille d'intervention • 1 Compte-rendu de visite. • 2 Consentements de participation • Feuilles d'état de santé supplémentaires (si plus d'un résident)	❑
Collecteur Coriolis **n°2** avec canne d'aspiration et entrée stérilisées (autoclavées 15 min, 121°C) Manuel + Batterie A recharger 2 h pour autonomie 30 min environ Prévoir câble de branchement	❑
Compteur Grimm **n°2** avec sonde T°/HR A recharger 3 h pour autonomie 3 h maxi Prévoir câble de branchement Mettre filtre PTFE (caisse orange) 0,22µm dans compteur Vérifier si carte mémoire ok	❑
Malette Bio Carrier contenant : • 4 cônes Coriolis remplis • 1 Falcon de 50 ml vide (*prélèvement de sol*) • Mètre laser et hydromètre pour murs. • 2 pains de glace *(si période de chaleur)*	❑
Malle Bleue contenant : • Rallonge multiprise • 2 tubes de liquide Coriolis + 2 cônes *(Rechange)* • Matériel de protection (Combinaisons, gants, sur-chaussures, masques et lunettes)	❑
Malette orange contenant : • Filtres PTFE de rechange et pinces plates. • Marqueurs, stylos et supports pour écrire.	
Sac gris contenant : • Matériel de nettoyage (pissette vide, éthanol 70% et sopalin)	
Matériel pour test acariens : aspirateur, sacs et Falcon 15 mL.	❑
Appareil photo chargé	❑

3

PENDANT L'INTERVENTION (1/2)

Lieu du prélèvement d'air :_____

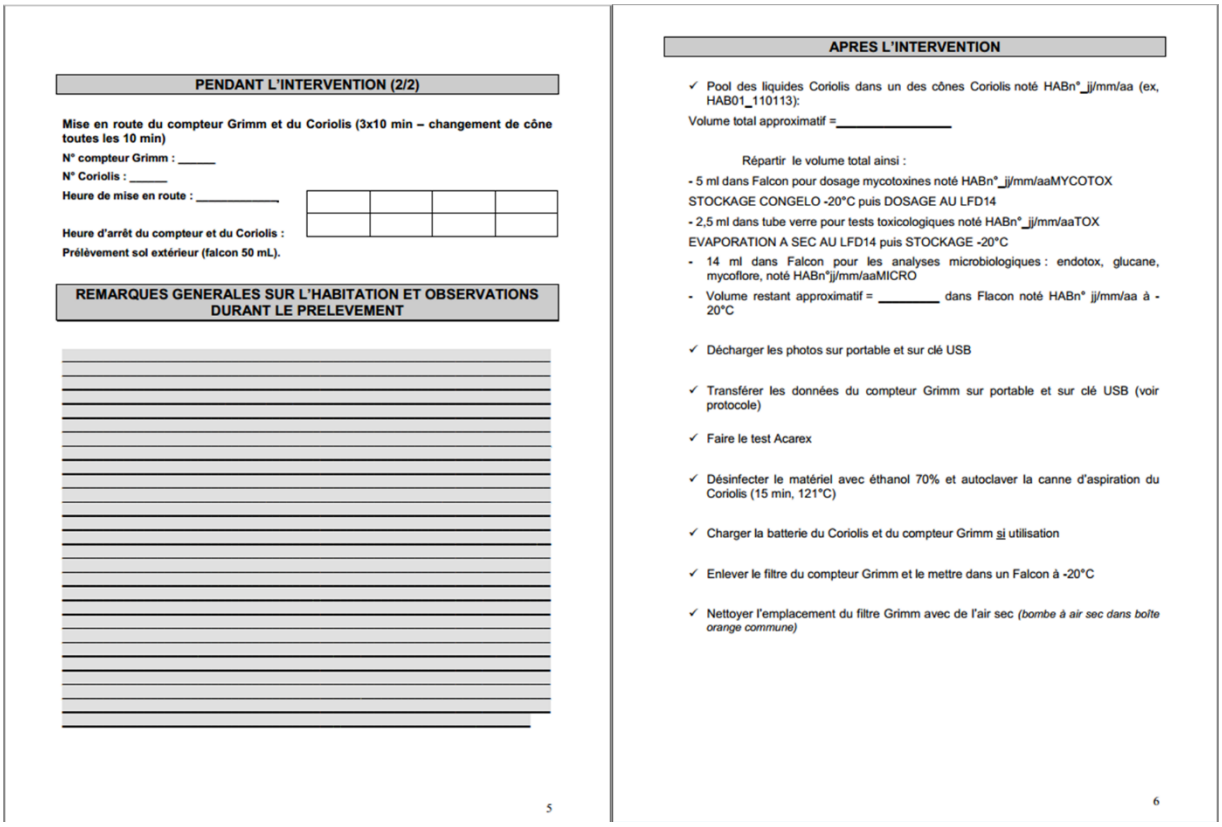
▶ **Faire le plan de la pièce, noter la disposition du Coriolis et cocher les zones de prélèvements sur matériaux (numérotation cf. page « prélèvements sur matériaux »)**

▶ **Prendre des photos des zones de prélèvement**

N°

Acarex test	Surface de prélèvement

4



PENDANT L'INTERVENTION (2/2)

Mise en route du compteur Grimm et du Coriolis (3x10 min – changement de cône toutes les 10 min)

N° compteur Grimm : _____

N° Coriolis : _____

Heure de mise en route : _____

Heure d'arrêt du compteur et du Coriolis :

Prélèvement sol extérieur (falcon 50 mL).

REMARQUES GENERALES SUR L'HABITATION ET OBSERVATIONS DURANT LE PRELEVEMENT

5

APRES L'INTERVENTION

- ✓ Pool des liquides Coriolis dans un des cônes Coriolis noté HABn°_jj/mm/aa (ex, HAB01_110113):

Volume total approximatif =_____

Répartir le volume total ainsi :

- 5 ml dans Falcon pour dosage mycotoxines noté HABn°_jj/mm/aaMYCOTOX

STOCKAGE CONGELO -20°C puis DOSAGE AU LFD14

- 2,5 ml dans tube verre pour tests toxicologiques noté HABn°_jj/mm/aaTOX

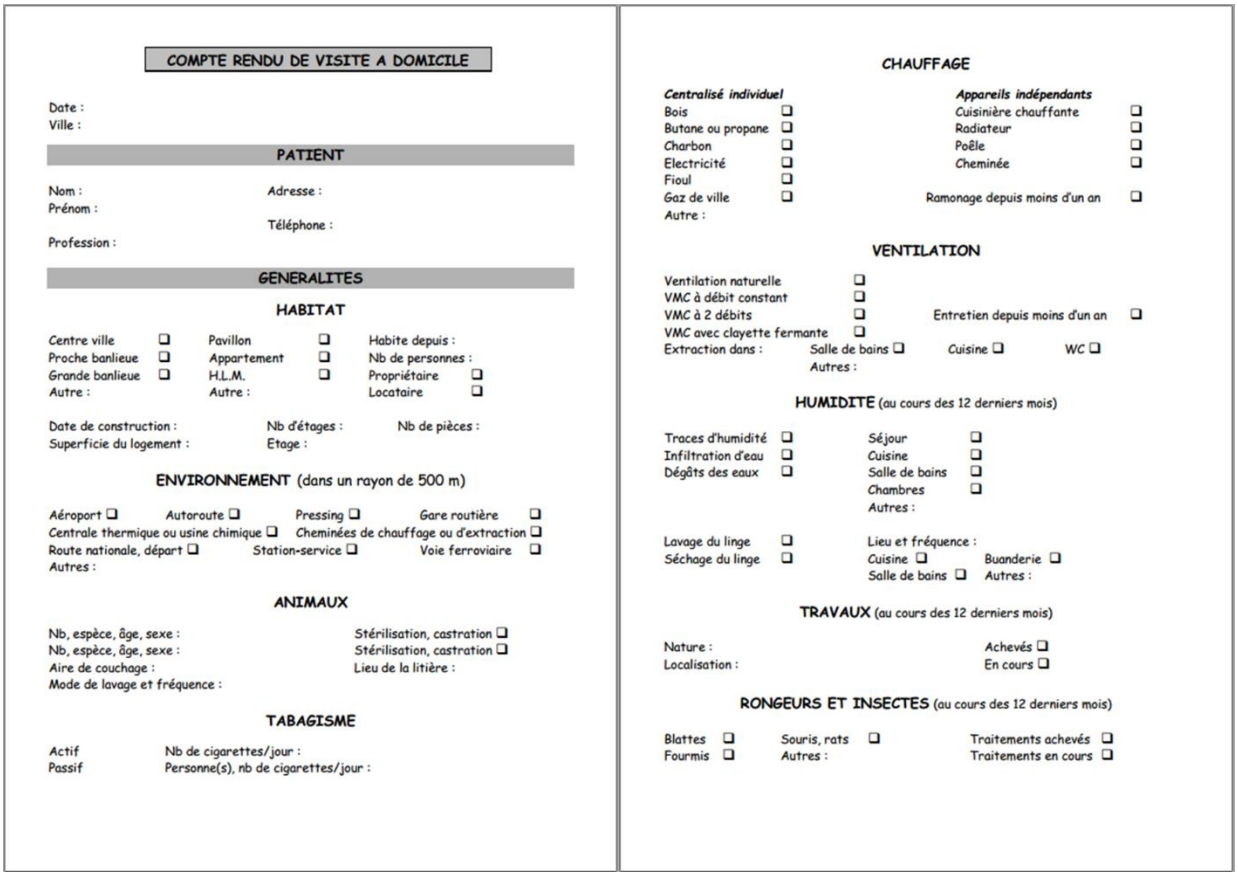
EVAPORATION A SEC AU LFD14 puis STOCKAGE -20°C

- 14 ml dans Falcon pour les analyses microbiologiques : endotox, glucane, mycoflore, noté HABn°jj/mm/aaMICRO
- Volume restant approximatif = _____ dans Flacon noté HABn° jj/mm/aa à -20°C

- ✓ Décharger les photos sur portable et sur clé USB
- ✓ Transférer les données du compteur Grimm sur portable et sur clé USB (voir protocole)
- ✓ Faire le test Acarex
- ✓ Désinfecter le matériel avec éthanol 70% et autoclaver la canne d'aspiration du Coriolis (15 min, 121°C)
- ✓ Charger la batterie du Coriolis et du compteur Grimm si utilisation
- ✓ Enlever le filtre du compteur Grimm et le mettre dans un Falcon à -20°C
- ✓ Nettoyer l'emplacement du filtre Grimm avec de l'air sec *(bombe à air sec dans boîte orange commune)*

6

Annexe 4 : Questionnaire utilisé durant les visites à domicile.



COMPTE RENDU DE VISITE A DOMICILE

Date :
Ville :

PATIENT

Nom :
Prénom :
Profession :
Adresse :
Téléphone :

GENERALITES

HABITAT

Centre ville ❑ Pavillon ❑ Habite depuis :
Proche banlieue ❑ Appartement ❑ Nb de personnes :
Grande banlieue ❑ H.L.M. ❑ Propriétaire ❑
Autre : Autre : Locataire ❑

Date de construction : Nb d'étages : Nb de pièces :
Superficie du logement : Etage :

ENVIRONNEMENT (dans un rayon de 500 m)

Aéroport ❑ Autoroute ❑ Pressing ❑ Gare routière ❑
Centrale thermique ou usine chimique ❑ Cheminées de chauffage ou d'extraction ❑
Route nationale, départ ❑ Station-service ❑ Voie ferroviaire ❑
Autres :

ANIMAUX

Nb, espèce, âge, sexe : Stérilisation, castration ❑
Nb, espèce, âge, sexe : Stérilisation, castration ❑
Aire de couchage : Lieu de la litière :
Mode de lavage et fréquence :

TABAGISME

Actif Nb de cigarettes/jour :
Passif Personne(s), nb de cigarettes/jour :

CHAUFFAGE

Centralisé individuel		*Appareils indépendants*	
Bois	❑	Cuisinière chauffante	❑
Butane ou propane	❑	Radiateur	❑
Charbon	❑	Poêle	❑
Electricité	❑	Cheminée	❑
Fioul	❑		
Gaz de ville	❑	Ramonage depuis moins d'un an	❑
Autre :			

VENTILATION

Ventilation naturelle ❑
VMC à débit constant ❑
VMC à 2 débits ❑ Entretien depuis moins d'un an ❑
VMC avec clayette fermante ❑
Extraction dans : Salle de bains ❑ Cuisine ❑ WC ❑
Autres :

HUMIDITE (au cours des 12 derniers mois)

Traces d'humidité	❑	Séjour	❑
Infiltration d'eau	❑	Cuisine	❑
Dégâts des eaux	❑	Salle de bains	❑
		Chambres	❑
		Autres :	

Lavage du linge ❑ Lieu et fréquence :
Séchage du linge ❑ Cuisine ❑ Buanderie ❑
Salle de bains ❑ Autres :

TRAVAUX (au cours des 12 derniers mois)

Nature : Achevés ❑
Localisation : En cours ❑

RONGEURS ET INSECTES (au cours des 12 derniers mois)

Blattes ❑ Souris, rats ❑ Traitements achevés ❑
Fourmis ❑ Autres : Traitements en cours ❑

AERATION

Fenêtre	❑	Bois	❑	Vitrage simple	❑
Porte-fenêtre	❑	PVC	❑	Double vitrage	❑
Velux	❑	Aluminium	❑	Double fenêtre	❑
Autre :		Autre :		Autre :	

Temps ouverture/jour :
Signes d'obstruction ❑
Salissures ❑
Traces d'humidité ❑

REVETEMENTS

Sol		Mur		Plafond	
Moquette/âge	❑	Papier-peint	❑	Peinture	❑
Parquet	❑	Peinture	❑	Papier-peint	❑
Linoléum	❑	Crépi	❑	Lambris	❑
Carrelage	❑	Lambris	❑	Crépi	❑
Tapis/âge	❑	Moquette	❑	Autre :	
Autre :		Textiles	❑	Sans revêtements	❑
Sans revêtements	❑	Autre :			
		Sans revêtements	❑		

MOBILIER

Bois massif ❑ Bois aggloméré ❑ Les 2 ❑ Sans meubles en bois ❑

AUTRES TEXTILES

Canapés		*Fauteuils*	
Nombre :		Nombre :	
Age :		Age :	
Cuir	❑	Cuir	❑
Simili	❑	Simili	❑
Tissus amovibles	❑	Tissus amovibles	❑
Tissus non amovibles	❑	Tissus non amovibles	❑
Autre :		Autre :	

Remarques :

PLANTES

Aucune	❑	Espèce	Ficus	❑
1 à 4	❑		Papyrus	❑
5 à 14	❑		Autres :	
15 et plus	❑			

CUISSON

Energie(s) pour la cuisson	❑			
Butane ou propane	❑			
Gaz de ville	❑			
Electricité	❑	Présence d'une hotte	oui	❑
Autres :			non	❑

EQUIPEMENTS MENAGERS

Aspirateur	❑	Purificateur	❑
Humidificateur / Saturateur	❑	Déshumidificateur / Absorbeur	❑
Nettoyeur vapeur	❑		

Autre .....

Combustion

Huiles essentielles	❑	Bougies	❑
Foyer ouvert	❑		

Autre .....

Odeur de moisi

Présence ❑ Absence ❑

Santé

Allergie(s) : 0 Non 1 Oui

Préciser : _____

Durée d'exposition quotidienne (approximative) dans l'habitation :

Lors de votre présence dans l'habitation, avez-vous ressenti ces symptômes :

Symptômes	Non	Oui	Intensité
Nez bouché	0	1	
Larmoiements	0	1	
Mal de gorge	0	1	
Toux	0	1	
Fièvre	0	1	
Mal de tête	0	1	
Douleurs dans les muscles	0	1	
Douleurs dans la poitrine	0	1	
Besoin de cracher dans la journée	0	1	
Syndrome grippal	0	1	
Sinusite	0	1	
Sensation de malaise	0	1	
Crise d'asthme	0	1	
Gêne respiratoire	0	1	
Démangeaisons	0	1	
Eruption cutanée	0	1	
Angoisse	0	1	
Troubles du sommeil	0	1	
Autres Préciser :	0	1	

Votre médecin vous a t-il demandé de faire pratiquer des examens en lien avec ces symptômes ? 0 Non 1 Oui

Si oui, lesquels ?

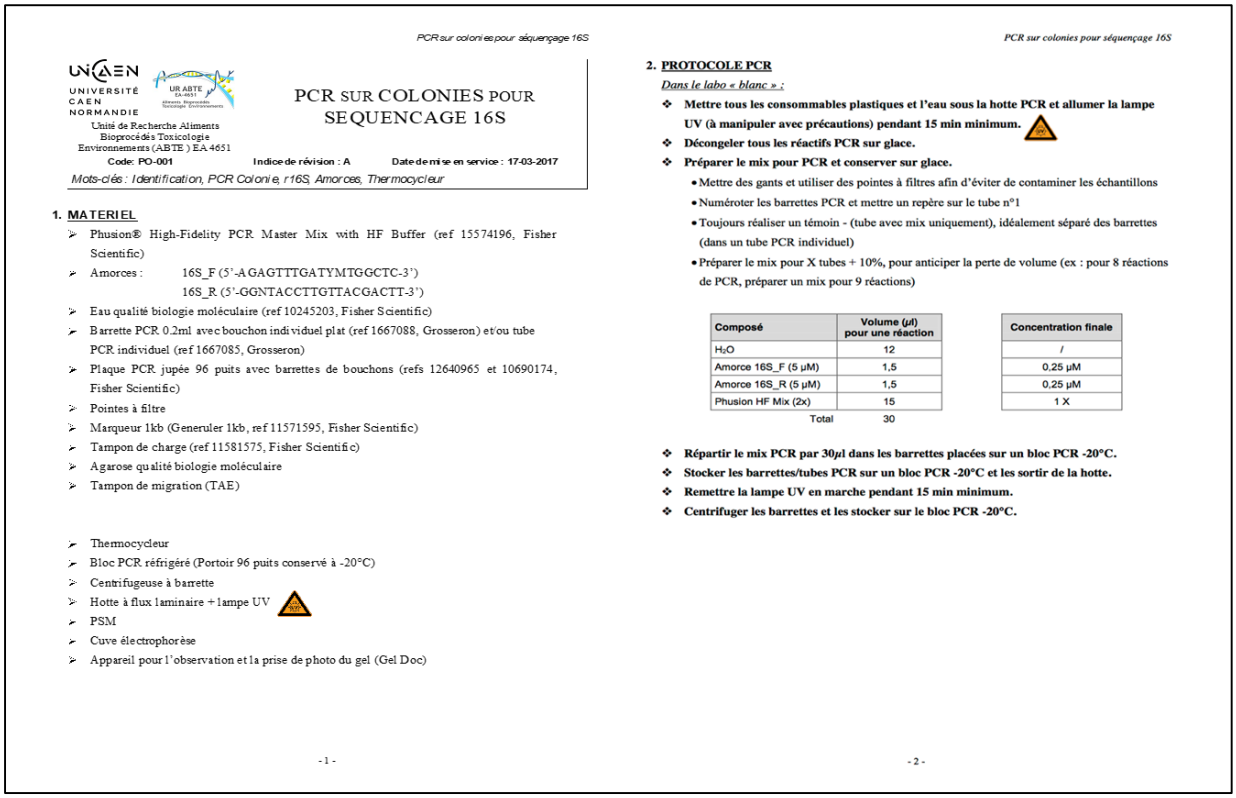
Autres pathologies sans rapport avec l'habitation ?

Annexe 5 : Composition des différents milieux de culture utilisés dans l'étude CLIMATOX.

Milieu	Composition	
Czapek Yeast Agar (CYA)	K_2PO_4 (VWR, Pennsylvanie, USA)	1 g
	Solution de Czapek concentrée	10 mL
	Extrait de levure (Merck, Allemagne)	5 g
	Sucrose (VWR, Pennsylvanie, USA)	30 g
	Agar	15 g
	Eau	QSP 1 L
Czapek Yeast Agar 20% Sucrose (CYA20S)	K_2PO_4	1 g
	Solution de Czapek concentrée	10 mL
	Extrait de levure	5 g
	Sucrose	200 g
	Agar	15 g
	Eau	QSP 1 L
Glycerol 25% Nitrate (G25N)	K_2PO_4	1 g
	Solution de Czapek concentrée	10 mL
	Extrait de levure	5 g
	Glycérol (VWR, Pennsylvanie, USA)	250 g
	Agar	15 g
	Eau	QSP 1 L
Gélose nutritive ordinaire (GNO)	Peptone de caséine	6 g
	Extrait de boeuf	1 g
	Extrait de levure	1 g
	Chlorure de sodium	5 g
	Agar	15 g
	Eau	QSP 1 L
	pH à 25°C ajusté à 7,3 ± 0,2	
Milieu Cœur-Cervelle	Peptone de caséine	10 g
	Extrait cœur-cervelle	10 g
	Extrait de cœur de veau	7,5 g
	Chlorure de sodium	5 g
	Phosphate disodique	2,5 g
	Dextrose	2 g
	Agar	15 g
	Eau	QSP 1 L
	pH à 25°C ajusté à 7,4 ± 0,2	
Milieu de Bennett	Glucose	10 g
	Extrait de levure	2 g
	Peptone	2 g
	Extrait de viande	1 g
	Agar	15 g
	Eau	QSP 1 L
	pH à 25°C ajusté à 7,3 ± 0,2	
Milieu *Malt Extract Agar* (MEA)	Malt	15 g
	Agar	15 g
	Chloramphénicol	0,2 g

	Eau	QSP 1 L
Plate Count Agar (PCA)	Peptone de caséine	5 g
	Extrait de levure	2,5 g
	Glucose	1 g
	Agar	15 g
	Cycloheximide	3,5 g
	Eau	QSP 1 L
	pH à 25°C ajusté à 7,2 ± 0,2	
RADAR	RPMI (Gibco, Thermo Fischer Scientific, USA)	20,8 g
	MOPS (Gibco, Thermo Fischer Scientific, USA)	60,06 g
	Glucose (Gibco, Thermo Fischer Scientific, USA)	36 g
	Agar (Gibco, Thermo Fischer Scientific, USA)	15 g
	Eau	QSP 1 L
	pH à 25°C ajusté à 7,0 ± 0,2	
Solution de Czapek concentrée	NaNO3	30 g
	KCl	5 g
	MgSO4, 7H2O	5 g
	FeSO4, 7H2O	0,1 g
	Eau	Qsp 100 mL

Annexe 6 : Protocole utilisé pour l'amplification par PCR des régions de l'ARN16S des bactéries et leur séquençage.



PCR sur colonie pour séquençage 16S

UNIVERSITÉ CAEN NORMANDIE — UR ABTE EA 4651

Unité de Recherche Aliments Bioprocédés Toxicologie Environnements (ABTE) EA 4651

PCR SUR COLONIES POUR SEQUENCAGE 16S

Code: PO-001 **Indice de révision : A** **Date de mise en service : 17-03-2017**

Mots-clés : Identification, PCR Colonie, r16S, Amorces, Thermocycleur

1. MATERIEL

- Phusion® High-Fidelity PCR Master Mix with HF Buffer (ref 15574196, Fisher Scientific)
- Amorces : 16S_F (5'-AGAGTTTGATYMTGGCTC-3')
  16S_R (5'-GGNTACCTTGTTACGACTT-3')
- Eau qualité biologie moléculaire (ref 10245203, Fisher Scientific)
- Barrette PCR 0.2ml avec bouchon individuel plat (ref 1667088, Grosseron) et/ou tube PCR individuel (ref 1667085, Grosseron)
- Plaque PCR jupée 96 puits avec barrettes de bouchons (refs 12640965 et 10690174, Fisher Scientific)
- Pointes à filtre
- Marqueur 1kb (Generuler 1kb, ref 11571595, Fisher Scientific)
- Tampon de charge (ref 11581575, Fisher Scientific)
- Agarose qualité biologie moléculaire
- Tampon de migration (TAE)

- Thermocycleur
- Bloc PCR réfrigéré (Portoir 96 puits conservé à -20°C)
- Centrifugeuse à barrette
- Hotte à flux laminaire + lampe UV
- PSM
- Cuve électrophorèse
- Appareil pour l'observation et la prise de photo du gel (Gel Doc)

- 1 -

PCR sur colonies pour séquençage 16S

2. PROTOCOLE PCR

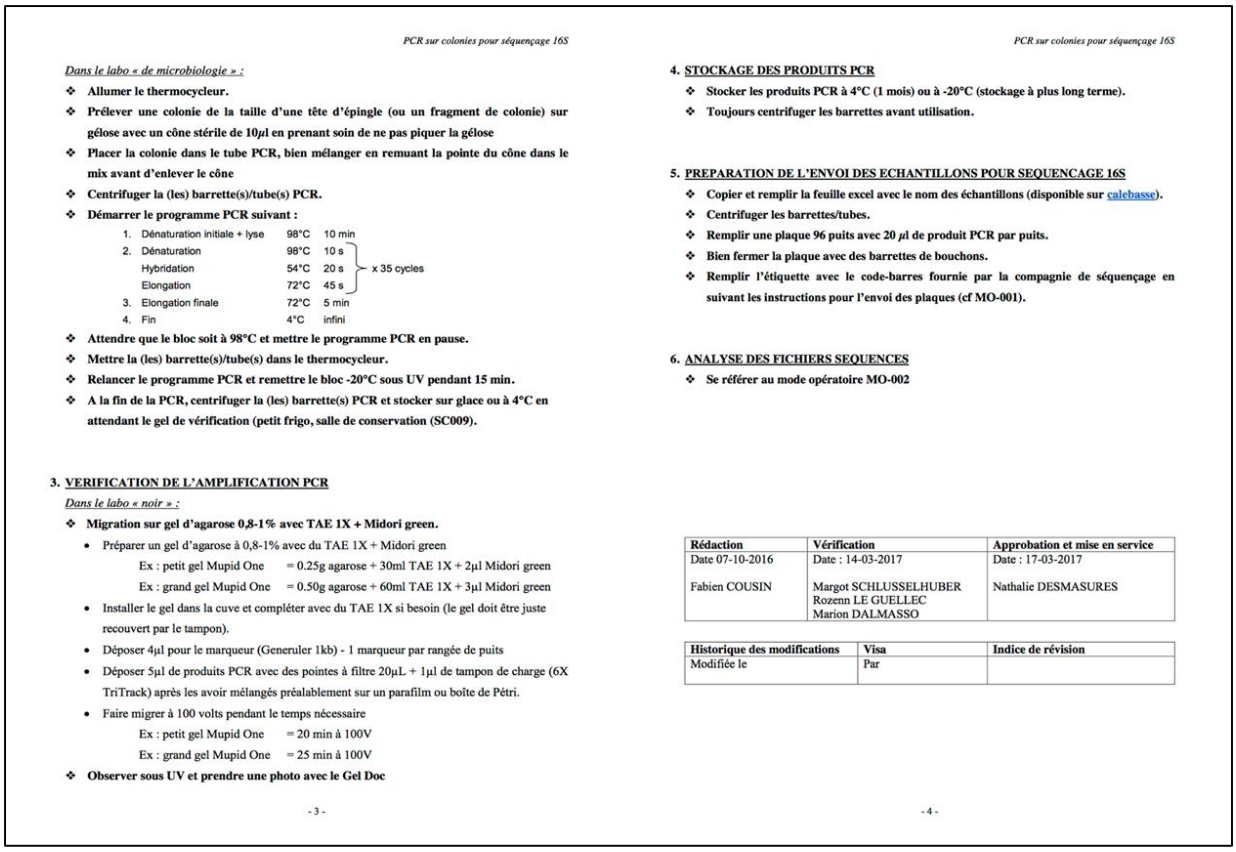
Dans le labo « blanc » :

- **Mettre tous les consommables plastiques et l'eau sous la hotte PCR et allumer la lampe UV (à manipuler avec précautions) pendant 15 min minimum.**
- **Décongeler tous les réactifs PCR sur glace.**
- **Préparer le mix pour PCR et conserver sur glace.**
  - Mettre des gants et utiliser des pointes à filtres afin d'éviter de contaminer les échantillons
  - Numéroter les barrettes PCR et mettre un repère sur le tube n°1
  - Toujours réaliser un témoin - (tube avec mix uniquement), idéalement séparé des barrettes (dans un tube PCR individuel)
  - Préparer le mix pour X tubes + 10%, pour anticiper la perte de volume (ex : pour 8 réactions de PCR, préparer un mix pour 9 réactions)

Composé	Volume (µl) pour une réaction	Concentration finale
H_2O	12	/
Amorce 16S_F (5 µM)	1,5	0,25 µM
Amorce 16S_R (5 µM)	1,5	0,25 µM
Phusion HF Mix (2x)	15	1 X
Total	30	

- **Répartir le mix PCR par 30µl dans les barrettes placées sur un bloc PCR -20°C.**
- **Stocker les barrettes/tubes PCR sur un bloc PCR -20°C et les sortir de la hotte.**
- **Remettre la lampe UV en marche pendant 15 min minimum.**
- **Centrifuger les barrettes et les stocker sur le bloc PCR -20°C.**

- 2 -



PCR sur colonies pour séquençage 16S

Dans le labo « de microbiologie » :

- **Allumer le thermocycleur.**
- **Prélever une colonie de la taille d'une tête d'épingle (ou un fragment de colonie) sur gélose avec un cône stérile de 10µl en prenant soin de ne pas piquer la gélose**
- **Placer la colonie dans le tube PCR, bien mélanger en remuant la pointe du cône dans le mix avant d'enlever le cône**
- **Centrifuger la (les) barrette(s)/tube(s) PCR.**
- **Démarrer le programme PCR suivant :**

1. Dénaturation initiale + lyse	98°C	10 min	
2. Dénaturation	98°C	10 s	x 35 cycles
Hybridation	54°C	20 s	
Elongation	72°C	45 s	
3. Elongation finale	72°C	5 min	
4. Fin	4°C	infini	

- **Attendre que le bloc soit à 98°C et mettre le programme PCR en pause.**
- **Mettre la (les) barrette(s)/tube(s) dans le thermocycleur.**
- **Relancer le programme PCR et remettre le bloc -20°C sous UV pendant 15 min.**
- **A la fin de la PCR, centrifuger la (les) barrette(s) PCR et stocker sur glace ou à 4°C en attendant le gel de vérification (petit frigo, salle de conservation (SC009).**

3. VERIFICATION DE L'AMPLIFICATION PCR

Dans le labo « noir » :

- **Migration sur gel d'agarose 0,8-1% avec TAE 1X + Midori green.**
  - Préparer un gel d'agarose à 0,8-1% avec du TAE 1X + Midori green
    Ex : petit gel Mupid One = 0.25g agarose + 30ml TAE 1X + 2µl Midori green
    Ex : grand gel Mupid One = 0.50g agarose + 60ml TAE 1X + 3µl Midori green
  - Installer le gel dans la cuve et compléter avec du TAE 1X si besoin (le gel doit être juste recouvert par le tampon).
  - Déposer 4µl pour le marqueur (Generuler 1kb) - 1 marqueur par rangée de puits
  - Déposer 5µl de produits PCR avec des pointes à filtre 20µL + 1µl de tampon de charge (6X TriTrack) après les avoir mélangés préalablement sur un parafilm ou boîte de Pétri.
  - Faire migrer à 100 volts pendant le temps nécessaire
    Ex : petit gel Mupid One = 20 min à 100V
    Ex : grand gel Mupid One = 25 min à 100V
- **Observer sous UV et prendre une photo avec le Gel Doc**

PCR sur colonies pour séquençage 16S

4. STOCKAGE DES PRODUITS PCR

- **Stocker les produits PCR à 4°C (1 mois) ou à -20°C (stockage à plus long terme).**
- **Toujours centrifuger les barrettes avant utilisation.**

5. PREPARATION DE L'ENVOI DES ECHANTILLONS POUR SEQUENCAGE 16S

- **Copier et remplir la feuille excel avec le nom des échantillons (disponible sur calebasse).**
- **Centrifuger les barrettes/tubes.**
- **Remplir une plaque 96 puits avec 20 µl de produit PCR par puits.**
- **Bien fermer la plaque avec des barrettes de bouchons.**
- **Remplir l'étiquette avec le code-barres fournie par la compagnie de séquençage en suivant les instructions pour l'envoi des plaques (cf MO-001).**

6. ANALYSE DES FICHIERS SEQUENCES

- **Se référer au mode opératoire MO-002**

Rédaction	Vérification	Approbation et mise en service
Date 07-10-2016	Date : 14-03-2017	Date : 17-03-2017
Fabien COUSIN	Margot SCHLUSSELHUBER Rozenn LE GUELLEC Marion DALMASSO	Nathalie DESMASURES

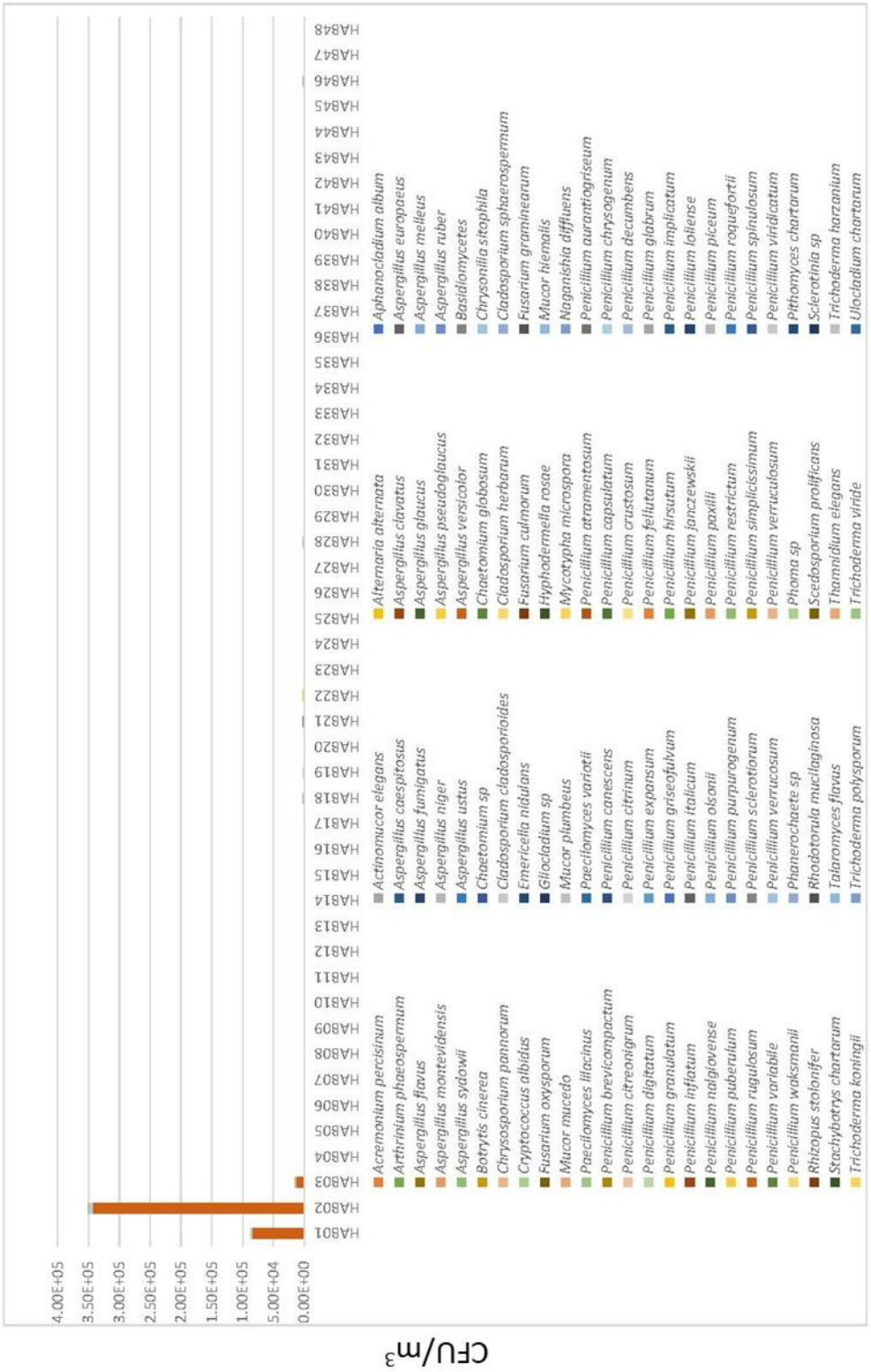
Historique des modifications	Visa	Indice de révision
Modifiée le	Par	

Annexe 7 : Données de contamination fongique des bioaérosols.

Habitation	CFU totales (CFU / m^3 d'air)	Richesse spécifique	Habitation	CFU totales (CFU / m^3 d'air)	Richesse spécifique
HAB01	$8{,}81 \times 10^4$	6	HAB25	$2{,}60 \times 10^2$	13
HAB02	$3{,}61 \times 10^5$	5	HAB26	$3{,}42 \times 10^2$	12
HAB03	$1{,}44 \times 10^4$	9	HAB27	$6{,}89 \times 10^1$	9
HAB04	$7{,}02 \times 10^2$	8	HAB28	$3{,}07 \times 10^3$	11
HAB05	$6{,}67 \times 10^1$	11	HAB29	$5{,}38 \times 10^1$	8
HAB06	$9{,}56 \times 10^1$	7	HAB30	$2{,}27 \times 10^1$	9
HAB07	$3{,}22 \times 10^1$	9	HAB31	$8{,}06 \times 10^1$	4
HAB08	$1{,}96 \times 10^2$	7	HAB32	$2{,}10 \times 10^2$	10
HAB09	$2{,}92 \times 10^2$	11	HAB33	$7{,}61 \times 10^1$	9
HAB10	$5{,}70 \times 10^2$	7	HAB34	$9{,}66 \times 10^2$	8
HAB11	$7{,}11 \times 10^1$	11	HAB35	$3{,}04 \times 10^2$	14
HAB12	$7{,}44 \times 10^1$	7	HAB36	$4{,}08 \times 10^2$	14
HAB13	$6{,}22 \times 10^1$	9	HAB37	$7{,}39 \times 10^2$	6
HAB14	$1{,}67 \times 10^1$	5	HAB38	$7{,}16 \times 10^1$	20
HAB15	$1{,}58 \times 10^2$	19	HAB39	$5{,}43 \times 10^2$	9
HAB16	$8{,}63 \times 10^1$	10	HAB40	$3{,}30 \times 10^2$	9
HAB17	$2{,}24 \times 10^2$	12	HAB41	$4{,}91 \times 10^1$	12
HAB18	$2{,}08 \times 10^3$	6	HAB42	$8{,}12 \times 10^2$	6
HAB19	$1{,}64 \times 10^3$	11	HAB43	$9{,}94 \times 10^1$	11
HAB20	$4{,}11 \times 10^2$	16	HAB44	$2{,}58 \times 10^3$	11

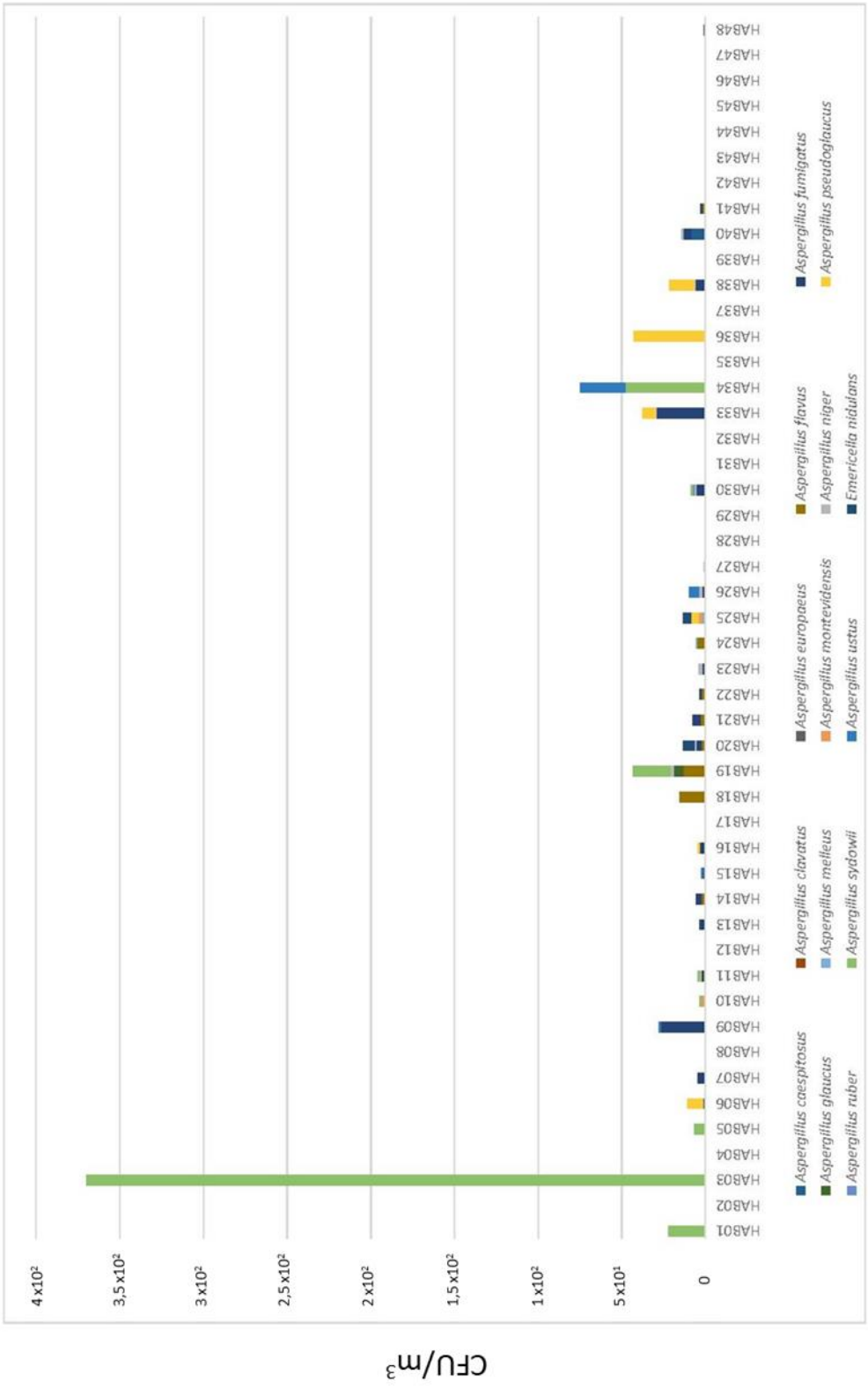
HAB21	$2,22 \times 10^3$	11	HAB45	$3,22 \times 10^2$	8
HAB22	$2,75 \times 10^3$	11	HAB46	$2,81 \times 10^3$	7
HAB23	$5,78 \times 10^2$	12	HAB47	$3,58 \times 10^2$	12
HAB24	$1,85 \times 10^2$	11	HAB48	$2,12 \times 10^2$	14

Annexe 8 : Concentrations des différentes espèces fongiques dans les bioaérosols.

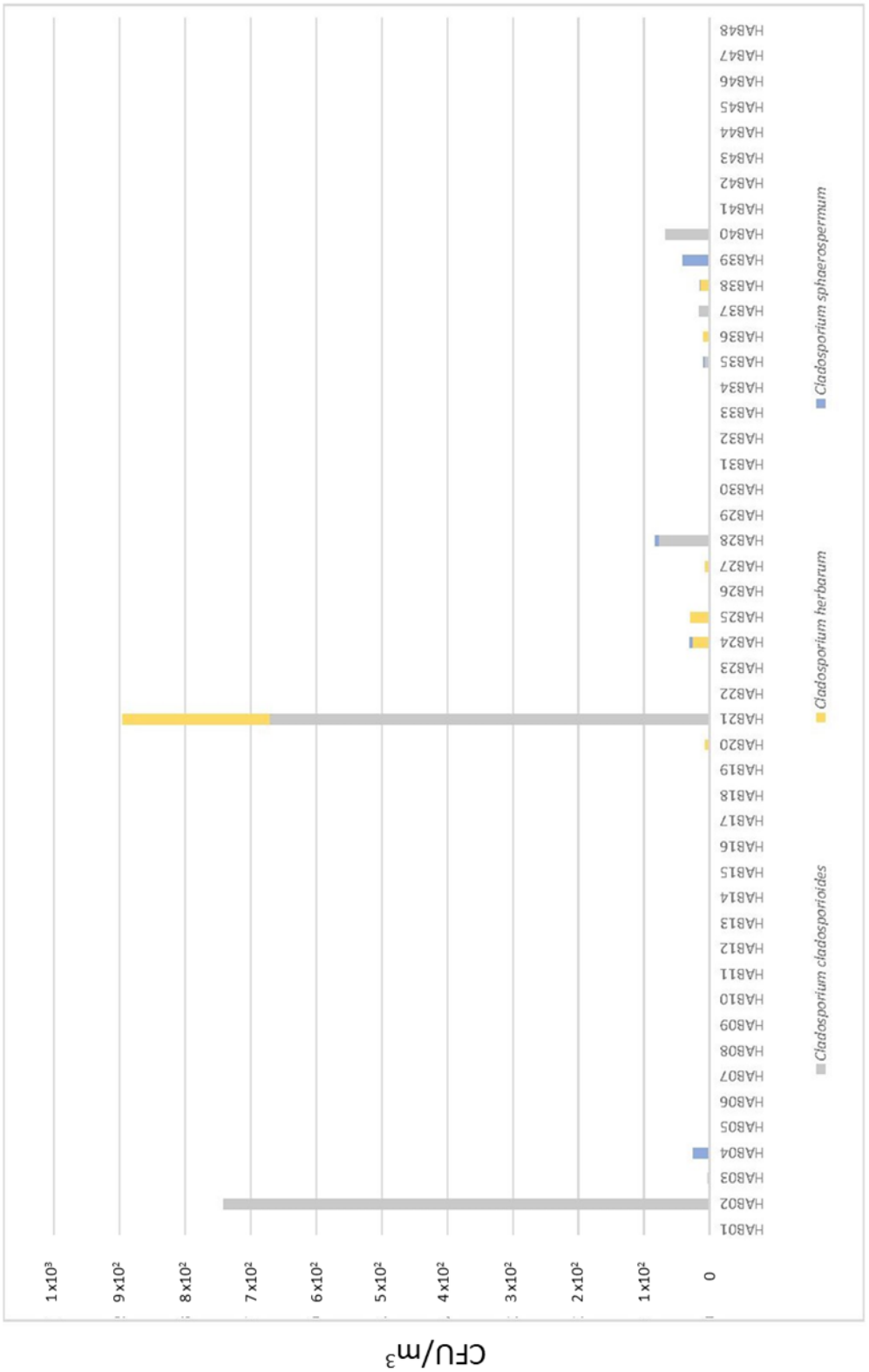


Annexe 9 : Concentrations des différentes espèces du genre *Aspergillus* dans les bioaérosols.

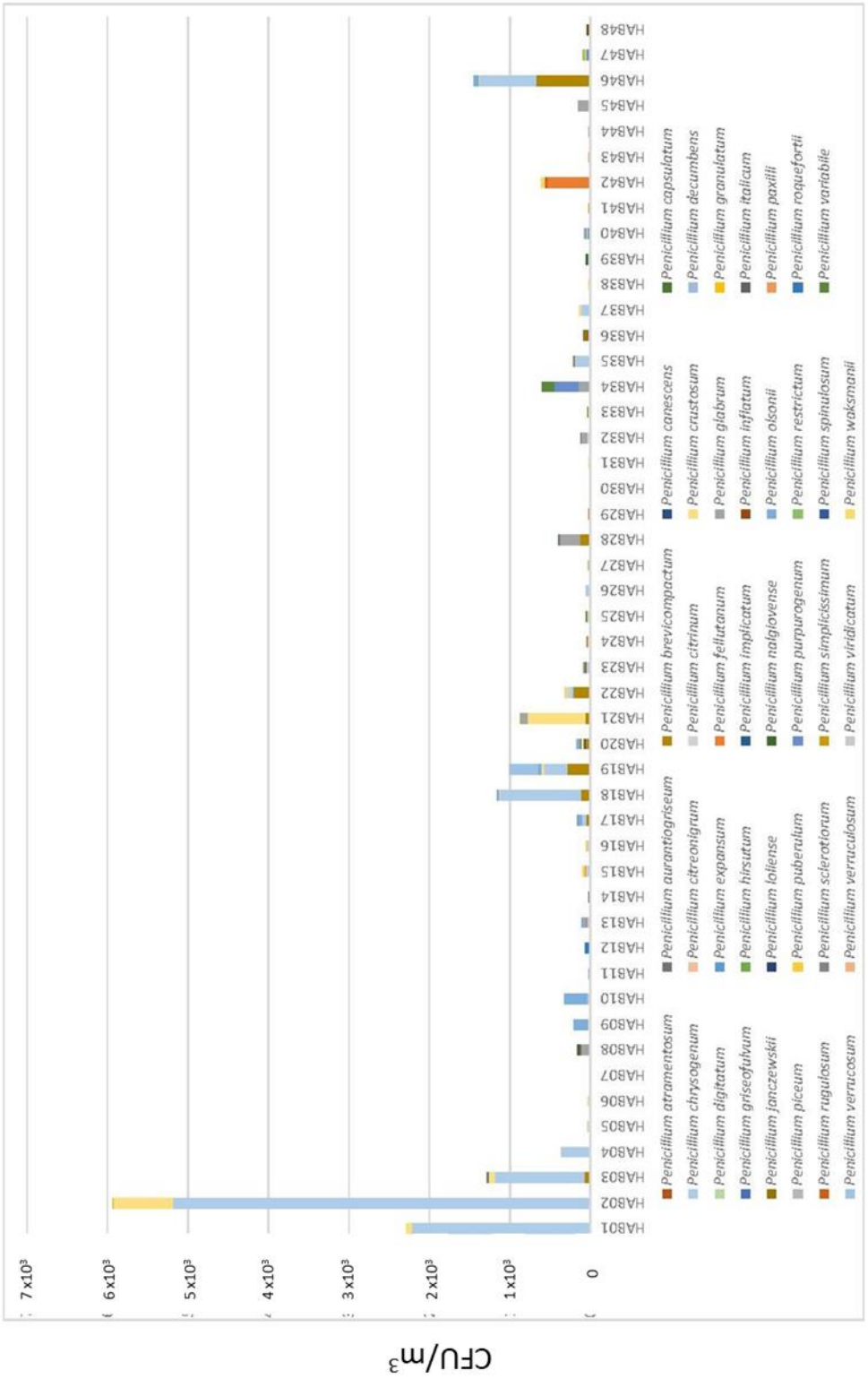
Annexe 10 : Concentrations des différentes espèces du genre *Aspergillus* dans les bioaérosols (excepté *A. versicolor*).



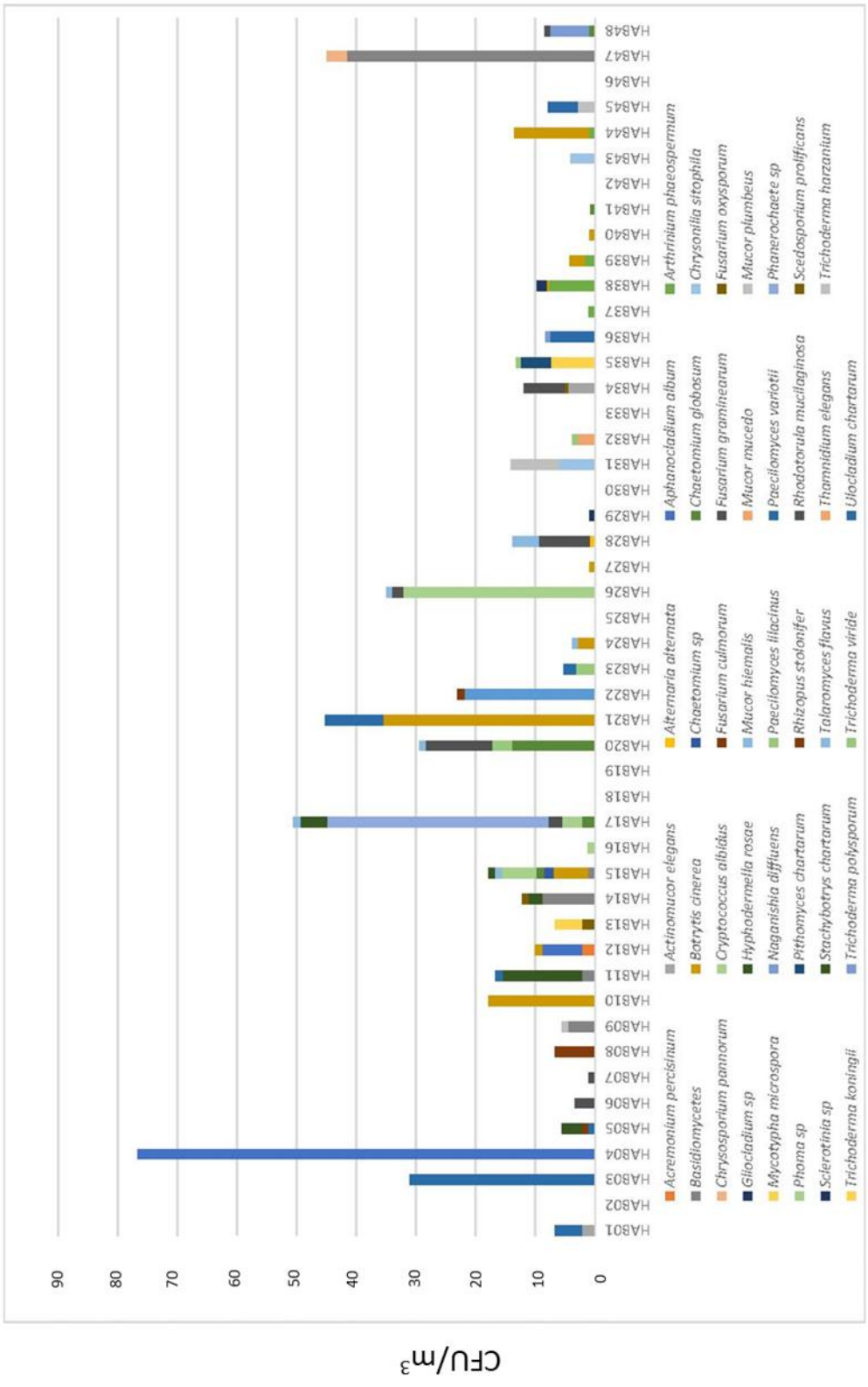
Annexe 11 : Concentrations des différentes espèces du genre *Cladosporium* dans les bioaérosols.



Annexe 12 : Concentrations des différentes espèces du genre *Penicillium* dans les bioaérosols.



Annexe 13 : Concentrations des espèces appartenant aux autres genres fongiques dans les bioaérosols.



Annexe 14 : Liste des isolats fongiques analysés par HPLC-MS/MS pour leur capacité à produire des mycotoxines *in vitro*.

Espèce	Mycotoxine	N° de l'isolat	Production (ng/g milieu MEA)		
			Moyenne	Minimum	Maximum
Aspergillus flavus	Acide cyclopiazonique	11	106,89	90,05	121,31
		14	0,00	0,00	0,00
		18	34,39	32,08	38,18
		19	50,05	41,52	57,22
		20	53,07	42,55	60,53
		21	83,49	78,92	92,25
		22	84,77	60,54	117,85
		24	264,14	221,66	293,58
Aspergillus fumigatus	Fumagilline	6	2971,28	2102,32	4674,20
		7	959,5	578,23	1386,89
		9	2097,79	184,69	2317,01
		11	1965,54	1796,40	2281,88
		13	1579,1	945,19	1959,26
		14	0,00	-	-
		15	1657,68	1325,71	1931,83
		17	1515,84	1302,14	1728,41
		19	2007,45	1629,85	1998,50
		20	1390,4	1266,29	1589,43
		21	1875,44	1319,41	2192,65
		22	1664,87	1550,03	1733,53
		25	0,00	-	-
		26	939,67	744,52	1146,18
		29	391,52	314,54	458,58
	Gliotoxine	6	0,00	-	-
		7	56323,58	44083,21	64473,17
		9	6,17	3,94	9,76
		11	58284,67	26373,54	81760,15
		13	7,16	6,78	7,47
		14	186,97	160,20	208,65
		15	0,00	-	-
		17	0,00	-	-
		19	0,00	-	-
		20	4,01	3,12	4,91
		21	5,01	4,17	6,67
		22	59,25	48,43	72,76
		25	1493,66	769,47	1984,97
		26	0,00	-	-
		29	50,91	25,07	64,39
	Verruculogène	6	76,72	45,93	100,52
		7	181,6	157,55	224,47
		9	574,47	472,84	774,16
		11	420,4	298,73	530,55
		13	1010,01	949,46	1097,47
		14	1,83	1,13	2,66
		15	1215,56	1124,31	1328,33

		17	323,08	225,91	438,64
		19	1039	992,65	1070,34
		20	452,86	388,46	576,69
		21	563,72	498,41	690,76
		22	747,19	522,12	1148,61
		25	19738,52	12695,51	32896,96
		26	2489,25	1514,07	3271,49
		29	285,91	254,86	334,75
Aspergillus glaucus	-	19	-	-	-
Aspergillus europaeus	-	21	-	-	-
Aspergillus melleus	Ochratoxine A	24	454,02	440,74	462,73
		25	13,35	8,62	18,89
	Ochratoxine B	24	1199,99	931,38	1364,93
		25	8,68	6,13	10,38
Aspergillus montevidensis	-	10	-	-	-
Aspergillus niger	Fumonisine B2	11	171,78	113,01	208,37
		19	0,00	-	-
		20	0,00	-	-
		26	0,00	-	-
		27	0,00	-	-
		28	0,00	-	-
Aspergillus pseudoglaucus	Acide mycophénolique	6	3949,84	3349,30	4306,71
		16	4014,76	3732,53	4530,15
		25	3909,61	3064,69	4680,72
Aspergillus versicolor	Stérigmatocystine	1	50731,68	10573,03	23815,39
		2	16236,81	7634,83	274444,63
		28	3128,00	1399,04	7984,96

- : pas de production de mycotoxines identifiées par la méthode utilisée.

Annexe 15 : Concentrations en endotoxines, en (1-3)-β-glucanes et contamination par les acariens dans les différentes habitations de l'étude CLIMATOX.

Habitation	Concentration d'endotoxines (ng/m³ d'air)	Concentration en (1-3)-β-glucanes (ng/m³ d'air)	Contamination par les acariens (Acarex® test)
1	0,18	1,05	Faible
2	0,29	1,82	Moyen
3	0,14	1,93	Moyen
4	14,93	1,28	Nul
5	0,86	0,54	Faible
6	1,23	0,82	Faible
7	0,73	2,21	Faible
8	5,60	1,30	Faible
9	0,17	1,00	Faible
10	0,28	0,54	Faible
11	0,15	15,48	Nul
12	0,17	1,71	Faible
13	0,20	1,96	Faible
14	0,29	0,28	Faible
15	47,20	1,26	Faible
16	91,13	1,05	Nul
17	8,61	2,83	Faible
18	5,53	1,09	Faible
19	32,63	2,14	Faible
20	31,33	2,23	Faible
21	36,17	2,31	Faible
22	5,04	0,73	Faible
23	54,15	3,04	Faible
24	9,80	0,65	Faible
25	15,88	0,95	Faible
26	4,81	0,59	Nul
27	42,22	2,45	Faible
28	5,98	1,16	Faible
29	47,25	1,31	Faible
30	1,71	0,80	Faible
31	2,16	0,43	Faible
32	8,25	1,77	Faible
33	17,88	0,90	Faible
34	25,11	0,68	Faible
35	24,20	0,66	Faible
36	5,12	0,26	Faible
37	6,98	0,91	Faible
38	2,74	0,41	Faible
39	5,98	0,48	Faible
40	11,11	0,16	Faible
41	3,82	1,62	Faible
42	0,69	0,17	Faible

43	12,98	0,50	Faible
44	2,31	0,81	Faible
45	6,63	2,58	Faible
46	19,68	0,78	Faible
47	13,19	1,47	Moyen
48	3,68	3,72	Faible

Annexe 16 : Production de mycotoxines (en ng / Erlenmeyer) par les espèces fongiques testées en enceinte climatique dans les 3 différentes conditions expérimentales évaluées.

Espèce	**Mycotoxine**		**Condition**		
			19°C 40% HR	25°C 40% HR	25°C 80% HR
Aspergillus flavus	Acide cyclopiazonique	Moyenne	$9,79 \times 10^{0}$	$1,08 \times 10^{2}$	$1,46 \times 10^{2}$
		Ecart type	$1,75 \times 10^{0}$	$3,70 \times 10^{1}$	$4,06 \times 10^{1}$
Aspergillus fumigatus	Fumagilline	Moyenne	$5,76 \times 10^{1}$	$3,44 \times 10^{1}$	$3,26 \times 10^{2}$
		Ecart type	$4,81 \times 10^{1}$	$1,26 \times 10^{1}$	$2,09 \times 10^{2}$
	Gliotoxine	Moyenne	$2,66 \times 10^{3}$	$5,80 \times 10^{2}$	$7,13 \times 10^{3}$
		Ecart type	$1,66 \times 10^{3}$	$2,28 \times 10^{2}$	$4,91 \times 10^{3}$
	Verruculogène	Moyenne	$1,73 \times 10^{1}$	$5,76 \times 10^{1}$	$5,75 \times 10^{1}$
		Ecart type	$2,21 \times 10^{1}$	$1,96 \times 10^{1}$	$1,81 \times 10^{1}$
Aspergillus versicolor	Stérigmatocystine	Moyenne	$7,20 \times 10^{1}$	$2,70 \times 10^{3}$	$3,06 \times 10^{2}$
		Ecart type	$1,35 \times 10^{1}$	$5,66 \times 10^{2}$	$1,42 \times 10^{2}$
Penicillium brevicompactum	Acide mycophénolique	Moyenne	$4,28 \times 10^{4}$	$1,25 \times 10^{4}$	$4,09 \times 10^{1}$
		Ecart type	$3,32 \times 10^{4}$	$1,57 \times 10^{3}$	$4,07 \times 10^{1}$

Etude CLIMATOX : Contribution à la caractérisation des bioaérosols d'habitats dégradés par les moisissures et à l'évaluation de leurs effets sur la santé.

Résumé

La qualité de l'air dans les habitats est un problème majeur en Europe, où les personnes passent une grande partie de leur temps en milieu intérieur. Selon l'OMS, de nombreux habitats sont touchés par l'humidité entraînant le développement de moisissures qui ont des conséquences sanitaires et économiques.

Dans ce travail, une approche globale, associant étude de terrain et expérimentations en laboratoire, a été employée pour décrire l'exposition aux bioaérosols dans des habitations dégradées par les moisissures, étudier leurs effets sur la santé des résidents et proposer une démarche diagnostique applicable aux habitats dégradés. Nous avons ainsi mis en évidence la présence récurrente de certaines espèces fongiques, notamment *Aspergillus versicolor*, *Penicillium chrysogenum* et *P. crustosum*, qui pourraient être utilisées comme indicateurs microbiologiques de contamination fongique de l'air intérieur. Par ailleurs les analyses statistiques ont permis de montrer des liens entre les concentrations de certaines espèces de micromycètes dans l'air et les catégories de surface contaminées proposées par l'ANSES. Des relations ont également pu être établies entre l'exposition à ces moisissures et certaines manifestations respiratoires et cutanées mentionnées chez les résidents. L'évaluation du potentiel cytotoxique des bioaérosols collectés dans les habitats dégradés a, quant à elle, permis de mettre en évidence un lien entre les réponses observées sur deux lignées cellulaires testées (pulmonaire A549 et cutanée HaCaT).

D'un point de vue méthodologique, la qPCR couplée à la cytométrie en flux semble être une méthode rapide qui peut être corrélée à l'approche culturale et permet ainsi de suivre l'exposition à *Aspergillus versicolor* dans les habitats dégradés. Huit espèces fongiques récurrentes dans les bioaérosols ont également été sélectionnées pour une étude en enceinte climatique montrant l'impact de la température et de l'humidité relative sur la croissance et la toxinogenèse fongique.

Mots-clés : Air intérieur, Bioaérosols, Habitats, Moisissures, Santé humaine.

CLIMATOX study: contribution to the characterization of bioaerosols collected from mold-damaged houses and evaluation of health effects.

Abstract

Air quality in houses is a major concern in Europe, as people spend most of their time indoors. According to the WHO, numerous houses are exposed to dampness that can lead to mold growth, causing health and economic damages.

In this work, a global approach including both field study and laboratory experimentations was used to characterize the human exposure to bioaerosols in mold-damaged houses, to study their health effects on inhabitants and to propose a diagnostic process that could be applied to mold-damaged houses. We showed the recurrence of several fungal species, specifically *Aspergillus versicolor*, *Penicillium chrysogenum* and *P. crustosum*, which could be used as microbial indicators of airborne fungal contamination. In addition, our statistical analyses showed relations between the concentrations of recurrent molds in air and the levels of surface contamination by molds proposed by ANSES. Statistical link has also been found between mold exposure and respiratory or cutaneous symptoms described by the inhabitants. A cytotoxic potential evaluation of bioaerosols collected in these mold-damaged houses allowed to highlight a relation between the responses observed for the two cell lines (pulmonary A549 and cutaneous HaCaT).

From a methodological point of view, qPCR coupled with flow cytometry appears to be a fast and reliable method that can be correlated to cultural approach, allowing to monitor the human exposure to *Aspergillus versicolor* in mold-damaged buildings. Eight recurrent fungal species identified in bioaerosols were also selected for a study in a climatic chamber that showed the effects of temperature and relative humidity on fungal growth and toxinogenic potential.

Keywords: Indoor air, Houses, Bioaerosols, Molds, Human health.