

La qualité de l'Air intérieur...

Contributions croisées

L'Air c'est la Vie... un enjeu sanitaire majeur

*Pourquoi éviter la contamination de l'habitat
par les moisissures ?*

Introduction

Cet ouvrage, coordonné par la Fédération Française des Tuiles et Briques (FFTB) et le GIE Briques de France, est le résultat des contributions de l'ensemble des acteurs investis dans le champ de la qualité de l'air intérieur : politiques, personnalités du monde médical, du bâtiment, ainsi que de la société civile. Qu'ils soient ici chaleureusement remerciés pour leurs contributions actives à la rédaction de cet ouvrage, dont l'objectif est de faire un point sur l'état des connaissances et d'encourager l'ensemble des acteurs à appréhender au mieux le traitement du risque fongique.

Conscients que nous passons plus de 80% de notre temps dans des espaces clos (logements, bureaux, transports, etc.), ce qui fait du bâtiment le premier environnement de l'homme, nous avons engagé depuis plusieurs années, au sein de la FFTB et du GIE Briques de France, une réflexion globale sur le respect de la qualité de l'air intérieur. Nous avons souhaité rassembler l'ensemble des acteurs issus de milieux différents et complémentaires, afin de

parvenir à faire le lien entre les connaissances de chacun d'entre eux sur cette problématique complexe.

Nous nous réjouissons que soient réunis pour la première fois des médecins, des professionnels du bâtiment, des représentants d'associations, et des parlementaires, afin de faire avancer la cause de la qualité de l'air intérieur. Chacun contribue ici par son expertise et son engagement à une meilleure compréhension du sujet.

Les risques sanitaires posés par la détérioration de la qualité de l'air intérieur sont soulignés par les médecins et les scientifiques. Ils nous alertent sur le fait que le développement des moisissures dans les logements (40 % des logements en France en sont contaminés selon une étude de l'Observatoire de la Qualité de l'Air Intérieur), est l'une des causes principales de la pollution intérieure et favorise diverses pathologies, principalement respiratoires.





PIERRE JONNARD

Président de la Fédération Française
des Tuiles et Briques



HERVÉ GASTINEL

Président du GIE
Briques de France



Les contributions des professionnels du bâtiment nous montrent les conditions dans lesquelles les moisissures peuvent se propager sur les matériaux de construction. C'est pourquoi la lutte contre leur apparition et leur développement passe naturellement par la conception et la réalisation de bâtiments de qualité équipés de systèmes de ventilation efficaces. Mais cette condition, certes nécessaire, n'est pas suffisante car la nature des supports joue un rôle essentiel dans le développement des moisissures. Les Français sont très attentifs à la problématique de l'air intérieur. Selon un sondage IFOP de 2008, un Français sur trois avait déjà ressenti une gêne attribuée à la qualité de l'air intérieur et près de 80% d'entre eux déclaraient être préoccupés par celle-ci. Les nombreuses associations issues de la société civile s'engagent fortement sur ce sujet, relaient cette inquiétude, et insistent sur la nécessité de mieux informer le consommateur sur les risques liés à l'air intérieur et au développement des moisissures. Certes, dans le cadre du Grenelle de l'Environnement, des avancées ont été enregistrées. Les parlementaires que nous avons

sollicités considèrent essentiel d'évaluer l'impact sanitaire des bâtiments et de se donner les moyens de caractériser au mieux la qualité de l'air intérieur des espaces clos. La loi Grenelle 1 prévoit un étiquetage sanitaire des produits de construction sur leurs émissions et contenus en polluants volatils à partir de 2012. Il s'agit d'un pas dans la bonne direction, mais le champ de cet étiquetage ne devrait-il pas être étendu ? En effet, des évolutions réglementaires sont possibles. Ne serait-il pas nécessaire de s'entourer du maximum de garanties en amont et de caractériser les composants du bâtiment par rapport à leur propension à favoriser le développement des moisissures ? Nous sommes très fiers que cet ouvrage engagé et cohérent vienne enrichir la réflexion de chacun. Mais nous souhaitons surtout que ces contributions croisées puissent convaincre les pouvoirs publics de se saisir de ce problème, et qu'elles soient le point de départ d'une plus grande collaboration entre l'ensemble des acteurs préoccupés par ces risques, car il en va de la santé de chacun d'entre nous.

Sommaire

Parlementaires

GÉRARD BAPT

Député de Haute-Garonne, Président du Groupe d'Études Santé Environnementale

p 05

MICHEL HAVARD

Député du Rhône, Président de l'Association pour la Haute Qualité Environnementale des bâtiments (Association HQE)

p 07

PHILIPPE RICHERT

Sénateur du Bas-Rhin, Président du Conseil National de l'Air (CNA)

p 09

PHILIPPE TOURTELIER

Député d'Ille-et-Vilaine, Vice-président de la Commission du Développement Durable et de l'Aménagement du Territoire
Président du Groupe d'études Éco-construction

p 11

Experts médicaux

FRÉDÉRIC DE BLAY

Professeur. Unité de Pneumologie, d'Allergologie et de Pathologie Respiratoire
Hôpitaux Universitaires de Strasbourg - Institut du Rhin Supérieur, Université de Strasbourg

p 12

DENIS CHARPIN

Professeur à la Faculté de Médecine, Chef du service de Pneumologie à l'Hôpital Nord à Marseille
Secrétaire de la Commission Environnement à l'Académie Nationale de Médecine

p 14

FABIEN SQUINAZI,

Docteur. Directeur du Laboratoire d'Hygiène de la Ville de Paris (LHVP)

p 18

VALÉRIE BEX-CAPELLE

Ingénieur hygiéniste au Laboratoire d'Hygiène de la Ville de Paris (LHVP)

p 18

Experts bâtiments

BERTRAND DELCAMBRE

Président du Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB)

p 21

RAPHAËL SLAMA

Président de l'Association Qualitel

p 30

Associations

FRANÇOISE BAS

Administratrice chargée du dossier environnement à l'Union Nationale des Associations Familiales (UNAF)

p 33

JOSÉ CAMBOU

Secrétaire nationale de la Fédération France Nature Environnement (FNE)
et pilote de son réseau santé environnement

p 36

REINE-CLAUDE MADER

Présidente de l'Association Consommation Logement Cadre de Vie (CLVC)

p 38

Annexes

SONDAGE IFOP

"Les Français et la qualité de l'air intérieur"

CSTB

Diffusion des connaissances, collaborations et actions de recherche cofinancées, bibliographie

Contributions croisées



GÉRARD BAPT

Député de Haute-Garonne

Président du Groupe d'études Santé Environnementale

POLLUTIONS DE L'AIR INTÉRIEUR, RISQUES FONGIQUES : GARANTIR L'INFORMATION DES CITOYENS, INTERDIRE LES PRODUITS TOXIQUES

La pollution est partout : les individus sont constamment exposés à de multiples émissions ayant des effets plus ou moins nocifs sur la santé.

Si certaines d'entre elles se manifestent par des fumées ou des odeurs qui les rendent clairement identifiables, d'autres s'immiscuent de manière plus insidieuse dans le quotidien sans signes extérieurs visibles. On connaît depuis plusieurs années les problématiques liées à l'habitat insalubre et notamment les conséquences irréversibles du saturnisme sur l'organisme des enfants, susceptibles de provoquer des retards mentaux. Mais loin d'être l'apanage des taudis ne répondant pas aux normes de sécurité, les risques n'épargnent pas non plus les locaux neufs ou rénovés.

Ainsi, contre toute attente, la récente enquête de l'UFC-Que Choisir menée dans les immeubles fraîchement réhabilités de l'Assemblée nationale, a révélé la présence de milliers de substances chimiques potentiellement polluantes dans les sols,

les meubles et jusque dans les désodorisants et les produits nettoyants, utilisés quotidiennement pour l'entretien. J'ai moi-même accepté l'installation de kits de testing pendant une semaine dans mon bureau du 101 rue de l'Université, où pourtant personne ne fume, et ai été très surpris du résultat : mes collaborateurs et moi-même respirions constamment un air pollué sans même le savoir jusqu'à ce que nous acceptions de participer à cette enquête !

En tant que représentant élu, mais aussi en tant que Président du groupe d'études "Santé environnementale" de l'Assemblée nationale et médecin cardiologue, cette découverte ne peut me laisser indifférent. Car si l'air de mon lieu de travail est loin d'être sain, celui des logements habités et des bâtiments fréquentés par mes concitoyens n'est probablement pas meilleur, indépendamment des pratiques qu'ils peuvent sciemment mettre en œuvre : tabagisme, combustion de matériaux, utilisation de détergents. Une fois ce constat établi, il devient nécessaire d'agir.





Loin d'être l'apanage des taudis ne répondant pas aux normes de sécurité, les risques n'épargnent pas non plus les locaux neufs ou rénovés.



Le premier objectif est de faire toute la transparence sur l'origine des émissions polluantes afin et de faire en sorte que les citoyens prennent, dans un premier temps, conscience des risques qu'ils encourent et soient, dans un second temps, à même de limiter par leurs choix leur niveau d'exposition à ces derniers (achats de produits, systèmes d'aération).

Le Grenelle de l'Environnement a prévu l'étiquetage des produits contenant des polluants. Si cette mesure va dans le bon sens, nous devons rester vigilants quant aux contournements dont elle pourrait faire l'objet de la part des industriels. Elle reste par ailleurs insuffisante si elle ne se couple pas d'une évaluation rigoureuse des matériaux de construction (briques, menuiseries, plâtres, lainages) et d'aménagement intérieur (revêtements de sols, peintures) au-delà de leurs seules performances énergétiques ou de leurs vertus d'isolation. En parallèle, la recherche sur les

effets sanitaires des pollutions doit être encouragée afin de mettre au jour les liens existants entre les pathologies affectant les patients (troubles respiratoires, allergies, maladies de peaux, cancers, perturbations endocriniennes) et leur environnement quotidien.

Mais notre rôle de législateur est aussi de protéger le consommateur des produits les plus toxiques en les interdisant. Comme j'ai porté à l'Assemblée nationale, l'interdiction du Bisphénol, notamment utilisé dans la fabrication des biberons, j'appelle mes collègues parlementaires et le gouvernement à légiférer dans le même sens sur les matériaux de construction et les produits dont la dangerosité est avérée.



MICHEL HAVARD

Député du Rhône

Président de l'Association pour la Haute Qualité Environnementale des bâtiments (Association HQE)

QUALITÉ DE L'AIR INTÉRIEUR : POUR UNE APPROCHE GLOBALE, COHÉRENTE ET PRAGMATIQUE

Depuis sa création, l'Association HQE a toujours considéré que la qualité environnementale d'un bâtiment ne pouvait se réduire à la maîtrise des impacts sur l'environnement et que les aspects santé - confort des usagers devaient bénéficier des mêmes attentions.

Pour mieux traduire cette exigence, elle a donc décidé, il y a plus de six ans et de manière symbolique de réordonner l'écriture de son principal objectif qui s'écrit maintenant : "Réaliser des bâtiments sains et confortables dont les impacts sur l'environnement évalués sur l'ensemble de leur cycle de vie, sont les plus maîtrisés possible".

Pour dépasser la symbolique et entrer dans le concret, l'Association considère que les aspects santé - confort doivent être traités comme les aspects environnementaux en termes d'objectifs de performance et non en termes d'obligation de moyens.

Pour un produit aussi complexe que le bâtiment, une performance globale satisfaisante ne peut, en effet résulter que d'une optimisation multicritère supposant des arbitrages, le simple empilage de solutions individuellement performantes ayant peu de chance de satisfaire l'objectif visé par l'Association !

Pour fixer un cadre à ce travail d'optimisation et caractériser la performance globale résultante au moyen d'un certain nombre d'indicateurs, l'Association s'appuie sur les normes NF P 01 020 et suivantes.

Ces normes précisent les préoccupations à prendre en compte :

- > qualité sanitaire des espaces intérieurs
- > qualité sanitaire de l'eau
- > confort hygrothermique, acoustique, visuel et acoustique.

Ces rubriques font naturellement partie du projet de label HQE Performance que promeut l'Association depuis plusieurs mois.

La qualité sanitaire des espaces intérieurs repose principalement sur la Qualité de l'Air Intérieur (QAI).

Dans ce domaine, l'Association HQE s'appuie sur les travaux publiés par les organismes officiels en charge de la santé publique.

Elle constate que les pouvoirs publics commencent seulement à publier les premières Valeurs Guides de l'Air Intérieur (VGAI) sans nécessairement d'ailleurs préciser les protocoles de mesure in situ nécessaires pour les contrôler (Formaldéhyde, monoxyde de carbone, benzène, tétrachloroéthylène, naphthalène, particules,...).

L'Association HQE considère que sa reconnaissance d'Utilité Publique et les attentes naturellement attachées à la démarche HQE, lui confèrent une responsabilité en matière de qualité globale des opérations qui se réfèrent à la HQE et tout particulièrement en matière de QAI.

Ainsi, le projet de label HQE Performance devra attester que la qualité de l'air est bonne. Il le vérifiera par des mesures in situ et pas seulement par le constat de l'existence d'une stratégie de moyen dont on espère qu'elle sera efficace.

Dans le cadre du projet de label HQE Performance, l'Association a confié au Dr. Squinazi, Directeur du laboratoire d'hygiène de la ville de Paris, l'animation d'un groupe de travail largement ouvert aux experts des parties intéressées au-delà des seuls membres de l'Association.

Ce groupe est chargé entre autres, de s'accorder sur une liste de polluants présents dans l'Air Intérieur et suffisamment documentés afin de sélectionner ceux qui pourraient être retenus





L'association HQE a toujours considéré que la qualité environnementale d'un bâtiment ne pouvait se réduire à la maîtrise des impacts sur l'environnement et que les aspects santé - confort des usagers devaient bénéficier des mêmes attentions.



pour contrôler la QAI, aux côtés de caractéristiques techniques plus traditionnelles comme la vérification d'un niveau de renouvellement d'air adapté à l'activité réelle du bâtiment.

Pour ce faire, le groupe de travail est parti des polluants identifiés par l'Observatoire de la Qualité de l'Air Intérieur. Il a ensuite vérifié que ces polluants étaient officiellement classés dangereux au niveau Européen (Règlement REACH, Directives Européennes,...) et que sur la base de ces classements, les pouvoirs publics avaient jugé utile de publier des seuils sanitaires tels que Valeurs Guide de la Qualité de l'Air Intérieur publiées par l'AFSSET et/ou par l'OMS,...

Il travaille maintenant sur l'étape suivante qui consistera à procéder à une campagne de mesures in situ de ces polluants en commençant prioritairement par des opérations engagées dans la certification de leur démarche HQE.

Il s'agira de vérifier le caractère opérationnel des dispositions retenues en vue de les généraliser comme moyens d'évaluation de la QAI et de capitaliser les résultats pour fixer et faire évoluer les niveaux à atteindre dans les démarches HQE.

Pour l'Association, la qualité réelle de l'air intérieur que respirera l'utilisateur dépend de la qualité de l'air extérieur, des diverses dispositions constructives retenues, et naturellement de son propre comportement et usage du bâtiment et c'est bien ce "résultat" final qui est à évaluer tant en neuf (à réception), qu'en rénovation et en exploitation.

L'Association est bien consciente que, dans un premier temps,

il ne sera pas aisé d'identifier les déterminants principaux de cette performance globale mais qu'il convient d'encourager tous les acteurs concernés à s'impliquer dans cette action, source évidente de progrès.

L'Association HQE a signé le 25 mars 2009 aux côtés du MEEDDM et d'autres acteurs (AFNOR, CSTB, Qualitel,...) la Convention d'engagement volontaire aux termes de laquelle les fabricants de produits de construction et d'un certain nombre d'équipements qui avaient pris l'initiative de la proposer, se sont engagés à fournir dans le cadre des FDES des informations sur les émissions de substances dangereuses dans l'air (et dans l'eau) de leurs produits selon un cadre commun à tous les produits de construction.

Progressivement toutes les FDES présentes sur la base publique INIES vont être révisées pour intégrer ces informations.

L'Association ne peut qu'encourager les fabricants des divers biens et produits utilisés dans les bâtiments (entretien, agrément, mobilier,...) de faire le même effort indispensable pour améliorer la connaissance de ces déterminants également dans le bâtiment en exploitation.

Avec le lancement de cette démarche globale sur la QAI, l'Association entend contribuer à la réalisation de l'un des objectifs prioritaires du 2ème Plan National Santé Environnement (PNSE) qui couvre la période 2009 - 2013 et qui prévoit de "mieux connaître les déterminants de la QAI", en donnant des signaux forts à l'ensemble du marché.



PHILIPPE RICHERT

Sénateur du Bas-Rhin

Président du Conseil National de l'Air (CNA)

POUR UNE MEILLEURE PRISE EN COMPTE DE LA QUALITÉ DE L'AIR DANS L'ENSEMBLE DES POLITIQUES PUBLIQUES.

Alors que la lutte contre le changement climatique est devenue la priorité des politiques environnementales, le risque existe de reléguer la qualité de l'air à l'écart des grands enjeux.

Pourtant, la reconquête de la qualité de l'air entreprise dans la seconde moitié du siècle dernier n'est pas acquise, loin de là. Même si les émissions des polluants historiques baissent, l'impact sanitaire reste préoccupant et l'on peut citer le développement accru de maladies respiratoires comme l'asthme, les allergies ou encore la bronchiolite. En outre, une nouvelle préoccupation a émergé : la qualité de l'air intérieur, dont on sait que certains polluants s'y trouvent parfois à des concentrations plus élevées que dans l'air extérieur.

Dans ce contexte, le Conseil National de l'Air (CNA) contribue à une meilleure prise en compte de la qualité de l'air dans l'ensemble des politiques publiques. Régulièrement sollicité par le gouvernement, il a fait des propositions sur de nombreux sujets : mesures d'information et d'alerte en cas d'épisode de pollution, indice ATMO, proposition de Directive relative à la qualité de l'air ambiant et aux particules présentes dans l'air, etc...

En tant que Président du CNA, j'ai été chargé par le gouvernement d'une mission transversale "Air et Atmosphère" dans le cadre du Grenelle de l'Environnement.

J'avais alors fait plusieurs recommandations visant à une meilleure prise en compte de la qualité de l'air intérieur alors que seule l'efficacité énergétique des bâtiments était promue. Préoccupé par des solutions d'isolation maximale du bâtiment susceptibles de conduire à un calfeutrement excessif des logements aux conséquences néfastes pour ses habitants, j'avais proposé d'adosser les objectifs de haute performance énergétique à des objectifs plus globaux de haute qualité environnementale, ce qui a été repris à l'article 1 du projet de loi Grenelle 2.

Je soutenais aussi également l'adoption de mesures fiscales encourageant une isolation de l'habitat excluant tout risque de confinement et je soulignais la nécessité de mieux former les professionnels du bâtiment aux problématiques santé - environnement.

Je me félicite dès lors des avancées apportées par les projets de loi Grenelle sur la qualité de l'air intérieur, et notamment l'article 40 du projet de loi Grenelle 1 qui prévoit l'étiquetage obligatoire des matériaux de construction à partir de 2012, notamment sur leurs émissions et contenus en polluants volatils. Les pollutions de l'air intérieur sont en effet à l'origine de nombreuses maladies respiratoires et le législateur se devait d'intervenir.





La lutte contre les moisissures repose sur une bonne conception du bâtiment et notamment l'absence de ponts thermiques importants.



Ardent défenseur d'une évaluation qui intègre tous les compartiments de l'atmosphère et tienne compte de tous les acteurs locaux comme cela se fait au sein des associations régionales agréées de surveillance de la qualité de l'air, je me réjouis également de la mise en place, dans le prolongement du Grenelle de l'Environnement, d'une surveillance systématique de la qualité de l'air intérieur dans les lieux publics.

Le développement des moisissures à l'intérieur des logements constitue également un sujet de préoccupation croissant. Le CNA s'associe à l'ensemble des acteurs qui plaident pour une meilleure prise en compte des dangers posés par les moisissures, celles-ci étant également la cause de graves maladies respiratoires.

La lutte contre les moisissures repose sur une bonne conception du bâtiment et notamment l'absence de ponts thermiques importants. Dans ce cadre, la réglementation pourrait permettre d'informer les habitants et les prescripteurs sur les matériaux et les solutions techniques qui se prêtent le moins à la croissance fongique.

Alors que certains progrès ont été réalisés ces dernières années sur la qualité de l'air extérieur - on a constaté des baisses spectaculaires pour le dioxyde de soufre et le plomb - nous attendons que des progrès similaires puissent être accomplis sur le front de la qualité de l'air intérieur. Il en va de la santé de chacun d'entre nous.



PHILIPPE TOURTELIER

Député d'Ille-et-Vilaine

Vice-président de la Commission du Développement Durable et de l'Aménagement du territoire

Président du Groupe d'études Eco-construction



La qualité de l'air que nous respirons est de plus en plus mise en cause dans le développement de certaines maladies, en particulier des allergies et des maladies respiratoires.



La qualité de l'air que nous respirons est de plus en plus mise en cause dans le développement de certaines maladies, en particulier des allergies et des maladies respiratoires. Dans un premier temps on s'est intéressé à l'air extérieur alors que nous passons la plus grande partie de notre vie dans des lieux clos (domicile, travail, transports, magasins...). La qualité de l'air dans ces lieux relève de deux facteurs : les comportements (ventilation, usage du tabac, choix de produits de nettoyage...) mais aussi les matériaux utilisés dans la construction et l'agencement des lieux fréquentés.

Ayant moi-même participé à la récente enquête de "l'UFC-Que Choisir" sur la qualité de l'air intérieur dans les lieux fréquentés par les parlementaires, j'ai pu constater que le fait de fumer dans mon studio ne me permettait pas d'évaluer la part de responsabilité des matériaux utilisés dans le constat d'un air malsain (présence de benzène et de formaldéhyde, notamment...) et ceci malgré une aération que je pensais efficace. Mais peut-

être ces matériaux sont-ils aussi la cause de cette pollution... Actuellement, en dehors de tout étiquetage, je ne peux le savoir. Le Grenelle a prévu d'y remédier.

En effet le constat de l'influence des comportements sur la qualité de l'air intérieur n'épuise pas la question. C'est pourtant l'argument utilisé par le gouvernement pour refuser, lors des débats du Grenelle, les amendements visant à étendre l'étiquetage sanitaire des produits de construction et de décoration aux risques de développement de moisissures. C'est pourtant une donnée importante, non seulement pour les asthmatiques, mais aussi pour que chacun sache que le choix de tel ou tel matériau implique d'être vigilant sur certains comportements (en particulier ventilation et température). Cette extension d'étiquetage étant du domaine du réglementaire, espérons que le gouvernement prendra en compte ces préoccupations sanitaires légitimes.



FRÉDÉRIC DE BLAY

Professeur. Unité de Pneumologie, d'Allergologie et de Pathologie Respiratoire

Hôpitaux Universitaires de Strasbourg - Institut du Rhin Supérieur, Université de Strasbourg



MOISSURES DE L'HABITAT : EFFETS SUR LA SANTE RESPIRATOIRE

Les moisissures, font partie des polluants biologiques de l'habitat. Au cours des dix dernières années de nombreuses publications ont rendu compte du rôle délétère des moisissures sur la santé respiratoire à la fois en raison de leur potentiel allergénique mais aussi par les substances pro-inflammatoires non spécifiques qu'elles peuvent libérer.

Une méta analyse récente (étude qui reprend tous les travaux publiés sur les sujets, qui recalcule les résultats statistiques de toutes ces publications) montre une augmentation du risque de sifflement, de toux et d'asthme en relation avec l'exposition à l'humidité et aux moisissures¹.

Outre leur pouvoir allergénique, les moisissures peuvent avoir une action néfaste sur les poumons par d'autres mécanismes. Les moisissures ont été impliquées dans la genèse de la rhinite allergique et dans d'autres maladies respiratoires allergiques en raison de leur pouvoir allergénique.

Ainsi, il a été démontré que la présence de moisissures tel qu'*alternaria* et *cladosporium* favorise l'apparition d'anti-corps de l'allergie (IgE chez l'homme) vis à vis d'*alternaria* et de *cladosporium*. Ces deux moisissures font partie des espèces les plus souvent retrouvées dans l'habitat.

Par ailleurs, il existe un lien entre la présence d'anti-corps de l'allergie (IgE) vis à vis de moisissures et les symptômes de toux et d'asthme. La présence de sensibilisation (IgE) vis à vis d'*alternaria* augmente le risque d'asthme de trois fois chez les enfants de 6 ans et à l'âge de 11 ans de cinq fois². Enfin, l'existence d'une sensibilisation à *alternaria* associée à une exposition à cette moisissure est responsable d'une augmentation de risque sévère, de plus de vingt fois.

A côté des allergènes, les moisissures peuvent avoir un effet néfaste sur les poumons. En effet, l'enveloppe des moisissures contient des β 1-3 glucanes qui sont des facteurs pro-inflammatoires qui agissent sur les bronches.

Par ailleurs, les moisissures produisent des composés organiques volatils lors de leur développement qui peuvent avoir un effet irritant sur l'arbre bronchique.





Sachant que 30% de nos concitoyens sont allergiques, le nombre de personnes à risque de développer une pathologie en rapport avec les moisissures est important.



Ainsi, la présence d'odeur de moisi augmenterait le risque d'asthme de plus de deux fois dans une étude prospective qui a suivi une cohorte de 1984 enfants de 1 an à 7 ans. Les moisissures peuvent également induire des pathologies respiratoires particulièrement graves chez des sujets plus ou moins immunodéprimés. Il s'agit des aspergilloses invasives qui sont des pneumonies (infection du poumon) extensives et mortelles dans 50% des cas. Elles peuvent toucher les sujets immunodéprimés soit en raison d'un traitement par chimiothérapie, soit parce qu'ils sont porteur d'un sida ou plus rarement des sujets prenant simplement un traitement corticoïde inhalé (pour un asthme ou une broncho-pneumopathie chronique obstructive). L'exposition à des concentrations importantes d'aspergillus dans l'air de leur domicile est favorisée par la présence de nombreuses plantes vertes, de nombreux pigeons sur les rebords de leur

fenêtre ou des travaux de réfection et peut entraîner l'apparition d'une aspergillose aiguë invasive. Ainsi les moisissures sont des agents qui peuvent avoir un rôle néfaste sur la santé respiratoire des habitants.

Sachant que 30% de nos concitoyens sont allergiques, le nombre de personnes à risque de développer une pathologie en rapport avec les moisissures est important.

Si on ajoute celles immunodéprimées soit de façon générale, soit locale par exemple les sujets emphysémateux, on comprend que la prise en charge des logements contenant des moisissures est impérative. C'est pourquoi, le développement des conseillers médicaux en environnement intérieur peut être une aide importante dans le traitement de cette pathologie liée à notre habitat³.

¹ Fisk WJ, Lei-Gomez Q, Mendell MJ. Meta-analyses of the associations of respiratory health effects with dampness and mold in homes. *Indoor Air* 2007; 17: 284-86.

² De Blay F, Ott M, Barnig C. Moisissures: relation entre exposition allergénique et symptômes. *Rev. Fr. Allergol. Immunol. Clin.* 2006; 46: 213-215.

³ Kraemer J.P, Ott M, Kopferschmitt M.C, Menier O, Bientz M, Pauli G., de Blay F. Apport d'un conseiller médical en environnement intérieur dans un cas d'aspergillose pulmonaire invasive. *Rev. Mal. Respir.* 2004; 21: 165-167.



DENIS CHARPIN

Professeur à la Faculté de Médecine,

Chef du service de Pneumologie à l'Hôpital Nord à Marseille

Secrétaire de la Commission Environnement à l'Académie Nationale de Médecine.



LES MOISSURES DU LOGEMENT ET LEUR IMPACT SUR LA SANTÉ DES OCCUPANTS

La présence de moisissures est très fréquente dans les logements. L' "Enquête logement" menée par l'Insee à intervalles réguliers comportait pour la première fois en 2002 une question sur la présence de moisissures. Cette enquête concernait un échantillon de 40.000 logements, représentatif du parc national de logements. Les conclusions de l'enquête faisaient apparaître que la présence de moisissure était notée dans 23% des logements et se trouvait être, de loin, le défaut le plus fréquent du logement¹ (Figure 1). Chez des patients ayant des symptômes respiratoires qui paraissent être plus marqués dans leur logement, le pourcentage de logements où est notée la présence de moisissures atteint 75%!²

Les moisissures, un des aéro-contaminants du logement

Un point fondamental réside dans le fait qu'un même logement renferme en général plusieurs aéro-contaminants. Ainsi, dans la série de 650 logements dans lesquels l'équipe de "Conseillers habitat-santé" (service consistant à aller faire l'inventaire des risques sanitaires dans le logement de patients) s'est rendue, la majorité des logements contaminés par des moisissures l'était aussi par les allergènes acariens² (Tableau I). Cet état de fait a plusieurs conséquences. Tout d'abord, en termes scientifiques, il n'est pas possible d'attribuer de manière causale un effet sanitaire à un seul aéro-contaminant. Ensuite, l'action sur un aéro-contaminant unique a peu de chance d'être efficace. Il faut surtout essayer de corriger le défaut à l'origine de la mauvaise qualité de l'air intérieur. Dans le cas des moisissures, le facteur

de risque essentiel est l'excès d'humidité. Nous y reviendrons dans le paragraphe suivant.

La liste des aéro-contaminants trouvés dans les logements, surtout les logements où se trouvent des moisissures, est longue: produits du métabolisme primaire (composés organiques volatils) et secondaire (mycotoxines) des moisissures, fragments de leur membrane externe (glucans), bactéries et là aussi produits de leur métabolisme (endotoxines) et fragment de leur membrane (lipopolysaccharides), allergènes tels qu'acariens, blattes (cafards) et poils d'animaux de compagnie. Le facteur de risque commun à l'apparition et au développement de ces différents aéro-contaminants est représenté par l'excès d'humidité.





Le facteur de risque commun à l'apparition et au développement de ces différents aéro-contaminants est représenté par l'excès d'humidité.



Les déterminants de l'excès d'humidité dans le logement

L'humidité du logement, qui s'apprécie par la mesure du degré hygrométrique de l'air ambiant, mais aussi des murs et des matériaux de construction, dépend d'un équilibre entre la production de vapeur d'eau dans le logement et son évacuation hors du logement.

La production de vapeur d'eau a différentes origines : la présence humaine, les activités humaines, les défauts du logement permettant l'intrusion d'eau extérieure et la fuite d'eau survenant à l'intérieur du logement.

La présence humaine génère de la vapeur d'eau par la respiration puisque l'air expiré est saturé en vapeur d'eau. Les activités humaines produisant de la vapeur d'eau sont représentées par les bains, douches, cuisine vapeur, ce qui justifie la présence de bouches d'aération dans ces pièces dites "de service". Le séchage du linge dans le logement en est une autre. Globalement, on estime qu'une personne utilise quotidiennement 150 litres d'eau !

L'évacuation de la vapeur d'eau résulte de la ventilation du logement. Un rapport de l'Observatoire de la qualité de l'air intérieur, publié en juin 2009 ³ estime que 21% des logements

(16% des logements collectifs et 25% des logements individuels) ne disposent d'aucun système de ventilation. Pour les autres, la ventilation est naturelle (*bouches d'aération*) dans 40% des cas et assurée par une ventilation mécanique contrôlée dans 40% des cas également. 50% du parc des logements a été construit avant 1967, date à laquelle a été instaurée la réglementation sur l'aération permanente et générale des logements. 70% des débits d'air extraits sont inférieurs à la valeur de référence car la bouche d'aération manque dans une pièce, n'est pas en bon état, a été bouchée ou que la VMC est totalement arrêtée. Curieusement, l'étude ne met pas en évidence de relation entre le type de ventilation et le taux de renouvellement de l'air dans la pièce.

Il n'y a pas d'étude mettant en évidence le type de matériau de construction utilisé dans un logement et le degré hygrométrique du logement.

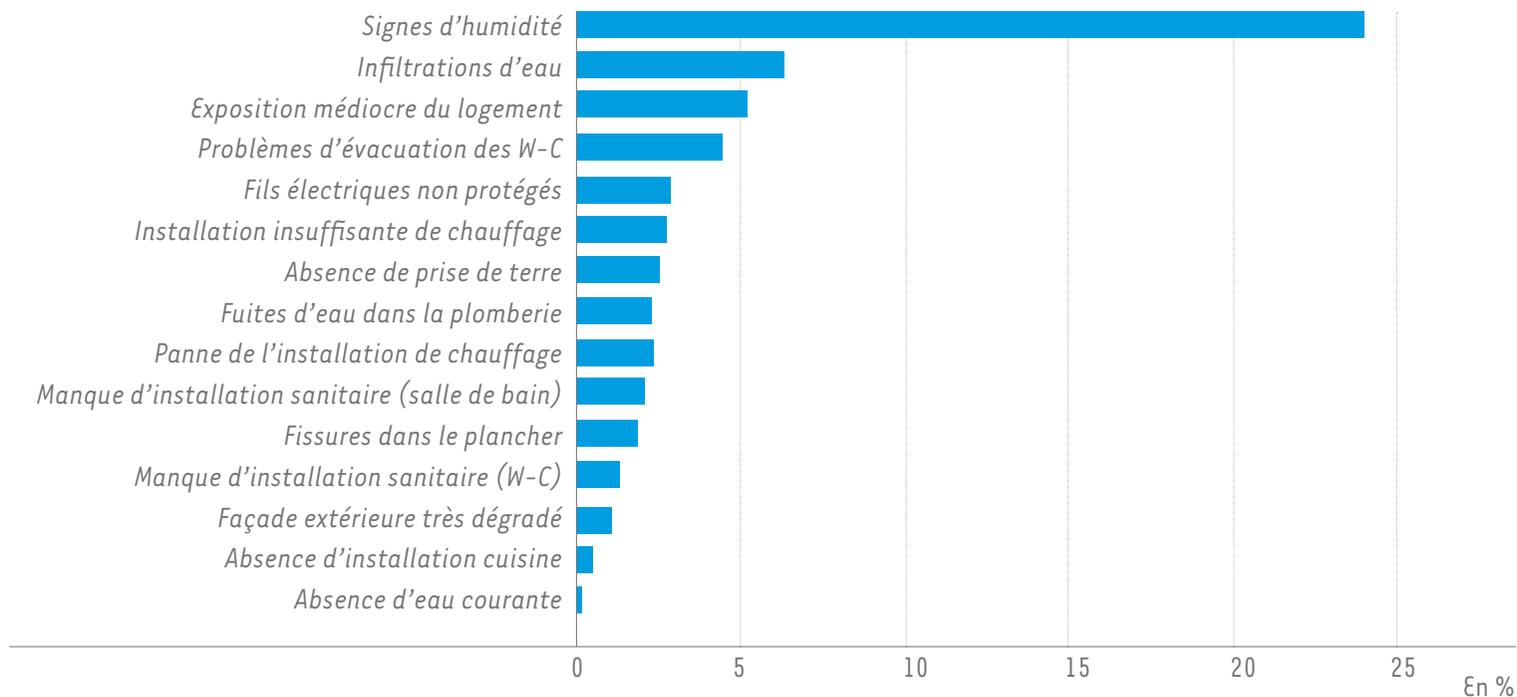
Les relations entre excès d'humidité du logement et santé

Ces relations ont fait l'objet de nombreuses études épidémiologiques dans lesquelles on met en relation la présence de moisissures et l'état de santé. La présence de moisissures



Figure 1

Part des logements concernés pour chaque difficulté



est, dans certaines études, basée sur les déclarations de l'occupant, parfois sur les constatations visuelles d'un technicien, éventuellement assorties d'un prélèvement pour identification de l'espèce de moisissure en cause. L'appréciation de l'état de santé repose sur les réponses à des questionnaires standardisés.

Les nombreuses études publiées ont fait, pour certaines d'entre elles jugées de bonne qualité, l'objet d'une "méta-analyse", technique statistique consistant à rassembler dans une seule analyse statistique les données publiées par des auteurs différents, ce qui en augmente considérablement la puissance statistique. Une telle méta-analyse a été publiée en 2007⁴. Elle concluait que le fait d'occuper un logement humide augmentait de 30 à 50% la fréquence des symptômes respiratoires, notamment asthmatiques. Une autre étude a concerné, dans 12 pays européens, la Russie et les Etats-Unis, 58.000 enfants âgés de 6 à 12 ans, issus de la population générale et à recueillir des

données sur la présence de moisissures à leur domicile et sur leur état de santé⁵. La présence de moisissures a été rapportée par 14% des enfants russes et jusqu'à 39% des enfants américains. Le risque de symptôme respiratoire était augmenté de 30% pour la toux nocturne et 50% pour la toux matinale. Des études plus ciblées ont été réalisées dans des groupes d'enfants asthmatiques, avec des prélèvements effectués au domicile de l'enfant. Chez le sous-groupe de ces enfants allergiques vis-à-vis d'une moisissure, on trouve une corrélation entre le taux de moisissure mesuré dans l'air de leur logement et l'importance de leurs symptômes asthmatiques. Une autre étude a évalué l'évolution de l'asthme après travaux de rénovation de l'habitat. Si la mesure du souffle n'était pas modifiée, la fréquence des symptômes asthmatiques et le recours aux médicaments de l'asthme avait significativement diminué. Plusieurs études se sont intéressées à l'état de santé de personnes travaillant dans



des immeubles qui avaient été victimes d'un dégât des eaux. Un résultat important de ces études est que la nature de la moisissure identifiée semble bien influencer le retentissement sur la santé. Les moisissures les plus hydrophiles, c'est-à-dire retrouvées dans les logements les plus humides, sont celles qui sont le plus associées à l'impact respiratoire. Ainsi apparaît la notion selon laquelle toutes les espèces de moisissures n'ont pas un impact équivalent sur la santé. Cela justifierait la pratique de prélèvements et l'identification des moisissures en cause lors des inspections sanitaires de logements, ce qui n'est pas réalisé actuellement lors de ces enquêtes pratiquées par les services de la DDASS (maintenant ARS) et les services communaux d'hygiène et de santé dépendant des municipalités.

Les perspectives d'amélioration

La prise en charge des patients doit inclure, en dehors de la prescription médicamenteuse, l'évaluation de l'environnement domestique du patient. Cette évaluation repose aujourd'hui sur l'interrogatoire du patient vu en consultation mais on sait que les informations qu'il fournit sont imprécises et ne permettent pas d'anticiper le taux d'aéro-contaminants, allergènes ou composés organiques volatils, auquel il (elle) est soumis(e).

Il faut développer les services d'audit environnemental du logement qui ont été créés par des initiatives locales encore limitées⁶. De ce point de vue, il convient de saluer l'initiative du Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement Durable et de la Mer qui vient de créer 16 postes sur une durée de 3 ans pour développer un réseau national de conseillers⁷.

Tableau I

Nature des risques observés	%
Présence de moisissures	74,4
Présence d'allergènes acariens	56,3
Présence de C.O.V.	9,0
Produits d'entretien à portée de mains des enfants	47,8
Médicaments à portée de mains des enfants	21,1
Circuit électrique non conforme	14,3
Exposition à un champ électromagnétique	2,8

¹ Charpin D, Charpin-Kadouch C, Jacquot A. Prévalence de l'habitat humide et facteurs prédisposants. Résultats de l'enquête logement de 2002. Document de travail N°F0703, Direction des statistiques démographiques et sociales, Insee 2006. ² Charpin-Kadouch C, Hugues B, Garans M, Dumon H, Charpin D. Le conseil habitat-santé dans la prise en charge des maladies allergiques respiratoires. *Rev Mal Resp* 2008 ; 25 : 821-827. ³ Observatoire de la qualité de l'air intérieur. Etat de la ventilation dans le parc de logements français, juin 2009. ⁴ Fisk WJ, Lei-Gomez Q, Mendell MJ. Meta-analyses of the associations of respiratory health effects with dampness and mold in homes. *Indoor Air* 2007; 17: 284-296. ⁵ Antova T, Pattenden S, Brunekreef B, Heindrich J, Rudnai P, Forestière F et al. Exposure to indoor mould and children's respiratory health in the PATY study. *J Epidemiol Community Health* 2008; 62: 708-714. ⁶ Charpin D, Baden R, Bex V, Bladt S, Charpin-Kadouch C, Keimeul C, et al. Environmental home inspection services in Western Europe. *Environ Health Prev Med* (sous presse). ⁷ www.ecologie.gouv.fr



FABIEN SQUINAZI

Docteur. Directeur du Laboratoire d'Hygiène de la Ville de Paris (LHVP)



VALÉRIE BEX-CAPELLE

Ingénieur hygiéniste au Laboratoire d'Hygiène de la Ville de Paris (LHVP)

LES AUDITS ENVIRONNEMENTAUX DANS L'HABITAT L'EXPÉRIENCE DU LABORATOIRE D'HYGIÈNE DE LA VILLE DE PARIS SUR LA DÉTECTION ET L'IDENTIFICATION DES MOISSURES

De nombreuses études réalisées dans différents pays montrent qu'il existe une relation entre la présence d'humidité et de moisissures dans les environnements intérieurs et la prévalence de symptômes respiratoires. En outre, les pays dont la prévalence de l'asthme est la plus forte ont un pourcentage plus important de logements humides. La sensibilisation aux moisissures représente un facteur de risque élevé pour l'asthme sévère chez l'adulte.

Depuis une quinzaine d'années, le Laboratoire d'hygiène de la ville de Paris (LHVP) réalise des audits environnementaux au domicile de personnes suivies par un médecin qui suspecte un lien entre la pathologie de son patient et l'environnement domestique. Cette démarche s'inspire de celle décrite dans la norme Afnor XP X 43-403 "Audit de la qualité de l'air – dans les bâtiments à usage d'habitation et locaux similaires" publiée en décembre 1999, du document "Moulds and moisture" édité par l'OMS en 2004 et du Guide "Contaminations fongiques en milieux intérieurs" publié en septembre 2006 par le ministère chargé de la santé, sous l'égide du Conseil supérieur d'hygiène publique de France.

Le 13 septembre 2010, la Mairie de Paris a validé cette pratique en créant au sein du LHVP une "Cellule de conseil en santé et environnement intérieur" avec l'embauche complémentaire d'une Conseillère médicale en environnement intérieur.

Les objectifs de l'audit environnemental sont d'appréhender l'exposition du patient aux moisissures, de lui donner des conseils pour réduire son exposition à domicile et de l'orienter, si nécessaire, vers d'autres services spécialisés, sociaux ou techniques.





De nombreuses études montrent qu'il existe une relation entre la présence d'humidité et de moisissures dans les environnements intérieurs et la prévalence de symptômes respiratoires. La sensibilisation aux moisissures représente un facteur de risque élevé pour l'asthme sévère chez l'adulte.



Un audit en plusieurs temps

L'audit se déroule en plusieurs temps : le contact avec le médecin prescripteur, la visite des lieux, les prélèvements, le questionnaire, les conseils et le rapport au médecin.

Le contact préalable avec le médecin prescripteur est nécessaire afin de mieux préciser la demande et de recueillir les éléments qui ont conduit à la suspicion d'un lien entre la pathologie et le logement.

La visite approfondie de l'habitat permet de rechercher la présence d'humidité et d'éventuels réservoirs de moisissures afin d'élaborer une stratégie de prélèvements. La flore fongique est recherchée à partir de prélèvements de surfaces, de poussières, de matériaux voire d'air (cas des contaminations cachées). Un relevé de la superficie des surfaces moisies est effectué. Une attention particulière est également portée aux sources potentielles d'autres polluants susceptibles d'être présents dans les ambiances intérieures : pneumallergènes (acariens, blattes, chat, chien, rongeurs,...), agents biologiques ou polluants chimiques (monoxyde de carbone, dioxyde d'azote, composés organiques volatils, formaldéhyde,...) qui peuvent aussi être mesurés ou dosés.

Le questionnaire "Habitat/Santé" est complété pendant l'enquête environnementale. Il est divisé en deux parties :

1. Le questionnaire "habitat" comprend :

- > les renseignements administratifs,
- > une description de l'environnement extérieur et du bâtiment,
- > une description des caractéristiques du logement : type, taille, étage, superficie, nombre d'occupants, nombre d'enfants, suroccupation, présence d'animaux, de plantes, type de chauffage, nature des revêtements, principe d'aération, climatisation,
- > une description des problèmes d'humidité : sensation d'humidité, odeur de moisi, tâches d'humidité, dégradations des revêtements, dégât des eaux, présence de moisissures et caractérisation de la contamination fongique,
- > une description de l'entretien du logement : sèche-linge, aspirateur, habitudes d'aération, présence (dés) humidificateur, travaux récents

2. Le questionnaire "santé" renseigne sur :

- > les allergies connues et les antécédents familiaux,
- > les symptômes, leur date d'apparition et leur évolution par rapport à la fréquentation du logement, au cours de la journée, de l'année
- > le traitement en cours.



Des conseils personnalisés à domicile

Au cours de l'enquête, en fonction des éléments recueillis, des conseils sont donnés aux occupants pour le nettoyage des surfaces moisies : mode opératoire en fonction de la nature des supports endommagés, mesures de protection individuelle, aspiration des poussières. Trois entreprises de propreté ont obtenu une qualification "Qualiprope" pour le nettoyage et la décontamination des surfaces contaminées par les moisissures (faut il en parler étant donné les mauvais retours obtenus). D'autres conseils sont donnés sur l'aération et la ventilation des locaux et sur les règles d'hygiène de base.

La recherche de ou des causes de l'humidité et son traitement sont indispensables à l'élimination définitive des réservoirs fongiques. Elles nécessitent de faire appel à des organismes techniques spécialisés.

Un compte-rendu au médecin traitant

Au laboratoire, lorsque les identifications fongiques sont terminées (elles nécessitent plusieurs semaines en fonction du nombre d'espèces présentes), un rapport est adressé au médecin prescripteur et une copie est envoyée aux patients. Une description détaillée du logement et des réservoirs fongiques ainsi que les identifications de moisissures allergisantes permettent au médecin d'appréhender l'exposition de son patient aux moisissures domestiques.

Les conseils prodigués sur place lors de la visite sont repris dans le rapport. Le médecin peut ainsi faire le point avec son patient sur les mesures que ce dernier a pu mettre en œuvre pour limiter son exposition aux moisissures et sur l'évolution de son état de santé.

Les principales moisissures rencontrées

La flore fongique des habitats peu ou pas contaminés (surface moisie nulle ou peu étendue, inférieure à 50 cm²) ressemble beaucoup à celle de l'air extérieur. Elle est composée principalement de *Penicillium*, *Aspergillus* et *Geotrichum*. Dans les habitats qui ont une surface contaminée importante, les *Aspergillus* et les *Geotrichum* sont moins abondants. En revanche, le genre *Cladosporium*, et particulièrement l'espèce *Cladosporium cladosporioides*, sont très représentés.

L'audit environnemental est un outil intéressant pour le médecin pour apprécier l'exposition aux moisissures à partir de l'analyse par culture des différents réservoirs domestiques potentiels : poussières, surfaces, air. La recherche d'autres indicateurs est actuellement en cours et devrait à l'avenir mieux préciser l'exposition des patients : mesure d'indicateurs globaux de la biomasse fongique, tels que l'ergostérol ou les glucanes, mesure des composés organiques volatils d'origine fongique, dosage des mycotoxines, analyse des espèces fongiques par Amplification en Chaîne par Polymérase (PCR quantitative),...



BERTRAND DELCAMBRE

Président du Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB)



LA PROBLÉMATIQUE “MOISSURES ET BATIMENTS” AU CSTB

ÉLÉMENTS DE CONTEXTE

Les moisissures ou champignons filamenteux sont naturellement présents dans l'environnement extérieur, sur la matière organique morte et en décomposition et dans le sol. Ces microorganismes, dont les spores de taille comprise entre 2 et 200 µm assurent la dispersion, pénètrent dans les locaux essentiellement via l'aération des bâtiments ou par l'intermédiaire des occupants.

Or, depuis les années 70, la politique d'économie d'énergie mise en oeuvre, notamment en France, a entraîné un confinement des bâtiments. Cette politique, associée à la démocratisation et la généralisation des équipements ménagers générateurs de vapeur (lave-linge, sèche-linge...) a eu pour conséquence une augmentation de l'humidité propice à la prolifération des microorganismes, notamment des moisissures dans les habitations.

La contamination des environnements intérieurs par les moisissures, n'est pas pour autant un phénomène nouveau, elle est, en effet, déjà évoquée dans la bible [Lévitique (14 :33-14 : 57)] et constitue, au vu du volume de publications sur le sujet, un axe de recherche pour de nombreuses équipes à travers le monde (Amérique du Nord, pays d'Europe du Nord, Belgique, Italie, Australie, France...). Les études répertoriées concernent notamment les risques sanitaires potentiellement induits par ces microorganismes, les dégâts aux matériaux ou encore les moyens susceptibles de prévenir ou traiter des développements fongiques.

Cet intérêt est exacerbé par le constat que de nombreux logements des pays industrialisés sont concernés par des problèmes d'humidité et/ou de moisissures. Ainsi, des études basées sur des questionnaires ou inspections visuelles montrent une proportion très importante de logements contaminés. Des études européennes rapportent ainsi que la proportion de logements présentant des moisissures visibles peut atteindre 25 % (Brunekreef, 1992; Pirhonen, 1996). Des études réalisées en Amérique du Nord font, quant à elles, état de taux de contamination variant entre 14 et 38 % (Dales, 1991). Cette proportion atteint 80 % lorsque sont prises en compte les habitations avec une forte humidité détectée dans les murs (Miller, 1988; Koskinen, 1999).



Or actuellement, en France, contrairement à certains pays notamment d'Amérique du Nord, les occupants confrontés à des problèmes de moisissures ne disposent pas d'informations ou de guide sur la marche à suivre pour prévenir ou traiter, en toute sécurité, leur environnement contre le développement de champignons microscopiques.

En France, la contamination des environnements intérieurs par les moisissures concerne une proportion importante des foyers français avec des valeurs comprises entre 37 et 42 % d'après la campagne nationale logements réalisée par l'OQAI dont 2 % (soit plus de 610 000 logements) présentaient des surfaces contaminées de plus de 1 m² (Moularat, 2008).

Or, cette contamination fongique des environnements intérieurs est préoccupante car mise en cause non seulement dans la survenue de diverses maladies respiratoires mais aussi dans la biodégradation des matériaux.

Les moisissures : des effets sanitaires avérés

Les effets induits par la présence de moisissures dans l'habitat peuvent être répartis en quatre catégories : les infections, les maladies immuno-allergiques, les toxi-infections, et les effets irritatifs.

Les infections fongiques invasives (IFI) : cas de l'aspergillose invasive nosocomiale.

Comme toute infection, l'aspergillose invasive nosocomiale résulte de l'entrée et de la multiplication d'agents biologiques chez un hôte. Cette maladie de l'appareil respiratoire est provoquée par l'inhalation de spores d'*Aspergillus*, microorganismes ubiquitaires présents couramment dans le sol et les débris végétaux en décomposition.

La survenue d'épidémies d'aspergillose invasive nosocomiale, dont le pronostic est très sévère avec 50 à 100 % de décès et qui concerne généralement des patients immunodéprimés (malades du SIDA, personnes sous immunodépresseurs), est souvent associée à des travaux de rénovation durant lesquels la concentration d'*Aspergillus* dans l'air et sur les surfaces augmente de façon considérable (Aisner et al., 1976 ; Bocquet et al., 1993). Lors d'une enquête épidémiologique réalisée entre 1994 à 1999 dans les hôpitaux parisiens, le Réseau Aspergillose

de l'Assistance Publique – Hôpitaux de Paris (AP-HP) a recensé 621 cas d'aspergillose invasive nosocomiale (AIN) dont 115 certaines et 506 probables (Cornet et al., 2002).

Les maladies immuno-allergiques

D'Halewyn et al. (2003), indiquent que 5 % des enfants d'âge scolaire réagissent positivement aux tests d'extraits de moisissures, ce taux pouvant atteindre 10 % de la population voire 21 à 27 % chez les personnes souffrant d'asthme (d'Halewyn et al., 2003).

Parmi les quatre types d'hypersensibilité définis par Gell et Coombs, en 1963, trois peuvent être provoqués par l'exposition à des spores isolées, en amas ou encore à des hyphes (Gell and Coombs, 1963; Yang and Johanning, 1997) : l'hypersensibilité de type 1, caractérisée par une réaction survenant immédiatement après le contact avec l'allergène, peut être la cause de réactions pathologiques aiguës telles qu'asthme ou rhinite (Roitt et al., 1985 ; Yang and Johanning, 1997). Le développement de cette allergie implique, dans la plupart des cas, une prédisposition génétique ; hypersensibilité de type 3 provoquée par la présence en grandes quantités de complexes immuns (formés par les anticorps au contact des antigènes). Les complexes immuns peuvent se former dans les poumons après l'inhalation répétée





Depuis les années 70, la politique d'économie d'énergie a entraîné un confinement des bâtiments. Cette politique a eu pour conséquence une augmentation de l'humidité propice à la prolifération des microorganismes, notamment des moisissures



d'allergènes d'origine fongique. Cette situation est observée dans les cas d'alvéolites allergiques extrinsèques (maladie des poumons de fermiers due à l'exposition prolongée au foin moisi). Les symptômes apparaissent 6 à 8 heures après l'exposition entraînant des malaises de type grippal, courbatures, fièvre, perte de poids, avec une évolution vers une fibrose du parenchyme pulmonaire. La cessation de l'exposition, si le stade fibrose n'est pas encore atteint, permet de retourner à un statut antérieur (Gravesen et al., 1994) l'hypersensibilité de type 4, ou hypersensibilité retardée, se manifeste lors d'un second contact avec l'antigène. Celle-ci induit une série de réactions inflammatoires.

Les toxi-infections

Les effets toxiques liés aux moisissures résultent de l'action de métabolites secondaires fongiques, les mycotoxines. Ces molécules ne sont pas volatiles aux températures ambiantes mais une exposition par voie respiratoire peut se produire lors de l'inhalation de particules les contenant (poussières, spores, fragments microscopiques de mycélium ou d'hyphes) (Brochard et Le Bâcle, 2009). Une fois inhalées, elles peuvent être à l'origine, souvent à très faibles concentrations, d'effets délétères au niveau de l'appareil respiratoire, des muqueuses nasale et oculaire ou encore du système immunitaire voire même de provoquer la mort chez l'homme ou l'animal (Tuomi et al, 2000 ; Boutin-Forzano et al, 2006).

Les conséquences de l'inhalation de mycotoxines sont soupçonnées d'être particulièrement graves chez certaines catégories de personnes telles que les nourrissons. Ainsi *Stachybotrys chartarum*, reconnu pour causer diverses mycotoxicoses, a été associé à des cas d'hémorragie pulmonaire

chez de jeunes enfants survenus à Cleveland (Ohio) en 1993-1994 causant la mort de plusieurs patients Montana et al., 1997). La révision des études sur ce scénario a fait ressortir que le lien étiologique n'était pas clairement établi. Toutefois, d'autres signalements de cas similaires ont été publiés et les lignes directrices sur l'évaluation et l'élimination de la contamination fongique en milieu intérieur publiées par la ville de New York recommandent que les nourrissons souffrant d'hémorragie pulmonaire venant d'un domicile contaminé n'y retournent qu'une fois les mesures correctives apportées (Service d'hygiène de la ville de New-York, 2000)

Outre les mycotoxines, les conidies contiennent une substance biologiquement active : le b(1-3) glucane, qui serait impliquée dans l'apparition du syndrome toxique (Wan and Li, 1998 ; Bex and Squinazi, 2006) et qui aurait des propriétés irritantes.

Effets irritatifs : rôle des Composés Organiques Volatils d'origine microbienne (COVm)

L'effet irritatif se manifeste au niveau des muqueuses oculaire, nasale, digestive et bronchique et de la peau. Les signes cliniques les plus fréquemment décrits s'apparentent à des rhumes ou à des gripes à répétition. Il s'agit de rhino-conjonctivite, d'irritations de l'oropharynx et de l'arbre bronchique, de congestion nasale ou encore de démangeaisons (Boutin-Forzano et al, 2006 ; d'Halewyn et al, 2002).

Le mécanisme à l'origine de ces symptômes est encore inconnu. Toutefois, l'hypothèse généralement retenue est celle d'un phénomène d'irritation mécanique, due au contact direct entre les muqueuses et des spores et fragments fongiques aéroportés (glucanes) associé à une irritation chimique causée par les produits irritants et toxiques contenus dans les spores ou émis



lors du développement de ces microorganismes (composés organiques volatils et mycotoxines) (d'Halewyn et al, 2002 ; Boutin-Forzano et al, 2006).

Les moisissures : de redoutables colonisateurs

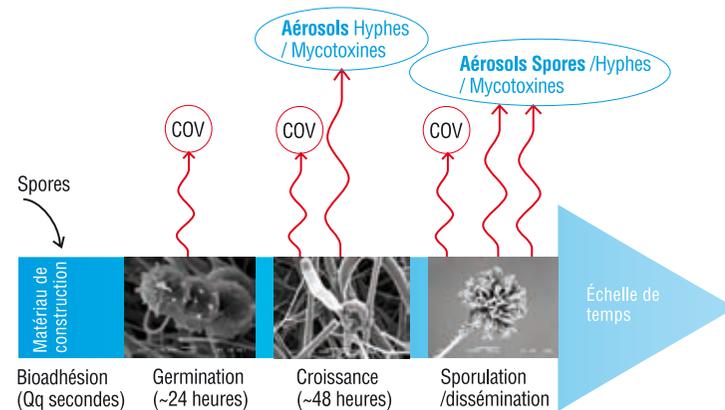
Concernant l'altération des bâtiments par ces microorganismes elle intervient lors de la colonisation fongique du bâti.

Ce phénomène consiste en trois étapes:

- > L'adhésion des spores sur les surfaces qui résulte essentiellement de la mise en oeuvre de forces physico-chimiques,
- > le développement fongique qui se traduit par la colonisation proprement dite du support et sa biodétérioration,
- > la dissémination durant laquelle les spores ou conidies produites par les structures conidiogènes du microorganisme sont dispersées et peuvent infester d'autres supports de leur environnement

Ainsi, trois phases interviennent lors du développement des moisissures : la germination, la croissance et la sporulation. La figure 1 illustre les différentes phases du développement fongique et les émissions particulaires et chimiques associées. Dans les conditions de croissance les plus propices, la germination des spores se produit environ 24h après leur dépôt sur la surface, la croissance des hyphes jusqu'à la formation du thalle et de structures conidiogènes porteuses de millions de spores susceptibles de se disséminer dans l'environnement et de coloniser d'autres supports intervient dans les 48h.

Figure 1
Phases du développement fongique (Boissier, 2003)



La colonisation et le degré de biodétérioration résultants dépendent de facteurs liés au support : propriétés physico-chimique, état de surface, teneur en eau, pH ; et au microorganisme. La présence, d'eau libre en quantité suffisante, d'une température appropriée [température optimale de croissance généralement comprise entre 22 et 35°C pour les espèces fongiques des environnements intérieurs (Ayerst, 1966 ; Panasenko, 1967) et de nutriments constituent les principaux paramètres de germination et de développement des spores fongiques.

Concernant les nutriments, les moisissures sont susceptibles, de par leur large arsenal enzymatique, de se développer partout où de la matière organique est disponible. Ainsi la plupart des matériaux des environnements intérieurs sont susceptibles d'être utilisés par ces microorganismes qui y puisent les nutriments constitutifs (carbone, hydrogène, oxygène, phosphore, potassium...), les oligonutriments, (fer, cuivre, manganèse, zinc et le molybdène) dont certains sont des cofacteurs essentiels au bon fonctionnement enzymatique de la cellule, et les vitamines nécessaires à leur développement.



LES ACTIONS DE RECHERCHE ET D'ÉVALUATION AU CSTB

Compte tenu des multiples effets délétères potentiellement induits par la prolifération de ces microorganismes dans les environnements intérieurs, le Laboratoire de Microbiologie des Environnements Intérieurs du CSTB a engagé depuis plus de 10 ans diverses actions de recherche.

La démarche scientifique adoptée a consisté en la mise au point d'outils de surveillance, d'alerte et de diagnostic des espaces clos vis-à-vis des moisissures, l'élaboration d'actions de gestion pour réhabiliter les environnements contaminés, d'outils d'évaluation de la vulnérabilité des produits vis-à-vis d'une prolifération fongique ou encore l'élaboration de traitements préventifs innovants des surfaces. Des travaux ont également été réalisés dans le domaine de la métrologie des aérosols fongiques tant vis-à-vis de leur production, de leur collecte que de leur analyse. Ainsi des méthodes de dosage biochimiques ont été adaptées aux composants fongiques, et l'approche moléculaire de cette pollution particulière a été adoptée pour en déterminer plus finement la composition et dangerosité associée. Le laboratoire a également développé ses compétences dans l'identification des moisissures.

Protocole d'évaluation de la vulnérabilité des matériaux vis-à-vis d'une contamination fongique

Les moisissures sont capables, grâce à leur large arsenal enzymatique, de dégrader la plupart des matériaux qu'ils utilisent comme source de nutriments, ce qui pousse les industriels à évaluer et améliorer la résistance de leur produit vis-à-vis de ces microorganismes.



Photographies du laboratoire de mycologie du CSTB illustrant le protocole d'évaluation

Dans ce contexte le CSTB a élaboré une procédure d'essai destinée à déterminer la vulnérabilité des produits vis-à-vis de ce type de biocontaminants. Ce protocole, qui s'appuie sur la norme EN NF 846, s'en distingue par deux principaux aspects relatifs au mode de contamination et à l'évaluation de la prolifération microbienne. En effet dans un souci de réalisme, nous avons opté par une contamination des surfaces par voie aérienne avec la production contrôlée et reproductible d'un aérosol fongique par un système de génération original. Concernant l'évaluation de la prolifération microbienne, outre les observations macro et microscopiques préconisées dans la norme, la biomasse fongique est quantifiée par le dosage, en chromatographie en phase liquide, d'un constituant de la paroi fongique : l'ergostérol. Cette approche a été adoptée pour accéder à des développements qui se produiraient dans la masse du produit, et de fait, inaccessibles par la seule observation des surfaces.



Cette approche biochimique, qui complète les observations micro et macroscopique, a ainsi permis de révéler le caractère vulnérable de produits que la seule observation de surfaces aurait qualifié d'inertes.

Cette procédure est d'ores et déjà utilisée en routine dans le cadre de l'Avis Technique et a, de fait, été mise en oeuvre pour évaluer de nombreux produits d'isolation qu'ils soient traditionnels ou innovants.

Des travaux destinés à élaborer un test permettant d'évaluer la durabilité des matériaux lors de leur vie en oeuvre (combinaisons réalistes de matériaux) et l'impact des procédures de mises en oeuvre sur la pérennité des ouvrages vis-à-vis des moisissures sont envisagés.

Élaboration de traitements préventifs innovants

Au sein des environnements intérieurs, la plupart des produits de construction et de décoration de natures aussi diverses que plastiques, résines, bois (Lugauskas et al., 2003), métaux ou substances inorganiques (ciment, pierres, roches) (Warscheid and Braams, 2000, Gu et al., 1998), sont susceptibles d'être colonisés par les moisissures. Les moyens existants utilisés jusqu'à présent pour préserver ces matériaux sont fortement réglementés du fait de leur toxicité. Dans le but de mettre en place un traitement préventif de la contamination fongique des supports, une étude bibliographique des différents mécanismes de dégradation des supports, mis en place par les moisissures a été réalisée avec la construction d'une base de données des biocides utilisés dans le secteur des bâtiments et dans différents

domaines d'activités. L'ensemble de ces éléments a permis d'envisager plusieurs traitements alternatifs dont l'efficacité et la pérennité sont en cours d'étude.

Outils de diagnostic et de surveillance de la contamination fongique

Le développement des moisissures s'accompagne d'émissions de nature particulières (spores, fragments mycéliens, particules de matériaux colonisés) et gazeuse (COVm).

Parmi les molécules d'intérêt dans une démarche de diagnostic et de surveillance des espaces clos vis-à-vis des moisissures différents indicateurs ont été retenus : l'ergostérol, des COV d'origine microbienne cibles, des mycotoxines spécifiques. Aussi diverses procédures ont été élaborées pour permettre la détection et/ou le dosage des composants cibles à savoir :

- > Un indice de contamination fongique basé sur la détection de COVm cibles,
- > Une procédure de quantification de la biomasse fongique aéroportée par dosage de l'ergostérol,
- > Une procédure de détection de mycotoxines...

Élaboration d'un indice de contamination fongique des environnements intérieurs

Traditionnellement, la contamination fongique d'un environnement est objectivée par son examen visuel ou par la culture des microorganismes présents dans l'air, sur les surfaces ou dans les poussières. De ce fait, les méthodes usuelles permettent rarement de détecter les contaminations cachées





La démarche scientifique adoptée a consisté en la mise au point d'outils de surveillance, d'alerte et de diagnostic des espaces clos vis-à-vis des moisissures, le laboratoire a également développé ses compétences dans l'identification des moisissures.



(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.

Aussi, la mise au point de méthodes basées, notamment, sur la détection de métabolites fongiques pour estimer la présence de ces microorganismes et surveiller la qualité microbiologique d'environnements "sensibles", a fait l'objet de nombreuses études. Ainsi, dès 1988, Miller, relayé par d'autres auteurs, suggère l'usage des Composés Organiques Volatils d'origine microbienne (COVm) comme traceurs d'une croissance fongique dans des bâtiments (Miller et al., 1988 Sunnesson et al., 1996, Korpi et al., 1998 ; Bjurman et al., 1999).

Plus récemment, Keller (2001) identifie les COV responsables de l'odeur de moisi (1-octen-3-ol, 2-méthyl-1-propanol, diméthylsulphide, diméthylsulfide, diméthylsulphoxide, 2-heptanone et la géosmine). Il réalise dans 131 habitations des prélèvements d'air et détecte ces COV dans l'ensemble des résidences présentant un signe de contamination fongique (odeur ou visible) (n=96). Cependant, l'utilisation de COV comme traceurs fongiques restait freinée en raison de leurs faibles taux d'émission et de leur apparent manque de spécificité.

En 2003, les chercheurs du CSTB (Moularat et al., 2005, 2008a, 2008b), au travers de leurs travaux sur les phénomènes à l'origine des COVm (métabolisme, biodégradation des matériaux), vont renforcer cette approche et finalement déterminer une empreinte globale spécifique de la contamination fongique des

environnements intérieurs. Uniquement qualitatif (présence/absence), cet indice s'affranchit ainsi des limites liées aux faibles concentrations en COVm. L'outil ainsi développé a permis de statuer sur la présence de micromycètes dans 37 % à 42 % des logements français à l'occasion de la campagne nationale de l'Observatoire de la qualité de l'air intérieur (Moularat et al., 2008c). Cette approche a depuis également été éprouvée dans d'autres études à visée épidémiologique :

- >ISAAC-FERMA menée par le CHU de Clermont Ferrand portant sur la corrélation entre l'exposition aux aérosols fongiques et l'asthme chez l'enfant,
- >ESMHA, menée par l'Observatoire Régional de Santé d'Ile de France, concernant les effets sanitaires des moisissures dans l'habitat.

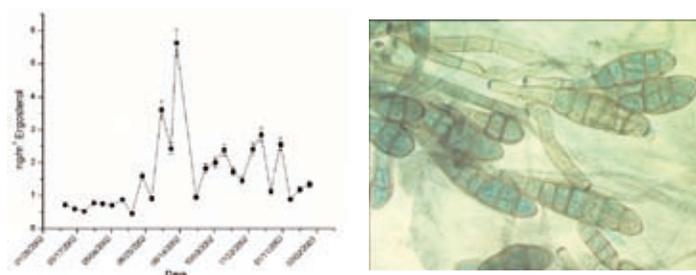
Des études menées en collaboration avec des organismes en charge de la sauvegarde du patrimoine tels que : le Laboratoire de Recherche des Monuments Historiques, les Archives Nationales ou encore la Bibliothèque Nationale de France; montrent également l'intérêt des empreintes chimiques comme moyen de détection. Cet outil a également été mis en oeuvre dans une étude préliminaire portant sur la contamination fongique des établissements scolaires et son application à plus grande échelle est en cours de discussion auprès des pouvoirs publics. L'élaboration d'indices spécifiques dédiés à la surveillance d'environnements sensibles particuliers tels que musées, châteaux ou bibliothèques, est actuellement en cours.



Quantification de la biomasse fongique aéroportée par dosage de l'ergostérol

Afin de mieux appréhender le niveau d'aérocontamination fongique des environnements intérieurs, nous avons adapté et testé une méthode d'évaluation de la biomasse fongique. Le dosage en chromatographie en phase liquide (HPLC) d'un constituant de la membrane cellulaire des champignons microscopiques : l'ergostérol, a été employé. Cette méthode permet de détecter et d'identifier la molécule d'ergostérol à une concentration de 40 ng/ml ($n = 33$, $\bar{D} = 5$).

Figure 3



Graphique illustrant la mesure en continu de l'ergostérol sur le site de champs sur Marne en 2003 et photographie d'*Alternaria alternata* isolé au laboratoire du CSTB

En utilisant conjointement ce dosage et un appareil de collecte à coupelle rotative, la mesure de la flore fongique globale est rendue possible avec une limite de quantification de 0,4 ng/m³ soit une valeur théorique de 150 spores/m³. Les mesures de l'ergostérol réalisées sur différents sites ont montré que cette méthode permettait d'appréhender les différentes situations d'expositions des occupants à une flore fongique aéroportée (Robine et al., 2006).

Détection de mycotoxines

Dans le cadre de l'évaluation de l'exposition des personnes aux mycotoxines dans les environnements intérieurs, la méthode adoptée classiquement consiste à rechercher et à identifier les souches toxigènes. Or, la production de toxines par ces souches n'est pas systématique.

La littérature fait en effet référence à de nombreux facteurs qui pourraient influencer leur production : la température, l'activité de l'eau, le pH, la concentration d'oxygène et la présence d'autres microorganismes (Brunekreef, 1992 ; Pirhonen et al., 1996). À notre connaissance, aucune méthode permettant d'accéder aux mycotoxines potentiellement inhalées n'a encore été proposée. Or, la mesure des aérosols de mycotoxines nous apparaît comme le moyen le plus direct pour évaluer le danger lié à l'exposition de ces moisissures toxiques. Pratiquement, nous avons mis au point une technique de dosage des mycotoxines. Nous avons ainsi développé une méthodologie, en chromatographie liquide (HPLC), permettant de mesurer trois mycotoxines



majeures des environnements intérieurs (la stérigmatocystine, la déoxynivalénol et l'ochratoxine A) dans l'air. Les essais in situ réalisés ont montré que l'association de cette technique d'analyse et d'un appareil de collecte à coupelle rotative, validé par ailleurs, permet la mesure des concentrations des trois mycotoxines aéroportées avec une limite de quantification théorique de 60 pg/m³ d'air.

De plus, l'étude du transfert des mycotoxines du substrat vers l'air a montré que la quantité aérosolisée n'était pas proportionnelle à celle présente sur les matériaux moisissés. Aussi, la mesure dans l'air des mycotoxines nous semble un moyen plus pertinent pour approcher l'exposition des populations (Moularat and Robine, 2008 et brevet INPI 07 01583).

Un guide de réhabilitation à destination des particuliers

La rédaction d'un guide à l'usage des particuliers confrontés à des proliférations de moisissures dans leur habitat a été décidée en collaboration avec la Direction Générale de la Santé. Ce travail a consisté en une approche critique des guides et recommandations inventoriés au travers d'une large recherche bibliographique qui a notamment révélé que l'Amérique du Nord avait une conscience aigüe de cette problématique, cet intérêt se traduisant par :

- > la production de documents, tant à destination des occupants confrontés à un développement fongique (Société Canadienne d'Hypothèques et de Logements), que des professionnels (Service d'hygiène de la ville de New-York, 2008, IICRC, 2008),
- > la mise en place de réseaux de professionnels formés, a priori, tant à l'expertise des bâtiments, qu'au nettoyage et à la rénovation des logements présentant des dégâts induits par la croissance de moisissures.

Figure 4

**Chambre d'enfants contaminée par *Aspergillus versicolor*,
Alternaria alternata, *Stachybotrys chartarum***



Au travers de fiches pratiques, ce guide a pour vocation d'orienter les particuliers confrontés au développement de ces microorganismes indésirables dans leur logement vis-à-vis des mesures à adopter pour traiter les dégâts, en toute sécurité, et en comprendre les causes pour prévenir leur réapparition. Ce document est en cours de diffusion auprès de la Direction Générale de la Santé.



Photo F. Renault

RAPHAËL SLAMA

Président de l'Association Qualitel



VERS UNE EXIGENCE “SANTÉ” DANS LES RÉFÉRENTIELS DE L'ASSOCIATION QUALITEL

La qualité environnementale est la résultante des interactions du bâtiment et de ses composants, sur tout leur cycle de vie, avec l'environnement naturel. Cette dimension importante de la qualité dispose aujourd'hui d'une base de connaissances solide et de modèles opérationnels, grâce aux travaux de conceptualisation de l'Association HQE et au dynamisme de l'action de normalisation, française et internationale, consécutive à ceux-ci.

Dans le domaine de la qualité de l'air intérieur, malgré l'importante initiative représentée par la création de l'OQAI (Observatoire de la Qualité de l'Air Intérieur), l'évaluation de la pollution et son incidence sur la santé n'ont pas encore produit de modèles opérationnels pour le concepteur de bâtiment. Ces matières sont plus difficiles à explorer car elles relèvent de la discipline complexe qu'est l'épidémiologie, avec des valeurs limites plus délicates à établir, pour des raisons techniques ou sociales. C'est pourtant un chantier majeur, très attendu par la population, et l'Association QUALITEL y participe activement.

Les lignes qui suivent rappellent la vocation de l'Association QUALITEL dans ce domaine et développent le contenu possible d'un module de certification sur ce sujet.

Finalités et valeurs de l'activité de l'Association QUALITEL

L'Association QUALITEL a été créée il y a plus de 35 ans par le rassemblement et par la volonté de 3 grands groupes d'acteurs : les pouvoirs publics, les professionnels de la construction et les consommateurs. Cette triple filiation, qui marque toujours la structure de son Conseil d'Administration, place son action sous le signe de 3 grandes valeurs :

- > l'intérêt général,
- > la croyance dans le progrès technique,
- > et le consumérisme.

Les années qui passent n'ont pas entamé l'attachement à ces valeurs, même si certaines ont évolué avec la transformation de la société.

L'intérêt général tout d'abord est attaché au statut associatif. La croyance dans le progrès technique, hier comme aujourd'hui, est l'essence même de l'activité de l'Association qui repose sur la conviction qu'améliorer les performances de notre habitat, c'est améliorer la vie des gens. La troisième valeur, le consumérisme, est sans doute celle qui a subi le plus d'évolutions dans son contenu.

L'attention ne se limite plus au produit final, elle se porte





L'humidité permet la croissance fongique, en même temps qu'elle favorise la dégradation de certains matériaux, elle-même source de pollution. La lutte contre les moisissures repose sur une bonne conception du bâtiment en termes de chauffage, de ventilation et d'absence de ponts thermiques importants.



désormais aussi sur la production. Quel est le cycle de vie du produit, c'est-à-dire l'impact de cette production en termes de consommation de ressources naturelles et d'énergie, de pollution du milieu naturel ? Ce produit résulte-t-il d'un acte de commerce équitable, etc ?

Dans le même temps, l'attente du public s'étend à d'autres qualités du produit, en particulier celles susceptibles d'avoir une influence sur la santé. De "périphériques" qu'elles étaient, ces informations revêtent une importance grandissante.

Répond d'ailleurs à cette préoccupation, l'obligation générale d'information qui figure au premier article (Article L.111.1) du Code de la Consommation : "Tout professionnel vendeur de biens ou prestataire de services doit, avant la conclusion du contrat, mettre le consommateur en mesure de connaître les caractéristiques essentielles du bien ou du service". Les émissions de substances intéressant la santé des occupants de logements entrent clairement dans ces caractéristiques essentielles.

Ce principe du droit à l'information a été mis en œuvre par l'article 40 de la loi Grenelle de 2009, qui soumet les produits de construction et d'ameublement ainsi que les revêtements muraux à un "étiquetage obligatoire, notamment sur les émissions et contenus en polluants volatils".

Le décret et l'arrêté d'application de cet article de loi qui devraient être publiés en 2010 vont permettre aux maîtres d'ouvrage de concevoir des logements comportant des matériaux faiblement émissifs. L'Association QUALITÉL souhaite procurer à ces maîtres d'ouvrage l'appui de la certification.

Les bases d'un module "santé" (qualité de l'air intérieur) dans la certification

Des exigences en matière de qualité de l'air intérieur existent déjà dans les référentiels de certification de l'Association. Leur utilisation, en particulier en matière d'émissions, reste marginale. La parution des textes réglementaires évoqués précédemment va permettre de donner un véritable contenu à ce module de la certification.

Il ne paraît pas envisageable, toutefois pour l'instant, d'adopter une formulation *performantielle* de la qualité de l'air intérieur, fixant les seuils acceptables des différents polluants dans les logements. Les exigences seront exprimées plutôt en termes de moyens, ou plus exactement de façon *semi-performantielle* car l'expression des moyens n'est pas descriptive mais sera le plus souvent quantitative. Dans le même temps QUALITÉL souhaite contribuer à la connaissance des performances réelles grâce à son programme "Vivre dans un logement BBC", abordé plus loin.

Les thématiques du référentiel seraient les suivantes :

- > limitation des émissions de polluants dans l'air intérieur par les matériaux de construction,
- > lutte contre les moisissures,
- > qualité de la ventilation,
- > maîtrise d'autres sources de pollution éventuelles.

Ces différentes thématiques sont développées ci-après.



Limitation des émissions de polluants dans l'air intérieur par les matériaux de construction

Cette rubrique concernerait essentiellement le formaldéhyde et les composés organiques volatils (COV). La certification reconnaîtrait les logements dont tous les produits utilisés pour les revêtements intérieurs (y compris les colles éventuelles) respecteraient au moins le niveau B de la classification définie dans le projet d'arrêté. Trois classes pourraient être définies (III, IV, V) correspondant aux niveaux B, A et A+ des produits, la classe étant attribuée en fonction de la performance du produit le plus défavorable.

Lutte contre les moisissures

De nombreuses études (OMS - Organisation Mondiale de la Santé-enparticulier), confirment le caractère très nocif des moisissures. L'humidité est la cause principale de leur prolifération. Elle permet la croissance fongique, en même temps qu'elle favorise la dégradation de certains matériaux, elle-même source de pollution.

La lutte contre les moisissures repose sur une bonne conception du bâtiment en termes de chauffage, de ventilation et d'absence de ponts thermiques importants. L'aptitude des produits utilisés pour les revêtements à favoriser la croissance fongique pourrait également être considérée.

On peut donc imaginer que, en dehors de la ventilation abordée au point suivant, le référentiel de certification valorise par un niveau IV une très bonne maîtrise des ponts thermiques (au-delà de la réglementation) et par un niveau V l'utilisation de revêtements ne favorisant pas la croissance fongique.

Qualité de la ventilation

C'est un élément essentiel de la qualité de l'air intérieur. La réalisation d'essais de performance de la ventilation (par référence à l'arrêté de 1982) pourrait être une condition de l'accès à la certification de la qualité de l'air intérieur.

Des conditions pourraient être ultérieurement édictées sur un renforcement du taux de renouvellement d'air et sur l'efficacité de la distribution de la ventilation dans l'espace habitable (ce dernier point étant encore un sujet de recherche).

Maîtrise d'autres sources de pollution éventuelles

Il faudrait examiner l'opportunité d'aborder la maîtrise d'autres sources de pollution, telles que la radioactivité ou les fibres et nanoparticules provenant des produits utilisés.

L'étanchéité à l'air constitue un autre facteur de maîtrise de certaines pollutions dans les bâtiments récents. En effet, pour ceux-ci, les courants d'air parasites empruntent le plus souvent les parois de la construction. Ils peuvent se charger, au passage, de substances polluantes. Une mesure de l'étanchéité à l'air pourrait être préconisée, dans la mesure où elle ne serait pas déjà imposée par la réglementation thermique ou le label BBC.

Tels sont les principaux axes autour desquels pourrait s'organiser un nouveau module de certification de la qualité de l'air intérieur.

Le programme d'observations "Vivre dans un logement BBC"

Dans le cadre du Plan Bâtiment Grenelle, les maîtres d'ouvrage sont de plus en plus nombreux à rechercher, volontairement, le label "Bâtiment Basse Consommation Efficacité" pour leurs programmes immobiliers. C'est ainsi qu'aujourd'hui (depuis début 2010) plus de 45 % des opérations en demande de Certification auprès de l'Association QUALITEL comportent une telle option. Les premières opérations BBC sont livrées aujourd'hui. Il est naturel que l'Association QUALITEL se préoccupe à la fois des performances réelles de ces opérations et de l'influence de cette haute performance énergétique sur le mode de vie des occupants et sur la qualité de l'air intérieur. Dans ce cadre, elle a décidé de lancer, sur un certain nombre d'opérations, un programme d'observation comportant les volets suivants :

- > performances énergétiques constatées (d'après les factures d'énergie)
- > comportements des occupants d'un logement BBC et contraintes ressenties par les occupants
- > qualité de l'air intérieur

Ce programme, en cours de lancement, doit bien sûr être coordonné avec les démarches conduites par d'autres grands acteurs, tels que l'ADEME, EFFINERGIE, l'Association HQE, etc ...



FRANÇOISE BAS

Administratrice chargée du dossier environnement

à l'Union Nationale des Associations Familiales (UNAF)



L'UNAF, dont la mission est de représenter l'ensemble des familles auprès des pouvoirs publics, reste très impliquée dans tout le processus du Grenelle de l'Environnement et ce, depuis son début, jusqu'à son suivi au travers du Conseil National du Développement Durable et du Grenelle de l'Environnement (CNDDGE).

L'UNAF a participé et soutenu les propositions ambitieuses concernant la politique énergétique issue du Grenelle sous l'angle concomitant de la sobriété énergétique, la promotion de l'efficacité énergétique et le développement des énergies renouvelables.

Les lois Grenelle 1 et 2 ont permis de mettre en œuvre bon nombre de mesures dans une volonté affichée de rupture, mais des marges de progrès demeurent au regard particulièrement du volet social qui reste à renforcer. La prise en compte notamment des liens déterminants entre santé-environnement et habitat a été insuffisante. Le logement doit permettre certes l'amélioration des performances énergétiques, mais doit surtout contribuer au mieux-vivre des familles dans une démarche d'intégration de leurs légitimes et diverses attentes.

C'est forte de ces préoccupations que l'UNAF a accepté la présidence du groupe de travail sur "La Sensibilisation des ménages et des entreprises et l'évaluation des changements de comportements" du Plan Bâtiment Grenelle.

Rappelons que l'UNAF, depuis de nombreuses années, s'est investie dans la sensibilisation de son réseau aux aspects de la qualité de l'air intérieur et ses impacts sanitaires qui touchent, entre autres, les enfants. Elle vient de compléter son approche

en intégrant la question du réchauffement climatique.

Après le scandale de l'amiante, il s'est avéré d'autant plus nécessaire d'informer les familles sur les risques réels qu'elles encourent lorsque certains matériaux préoccupants sont déjà présents dans leur logement ou lorsqu'elles les achètent pour réaliser des travaux d'isolation thermique, phonique, sanitaire ou d'embellissement.



C'est ainsi que dans le cadre de son partenariat avec l'Association pour la Prévention de la Pollution Atmosphérique (APPA), l'UNAF a participé, dès 2007 à un groupe de réflexion multiacteurs (scientifiques, fabricants de laines minérales artificielles, installateurs, ...) sur la qualité de l'air intérieur. Nous y avons souligné la nécessité de travailler ensemble entre les parties prenantes, de prodiguer des conseils aux consommateurs dans le choix de leurs matériaux de construction, mais aussi sur le comment les utiliser et quels comportements adéquats adopter.

Ces conseils doivent être également conformes aux recommandations sanitaires de l'ANSES (Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail) et si un déficit d'études scientifiques s'avérait en la matière, l'Agence pourrait y remédier en lançant des appels à recherche dans l'intérêt général.

Ces conseils doivent également prendre en compte le cycle de vie de la fabrication des matériaux de construction allant jusqu'à leur fin de vie, au stade de déchets, ce qui a des répercussions pour l'environnement en général.

Devant les préoccupations grandissantes des familles au regard de la qualité de leur environnement domestique, l'UNAF a publié, en octobre 2009, un guide sur la qualité de l'air intérieur dans lequel elle met en avant plusieurs recommandations, parmi lesquelles une mise en garde contre l'utilisation de certains matériaux : le bois prétraité chimiquement, l'aggloméré ou le contreplaqué, présents dans les meubles ou les revêtements, et les matériaux d'isolation (mousses isolantes, laines minérales, ...), qui peuvent diffuser des substances chimiques nocives, parfois pendant plusieurs années. L'accent est mis sur les produits bénéficiant de signes officiels tels que les marqués NF Environnement ou l'Écolabel européen.

L'UNAF est d'ailleurs membre du Comité français des Écolabels et soutient cette démarche.

Elle s'inquiète également, dans ce guide, du développement continu des moisissures à l'intérieur du logement. Les moisissures sont des champignons microscopiques capables de coloniser des supports de nature variée. Elles peuvent libérer dans l'air des spores en grande quantité et/ou des substances odorantes





Les familles gagneraient certainement à être informées de tous les risques qui portent sur l'ensemble des matériaux de construction pour décider en connaissance de cause.



(composés organiques volatils à l'origine de l'odeur de moisi), voire toxiques (mycotoxines). Les moisissures peuvent entraîner des pathologies respiratoires et cutanées diverses parmi lesquelles les manifestations allergiques restent prépondérantes à côté de mécanismes infectieux, irritatifs et toxiques.

L'UNAF se félicite dès lors de l'adoption de l'article 40 de la loi Grenelle 1 qui prévoit l'étiquetage obligatoire des matériaux de construction à partir de 2012, notamment sur leurs émissions et contenus en polluants volatils.

Néanmoins, le champ de cet étiquetage n'est peut-être pas suffisant, et les familles gagneraient certainement à être informées de tous les risques qui portent sur l'ensemble des matériaux de construction pour décider en connaissance de cause.

Nous serons attentifs à soutenir toute initiative partenariale permettant d'informer les familles sur les matériaux et les solutions techniques existantes ainsi que sur les bons comportements qui permettront de limiter toute croissance fongique.

Elle entend, avec son réseau, continuer à s'impliquer dans les outils nationaux et locaux qui existent tels que le Plan National Santé-Environnement 2 et les Schémas Régionaux Climat Air Énergie (SRCAE).

L'UNAF sera particulièrement vigilante à ce que les pouvoirs publics conduisent de front une politique articulée autour de la sobriété et l'efficacité énergétique des bâtiments avec l'amélioration de la qualité de l'air intérieur dans un objectif global du mieux et bien vivre, ensemble.



JOSÉ CAMBOU

Secrétaire nationale de la Fédération France Nature Environnement (FNE)

et pilote de son réseau santé environnement



CONSTRUIRE POUR LE RÉEL BIEN ÊTRE DES HABITANTS

Construire sain ! Voilà le court slogan qui résume l'attente de FNE tant vis-à-vis des acteurs de la construction que des fabricants de matériaux. Compte tenu du temps très conséquent, sans doute de l'ordre de 80 % voire plus, que passe chacun d'entre nous dans des espaces clos, on voit bien que la qualité de la construction, qu'elle soit habitat ou lieu de vie et de travail, est un facteur important pour la santé.

Que mettons-nous derrière cette approche globale de "construire sain" ?

Nous réclamons des matériaux de construction et des techniques de mise en œuvre qui prennent en compte, de manière concomitante, à la fois la qualité de l'air intérieur, le confort en terme énergétique (tout en ayant la moindre consommation énergétique à l'usage), la lutte contre le bruit.

Le contexte du Grenelle de l'Environnement est une opportunité

Les règles du jeu dans l'art de construire qui découlent des lois Grenelle amènent un réel changement. Ceci entraîne de manière évidente des formations pour l'ensemble des acteurs du secteur de la construction.

En parallèle,

> pour les professionnels de la construction, il est important que la base Inies <http://www.inies.fr> soit précisément et de manière sincère, alimentée en informations concernant tant les caractéristiques environnementales que sanitaires des produits de construction.

> pour ceux et celles qui veulent eux-mêmes effectuer des transformations sur leur habitat, il leur faut pouvoir trouver des matériaux répondant à cet objectif sanitaire et les informations suffisantes pour les repérer. Nous attachons donc un intérêt certain à l'étiquetage des matériaux de construction comme prévu dans l'article 40 de la loi n° 2009-967 du 3 août 2009 de programmation relative à la mise en œuvre du Grenelle de l'Environnement.



*Il faut pouvoir trouver des matériaux répondant à cet objectif sanitaire «Construire sain»
et les informations suffisantes pour les repérer.*

Nous attachons donc un intérêt certain à l'étiquetage des matériaux de construction



<http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000020949548&dateTexte=&categorieLien=id>

dont le texte est "En ce qui concerne l'air intérieur, il est prévu de soumettre les produits de construction et d'ameublement ainsi que les revêtements muraux et de sol, les peintures et vernis et l'ensemble des produits ayant pour objet ou pour effet d'émettre des substances dans l'air ambiant à un étiquetage obligatoire à partir du 1er janvier 2012, notamment sur leurs émissions et contenus en polluants volatils, et d'interdire dans ces produits les substances classées cancérogènes, mutagènes ou toxiques pour la reproduction de catégories 1 et 2 (CMR 1 et CMR 2) au sens de la réglementation européenne."

Mais chaque producteur de matériau peut aller au-delà des seules obligations réglementaires ; il peut donc

- > dès à présent donner des informations sans attendre l'application de la loi au 1er janvier 2012
- > mais aussi donner des recommandations pour l'utilisation de ses produits afin de limiter l'usage de types de colles, liants, etc. qui viendraient pénaliser le résultat final.



REINE - CLAUDE MADER

Présidente de l'Association Consommation Logement Cadre de Vie (CLCV)



La pollution de l'air intérieur est une préoccupation somme toute assez récente¹, alors que l'air de nos villes est surveillé depuis des années ; c'est assez paradoxal quand on sait que l'on passe la majeure partie de notre temps dans des bâtiments.

Nous savons maintenant que l'air que nous respirons dans des espaces clos peut contenir une multitude de substances dont les effets ne sont pas anodins sur la santé : agents biologiques (acariens, moisissures, allergènes...), agents physiques (particules, radon, fibres...) et agents chimiques (fumée de tabac, COV², monoxyde de carbone, ...).

La qualité de l'air intérieur a d'ailleurs plutôt eu tendance à se dégrader ces dernières décennies, en raison de l'utilisation de matériaux de construction, de décoration et d'ameublement moins inertes, de nouvelles habitudes de consommation (multiplication des produits d'entretien, usage de bougies parfumées et autres désodorisants), sans oublier l'influence des polluants de l'air extérieur !

Ce cocktail de substances stagne d'autant plus dans notre air ambiant que nous sommes de plus en plus calfeutrés ! Le Grenelle de l'Environnement nous incite à réaliser des économies d'énergie, démarche que nous soutenons, mais qui conduit parfois à "bunkeriser" nos logements.

Car en matière de qualité de l'air intérieur, il n'est point besoin de grandes innovations technologiques pour améliorer les choses. Il convient simplement de reproduire un geste que nos grands-mères connaissaient bien : A.É.R.É.R ! C'est ce que la CLCV rappelle régulièrement dans des ateliers sur la prévention de la pollution intérieure (et notamment les actions "Maison nette", qui présentent les alternatives naturelles aux produits industriels d'entretien : vinaigre blanc, bicarbonate de soude, jus de citron... sans oublier l'huile de coude !).

Les sources de pollution sont protéiformes, mais l'on constatera qu'un certain nombre de polluants sont émis par des produits manufacturés : meubles, moquettes, peintures, papiers peints, désodorisants, produits d'entretien ... L'étiquetage concernant les émissions des produits de construction et de décoration permettra d'informer les consommateurs sur leur exposition future, ce qui est un progrès. Il est cependant loisible de se poser cette question sans doute un peu candide : ne serait-il pas possible de concevoir des produits dont nous ne respirerons pas les effluves pollués pendant des années ?



La qualité de l'air intérieur a plutôt eu tendance à se dégrader ces dernières décennies.



¹ Il me faut cependant préciser ici que la CLCV mène des actions sur la question depuis longtemps, notamment en ce qui concerne le radon.

² Composés organiques volatils.

Annexes

SONDAGE IFOP

HABITAT ET QUALITÉ DE L'AIR INTÉRIEUR : QUELS ENJEUX POUR NOTRE SANTÉ ?

Le bâtiment, responsable du ¼ des émissions de CO₂ en France, arrive en tête des chantiers prioritaires dans la lutte contre le changement climatique et ambitionne de devenir l'économie la plus efficace en carbone de l'Union d'ici à 2020. Dans le neuf, la norme "Bâtiment Basse Consommation" (50 kWh/m²) s'appliquera à toutes les constructions d'ici 2012.

Cette situation pose une double problématique : Comment réduire la consommation énergétique tout en préservant la qualité de son air intérieur ?

Doit-on transformer son habitat en "bunker" pour éviter les pertes thermiques en entraînant des conséquences importantes en matière de qualité de l'air intérieur ou existe-t-il une solution pour trouver un compromis favorable à ces enjeux ?

La **FFTB** (Fédération Française des Tuiles et Briques) fait le point aujourd'hui sur le sujet en s'appuyant sur un **sondage qu'elle a confié à IFOP en 2008** sur les attentes des Français en matière de qualité d'air intérieur.

"LES FRANÇAIS ET LA QUALITÉ DE L'AIR INTÉRIEUR"

Sondage réalisé pour la FFTB du 4 au 6 juin 2008 auprès d'un échantillon de 1000 personnes âgées de 18 ans et plus, représentatives de la population française

Le sondage révèle que si les Français sont particulièrement préoccupés par la qualité de l'air qu'ils respirent chez eux, leurs connaissances en la matière les amènent parfois à commettre quelques erreurs. Voici les principaux enseignements de cette étude.

Un Français sur 3 a déjà ressenti une gêne attribuée à la qualité de l'air intérieur !

Le sondage IFOP révèle que plus d'un Français sur trois (34%) ont déjà ressenti une gêne en relation avec la qualité de l'air intérieur et plus d'un français sur deux (52%) des 18 à 24 ans a déjà ressenti le même type de gêne.

Au-delà de la gêne déjà ressentie, **près de 80% des Français déclarent que la qualité de l'air intérieur les préoccupe**. On constate de plus que la qualité

de l'air intérieur inquiète davantage les femmes que les hommes (83% des femmes contre 78% pour les hommes) et que les français sont de plus en plus préoccupés lorsqu'ils avancent en âge. On passe de 69% pour les 18-24 ans qui se déclarent préoccupés par la qualité de l'air intérieur à 81% pour les 35-49 ans pour atteindre 83% pour les 50-64 ans. Cette préoccupation est également partagée par l'ensemble des Français en dehors de toute considération socioprofessionnelle ou de catégorie d'agglomération.

90% des Français sont conscients de l'impact que mur, cloison et isolation ont sur la qualité de l'air intérieur.

Si de récentes campagnes ont particulièrement insisté sur l'aération avec succès (68% des

Français jugent le mode de vie très important pour la qualité de l'air) 9 Français sur 10 estiment que mode de vie, entretien du domicile, aménagement intérieur mais aussi structure du bâtiment, ont un rôle important pour la qualité de l'air intérieur.

90% des Français font un lien entre qualité de l'air intérieur et santé.

Près de 9 Français sur 10, dont une majorité de femmes, estiment que la qualité de l'air intérieur de leur maison a un impact direct sur leur santé. La perception de ce lien augmente avec l'âge (92% des 35/49 ans et 94% des 50 / 64 ans), mais il est à noter cependant que 84% des 25-34 ans en sont aussi très conscients.



QUAND L'AIR DE LA MAISON EST PLUS POLLUÉ QUE CELUI DE LA RUE !

QUELQUES CHIFFRES

- » **52%** de risque supplémentaire de développer une maladie respiratoire si le logement contient humidité et moisissures.
- » **10%** des nourrissons souffrent d'eczéma atopique.
- » **10%** des écoliers et **15%** des collégiens souffrent d'asthme.
- » **1^{ère}** cause d'absentéisme à l'école : l'asthme.
- » **3 fois** plus d'asthmatiques depuis 20 ans.

Nous passons 22 heures par jour dans un espace clos : bureau, école, logement... la qualité de l'air intérieur a donc un rôle plus important sur notre santé que l'air extérieur. Pourtant les différentes politiques publiques ont conduit à mettre avant tout en avant la pollution de l'air extérieur. De même, le Grenelle de l'Environnement s'est approprié à juste titre la réduction de gaz à effet de serre mais sans se donner les moyens suffisants de travailler sur la qualité de l'air intérieur.

La pollution de l'air intérieur, un problème de santé publique !

Une étude récente a montré que des associations ont été établies entre les effets respiratoires et la présence d'humidité et de moisissures dans les logements. En effet, on sait que 10% en moyenne des Français sont asthmatiques. Dans une maison à risque, c'est-à-dire où il y a présence de

moisissures, ce taux augmente de 50%. De même pour la toux et les sifflements dans la poitrine dont le taux moyen augmente respectivement de 50% et 44% chez les occupants d'une maison humide.

Il s'avère que l'asthme est un problème chronique, qui ne cesse d'augmenter et de s'accroître. Cette maladie, touchant particulièrement les enfants, est la première cause d'absentéisme à l'école. C'est donc une maladie qui concerne une partie importante de la population. À l'origine de ce problème de santé publique, les deux contaminants majeurs de la qualité de l'air que nous respirons dans nos logements : les moisissures et les COV (composés organiques volatils). En se focalisant sur les économies d'énergie (renforcement de l'isolation des maisons) on a tendance à oublier l'exigence de qualité d'air intérieur.

Des moisissures de plus en plus présentes

De nombreuses études, démontrent que les moisissures sont très présentes dans nos logements à cause d'un excès d'humidité de l'air. On estime ainsi que l'air d'une maison ancienne se renouvelle en 30 minutes, l'air d'une maison moderne mal isolée en une heure et l'air d'une maison bien isolée en 10 heures !

Le confinement des logements et l'utilisation excessive du chauffage favorisent aujourd'hui le développement en abondance des acariens et des moisissures. Leur présence est accrue lorsque la température est comprise entre 20 et 25°C et que le taux d'humidité de l'air intérieur est supérieur à 60%.

Les COV

Souvent à l'origine de problèmes respiratoires

ou allergiques, les composés organiques volatils (COV) sont retrouvés dans tous les logements et sont l'un des principaux polluants auxquels nous devons faire face. L'étude de l'Observatoire national de la qualité de l'air intérieur, publiée en 2006, a prouvé sans ambiguïté que la concentration en produits chimiques et en dérivés d'hydrocarbures de l'air à l'intérieur d'un domicile est bien supérieure à la concentration mesurée dans l'air extérieur.

Présents dans notre environnement immédiat, les COV proviennent des produits de bricolage que nous utilisons (peintures, colles, décapants, résines synthétiques), des produits ménagers (produits de nettoyage, insecticides, déodorants), des objets domestiques (appareils électriques ou électroniques, jouets en plastique, meubles) mais aussi des matériaux de construction (mousses isolantes, bois agglomérés, plastiques). Les COV sont des produits instables qui émettent des vapeurs à température ambiante. Généralement, un logement "abrite" entre 50 et 300 composés organiques volatils différents, parmi lesquels benzène, toluène, xylène, trichloréthylène ou formaldéhyde... qui ont des effets néfastes : odeurs, irritation des yeux, somnolence, fatigue, voire gêne respiratoire caractérisée avec risque d'asthme et d'allergie.

On a là un problème de santé publique, dont la prise de conscience est très récente. Malgré cela, de nombreux professionnels du bâtiment concentrent encore tous leurs efforts sur l'efficacité énergétique des bâtiments, ce qui peut accentuer l'effet de confinement et ne pas favoriser le renouvellement de l'air intérieur.

CSTB

DIFFUSION DES CONNAISSANCES CSTB - THÉMATIQUE "MOISSISSURES - BÂTIMENTS"

Thèses

Boissier Marjorie, 2003, Etude et compréhension des phénomènes environnementaux régissant la colonisation des produits de construction par les aérosols fongiques : application à l'hygiène des environnements intérieurs, Thèse de l'Université Paris XII-Val de Marne.

Moularat Stéphane, 2005, Etude de la contamination fongique des environnements intérieurs par la détermination et la mesure de traceurs chimiques spécifiques : application à l'hygiène de l'habitat, Thèse de l'Université de Marne-la-Vallée.

Brevets

> Procédé de dosage d'ergostérol et de mycotoxines (procédé de dosage de l'ergostérol aéroporté et d'au moins une mycotoxine polaire aéroportée à partir d'un échantillon unique prélevé dans un environnement intérieur) 2007 (INPI 07 01583).

> Procédé de détection d'une contamination fongique (Elaboration d'indice de contaminations fongiques permettant la détection d'un développement actif dans des environnements intérieurs) (INPI 07 01578).

> Système de micro détection d'une contamination fongique (en cours de dépôt).

Publications scientifiques

Boissier M., Robine E., Moreau R., Renoux A., 2001, Elaborating an experimental set-up designed for the contamination of construction products by a fungal aerosol, *Journal of Aerosol Science*, 32 (10), 1225-1233.

Gorny R.L., Reponen T., Willeke K., Schmechel D., Robine E., Boissier M., Grinshpun S.A., 2002, Fungal fragments as indoor air biocontaminants, *Applied and Environmental Microbiology*, 68 (7), 3522-3531.

Robine E, Lacaze I, Moularat S, Ritoux S et Boissier M, 2005, Characterisation of exposure to airborne fungi: Measurement of ergosterol, *Journal of Microbiological Methods*. 63(2), 185-192.

Robine E, Lacaze I, Moularat S, Boissier M et Ritoux S, 2006, Mesure des aérosols fongiques dans l'air : utilisation de l'ergostérol, *Revue française d'allergologie et d'immunologie clinique*. 46, 174-179.

Moularat S., Robine E., Ramalho O., Oturan M.A., 2008, Detection of fungal development in closed spaces through the determination of specific chemical targets *Chemosphere*. 72 (2), 224-232.

Moularat S., Robine E., Ramalho O., Oturan M.A., 2008, 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, 139-146.

Moularat S, Derbez M, Kirchner S, Ramalho O, Robine E, 2008, Détermination de la contamination fongique des logements français par un indice chimique. *Pollution Atmosphérique*. 197.

Moularat S, Robine E, Draghi M, 2008, Les moisissures dans les environnements intérieurs et leurs effets sur la santé. *Pollution Atmosphérique*. 197.

Moularat S, Robine E, 2008, A method to determine the transfer of mycotoxins from materials to air. *Clean, soil, air, water*. 36 (7), 578-583.



CONFÉRENCES

Participants, lieu, date	Titre de la communication
Boissier M., Robine E., Moreau R., Renoux A., 2000, 16ème Congrès Français sur les Aérosols, Paris, 11-12 décembre, 22-28.	Mise au point d'un montage destiné à la contamination fongique de matériaux de construction.
Boissier M., Robine E., Lacaze I., Moularat S., Renoux A., Moreau R., 2001, 17ème Congrès Français sur les Aérosols, Paris, 11-12 décembre, 22-28.	Etude de la bioadhésion d'un aérosol d' <i>Aspergillus niger</i> sur trois supports inertes.
Robine E., 2002, conférence plénière, colloque Science et Défense, Strasbourg, 7 et 8 octobre.	Aérobiologie et contamination des locaux.
Boissier M., Robine E., Géhin E., Renoux A., 2002, 18ème Congrès Français sur les Aérosols, Paris, 11-12 décembre, 125-130.	Etude du développement des aérosols fongiques sur les produits de construction.
Boissier M, Moularat S, Robine E, Renoux A et Moreau R 2002, International Aerosol Conference, 6th IAC 2002, Taiwan.	Study of fungal bioadhesion on inert surfaces.
Robine E., Lacaze I., Moularat S., Boissier M., Ritoux S., 2003, 19ème Congrès Français sur les Aérosols, Paris, 10-11 décembre, 172-178.	Contribution à la caractérisation de l'exposition aux aérosols de moisissures.
Moularat S, M. Kasmi, M. Oturan, O. Ramalho et E. Robine, 2004, 2ème colloque international de l'usine agro alimentaire, Laval.	Indoors fungal airborne contamination assessment: application to agro-food industry.
Moularat S., Robine E., Boissier., Lacaze I., 2005, 21ème Congrès Français sur les Aérosols, Paris, 14-15 décembre, 84-88.	Caractérisation de l'exposition aux aérosols fongiques dans les environnements intérieurs : mesure de l'ergostérol et des mycotoxines aéroportées.
Moularat S., E. Robine, M. Boissier et I. Lacaze, 2005, 21ème congrès français sur les aérosols, ASFERA , Paris,	Caractérisation de l'exposition aux aérosols fongiques dans les environnements intérieurs : mesure de l'ergostérol et des mycotoxines aéroportées.

Participants, lieu, date	Titre de la communication
Moularat S. et E. Robine, 2006, 1er Congrès Français d'Allergologie, ANAFORCAL / SFAIC, Paris.	Mise en évidence des moisissures intérieures par des méthodes non spécifiques.
Moletta-Denat M, Lacaze I, Hersen G, Moularat S, Ritoux S, Derbez M, Kirchner S, Riberon J et Robine E - FEMS, congrès européen d'écologie microbienne, Suède, 28 juin-2 juillet 2009	Indoor bacterial diversity in air of child-care and teaching facilities.
Robine E. - Congrès Microbaéro, Narbonne, 6-8 octobre 2009	Conférence plénière sur la mesure de l'aérobiocontamination.
Moularat S., Robine E. - Congrès Microbaéro, Narbonne, 6-8 octobre 2009	Mycotoxines : Étude du transfert du matériau à l'air.
Gaüzère C., Moletta-Denat M., Anton R., Joblin Y., Moularat S., Ritoux S., Robine E. - 26 ^{ème} Congrès Français sur les Aérosols 2010, Paris, 13-14 janvier 2010.	Étude des aérosols microbiens dans les sites patrimoniaux : approche moléculaire.
Gaüzère C., Moletta-Denat M., Bousta F., Moularat S., Oriol G., Ritoux S., Robine E., Godon J.-J., 2010., 9th Indoor Air Quality Meeting, Chalon-sur-Saône, France, 21-23 avril 2010.	Airborne microbiology in museum through molecular approach preliminary study.
Joblin Y., Moularat S., Anton R., Robine E. - IAQ, Chalon-sur-Saône, 21-23 avril 2010.	Moulds Detection by their Volatile Organics Compounds: Use for Heritage Preservation.
Robine E. VIII ^{ème} Congrès de la Société Française de Microbiologie - Marseille, 3,- 5 juin 2010.	Conférence plénière : Gestion de la qualité microbiologique des environnements intérieurs.
Gaüzère, C., Moletta-Denat, M., Ritoux, S., Robine, E. et Godon J.-J.- 13th International Symposium on Microbial Ecology, Seattle, USA, 22-27 août 2010.	Molecular analysis of the indoor air microbial diversity.
Gaüzère, C., Moletta-Denat, M., Ritoux, S., Robine, E. et Godon J.-J., 2010. - 14th International Aerosol Conference, Helsinki, Finlande, 29 août-3 septembre 2010.	Airborne microbiology in enclosed spaces through molecular approach.

COLLABORATIONS ET ACTIONS DE RECHERCHE COFINANCÉES

Début du projet	Sujet	Partenaires	Principal Financier
2002	Biomex : Evaluation de l'exposition des paysagistes aux bioaérosols générés par les composts	CNRS – Lyon CNAM INRA Toulouse	ADEME
2007	Application d'un Indice Chimique de Contamination Fongique aux données de la Campagne Nationale Logement de l'Observatoire de la Qualité de l'Air Intérieur	Ministère de la santé DGS	
	Etude de la qualité microbiologique des lieux de vie fréquentés par les enfants : lieux de garde et d'enseignements	DGUHC/DGS	
	Modélisation de la dispersion atmosphérique des bioaérosols de compostage	INRA Narbonne CNRS – Lyon INERIS INRA - Toulouse	ADEME
2008	Effets sanitaires des moisissures dans l'habitat.	AFSSET	
	Mise en évidence des Composés Organiques Volatils d'origine fongique dans l'air des fermes (FERMA) et chez les enfants de la ville : corrélations entre l'exposition aux aérosols fongiques et l'asthme chez l'enfant	CHU de Clermont-Ferrand	ADEME
	ISAAC 2 : Stratégie de mesure des COVm appliquée à un site historique contaminé [International Study of Asthma and Allergies in Childhood]		
2009	Caractérisation de la diversité microbienne de l'air des crèches collectives et des écoles maternelles vers la recherche d'indicateurs de pollution microbiologique de l'air	DGUHC/DGS programme OQAI	
	Développement d'un outil permettant la détection précoce de la biocontamination des collections sur support papier.	Bibliothèque Nationale de France ; Archives Nationales ; Direction des Archives de France	Ministère de la culture PNRCC
	Mesure de l'exposition aux moisissures en milieu intérieur. Développement d'une approche globale associant des outils quantitatifs et qualitatifs à partir d'un prélèvement d'air de longue durée.	Ecole Nationale Vétérinaire de Maisons Alfort Observatoire Régional de la Santé Laboratoire d'Hygiène de la Ville de Paris	AFSSET
	Guide de réhabilitation à l'usage des particuliers confrontés à des développements de moisissures dans leur logement	Ministère de la santé DGS	
	Etude et compréhension de la dynamique de colonisation microbienne des supports : vers l'élaboration de nouveaux traitements préventifs adaptés aux environnements intérieurs.	Laboratoire de Recherche des Monuments Historiques	PRIMEQUAL
	Caractérisation de la diversité microbienne "bruit de fond", de l'air des espaces clos par séquençage haut-débit	INRA Narbonne Genoscreen	REI / DGA

BIBLIOGRAPHIE

- ACGIH (1999). Bioaerosols : assessment and control. American Conference of Industrial Hygienists (Cincinnati).
- Aisner, J., S. C. Schimpff, J. E. Bennett, V. M. Young and P. H. Wiernik (1976). Aspergillus infections in cancer patients, association with fireproofing materials in a new hospital. *The Journal of the American Medical Association* **235**(4), pp. 411-412.
- Ayerst, G. (1966). Influence of physical factors on deterioration by moulds. *Society of Chemical Industry Monograph* **23**, pp. 14-20.
- Bex, V. and F. Squinazi (2006). Mise en évidence de moisissures des ambiances intérieures par la mesure des (1-3)- β -D-glucanes. *Revue Française d'Allergologie et d'Immunologie Clinique* **46**(3), pp. 184-187.
- Bjorman, J. (1999). Release of MVOCs from microorganisms. Organic Indoor Air Pollutants. T. Salthammer, WILEY-VCH: 259-273.
- Bocquet, P., M. Aggoune, M. Aussant, G. Rykner and G. Brücker (1993). Guide de l'AP-HP - Aspergillose invasive nosocomiale et travaux hospitaliers, recommandations In pp.1-7. Doin. Paris
- Boutin-Forzano, S., C. Charpin-Kadouch, M. Gouitaa, H. Dumon and D. Charpin (2006). Audit environnemental des logements: intérêt d'identifier la ou les moisissure(s) en cause. *Revue Française d'Allergologie et d'Immunologie Clinique* **46**(3), pp. 197.
- Brochard, G. and C. Le Bacle (2009). Mycotoxines en milieu de travail - I. Origine et propriétés toxiques des principales mycotoxines. *Documents pour le Médecin du Travail - INRS* **119**, pp. 299-323.
- Brunekreef, B. (1992). Association between questionnaire reports of home dampness and childhood respiratory symptoms. *The Science of the Total Environment* **127**(1-2), pp. 79-84.
- Cornet, M., L. Fleury, C. Maslo, J. Bernard and G. Brucker (2002). Epidemiology of invasive aspergillosis in France: a six-year multicentric survey in the Greater Paris area". *Journal of Hospital Infection* **51**(4), pp. 288-296.
- d'Halewyn, M.-A., J.-M. Leclerc, N. King, M. Bélanger, M. Legris and Y. Frenette (2002). Les risques à la santé associés à la présence de moisissures en milieu intérieur. Québec, Institut National de santé publique: 164.
- d'Halewyn, M.-A., J.-M. Leclerc, N. King, M. Bélanger, M. Legris and Y. Frenette (2003). Bulletin d'information en santé environnementale - Moisissures en milieu intérieur et risques pour la santé, Institut National de santé publique de Québec. **4**.
- Dales, R., H. Zwanenburg, R. Burnett and C. Franklin (1991). Respiratory health effects of home dampness and moulds among Canadian children. *American Journal of Epidemiology* **134**, pp. 196-203.
- Gell, P. and R. Coombs (1963). The classification of allergic reactions underlying disease. Clinical aspects of immunology. P. Gell, R. Coombs and P. Lachmann. Oxford: 761-781.
- Gravesen, S., J. Frisvad and R. Samson (1994). Microfungi. Microfungi. Copenhagen, Munksgaard Press: 168. ISBN 87-16-11436-1
- Gu, J.-D., T. E. Ford, N. S. Berke and R. Mitchell (1998). Biodeterioration of concrete by the fungus *Fusarium* *International Biodeterioration & Biodegradation*, Volume 41, Issue 2, pp. 101-109
- IICRC (2008). Standard and Reference Guide for Professional Mold Remediation
- Keller, R., K. Senkpiel and H. Ohgke (2001). Use of MVOC measurement and odor perception as indicator of mould in indoor areas. Bioaerosols, fungi and mycotoxins: health effects, assessment, prevention and control. E. Johanning. New York: pp.532-537.
- Korpi, A., A.-P. Pasanen and P. Pasanen (1998). Volatile compounds originating from mixed microbial cultures on building materials under various humidity conditions. *Applied and Environmental Microbiology* **64** (8), pp. 2914-9.
- Koskinen, O. (1999). Moisture, Mold and Health. National Public Health Institute. Finlande, University of Kuopio: 72.
- Lugauskas, A., L. Levinskait and D. Peculyte (2003). Micromycetes as deterioration agents of polymeric materials. *International Biodeterioration & Biodegradation* **52**(4), pp. 233-242.
- Miller, J., A. Laflamme, Y. Sobol, P. Lafontaine and G. Greenhal (1988). Fungi and fungal products in some Canadian houses. *International Biodeterioration and Biodegradation* **24**, pp. 103-120.
- Montana, E., R. Etzel, T. Allan, T. Horgan and D. Dearborn (1997). Environmental Risk Factors Associated with Pediatric Idiopathic Pulmonary Hemorrhage and Hemosiderosis in a Cleveland Community. *American Academy of Pediatrics* **99**(1), pp. 1-8.
- Moullarat, S. (2005). Etude de la contamination fongique des environnements intérieurs par la détermination et la mesure de traceurs chimiques spécifiques: application à l'hygiène de l'habitat. Champs sur Marne, Université de Marne-la-Vallée: 158.
- Moullarat, S. (2008). Mise en évidence des composés organiques volatils d'origine fongique dans l'air des fermes (FERMA) et chez les enfants de la ville. Champs sur Marne, CSTB - ADEME: 22.
- Moullarat, S., M. Derbez, S. Kirchner, O. Ramalho and E. Robine (2008a). Détermination de la contamination fongique des logements français par un indice chimique. *Pollution Atmosphérique* **197**, pp. 37-44.

- Moularat, S. and E. Robine (2008). A method to determine the transfer of mycotoxins from materials to air. *Clean, soil, air, water* **36**(7), pp. 578-583.
- Moularat, S., E. Robine, M. Boissier and I. Lacaze (2005). Caractérisation de l'exposition aux aérosols fongiques dans les environnements intérieurs: mesure de l'ergostérol et des mycotoxines aéroportées. 20ème congrès français sur les aérosols, ASFERA, Paris.
- Moularat, S., E. Robine, O. Ramalho and M. 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**, pp. 139-146.
- Moularat, S., E. Robine, O. Ramalho and M. Oturan (2008c). Detection of fungal development in closed spaces through the determination of specific chemical targets. *Chemosphere* **72**(2), pp. 224-232.
- Panasenko, V. T. (1967). Ecology of microfungi. *The botanical review* **33**, pp. 189-215.
- Pirhonen, I., A. Nevalainen, T. Husman and J. Pekkanen (1996). Home dampness, moulds and their influence on respiratory infections and symptoms in adults in Finland. *European Respiratory Journal* **9**(12), pp. 2618-2622.
- Robine, E., I. Lacaze, S. Moularat, M. Boissier and S. Ritoux (2006). Mesure des aérosols fongiques dans l'air: utilisation de l'ergostérol. *Revue Française d'Allergologie et d'Immunologie Clinique* **46**, pp. 174-179.
- Service d'Hygiène de la ville de New-York (2008). Lignes directrices applicables à l'évaluation et l'élimination de la contamination fongique en milieu intérieur.
- Sunesson, A. L., C.-A. Nilsson, B. Andersson and G. Blomquist (1996). Volatile metabolites produced by two fungal species cultivated on building materials. *The Annals of Occupational Hygiene* **40**(4), pp. 397-410.
- Thorne, P. S. and D. Heederik (1999). Indoor Bioaerosols-Sources and Characteristics. Organic Indoor Air Polluants. T. Salthammer, WILEY-VCH: 275-288.
- Tuomi, T., K. Reijula, T. Johnsonn, K. Hemminki, E.-L. Hintikka, O. Lindroos, S. Kalso, P. Koukila-Kahkölä, H. Mussalo-Rauhamaa and T. Haahtela (2000). Mycotoxins in crude building materials from water-damaged buildings. *Applied and environmental microbiology* **66**(5), pp. 1899-1904.
- Wan, G. and C. Li (1998). Indoor endotoxin and glucan in association with sick building syndrome. *Journal Aerosol Science* **29**(1), pp. S1309-S1310.
- Warscheid, T. and J. Braams (2000). Biodeterioration of stone: a review. *International Biodeterioration & Biodegradation* **46**(4), pp. 343.

L'Air c'est la Vie...

un enjeu sanitaire majeur

Édité en février 2011 par la Fédération Française des Tuiles et Briques



