

Pollution du domicile et maladies allergiques

Concepts architecturaux et réduction de la charge allergénique

F. de Blay*, G. Fourgaut, S. N'Gom

Service de pneumologie, hôpital Lyautey, Hôpitaux universitaires de Strasbourg, 1, place de l'Hôpital, BP 426, 67091 Strasbourg cedex, France

Résumé

Le rôle de l'architecture dans la réduction de l'exposition allergénique a été peu étudié. En ce qui concerne les acariens, de nombreux travaux se sont intéressés au lien entre la ventilation et les concentrations d'allergènes dans la poussière et ont démontré le rôle important du confinement dans l'augmentation de la charge allergénique. Des données semblables, bien que plus parcellaires, ont été retrouvées pour les moisissures. En ce qui concerne les allergènes de chat, le faible niveau de renouvellement de l'air, ainsi que la présence de moquette, augmente les concentrations aériennes de l'allergène majeur du chat Fel d 1. Lors d'une enquête réalisée auprès de 120 architectes du Bas-Rhin, sur le thème de l'allergie et de l'habitat, nous avons pu montrer que près de 80 % d'entre eux étaient désireux de développer un partenariat avec les médecins. Pour un quart des architectes, 50 % de leurs clients étaient prêts à faire des travaux dans leur logement pour des raisons de santé. Dans le futur, grâce à l'observatoire de la qualité de l'air intérieur, nous allons mieux connaître les degrés d'exposition des polluants domestiques puisque près de 800 logements seront explorés tous les ans. Ainsi, les médecins et particulièrement les allergologues devront répondre de plus en plus souvent aux questions des patients et des professionnels du bâtiment sur les liens entre l'allergie et l'habitat, et les méthodes d'amélioration de la qualité de l'air intérieur. © 2002 Éditions scientifiques et médicales Elsevier SAS

allergène domestique / architecte / exposition / réduction allergénique

Summary – Architectural concepts and the reduction of allergen exposure.

The role of architecture in the reduction of allergen exposure has not been extensively studied. For mites, several publications described the role of ventilation in mite allergen exposure and demonstrated that tight houses had high levels of mite allergen. For molds, the results seem to be similar but the data are less convincing. For cats, decreasing air change per hour and covering floors with carpets induced an increase in airborne cat allergen Fel d 1. We performed a study with 120 architects in the Bas-Rhin and demonstrated that 80% of them wanted to collaborate with medical doctors. In the future, allergists will have to answer more frequently to patients and to building professionals on the relation between allergy and housing and methods of improvement of indoor air quality. © 2002 Éditions scientifiques et médicales Elsevier SAS

allergen / allergen reduction / architect

*Correspondance et tirés à part.

Si de nombreuses études ont porté sur le rôle de certains textiles, de certains produits chimiques ou certaines méthodes physiques de réduction des allergènes, peu d'études ont essayé d'apprécier l'effet de l'architecture de l'habitat dans l'éviction des allergènes. Par ailleurs, il a été démontré récemment que certains polluants domestiques pourraient augmenter la réponse IgE dépendante vis-à-vis des pneumallergènes de l'environnement intérieur [1]. Ainsi, il convient de s'intéresser aux travaux appréciant les liens entre exposition allergénique et architecture mais aussi ceux ayant trait aux effets de la conception du bâtiment sur les concentrations de certains polluants non allergéniques.

RELATION ENTRE HABITAT ET EXPOSITION ALLERGÉNIQUE

Les acariens

Rôle de la ventilation

Les acariens pyroglyphides ne supportent pas une sécheresse trop importante de l'air dans lequel ils se trouvent. En effet, ils sont composés à 70–75 % d'eau et sont très dépendants de l'hygrométrie de l'air environnant. L'absorption de l'eau se fait par la glande supracoxale, localisée à la base des premières paires de pattes. Celle-ci sécrète une substance hyperosmotique de chlorure de sodium et de potassium qui permet l'extraction de l'eau à partir d'un air insaturé [2]. Ainsi, le seuil critique d'humidité relative pour *Dermatophagoides farinae* varie de 55 à 75 % pour une température allant de 15 à 35 °C [3]. Cependant l'alternance de périodes d'humidité relative élevée (75 %) de quatre à huit heures par jour avec des périodes de 16 à 20 heures d'humidité relative de 35 % induit une réduction du nombre de colonies d'acariens de 97 % sans toutefois entraîner une éradication complète. À l'opposé, l'exposition continue à une humidité relative de 85 % inhibe la croissance des acariens [4]. Pour Dpt, le seuil d'humidité relative critique est de 70 % à 25 °C [2]. Ces propriétés ont été évaluées en conditions réalistes dans différents types d'études qui incluent aussi bien les chambres et les pièces de séjour que la cuisine et la salle de bains. Ainsi, la présence d'une cuisine mal ventilée ou d'une salle de bains avec des taches d'humidité serait un facteur d'augmentation des concentrations d'allergènes.

De même, l'absence de développement des acariens à une altitude supérieure à 1 500 mètres sous nos latitudes [5, 6] pourrait être expliquée par une hygrométrie basse. Plusieurs travaux ont mis en évidence un lien entre le confinement, l'humidité relative et les concentrations d'allergènes d'acariens [7]. D'autres ont souligné les avantages de la ventilation mécanique sur l'évolution des taux d'acariens et de leurs allergènes [8, 9]. La plupart de ces études étaient issues principalement d'Europe du Nord ou de régions à climat semi-continental [8, 9]. Cependant, si dans les pays à hivers froids et secs l'augmentation du renouvellement de l'air est reconnue comme efficace dans la lutte anti-acariens, des résultats contradictoires proviennent des zones plus tempérées. Deux études anglaises, l'une à Manchester et l'autre à Southampton ont montré, pour la première, l'inefficacité de la ventilation mécanique sur les concentrations d'allergènes d'acariens et pour la seconde une baisse très significative de l'humidité relative et de l'exposition allergénique dans les matelas et la moquette des chambres [10, 11]. À Marseille, le niveau d'humidité de l'habitation ne semble pas avoir d'effet sur les concentrations de Der p 1 [12]. En revanche, dans des régions chaudes et humides, l'utilisation conjointe de déshumidificateurs et d'une climatisation capables de réduire l'humidité relative à moins de 51 %, entraînerait une réduction très significative des acariens et de leurs allergènes [13]. Cependant, lorsqu'un support textile est infesté, une baisse de l'humidité relative de 75 à 33 % ne semble pas avoir d'effets sur les concentrations d'acariens, soulignant le rôle important des conditions d'hygrométrie des microenvironnements [14] (*tableaux I et II*).

Autres éléments

Les taux d'allergènes d'acariens du groupe 1 sont significativement plus élevés dans la poussière des sols de chambres et de salon situées au rez-de-chaussée, particulièrement des maisons sans vide sanitaire [21]. Le niveau de confinement, à savoir l'adéquation du nombre d'habitants par rapport à la taille du logement est un élément à prendre en compte. Ainsi, la présence de plus de trois enfants dans une habitation augmente les concentrations d'allergènes de façon significative [22].

En Suède, le nombre d'acariens pyroglyphides et d'acariens de stockage (*Acaridae* et *Glycyphagidae*)

Tableau I. Efficacité de la ventilation mécanique.

Auteurs	Type d'étude	Durée	Effets sur l'humidité	Effets sur les acariens
Wickman [10])	Comparaison VM / VN	–	HA (< 7 g/kg) par VM (83,4 %) / VN (34,8 %) (OR : 0,1 ; IC : 0–0,2)	Taux allergènes > 98,5 ng/g : VM (20,8 %) / VN (65,2 %) (OR : 0,1 ; IC : 0–0,5)
Harving [9]	Comparaison VM / VN	15 mois	HA : chute de 6,6 à 5,6 g/kg ($p < 0,01$)	Nbre acariens réduit de 110 à 35/g ($p < 0,01$)
Fletcher [11]	Comparaison VM / VN	12 mois	HR plus basse à 3 et 6 mois sous VM (diff. S)	Concentrations Der p 1 et acariens comparables (diff. NS)
Warner [12]	Comparaison VM, VM + aspirateur : VNA ; aspirateur ; VN	12 mois	HA diminuée par VM ou VNA ($p < 0,001$)	Nbre acariens réduit par VM ou VNA ($p < 0,05$) ; concentration Der p1 plus faible par VM ou VNA ($p < 0,001$)
Emenius [15]	Comparaison VM, VN et VNA	18 mois	HR plus basse par VM (31,3 %) / VNA (37,3 %) et VN (40,3 %) ($p < 0,0001$)	Échange air > 0,5 % : concentration allergènes < 0,5 µg/g ($p = 0,03$)
Hirsch [16]	Comparaison vitrage isolant + chauffage : V + C et VN	7 mois	HA augmentée par V+ C (6,2 g/kg) / VN (4,6) ($p < 0,001$)	Concentration Der f 1 augmentée de 0,65 à 1,28 µg/g sous V+ C ($p < 0,0005$)
Niven [17]	Comparaison VMD / VN	15 mois	Baisse HA et HR par VMD	Baisse concentrations allergènes par VMD (mais NS)

VM : ventilation mécanique ; VN : ventilation naturelle ; VNA : ventilation naturelle améliorée ; HA : humidité absolue ; HR : humidité relative ; VMD : ventilation mécanique + déshumidificateur.

Tableau II. Efficacité de la déshumidification.

Auteurs	Type d'étude	Durée	Effets sur l'humidité	Effets sur les acariens
Arlian [5]	Comparaison déshumidification, climatisation, VN	19 mois	HR < 51 % obtenue plus efficacement par déshum. (diff. S)	HR < 51 % : réduction nbre acariens de 401,2 à 8,2/g ($p = 0,004$) ; réduction densité allerg. gr.I de 17,5 à 3,8 µg/g ($p = 0,001$)
Custovic [18]	Désh. vs contrôle	3 mois	NS	Der p1 et nbre acariens : NS
Hyndman [19]	Comparaison MD, programme de mesures, MSD	12 mois	HR comprise entre 47,4–57,2 % (MD) / 54,8–70,3 % (autres) ($p < 0,05$)	Concentrations Der p1 et nbre D pt. : NS
Cabrera [20]	Comparaison MD, MSD	6 mois	–	Réduction concentrations Der p 1 de 62,58 à 13,86 µg/g ($p = 0,0142$)

MD : maisons avec déshumidificateur ; MSD : maisons sans déshumidificateur ; VN : ventilation naturelle.

est plus élevé dans des bungalows que dans des appartements [23]. L'âge de l'habitation est mentionné comme facteur favorisant dans deux études [24, 25] mais ne semble pas avoir un effet sur les concentrations en allergènes d'acariens [21] tant en Grande-Bretagne qu'à l'île de La Réunion. En effet dans une étude comprenant 189 logements, les concentrations en Der p 1 et Der f 1 n'étaient pas liées à l'âge de l'habitation.

L'altitude à laquelle la maison se trouve joue un rôle très important sous nos latitudes, mais ne revêt

plus d'intérêt sous un climat tropical car l'humidité relative reste suffisamment élevée pour permettre le développement des acariens [26].

Bien que les raisons soient inconnues, les concentrations d'allergènes d'acariens (Der p 1) sont particulièrement basses dans les dortoirs d'étudiants australiens (en moyenne, 1,5 et 1,8 µg/g) par rapport aux domiciles (22 µg/g de poussière) [27]. Nous avons retrouvé des résultats semblables à Strasbourg.

En résumé, tous les éléments qui favorisent une augmentation de l'humidité relative à l'intérieur d'un

logement sont des facteurs augmentant les concentrations d'allergènes. Ainsi, Emenius et al. [28] considèrent que l'absence de condensation sur des doubles vitrages et une humidité absolue inférieure à 3 g/m³ durant l'hiver signent une faible infestation par les acariens avec une excellente sensibilité (90 %) et une spécificité de 50 %. De tels résultats n'ont pas été trouvés par d'autres [29].

Les allergènes de chat

La présence d'une moquette, lorsque les taux de renouvellement d'air sont bas (0,2 changement d'air par heure, CAH) entraîne une augmentation des concentrations d'allergènes de chat. En revanche, l'augmentation de la ventilation de 0,2 ACH à 2,4 ACH dans une pièce où le sol est lisse diminue l'exposition allergénique [30, 31]. Pour les rongeurs (rats) des données semblables ont été retrouvées. Ainsi, dans les maisons qui abritent des mammifères, la présence de moquette et une faible ventilation sont responsables d'une augmentation de l'exposition.

Les allergènes de blattes

La présence de blattes et d'allergènes de blattes Bla g 1 et Bla g 2 est plus fréquente dans les appartements que dans les maisons individuelles avec un risque relatif de 1,4 (IC : 1,1–1,6) [29]. La présence de vide-ordures est un facteur favorisant le développement des blattes.

Les moisissures

Il n'existe pas de corrélation importante entre la présence de taches d'humidité et les concentrations de moisissures dans la poussière. Aucun questionnaire portant sur les caractéristiques de l'habitat ne permet de prédire l'importance de l'exposition aux moisissures [32]. Le nombre de colonies formant Unit/m³ n'est pas relié à l'humidité relative globale de la pièce. Ce résultat souligne le rôle potentiel des microenvironnements dans le développement des moisissures.

RELATION ENTRE HABITAT ET POLLUANTS AGGRAVANT LA RÉPONSE À L'ALLERGÈNE

Un certain nombre de travaux ont démontré que l'inhalation préalable de NO₂ entraînait une augmentation de la réponse à l'allergène, particulièrement pour *Dermatophagoides pteronyssinus* [1].

NO_x et NO₂

À la fin des années 1970, il a été montré que les taux de NO₂ à l'intérieur des maisons pouvaient être supérieurs à ceux mesurés à l'extérieur des maisons [33]. Le NO est un gaz inerte, produit par une combustion à haute pression. Il est rapidement oxydé dans l'air en NO₂ et ceci sous l'action d'oxydants tels que l'ozone. NO₂ est l'oxyde d'azote le plus important en quantité émise.

Sources

Les sources principales de NO₂ sont les cuisinières, les veilleuses des chauffe-eau et des poêles (gaz naturel ou propane), les poêles à bois, les cheminées à foyer ouvert, les radiateurs à gaz ou à kérosène, les moteurs à essence et la fumée de tabac. À l'intérieur des habitations, la quantité produite dépend du combustible utilisé, du type de cuisinière ou de poêle, du degré d'utilisation, de l'aération. Même des chauffages bien réglés émettent du CO et du NO₂. Les radiateurs fonctionnant mal ou mal raccordés peuvent produire des taux élevés de CO et de NO₂. Le NO₂ peut provenir également de l'air extérieur : 35 % de la combustion du fuel et du charbon et 45 % des moteurs de véhicules à essence [34].

Teneurs mesurées

Un ppm de NO₂ correspond à 1 800 µg/m³ et 1 ppb de NO₂ est égal à 1,8 µg/m³ [34]. Les normes fixées par l'Organisation mondiale de la santé pour l'Europe sont détaillées dans le [tableau I](#). Les teneurs moyennes à l'intérieur des maisons peuvent excéder les concentrations extérieures. Dans les cuisines mal ventilées, les maisons mal ventilées et équipées de radiateurs fonctionnant mal ou lors du fonctionnement d'une cuisinière à gaz, des pics de 720 µg/m³ à 1 800 µg/m³ [35] ont été mesurés. Les taux de NO₂ varient dans une cuisine lors de l'utilisation d'une cuisinière à gaz. Lors de l'utilisation du four et de trois brûleurs, les concentrations de NO₂ dans l'air

sont passées de 0 à 900 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en moins de 30 minutes. Il a fallu plus d'une heure et demi après l'arrêt de la cuisinière pour obtenir des taux de NO_2 non mesurables dans la cuisine. L'absence de ventilation mécanique dans la cuisine conduit à une augmentation des niveaux d'exposition au NO_2 de 11 %. Il n'est pas observé d'augmentation de l'exposition du NO_2 en rapport avec la fréquence d'utilisation de la cuisinière lorsque la cuisine est ventilée. Les niveaux de NO_2 sont significativement plus élevés (18 % en moyenne) en cas d'utilisation de gaz en bouteille, de pétrole liquéfié et de kérosène par rapport au gaz de réseau. Les femmes qui brûlent régulièrement de l'encens sont également plus exposées au NO_2 (10 %). Les taux de NO_2 sont deux à quatre fois plus élevés dans une maison chauffée au gaz par rapport à celle dont le chauffage est électrique. Aux États-Unis, 50 % des habitations seraient équipées de cuisinières à gaz. Les taux habituels moyens rencontrés dans une maison chauffée au gaz sont de 45 à 135 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Dans les maisons ayant une cuisinière à gaz, lors de mesure de l'exposition au NO_2 pendant une semaine, il a été démontré que les variations de NO_2 dans la chambre à coucher expliquent 80 % des variations de l'exposition personnelle à NO_2 .

Composés organiques volatiles et formaldéhyde

Des études épidémiologiques ont montré que chez les sujets asthmatiques l'exposition aux composés organiques volatiles pouvait être responsable de symptômes respiratoires. Plus récemment, il a été montré que l'augmentation de l'exposition au formol était responsable d'une augmentation de la fréquence des sensibilisations aux pneumallergènes.

À ce jour, de l'ordre de 50 à 300 composés organiques volatiles ont été identifiés dans l'air à l'intérieur des locaux [36]. Une cinquantaine sont communément retrouvés dans l'environnement intérieur. Par définition, ils sont tous volatiles à température ambiante [37]. Un groupe de travail de l'Organisation mondiale de la santé les a classés en 1989 en quatre catégories selon leur point d'ébullition :

- composé organique très volatil ou gazeux : point d'ébullition entre 50 °C et 100 °C ;
- composé organique volatil : point d'ébullition entre 50 °C et 260 °C ;
- composé organique semi-volatil : point d'ébullition entre 240 °C et 400 °C ;

- composé organique associé aux particules : point d'ébullition au-dessus de 400 °C.

Cependant, il n'existe pas de limites très claires entre les quatre catégories, car les méthodes de détermination du type de composés organiques volatiles dépendent de la technique d'absorption utilisée qui varie d'une substance à l'autre.

Les composés organiques volatiles détectés à l'intérieur des habitations appartiennent le plus souvent à neuf groupes de composés chimiques : alcanes, cycloalcanes et alkènes, hydrocarbures aromatiques ou benzéniques, hydrocarbures halogénés, terpènes, aldéhydes, cétones, alcools, esters.

Selon les définitions de l'Organisation mondiale de la santé, le formaldéhyde et l'acétaldéhyde ne font pas partie des composés organiques volatiles. Cependant, en raison de leur importance, ils sont souvent considérés avec les composés organiques volatiles. En effet, leur point d'ébullition est inférieur à 50 °C.

Sources

Les sources sont extrêmement nombreuses. Elles peuvent être en relation avec une production extérieure, comme la photooxydation du méthane et le métabolisme des plantes [38]. Cependant, les sources principales se trouvent à l'intérieur des locaux et sont très diverses : produits de construction et de décoration, activités d'entretien et de bricolage. Les sources les plus importantes de formaldéhyde sont les mousses urée-formol utilisées comme isolant thermique et les meubles en panneau de particules.

Teneurs mesurées

Les émissions sont continues ou discontinues selon le type de source et dépendent de paramètres comme l'âge d'un matériau, la température. Les concentrations de formaldéhyde libérées augmentent avec la température et l'humidité relative. Un ppm de formaldéhyde équivaut à 1,2 mg/m^3 (1 ppb = 1,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). L'unité du système international est le $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Les concentrations de composés organiques volatiles dans l'air intérieur sont variables dans le temps et très souvent supérieures de deux à dix fois à celles de l'air extérieur [36]. Les valeurs rencontrées restent cependant faibles, excédant rarement :

- 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour des composés individuels ; moins de 10 à 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$;
- 1 000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour la concentration totale en composés organiques volatiles ; la concentration totale de composés organiques volatiles est définie comme

étant la somme des dix composés organiques volatiles les plus concentrés, pris individuellement, séparés et quantifiés par une technique de chromatographie gazeuse. Selon Holcomb [39], la concentration moyenne de concentration totale de composés organiques volatiles serait de $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sauf dans les maisons nouvellement construites ou rénovées.

Ces concentrations sont beaucoup plus faibles que celles correspondant aux valeurs limites d'exposition admises dans la plupart des réglementations du travail (200 à 1 000 fois plus faibles que les valeurs limites d'exposition des États-Unis, par exemple).

Samet [38] souligne que des concentrations plus élevées de formaldéhyde ont été mesurées dans des maisons avec de la mousse urée-formol, par rapport aux maisons sans mousse urée-formol. Ainsi des concentrations de 24 à $156 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de formaldéhyde ont été retrouvées dans des maisons renfermant de la mousse urée-formol, contre 36 à $84 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dans les maisons sans mousse urée-formol. De même, des concentrations de 24 à $936 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de formaldéhyde ont été mesurées dans les mobile homes qui renferment en général beaucoup de panneau de particules.

Les maisons renfermant de la mousse urée-formol depuis moins de trois ans ont des concentrations de formaldéhyde plus élevées que celles qui en ont depuis plus de trois ans. Les concentrations moyennes de formaldéhyde sont supérieures à $72 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dans 84 % des maisons renfermant de la mousse urée-formol depuis moins de trois ans. En revanche, de telles concentrations n'étaient retrouvées que dans 22 % des maisons renfermant de la mousse urée-formol depuis plus de trois ans.

En France, les taux de formaldéhyde mesurés à l'intérieur des locaux sont en moyenne inférieurs à $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Des pics de $3 000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et des moyennes de $600 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ont été mesurés dans des habitats qui comportent de la mousse urée-formol ou des étagères en panneau de particules. Cependant ces prélèvements ont été réalisés dans un nombre limité de locaux, à savoir dans quatre appartements et dans trois immeubles collectifs.

CONCLUSION

Il apparaît nettement, à la lumière des différentes publications, que les architectes tout comme les médecins ne se sont pas très intéressés dans le passé aux liens entre l'habitat et la santé. Ce manque d'intérêt est parfaitement illustré par le travail de Olivo et

al. [40] qui ont enquêté auprès d'architectes et de médecins sur les liens entre habitat et santé. Ainsi, près de 23 % de 502 médecins considéraient qu'il n'existait aucun lien entre l'habitat et la santé. Cette proportion n'était que de 10 % pour les architectes ($n = 99$). De plus, seuls 43 % des médecins étaient désireux d'un partenariat avec les architectes, contre 67 % chez ces derniers. Nous avons réalisé une enquête auprès de 120 architectes du Bas-Rhin sur le thème de l'allergie et de l'habitat. Ainsi, nous avons pu montrer que les architectes bas-rhinois connaissent très bien les polluants allergéniques et non allergéniques de l'environnement intérieur (plus de 70 % ont donné des réponses exactes). Pour un quart d'entre eux, 50 % de leurs clients sont prêts à faire des travaux dans leur logement pour des raisons de santé. Enfin, les architectes sont près de 80 % à désirer développer un partenariat avec les médecins.

Dans le futur, grâce à l'observatoire de la qualité de l'air intérieur, nous allons mieux connaître les degrés d'exposition des polluants domestiques puisque près de 800 logements seront explorés tous les ans. Ainsi, les médecins et particulièrement les allergologues devront répondre de plus en plus souvent aux questions des patients et des professionnels du bâtiment sur les liens entre l'allergie et l'habitat, et les méthodes d'amélioration de la qualité de l'air intérieur.

RÉFÉRENCES

- 1 de Blay F, Lieutier-Colas F, Krieger P, Casel S, Pauli G. Asthme, allergie et polluants de l'habitat (à l'exception du tabac). *Rev Fr Allergol Immunol Clin* 2000 ; 40 : 193-215.
- 2 Colloff MJ. Dust mite control and mechanical ventilation : when the climate is right. *Clin Exp Allergy* 1994 ; 24 : 94-6.
- 3 Arlian LG, Platts-Mills TAE. The biology of dust mites and the remediation of mite allergens in allergic disease. *J Allergy Clin Immunol* 2001 ; 107 : S406-13.
- 4 Arlian LG, Neal JS, Vyszynski-Moher DAL. Reducing relative humidity to control the house dust mite *Dermatophagoides farinae*. *J Allergy Clin Immunol* 1999 ; 104 : 852-6.
- 5 Charpin D, Birnbaum J, Haddi E, Genard G, Lanteaume A, Toumi M, et al. Altitude and allergy to house-dust mites. A Paradigm of the influence of environmental exposure on allergic sensitization. *Am Rev Respir Dis* 1991 ; 143 : 983-6.
- 6 Peroni DG, Boner AL, Vallone G, Antolini I, Warner JO. Effective allergen avoidance at high altitude reduces allergen-induced bronchial hyperresponsiveness. *Am J Respir Crit Care Med* 1994 ; 149 : 1442-6.
- 7 Platts-Mills TAE, Vervloet D, Thomas WR, Aalberse RC, Chapman MD. Indoor allergens and asthma : report of the Third International Workshop. *J Allergy Clin Immunol* 1997 ; 100 : S1-24.
- 8 Harving H, Korsgaard J, Dahl R. House-dust mite exposure reduction in specially designed, mechanically ventilated « healthy » homes. *Allergy* 1994 ; 49 : 713-8.

- 9 Wickman M, Emenius G, Egmar AC, Axelsson G, Pershagen G. Reduced mite allergen levels in dwellings with mechanical exhaust and supply ventilation. *Clin Exp Allergy* 1994 ; 24 : 109-14.
- 10 Fletcher AM, Pickering CAC, Custovic A, Simpson J, Ken-
naugh J, Woodcock A. Reduction in humidity as a method of
controlling mites and mite allergens : the use of mechanical
ventilation in British domestic dwellings. *Clin Exp Allergy* 1996 ;
26 : 1051-6.
- 11 Warner JA, Frederick JM, Bryant TN, Weich C, Raw GJ, Hun-
ter C, et al. Mechanical ventilation and high-efficiency vacuum
cleaning : a combined strategy of mite and mite allergen reduc-
tion in the control of mite-sensitive asthma. *J Allergy Clin Immu-
nol* 2000 ; 105 : 75-82.
- 12 Dornelas de Andrade A, Birnbaum J, Lanteaume A, Izard JL,
Corget P, Artillan MF, et al. Housing and house-dust mites.
Allergy 1995 ; 50 : 142-6.
- 13 Arlian LG, Neal JS, Morgan MS, Vyszynski-Moher DAL,
Rapp CM, Alexander AK. Reducing relative humidity is a prac-
tical way to control dust mites and their allergens in homes in
temperate climates. *J Allergy Clin Immunol* 2001 ; 107 : 99-104.
- 14 De Boer R, Van der Hoeven W, Stapel S. The decay of house
dust mite allergens, Der p I and Der p II, under natural condi-
tions. *Clin Exp Allergy* 1995 ; 25 : 765-70.
- 15 Emenius G, Egmar AC, Wickman M. Mechanical ventilation pro-
tects one-storey single-dwelling houses against increased air
humidity, domestic mite allergens and indoor pollutants in a cold
climatic region. *Clin Exp Allergy* 1998 ; 28 : 1389-96.
- 16 Hirsch T, Hering M, Bürkner K, Hirsch D, Leupold W, Kerk-
mann ML, et al. House-dust-mite allergen concentrations (Der f
1) and mold spores in apartment bedrooms before and after ins-
tallation of insulated windows and central heating systems.
Allergy 2000 ; 55 : 79-83.
- 17 Niven RM, Fletcher AM, Pickering AC, Custovic A, Sivour JB,
Preece AR, et al. Attempting to control mite allergens with me-
chanical ventilation and dehumidification in British houses. *J Allergy
Clin Immunol* 1999 ; 103 : 756-62.
- 18 Custovic A, Taggart SCO, Kennaugh JH, Woodcock A. Portable
dehumidifiers in the control of house dust mites and mite aller-
gens. *Clin Exp Allergy* 1995 ; 25 : 312-6.
- 19 Hyndman SJ, Vickers LM, Htut T, Maunder JW, Peock A, Higen-
bottam TW. A randomized trial of dehumidification in the control
of house dust mite. *Clin Exp Allergy* 2000 ; 30 : 1172-80.
- 20 Cabrera P, Julia-Serda G, Rodriguez de Castro F, Caminero J,
Barber D, Carrillo T. Reduction of house dust mite allergens after
dehumidifier use. *J Allergy Clin Immunol* 1995 ; 95 : 635-6.
- 21 Luczynska C, Sterne J, Bond J, Azima H, Burney P. Indoor fac-
tors associated with concentrations of house dust mite allergen,
Der p 1, in a random sample of houses in Norwich, UK. *Clin
Exp Allergy* 1998 ; 28 : 1201-9.
- 22 Wickens K, Siebers R, Ellis I, Lewis S, Sawyer G, Tohill S, et al.
Determinants of house dust mite allergen in homes in Wellin-
gton, New Zealand. *Clin Exp Allergy* 1997 ; 27 : 1077-85.
- 23 Warner A, Boström S, Möller C, Kjellman NIM. Mite fauna in
the home and sensitivity to house-dust and storage mites. *Allergy*
1999 ; 54 : 681-90.
- 24 Van Strien RT, Verhoeff AP, Brunekreef B, Van Wijnen JH. Mite
antigen in house dust : relationship with different housing cha-
racteristics in the Netherlands. *Clin Exp Allergy* 1994 ; 24 : 843-
53.
- 25 Chan-Yeung M, Becker A, Lam J, Dimich-Ward H, Ferguson A,
Warren P, et al. House dust mite allergen levels in two cities in
Canada : effects of season, humidity, city and home characteris-
tics. *Clin Exp Allergy* 1995 ; 25 : 240-6.
- 26 Sanchez-Medina M, Zarante I. Dust mites at high altitude in a
tropical climate. *J Allergy Clin Immunol* 1996 ; 97 : 1167-8.
- 27 Mahmic A, Tovey ER. House-dust-mite allergen (Der p 1) levels
in university colleges. *Allergy* 1998 ; 53 : 976-80.
- 28 Emenius G, Korsgaard J, Wickman M. Window pane condensa-
tion and high indoor vapour contribution – markers of an unheal-
thy indoor climate ? *Clin Exp Allergy* 2000 ; 30 : 418-25.
- 29 Chew GL, Burge HA, Dockery DW, Muilenberg ML, Weiss ST,
Gold DR. Limitations of a home characteristics questionnaire as
a predictor of indoor allergen levels. *Am J Respir Crit Care Med*
1998 ; 157 : 1536-41.
- 30 de Blay F, Chapman MD, Platts-Mills TAE. Airborne cat aller-
gen (Fel d 1) : environmental control with the cat in situ. *Am
Rev Respir Dis* 1991 ; 143 : 1334-9.
- 31 Wickman M, Egmar AC, Emenius G, Almqvist C, Berglund N,
Larsson P, et al. Fel d 1 and Can f 1 in settled dust and airborne
Fel d 1 in allergen avoidance day-care centres for atopic children
in relation to number of pet-owners, ventilation and general clea-
ning. *Clin Exp Allergy* 1999 ; 29 : 626-32.
- 32 Verhoeff AP, van Wijnen JH, van Reenen-Hoekstra ES, Sam-
son RA, van Strien RT, Brunekreef B. Fungal propagules in house
dust. II. Relation with residential characteristics and respiratory
symptoms. *Allergy* 1994 ; 49 : 540-7.
- 33 Samet JM, Marbury MC, Spengler JD. Health effects and sour-
ces of indoor air pollution. I. *Am Rev Respir Dis* 1987 ; 136 :
1486-508.
- 34 Wardlaw AJ. The role of air pollution in asthma. *Clin Exp Allergy*
1993 ; 23 : 81-96.
- 35 Tunnicliffe WS, Burge PS, Ayres JG. Effect of domestic concen-
trations of nitrogen dioxide on airway responses to inhaled aller-
gen in asthmatic patients. *Lancet* 1994 ; 344 : 1733-6.
- 36 Kirchner S, Cochet C. Produits de construction et qualité de l'air
intérieur. Cas des composés organiques volatils. 9^e congrès mon-
dial sur l'air pur et exposition. Montréal, 4 août–3 septembre
1992. EAQ/QAE 92.016d. Centre scientifique et technique du
bâtiment, septembre 1992.
- 37 Samet J, Marbury M, Spengler J. Health effects and sources of
indoor air pollution. II. *Am Rev Respir Dis* 1987 ; 137 : 221-42.
- 38 Indoor air pollution by formaldehyde in European countries.
Report EUR 13216, Indoor air quality and its impact on man,
Environment and quality of life, Commission of the European
Communities Luxembourg : Office for Official Publications of
the European Community, 1990, n° 7.
- 39 Holcomb L, Seabrook B. Indoor concentrations of volatile orga-
nic compounds : implications for comfort, health and regulation.
Indoor Environ 1995 ; 4 : 7-26.
- 40 Olivo C, Stoeber N, Chautard N, Terral C. Comment les rela-
tions entre habitat et santé sont-elles prises en compte par les
architectes, médécins et travailleurs sociaux ? *Santé publique*
1996 ; 1 : 17-28.