



HUMIDITÉ DANS LES BÂTIMENTS

Liquide ou vapeur, l'eau figure au premier rang des causes de sinistres dans le bâtiment. Sous sa forme liquide, l'eau « maîtrisée » constitue un élément indispensable à la formulation d'un grand nombre de matériaux minéraux. Elle peut aussi se révéler dévastatrice et provoquer les dégâts les plus importants et les plus rapidement visibles : inondations, défauts d'étanchéité, remontées capillaires, lixiviation, ...

Sous forme de vapeur, l'action de l'eau paraît plus insidieuse : de faibles quantités de vapeur peuvent avoir des effets directs et indirects sur la santé des individus et sur le bâti. Elle agit alors comme un facteur de dégradation lent, pernicieux et parfois invisible des matériaux. Elle peut aussi altérer de façon provisoire, mais significative, les performances de matériaux sans pour autant les dégrader dans le cas de phénomènes réversibles comme les cycles humidification-séchage.

Ce dossier aborde uniquement l'eau sous forme de vapeur : analyse des causes, description des phénomènes physiques, conséquences. Le choix délibéré de ne traiter que le thème de l'eau sous sa forme vapeur sans aborder l'eau liquide tient au souci de ne pas alimenter la confusion souvent rencontrée lorsqu'il est question d'humidité.

Sommaire

- 3 Humidité et air intérieur : situation préoccupante
- 7 Allergie aux moisissures
- 10 Mesurer l'humidité : à chaque usage son hygromètre
- 12 L'humidité dans les matériaux
- 16 Condensations
- 18 Des conceptions du bon côté de la sécurité
- 20 Simulation : une offre adaptée
- 23 Ventilation : confort, santé, préservation du bâti

Humidité et air intérieur : situation préoccupante

SUZANNE DÉOUX,¹ médecin consultant en Santé-Environnement

En deux décennies, le nombre d'asthmatiques a doublé. Si une humidité relative comprise entre 40 et 60 % est indispensable au bon fonctionnement du système respiratoire, une humidité trop importante se révèle néfaste à la fois au bâti et à ses occupants.

Depuis vingt-cinq ans, l'humidité importante des maisons fortement isolées et mal ventilées, le transfert de la vapeur d'eau dans les matériaux, l'introduction de nouvelles techniques de construction, les ponts thermiques ont créé des conditions favorables à la croissance des micro-organismes. En Europe, des enquêtes récentes montrent que les problèmes d'humidité touchent 45 % des bâtiments. Plus de 40 % des occupants de ces maisons humides se plaignent d'une large variété de symptômes.


Aujourd'hui, l'augmentation des maladies allergiques en fréquence et en gravité pose un problème de santé publique. En deux décennies, le nombre d'asthmatiques a doublé et la mortalité due à l'asthme s'est accrue chez les 15-34 ans. Plus de 10 % de la population montre une hypersensibilité allergique. Les causes de l'humidité intérieure sont nombreuses. Elles peuvent provenir du bâti : infiltrations d'eau à travers les murs et les toitures ou remontées d'humidité à partir du sol. L'isolation est en cause : ponts thermiques, condensation sur les vitrages, pare-vapeur de l'isolant tourné vers l'extérieur de la construction, dégradation de

l'isolant dans les cloisons, absence de fenêtre dans les salles de bains, ... De plus, les dégâts des eaux endommagent les matériaux : fuites d'eau, inondations. L'humidité provient également de l'occupation humaine : vapeur d'eau produite par la respiration et l'évaporation cutanée ou issue des activités domestiques (toilette, cuisson, vaisselle, lessive, séchage du linge, ...), mauvaise ventilation par erreur de conception et défaut d'entretien ou un volume trop important de plantes vertes.

Les conséquences sanitaires de l'humidité sont nombreuses, particulièrement sur les populations sensibles. Ainsi, les enfants sont concernés du fait d'un développement respiratoire inachevé et d'une ventilation plus rapide. De plus, leur position plus près du sol les expose à des concentrations de polluants plus élevées. Les personnes âgées comme celles porteuses d'affections pulmonaires et d'allergies respiratoires et les malades souffrant d'affections ostéo-articulaires sont également visés.

Dégradation de la qualité de l'air intérieur

L'humidité est l'un des plus graves problèmes de la dégradation de la qualité de l'air inté-



Plus de 40 % des occupants de maisons humides se plaignent de symptômes variés.

¹ D'après :

- Les travaux du Dr. Nicole Nolard, Institut de Santé Publique, section Mycologie, Rue Wvystman, 14, B 1050 Bruxelles
- Les communications lors du Congrès Healthy Buildings 2000, Helsinki, 6-10 août 2000
- L'Ecologie, c'est la Santé, Suzanne Déoux, Ed. Frison-Roche
- Habitat Qualité Santé, clefs en mains, Suzanne Déoux, Ed. Medieco, Soleils Diffusion



Les dégâts des eaux endommagent les matériaux. L'humidité provient aussi de la présence humaine.

rieur. Avec l'amélioration de l'étanchéité de l'enveloppe, le taux d'humidité à l'intérieur des bâtiments a augmenté. Le contrôle hygrothermique pose un nouveau défi technique et sanitaire. Cette préoccupation se révèle particulièrement sensible dans les régions où les températures extérieures, basses en hiver, engendrent une condensation sur toutes les surfaces où la température est inférieure au point de rosée (niveau de saturation) de l'air ambiant.

Il faut distinguer l'humidité provenant de la structure du bâtiment de l'humidité de l'air intérieur. D'un point de vue sanitaire, l'humidité issue de la structure a pour conséquence le développement de moisissures et de bactéries au sein des matériaux accompagné de l'émission de substances odorantes et irritantes. Une humidité relative élevée de l'air intérieur aug-

mente le risque d'infestation par les acariens et entraîne des condensations sur les zones froides des surfaces favorisant la prolifération fongique et bactérienne.

L'humidité relative (HR), communément appelée « humidité », est une mesure de la quantité de vapeur d'eau présente dans l'air, exprimée en pourcentage de la quantité maximale de vapeur d'eau que l'air peut renfermer à la même température. Lorsque la température change, l'humidité relative change aussi, étant donné que la capacité de l'air à retenir la vapeur d'eau augmente avec la température.

Un milieu propice aux micro-organismes de tout genre

Les micro-organismes constituent des particules viables (par opposition aux particules inertes, chimiques, minérales, ...) suscep-

tibles de se reproduire si les conditions sont réunies : nourriture, plus humidité, plus chaleur. On compte dans ces micro-organismes les bactéries et les virus, les moisissures, champignons microscopiques, et les insectes comme les acariens, les blattes et les termites.

Si certains virus et bactéries, une fois libérés par l'homme ou l'animal, ne survivent pas longtemps dans l'air, d'autres peuvent subsister des mois et des années sur des surfaces humides, comme le bacille pyocyanique. En plus de leur pouvoir infectieux, les bactéries négatives diffusent, à partir de leur paroi, des endotoxines mesurées dans l'air intérieur et impliquées dans la survenue des crises d'asthme.

Dans les habitations, les micro-organismes animaux comme les acariens figurent parmi les plus connus. Insectes microscopiques (400 microns) aux déjections allergisantes, ils ne peuvent proliférer que dans certaines conditions de chaleur et d'humidité optimales à leur développement : 24 °C et 75 % d'humidité relative. Une baisse du taux d'humidité de 5 % divise par six le nombre d'acariens. Ils disparaissent avec une humidité relative inférieure à 45 %. L'incidence de l'allergie aux acariens, dans les chambres exposées au nord, peu ensoleillées et plus humides, est plus grande que dans les autres orientations. Les blattes, insectes primitifs, appartenant à un ordre vieux de 340 millions d'années, très prolifiques (parfois 35 000 descendants pour un individu) affectionnent les lieux chauds et humides. Ils véhiculent des bactéries pathogènes et leurs déjections sont allergisantes.

Les termites, attirés par les locaux humides et la cellulose, ne posent pas de problème de santé direct mais indirect par certains traitements toxiques employés pour les éliminer.

Autres micro-organismes, les moisissures représentent plus de 100 000 espèces différentes de champignons microscopiques, parmi lesquels les espèces filamenteuses se disséminent dans l'air par l'intermédiaire de leurs spores (2 à 3 microns). Les spores asexuées des moisissures sont les particules vivantes les plus nombreuses de l'air intérieur. Au cours de travaux, la teneur de l'air en spores peut être multipliée par un facteur 10 000.

Les moisissures : un processus dynamique

Lorsque les conditions de chaleur et d'humidité sont réunies, les moisissures utilisent comme nutriments la fine couche de poussière et de débris organiques (carbone, azote, ...) couvrant normalement toute surface des logements. Certaines espèces possèdent une affinité pour des substances précises, par exemple la cellulose. Les matériaux organiques, riches en cellulose (papier, carton, bois), et les produits qui, bien qu'inorganiques (matériaux d'isolation), peuvent contenir quelques sources de carbone et d'azote sont plus susceptibles d'attaques microbiennes que les matériaux minéraux. Le métabolisme des moisissures produit une importante quantité de composés organiques volatils (COV) très odorants : limonène, acétone, méthylcétone (odeur de fromage bleu), butanone, hexanone, octanone, ... Le seuil olfactif très faible de certains de ces COV permet d'identifier de fortes odeurs de moisi bien avant l'apparition des signes visibles du développement mycélien.

Les moisissures qui se développent sur les murs intérieurs – condensations dans les angles des pièces, au-dessous des fenêtres, derrière les meubles accolés aux parois, dans les placards de cuisine, ... – ne constituent que la partie visible du problème. La colonisation des moi-

ssures ne s'effectue pas seulement sur les surfaces mais également dans les interstices des parois lorsque l'humidité est évacuée par les fuites d'air dans l'enveloppe du bâtiment. Les matelas constituent également des réservoirs importants de moisissures qui peuvent contenir jusqu'à 10^7 spores par gramme de poussière. La colonisation fongique des matériaux de construction est un processus dynamique dans lequel la composition des micro-organismes change en fonction de l'équilibre d'humidité relative des matériaux. Si le substrat affiche une humidité relative comprise entre 75 et 80 %, les espèces *Aspergillus*, *Penicillium*, *Eurotium* prospèrent. De 80 à 90 %, le *Cladosporium* se développe. Au-dessus de 90 %, on trouve les espèces *Fusarium*, *Stachybotrys*.

La réduction de l'humidité diminue la viabilité fongique dans le matériau mais ne modifie pas celle des spores très résistantes à des humidités relatives voisines de 30 %. Leur concentration peut augmenter de vingt fois lors du séchage. Le taux des moisissures dans les matériaux, pour une même humidité relative, est plus élevé durant la désorption de l'eau, lorsque le matériau sèche, que lors de l'absorption quand le matériau devient humide.

Des allergies multipliées par deux ou trois

La contamination aérienne par les spores fongiques provoque des problèmes de santé, de plus en plus inquiétants. Plusieurs composants interviennent, en premier lieu des protéines allergisantes.

Le premier cas d'allergie respiratoire aux moisissures a été décrit au XVIII^{ème} siècle : après la visite d'une cave dont les parois étaient couvertes de moisissures, une personne présente une crise d'asthme. Actuellement, on considère que, lors d'exposition à



Dans la cuisine, il faut brancher la hotte aspirante durant la cuisson et mettre des couvercles sur les casseroles pour diminuer la vapeur d'eau.

Un thème de recherches

Le problème des moisissures est suffisamment préoccupant pour justifier de nombreuses études en Amérique et Europe du Nord. Un programme de recherche « Moisissures dans les bâtiments » est en cours au Danemark. Ces recherches, qui se sont étalées sur quatre ans et s'achèveront en 2001, ont adopté à la fois une orientation médicale, microbiologique et technique de construction. L'exigence essentielle n° 3 (hygiène, santé et environnement) de la Directive européenne Produits de construction prévoit l'évaluation du comportement des produits de construction face à l'humidité et leur capacité à favoriser l'apparition de micro-organismes nuisibles. Trop souvent, les concepteurs et les occupants considèrent que l'humidité intérieure a peu d'importance et accordent plus d'attention à la température ambiante plus facile à quantifier, à comprendre et à maîtriser. L'humidité constitue pourtant un facteur de risque pour la santé.



Il est recommandé d'évacuer la vapeur d'eau du sèche-linge vers l'extérieur ou, en son absence, de sécher le linge à l'extérieur le plus possible.

l'humidité et aux moisissures, la fréquence des maladies allergiques et infectieuses des voies respiratoires est multipliée par deux ou trois. L'inhalation de spores fongiques entraîne des pathologies allergiques très diverses : rhinite, bronchite allergique, asthme, alvéolite allergique. On estime que 10 à 15 % de la population est allergique à des moisissures fréquentes comme *Cladosporium* et *Alternaria*. Les enfants dont les résidences connaissent des contaminations fongiques ont une stimulation chronique des lymphocytes. L'aspergillose broncho-pulmonaire est particulièrement grave chez les immuno-déprimés et les hospitalisés : 50 à 100 % des malades atteints d'aspergillose invasive nosocomiale décèdent.

Parmi les composants des moisissures, on trouve aussi des bêta-3 glucanes, contenus dans leur paroi. Ces puissants agents inflammatoires sont à l'origine d'irritations des yeux, du nez, de la gorge, associés à de la fatigue et à des maux de tête.

Les moisissures produisent également des mycotoxines qui peuvent avoir des conséquences dermatotoxiques, immunotoxiques et carcinogènes. Leur inhalation peut provoquer des maladies très

graves. Les trichothécènes produites par *Stachybotrys atra* ont été incriminées, chez de très jeunes enfants, dans des hémorragies pulmonaires mortelles. Cette moisissure se développe particulièrement dans les bâtiments après des dégâts des eaux. Les spores mortes sont encore allergisantes et toxiques. L'espèce *Aspergillus versicolor*, la seconde espèce la plus fréquente, selon une étude réalisée sur cent trente maisons belges (76,1 %), produit une toxine cancérigène appelée la sterigmatocystine.

La dégradation des matériaux augmente les émissions toxiques

L'humidité favorise le saturnisme en diminuant l'adhérence des peintures. Dans l'habitat ancien, l'écaillage des peintures au plomb entraîne de fortes intoxications chez les enfants de moins de sept ans.

Elle augmente les émissions des matériaux de construction qui, en raison de leurs composants propres, peuvent être le siège d'émissions primaires, très élevées après la fabrication mais qui diminuent de 60 à 70 % au cours des six premiers mois et disparaissent après la première année d'utilisation.

De plus, l'humidité provoque également une destruction chimique au sein des matériaux de construction. Les émissions secondaires produites par une dégradation du matériau peuvent augmenter, durer très longtemps et affecter de manière importante la qualité de l'air intérieur.

L'humidité intervient, par exemple, dans :

- le dégazage de formaldéhyde des matériaux. Comme le formaldéhyde est un gaz soluble dans l'eau, de forts taux d'humidité relative entraînent l'émanation de formaldéhyde des nombreux produits qui en contiennent ;

- l'hydrolyse des phtalates des revêtements de sol en PVC, surtout combinée avec l'alcalinité du béton ;
- le dégagement d'ammoniac à partir des produits contenant de la caséine (chapes autonivellantes sur plancher béton). L'alcalinité et l'humidité décomposent la caséine en ammoniac et en amines ;
- la formation d'acides nitriques et nitreux par interaction de la vapeur d'eau avec les dioxydes d'azote produits par la cuisson au gaz. Ces acides pourraient être un facteur de diminution de la fonction pulmonaire.

Contrôler l'humidité : conseils pratiques

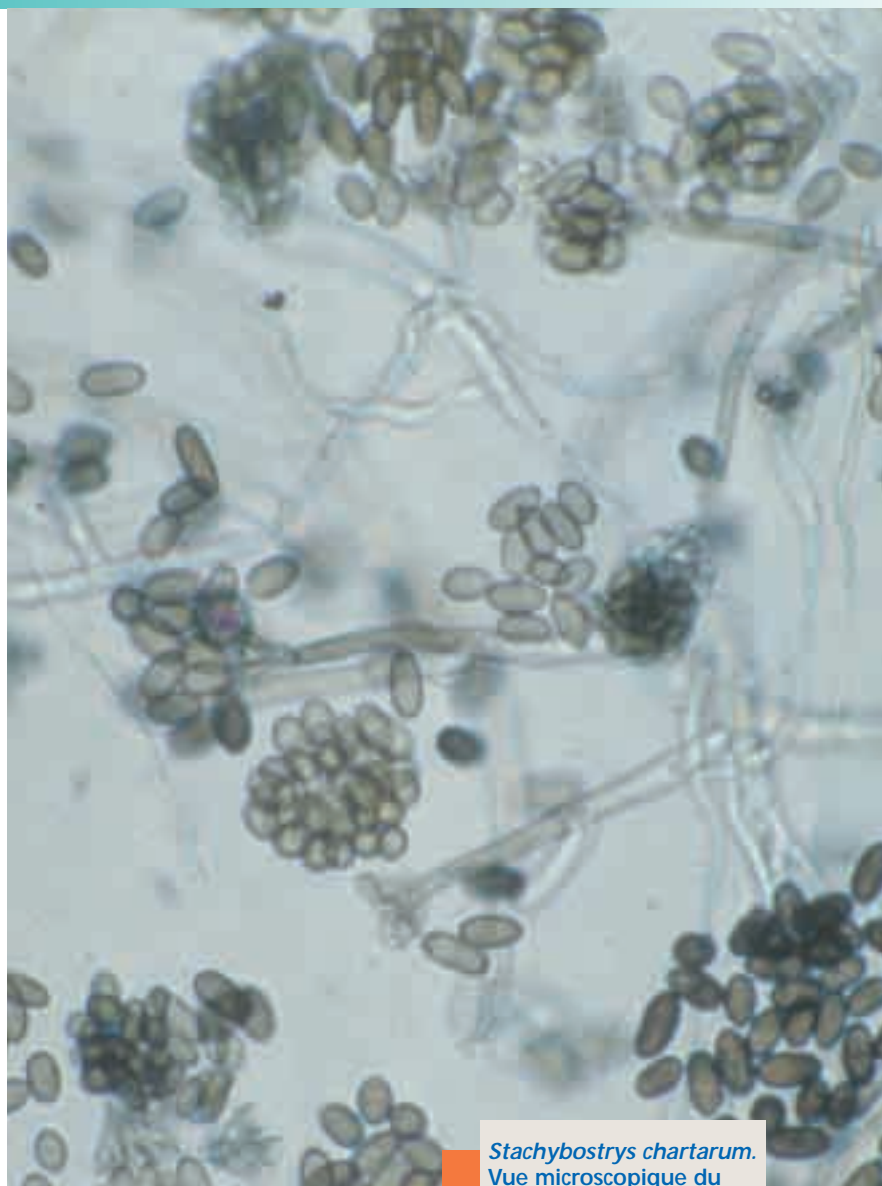
Pour garder un taux d'humidité de 40 à 50 % il faut :

- assurer une bonne ventilation, surtout après des activités comme le bain, la douche et la cuisson ;
- si un déshumidificateur est employé, vider quotidiennement le bac. L'emploi des humidificateurs, source de moisissures, doit être surveillé et l'appareil nettoyé régulièrement ;
- dans les toilettes et salles de bains, il faut s'assurer que l'excès d'humidité est évacué par une ventilation efficace, essuyer les surfaces humides après la douche, employer une substance fongicide régulièrement ;
- dans la cuisine, il faut brancher la hotte aspirante durant la cuisson, mettre des couvercles sur les casseroles pour diminuer la vapeur d'eau, nettoyer souvent le réfrigérateur ;
- il est recommandé d'évacuer la vapeur d'eau du sèche-linge vers l'extérieur ou, en son absence, sécher le linge à l'extérieur le plus possible.

Allergie aux moisissures

NICOLE NOLARD, chef de section Mycologie, Institut scientifique de santé publique, Bruxelles

L'inhalation de spores fongiques entraîne l'apparition de pathologies allergiques les plus diverses : rhinite, dermatite, bronchite allergique, asthme, aspergillose broncho-pulmonaire allergique et même alvéolite allergique extrinsèque.



Stachybotrys chartarum.
Vue microscopique du champignon.

Les spores asexuées des moisissures sont les particules vivantes les plus nombreuses et les plus diversifiées de l'air que nous respirons. Plusieurs milliers de moisissures sont capables de disséminer leurs spores par voie aérienne et, en zone tempérée, plusieurs centaines d'espèces occupent, en permanence, notre environnement direct.

Les études qui tentent de définir la composition fongique de l'air inhalé dans les espaces clos sont encore très insuffisantes et les résultats souvent incomplets et inexploitable. En effet, bon nombre de moisissures ne se développent que sur des milieux spécifiques et la température d'incubation introduit une sélection qui biaise totalement les

résultats. De plus, les méthodes de prélèvement par sédimentation sont encore utilisées trop souvent (boîtes de Pétri simplement ouvertes et exposées à l'air) et ne donnent qu'un aperçu sommaire de la mycoflore car nombreuses sont les spores qui ne sédimentent pas dans ces conditions. Ce flou dans l'information est encore aggravé par le fait que nombre de chercheurs n'identifient pas les espèces isolées et se contentent de préciser le genre auquel appartiennent ces moisissures. Or, en matière d'allergie, la spécificité est un élément fondamental et incontournable pour l'établissement du diagnostic. Combien y-a-t-il réellement d'espèces allergisantes ?

Plus de 150 espèces de champignons détectées

Les moisissures domestiques se développent en abondance dans les endroits humides, mal ventilés, chauds et sombres. On trouve donc des conditions idéales en région chaude et humide mais aussi, actuellement, en région tempérée. En effet, l'utilisation incontrôlée de moyens d'isolation à laquelle on a assisté depuis les crises pétrolières a largement favorisé le développement, de la cave au grenier, de zones de condensation (ponts thermiques, ...) qui sont rapidement devenues le siège d'un intense développement mycélien. Le mode de vie a évolué parallèlement entraînant, de plus en plus, la production et l'accumulation d'humidité dans l'habitat (douches fréquentes, nouveaux modes de cuisson, aération insuffisante des chambres, ...).

L'Institut scientifique de la santé publique (ISSP) a étudié des échantillons recueillis entre 1981

et 2000 dans plus de 500 logements urbains ou ruraux de patients allergiques et/ou asthmatiques répartis sur l'ensemble de la Belgique. Les résultats ont permis de détecter plus de 150 espèces de champignons parmi lesquelles les espèces *Cladosporium*, *Penicillium* et *Aspergillus*, qui ont été retrouvées dans plus de 90 % à 98 % des logements testés. *Cladosporium sphaerospermum* envahit 60 % des logements, il est responsable des taux de contamination les plus élevés, en particulier dans les chambres à coucher et dans les salles de bains (plusieurs centaines de spores/m³ d'air). Cette espèce est

Matelas envahi par *Cladosporium sphaerospermum*.

Dans une chambre mal ventilée, le contact entre le matelas et le sommier à lattes fixes crée une zone humide en permanence qui est rapidement envahie de moisissures. Les traces noires sur la toile du matelas sont dues au développement de *Cladosporium sphaerospermum*. Cette contamination a été responsable d'un cas d'asthme de l'adulte.

souvent associée à *Aureobasidium pullulans*, *Phoma sp*, *Acremonium strictum*, et à diverses levures sur les châssis de fenêtres tandis que *Cladosporium herbarum*, pathogène strict de végétaux, ne se développe pas dans la maison. Ses spores pénètrent cependant en abondance dans les logements par portes et fenêtres, principalement durant les mois d'été.

Aspergillus versicolor, *Penicillium chrysogenum*, *Penicillium auran-tiogriseum*, *Penicillium spinulosum*, *Penicillium brevicompactum*, *Chaetomium globosum*, *Stachybotrys chartarum*, *Acremonium strictum*, *Alternaria alternata* sont d'autres espèces parfois très abondantes sur les murs des chambres, pièces de séjour et cuisines. L'asthme allergique constitue le diagnostic le plus fréquent en liaison avec la présence de ces diverses moisissures.

Il faut par ailleurs signaler que les matelas sont également des réservoirs ignorés et pourtant importants de moisissures : les concentrations atteignent souvent 10³ à 10⁷ spores/gramme de poussière ! En région tempérée, tout comme les acariens, les moisissures profitent largement de l'humidité excessive des chambres liée au manque de ventilation et au mode de vie actuel. En région tropicale, les conditions favorables au développement de ces moisissures existent d'emblée dans les logements. Épinglons, parmi les espèces les plus abondantes, *Cladosporium sphaerospermum*, *Alternaria alternata*, *Epicoccum purpureum*, *Aureobasidium pullulans*, *Aspergillus restrictus*, *Aspergillus versicolor*, diverses espèces de *Mucorales* et *Trichoderma*. Des traces noirâtres dues à *C. sphaerospermum* sont même parfois visibles aux points de contact des matelas avec un sommier à lattes fixes.

Enfin, signalons qu'il existe certains Basidiomycètes se développant essentiellement dans les



espaces clos. *Serpula lacrymans*, encore appelé *Merulus lacrymans*, est la redoutable mэрule responsable de dégâts considérables dans les habitations. Ce champignon destructeur du bois humide dans un premier temps est capable de se propager à une vitesse inouïe dans les charpentes et même à travers les murs. Il ne se développe que dans les espaces clos. Le manque de ventilation des habitations actuelles a entraîné une réapparition brutale de ce champignon depuis une vingtaine d'années et des cas de sensibilisation ont été signalés.

Les moisissures responsables de réactions allergiques

Les mycotoxines associées aux moisissures sont des métabolites secondaires de faible poids moléculaire comparé aux allergènes. Il est bien établi que l'ingestion de mycotoxines (ex. aflatoxines) peut entraîner maladie et mort chez l'homme. Diverses études montrent à présent que l'inhalation de ces mycotoxines, aux mêmes doses, est encore plus toxique. Les trichothécènes, produites *Stachybotrys chartarum* et divers *Fusarium spp.*, la patuline, l'acide penicillique produit par divers *Penicillium* ont démontré une toxicité aiguë. Or, on peut observer de larges zones de contamination par *Stachybotrys chartarum* et *Aspergillus versicolor* sur les murs d'habitations humides. Il convient d'être très prudent devant un patient habitant dans une maison « moisie » et qui présente des phénomènes d'irritation et de nausées dans son logement.

Les B1-3 glucanes, importants composants de la paroi des moisissures, agissent comme de puissants agents inflammatoires. Leur rôle dans l'exacerbation de l'asthme dans les logements « moisies » ne doit pas être négligé.



Mur d'une chambre d'enfant recouvert de diverses moisissures.

Dans ce logement de construction récente, des moisissures se sont rapidement développées au niveau des ponts thermiques dans le séjour et derrière les meubles de la chambre d'enfants. L'enfant, âgé de trois ans, a parallèlement développé un asthme aux moisissures.

Les moisissures interviennent à divers niveaux de la réaction allergique et en particulier de l'asthme. Certaines moisissures (*Alternaria* par exemple) sont des allergènes puissants au même titre que les pollens, pouvant même être responsables d'asthmes sévères nécessitant une hospitalisation d'urgence. De nombreuses moisissures produisent des métabolites secondaires qui s'accumulent dans les spores aéroportées. L'inhalation de ces spores accentue alors la

réaction inflammatoire dont on connaît le rôle important dans l'asthme. Enfin, il existe des moisissures produisant des toxines qui agissent directement sur les bronches et les tissus pulmonaires et en fragilisent les parois.