



**HAL**  
open science

## Détection précoce des infestations fongiques et entomologiques dans les environnements intérieurs

Isabelle Lacaze, Rukshala Anton, Stéphane Moularat

► **To cite this version:**

Isabelle Lacaze, Rukshala Anton, Stéphane Moularat. Détection précoce des infestations fongiques et entomologiques dans les environnements intérieurs. Support Tracé, 2018, 18, pp.182-186. hal-02171967

**HAL Id: hal-02171967**

**<https://hal-cstb.archives-ouvertes.fr/hal-02171967>**

Submitted on 3 Jul 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.

# DÉTECTION PRÉCOCE DES INFESTATIONS FONGIQUES ET ENTOMOLOGIQUES DANS LES ENVIRONNEMENTS INTÉRIEURS

Isabelle LACAZE\*, Rukshala ANTON\*, Stéphane MOULARAT\*

\*Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, Champs-sur-Marne Cedex 2,

## Résumé

La détection précoce de contaminations fongiques ou d'infestations d'insectes dans les sites patrimoniaux constitue un enjeu majeur pour la conservation préventive.

Lors de leur croissance, les moisissures produisent notamment des Composés Organiques Volatils (COV). Ceux-ci, diffusent à travers les supports tels que les murs, les tapisseries, les papiers peints... et peuvent être détectés dans l'air, même lorsque la croissance est cachée ou à un stade non visible. Le calcul d'un Indice de Contamination Fongique (ICF) basé sur la présence de certains de ces COV permet de diagnostiquer si un développement fongique est en cours ou non. Les insectes produisent également des COV lors de leur développement et ce dès le stade larvaire, de ce fait, un nouvel Indice Infestation Insectes (3I) est actuellement en cours d'expérimentation. Pour réaliser la surveillance *in situ* des espaces clos en lien avec ces problématiques fongiques et/ou entomologiques, le Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB) a développé un biodétecteur qui intègre le prélèvement, l'analyse et le calcul d'indices. Il mène ses recherches en collaboration avec le LRMH, le Musée du Louvre, le CICRP et la BnF. Le système est en phase d'industrialisation par BIOGUESS, une filiale du CSTB.

## Abstract

Early detection of fungal contamination or insect infestation in heritage sites is a major challenge for preventive conservation.

During their growth, moulds produce volatile organic compounds (VOCs). These, diffuse through materials such as walls, tapestries, wallpapers... and can be detected in the air, even when growth is hidden or at a non-visible stage. The calculation of a Fungal Contamination Index (FCI) based on the presence of some of these VOCs can be used to diagnose whether fungal development is ongoing or not. Insects also produce VOCs during their development from the larval stage, thus a new Insect Infestation Index (3I) is currently being experimented. To carry out the *in situ* monitoring of spaces linked to these fungal and/or entomological problems, the Scientific and Technical Center of the Building (CSTB) has developed a biodetector that integrates the sampling, the analysis and the index calculations. The CSTB conducts its research in collaboration with the LRMH, the Louvre museum, the CICRP and the BnF. The industrialization of the system is ongoing by Bioguess, a subsidiary of the CSTB.

## 1. INTRODUCTION

Les objets patrimoniaux, tels que les documents graphiques peuvent être dégradés par les micromycètes et les insectes. Les dégâts occasionnés par ces organismes, aggravés par une détection tardive, sont souvent irréversibles.

Classiquement, la contamination fongique d'un environnement intérieur est mise en évidence par un examen visuel et/ou par la mesure de particules fongiques dans l'air ou sur les surfaces. Ces méthodes permettent l'identification et la quantification de ces microorganismes, mais rarement la détection de contaminations cachées (croissance derrière une cloison, dans la

structure du bâti ou dans des systèmes de ventilation...) ou récentes pour lesquelles aucun signe de développement n'est apparent. De façon similaire, concernant les infestations par les insectes, elles sont détectées par un examen visuel ou encore par la capture de spécimens avec des pièges à phéromones.

Dans ce contexte, l'objectif de la recherche, initiée en 2005 par le CSTB, consiste à développer une méthodologie adaptée à la surveillance des sites patrimoniaux vis-à-vis des moisissures et des insectes.

Cette méthode, complémentaire aux techniques classiques, repose sur la détection des COV pour estimer le développement actif de ces contaminants et ainsi surveiller la qualité biologique des environnements intérieurs.

## 2. DETECTION PRECOCE DES MOISSURES

Dans un objectif de détection précoce d'un développement fongique, le CSTB s'appuie sur l'identification de Composés Organiques Volatils d'origine microbienne (COVm) spécifiques, émis dès les premières heures du développement fongique.

Ces derniers diffusent dans l'environnement et constituent une empreinte biochimique dont la détection signe une activité fongique. Ainsi, l'indice développé vient statuer, en complément des techniques usuelles, sur un développement fongique actif, y compris dans les cas de contaminations précoces et/ou «cachées». Il a été développé en laboratoire à partir de 14 espèces fongiques et 15 supports de croissance (matériaux fréquemment retrouvés dans les environnements intérieurs) (Moularat, S., 2007; Moularat, S. *et al.*, 2008c; Moularat, S. *et al.*, 2008b).

En pratique, cette mesure consiste à réaliser un prélèvement gazeux (COV) sur un adsorbant soit par une méthode active (prélèvement d'une heure à l'aide d'une pompe fonctionnant à 150 mL/min), soit par une méthode passive (prélèvement à l'aide d'un corps diffusif déposé durant 7 jours dans l'environnement testé). Les échantillons sont ensuite acheminés au laboratoire pour analyse et calcul de l'ICF.

Ainsi, il est possible, par une mesure simple, de diagnostiquer une croissance fongique dès le début du développement y compris sans émission de spores dans l'air, ou encore d'assurer la surveillance d'un environnement vis-à-vis du risque de prolifération fongique.

Afin de valider l'indice, les analyses de 387 environnements ont été utilisées. La Figure 1 recense les différents types d'environnements employés pour caractériser l'indice.



Figure 1 : Distribution des différents types d'environnements ayant servi à la validation de l'ICF

La contamination a pu être confirmée par trois approches :

- L'utilisateur du bâtiment déclarant la présence de traces qu'il estime être des moisissures,
- L'expert aidé s'il l'estime pertinent de mesures terrains (prélèvements de surfaces et d'air couplés à des analyses par culture ou de biologie moléculaire),
- L'ICF.

Dans l'ensemble des cas testés, les résultats de l'ICF étaient corrélés aux conclusions de l'expert. Aucun faux positif ou faux négatif n'a été détecté.

Cet indice a été éprouvé sur 1288 environnements au total lors de nombreuses études :

- Lors de la Campagne Nationale Logements (CNL) de l'Observatoire de la Qualité de l'Air Intérieur (OQAI), il a été conclu qu'au-delà des 15% de logements français présentant des contaminations fongiques visibles, plus du tiers des habitations est concerné par cette problématique avec la présence de contaminations fongiques récentes ou masquées inaccessibles par un seul examen visuel (Moularat, S. *et al.*, 2008a).
- Dans le cadre de l'étude « International Study of Asthma and Allergies in Childhood in France » (ISAAC) concernant 94 logements dans la région de Clermont-Ferrand, l'indice a permis de démontrer la relation entre le développement fongique et l'asthme infantile (Hulin, M. *et al.*, 2010a; Hulin, M. *et al.*, 2010b; Moularat, S. *et al.*, 2011).
- Cette méthode a permis de mettre en évidence l'association entre le développement fongique identifié par l'indice, et l'asthme ou les symptômes semblables à la bronchite chronique à partir des données de la Campagne Nationale Logements de l'OQAI (Hulin, M. *et al.*, 2013).
- Des études menées en collaboration avec des organismes en charge de la sauvegarde du patrimoine tels que le Laboratoire de Recherche des Monuments Historiques, les Archives Nationales ou encore la Bibliothèque Nationale de France, ont montré également l'intérêt de l'ICF comme moyen de détection dans des environnements spécifiques tels que des châteaux, des musées ou encore des grottes ornées (Joblin, Y. *et al.*, 2010).
- Cet outil a été appliqué dans des campagnes de mesures au sein d'établissements scolaires telle que la Campagne Nationale Ecoles (CNE).

L'indice est aujourd'hui exploité dans les missions d'expertises nationales et internationales et fait partie de l'offre de la filiale du CSTB BIOGUESS.

Afin de compléter cette approche, d'autres indices ont été développés :

L'**Indice de Contamination Mérule (ICM)** permet la détection d'une croissance de *Serpula lacrymans* dès le début du développement y compris lorsque le champignon se développe à l'intérieur du bois (Moularat, S. Robine, E., 2014).

Des **Indices supports (spécifiques de la biodégradation des matériaux du patrimoine)** ont été développés en partenariat avec le Laboratoire de recherche des Monuments historiques (LRMH), la Bibliothèque Nationale de France (BnF), les Archives Nationales (AN), et le Musée du Centre National des Arts et Métiers (CNAM). Ces COV permettent de cibler le type de support infesté et ainsi d'aider à la localisation de la contamination (Joblin, Y. *et al.*, 2010; Nguyen, T.-P. *et al.*, 2012).

L'**Indice de Contamination Aspergillaire (ICA)** permet la détection précoce de contaminations par *Aspergillus* afin de surveiller un risque d'aspergillose (Moularat, S. Robine, E., 2016).

Un **Indice de production de mycotoxines**. Après une détection de contamination fongique par l'ICF, cet indice a pour objectif d'informer sur une production de mycotoxines par les moisissures (Moularat, S. Robine, E., 2011).

L'**Indice Infestation Insectes (3I)** a pour objectif de détecter précocement les infestations entomologiques dès la présence de larves actives responsables des dégâts occasionnés. Les examens visuels et l'emploi de pièges à phéromones permettent quant à eux la détection des insectes au stade adulte. Cet indice a été développé à partir de « mites textiles » (Moularat, S. Lacaze, I., 2017). Pour l'heure, l'indice a été validé sur six environnements infestés et six non infestés.

### 3. BALISE DE SURVEILLANCE

Si le calcul d'indice par le biais d'un prélèvement actif ou passif suivi d'une analyse par GC/MS permet d'établir un diagnostic, il ne permet néanmoins pas de procéder à une surveillance en temps réel d'un environnement à considérer. C'est pourquoi le CSTB a poursuivi cette recherche sur la détection précoce de nuisibles par les Composés Organiques Volatils en développant une balise de détection fongique pourvue de capteurs à base de polymères conducteurs. Cette technologie innovante, fruit de travaux pluridisciplinaires alliant notamment microbiologie, chimie de la qualité de l'air intérieur, chimie des polymères et microélectronique, permet de combiner à la fois le prélèvement, l'analyse et le calcul d'indice sur site.

Pour ce faire, cette balise est constituée d'une microstructure de prélèvement remplie de Tenax® afin d'assurer le piégeage des COV présents dans l'air, d'une micro-colonne permettant de séparer les molécules et enfin de capteurs à base de Polymères Conducteurs Electroniques assurant la détection et l'identification des COV. Ces modules sont pilotés à l'aide d'un système automatisé et d'un logiciel développés spécifiquement pour la balise afin de la paramétrer pour le calcul des différents indices.

À ce jour, le développement de la balise s'est concentré sur le calcul de l'Indice de Contamination Fongique. Chacun des micromodules a donc été validé séparément (Anton, R. *et al.*, 2016). Ensuite, afin de vérifier en laboratoire que la chaîne complète permet de détecter une contamination fongique, une Analyse en Composantes Principales (ACP) a été réalisée à partir de prélèvements de chambres témoins et contaminées.

L'ACP est une technique de description statistique conduisant à des représentations graphiques approchée d'une matrice de données. Elle permet d'observer simultanément des liaisons entre variables (ici les COV) et des similitudes entre individus (ici les échantillons), dans une projection dans un espace réduit. L'ACP est décrite en détail dans le livre Statistique exploratoire multidimensionnelle (Lebart *et al.*, 1997).

Cette analyse est réalisée avec le logiciel R (Rx64 3.4.4).

Le plan principal de l'ACP est présenté Figure 2.

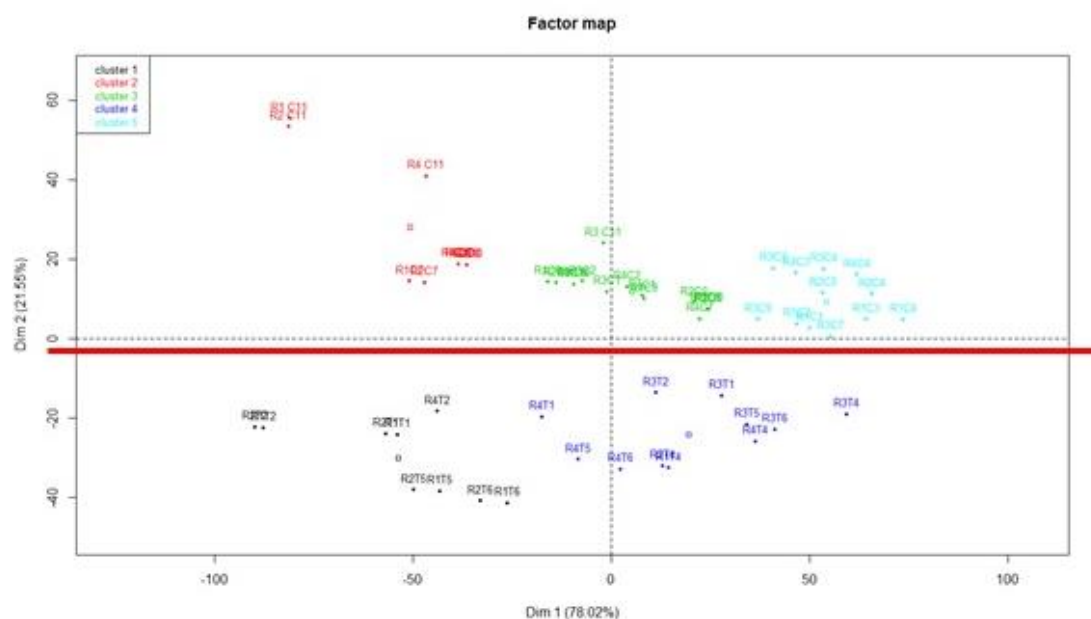


Figure 2 : Plan principal de l'ACP

Le plan principal met en évidence une séparation, au niveau de l'axe 2, entre les « contaminés » (en rouge, en vert et en turquoise) et les « témoins » (en noir et en bleu).

Cette représentation statistique montre que l'ensemble de la chaîne permet, après un traitement de la matrice, de détecter la présence d'un développement fongique dans une approche laboratoire. Outre la démonstration d'une empreinte chimique spécifique et décelable, cette approche doit maintenant être vérifiée dans des environnements réalistes.

#### 4. CONCLUSION

L'évaluation de la contamination fongique dans les environnements intérieurs est primordiale. Aujourd'hui, les méthodes de collecte les plus utilisées reposent sur l'impaction des particules fongiques en suspension dans l'air et la méthode d'analyse la plus couramment employée reste la méthode culturale. Le développement des approches biomoléculaires ouvre de nouvelles perspectives en améliorant l'identification et sont de plus en plus employées soit en complément, soit en remplacement des méthodes culturales.

L'ensemble de ces techniques repose sur l'analyse de particules collectées, et de ce fait, permettent rarement de détecter les contaminations cachées (croissance derrière une cloison, dans la structure du bâti ou dans des systèmes de ventilation par exemple) ou récentes pour lesquelles aucun signe de développement n'est apparent et peu de spores sont présentes dans l'air.

Aussi, en complément des techniques d'identification et de quantification, une méthode basée sur la détection des COV fongiques pour estimer le développement actif de ces microorganismes et surveiller la qualité microbiologique des environnements intérieurs, a été mise au point.

Le système élaboré dans cette recherche permet une détection rapide d'un développement fongique dans un environnement intérieur. Ce dispositif couplé aux avantages apportés par

l'Indice de Contamination Fongique (détection des contaminations récentes et/ou cachées) en fait un outil pertinent pour la surveillance de la qualité microbiologique des espaces clos. De plus, la modularité du système, avec notamment la possibilité de varier à la fois les temps de rétentions et la nature des capteurs, permet d'élargir son utilisation à la détection des COV des autres indices et compléter ainsi les outils à disposition pour la gestion des nuisibles dans le patrimoine. Cette balise permettrait donc aux personnels en charge de la conservation préventive d'avoir un outil d'alerte précoce permettant une gestion rapide des problématiques de moisissures et insectes dans les collections.

## **5. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

- R. Anton, S. Moularat E. Robine, 2016. A new approach to detect early or hidden fungal development in indoor environments. *Chemosphere* 143, p. 41-49.
- M. Hulin, I. Annesi-Maesano, Robine E, Moularat S C. D., 2010a. Implication of non-allergic mechanisms in the relationships between molds and childhood asthma. *J Allergy Clin Immunol.*
- M. Hulin, D. Caillaud I. Annesi-Maesano, 2010b. Indoor air pollution and childhood asthma: variations between urban and rural area *Indoor air* 20, p. 502-514.
- M. Hulin, S. Moularat, S. Kirchner, E. Robine, C. Mandin I. Annesi-Maesano, 2013. Positive associations between respiratory outcomes and fungal index in rural inhabitants of a representative sample of French dwellings. *International Journal of Hygiene and Environmental Health* 216, p. 155-162.
- Y. Joblin, S. Moularat, R. Anton, F. Bousta, G. Oriol, E. Robine, O. Picon T. Bourouina, 2010. Detection of moulds by volatile organic compounds: Application to heritage conservation. *International Biodeterioration & Biodegradation* 64(3), p. 210-217.
- S. Moularat, 2007. Procédé de détection d'une contamination fongique.
- S. Moularat, M. Derbez, S. Kirchner, O. Ramalho E. Robine, 2008a. Détermination de la contamination fongique des logements français par un indice chimique. *Pollution Atmosphérique* 197, p. 37-44.
- S. Moularat, M. Hulin, E. Robine, I. Annesi-Maesano D. Caillaud, 2011. 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* 409, p. 2005-2009.
- S. Moularat I. Lacaze, 2017. Procédé de détection d'une infestation d'insectes.
- S. Moularat E. Robine, 2011. Procédé de détermination d'une empreinte chimique spécifique de la production de mycotoxines.
- S. Moularat E. Robine, 2014. Procédé de détection d'une contamination à la méréule.
- S. Moularat E. Robine, 2016. Patent: Production of an aspergillus contamination imprint based on detection of MVOC.
- S. Moularat, E. Robine, O. Ramalho M. A. Oturan, 2008b. Detection of fungal development in a closed environment through the identification of specific VOC: Demonstration of a specific VOC fingerprint for fungal development. *Science of the Total Environment* 407, p. 139-146.
- S. Moularat, E. Robine, O. Ramalho M. A. Oturan, 2008c. Detection of fungal development in closed spaces through the determination of specific chemical targets. *Chemosphere* 72(2), p. 224-232.
- T.-P. Nguyen, S. Moularat, E. Robine, R. Berardo, T. Basset, F. Bousta, G. Oriol, C. Laffont, A. Lama P. Ramond, 2012. DECAGRAPH, détection précoce des contaminants des collections graphiques. Colloque SMPC2, Sciences des matériaux du patrimoine culturel, Paris.