

Nom du patient : Date :

Apprécier les facteurs aggravants de l'habitat de son patient

Les 5 questions essentielles à lui poser

1. L'humidité du logement

Pensez-vous que votre maison est humide, parce que :

- vous constatez du salpêtre (taches blanches) sur les murs ou le sol
- vous voyez des taches de moisissures sur les murs ou le décolllement des papiers peints
- vous observez des condensations d'eau sur les vitrages
- vous ressentez des odeurs de moisi lorsque vous rentrez chez vous
- vous observez des infiltrations d'eau sur vos murs
- vous avez eu un dégât des eaux

2. La présence d'une source de pollution inhabituelle

Pensez-vous qu'il y a une source de pollution inhabituelle dans votre maison, parce que :

- vous venez d'emménager
- vous venez d'acheter un mobilier neuf
- vous venez de poser un nouveau revêtement
- vous venez de faire des travaux de peinture ou autres types de travaux (moins de 6 mois)
- votre environnement extérieur est polluant (route fréquentée, usine, garage communicant, etc.)

3. Les activités domestiques

Pensez-vous que vos activités dans la maison sont polluantes, parce que :

- vous fumez ou un membre de votre famille fume
- vous utilisez de nombreux produits ménagers (détergents, désinfectants, insecticides, fongicides ou herbicides, sprays, etc.)
- vous utilisez souvent des parfums d'intérieur (aérosols, bougies parfumées, bâtonnets d'encens, etc.)
- vous utilisez une cuisinière à gaz sans aération
- vous êtes chauffé au fioul, au charbon, au bois ou au pétrole
- vous utilisez une cheminée à foyer ouvert

4. La poussière domestique

Pensez-vous qu'il y a beaucoup de poussière dans votre maison, parce que :

- vous avez une moquette dans votre chambre ou des tissus muraux
- vous avez des doubles rideaux
- vous avez des meubles tapissés (fauteuil, armoire, etc.)
- vous avez un sommier tapissier
- vous avez un animal de compagnie
- vous avez des plantes

5. L'aération/la ventilation

Pensez-vous que votre maison n'est pas bien aérée, parce que :

- vous n'ouvrez pas vos fenêtres dans chaque pièce 10 minutes matin et soir
- vos entrées d'air dans les pièces principales et vos sorties d'air vicié dans les salles d'eau et cuisine sont encrassées ou bouchées
- vous observez qu'il n'y a pas de tirage d'air aux bouches d'extraction d'air
- vous avez un double vitrage et pas de réglette d'aération, et peut-être pas de VMC dans les pièces humides

Ce questionnaire est détachable et photocopiable.

GROUPE AIR EAU SANTÉ

Gisèle DÉJEAN

Ingénieur d'études sanitaires, Agence régionale de santé (ARS) d'Aquitaine, Délégation territoriale de la Gironde

Dr Elie IATCHEVA

Directrice médicale, MEDA PHARMA

Pr Céline OHAYON-COURTÈS

Directrice du laboratoire d'hydrologie-environnement
UFR des Sciences pharmaceutiques, université Bordeaux Segalen

Dr Alain RAGON

Praticien hospitalier
Laboratoire des eaux, pôle uro-néphrologie, CHU de Marseille

Dr Jean ROQUAIN

Professeur invité Bordeaux Segalen
GIPSO Bordeaux

Pr Christine ROQUES

Laboratoire de bactériologie, virologie et microbiologie industrielle
UFR des sciences pharmaceutiques, université Paul Sabatier, Toulouse
Attachée des hôpitaux, CHU de Toulouse

Dr Fabien SQUINAZI

Médecin biologiste
Directeur du Laboratoire d'hygiène de la Ville de Paris
Membre du Comité d'experts spécialisés « Milieux aériens » de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES)

Dr Gérard GERTNER

Coordinateur scientifique



L.E.N. MÉDICAL

ÉDITIONS L.E.N. MÉDICAL
15, rue des Sablons - 75116 Paris
© 2011 L.E.N. MÉDICAL
ISBN : 978-2-914232-67-8
Imprimé en France

Prix : 20 €

REST103DVV

GROUPE AIR EAU SANTÉ



POLLUTION DE L'AIR INTÉRIEUR DE L'HABITAT

ORIENTATION DIAGNOSTIQUE ET RECOMMANDATIONS

RÉALISÉ AVEC LE SOUTIEN DE MEDA PHARMA

GROUPE AIR EAU SANTÉ

Gisèle DÉJEAN

Ingénieur d'études sanitaires, Agence régionale de santé (ARS) d'Aquitaine,
Délégation territoriale de la Gironde

Dr Elie IATCHEVA

Directrice médicale, MEDA PHARMA

Pr Céline OHAYON-COURTÈS

Directrice du laboratoire d'hydrologie-environnement
UFR des Sciences pharmaceutiques, université Bordeaux Segalen

Dr Alain RAGON

Praticien hospitalier
Laboratoire des eaux, pôle uro-néphrologie, CHU de Marseille

Dr Jean ROQUAIN

Professeur invité Bordeaux Segalen
GIPSO Bordeaux

Pr Christine ROQUES

Laboratoire de bactériologie,
virologie et microbiologie industrielle
UFR des sciences pharmaceutiques, université Paul Sabatier, Toulouse
Attachée des hôpitaux, CHU de Toulouse

Dr Fabien SQUINAZI

Médecin biologiste
Directeur du Laboratoire d'hygiène de la Ville de Paris
Membre du Comité d'experts spécialisés « Milieux aériens »
de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation,
de l'environnement et du travail (ANSES)

Dr Gérard GERTNER

Coordinateur scientifique

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	7
INTRODUCTION	9
AGENTS POLLUANTS	11
AGENTS BIOLOGIQUES	11
Bactéries	11
Endotoxines bactériennes	12
Moisissures	13
Virus	15
Pollens	16
Allergènes	17
AGENTS PHYSICO-CHIMIQUES	20
Particules, nanoparticules et fibres	20
Gaz issus de la combustion	24
Composés organiques volatils	28
Ozone	33
Radon	36
RECOMMANDATIONS GÉNÉRALES DE MAÎTRISE DE L'ENVIRONNEMENT DE L'HABITAT	41
Éviction des allergènes	41
Lutte contre les polluants intérieurs	45
L'AÉRATION, LA VENTILATION ET LE TRAITEMENT DE L'AIR INTÉRIEUR	49
Les définitions	49
L'aération	52
La ventilation	52
Le traitement de l'air	54
L'entretien des systèmes de ventilation et de traitement d'air	59
ORIENTATION DIAGNOSTIQUE ET EXPLORATION DE L'ENVIRONNEMENT DE L'HABITAT	63
INTERROGER SON PATIENT SUR SON HABITAT	63
AUTRES OUTILS D'EXPLORATION	64
Le conseiller médical en environnement intérieur	64
Les analyses environnementales	66
L'intervention des ARS	70

AVANT-PROPOS

Le Groupe Eau Santé a depuis 1996 publié 6 ouvrages sur la qualité de l'eau dans les établissements de santé.

Ce groupe est constitué de chercheurs, médecins, pharmaciens, bactériologistes, ingénieurs, cadres hygiénistes de Paris, Bordeaux, Toulouse, Marseille dont la composition a légèrement varié au fil des années.

Il a été décidé en 2008 de s'intéresser à la qualité de l'air dans l'habitat. C'est pourquoi le Groupe Eau Santé est devenu le Groupe Air Eau Santé.

Ses objectifs restent néanmoins identiques dans l'esprit, à savoir de proposer un guide méthodologique : forme d'aide aux professionnels de santé devant les problèmes de plus en plus divers, de plus en plus préoccupants face auxquels la conduite à tenir n'est pas univoque.

Il nous est également agréable de remercier les laboratoires MEDA Pharma qui, tout en préservant la totale indépendance des auteurs, permettent l'édition de ces ouvrages.

Dr Jean ROQUAIN

Ouvrages publiés par le Groupe Eau Santé :

- ***Eaux à usage médical – Définitions et interprétations pratiques*** (janvier 1998)
- ***Eaux à usage médical – Qualité de l'eau et endoscopie*** (mai 1999)
- ***Eaux des établissements de santé – Qualité de l'eau des réseaux intérieurs*** (décembre 2000)
- ***Eaux des établissements de santé – Qualité de l'eau aux points d'usage*** (mai 2003)
- ***Eaux des établissements de santé – Lexique pratique*** (septembre 2006)
- ***Eau des établissements pour personnes âgées – Maîtrise des risques sanitaires*** (mai 2008)

Le Groupe Air Eau Santé remercie pour leur contribution :

Françoise Cabrespine (cadre hygiéniste, Toulouse), Pr Alain Didier (pneumologue, allergologue, hôpital Larrey, Toulouse), Dr Stéphane Guez (allergologue, interniste, hôpital Pellegrin, Bordeaux), Dr Joël Lévy (pédiatre, allergologue, Marseille), Dr Isabella Annesi-Maesano (épidémiologiste, Directeur de recherche, Inserm Paris), Jean-Jacques Pellerin (Directeur de Kel'air, Bordeaux), Dominique Raynaud (CMEI, Bordeaux), Pr Chantal Raherison (pneumologue, hôpital Haut-Lévêque, CHU de Bordeaux), Nicole Rossin (CMEI, Toulouse), Pr Nicolas Roche (pneumologue, Hôtel-Dieu, Paris), Pr Daniel Vervloet (président de la Fédération française d'allergologie).

INTRODUCTION

La pollution de l'air intérieur de l'habitat est une préoccupation croissante de santé publique.

Les polluants de l'air intérieur présentent une grande diversité : microorganismes, allergènes, particules, fumée de tabac, substances chimiques, etc.

Beaucoup d'entre eux proviennent de produits de consommation courante, d'éléments de construction, de décoration ou d'agrément. Il peut s'agir par exemple de mobilier, de literie, de produits d'entretien, de parfums d'ambiance, d'encens, de revêtements du sol ou des murs.

Les équipements domestiques sont également source de pollution : chauffage, cheminée, climatisation, imprimantes, etc.

Par ailleurs, le comportement des résidents peut intervenir à travers l'insuffisance ou le manque d'aération.

Les effets néfastes sur la santé, à court ou à long terme, ont été mis en évidence par de nombreuses études épidémiologiques. Ils nécessitent donc une aide pour l'orientation diagnostique et la conduite à tenir.

Ce document du Groupe Air Eau Santé a pour objectif dans un premier temps de dresser un inventaire le plus large possible des agents polluants de l'air intérieur, de leurs sources, de leurs impacts sur la santé et de lister des recommandations de maîtrise de la qualité de l'environnement intérieur.

Destiné aux professionnels de santé, cet ouvrage veut être dans un second temps un guide d'orientation diagnostique de l'environnement d'un patient atteint d'une pathologie respiratoire chronique. Il décrit plusieurs outils d'exploration, allant d'un interrogatoire jusqu'à la sollicitation d'autres intervenants spécialisés.

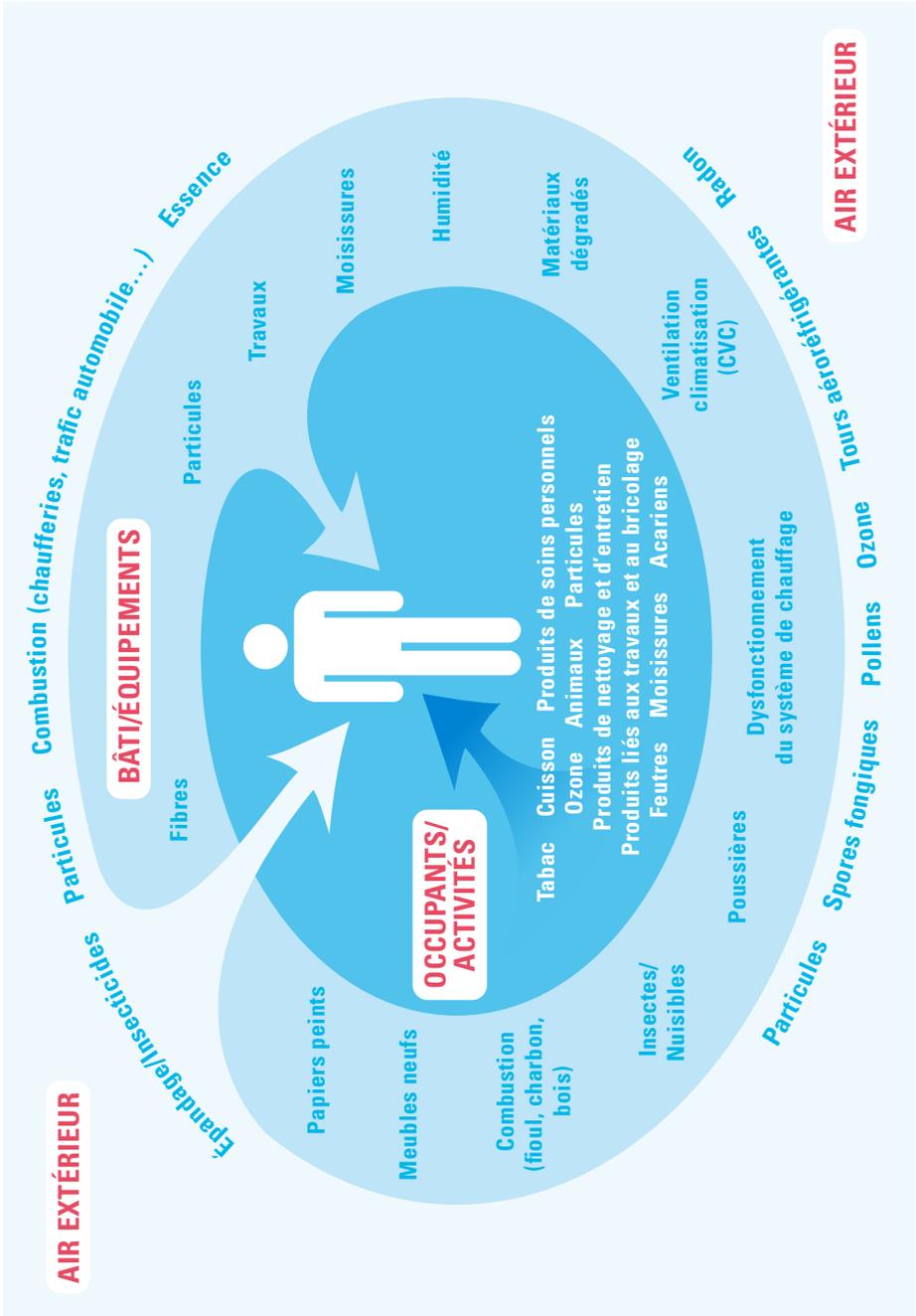
Il faut noter que, dans beaucoup de cas, la prévention et le traitement de la pollution de l'air intérieur de l'habitat peuvent être simples à exécuter et de bon sens. En revanche, dans d'autres cas, une étude plus approfondie s'avérera indispensable.

Ce document s'inscrit dans la gestion des pathologies respiratoires exacerbées par des facteurs environnementaux et aussi dans une culture de réduction du risque.

« Pour agir, il faut certes vouloir, mais cela ne suffit pas toujours, il faut pouvoir et pour cela il faut savoir et donc ne pas se tromper de cible, d'ordre de grandeur et d'hypothèses. »

Jean de Kervasdoué, *La peur est au-dessus de nos moyens*, Éditions Plon.

Répartition des polluants/sources ayant un impact sur l'air intérieur.



AGENTS POLLUANTS

Agents biologiques

BACTÉRIES

› Définition

Les bactéries sont des organismes unicellulaires procaryotes (sans noyau) ubiquitaires, de très petite taille (entre 0,5 et 10 μm). Elles peuvent être classées selon la structure de leur paroi (coloration de Gram), leur métabolisme (vis-à-vis de l'oxygène par exemple) ou encore leur phylogénie (leur contenu génétique).

Elles sont capables de se multiplier sur différents supports, dans une grande variété d'environnements et de conditions de température, d'humidité, de lumière, de quantité et de qualité de substances nutritives, de pH, de salinité pour ne citer que les principales.

Les bactéries se trouvent classiquement dans différents états physiologiques :

- **bactéries viables cultivables ou bactéries viables revivifiables** : ce sont les bactéries qui présentent, en un temps donné, une culture visible à l'œil nu sur un milieu gélosé nutritif défini ;
- **bactéries viables non cultivables (VBNC) ou bactéries viables non revivifiables** : ce sont les bactéries qui présentent une intégrité structurale et/ou des activités métaboliques persistantes et détectables, mais qui ne se développent pas sur milieu nutritif. La présence de VBNC est généralement observée dans des conditions environnementales particulières ou de stress ;
- **bactéries mortes** : ce sont les bactéries qui n'ont pas d'activité métabolique détectable ou persistante, dans l'état actuel de sensibilité des méthodes d'analyse ;
- **bactéries lysées** : bactéries dont le contenu cytoplasmique n'est plus maintenu dans l'intégrité de la paroi.

› Sources d'exposition

L'être humain et les animaux sont considérés comme les principaux réservoirs de bactéries pour l'environnement intérieur. Certaines bactéries colonisent largement le tube digestif, les muqueuses et le revêtement cutané. À titre d'exemple, un gramme de fèces contient 100 millions d'entérobactéries. Les deux mètres carrés de revêtement cutané sont renouvelés constamment par desquamation. Quatre cent mille bactéries seraient ainsi éliminées par minute simplement en prenant la position assise. La parole, la toux ou l'éternuement disséminent jusqu'à un million de gouttelettes contaminées. De tailles variables à l'émission, elles sédimentent rapidement ou, selon les conditions environnementales, se réduisent à l'état de très fines particules, dont le diamètre leur permet, d'une part, de demeurer en suspension durablement dans l'atmosphère et, d'autre part, de pénétrer dans les voies respiratoires profondes.

Les supports inertes (surfaces, équipements, textiles, poussières, terre) et l'eau sont également contaminés ou colonisés par diverses bactéries. Les bactéries aéro-anaérobies facultatives, commensales habituelles du tube digestif, évacuées dans les fèces et les eaux vannes, sont retrouvées régulièrement sur les supports environnementaux. Les *Pseudomonas* ont été isolés dans 10 à 40 % de prélèvements effectués sur des surfaces diverses. Des enquêtes environnementales ont montré que 50 % des réseaux collectifs de distribution d'eau chaude sanitaire contenaient des *Legionella*. La perturbation d'un support inerte ou de l'eau génère un aérosol de particules bactériennes, de taille et de nature différentes, qui resteront plus ou moins longtemps en suspension dans l'air. On décrit dans l'air :

- une **flore naturelle**, dite **de base**, dans laquelle on retrouve des spores de champignons et quelques espèces bactériennes comme *Bacillus spp.* ;
- une **flore accidentelle**, associée à la présence et aux activités humaines par création de bioaérosols (nettoyage, douche, textiles, etc.).

› Impacts sur la santé

De nombreuses pathologies sont transmises par un aérosol bactérien de l'air intérieur. On distingue les maladies infectieuses dont le réservoir est l'homme (tuberculose, coqueluche, diphtérie, etc.) de celles dont le réservoir est animal (fièvre Q) ou environnemental (légionellose). Les maladies immunoallergiques, comme la pneumopathie d'hypersensibilité due à des actinomycètes thermophiles ou à *Bacillus spp.*, ont pour origine les sols, les poussières ou l'eau.

ENDOTOXINES BACTÉRIENNES

› Définition

Les endotoxines bactériennes sont des composants de la membrane externe des bacilles à Gram négatif. Elles peuvent provoquer par inhalation une inflammation des muqueuses respiratoires et des effets systémiques. Ce sont les lipopolysaccharides (LPS) qui sont responsables de la plupart des propriétés biologiques caractéristiques des endotoxines bactériennes.

› Sources d'exposition

Dans les environnements intérieurs, certains facteurs peuvent être corrélés positivement à la présence d'endotoxines bactériennes : la présence de chiens, l'utilisation d'humidificateur ou de brumisateur renfermant de l'eau contaminée, le stockage d'ordures ménagères. L'humidité ambiante est citée comme facteur favorisant des teneurs importantes en endotoxines, alors que l'utilisation d'un déshumidificateur est associée à des niveaux faibles en endotoxines.

› Impacts sur la santé

Les conséquences sur la santé d'une exposition aux endotoxines bactériennes sont paradoxales. Des personnes exposées à une concentration élevée de poussières organiques carbonées, contaminées par des bacilles à Gram négatif, ont développé un syndrome de type grippal avec fièvre élevée, frissons, fatigue, douleurs musculaires et articulaires. Ce syndrome est baptisé « pneumonie toxique » afin d'indiquer que l'inflammation aiguë du système respiratoire est due à un agent non infectieux et toxique. Par ailleurs, l'exposition chronique aux endotoxines par voie respiratoire a été reliée à de la fièvre, des maux de tête, des irritations du nez et de la gorge, des oppressions thoraciques, de la toux, des souffles courts, des sifflements et des inflammations respiratoires.

À un certain niveau d'exposition et/ou à certaines périodes de la vie, l'exposition aux endotoxines

peut être bénéfique et pourrait réduire le risque de maladie allergique. Une exposition précoce dès l'enfance pourrait protéger contre le développement de l'asthme, alors qu'une exposition plus tardive pourrait affecter des patients asthmatiques.

MOISSURES

› Définition

Les moisissures sont des champignons microscopiques présents dans tous les environnements. Il existe plus de 6 000 genres fongiques pour au moins 70 000 espèces. Les microchampignons filamenteux se reproduisent par voie asexuée en formant des spores de taille microscopique (entre 2 et 20 µm) qui peuvent être disséminées dans l'air et pénétrer, grâce à leur petit diamètre, dans les voies respiratoires. Le développement des moisissures sur les supports inertes nécessite la présence de matières organiques et d'humidité. Elles sont détectables et identifiées après culture sur gélose.

Les bêta(1-3)-glucanes sont des polysaccharides contenus dans la paroi extérieure des moisissures, de certaines bactéries et de plantes. Les glucanes représentent 60 % du poids sec de la paroi des moisissures. La quantité de glucanes dépend essentiellement de la taille des spores.

Les mycotoxines sont des toxines capables de diffuser en dehors du champignon. On peut les retrouver dans les spores, le mycélium et le support de croissance des champignons ou adsorbées sur les poussières. On en dénombre plus de 300, émises par de nombreuses espèces fongiques. Les principales mycotoxines connues sont :

- les **aflatoxines** produites principalement par *Aspergillus flavus* ;
- les **trichothécènes** qui regroupent plusieurs dizaines de mycotoxines différentes produites par de nombreuses espèces dont *Fusarium spp.* et *Stachybotrys chartarum* ;
- les **ochratoxines** produites principalement par *Aspergillus ochraceus* et 12 espèces de *Penicillium* ;
- la **stérigmatocystine** produite essentiellement par *Aspergillus versicolor*.

Les composés organiques volatils d'origine microbienne (mCOV) sont des composés spécifiquement émis lors de la croissance des moisissures. Leur détection dans l'air est le signe de contaminations récentes à l'intérieur du bâtiment, même si celles-ci ne sont pas apparentes. Ils sont responsables de l'odeur caractéristique de moisi et d'irritations des muqueuses.

L'ergostérol est le principal stérol de la membrane plasmique des champignons. Cet indicateur a été utilisé à plusieurs reprises pour évaluer la biomasse fongique dans des échantillons d'air ou de poussières d'habitats moisis. La quantité d'ergostérol dans les spores serait fonction de leur surface et de leurs conditions de croissance. Cette analyse présente l'avantage de détecter les germes fongiques non cultivables mais ne permet pas l'identification des espèces.

› Sources d'exposition

Les deux principaux facteurs environnementaux qui interviennent dans la croissance des moisissures sont la présence d'eau et la température. L'apparition de moisissures dans un bâtiment est le signe d'un dysfonctionnement, soit dans sa structure, soit dans la façon de vivre des occupants, soit en raison d'une inondation. Les problèmes d'humidité peuvent être dus à une isolation mal maîtrisée (mur mal isolé et froid) qui entraîne la condensation de la vapeur d'eau sur les surfaces, des infiltrations ou des fuites d'eau, la présence humaine, le séchage du linge dans une pièce de vie ou la cuisson des aliments, une aération ou un débit de ventilation insuffisants.

La plupart des matériaux de construction et de décoration constituent des supports de choix pour la croissance des moisissures, dès lors que celles-ci disposent de conditions environnementales favorables, notamment une teneur en eau supérieure à 70 %, les nutriments nécessaires étant fournis par le matériau lui-même ou par son encrassement.

Parmi les genres observés au sein de ces matériaux, *Penicillium* est celui qui est le plus fréquemment isolé. Papiers et isolants minéraux apparaissent favorables à la croissance de *Cladosporium* tandis que *Stachybotrys* est observé le plus souvent dans les panneaux en plâtre. *Aspergillus* et *Acremonium* ne semblent, quant à eux, pas spécifiques d'un substrat et sont identifiés sur des produits en céramique, la peinture, la colle ou encore des produits à base de bois.

L'émission des spores dépend de l'espèce fongique, de la vitesse du flux d'air et de l'humidité de l'air. En général, les spores sèches telles celles de *Penicillium spp.*, *Cladosporium spp.* et *Aspergillus spp.* sont plus facilement aérosolisées que les spores humides telles celles de *Stachybotrys spp.*, *Acremonium spp.* et *Trichoderma spp.*

Les mycotoxines étant non volatiles, l'exposition par inhalation est essentiellement liée à l'inhalation des spores ou des poussières sur lesquelles elles sont adsorbées.

› Impacts sur la santé

Les pathologies respiratoires induites par les spores fongiques sont classées selon leurs effets :

- effets infectieux, comme une aspergillose pulmonaire invasive chez les sujets immunodéprimés ;
- réactions allergiques : aspergillose bronchopulmonaire allergique, alvéolites allergiques extrinsèques, etc. ;
- effets irritatifs et toxiques.

La sensibilisation aux moisissures dans la population générale est mise en évidence par les tests cutanés ou les IgE spécifiques. Dans une étude américaine portant sur 17 000 sujets en 1992, un test cutané positif à *Alternaria* est trouvé chez 3,6 % des sujets. En France, dans l'étude ISAAC II (*International Study of Asthma and Allergies in Childhood*) en 2005, la fréquence de la sensibilisation à *Alternaria* est de 2,4 %.

Les bêta(1-3)-glucanes fongiques ont des capacités pro-inflammatoires et sont associés à des symptômes respiratoires chez les occupants de logements moisiss.

La majorité des mycotoxines sont de puissantes cytotoxines qui interfèrent à plusieurs niveaux de la vie cellulaire. Ainsi, certaines mycotoxines peuvent bloquer la production de surfactants ou détruire les macrophages au niveau pulmonaire. Certaines toxines attaquent l'intégrité de la structure de l'épithélium pulmonaire permettant à la moisissure de coloniser les cavités alvéolaires. Ces différents modes d'action ont des effets délétères sur les voies respiratoires et peuvent mener à l'exacerbation de l'asthme, à des infections fongiques (chez les personnes immunodéprimées), ou encore à des infections secondaires, en partie dues aux effets immunosuppresseurs des mycotoxines. De plus, les mycotoxines peuvent occasionner des effets systémiques plus généraux (effet sur la tension artérielle et le rythme cardiaque).

La production par *Stachybotrys* de nombreuses mycotoxines, et notamment d'une hémolysine, justifie la méfiance particulière vis-à-vis de cette moisissure. Il est probable que sa responsabilité dans des pathologies graves de très jeunes enfants est liée à l'existence de certaines souches particulièrement aptes à produire de la stachylisine (hémolysine) dans des conditions environnementales spécifiques. Certains composés organiques volatils d'origine microbienne (mCOV) sont responsables d'odeurs caractéristiques, induisant des sensations d'inconfort et seraient en cause dans l'apparition d'un syndrome du bâtiment malsain.

Aucune relation causale n'a été mise en évidence entre l'exposition à l'ergostérol et l'apparition d'effets sanitaires. Il n'existe pas de relation dose-réponse pour l'ergostérol.

Tableau. Principales moisissures responsables d'effets sur la santé dans les ambiances intérieures (d'après « Contaminations fongiques en milieux intérieurs : diagnostic, effets sur la santé respiratoire, conduites à tenir », Conseil supérieur d'hygiène publique de France, septembre 2006).

Espèce fongique	Effet infectieux	Effet allergique	Alvéolite	Effet toxique
<i>Aspergillus fumigatus</i>	X	X	X	X
<i>Stachybotris chartarum</i>		X		X
<i>Aspergillus versicolor</i>		X	X	X
<i>Aspergillus flavus</i>		X		X
<i>Alternaria alternata</i>		X		
<i>Epicoccum</i>		X		
<i>Cladosporium sphaerosporium</i>		X		
<i>Penicillium spp.</i>		X	X	
<i>Trichothecium</i>		X		
<i>Aureobasidium</i>		X		
<i>Chaetomium</i>		X		
<i>Fusarium</i>	X	X	X	
<i>Trichoderma</i>		X		X
<i>Mucorales : Mucor, Absidia, Rhizopus</i>	X	X	X	X
<i>Aspergillus niger</i>	X			
<i>Acremonium</i>		X		

VIRUS

› Définition

Les virus sont des entités biologiques à ARN (acide ribonucléique) ou à ADN (acide désoxyribonucléique). Les molécules d'acide nucléique, qui contiennent l'information génétique, sont entourées d'une capsule protéique ou capsid, et parfois d'une enveloppe. La taille des virus peut varier de 10 à 300 nm ; toutefois, le mimivirus atteint 400 nm.

Parasites obligatoires des cellules animales, végétales ou bactériennes (bactériophages), les virus utilisent la machinerie et le métabolisme énergétique de la cellule hôte pour synthétiser les protéines et les acides nucléiques qui leur permettent de se multiplier. Les nouveaux virus ainsi produits quittent la cellule hôte en la détruisant pour s'introduire dans d'autres cellules et initier un processus invasif.

› Sources d'exposition

Les virus impliqués sont essentiellement d'origine humaine. La transmission se fait la plupart du temps par contamination directe, d'individu à individu, ou par les gouttelettes émises par la toux et les éternuements, ou de manière indirecte par des objets ou vêtements récemment contaminés.

Les principaux facteurs de risque de transmission des virus respiratoires dans les environnements intérieurs sont la proximité des occupants et l'insuffisance de la ventilation des locaux.

Si des observations de transmission à distance, en particulier par l'intermédiaire de systèmes de ventilation ou de climatisation, ont été décrites pour la varicelle et la rougeole, ceci n'a pas pu être démontré pour le virus de la grippe.

› Impacts sur la santé

Les virus à transmission aérienne provoquent des affections de la sphère respiratoire. C'est le cas des virus *Influenzae* (grippe), des paramyxovirus (rougeole et oreillons), des rhinovirus, des adénovirus et coronavirus (à l'origine des rhumes), du coronavirus du syndrome respiratoire aigu sévère (SRAS), enfin d'un pneumovirus, le virus respiratoire syncytial (VRS) responsable de la bronchiolite du nourrisson. Ces affections sont le plus souvent bénignes, plus rarement graves, mais parfois mortelles.

POLLENS

› Définition

Les grains de pollens ont une taille comprise entre 5 et 200 μm et ont des formes et des ornements variées.

Les grains de pollens mâles contribuent au développement de la végétation. Seules les plantes anémophiles (arbres et herbacées) disséminent les grains de pollens par le vent ; alors que les plantes entomophiles nécessitent l'intervention d'un insecte pour assurer leur fécondation en transférant le pollen de la fleur mâle d'origine à la fleur femelle réceptrice.

Pour être allergisant, un grain de pollen doit être disséminé dans l'atmosphère, être en contact avec les muqueuses respiratoires de l'homme et disposer de substances (protéines ou glycoprotéines) reconnues comme immunologiquement néfastes pour un individu donné.

› Sources d'exposition

L'occurrence des pollens est variable selon le calendrier et la région. À titre d'exemple, en Ile-de-France, la saison pollinique commence en février avec les pollens de noisetier, suivis des pollens de bouleau et de chêne. Les graminées (appelées aussi poacées) sont présentes en grande quantité d'avril à juin.

Les pollens peuvent être introduits dans les environnements intérieurs par les ouvrants et par les vêtements et la chevelure des occupants. Toutefois, l'exposition aux pollens est essentiellement documentée dans l'atmosphère extérieure.

En France, le Réseau national de surveillance aérobiologique (RNSA) a pour objet principal l'étude du contenu de l'air en particules biologiques pouvant avoir une incidence sur le risque allergique pour la population. Ce réseau (www.pollens.fr) propose un indice prenant en compte le potentiel allergisant de chaque pollen, la situation géographique du capteur de pollens, et les informations sur les données phénologiques et cliniques. L'indice est appelé Risque allergique lié à l'exposition aux pollens (RAEP) et s'établit sur une échelle de 0 (nul) à 5 (très élevé).

› Impacts sur la santé

Les pollens sont responsables, pour 10 à 20 % de la population, de réactions allergiques, en général saisonnières, appelées « rhumes des foins ».

La pollinose se manifeste sous forme d'une rhinite allergique (nez bouché, éternuements, nez qui coule et démangeaisons) et/ou d'une conjonctivite allergique (yeux rouges qui piquent, avec sensation de sable dans les yeux).

Les petits pollens, qui peuvent pénétrer jusque dans les bronches, peuvent provoquer des crises d'asthme. Les œdèmes et l'urticaire sont plus rares.

Les réactions allergiques sont en général améliorées par la pluie, grâce à la sédimentation des particules polliniques, et aggravées par le vent, vecteur des grains de pollens, favorisant la remise en suspension et par la pollution atmosphérique.

ALLERGÈNES

› Définition

Les allergènes sont des molécules protéiques dont le contact peut déclencher, chez les sujets dits « atopiques », des réactions d'hypersensibilité ou des allergies, se manifestant sous forme de réactions inflammatoires de la peau et des muqueuses respiratoires et oculaires.

Les allergènes présents dans les environnements intérieurs sont variés. Il peut s'agir d'allergènes d'acariens, d'allergènes fongiques et polliniques ou d'allergènes d'animaux (chat, blatte, chien, rongeurs, etc.).

Allergènes d'acariens

Les acariens sont des organismes de très petite taille (entre 0,2 et 0,5 mm pour les acariens de la poussière de maison) de la classe des arachnides. Les conditions de développement optimales sont des atmosphères tièdes (26 à 32°C) et humides (60 à 80 % d'humidité relative). La saison est aussi un facteur influant, notamment le printemps et l'automne, ainsi que l'altitude (< 1 500 mètres). La présence de nutriments, comme les squames cutanées et les moisissures, joue également un rôle favorisant. Les allergènes sont issus du corps de l'acarien et de ses fèces.

› Sources d'exposition

Dans l'habitat, les acariens sont retrouvés principalement dans la literie, mais aussi dans les moquettes, tapis, vêtements, sièges rembourrés, rideaux, peluches. L'Observatoire de la qualité de l'air intérieur (OQAI) a montré que les médianes des concentrations d'allergènes d'acariens Der p 1 et Der f 1 dans la poussière de 567 logements, représentatifs du parc métropolitain, étaient de 1,6 et 2,2 µg/g, très voisines du seuil de sensibilisation de 2 µg/g.

Les particules porteuses d'allergènes d'acariens sont d'un diamètre aérodynamique moyen de 10 µm, ce qui réduit leur temps d'exposition dans l'air.

› Impacts sur la santé

Les symptômes perannuels apparaissent au domicile, sous forme de crises de rhinite ou d'asthme, provoquées par les activités ménagères. Les symptômes disparaissent à l'hôpital ou en altitude. Il existe des rechutes lors du retour au domicile après un éloignement temporaire (vacances, cures climatiques). Il peut exister une recrudescence des crises dans une habitation particulière.

Allergènes de blattes

Plus de 3 000 espèces de blattes sont répertoriées, la plupart vivant en zone tropicale. Dans les régions tempérées, seulement 3 espèces sont identifiées : *Blatella germanica*, *Blatella orientalis* et

Periplaneta americana. Les constituants allergéniques des blattes sont très nombreux. Parmi eux, deux allergènes s'avèrent majeurs, Bla g 1 et Bla g 2. Ces allergènes sont localisés dans l'exosquelette et les déjections et sont portés par des particules de 10 µm.

› Sources d'exposition

Les blattes sont trouvées dans la plupart des environnements intérieurs (habitats, magasins alimentaires, etc.). Les zones les plus souvent colonisées sont les cuisines, les réserves alimentaires, les vide-ordures. Quand elles sont visibles la journée, c'est un indice de surpopulation.

› Impacts sur la santé

Jusqu'à 10 % d'une population consultant en allergologie en France (30 à 60 % des populations défavorisées aux États-Unis) présentent une sensibilisation aux allergènes de blattes.

Les allergènes de blattes sont à l'origine de manifestations d'allergies respiratoires ou cutanées dans les habitats dans de nombreuses régions du monde. Ils ont été associés à l'asthme, particulièrement dans l'habitat urbain. Une relation dose-réponse a été montrée entre l'exposition aux allergènes de blattes et l'asthme et des sifflements récurrents chez les enfants.

Allergènes de chat

L'allergène majeur du chat *Felix domesticus* est Fel d 1. Il s'agit d'une glycoprotéine dimérique de 36 kDa. Les allergènes présents sur les poils du chat proviennent des glandes sébacées et de la salive. Cependant, les glandes anales en contiendraient également de grandes quantités.

› Sources d'exposition

Fel d 1 a été fréquemment détecté dans la poussière des habitats. Les supports en cause sont généralement le sol, les sièges capitonnés, meubles, moquettes, vêtements. Les allergènes sont transportés par des particules fines, de moins de 5 µm.

Dans une étude américaine, publiée en 2004, sur 831 domiciles répartis dans 75 localisations différentes, les niveaux moyens (moyenne géométrique) mesurés dans les poussières du sol de la chambre et du salon, du matelas et du canapé du salon sont respectivement de 2,13 µg/g, 2,14 µg/g, 2,74 µg/g et 6,17 µg/g. L'Observatoire de la qualité de l'air intérieur a montré que les médianes des concentrations d'allergène de chat dans l'air des 567 logements étudiés sont inférieures à la limite de quantification (0,18 ng/m³).

› Impacts sur la santé

Dans les pays occidentaux, l'allergène de chat *Felix domesticus* (Fel d 1) est le plus fréquemment responsable de sensibilisation après celui des acariens (25 % de la population générale). Les symptômes n'ont pas de spécificité en dehors de leur caractère explosif. Il s'agit de rhinite, conjonctivite, urticaire, œdème de Quincke, asthme, anaphylaxie, dès le contact avec l'animal.

Les symptômes apparaissent de manière immédiate et bruyante après le contact avec l'animal. Ils peuvent aussi apparaître en l'absence de chat en raison de la persistance des allergènes dans l'environnement après le départ du chat (environ 6 mois) ou de l'apport des allergènes par les vêtements des propriétaires de chat.

Allergènes d'autres animaux de compagnie

L'allergène majeur du chien est Can f 1. Il provient du pelage, de la salive et des squames de la peau. Il est porté par des particules dont 20 % ont un diamètre aérodynamique inférieur à 5 µm. L'habitat

est un lieu privilégié de présence des allergènes de chien, en particulier dans les tapis et canapés. L'Observatoire de la qualité de l'air intérieur a montré que les médianes des concentrations dans l'air des 567 logements étudiés sont inférieures à la limite de quantification (1,02 ng/m³). Jusqu'à 14 % de la population générale en France est sensibilisée à cet allergène. Les symptômes sont identiques à ceux provoqués par les allergènes de chat, mais moins exposifs.

Des allergènes de rongeurs (cochons d'inde, chinchilla, gerboises, rats, souris, écureuils, furets) proviennent des urines, du pelage, de la salive. Des quantités importantes sont retrouvées dans les litières et le sol. Ils sont portés par des particules fines de moins de 5 µm.

Bibliographie

- » Bex V *et al.* Audits environnementaux dans l'habitat : l'expérience du laboratoire d'hygiène de la ville de Paris. *J Mycol Med* 2006 ; 16 : 197-203.
- » Bex V, Squinazi F. Mise en évidence de moisissures des ambiances intérieures par la mesure des (1-3)-β-D-glucanes. *Rev Fr Allergol Immunol Clin* 2006 ; 46 : 184-7.
- » Blanchere FM *et al.* Measurement of airborne Influenza virus in a hospital emergency department. *CID – Brief Report* 2009 ; 48 : 438-40.
- » Cabanes PA *et al.* Risques de développement de *Legionella* dans les réseaux de distribution d'eau chaude sanitaire – État de la question. Cahier du CSTB n°3057, livraison 391, juillet-août 1998.
- » Dassonville C. Évaluation de l'environnement domestique de nouveau-nés franciliens. Thèse de doctorat, Université Paris Descartes, soutenue le 5 septembre 2008.
- » Dutau G. *Allergologie*. Éditions Masson, 2006.
- » Ezratty V, Squinazi F. Virus influenza pandémique à l'intérieur des bâtiments : quel risque de transmission par les systèmes de ventilation ou de climatisation ? *Environnement, Risques et Santé*, juillet-août 2008 ; 7 : 255-63.
- » Foto M *et al.* A comparison of airborne ergosterol, glucan and Air-O-Cell data in relation to physical assessments of mold damage and some other parameters. *Indoor Air* 2005 ; 15 : 257-66.
- » Gaffin JM, Phipatanakul W. The role of indoor allergens in the development of asthma. *Curr Opin Allergy Clin Immunol* 2009 ; 9 : 128-35.
- » Gergen PJ, Turkeltaub PC. The association of individual allergen reactivity with respiratory disease in a national sample: data from the second National Health and Nutrition Examination Survey, 1976-80 (NHANES II). *J Allergy Clin Immunol* 1992 ; 90 : 579-88.
- » Green WF *et al.* House dust mite allergens in public places. *J Allergy Clin Immunol* 1992 ; 89 : 1 196-7.
- » Holla AD *et al.* Endotoxin, atopy and asthma. *Curr Opin Allergy Clin Immunol* 2002 ; 2 : 141-5.
- » Liebers V *et al.* Health effects due to endotoxin inhalation (review). *Arch Toxicol* 2008 ; 82 : 203-10.
- » Luczynska CM. Identification and quantification of mite allergens. *Allergy* 1998 ; 53 : 54-7.
- » Matheson MC *et al.* Residential characteristics predict changes in Der p 1, Fel d 1 and ergosterol but not fungi over time. *Clin Exp Allergy* 2003 ; 33 : 1 281-8.
- » Moularat S. Étude 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 doctorat, Université de Marne-la-Vallée, soutenue le 12 mai 2005.
- » Robine E *et al.* Characterisation of exposure to airborne fungi: measurement of ergosterol. *J Microbiol Methods* 2005 ; 63 : 185-92.
- » Rylander R. Endotoxin in the environment - exposure and effects. *J Endotoxin Res* 2002 ; 8 : 241-52.
- » Srikanth P *et al.* Bio-aerosols in indoor environment: composition, health effects and analysis. *Indian J Med Microbiol* 2008 ; 26 : 302-12.
- » Stetzenbach LD. *Microbiology of indoor environments. Proceedings of assessing microbiological contamination of indoor environments*. Fairfax, Virginia, USA. Mid-Atlantic, 1994.
- » Tovey ER *et al.* Clothing – an important source of mite allergen exposure. *J Allergy Clin Immunol* 1995 ; 96 : 999-1 001.
- » Verreault D *et al.* Methods for sampling of airborne viruses. *Microbiol Mol Biol Rev* 2008 ; 72 : 413-44.
- » Wood RA *et al.* The effect of cat removal on allergen content in household-dust samples. *J Clin Immunol* 1989 ; 83 : 730-4.

Sites internet

- » <http://www.nap.edu/catalog/11011.html> : Damp Indoor Spaces and Health, Committee on Damp Indoor Spaces and Health, Board of Health Promotion and Disease Prevention, Institute of Medicine. Mai 2004, 380 pages.
- » <http://www.sante.gouv.fr/hm/dossiers/cshpf/sommaire.htm> : Contaminations fongiques en milieux intérieurs. Diagnostic, effets sur la santé respiratoire, conduites à tenir. Conseil supérieur d'hygiène publique de France. Septembre 2006.
- » <http://www.air-interieur.org/oqai.aspx> : Observatoire de la qualité de l'air intérieur. Campagne nationale Logements. État de la qualité de l'air dans les logements français. Rapport final. Novembre 2006.

Agents physico-chimiques

PARTICULES, NANOPARTICULES ET FIBRES

› Définition

Le terme « particules » désigne un mélange de fines matières solides et/ou liquides en suspension dans l'air.

Les particules sont le plus souvent classées selon leur diamètre (appelé taille), paramètre important pour caractériser leur pouvoir de pénétration dans l'appareil respiratoire, sans tenir compte des critères morphologiques ou de composition chimique. De plus, pour des raisons liées à l'échantillonnage et à la surveillance de la qualité de l'air ambiant et des atmosphères des locaux de travail, des spécifications granulométriques cibles ont été définies par convention.

Dans l'air ambiant, on parle de poussières totales en suspension (TSP, *Total Suspended Particles* ou MPS, matière particulaire en suspension) lorsque l'ensemble des particules en suspension est considéré sans distinction de taille. Mais, on considère plus communément les fractions PM₁₀ (particules de diamètre aérodynamique médian inférieur à 10 µm) et PM_{2,5} (particules de diamètre aérodynamique médian inférieur à 2,5 µm, dites particules fines), pour lesquelles des valeurs limites réglementaires ont été établies. Deux autres classes ont également été définies, les PM₁ (particules de diamètre aérodynamique médian inférieur à 1 µm, dites particules submicroniques) et les particules ultrafines PM_{0,1} (ou PUF, particules dont le diamètre est inférieur à 100 nm).

Ces dernières sont également désignées sous le vocable « nanoparticules », sachant que ce terme reste réservé aux particules de diamètre inférieur à 100 nm issues des nanomatériaux manufacturés pour une utilisation dans différents secteurs industriels, sous le terme de « nanotechnologies ». L'intérêt des nanoparticules est lié à leur taille, conduisant à une plus grande interface particules/environnement et à une augmentation de la proportion d'atomes présents en surface, et donc à une plus grande réactivité que des particules de plus grande taille. Ceci se traduit par des propriétés spécifiques (mécaniques, électriques, magnétiques, optiques, catalytiques, etc.) expliquant l'intérêt actuel pour cette technologie.

Les nanomatériaux peuvent être classés en quatre familles selon leurs formes d'utilisation :

- matériaux de **dimension 0** : matériaux sous forme dispersée, aléatoire ou organisée (ex. : cristaux colloïdaux pour l'optique, fluides magnétiques, catalyseurs, pigments pour peintures, nanocapsules, molécules de fullerène, etc.) ;
- matériaux de **dimension 1** : matériaux sous forme de nanofils (électriques, transmission de signaux électriques, fibres textiles, revêtement hydrophobe, etc.) ou de nanotubes (résistance des céramiques et des textiles, applications biomédicales, etc.) ;
- matériaux de **dimension 2** : matériaux sous forme de couche mince pour revêtement de surface (surfaces antiadhésives, augmentation de la dureté, etc.) ;
- matériaux de **dimension 3** : matériaux sous forme compacte ou nanocomposites (incorporation des nanoparticules dans une matrice) comme dans les céramiques et les métaux nanostructurés.

Enfin, les nanoparticules peuvent entrer dans la composition de nombreux fluides abrasifs ou magnétiques. Si le diamètre est préférentiellement utilisé pour définir et classer les particules, la composition chimique de celles-ci est également un élément déterminant pour étudier leurs effets sur la santé.

Par ailleurs, un autre type de particules en suspension dans l'air est représenté par les fibres, naturelles comme l'amiante dont l'impact sanitaire est malheureusement bien connu, mais aussi artificielles comme les fibres minérales siliceuses et vitreuses (fibres céramiques, laines de verre, de roche et de laitier) utilisées pour l'isolation thermique, phonique et la protection incendie. Les fibres sont caractérisées par leur forme de filament, leur longueur et leur diamètre compris entre 3 et 5 μm .

› Sources d'exposition

Les sources de particules dans l'air extérieur sont les combustions, naturelles (feux de forêt, volcans) ou anthropiques (industries, transport, chauffage résidentiel), mais également l'érosion, les embruns marins ou certaines activités humaines n'impliquant pas de combustion (exploitation de carrières, stockage et manutention dans les ports minéraliers). Les particules les plus fines ($\text{PM}_{2.5}$, PM_{10} , particules ultrafines) sont plutôt associées à des combustions. Les particules Diesel, qui entrent dans cette classe, représentent une très large part des émissions particulaires liées au trafic.

Dans l'air intérieur, les particules sont essentiellement émises par les activités de combustion (cuisson des aliments, appareils de chauffage, tabagisme, encens, etc.). Le tabagisme a la contribution la plus importante à la pollution particulaire des environnements intérieurs. En l'absence de sources intérieures, les teneurs dans une pièce sont bien corrélées aux concentrations extérieures. En revanche, dès lors que des sources intérieures sont activées, ces dernières contribuent de façon prépondérante aux concentrations intérieures.

Selon l'Observatoire de la qualité de l'air intérieur (OQAI) qui a réalisé des mesures en 2006 dans près de 300 logements considérés représentatifs, les médianes des concentrations en PM_{10} et $\text{PM}_{2.5}$ dans le séjour des logements français seraient respectivement égales à 31,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (max. = 523 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) et 19,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (max. = 568 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Plusieurs études montrent que le ratio particules intérieures/particules extérieures est légèrement supérieur à 1, pour les PM_{10} comme pour les $\text{PM}_{2.5}$. De plus, la part des $\text{PM}_{2.5}$ intérieures attribuable à l'air extérieur varie de 40 à 80 % selon les études. Ces ratios sont très dépendants des sources intérieures de particules et des échanges d'air du bâtiment avec l'extérieur (dispositif de ventilation en place, perméabilité de l'enveloppe, etc.). En effet, dans le cas d'une ventilation sans filtration, les particules extérieures de diamètre inférieur à 1 μm transitent à travers le système, les particules extérieures de diamètre supérieur à 30 μm se déposent de manière prépondérante dans les conduits et pour les particules de taille intermédiaire, le dépôt dans les conduits est comparable à celui sur les parois intérieures du bâtiment. La présence d'un système de conditionnement d'air *avec filtration* de l'air entrant permettrait de réduire notablement le ratio I/E, en particulier en limitant la pénétration des particules ultrafines dans l'environnement intérieur.

Enfin, en termes d'exposition, on considère aujourd'hui qu'un individu est exposé aux particules à la fois par l'air extérieur et par l'air intérieur, par exemple pour les $\text{PM}_{2.5}$ l'exposition serait à environ 35 % liée à l'air extérieur.

Le risque d'exposition à des nanoparticules naturelles ou générées indirectement lors d'un processus est relativement bien connu et décrit. Ainsi, l'étude de Möhlmann (2004) présente les concentrations en nanoparticules selon le lieu de travail.

Dans ce cas, la voie principale d'exposition est la voie respiratoire, et à un second degré les voies cutanée et orale.

De par l'étendue des secteurs concernés par les nanotechnologies, les sources d'exposition sont beaucoup plus larges et toutes les voies sont envisagées. Ainsi, compte tenu des usages thérapeutiques attendus des nanomatériaux, les expositions par voies intraveineuse ou intramusculaire sont également à considérer et à ne pas négliger.

Dans tous les cas, la nature des particules et des matériaux conduit à un risque de distribution dans tout l'organisme et une accumulation dans certains organes.

À l'heure actuelle, restent à développer des outils pertinents pour la détection et la surveillance des nanoparticules et nanomatériaux dans l'air, l'eau, le sol et les compartiments biologiques, permettant notamment d'identifier les produits manufacturés.

Pour les fibres minérales artificielles, l'exposition par inhalation est majoritairement liée à leur émission dans l'air du fait de leur utilisation comme isolant dans les bâtiments, au moment de la pose ou lors de la dépose des matériaux qui en contiennent. Pour les travailleurs, la valeur moyenne d'exposition fixée à 10^6 f/m³ n'apparaît que rarement dépassée (de l'ordre de 10 %). Cependant, l'exposition serait très supérieure lors d'activité de retrait des isolants. En population générale, des mesures effectuées dans l'environnement urbain parisien, en situation de fond, ne dépassaient pas la valeur de 2 f/m³ pour les fibres de diamètre < 3 µm (dites alvéolaires car capables d'atteindre les alvéoles pulmonaires). Mais, lors d'une étude portant sur deux chantiers de retrait des laines minérales, les concentrations retrouvées à 30 m du chantier étaient 100 fois supérieures au fond de pollution. Les concentrations mesurées dans des bâtiments non résidentiels en France sont également très faibles : 75 % des mesures réalisées dans le cadre d'investigations ponctuelles étaient inférieures à 6 f/m³. Le cas particulier de l'amiante est aujourd'hui très réglementé, puisque ce matériau est interdit et qu'un diagnostic des locaux qui contiennent des matériaux amiantés est obligatoire. Ce diagnostic peut conduire à une surveillance du nombre de fibres mesuré dans l'air des locaux et au retrait, dès que les mesures dans l'air dépassent 25 f/l. Une réévaluation récente des risques liés aux fibres courtes d'amiante devrait conduire prochainement à une réévaluation des valeurs limites d'exposition professionnelle.

› Impacts sur la santé

Les données toxicologiques et épidémiologiques issues des études menées sur les effets des particules dans l'air intérieur sont très peu nombreuses, mais les connaissances liées à la pollution atmosphérique sont largement suffisantes pour comprendre les effets indésirables des particules sur la santé. Ceux-ci sont à rapporter à deux causes, l'effet inflammatoire des particules et les effets des polluants adsorbés à la surface des particules (allergènes, endotoxines, composés chimiques toxiques).

Le dépôt des particules en suspension dans l'appareil respiratoire dépend de l'ampleur de l'exposition (concentration des particules et durée de l'exposition), des conditions physiologiques (fréquence respiratoire, volume inspiré, débit respiratoire, âge, sexe, état de santé, etc.) et des propriétés physico-chimiques des particules (taille aérodynamique, charge électrique). La déposition particulaire dans les poumons est plus marquée chez des malades atteints de pathologies obstructives, telles que l'asthme ou la bronchopneumopathie chronique obstructive (BPCO). La variabilité inter-individuelle est très forte.

L'ensemble de la population est concerné par l'exposition aux particules, mais la sensibilité à la pollution peut montrer des variations selon l'état de santé et l'âge. On a montré que le risque augmentait avec l'exposition pour diverses pathologies. Les populations les plus à risque seraient les femmes enceintes, les nouveau-nés, les enfants, les personnes âgées, ainsi que toute personne atteinte de pathologie cardiovasculaire ou respiratoire (antécédents d'infarctus du myocarde, asthme, etc.), de diabète, voire d'obésité.

Des liens entre les niveaux de pollution particulaire et de nombreux événements sanitaires ont été mis en évidence par diverses études épidémiologiques, principalement pour la pollution atmosphérique. À court terme, ils se rapportent majoritairement aux systèmes cardiovasculaire (infarctus du myocarde, altérations du rythme cardiaque et de sa variabilité, accidents vasculaires cérébraux, etc.) et respiratoire (exacerbations de l'asthme et des bronchites chroniques, altération de la fonction res-

Lieu du dépôt	Dimension	Élimination
Nez, gorge, trachée	< 30 μm	Transport rapide vers le tube digestif, par ingestion
Bronches et bronchioles	< 10 μm	Transport mucociliaire vers le pharynx puis ingestion ou expectoration, durée 24 heures
Alvéoles	< 2-3 μm	Absorption par les macrophages, durée plusieurs mois
Passage dans la circulation générale	< 0,1 μm	Absorption très faible par les macrophages, mais migration possible à travers l'épithélium

piratoire). De même, des expositions chroniques aux particules ont été associées à une augmentation de la mortalité, une augmentation des symptômes de maladies respiratoires, des diminutions de la fonction pulmonaire et à une augmentation des cas de cancer du poumon.

Devant les grandes variabilités liées à la pollution extérieure, aux installations des bâtiments et aux activités des occupants, il est très difficile de formuler des recommandations générales sur les modes de réduction et les risques d'exposition individuelle aux particules dans l'air intérieur. Cependant, l'OMS a établi des valeurs guides pour les PM_{10} et les $\text{PM}_{2,5}$:

- exposition aiguë (sur 24 heures) : 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les $\text{PM}_{2,5}$ et 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les PM_{10} ;
- exposition chronique (année) : 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les $\text{PM}_{2,5}$ et 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les PM_{10} .

La réduction des niveaux particulaires dans l'habitat passe par la maîtrise des sources d'émission, en particulier liées à la combustion et à la cuisson des aliments.

Pour le cas particulier des fibres minérales artificielles, les fibres courtes et de diamètre supérieur à 4 microns peuvent être à l'origine d'irritations de la peau, mais aussi des yeux et des voies respiratoires supérieures. Elles s'incrustent dans l'épiderme, provoquant l'apparition de démangeaisons puis de lésions diverses. La plupart du temps, ces symptômes sont transitoires et surviennent essentiellement en début d'exposition. Urticaires et eczémas ont aussi été observés, notamment causés par les additifs présents dans les laines, en particulier les résines, le formol et parfois les métaux (nickel, cobalt, chrome). Des manifestations allergiques respiratoires telles que l'asthme peuvent être provoquées par la présence de liants dans les fibres. La survenue de bronchites chroniques suite à des expositions aux laines minérales n'est pas établie, de même que l'apparition de fibrose du poumon et de la plèvre ou de cancer du poumon, notamment dans le secteur de la production, n'est pas prouvée. Seules certaines fibres, en particulier les fibres céramiques réfractaires d'usage principalement industriel (isolation thermique à haute température), induisent des pathologies respiratoires pleurales et des fibroses pouvant évoluer vers des cancers en cas d'expositions répétées.

Bibliographie

- » AFSSET. Propositions de valeurs guides de qualité d'air intérieur. Particules. Octobre 2009.
- » AFSSET. Les fibres minérales artificielles siliceuses. Laines minérales, filaments continus de verre. Évaluation de l'exposition de la population générale et des travailleurs. Octobre 2008.
- » AFSSET. Les nanomatériaux. Effets sur la santé de l'homme et sur l'environnement. Juillet 2006.
- » AFSSET. Évaluation des risques liés aux nanomatériaux pour la population générale et pour l'environnement. Saisine n°2008/005. Rapport d'expertise collective, mars 2010.

GAZ ISSUS DE LA COMBUSTION

› Définition

La combustion est la réaction chimique qui a lieu lors de la combinaison entre l'oxygène et une matière combustible, conduisant à une flamme. Cette réaction se produit avec un dégagement de chaleur utilisé dans les locaux d'habitation pour maintenir une température de confort, pour produire de l'eau chaude ou encore pour la cuisson des aliments.

Les combustibles sont multiples (gaz naturel, pétrole, bois, charbon, etc.) mais ont en commun le fait de contenir majoritairement des hydrocarbures. Par exemple, le gaz naturel contient entre 83 % et 88 % de méthane (CH₄). Un litre de fioul, est, quant à lui, constitué d'environ 726 g de carbone (C), 110 g d'hydrogène (H) et 2 g de soufre (S).

La combustion produit des gaz et des particules (voir rubrique Particules), les deux composants des fumées.

Les gaz sont essentiellement du dioxyde de carbone CO₂ et de la vapeur d'eau, mais si la combustion est incomplète par manque d'oxygène, du monoxyde de carbone CO est également produit. Cependant, l'air qui alimente la réaction en oxygène apporte aussi de l'azote qui, sous certaines conditions, produisent divers oxydes d'azote gazeux, appelés NOx (NO, NO₂, N₂O, etc.). De même, les combustibles contiennent des traces d'autres éléments comme le soufre qui produisent aussi des oxydes gazeux, les dioxyde et trioxyde de soufre (SO₂ et SO₃). En outre, la combustion incomplète libère des hydrocarbures plus ou moins complexes : benzène, toluène, xylènes, hydrocarbures polycycliques aromatiques, etc. (voir rubrique Composés organiques volatils).

L'inhalation de ces composés gazeux produits par combustion peut avoir des impacts sur la santé.

› Sources d'exposition

Toutes les combustions qui ont lieu dans les locaux d'habitation sont susceptibles de produire ces gaz :

- en premier lieu les dispositifs de chauffage, qu'il s'agisse des chaudières et des poêles (au fioul, au gaz, au bois ou au charbon) ;
- les chauffe-eau possédant un brûleur, au gaz ou au fioul ;
- les cheminées et les inserts ;
- les dispositifs de cuisson avec flamme ;
- mais aussi le tabagisme, les bougies allumées, les bâtons d'encens incandescents, le papier d'Arménie (formol), etc.

La conception des appareils, des installations et/ou des locaux doit permettre de limiter l'accumulation de ces gaz, en particulier en assurant une quantité suffisante d'oxygène dans l'air par une aération adaptée (présence d'entrées d'air qui doivent rester opérationnelles même par temps froid) et une évacuation des gaz de combustion (par une conduite spécifique pour les appareils de chauffage ou par un système de ventilation des locaux). De plus, des consignes d'utilisation et d'entretien des appareils de chauffage et de production d'eau chaude doivent être respectées.

Ces gaz de combustion contribuent aussi grandement à la pollution atmosphérique car ils sont émis par les chaufferies des secteurs résidentiel, tertiaire et industriel ainsi que par le trafic routier. Des études ont montré que ces gaz pénétraient à l'intérieur des locaux dans des proportions importantes et que les concentrations de ces contaminants dans l'air intérieur étaient corrélées aux concentrations de l'air ambiant (air extérieur). Par exemple, le CO et les NOx pénètrent largement, entre 80 % et 100 %, et jusqu'à 70 % du SO₂ extérieur peuvent pénétrer dans les locaux. Il ne faut donc pas sous-estimer les apports extérieurs de ces contaminants, particulièrement lors des épisodes de pollution.

› Impacts sur la santé

Monoxyde de carbone (CO)

Le monoxyde de carbone est un gaz incolore, inodore, non irritant et très toxique. Une fois inhalé, le monoxyde de carbone se dissout dans le sang et se fixe à l'hémoglobine pour former la carboxyhémoglobine (HbCO) incapable de transporter de l'oxygène. Il peut aussi se fixer à la myoglobine et sur certains cytochromes.

La gravité de l'intoxication dépend de la quantité de CO fixée par l'hémoglobine. Elle est liée à plusieurs facteurs : la concentration de CO dans l'air, la durée d'exposition et le volume d'air inhalé.

Les symptômes les plus fréquents et immédiats lors d'une intoxication au CO sont, par ordre décroissant, les céphalées, l'irritabilité, le trouble du jugement, les troubles visuels, les nausées, les vomissements, les vertiges ainsi que les problèmes cardiaques, la confusion mentale et parfois le coma et la mort. Cette intoxication peut aussi entraîner un grand nombre de symptômes non spécifiques, psychiatriques, neuropsychologiques (incluant les troubles cognitifs) et physiques qui, pour la majorité des patients, peuvent perdurer.

L'intoxication grave avec perte de conscience se produit quand 40 % de l'hémoglobine est neutralisée et la mort par arrêt cardiaque survient pour 65 % d'HbCO, soit après une exposition de 1 heure à 0,1 % (1 000 ppm ou 1 165 mg/m³) de CO dans l'air, de 15 minutes à 1 % et immédiatement à 10 %.

La réaction de formation de la carboxyhémoglobine est réversible, ce qui permet l'élimination du CO par voie respiratoire soit en remplaçant le sujet dans une atmosphère saine, soit en lui faisant respirer de l'oxygène, éventuellement à forte pression (oxygénothérapie hyperbare). La prise en charge doit être rapide et peut justifier d'une hospitalisation spécialisée.

Les enfants qui ont un besoin accru de ventilation, les femmes enceintes et les fœtus, les personnes effectuant un exercice physique intense dans un milieu contaminé au CO, les personnes ayant des pathologies préexistantes (anémies ou hémoglobinopathies, pathologies cardiovasculaires et pulmonaires obstructives) présentent une plus grande sensibilité au monoxyde de carbone.

Les intoxications au CO peuvent laisser des séquelles irréversibles de type neurologiques (syndrome parkinsonien, surdité de perception, polynévrites, troubles du comportement) et cardiaques (troubles de la repolarisation, infarctus du myocarde).

En France, le CO est la première cause de mortalité accidentelle par toxique. Chaque année, environ 6 000 personnes sont hospitalisées et 300 décèdent du fait de ce gaz. Dans la majorité des cas, ces accidents sont dus à l'utilisation d'un appareil défectueux de chauffage ou de production d'eau chaude, quel que soit le combustible utilisé (gaz naturel, fuel, bois, etc.).

Si l'intoxication aiguë est toujours très redoutée, l'exposition chronique au CO doit aussi être considérée car elle pourrait être responsable d'un accroissement de la fréquence des pathologies cardiaques et induirait un risque accru de crise de sifflements chez les asthmatiques ainsi qu'une diminution de la fonction respiratoire.

L'Organisation mondiale de la santé (OMS) a proposé en 2000 des valeurs guides adaptées aux expositions dans l'air intérieur, établies à partir de modèles liant les concentrations en CO dans l'air et les niveaux de carboxyhémoglobine dans le sang, en considérant qu'un taux d'HbCO égal à 2,5 % représentait le maximum admissible pour assurer la protection du grand public, même s'il se livre à une activité physique légère ou modérée. Ces valeurs ont été adoptées par la France en 2007 comme valeurs guides de qualité de l'air intérieur (VGAi) :

- 100 mg/m³ (86 ppm), pendant 15 min ;
- 60 mg/m³ (52 ppm), pendant 30 min ;
- 30 mg/m³ (26 ppm), pendant 1 h ;
- 10 mg/m³ (9 ppm), pendant 8 h.

En 2010, l'OMS a ajouté une valeur guide de 7 mg/m³ (6 ppm) pour une exposition sur 24 h.

Dioxyde de carbone (CO₂)

Constituant naturel de l'atmosphère, le CO₂ s'y trouve à une concentration d'environ 0,039 % aujourd'hui. Il est naturellement produit par divers processus biologiques :

- l'activité métabolique de nombreux microorganismes ;
- le métabolisme cellulaire et la respiration des êtres vivants : un homme au repos exhale environ 200 ml de CO₂ par minute ; les végétaux chlorophylliens captent par la photosynthèse, le jour, plus de CO₂ qu'ils n'en émettent par la respiration, la nuit.

Il est massivement produit par les combustions des divers produits carbonés utilisés par les activités humaines.

C'est un gaz inodore et incolore. Plus lourd que l'air, il s'accumule en partie basse des locaux. C'est un gaz asphyxiant qui agit principalement par simple effet physique en diminuant la fraction inspirée d'oxygène. Cependant, sa toxicité intrinsèque aggrave les effets respiratoires et cardiovasculaires observés, par augmentation de la pression partielle en CO₂ du sang (hypercapnie) induisant une acidose.

L'importance des effets dépend de la concentration de CO₂ dans l'air, de la durée d'exposition et de nombreux facteurs physiologiques (âge du sujet, état vasculaire, etc.) ou climatiques (température extérieure, pression en oxygène, etc.). Les premiers symptômes (à partir de 1 %) sont une hyper-ventilation et une augmentation de la pression artérielle, puis (à partir de 5 %) des céphalées et des troubles cardiovasculaires et vasomoteurs (augmentation de la fréquence cardiaque, vasodilatation périphérique) apparaissent. Les troubles graves sont observés pour des concentrations de 10 à 20 % : tremblements, hypersudation, perte de connaissance, dépression respiratoire, convulsion, coma et mort.

L'exposition chronique à des concentrations de 2 % peut entraîner une bronchodilatation chez l'asthmatique en crise.

Considéré comme peu dangereux, le CO₂ n'est généralement pas retenu comme paramètre à impact sanitaire de la qualité de l'air intérieur. Cependant, sa mesure peut permettre d'évaluer le niveau de confinement d'un local (accumulation du CO₂ émis par la respiration des occupants). Le règlement sanitaire départemental type impose de ne pas dépasser la concentration de 1 000 ppm (0,1 %) avec tolérance de 1 300 ppm (0,13 %) dans les locaux où il est interdit de fumer.

Dioxyde de soufre (SO₂)

Le dioxyde de soufre est un gaz incolore, plus lourd que l'air, d'odeur piquante très irritante et perceptible dès 1 ppm (2,66 mg/m³). Très soluble dans l'eau (11,3 g pour 100 g d'eau à 20 °C), il s'hydrate en donnant naissance à de l'acide sulfurique, très corrosif.

Son origine dans l'air intérieur des locaux est majoritairement liée à la pollution atmosphérique extérieure et au chauffage au fioul, même si celle-ci est en baisse constante.

Après inhalation, le SO₂ est rapidement hydraté et absorbé dans le tractus respiratoire supérieur (nez, pharynx, larynx). La pénétration dans les voies respiratoires inférieures est très faible lors d'une respiration calme par le nez, elle est augmentée lors d'une respiration profonde par la bouche et quand la fréquence respiratoire augmente, en particulier pendant un exercice physique.

Lors d'une exposition unique à faible concentration, le dioxyde de soufre est irritant au niveau du nez et des voies aériennes supérieures où il provoque des lésions de la cavité nasale, une bronchoconstriction et une production accrue de mucus. Dès la concentration de seulement 1 ppm, une diminution réversible de la fonction respiratoire peut être observée. À des concentrations élevées, une atteinte sévère au niveau de l'épithélium trachéal et plus légère au niveau de l'épithélium bron-

chique apparaît, avec altération de la fonction mucociliaire (augmentation de la production de mucus et diminution de la clairance), voire disparition des cellules ciliées. Il se développe alors un syndrome obstructif ou une hyperréactivité bronchique qui peut perdurer plusieurs années. Le seuil de concentration qui entraînerait les premiers effets létaux a été calculé par l'INERIS pour une exposition aiguë de différentes durées et se situerait, par exemple, autour de 3 000 mg/m³ (1 150 ppm) pour 10 min d'exposition.

L'exposition chronique à de faibles doses (à partir de 0,2 ppm) augmente l'incidence de pharyngite et de bronchite chronique. Celle-ci peut s'accompagner d'emphysème et d'une altération de la fonction pulmonaire en cas d'exposition importante et prolongée. Les effets pulmonaires sont potentialisés par la présence de particules respirables, l'ozone, les oxydes d'azote, le tabagisme et l'effort physique.

De nombreuses études épidémiologiques ont démontré que l'exposition au SO₂, à des concentrations normalement présentes dans l'industrie ou dans certaines agglomérations, peut engendrer ou exacerber des affections respiratoires (toux chronique, dyspnée) et entraîner une augmentation du taux de mortalité par maladie respiratoire ou cardiovasculaire (maladie ischémique). Les sujets souffrant d'affection respiratoire (asthme et maladies pulmonaires inflammatoires ou fibrosantes) présentent une plus grande sensibilité aux expositions au SO₂, même modérées. Chez l'asthmatique en particulier, l'effet bronchoconstricteur du SO₂ est augmenté par l'effort physique pour des concentrations faibles de 0,1 ppm.

Enfin, de façon peu fréquente, le pouvoir corrosif de SO₂ peut induire des irritations oculaires et cutanées.

Le SO₂ étant principalement un polluant atmosphérique, les valeurs guides ont été établies pour l'air ambiant et non pour l'air intérieur. Les valeurs guides proposées par l'OMS (en 2000) pour les expositions chroniques peuvent cependant être données à titre indicatif :

- 500 µg/m³ (0,19 ppm), pendant 10 min ;
- 125 µg/m³ (0,05 ppm), pendant 24 h ;
- 50 µg/m³ (0,02 ppm), pendant 1 an.

En 2005, l'OMS a proposé de fixer des objectifs plus ambitieux et de tendre vers la valeur cible de 20 µg/m³ pour une exposition sur 24 h, en mettant en place des mesures pour diminuer les sources d'émission (véhicules à moteur, centrales énergétiques).

Oxydes d'azote

Sept oxydes d'azote peuvent être trouvés dans l'air ambiant, mais le monoxyde (ou oxyde nitrique NO) et le dioxyde (NO₂) sont les deux principaux produits par la combustion. En effet, 90-95 % des oxydes d'azote sont généralement émis sous forme de NO et seulement 5-10 % de NO₂. Mais, le NO est rapidement oxydé dans l'air pour former le NO₂ qui constitue dès lors le polluant azoté majeur.

Le NO₂ est un gaz rouge brun, plus lourd que l'air, d'odeur très irritante, perceptible à partir de 0,1 ppm.

Plusieurs études rapportent des concentrations de NO₂ de l'ordre de 13 à 62 µg/m³ dans l'air intérieur, avec des teneurs plus élevées, de l'ordre de 180 à 2 500 µg/m³, associées à l'utilisation d'appareils à gaz (cuisine et chauffage) et à la combustion de la biomasse (bois).

Après inhalation, le NO₂ est absorbé à tous les niveaux du tractus respiratoire. Le mécanisme exact de la toxicité pulmonaire du NO₂ n'est pas connu. Cependant, l'hypothèse d'un effet direct par oxydation des lipides et des protéines membranaires et la libération de radicaux libres a été postulée ; l'inflammation pulmonaire est en effet diminuée après ingestion d'antioxydants (vitamines C et E).

Les principaux impacts de NO₂ concernent le système respiratoire avec bronchoconstriction, augmentation de la réactivité bronchique, altération de la fonction mucociliaire, inflammation des voies

respiratoires, diminution des défenses immunitaires conduisant à une susceptibilité accrue aux infections respiratoires. De plus, il a été clairement montré que ces effets étaient observés pour des expositions plus faibles chez les asthmatiques et que l'exposition au NO₂ augmentait la réponse aux allergènes des personnes sensibilisées.

Aucun autre effet n'a, à ce jour, été associé à l'exposition au NO₂ dans l'environnement intérieur. L'OMS a établi des valeurs guides pour la qualité de l'air intérieur : 200 µg/m³ (0,1 ppm), pendant 1 heure et 40 µg/m³ (0,02 ppm), pendant 1 an.

Bibliographie

- » AFSSET. Propositions de valeurs guides de qualité d'air intérieur. Monoxyde de carbone. Mars 2007.
- » Borrás L *et al.* Intoxication au monoxyde de carbone : quelles séquelles neuropsychiatriques ? À propos d'un cas clinique et revue de la littérature. *Rev Med Interne* 2009 ; 30 : 43-8.
- » INERIS. Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques. Dioxyde de soufre SO₂. Juillet 2005.
- » INRS. Fiche toxicologique. Dioxyde de soufre. 2006.
- » OMS. Lignes directrices relatives à la qualité de l'air : particules, ozone, dioxyde d'azote et dioxyde de soufre. Synthèse de l'évaluation des risques. 2005.

COMPOSÉS ORGANIQUES VOLATILS

› Définition

Les composés organiques volatils (COV) désignent une famille de plusieurs milliers de composés (hydrocarbures, solvants, etc.) aux caractéristiques très variables. La définition la plus communément admise (norme ISO 16000-6) est celle de substances organiques dont le point d'ébullition est compris entre 100 et 240 °C. La volatilité de ces composés sous forme de gaz ou de vapeurs explique leur capacité à se propager à distance de leur lieu d'émission et à contaminer l'atmosphère extérieure et intérieure des habitations.

› Sources d'exposition

Les COV peuvent être d'origine naturelle (émission par les plantes ou certaines fermentations) ou résulter le plus souvent de l'activité humaine (origine anthropique). Dans ce dernier cas, les sources de COV sont multiples et varient selon l'OCDE suivant l'importance de l'industrialisation et des modes de transport. En général, toutes les combustions libèrent des COV et notamment le bois, les bougies parfumées ou l'encens. Le taux de COV est ainsi nettement supérieur dans l'air intérieur (proportion d'un facteur 10) par rapport à l'air extérieur.

Actuellement, les émissions de COV non méthaniques (le méthane étant considéré comme un COV à « effet de serre » mais sans impact direct sur la santé) sont essentiellement d'origine résidentielle/tertiaire (32 %), industrie manufacturière (31 %), transport (19 %), agriculture/sylviculture (14 %), transformation d'énergie (4 %).

Les matériaux utilisés pour l'aménagement et la décoration des locaux (peintures, vernis, colles, revêtements de sols et de murs, produits d'entretien, etc.) sont particulièrement mis en cause dans la production de COV, notamment le formaldéhyde et la famille des **BTEX**. Le tabagisme à l'intérieur des locaux conduit également à une accumulation de COV dont le benzène, le styrène et l'acétaldéhyde. La réduction des taux de COV dans l'air intérieur nécessite à la fois :

- la diminution des émissions par le développement de produits manufacturés sans solvant comme les peintures hydrosolubles, l'utilisation de produits de protection des métaux à base d'eau, etc. ;
- une augmentation du taux de renouvellement d'air (ventilation).

› Impacts sur la santé

Selon la nature du COV, les effets sur la santé sont très variables. Certains COV ont un impact important sur la santé et font l'objet d'une réglementation pour les ambiances de travail. La capacité des COV à se propager plus ou moins loin de leur lieu d'émission conduit à des impacts directs et indirects.

Effets directs

Les effets des COV sont très variables selon la nature du polluant envisagé. Ils vont d'une simple gêne olfactive à des irritations diverses (au site de contact), voire une diminution de la capacité respiratoire, et peuvent même aller jusqu'à des effets mutagènes et cancérigènes : benzène, certains **HAP**. Certains COV sont nocifs pour l'ensemble de l'organisme, plus particulièrement le sang, l'appareil reproducteur et l'appareil circulatoire. À de fortes concentrations (le plus souvent mesurées en milieu professionnel), certains sont capables d'induire des cancers ou une altération de la fertilité.

- L'exposition à des vapeurs de benzène a ainsi été associée à des cas de leucémie ; les effets cancérigènes du 1,3-butadiène ont également été démontrés.
- Le tétrahydrofurane s'attaque au foie et aux nerfs.
- Le trichloroéthylène se révèle cancérigène et induit des atteintes cardiaques.
- Les éthers de glycol à courte chaîne possèdent une toxicité spécifique vis-à-vis de la moelle osseuse et des testicules (effets tératogènes).

Effets indirects

Les COV participent à l'augmentation de la concentration d'ozone dans la troposphère (augmentation de 10 à 50 ppm de 1970 à 1990) et ainsi secondairement à l'augmentation du nombre de personnes atteintes d'asthme (jeunes et personnes âgées). Certains COV sont également nocifs pour les espèces animales et végétales.

À titre d'exemple, les origines et les effets du formaldéhyde et de certains composés des familles des BTEX et des HAP sont développés.

Formaldéhyde

› Définition et sources d'exposition

Le formaldéhyde ($H_2C=O$) est un gaz très volatil et très soluble dans l'eau mais instable. Il connaît de multiples applications en raison de ses propriétés physico-chimiques en tant que biocide, conservateur ou fixateur. Il est ainsi retrouvé dans de nombreux produits de consommation courante allant de l'aménagement de locaux (colles des panneaux de particules agglomérées, vernis, peintures, etc.) aux produits ménagers et même aux produits d'hygiène (dentifrices, désinfectants dentaires) ou cosmétiques (durcisseur d'ongles).

Cependant, la principale source de formaldéhyde dans l'air intérieur est le tabac. La population peut être exposée au formaldéhyde par les voies aérienne, orale ou cutanée. Différentes études réalisées en France et dans d'autres pays européens montrent que dans 98 % des cas l'exposition à cette substance se produit *via* l'environnement intérieur.

› Impacts sur la santé

Chez l'homme, du fait de sa réactivité avec les macromolécules biologiques, la pénétration systémique du formaldéhyde est limitée car celui-ci reste fixé au niveau des premiers sites de contact :

la cavité nasale, les muqueuses orales, la trachée et les bronches proximales. Par voie cutanée, l'absorption est faible.

Le formaldéhyde exerce une toxicité locale au niveau des sites d'exposition directe. Les effets critiques du formaldéhyde sont des irritations oculaires et des voies respiratoires, et sont observés pour des expositions aiguës et chroniques, une aggravation de l'état des patients asthmatiques auxquels une fatigue et des céphalées sont fréquemment associées.

Le formaldéhyde peut se comporter comme un allergène et provoquer une réponse IgE. Cependant, aucune corrélation n'a été établie entre la présence d'IgE médiées et les symptômes.

Les mesures d'exposition réalisées dans les logements, indiquent un dépassement fréquent des VTR (valeurs toxicologiques de référence) chroniques. Ainsi, il faut considérer que la majorité de la population est exposée au risque et que des sources de contamination doivent être recherchées, en particulier dès l'apparition de symptômes.

En 1996, l'Union européenne a classé le formaldéhyde comme :

- substance toxique par inhalation, par contact avec la peau et par ingestion (brûlures par effet corrosif) ;
- substance sensibilisante (pouvant entraîner une sensibilisation par contact avec la peau).

En juin 2004, le CIRC (Centre international de recherche sur le cancer) a reclassé le formaldéhyde du groupe 2A « cancérigène probable » au groupe 1 « cancérigène certain chez l'homme », sur la base d'études épidémiologiques en milieu du travail portant sur la survenue de cancers du nasopharynx par inhalation. L'exposition au formaldéhyde en milieu professionnel conduit à une inscription au niveau des maladies professionnelles avec définition de valeurs de gestion du HCSP (Haut Conseil de santé publique). En ce qui concerne la population générale, les concentrations mesurées habituellement dans l'air intérieur restent largement inférieures aux seuils mentionnés dans la littérature et sont considérées comme n'induisant pas l'apparition du cancer du nasopharynx. Le risque pour la population générale de développer un cancer du nasopharynx suite à l'inhalation de formaldéhyde seul semble donc négligeable. Toutefois, l'effet combiné du formaldéhyde à d'autres composés n'a pas été étudié.

D'autres aldéhydes (acétaldéhyde, glutaraldéhyde) sont considérés comme des produits à risque professionnel. En milieu ordinaire, les concentrations dans l'air sont généralement inférieures aux valeurs limites autorisées.

L'AFSSET* (Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail) propose des valeurs guides sanitaires pour le formaldéhyde.

Pour le formaldéhyde, le seuil olfactif de perception est de 100 µg/m³. Cette même valeur de 100 µg m³ a été retenue par l'OMS et l'AFSSET comme valeur limite pour prévenir l'apparition d'irritations oculaires.

BTEX

› Définition

« BTEX » est un acronyme (benzène, toluène, éthylbenzène, xylènes) pour désigner certains composés organiques volatils mono-aromatiques ayant des propriétés toxiques.

Ce sont des liquides incolores, odoriférants, inflammables et même explosifs. Ils peuvent pénétrer dans la peau car ils sont lipophiles et étant relativement peu volatils la durée de contact cutané peut être prolongée. Un rinçage à l'eau de la zone cutanée en contact avec un composé BTEX ne suffit pas pour prévenir un risque d'intoxication. La peau doit être lavée avec un détergent (savon).

Le benzène est à l'origine de nombreux composés aromatiques dits « benzéniques ». Ces composés dérivent

**Depuis le 2 juillet 2010, la fusion de l'AFSSA (Agence française de sécurité sanitaire des aliments) et de l'AFSSET a donné naissance à l'ANSES (Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail).*

de la formule chimique du benzène (C₆H₆) par substitution d'un atome d'hydrogène (H) par un ou des radicaux :

- toluène : remplacement d'un H par un méthyl (CH₃) ;
- éthylbenzène : remplacement d'un H par un éthyl (C₂H₅) ;
- xylène : remplacement de 2 H par 2 méthyls (C₂H₆).

Plus le composé résultant de la substitution d'un ou de plusieurs atomes d'hydrogène de la molécule de benzène par des groupements est rendu complexe, plus sa toxicité diminue. Cependant, cette réduction de la toxicité est relative car chacun des composés de la « série benzénique » demeure dangereux pour la santé.

› Sources d'exposition

Les BTEX présents dans l'habitat, proviennent de sources intérieures et d'apports de l'air extérieur.

L'air extérieur

Les concentrations de benzène dans l'air extérieur sont comprises entre 1 µg/m³ en site urbain et environ 10 µg/m³ à proximité d'un secteur routier. En moyenne horaire, ces concentrations peuvent atteindre 30 µg/m³.

L'air intérieur

La qualité de l'air intérieur d'une habitation située à proximité d'une station service ou d'un axe routier important peut ainsi être fortement contaminée par l'air extérieur.

Au niveau de l'air intérieur, la combustion incomplète et plus particulièrement celle du bois représente l'une des principales origines de production de BTEX (notamment de benzène et de xylène).

Concernant le bois traité (créosote), il ne doit être ni brûlé ni utilisé comme élément de décoration intérieure (anciennes traverses de chemin de fer par exemple). Concernant l'air extérieur, les gaz d'échappement provenant de la circulation automobile constituent les principales sources de BTEX. En France métropolitaine, les émissions de benzène ont cependant diminué de 37 % environ de 2000 à 2006 par l'amélioration de la qualité des combustibles, en particulier dans l'essence et par l'augmentation du rendement des chaudières.

De manière plus courante, ces composés BTEX présents dans des produits de bricolage et de nettoyage et stockés dans des contenants non étanches (fonds de peinture) peuvent se révéler nocifs dans un environnement clos. Ils peuvent diffuser à faibles doses dans l'air intérieur de l'habitation sur des périodes prolongées et être à l'origine d'une toxicité chronique. Pour prévenir ce risque, il convient de choisir des produits (peintures, solvants, diluants, etc.) ne contenant pas de BTEX et adaptés à leur usage (ne pas utiliser par exemple des peintures pour extérieur pour peindre une surface intérieure).

La fumée de tabac est considérée comme la principale source de benzène dans l'air intérieur.

› Impacts sur la santé

Les BTEX sont reconnus comme cancérigènes pour certains (benzène) et suspectés d'être mutagènes pour d'autres (toluène, xylènes). Ils sont cependant toujours toxiques non seulement par inhalation ou par ingestion mais aussi par contact avec la peau. La voie d'exposition principale aux BTEX reste l'inhalation.

Parmi les composés BTEX, le benzène est certainement le plus dangereux. L'usage des BTEX est strictement réglementé. En raison de son hématotoxicité, la commercialisation de solvants produits

pour le grand public contenant plus de 0,1 % de benzène est interdite en France.

Les BTEX s'accumulent préférentiellement dans les tissus riches en lipides et l'atteinte de la moelle osseuse est un des premiers signes de la toxicité chronique du benzène. Ils sont donc particulièrement responsables d'effets sur le système hématopoïétique.

En fonction des doses et de la durée d'exposition, cette toxicité peut aller d'une simple anémie à une pancytopenie (atteinte des trois lignées cellulaires). La toxicité du benzène peut également se manifester de manière directe par un effet irritant sur la peau et les muqueuses (oculaire et respiratoire notamment). Des expositions à des concentrations beaucoup plus faibles mais répétées et prolongées peuvent altérer la mémoire et certaines capacités psychiques.

Niveaux d'exposition aux BTEX

Pour le benzène, l'OMS indique en 2010 qu'il n'existe pas de seuil limite réel pour prévenir tout risque de toxicité. Elle recommande en conséquence que la concentration du benzène dans l'air intérieur soit la plus faible possible.

L'AFSSET propose des valeurs guides sanitaires pour le benzène. Ces valeurs guides de qualité de l'air sont exprimées en termes de concentration dans l'air du polluant associé à un temps d'exposition en dessous duquel aucun effet sanitaire, aucune nuisance ni aucun effet indirect important sur la santé n'est en principe attendu au sein de la population générale.

Le seuil olfactif du benzène a été identifié à 5 ppm (1 625 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) dans l'air soit un niveau très supérieur à la valeur limite (5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle) de qualité de l'air ambiant recommandé pour la protection de la santé humaine à compter du 1^{er} janvier 2010 (INERIS, mars 2006 et AFSSET, mai 2008).

Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)

› Définition

Il s'agit d'une série d'hydrocarbures classés en HAP « légers » (jusqu'à trois noyaux benzéniques) présents le plus souvent dans l'air intérieur à l'état gazeux et en HAP « lourds » (4 à 7 noyaux benzéniques) fixés sur des matières organiques particulaires et retrouvés préférentiellement dans l'air extérieur.

› Sources d'exposition

Les HAP représentent plusieurs centaines de composés produits par la combustion incomplète des matières fossiles dans des conditions de déficit en oxygène. Il s'agit des carburants automobiles (notamment les moteurs diesel), de la production industrielle (aciéries) et énergétique (centrales électriques au pétrole ou au charbon) et des incinérateurs. Le chauffage au bois reste cependant le principal émetteur de HAP dans l'atmosphère.

Dans l'air intérieur, les sources principales proviennent de la combustion des composés carbonés pour le chauffage domestique (gaz, mazout, bois) ou la cuisson des aliments. Une source importante provient des fumées (tabac, bougies, encens).

Dans l'air intérieur, la fumée due au tabac peut atteindre un taux de 22 ng/m^3 de benzo(a)pyrène (composé pris comme « marqueur » des HAP) et représenter 87 % de la quantité totale de HAP. Chez un non-fumeur, les quantités de HAP absorbées par l'alimentation (viande et poisson grillés ou fumés, huiles, etc.) peuvent représenter la première source d'exposition.

Le naphthalène (HAP le plus volatil avec deux cycles benzéniques) utilisé comme insecticide est notamment présent dans la « naphthaline » (anti-mites) et dans la créosote pour protéger le bois de construction (charpentes). Son odeur caractéristique est perçue par l'odorat humain à partir de 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ et sa concentration dans l'air intérieur est habituellement faible (< 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

› Impacts sur la santé

La contamination du corps humain par les HAP s'effectue préférentiellement par inhalation (à l'origine de bronchites et d'asthmes) ou par ingestion (aliments). En raison de leur caractère lipophile, le transfert des HAP au travers de la peau est également possible mais il est principalement rencontré dans les milieux professionnels exposés. Cependant, des intoxications (notamment de nouveau-nés) sont possibles à la suite d'un contact avec des draps ou des vêtements traités par un produit désinfectant (naphtaline).

Certains HAP comme le benzo(a)pyrène constitué par 5 cycles benzéniques sont particulièrement toxiques. Leur métabolisation conduit à la formation de composés réactifs qui en se liant à des protéines et/ou des acides nucléiques (ARN, ADN) provoquent des dysfonctionnements cellulaires (effets cancérigène, mutagène).

L'existence d'une bonne corrélation entre le taux de HAP dans l'air intérieur et la concentration urinaire de 1-hydroxypyrene pris comme « biomarqueur » est un moyen de détecter une exposition aux HAP. Le naphthalène peut être responsable de lésions des voies respiratoires et d'anémies hémolytiques.

› Conduite à tenir et conseils de prévention

• Éviter le tabagisme dans l'habitat.

- Utiliser des produits avec un « écolabel » sans COV (peintures, vernis, colles, produits d'ameublement, produits d'entretien, etc.).
- Réaliser une large aération des locaux et installer une VMC double flux pour assurer un renouvellement d'air adapté.

Bibliographie

- › Directive 1999/13/CE du conseil du 11 mars 1999 relative à la réduction des émissions de composés organiques volatils.
- › Arrêté du 29 mai 2006 relatif à la réduction des émissions de composés organiques volatils dues à l'utilisation de solvants organiques dans certains vernis et peintures et dans les produits de retouche de véhicules.
- › Directive 2004/42/CE du Parlement européen et du Conseil du 21 avril 2004 relative à la réduction des émissions de composés organiques volatils dues à l'utilisation de solvants organiques dans certains vernis et peintures et dans les produits de retouche des véhicules, et modifiant la directive 1999/13/CE.
- › INERIS (Institut national de l'environnement industriel et des risques). Fiches de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques. Version 3, mars 2006.
- › Coordination Dalphin JC. Composés organiques volatils. *Rev Mal Respir* 2008 ; 25.
- › AFSSET. Propositions de valeurs guides de qualité d'air intérieur. Benzène. Mai 2008.
- › WHO Guidelines for indoor air quality: selected pollutants, 2010.

OZONE

› Définition

L'ozone (O₃) est un gaz réactif composé de 3 atomes d'oxygène. Ses propriétés oxydantes sont utilisées depuis le début du xx^e siècle pour la désinfection de l'eau destinée à la consommation humaine. Sa présence dans l'environnement sous forme d'un gaz toxique est considérée comme l'un des principaux polluants de l'air avec les particules en suspension, les oxydes d'azote et les COV. Au niveau des grandes agglomérations, les conditions climatiques (périodes estivales ensoleillées) peuvent favoriser la génération d'ozone retrouvé dans des « smog* photochimiques ».

*Le « smog » (contraction de smoke [fumée] et de fog [brouillard]) résulte de la condensation de l'eau sur des poussières en suspension.

L'ozone est présent naturellement dans l'atmosphère terrestre. Ses effets peuvent être nocifs (ozone troposphérique) ou bénéfiques (ozone stratosphérique). Ses mécanismes de formation sont également différents s'il s'agit de :

– l'ozone **troposphérique** : couche la plus basse de l'atmosphère dont l'épaisseur est variable selon la latitude (7 km au-dessus des pôles et 18 km à l'équateur) et les saisons ;

– l'ozone **stratosphérique** : zone plus élevée de l'atmosphère où la couche d'ozone se situe à une altitude de 25 à 50 km environ.

Au niveau de la stratosphère, les rayonnements ultraviolets de haute énergie sont en grande partie consommés par la synthèse d'ozone et n'atteignent pas le sol terrestre où ils provoqueraient des effets nocifs sur les êtres vivants. Seulement une faible proportion de l'ozone de la troposphère terrestre (10 %) provient de l'ozone stratosphérique qui est un ozone « protecteur ».

Au niveau du sol, les radiations solaires moins énergétiques que dans la stratosphère ne permettent la formation d'ozone que par des réactions indirectes de photolyse du dioxyde d'azote NO_2 et/ou la formation de radicaux libres au contact de COV (hydrocarbures, solvants, peintures, végétation, etc.). En atmosphère « non polluée », le cycle de synthèse-destruction de l'ozone est stable et la concentration est relativement constante.

En période d'ensoleillement, la présence de polluants comme les oxydes d'azote NO_x conduit à une génération plus importante d'ozone. Cependant, dans les grandes agglomérations, une production plus abondante de NO favoriserait la « consommation » d'ozone formé et pourrait expliquer que les taux d'ozone sont paradoxalement moins élevés en milieux urbains (20 à 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) que ceux mesurés en zones rurales (60 à 90 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

De même, les fortes concentrations d'ozone sur le littoral peuvent s'expliquer par des phénomènes de brise côtière. Au cours de la nuit et en début de matinée, la « brise de terre » entraîne vers la mer les polluants « primaires » (NO_x , COV, etc.) émis au niveau de l'arrière-pays par les transports, les industries, les agglomérations, la végétation... Sous l'effet du rayonnement solaire, ces polluants « primaires » donnent naissance à de l'ozone, polluant « secondaire » qui est ramené sur la côte par la « brise marine » et s'accumule au niveau du littoral tant que les conditions climatiques (soleil, stabilité des masses d'air) restent stables. Ces déplacements d'air peuvent aussi expliquer que l'ozone puisse ainsi se déplacer vers des endroits parfois très éloignés de sa source d'émission.

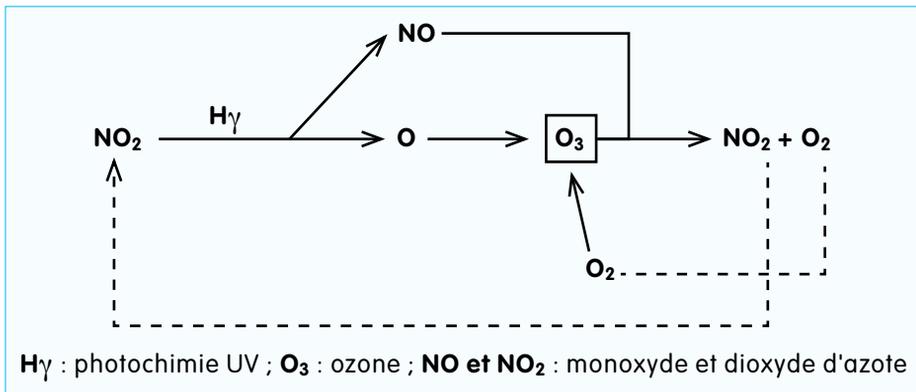
› Sources d'exposition

Lorsqu'il n'existe pas de source intérieure d'ozone et dans des conditions d'aération normales, les teneurs de l'air intérieur représentent environ 20 % des teneurs extérieures.

L'ozone présent dans l'air intérieur provient majoritairement de l'air extérieur, mais il peut aussi être causé par des dispositifs domestiques qui peuvent générer intentionnellement ou non de l'ozone (ionisateurs, épurateurs d'air). Ces générateurs sont censés « assainir » l'air en utilisant la grande réactivité chimique de ce gaz pour détruire des polluants intérieurs et notamment les odeurs. Le fonctionnement de ce type d'appareillage producteur d'ozone doit s'effectuer dans des pièces fermées et en l'absence d'individus.

Il faut cependant souligner que, quelle que soit sa provenance, l'ozone va aggraver la pollution chimique de l'air intérieur. Une étude publiée en 2006 montre que l'ozone a la capacité de réagir au contact des matériaux de construction, d'isolation et de décoration fréquemment utilisés dans les environnements intérieurs. En attaquant les molécules organiques à longues chaînes, l'ozone va augmenter la quantité de composés organiques rendus encore plus volatils. Ainsi, en présence d'ozone, des composés comme des aldéhydes, des cétones ou des acides carboxyliques sont retrouvés à des

Cycle de synthèse-destruction de l'ozone sous l'effet des UV du rayonnement solaire.



concentrations nettement supérieures dans l'air intérieur. La complexité des réactions chimiques en cause incite à recommander de ne pas utiliser de générateurs d'ozone ou des appareils (ionisateurs d'intérieur) qui utilisent un champ électrique (plasma froid) et produisent indirectement de l'ozone. Pour un gain d'efficacité modeste, ces appareillages risquent d'augmenter la concentration d'autres polluants.

Une production d'ozone peut également provenir d'appareils générateurs d'ions de manière fortuite (photocopieurs, imprimantes laser). La technique de création de charges électrostatiques dans les photocopieurs entraîne une ionisation qui est une source d'ozone. Les nouveaux photocopieurs sont équipés de filtres pour prévenir une contamination de l'atmosphère environnante immédiate, mais il est préconisé d'installer ces appareils dans des lieux aérés.

› Impacts sur la santé

L'ozone est un gaz agressif à odeur acre qui pénètre facilement dans les voies respiratoires. Ses effets varient selon la sensibilité individuelle mais aussi suivant l'intensité de l'exercice physique et sa concentration. À partir de quantités relativement faibles d'ozone (150 à 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), des effets peuvent se manifester sous forme :

- d'une irritation des yeux, du nez et de la gorge ;
- d'une toux ;
- de céphalées, de nausées ;
- d'une gêne douloureuse en cas d'inspiration profonde ;
- d'un essoufflement ;
- de douleurs thoraciques.

Ces symptômes respiratoires sont particulièrement accentués chez les enfants et les personnes âgées. L'ozone, même à faible dose, est directement associé à la survenue de crises d'asthme chez l'enfant. L'augmentation de ces crises et de leur gravité est directement corrélée aux « pics » de pollution. L'ozone peut aussi aggraver une maladie cardiaque, une insuffisance respiratoire et des maladies chroniques pulmonaires comme l'emphysème ou l'asthme. Il peut également compromettre les capacités immunitaires de défense de l'organisme contre les infections pulmonaires. Une récente étude montre une augmentation du taux de mortalité liée à l'ozone chez des personnes souffrant de problèmes respiratoires.

Mise en garde : le médecin doit déconseiller à une personne asthmatique d'acquérir un épurateur d'air qui génère de l'ozone.

Dans l'air intérieur, les directives européennes fixent pour la protection de la santé humaine une concentration limite de l'ozone à $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (maximum journalier de la moyenne glissante sur 8 heures).

L'OMS propose également des valeurs guides ($100 \mu\text{g}/\text{m}^3$) pour des expositions à court terme (8 heures).

Pour se protéger d'une pollution intérieure par l'ozone, il convient de fermer les fenêtres (surtout l'après-midi lorsque la concentration peut être maximale sous l'effet du rayonnement solaire).

Pour l'air extérieur, le seuil d'information et de recommandation du public est fixé à $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne horaire. En cas d'épisodes de pollution, le seuil d'alerte est fixé à $360 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ou $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pendant 3 heures consécutives. Le seuil d'alerte est le seul à entraîner des mesures obligatoires par arrêté préfectoral destinées à réduire le taux de pollution (réduction de la vitesse des automobiles, ralentissement de la production industrielle, etc.).

Bibliographie

- » Nicolas M. Ozone et qualité de l'air intérieur : interactions avec les produits de construction et de décoration. Thèse CSTE décembre 2006.
- » Strickland MJ *et al.* Short-term associations between ambient air pollutants and pediatric asthma emergency department visits. *Am J Respir Crit Care Med* 2010 ; 182 : 307-16.
- » Anenberg SC *et al.* An estimate of the global burden of anthropogenic ozone and fine particulate matter on premature human mortality using atmospheric modeling. *Environ Health Perspect* 2010 ; 118 : 1 189-95.
- » Décision de la Commission européenne 2004/279/CE.

RADON

› Définition

Le radon est un gaz radioactif naturel, inodore et incolore qui provient de la désintégration de l'uranium et du radium présents en quantité variable dans la plupart des roches. Le radon se désintègre lui-même en d'autres éléments radioactifs (polonium, plomb, bismuth) en émettant des rayonnements alpha (peu pénétrants mais avec un pouvoir ionisant important) et bêta (pénétrants mais dont le pouvoir d'ionisation est d'énergie variable). Ce sont principalement les produits de filiation nucléaire du radon qui après inhalation sont à l'origine de l'irradiation des tissus bronchiques.

Le radon est naturellement présent à la surface de la terre en concentration variable suivant la nature du sol et le degré de confinement des locaux. Les mineurs travaillant à l'extraction de certains minerais (étain, uranium, fer, etc.) peuvent être exposés à des concentrations particulièrement élevées en radon.

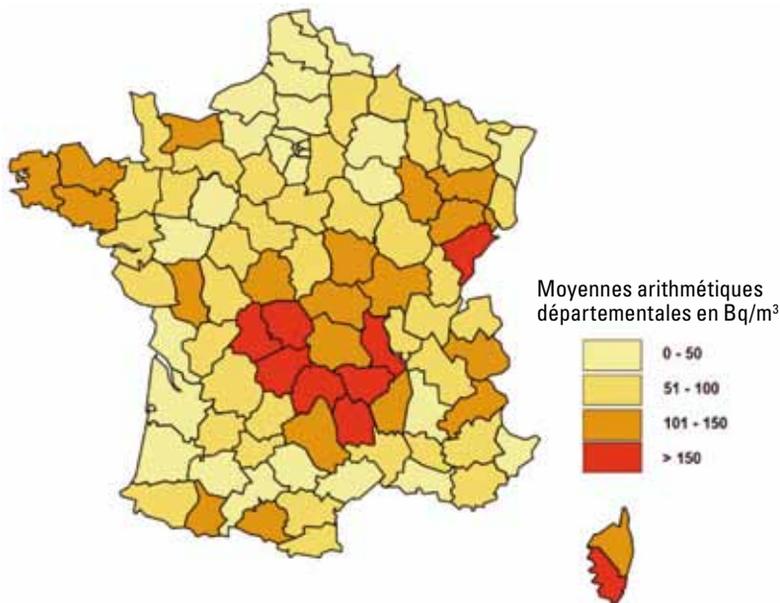
› Sources d'exposition

Le radon se forme dans le sol et atteint la surface en s'infiltrant dans les terrains poreux et les fissures. Il s'accumule ensuite dans les espaces clos ou mal aérés. Le radon est plus particulièrement retrouvé dans les terrains granitiques, les zones volcaniques. Le risque est plus faible dans les zones géologiques à sols sédimentaires.

En France, les zones les plus risquées vis-à-vis du radon se situent dans les massifs anciens (Massif central, Massif armoricain, Vosges, Alpes, Corse).

Des matériaux de construction (blocs de granit, blocs de tuf et certains plâtres anciens) peuvent aussi être une source de radon.

Dans les espaces ouverts, les taux de radon sont faibles ($< 100 \text{ Bq}^*/\text{m}^3$) en raison de l'effet de dilution et de dispersion du radon dans l'atmosphère.



Dans les espaces clos, le radon peut s'accumuler et atteindre des taux importants ($> 1\,000 \text{ Bq}/\text{m}^3$). Cependant, les principales causes de la présence du radon dans l'air intérieur, outre la nature géologique du terrain sur lequel l'habitation est construite sont principalement les mauvaises conditions de ventilation (plus de 80 % des cas) et les défauts d'étanchéité du sol. Les espaces les plus à risque sont ceux situés en contact avec le sol ou à proximité (caves, sous-sols, rez-de-chaussée).

L'eau des nappes souterraines en contact avec des roches granitiques peut aussi contenir du radon à l'état dissous. L'utilisation de l'eau au cours d'une douche par exemple peut entraîner un dégazage et une libération du radon qui peut être inhalé. Cependant, le risque sanitaire est faible car la durée d'exposition est limitée.

► Impacts sur la santé

Des études épidémiologiques montrent que le radon ne fait pas seulement des victimes parmi les mineurs mais aussi parmi les habitants de maisons et d'appartements. Une exposition domestique faible ou moyenne peut entraîner l'apparition de cancers bronchopulmonaires. À dose cumulée égale, le radon inhalé au cours d'expositions chroniques est plus toxique que lors d'une irradiation aiguë.

En France, le radon est la première source d'exposition aux rayonnements ionisants après les expositions médicales. Il est classé par le CIRC (Centre international de recherche sur le cancer) comme cancérigène certain.

*Le becquerel (Bq) mesure l'activité d'un radionucléide par le nombre de désintégrations/seconde.

Le radon « domestique » serait responsable de 3 à 14 % des décès par cancer du poumon et représenterait la seconde cause de mortalité par cancer du poumon après le tabac.

La prise de conscience du risque pour la santé publique de l'exposition à ce gaz radioactif naturel est relativement récente. Un avis de la Communauté européenne du 21 février 1990 pour la protection de la population vis-à-vis du radon à l'intérieur des bâtiments recommande d'entreprendre des actions correctives à partir de 400 Bq/m³.

Cependant, la relation dose/effet semble linéaire et demeure significative même à des concentrations inférieures aux niveaux pour lesquels il était recommandé d'agir. Il n'existe donc pas de seuil en dessous duquel le risque de cancer serait nul. Cela a conduit le Canada à proposer d'abaisser le seuil d'action à 200 Bq/m³. Puis, en septembre 2009, l'OMS a divisé par 10 le seuil maximum d'exposition au radon dans les habitations précédemment fixé en 1996 à 1 000 Bq/m³. Le nouveau seuil limite d'exposition au radon adopté par l'OMS est ainsi de 100 Bq/m³.

Si la limite de 100 Bq/m³ ne peut pas être respectée, l'OMS indique que le taux de contamination ne doit en aucun cas dépasser 300 Bq/m³. Une augmentation de l'exposition au radon à long terme (30 ans) de 100 Bq/m³ accroît de 16 % le risque de développer un cancer du poumon. Ce risque est encore augmenté s'il concerne des fumeurs (15 à 24 cigarettes/jour) ou des ex-fumeurs.

En France, selon l'IPSN (Institut de protection et de sûreté nucléaire), le nombre d'habitations individuelles pour lesquelles la concentration en radon est supérieure à 400 Bq/m³ est estimé à 300 000. Les habitations où les concentrations en radon seraient supérieures à 1 000 Bq/m³ serait de 60 000. Concernant les établissements recevant du public et où la durée de séjour est significative (établissements d'enseignement, établissements sanitaires et sociaux, établissements pénitentiaires, etc.), 31 départements ont été classés comme prioritaires pour la gestion du risque lié au radon. Dans ces départements, il existe une obligation de procéder à la mesure du taux de radon par des organismes agréés et de procéder à des travaux si besoin.

› Mesures préventives et correctives

Il est nécessaire d'informer la population et d'expliquer les mesures préventives à mettre en œuvre pour les nouvelles habitations et les mesures curatives pour les habitations existantes.

Mesures préventives

L'exposition au radon est évitable par des mesures de prévention simples à mettre en œuvre. Une ventilation par un renouvellement fréquent de l'air intérieur peut être suffisante. Une aération de 10 minutes/jour permet de diluer les concentrations en radon. La pose de grilles et de bouches d'aération peut être suffisante. L'installation d'un système automatique de renouvellement continu d'air (ventilation mécanique contrôlée ou VMC) peut être plus efficace, mais il peut avoir comme inconvénient de provoquer une extraction accrue du radon du sous-sol.

Mesures correctives

- Isolation de l'habitat : une isolation efficace (sol rendu étanche, colmatage des fissures, étanchéité des passages de canalisations) permet de se prémunir contre les risques d'exposition au radon.
- Élimination du radon : dans les zones les plus à risque, une aération des fondations par la création d'un vide sanitaire ventilé de manière naturelle ou mécanique permet d'extraire l'air entre le sol et l'habitation et de réduire ainsi les risques de pénétration du radon dans l'habitat.

Bibliographie

- » Circulaire conjointe DGS n°99-46 et DGUH/QC/10 n°99-32 du 27 janvier 1999 relative à l'organisation de la gestion du risque lié au radon.
- » Circulaire DGS n°99/289 du 20 mai 1999 et n°2001/303 du 2 juillet 2001 relatives à la gestion du risque lié au radon dans les établissements recevant du public.
- » Arrêté du 22 juillet 2004 relatif aux modalités de gestion du risque lié au radon dans les lieux ouverts au public.
- » BEH (Bulletin épidémiologique hebdomadaire). Numéro thématique – Impact sanitaire du radon domestique : de la connaissance à l'action. 15 mai 2007/n°18-19.
- » WHO Guidelines for indoor air quality: selected pollutants, 2010.

RECOMMANDATIONS GÉNÉRALES DE MAÎTRISE DE L'ENVIRONNEMENT DE L'HABITAT

Toute pathologie respiratoire chronique peut être entretenue ou aggravée par une exposition aux allergènes, identifiés comme responsables, et/ou aux polluants physico-chimiques. Il est donc fondamental d'agir sur le couple *délictère* « allergènes-polluants » afin, d'une part, d'améliorer la qualité de vie du patient et, d'autre part, d'éviter l'évolution de sa pathologie.

Ce chapitre présente les conseils généraux d'éviction des allergènes et de lutte contre les polluants intérieurs.

ÉVICTION DES ALLERGÈNES

Aucune des mesures d'éviction proposées n'est efficace isolément. Seule l'association des mesures proposées pourra conduire à une diminution de l'exposition aux allergènes.

Allergie au pollen

Un des premiers conseils à donner au patient allergique au pollen est d'avoir une bonne connaissance du calendrier pollinique (type de pollens selon la région et la saison) et de surveiller les alertes allergo-polliniques du Réseau national de surveillance aérobiologique (www.pollens.fr).

En période de pics polliniques, il faut éviter d'être exposé aux fortes concentrations de pollen :

- éviter les pique-niques, de dormir la fenêtre ouverte, de rouler en voiture les fenêtres ouvertes, de sortir juste avant un orage, de tondre un gazon ou d'être présent pendant la tonte ;
- avant une promenade, se renseigner sur les conditions météorologiques (vent, notamment) ;
- après une promenade, se laver les cheveux et le visage et se changer ;
- mettre son linge à sécher dehors à l'abri du vent et du soleil, le sortir après une pluie.

Il faut également éviter de planter des espèces allergisantes dans son jardin.

Allergie aux acariens

› Agir sur l'humidité

Les acariens, responsables par leurs déjections de la dissémination des allergènes, ne supportent pas une sécheresse trop importante de l'air dans lequel ils se trouvent. Le seuil critique d'humidité relative pour *Dermatophagoides pteromyssimus* (Der p) est de 70 % à 25 °C⁽¹⁾. Celui pour *Dermatophagoides farinae* (Der f) varie de 55 à 75 % à une température allant de 15 à 35 °C⁽²⁾.

Il a été montré que l'alternance de périodes d'humidité relative élevée (75 %) de 4 à 8 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⁽³⁾. Le séchage de la literie, par exemple en gardant le lit ouvert, permet de réduire l'humidité relative.

L'absence de développement des acariens à une altitude supérieure à 1 500 mètres sous nos latitudes pourrait être expliquée par une hygrométrie basse⁽⁴⁾, conduisant à une faible exposition allergénique, par exemple, lors de vacances.

Plusieurs travaux ont mis en évidence un lien entre le confinement, l'humidité relative et les concentrations d'allergènes d'acariens⁽⁵⁾. D'autres ont souligné les avantages de la ventilation mécanique sur l'évolution des taux d'acariens et de leurs allergènes^(6,7). Dans les 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⁽⁸⁾.

Lorsqu'un support textile est infesté, une baisse de l'humidité relative de 75 à 33 % ne semble pas avoir d'effet sur les concentrations d'acariens, soulignant le rôle important des conditions d'hygrométrie des microenvironnements⁽⁹⁾.

› Utiliser une housse anti-acariens

Les housses pour matelas sont très efficaces puisqu'une réduction de plus de 90 % à 6 semaines des taux d'allergènes a été retrouvée dans plusieurs travaux^(10,11). Grâce au développement de tissus perméables à l'eau et imperméables aux allergènes d'acariens (polyuréthane et polyester-coton), leur acceptabilité s'est nettement améliorée. Un diamètre de pores inférieur à 6 µm prévient le passage des allergènes d'acariens. Certaines housses possèdent un label anti-acariens.

Pour les autres éléments de la literie, tels que les oreillers et les couettes, la réduction des concentrations d'allergènes d'acariens a également été démontrée⁽¹²⁾.

› Traiter les textiles

Le traitement du matelas ou de la moquette à l'azote liquide associé à une aspiration provoque une réduction significative des acariens⁽¹³⁾. La congélation pendant 24 heures des peluches ou d'autres objets textiles peu volumineux serait une méthode efficace⁽⁴⁾. Ne pas oublier de les laver ensuite, à faible température.

Le lavage à l'eau chaude (> 58 °C) des tissus des meubles et de la literie peut réduire, en tuant les acariens, la concentration d'allergènes. L'effet mécanique du lavage à l'eau froide réduit de 40 à 60 % le nombre d'acariens vivants et de 90 % la concentration en allergènes^(14,15). L'ajout de produits acaricides tel le benzoate de méthyle comme additif au détergent permet une réduction de près de 100 % du nombre d'acariens vivants dans des échantillons de tapis et de vêtements^(16,17). Pour des couvertures en laine, le lavage à 30 °C, avec une solution d'huile d'eucalyptus à 0,2 % permet une réduction de 99 % du nombre d'acariens⁽¹⁶⁾.

L'effet du nettoyage à sec sur les allergènes est controversé^(17,18), tandis que le sèche-linge aurait une efficacité partielle⁽¹⁹⁾.

› Aspirer la poussière domestique

Une aspiration classique n'élimine que très partiellement les acariens et leurs allergènes. Seuls 5 à 10 % des acariens sont enlevés après deux aspirations consécutives et jusqu'à 20 % lorsqu'elle dure 40 minutes⁽²⁰⁾.

L'utilisation hebdomadaire d'un aspirateur réduit les concentrations de Der p 1 et Der p 2 de 43 et 60 % respectivement et de 15 et 37 % s'il n'est passé qu'une fois par mois⁽²¹⁾. L'addition d'un shampooing ou l'humidification lors de l'aspiration a permis une plus grande réduction des concentrations des allergènes d'acariens⁽²²⁾. Cependant, sur un support épais en tissu, l'humidité résiduelle favorise la multiplication des acariens.

Le traitement par la vapeur a provoqué une réduction des concentrations des allergènes d'acariens

du groupe 1 de 87 % dans la moquette⁽²³⁾ et de plus de 60 % pour les allergènes des groupes 1 et 2 dans la moquette rase et la literie⁽²⁴⁾.

› Changer la literie infestée

Les taux d'allergènes d'acariens restent très faibles dans le matelas et la moquette un an après les avoir remplacés ainsi que dans les oreillers et la couette, et installé un sommier à lattes⁽²⁵⁾. Un nouveau matelas sera infesté en moins de 2 mois s'il est placé sur un sommier contaminé⁽²⁶⁾. Il n'a pas été montré de différences significatives pour les concentrations d'allergènes entre les oreillers en synthétique et les oreillers en plumes⁽²⁷⁾. À noter que ces derniers ne se lavent pas facilement.

› Traiter par des acaricides

Dans des conditions expérimentales, la plupart des acaricides réduisent les populations d'acariens de 65 à 100 %⁽²⁸⁾. Cependant l'utilisation de ces produits dans les maisons dans des conditions réalistes a montré que la haute mortalité obtenue en laboratoire n'était retrouvée que pour un nombre limité de substances. L'acide tannique est le seul dénaturant des allergènes d'acariens⁽²⁹⁾.

Les acaricides et les agents dénaturants sont recommandés par les fabricants pour le traitement des tapis, des moquettes, des matelas, des sommiers et des meubles capitonnés. Plus récemment, les fabricants de textiles ont incorporé des acaricides dans les fibres textiles. Les taux d'allergènes restent faibles, tant dans le matelas que la moquette, 2 ans après changement pour des supports textiles prétraités⁽²⁷⁾.

L'efficacité des substances acaricides dépend d'un certain nombre de facteurs :

- les méthodes de traitement : la poudre d'Acarosan est efficace si elle est laissée en place 24 heures avant l'aspiration⁽³⁰⁾. L'acide tannique n'est efficace que transitoirement (moins de 6 semaines)⁽³¹⁾ ;
- le degré d'infestation : lorsque les supports textiles sont très infestés, qu'il s'agisse des matelas ou des moquettes, il n'est pas possible d'obtenir une réduction significative des taux d'allergènes⁽³²⁾. Les produits acaricides doivent répondre à la norme NF G 39-012, qui permet l'évaluation des propriétés antiacariennes des textiles par la mesure de l'allergène Der p 1. Leur toxicité doit être également envisagée.

Le traitement acaricide est très polluant et peut dans certains cas augmenter les crises d'asthme par inhalation de la substance. On ne doit se servir de ce moyen que sur une moquette que l'on ne peut pas retirer (si l'on est locataire par exemple).

› Choisir les matériaux textiles

Les sommiers capitonnés contiennent plus d'allergènes que les matelas⁽³³⁾. Les matelas à ressort, les couvertures et les moquettes en laine contiendraient plus d'allergènes d'acariens du groupe 1⁽³⁴⁾. Les tapis pour lesquels l'aspiration des allergènes des acariens est la plus simple sont des moquettes peu épaisses et composées de fibres coatées de fluorocarbone⁽³⁵⁾.

Allergie aux poils de chat

Les allergènes de chat sont très ubiquitaires⁽⁷⁾ : maison, école, bureaux et autres lieux publics.

La meilleure méthode d'éviction est le départ du chat. Toutefois, il faut près de 6 mois après le départ du chat pour que les concentrations en allergènes (Fel d 1) dans la poussière retrouvent des valeurs semblables à celles d'habitation qui n'en ont jamais abrité⁽³⁶⁾.

Même dans les maisons qui n'ont jamais abrité de chat, des taux mesurables d'allergènes sont retrouvés dans l'air⁽³⁷⁾. Il en est de même dans les crèches ou les écoles, les particules allergéniques étant apportées par les occupants sur leurs vêtements⁽³⁸⁾.

Le lavage du chat donne des résultats contradictoires sur la réduction des concentrations aériennes de Fel d 1⁽³⁹⁾.

Les aspirateurs avec filtre HEPA (haute efficacité pour les particules aéroportées) ne sont pas capables, dans des conditions réalistes, de réduire l'exposition aérienne aux particules allergéniques⁽⁴⁰⁾.

L'utilisation d'un épurateur d'air autonome équipé d'un filtre HEPA ou d'un filtre électrostatique dans une pièce expérimentale entraîne une réduction des concentrations aériennes de Fel d 1 de plus de 98 % en 45 minutes⁽⁴¹⁾. Dans des habitations qui abritent des chats, en l'absence de l'animal, aucun appareil ne diminue les concentrations aériennes de Fel d 1 de plus de 70 %. En sa présence, la baisse n'est que de 50 %.

L'utilisation conjointe d'un épurateur d'air et d'un aspirateur munis de filtres HEPA montre une réduction de 98 %, en l'absence de chat⁽⁴²⁾.

L'augmentation de la ventilation de 0,2 à 2,4 renouvellements d'air par heure dans une pièce où le sol est lisse diminue l'exposition allergénique⁽⁴²⁾.

Passer un linge humide sur le pelage du chat permet de réduire les allergènes de chat dans l'air, mais pas de façon durable.

Allergie aux poils de chien

Le lavage du chien entraîne une réduction des concentrations aériennes de l'allergène majeur du chien qui ne semble pas durable⁽⁴²⁾ et les épurateurs d'air munis de filtre HEPA réduisent de près de 90 % les concentrations aériennes de Can f 1 en l'absence de chien et de 75 % avec l'animal dans la pièce⁽⁴³⁾.

Allergie aux blattes

Le traitement avec des gels toxiques doit concerner l'ensemble des appartements de l'immeuble. Toutefois, lorsque la poussière est fortement contaminée, même en utilisant des méthodes d'éviction très complètes pendant 8 mois, il ne semble pas possible d'atteindre des niveaux inférieurs au seuil de risque⁽⁴⁴⁾.

Il est préférable de faire intervenir des spécialistes traitant des logements car ils utilisent des produits moins toxiques que les particuliers.

Allergie aux moisissures

Les liens entre exposition aux moisissures, sensibilisation et symptômes ne sont pas toujours faciles à établir⁽⁴⁵⁾.

Néanmoins, il conviendra de :

– contrôler l'humidité intérieure :

- › maintenir l'humidité relative inférieure à 50 %,
- › boucher les fuites qui induisent l'accumulation d'eau,
- › augmenter la ventilation dans les salles de bains et les cuisines,
- › ne pas boucher les ouvertures prévues pour la ventilation,
- › ne pas sécher le linge à l'intérieur de la maison,
- › mettre les sorties des sèche-linge à l'extérieur,
- › éviter les plantes vertes qui doivent être fréquemment arrosées, et dont le pot et la terre contiennent toujours des moisissures,
- › chauffer toutes les pièces l'hiver ;

- nettoyer les matériaux contaminés :
 - › utiliser un détergent et un fongicide (eau de Javel notamment) pour enlever les moisissures sur les surfaces lavables,
 - › enlever les matériaux non lavables,
 - › maintenir en état de propreté les systèmes de chauffage, ventilation et climatisation.

LUTTE CONTRE LES POLLUANTS INTÉRIEURS

Les sujets atteints d'une pathologie respiratoire chronique doivent être particulièrement protégés des polluants de l'air intérieur, le temps passé à l'intérieur de locaux étant de 20 à 22 heures par jour. Un certain nombre de recommandations seront données pour lutter efficacement contre ces polluants⁽⁴⁶⁾.

› Assurer une ventilation suffisante

La ventilation des locaux assure l'apport d'air neuf pour les occupants et pour les combustions. Elle élimine les odeurs et diminue les concentrations en microorganismes et polluants chimiques. Enfin, elle évite les désordres dus à l'humidité (condensation, développement de moisissures) afin de préserver le bâti et la santé des occupants. La ventilation naturelle par tirage thermique et pression du vent ou la ventilation mécanique contrôlée assurent le renouvellement d'air des locaux, grâce aux bouches d'aération et bouches d'extraction de l'air vicié. Ces dernières doivent être correctement entretenues pour éviter leur encrassement. Elle est complétée par l'aération quotidienne qui se fait par ouverture des fenêtres, portes et autres ouvrants et par infiltration d'air. L'utilisation d'épurateurs d'air autonomes (ou purificateurs d'air) nécessite de bien connaître leurs performances et leur innocuité.

› Éliminer la poussière domestique

Le nettoyage humide (de préférence avec un chiffon microfibre lavable) permet d'éliminer poussières et salissures. Il faut limiter le nombre d'objets et de surfaces difficiles à nettoyer, véritables nids à poussière. Lors des activités produisant de fortes quantités de poussières, il est recommandé de porter un masque anti-poussière et d'éloigner les personnes vulnérables, comme les enfants ou les personnes souffrant de pathologies respiratoires.

› Entretenir les appareils domestiques

Le raccordement des appareils de combustion doit être vérifié par un professionnel afin d'éviter les refolements des gaz et des fumées vers l'intérieur. De même, le réglage et l'entretien des appareils doivent être assurés par un professionnel. Les imprimantes laser et les photocopieurs doivent être utilisés dans des zones bien ventilées, et pas dans les chambres.

› Limiter l'exposition aux composés organiques volatils

L'évaluation des émissions en composés organiques volatils des matériaux et produits n'est pas encore systématique. Les fabricants n'ont pas aujourd'hui l'obligation d'indiquer la composition chimique des produits et l'émission chimique à partir de ces matériaux et produits. Le chauffage et l'aération du local où se trouve un mobilier neuf permettent une émission plus rapide des composés organiques volatils. Il est recommandé d'aérer le local pendant et après l'utilisation de peintures, vernis, cires, colles, nettoyeurs et autres produits ménagers, en respectant le mode d'emploi. La

présence de composés organiques volatils peut être suspectée pour les produits qui comportent les mentions suivantes : « ne pas inhaler les vapeurs », « ne pas utiliser dans un local fermé », « ne pas vaporiser contre une flamme », « ne pas fumer pendant l'utilisation ». Ces produits doivent être soigneusement protégés et entreposés dans des endroits aérés. Lire soigneusement les étiquettes et choisir le produit contenant le moins de COV, si cette information est fournie.

› Maîtriser la pose et la dégradation des matériaux fibreux

Il est recommandé, lors de la pose de laines minérales, de couvrir les parties du corps exposées, de porter un masque jetable si le lieu n'est pas ventilé, de nettoyer avec un aspirateur, de porter des lunettes de protection en cas de travail au-dessus de la tête, et de ventiler le lieu de travail si possible. Il est aussi recommandé de surveiller l'état de dégradation des matériaux fibreux.

Références

1. Colloff MJ. Dust mite control and mechanical ventilation: when the climate is right. *Clin Exp Allergy* 1994 ; 24 : 94-6.
2. Arlian LG, Platts-Mills TA. The biology of dust mites and the remediation of mite allergens in allergic disease. *J Allergy Clin Immunol* 2001 ; 107 : S406-13.
3. Arlian LG *et al.* Reducing relative humidity to control the house dust mite *Dermatophagoides farinae*. *J Allergy Clin Immunol* 1999 ; 104 : 852-6.
4. Charpin D *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.
5. Platts-Mills TA *et al.* Indoor allergens and asthma: report of the Third International Workshop. *J Allergy Clin Immunol* 1997 ; 100 : S2-24.
6. Harving H *et al.* House-dust mite exposure reduction in specially designed, mechanically ventilated "healthy" homes. *Allergy* 1994 ; 49 : 713-8.
7. Wickman M *et al.* Reduced mite allergen levels in dwellings with mechanical exhaust and supply ventilation. *Clin Exp Allergy* 1994 ; 24 : 109-14.
8. Arlian LG *et al.* Reducing relative humidity is a practical way to control dust mites and their allergens in homes in temperate climates. *J Allergy Clin Immunol* 2001 ; 107 : 99-104.
9. De Boer R *et al.* The decay of house dust mite allergens, Der p I and Der p II, under natural conditions. *Clin Exp Allergy* 1995 ; 25 : 765-70.
10. De Blay F *et al.* Comparative study of surface group 1 mite allergen buildup on 10 different bedding covers. *Eur Resp J* 1997 ; 10 : 231 (Abstract).
11. Owen S *et al.* Control of house dust mite antigen in bedding. *Lancet* 1990 ; 335 : 396-7.
12. Vanlaar CH *et al.* Domestic control of house dust mite allergen in children's beds. *J Allergy Clin Immunol* 2000 ; 105 : 1 130-3.
13. Dorward A *et al.* Effect of house dust mite avoidance measures on adult atopic asthma. *Thorax* 1988 ; 43 : 98-102.
14. Bischoff ER *et al.* Control with low temperature washing. II. Elimination of living mites on clothing. *Clin Exp Allergy* 1998 ; 28 : 60-5.
15. Bischoff ER *et al.* Mite control with low temperature washing. II. Elimination of living mites on carpet pieces. *Clin Exp Allergy* 1996 ; 26 : 945-52.
16. Tovey ER, McDonald LG. A simple washing procedure with eucalyptus oil for controlling house dust mites and their allergens in clothing and bedding. *J Allergy Clin Immunol* 1997 ; 100 : 464-6.
17. McDonald LG, Tovey E. The role of water temperature and laundry procedures in reducing house dust mite population and allergen content of bedding. *J Allergy Clin Immunol* 1992 ; 90 : 599-608.
18. Vandenhove T *et al.* Effect of dry cleaning on mite allergen levels in blankets. *Allergy* 1993 ; 48 : 264-6.
19. Miller JD, Miller A. Ten minutes in a clothes dryer kills all mites in blankets. *J Allergy Clin Immunol* 1996 ; 97 : 423 (Abstract).
20. Van Bronswijk J. Neues zur Ökologie der Wohnungsmilben. *Allergologie* 1984 ; 11 : 438-45.
21. Bellanti JA *et al.* Study of the effects of vacuuming on the concentration of dust mite antigen and endotoxin. *Ann Allergy Asthma Immunol* 2000 ; 84 : 249-54.

22. De Boer R. The control of house dust mite allergens in rugs. *J Allergy Clin Immunol* 1990 ; 86 : 808-14.
23. Colloff MJ *et al.* The use of domestic steam cleaning for the control of house dust mites. *Clin Exp Allergy* 1995 ; 25 : 1 061-6.
24. Htut T *et al.* Eradication of house dust mite from homes of atopic asthmatic subjects: a double-blind trial. *J Allergy Clin Immunol* 2001 ; 107 : 55-60.
25. De Blay F *et al.* Effectiveness of Actigard®-treated home furnishings on mite allergen exposure. *ACI International* 2000 ; Suppl 2 : 17 (Abstract).
26. Custovic A *et al.* New mattresses: how fast do they become a significant source of exposure to house dust mites allergens? *Clin Exp Allergy* 1996 ; 26 : 1 243-5.
27. Purohit A *et al.* Evaluation of group 1 mite allergen levels in synthetic and feather pillows: absence of difference. *Ann Allergy Asthma Immunol* 2005 ; 94 : 308-9.
28. Colloff MJ. House dust mites. Part II: Chemical control. *Pesticid Outlook* 1990 ; 1 : 3-8.
29. Platts-Mills TA *et al.* The role of intervention in established allergy: avoidance of indoor allergens in the treatment of chronic allergic disease. *J Allergy Clin Immunol* 2000 ; 106 : 787-804.
30. Hayden ML *et al.* Benzyl benzoate moist powder: investigation of acaricidal activity in cultures and reduction of dust mite allergens in carpets. *J Allergy Clin Immunol* 1992 ; 89 : 536-45.
31. Tovey ER *et al.* Changes in mite allergens Der p 1 in house dust following spraying with a tannic acid/acaricid solution. *Clin Exp Allergy* 1992 ; 22 : 67-74.
32. Dietemann A *et al.* A double-blind, placebo controlled trial of solidified benzyl benzoate applied in dwellings of asthmatic patients sensitive to mites: clinical efficacy and effect on mite allergens. *J Allergy Clin Immunol* 1993 ; 91 : 738-46.
33. Pauli G *et al.* The role of mattress bases in the mite infestation of dwellings. *J Allergy Clin Immunol* 1997 ; 99 : 261-3.
34. Price JA *et al.* Measurement of airborne mite antigen in homes of asthmatic children. *Lancet* 1990 ; 336 : 895-7.
35. Lewis RD *et al.* Factors affecting the retention of dust mite allergen on carpet. *Am Ind Hyg Assoc J* 1998 ; 59 : 606-13.
36. Wood RA *et al.* The effect of cat removal on allergen content in household-dust samples. *J Allergy Clin Immunol* 1989 ; 83 : 730-4.
37. Bollinger ME *et al.* Measurement of cat allergen levels in the home by use of an amplified ELISA. *J Allergy Clin Immunol* 1998 ; 101 : 124-5.
38. Almqvist C *et al.* Worsening of asthma in children allergic to cats, after indirect exposure to cat in school. *Am J Resp Crit Care Med* 2001 ; 163 : 694-8.
39. Purohit A, De Blay F. Cat allergen eviction with the cat *in situ*. Is it worthwhile? *ACI International* 1999 ; 11 : 207-10.
40. De Blay F *et al.* Effects of air cleaner on the concentrations of airborne major cat allergen (Fel d 1). *J Allergy Clin Immunol* 1993 ; 91 : 250 (Abstract).
41. De Blay F *et al.* Air cleaners and airborne allergens. *J Investig Allergol Clin Immunol* 1997 ; 7 : 335-7.
42. Hodson T *et al.* Washing the dog reduces dog allergen levels, but the dog needs to be washed twice a week. *J Allergy Clin Immunol* 1999 ; 103 : 581-5.
43. Green R *et al.* The effect of air filtration on airborne dog allergen. *Allergy* 1999 ; 54 : 484-8.
44. Eggleston PA *et al.* Removal of cockroach allergen from inner-city homes. *J Allergy Clin Immunol* 1999 ; 104 : 842-6.
45. Bush RK, Portnoy JM. The role and abatement of fungal allergens in allergic diseases. *J Allergy Clin Immunol* 2001 ; 107 : S430-40.
46. Squinazi F. Les polluants physico-chimiques de l'air intérieur : sources et impacts sanitaires. *Environnement, Risques et Santé* 2008 ; 7 : 425-30.

L'AÉRATION, LA VENTILATION ET LE TRAITEMENT DE L'AIR INTÉRIEUR

LES DÉFINITIONS

› L'air

L'air atmosphérique est un mélange de plusieurs gaz et d'humidité. Composition : azote, oxygène, dioxyde de carbone, ainsi que de poussières et des polluants.

Définition par l'ADEME : l'air de l'atmosphère comprend pour l'essentiel, de l'azote (78 %), de l'oxygène (21 %), des gaz rares (argon, néon, hélium, etc.) et dans les basses couches, de la vapeur d'eau et du dioxyde de carbone. De nombreux gaz polluants et particules s'ajoutent à ces composés.

› L'air extérieur et l'air intérieur

Dans le domaine de la pollution atmosphérique, et plus particulièrement la surveillance de la qualité de l'air, on distingue l'air ambiant de l'air à l'intérieur des locaux, qui lui-même est catégorisé en « air intérieur du lieu de travail », en « air intérieur des lieux publics » et en « air intérieur des lieux privés ».

› Les locaux à pollution non spécifique

Locaux dans lesquels la pollution est liée à la seule présence humaine, à l'exception des cabinets d'aisances et des locaux de toilettes.

› Les locaux à pollution spécifique

Locaux dans lesquels des substances dangereuses ou gênantes sont émises sous forme de gaz, vapeurs, aérosols solides ou liquides autres que celles qui sont liées à la seule présence humaine (le monoxyde de carbone, le dioxyde de carbone, l'ammoniac, l'ozone), locaux pouvant contenir des sources de microorganismes potentiellement pathogènes et locaux sanitaires : cuisines, salles d'eau, cabinets d'aisances.

› L'air neuf

L'air pris à l'air libre, hors des sources de pollution (norme AFNOR NF S 90-351 juin 2003).

L'emplacement des prises d'air neuf doit tenir compte de l'environnement immédiat du bâtiment, il convient de s'éloigner des rejets d'air vicié, cheminées, tour aéroréfrigérante, etc. Le règlement sanitaire départemental précise que : « *Les prises d'air neuf et les ouvrants doivent être placés en principe à au moins 8 mètres de toute source éventuelle de pollution, notamment véhicules, débouchés de conduits de fumée, sortie d'air extrait, ou avec des aménagements tels qu'une prise d'air pollué ne soit pas possible* ».

› L'air recyclé

Air pris et réintroduit dans un local ou groupe de locaux. Le règlement sanitaire départemental précise que : « *L'air extrait des locaux doit être rejeté à au moins 8 mètres de toute fenêtre ou de toute prise d'air neuf sauf aménagements tels qu'une reprise d'air pollué ne soit pas possible. L'air extrait des locaux à pollution spécifique doit en outre être rejeté sans recyclage* ». Le code du travail permet, sur les lieux de travail, le recyclage sous condition d'épuration adaptée.

› L'hygrométrie

Quantité de vapeur d'eau présente dans l'air ; caractérise l'humidité de l'air à savoir la quantité d'eau sous forme gazeuse dans l'air humide.

› Condensats

Les eaux de condensation ou condensats proviennent de l'humidité relative de l'air qui, au contact d'une paroi froide, sous certaines conditions de température, passe sous forme liquide.

› La ventilation naturelle

La ventilation naturelle repose sur la circulation de l'air dans le logement sous l'effet du vent et du tirage thermique : c'est une ventilation sans l'assistance de ventilateur. Le vent ou l'écart de température entre l'intérieur et l'extérieur entraînent le passage d'air grâce à la présence de grilles de ventilation installées généralement au niveau des fenêtres. L'air vicié est extrait par tirage naturel. Il dépend de la différence de température entre l'intérieur et l'extérieur du bâtiment. Plus elle est grande, plus le tirage est efficace. Il peut être amélioré en toiture en jouant sur la vitesse du vent qui crée une dépression dans le système. Le rôle de la différence de température explique les problèmes d'inconfort en hiver à cause de courants d'air froids sensibles. L'arrivée de l'air neuf au niveau des ouvrants crée de fortes déperditions énergétiques. Ce système est constitué de grilles d'aération hautes ou basses. Si les grilles sont bouchées, volontairement ou non, il ne fonctionne pas. Mais, bien conçu en fonction des conditions climatiques et des caractéristiques de la maison, il peut l'aérer de façon satisfaisante.

› La ventilation mécanique contrôlée (VMC)

La VMC permet d'assurer en permanence des débits de ventilation constants dans un logement indépendamment des conditions climatiques : c'est un système comportant un ou deux ventilateurs électriques qui mettent l'air en mouvement afin de permettre son évacuation ou son insufflation forcée dans une VMC. Les bouches de ventilation régulent automatiquement l'admission et l'extraction d'air afin d'assurer correctement son renouvellement tout en limitant les déperditions d'énergie.

› La ventilation mécanique simple flux

Le principe de la ventilation mécanique simple flux est le même que le tirage naturel ; celui-ci est amélioré par une pompe qui aspire l'air vicié et le rejette en toiture. Il existe de nombreuses variantes en ventilation : hygroréglable, parfois autoréglable asservie au CO₂, à la présence de COV. Le système de ventilation simple flux est généralement composé d'entrées d'air, de grilles ou passages de transfert, de bouches d'extraction, d'un réseau aéraulique et d'un extracteur, d'un rejet d'air.

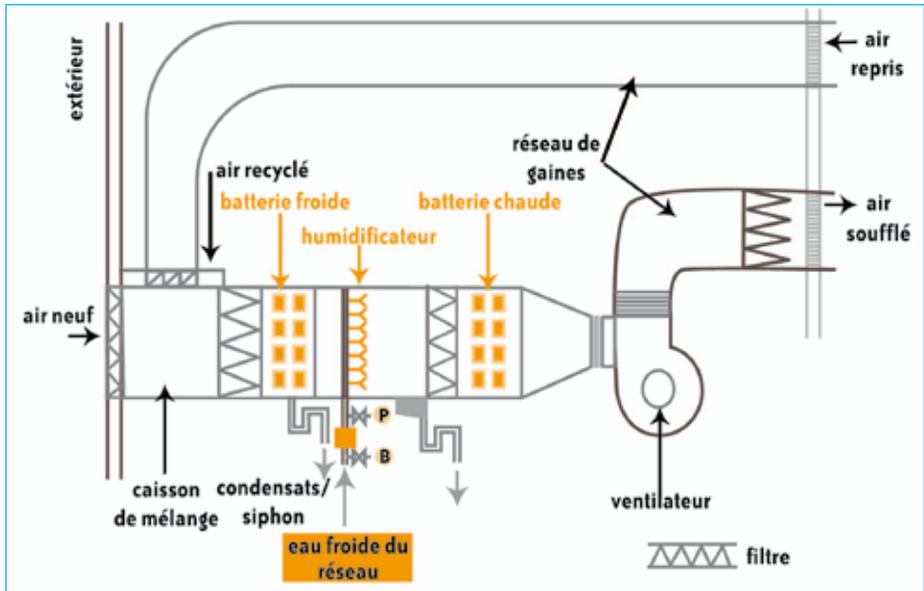
› La ventilation mécanique double flux

Le principe de la ventilation mécanique double flux réside dans la coexistence d'un réseau d'air neuf et d'un réseau d'extraction de l'air vicié. Chaque réseau est assujéti à une pompe. Ce système permet de mieux contrôler le renouvellement d'air en toute saison. Il permet d'obtenir des économies d'énergie s'il est muni d'un échangeur de chaleur : l'air vicié sert à réchauffer l'air neuf, ce qui diminue le besoin en énergie de chauffage. Ce système est onéreux car il faut envisager deux réseaux de circulation de l'air. D'autre part, si le système tombe en panne, le renouvellement d'air n'est pas

assuré. Il faut donc prendre garde à la maintenance du système. Le système de ventilation double flux est équipé d'un ventilateur de soufflage, d'un ventilateur d'extraction, d'un récupérateur de chaleur (optionnel), de filtres, d'un réseau de soufflage et d'un réseau d'extraction, de diffuseurs et terminaux de soufflage et d'extraction. Il n'est pas recommandé pour les allergiques car trop de mouvements d'air mettent en suspension les particules ; de plus, le filtre d'entrée doit être nettoyé très régulièrement sinon on s'expose à la dissémination de polluants dans l'air.

› Les centrales de traitement de l'air (CTA)

Le schéma suivant propose un exemple de centrale de traitement d'air :



D'après le Guide technique Bâtiment et santé *Légionelles et systèmes de refroidissement* (Agence méditerranéenne de l'environnement région Languedoc-Roussillon), les CTA sont des systèmes centralisés de traitement d'air qui permettent de diffuser à travers tout le bâtiment un air conditionné (traitement de la température et éventuellement de l'hygrométrie) à travers le réseau de gaines aérauliques. Une telle installation associe étroitement les fonctions de ventilation (apport d'air neuf) et de climatisation. Elle permet également d'assurer le chauffage en hiver. La conception modulaire des CTA permet de retrouver dans les installations des configurations très différentes. La production de froid peut être réalisée par un groupe à eau glacée desservant une batterie froide placée dans la CTA sur un circuit d'air mélangé, ou par un groupe à détente directe (CTA et *roof-top*). L'humidification est possible dans les CTA. Une CTA peut être constituée de ventilateurs de soufflage, d'extraction, de filtres, de batteries froides, chaudes, de registres d'équilibrage de débit, d'humidificateur, etc.

Les sources de pollution doivent être limitées autant que possible. Une bonne aération et une bonne ventilation sont indispensables pour une bonne qualité de l'air intérieur. Qu'ils soient émis par les occupants, par les activités domestiques, par les appareils de combustion, par les matériaux du bâtiment ou par l'ameublement, des polluants physiques, chimiques, biologiques

sont toujours présents dans les locaux. Ils doivent être impérativement évacués pour assurer le confort et la santé des occupants et la conservation du bâti.

L'AÉRATION

Renouveler l'air de l'habitat est une nécessité vitale pour :

- apporter un air neuf et pourvoir à nos besoins en oxygène ;
- évacuer les odeurs et les polluants qui s'y accumulent ;
- éliminer l'excès d'humidité ;
- fournir aux appareils à combustion l'oxygène dont ils ont besoin pour fonctionner sans danger pour notre santé et notre sécurité.

La technique d'aération ou de renouvellement d'air consiste à un apport d'air neuf de l'extérieur pour renouveler l'air du logement et extraire l'air vicié. L'aération consiste à ouvrir sa fenêtre (hiver comme été) et renouveler l'air d'une pièce en faisant entrer l'air frais pendant quelques minutes (10 min).

Lorsque les fenêtres sont ouvertes, il convient en particulier de :

- sécuriser les ouvrants vis-à-vis des enfants en bas âge ;
- éteindre ou baisser les appareils de chauffage à proximité pour ne pas dépenser inutilement l'énergie ;
- choisir le moment de la journée où la pollution de l'air extérieur est la plus faible : trafic routier par exemple.

Pendant la saison pollinique, si l'on est allergique aux pollens, aérer le matin avant 9 h, le soir après 20 h, et la nuit. Cependant, si l'appartement se situe près d'une zone à fort trafic, il convient d'en tenir compte également.

Dans le passé, l'aération se faisait naturellement dans les logements, peu étanches aux courants d'air. L'isolation des habitations a fait beaucoup de progrès. Pour assurer notre sécurité, éviter le confinement, préserver la qualité de l'air et éliminer humidité et polluants, le système de ventilation est indispensable. L'aération reste complémentaire à la ventilation.

LA VENTILATION

La ventilation est le système qui renouvelle en permanence l'air de la maison, mais avec un débit plus faible que l'aération, grâce à des entrées et des sorties d'air installées à cet effet.

Le rôle de la ventilation répond à plusieurs préoccupations :

- l'hygiène de l'air respiré dans les locaux, par les occupants ;
- la contribution aux économies d'énergie en préservant la santé et la sécurité (alimentation/ évacuation des appareils de combustion, respect des règles incendie, confort acoustique) des personnes vis-à-vis des concentrations en polluants ;
- la conservation du bâti notamment en minimisant les phénomènes de condensation et d'humidité et les risques de développement de moisissures.

La réglementation

Dans l'habitat, c'est à partir de 1937 que le règlement sanitaire départemental fixe les conditions minimales de ventilation avec la notion de ventilation permanente pièce par pièce. Avant cette date, la ventilation s'effectue par les conduits de cheminée, les défauts d'étanchéité et l'ouverture des ouvrants.

L'arrêté du 22 octobre 1969 fixe de nouvelles dispositions pour une ventilation générale et permanente. Depuis les arrêtés du 24 mars 1982 et du 28 octobre 1983, la ventilation est une obligation réglementaire dans l'habitat pour tous les logements postérieurs à 1982, collectifs ou individuels.

Le règlement sanitaire départemental précise que la ventilation des locaux peut être soit mécanique ou naturelle par conduits, soit naturelle pour les locaux donnant sur l'extérieur, par ouverture de portes, fenêtres ou autres ouvrants. Dans tous les cas, la ventilation doit être assurée avec de l'air **pris à l'extérieur hors des sources de pollution** ; cet air est désigné sous le terme « d'air neuf ».

La ventilation doit satisfaire aux exigences suivantes : l'aération doit être **générale et permanente**, la circulation d'air doit se faire depuis des entrées d'air situées dans les pièces principales jusqu'à des sorties, dans les pièces de service. Des débits réglementaires sont exigés.

Les différents systèmes de ventilation

Il existe plusieurs systèmes de ventilation :

- la ventilation naturelle ou statique ;
- la ventilation mécanique contrôlée ou VMC simple flux ou double flux.

Il est difficile de contrôler les débits d'air renouvelés par ventilation naturelle. La façon la plus sûre de les obtenir est d'installer une VMC.

Le but de la ventilation est d'assurer un renouvellement de l'air en continu 24 heures sur 24, il convient donc de ne pas l'arrêter et de veiller à son bon fonctionnement.

Dans des bâtiments modernes, les systèmes de ventilation peuvent être couplés à un système de chauffage et/ou de conditionnement d'air avec éventuellement des modules de traitement.

Le choix du système de ventilation doit tenir compte du niveau de pollution de l'environnement extérieur et être compatible avec les appareils à combustion raccordés et les vide-ordures.

Les composants des systèmes de ventilation

Un système de ventilation est constitué de composants permettant de faire entrer l'air neuf, d'assurer au besoin son transit entre les pièces puis de l'extraire du logement.

› Les entrées d'air

Les entrées d'air ou prises d'air placées en façades, appelées communément grilles de ventilation, permettent l'entrée d'air neuf dans les locaux. Elles doivent être bien dimensionnées en prenant en compte le besoin de renouvellement d'air. Généralement, elles sont placées uniquement dans les locaux à pollution non spécifique (balayage de l'air de pièces à pièces). Les entrées d'air doivent être éloignées de toute source de pollution (RSD : règle des 8 mètres). Elles doivent être installées de façon étanche dans la paroi ou la menuiserie. Les entrées d'air peuvent être dotées d'orifice autoréglable, hygroréglable, d'anti-retour et complétées par un dispositif acoustique. De plus, elles doivent comporter un auvent extérieur destiné à prévenir la pénétration d'eau de pluie et un déflecteur intérieur dirigeant le jet d'air vers le haut de manière à éviter les courants d'air gênants. Elles doivent être facilement démontables de façon à permettre leur nettoyage régulièrement.

Des normes ou des avis techniques existent pour les entrées d'air.

› Le transfert d'air

La circulation de l'air dans le logement est assurée par des passages de transit au droit des portes intérieures par des grilles, des passages d'air en périphérie ou en partie basse. Il convient de ne jamais modifier ces passages (calfeutrage).

› Les bouches d'extraction

L'air vicié doit être rejeté par les bouches d'extraction généralement installées dans les pièces à pollution spécifique. Quatre types de bouches peuvent être installés : la grille d'extraction fine, réglable manuellement, autoréglable, hygoréglable. Elles doivent être dimensionnées en fonction du débit d'air à évacuer. Elles doivent être facilement démontables sans outil de façon à permettre leur nettoyage régulier et au moins tous les 6 mois.

› Les conduits

Les conduits de ventilation ou réseau de ventilation jouent un rôle important dans la qualité de l'air intérieur. Les parois internes des conduits doivent être exemptes de pièges à poussière et ne doivent pas retenir l'humidité. Le taux d'humidité dans le réseau de ventilation doit être toujours inférieur à 80 % en tout point pour éviter la croissance des microorganismes. Le réseau doit être bien équilibré pour ne pas entraîner de sous- ou de sur-ventilation de certains locaux. Il doit être également étanche pour limiter les déperditions énergétiques et assurer un débit correct.

Sur chantier, les conduits doivent être protégés de toute forme de pollution extérieure. Le réseau de ventilation doit être accessible pour pouvoir être nettoyé. Il faudra penser à les nettoyer ou les changer quand c'est possible tous les 3 ou 4 ans. La réglementation n'impose pas ce remplacement. En revanche, dans des secteurs à forte pollution extérieure, cette fréquence peut être augmentée.

› L'extracteur

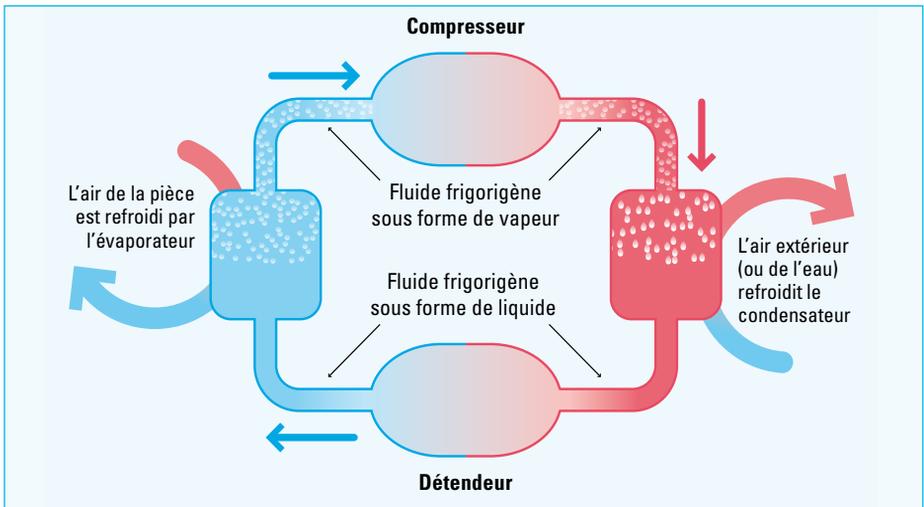
La ventilation naturelle ou mécanique est dotée d'extracteur statique ou stato-mécanique. L'extracteur doit être soigneusement dimensionné. La mise en œuvre de l'extracteur sur la souche doit être parfaitement étanche. L'extracteur doit être maintenu (pales, roulement, connexions électriques) au minimum tous les ans.

LE TRAITEMENT DE L'AIR

Un système de traitement d'air est généralement composé d'une **centrale de traitement d'air** qui traite l'air du point de vue thermique et de sa qualité et met l'air en mouvement, d'une **régulation** qui agit sur différents paramètres pour maintenir les valeurs mesurées proches du confort désiré et d'un **réseau aéraulique** qui assure les liaisons entre la centrale de traitement d'air et les locaux desservis. Le réseau aéraulique sert également, en liaison avec l'extérieur, à l'introduction et à l'extraction d'air. Le conditionnement d'air n'est qu'un système de réfrigération, sans fonction thermostatique. Une climatisation a pour vocation de maintenir la température (air chauffé ou refroidi) d'une pièce à un niveau donné.

La climatisation est la technique qui consiste à modifier, contrôler et réguler les conditions climatiques (température, humidité, niveau de poussières, etc.) d'un local pour des raisons de confort (bureaux, maisons individuelles) ou pour des raisons techniques (laboratoires médicaux, locaux de fabrication de composants électroniques, blocs opératoires, salles informatiques, etc.).

La production de froid consiste en réalité à extraire de l'énergie thermique d'un local. L'évaporateur permet d'extraire une quantité de chaleur d'un local à refroidir et le condenseur permet de la rejeter dans le milieu extérieur. L'évaporateur et le condenseur sont des échangeurs thermiques alimentés en fluide frigorigène, d'une part, et selon les machines, en air ou en eau, d'autre part. Il existe des condenseurs à air, à eau et évaporatifs. L'eau de refroidissement est souvent recyclée et doit donc être refroidie par l'air atmosphérique dans un aérocondenseur (échangeur sec) ou une tour aérofrigoriférante (TAR) (échangeur humide).



› Le renouvellement d'air

Le renouvellement de l'air est assuré par l'apport d'air neuf qui peut être mélangé à de l'air recyclé pour des questions d'économies d'énergie. Il existe plusieurs solutions technologiques concernant le renouvellement de l'air au sein d'un local :

- l'air neuf est mélangé aux conditions extérieures, avec une partie de l'air repris du local par le biais d'un caisson de mélange ;
- l'air neuf est préparé aux conditions spécifiques du local (température, hygrométrie) par une autre centrale, appelée généralement centrale de traitement d'air neuf.

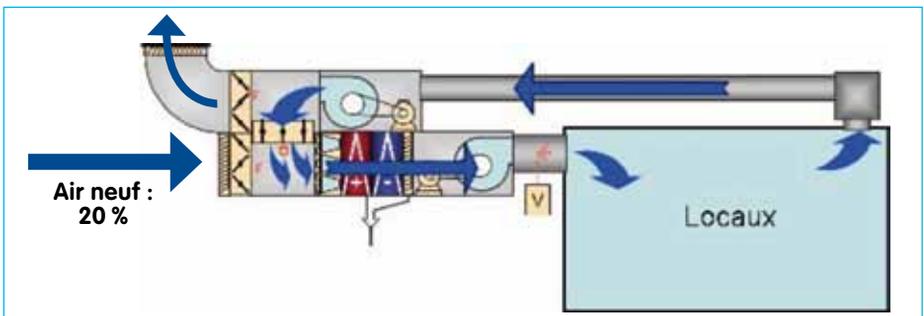
L'intérêt du caisson de mélange est de réaliser des économies importantes d'énergies.

› Les caissons de mélange

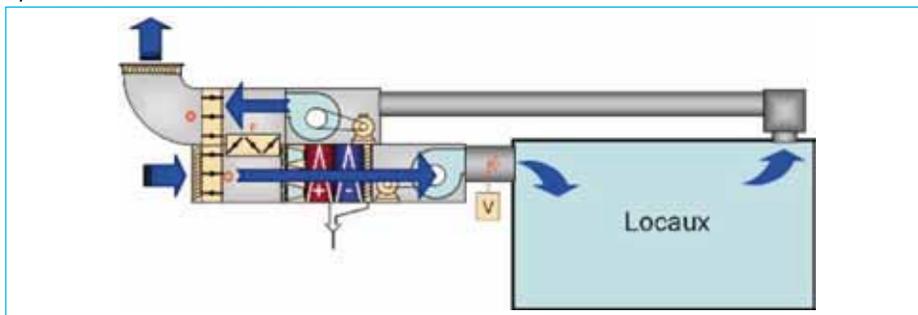
Le caisson de mélange est un caisson vide à 3 volets d'air commandés par le même moteur et 3 raccords. Le renouvellement d'air, l'apport d'air neuf et le rejet d'air vicié, se font proportionnellement à l'ouverture du volet. Ces caissons doivent impérativement être munis de filtres HEPA. Ils doivent être nettoyés et désinfectés tous les 3 ou 4 ans, voire avec une fréquence supérieure en fonction également de la qualité de l'air extérieur.

Exemples :

Recyclage 80 %, 20 % d'air neuf.



Système tout air neuf : 100 % d'air neuf.



› Les humidificateurs

Les humidificateurs servent à augmenter le niveau d'humidité de l'air ambiant. Ils sont notamment utilisés l'hiver lorsque l'air extérieur très froid est réchauffé par le traitement d'air, ce qui entraîne une forte diminution de l'humidité relative.

• Trois systèmes d'humidificateurs :

- **les systèmes à pulvérisation** d'eau dans lesquels de l'eau sous pression ou de l'air comprimé génèrent un aérosol de gouttelettes dans le flux d'air ;
- **les laveurs ou évaporateurs** dans lesquels le flux d'air se charge en humidité en passant à travers un support où l'eau ruisselle à température ambiante ;
- **les systèmes à vapeur** où l'eau est chauffée jusqu'à évaporation et la vapeur est introduite dans le flux d'air.

Les humidificateurs sont de moins en moins utilisés car ils présentent des risques sanitaires et nécessitent une maintenance rigoureuse. Quand un humidificateur de l'air est nécessaire, le passage de l'air ne doit pas entraîner de gouttelettes. Le recyclage, pouvant véhiculer des microorganismes (légionelles par exemple), doit être évité. Il est préférable d'utiliser des humidificateurs dotés de système d'injection de vapeur qui présentent le moins de risque d'entraînements d'aérosols contaminés car c'est la seule technique qui « stérilise » l'eau. Pour les humidificateurs autres que vapeur, un traitement en continu peut être installé sur l'eau recyclée choisi en fonction de la qualité de l'air à obtenir : lampe UV, filtre de porosité bactériologique (0,4 µm). L'utilisation de produits chimiques biocides est à proscrire, l'émission dans l'air de ces produits peut présenter un risque pour les occupants des locaux traités. Les cartouches de désalinisation ou de déminéralisation sont susceptibles d'émettre des COV suivant les matériaux qui les composent.

› La filtration

Une partie de l'air neuf peut être de **l'air filtré recyclé**, ce système est économiquement avantageux. La filtration permet de retenir les particules en suspension dans l'air et améliore la qualité physique et chimique de l'air. Elle protège, d'une part, les occupants des locaux climatisés contre les poussières ou aérosols contaminés et, d'autre part, les équipements contre l'encrassement ou l'introduction de particules nuisibles à leur fonctionnement. La filtration fait appel à des dispositifs de constitution, de caractéristiques et d'efficacités différentes.

Les filtres

La norme en vigueur actuellement est la norme EN 779 2002 concernant les filtres de moyenne et haute efficacité. Les filtres sont classés en deux catégories : filtres grossiers (classe G1 à G4) et

filtres fins (classe F5 à F9). Les filtres grossiers ont une faible efficacité sur les particules à faible diamètre et ne devraient pas être utilisés dans les systèmes de traitement d'air, sauf pour protéger un filtre fin situé en aval (préfiltre). L'efficacité des filtres fins sur les particules de faibles diamètres et les microorganismes est moyenne (F5) à haute (F9).

La norme EN 1822 concerne les filtres à très haute efficacité classés en filtres HEPA (H10 à H14) et ULPA (U15 à U17). Ces filtres dits absolus sont utilisés lorsqu'un air stérile est requis dans les locaux type salle blanche, bloc opératoire, industrie pharmaceutique.

La réglementation française fixe des efficacités minimales pour l'air neuf recyclé :

- pour l'air neuf (code du travail art R235.8), l'efficacité minimale réglementaire est G4 ;
 - pour l'air recyclé provenant d'un autre local (code du travail R232.5.4), l'efficacité minimale est de F5.
- Un projet de norme EN 13779 prévoit des efficacités de type F6-7 sur l'air neuf et F8-9 sur l'air recyclé.

› La climatisation (air refroidi) individuelle

Il existe des systèmes individuels de climatisation (climatisation d'une seule pièce) et des systèmes centralisés (climatisation de plusieurs pièces).

Module de climatiseur sur un toit.



Parmi les climatiseurs individuels, qui sont les appareils les plus utilisés par les particuliers, on distingue deux catégories :

- un climatiseur monobloc constitué d'une seule unité, les fonctions d'évaporation et de condensation sont regroupées dans une même unité traversant la paroi du mur ;
- un split système constitué de deux unités : une unité extérieure condenseur évacuant l'air chaud et une unité intérieure évaporateur soufflant l'air rafraîchi.

Ces appareils monobloc ou split, peuvent être mobiles ou fixes.

Plusieurs unités intérieures peuvent être reliées à une même unité extérieure de plus forte puissance, on parle alors de système « multisplit ».

› Les épurateurs d'air autonomes

Plusieurs industriels et distributeurs proposent dans leurs points de vente une large gamme d'épurateurs d'air domestiques à prix tout à fait accessibles. La publicité faite autour de ces appareils s'accompagne souvent de slogans aguichants et d'annonces de performances mirobolantes « certifiées », sans pour autant que l'acheteur ait une quelconque garantie sur l'efficacité des appareils, voire, et c'est peut-être la plus importante, leur innocuité.

L'ionisation négative de l'air ne vise pas à éliminer les polluants contenus dans l'air mais à produire à partir de l'oxygène des ions négatifs qui auraient un impact direct sur la santé.

Les épurateurs d'air consistent le plus souvent en un assemblage de différentes techniques de traitement d'air. Ils visent la réduction des particules inertes, des polluants gazeux et microorganismes. Les techniques utilisées sont souvent des filtres, à haute efficacité (capable de capter des virus et bactéries) et biostatiques (traités par des substances biocides destinées à tuer les micro-organismes).

Certaines techniques fonctionnent par captation (stockage des polluants) et d'autres par transformation ou élimination. La première pose le problème de la possible réémission des polluants vers l'ambiance et de la maintenance des appareils (changement ou régénération des filtres). Les techniques destructives basées sur l'oxydation des espèces gazeuses (photocatalyse, plasma froid, adsorption chimique) posent quant à elles l'épineuse question des produits de dégradation.

Photocatalyse

C'est une technique innovante pour le traitement de la pollution gazeuse des ambiances intérieures, et notamment l'élimination des odeurs. Son principe consiste à décomposer les molécules organiques par une succession de réactions chimiques conduisant à leur minéralisation (transformation en dioxyde de carbone et vapeur d'eau). La photocatalyse présente un grand nombre d'atouts pour le traitement de l'air intérieur. Peu gourmande en énergie, elle opère à température ambiante et permet sous certaines conditions d'éliminer d'autres polluants que les composés volatils. Cette technique a un effet bactériostatique voire bactéricide. Cette technique pose deux problèmes : désactivation possible du photocatalyseur par l'encrassement ou la génération de résidus de réaction et génération possible de produits intermédiaires ou de dégradation indésirables. Ces produits intermédiaires se retrouvent dans l'air traité en quantité plus ou moins importante, substituant donc la pollution ambiante par une autre pollution, potentiellement plus dangereuse pour la santé humaine.

Ionisation

L'ionisation est le processus ou le résultat de processus par lequel une molécule ou une particule électriquement neutre acquiert une charge électrique positive ou négative. Elle résulte du passage de l'air à travers un champ électrique de très fort voltage (plusieurs milliers de volts) qui dans le cadre des applications visées, est obtenu par décharge couronne ou par décharge à barrière diélectrique. L'ionisation de l'air peut dans les faits avoir de multiples conséquences sur la composition chimique et particulaire de l'air et générer des produits de dégradation toxiques.

› Les plantes

Le recours à certaines plantes pour améliorer la qualité de l'air intérieur fait actuellement l'objet d'une forte médiatisation et suscite une attente importante de la part du grand public. Plusieurs programmes de recherche français et étrangers ont montré que les plantes possédaient la faculté d'éliminer certains polluants présents dans l'air. Qu'en est-il de l'efficacité et de l'innocuité de ces dispositifs dans l'environnement intérieur ? L'Observatoire de la qualité de l'air intérieur (OQAI), la Faculté de pharmacie de Lille et l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME) ont récemment fait le point sur les connaissances actuelles notamment acquises dans le cadre du programme français PHYTAIR lancé en 2004 à l'initiative de l'ADEME.

Efficacité des plantes en termes d'épuration

En l'état actuel des connaissances, les travaux de recherche menés permettent d'établir un premier consensus sur les propriétés épuratrices des plantes *via* notamment leurs substrats et d'identifier les questions qui restent encore en suspens.

Toutes les études montrent qu'en laboratoire, les plantes possèdent des capacités d'abattement avérées vis-à-vis de polluants gazeux tels que le monoxyde de carbone, les COV et le formaldéhyde, par exemple. Ces études en enceintes expérimentales sont réalisées à des concentrations supérieures à celles rencontrées dans l'air intérieur, sur des substances seules et pendant des durées limitées. Il apparaît que l'ensemble substrat/racine/plante possède une action plus efficace que la plante

(feuille) seule, grâce aux microorganismes du sol dont la présence est largement entretenue par les végétaux eux-mêmes.

Toutefois, les rendements d'épuration observés lors de l'utilisation de plantes en pot dans des espaces réels restent faibles, ne permettant pas une épuration efficace des volumes d'air des bâtiments. Les dispositifs « dynamiques », basés sur le passage forcé de l'air pollué à travers le substrat des plantes (systèmes de biofiltration) semblent les plus prometteurs. Et surtout, il faut supprimer les plantes quand on est allergique aux moisissures (cf. page 46).

Encore beaucoup de questions en suspens

À l'heure actuelle, il reste difficile de dimensionner le nombre de plantes ou de systèmes dynamiques de biofiltration au mètre carré nécessaires à l'élimination efficace des polluants dans une pièce. Le programme français PHYTAIR à l'échéance de la phase 3, ainsi que les recherches en cours aux États-Unis, permettront d'apporter des réponses sur ces points. Une évaluation normalisée de l'efficacité et de l'innocuité des systèmes de phytoremédiation est à mettre en place comme pour tous les types de systèmes proposés pour assainir l'air intérieur.

Une norme AFNOR est actuellement en préparation en ce sens pour les épurateurs d'air autonomes pour applications tertiaires et résidentielles (XP B44-200).

La maintenance des épurateurs d'air est capitale afin de conserver leur niveau de performance initiale. Elle demeure néanmoins un réel problème sur le plan pratique. Ces questionnements se posent également pour les systèmes de biofiltration. L'éventuelle contribution des plantes elles-mêmes aux émissions de polluants à l'intérieur des locaux est encore peu étudiée. La biosurveillance végétale, c'est-à-dire l'utilisation des effets des polluants observés sur les plantes pour évaluer la toxicité de l'air, est un outil prometteur à développer dans le domaine de l'air intérieur. Elle pourrait constituer un indicateur de la qualité de l'air intérieur, en complément de l'utilisation des éventuelles propriétés épuratrices des plantes.

Bibliographie

- » Blondeau P *et al.* Les épurateurs d'air : la solution ou le pire ? *Pollution Atmosphérique* 2007 ; 49 : 160-4.
- » Point sur les recherches relatives à la capacité des plantes à améliorer la qualité de l'air intérieur dans le cadre du programme national PHYTAIR. Journée technique de l'OQAI organisée conjointement avec l'ADEME et la Faculté de pharmacie de Lille, 9 juillet 2010.

L'ENTRETIEN DES DISPOSITIFS DE VENTILATION ET DE TRAITEMENT D'AIR

Le règlement sanitaire départemental type précise :

- « le circuit d'amenée d'air doit être nettoyé avant la mise en service surtout s'il peut y avoir présence de gravats et d'humidité ;
- il est ensuite maintenu en bon état de propreté ;
- les conduits de ventilation doivent être en bon état de fonctionnement et ramonés chaque fois que nécessaire ».

L'arrêté du 24 mars 1982 modifié précise que : « Les dispositifs d'entrée et de sortie d'air doivent être facilement nettoyés. Les dispositifs mécaniques doivent pouvoir être facilement vérifiés et entretenus ».

L'arrêté du 31 janvier 1986 (règlement de sécurité contre l'incendie dans les bâtiments d'habitation) fixe les obligations des propriétaires à une inspection des installations de ventilation à une fois par an.

La périodicité de l'entretien et du nettoyage des divers éléments du système de ventilation doit s'effectuer en fonction de l'encrassement lié à la qualité de l'air et l'usage des locaux notamment, cette périodicité se déterminera après un an de suivi mensuel ou suite à un diagnostic réalisé par un professionnel.

L'encrassement des équipements de ventilation et de l'installation de traitement d'air entraîne une diminution des performances techniques. La perte de charge dans les réseaux aérauliques augmente et le ventilateur ne parvient pas à assurer le débit nominal calculé réseau non encrassé, ce qui entraîne une diminution des débits de ventilation et de fait génère une source de pollution. Cette diminution des débits fournis et extraits implique une diminution du taux de renouvellement d'air préjudiciable à la qualité hygiénique de l'air intérieur : confinement, accumulation des polluants intérieurs, humidité des locaux.

À titre indicatif, voici des recommandations, non exhaustives, d'entretien et de maintenance des principaux équipements.

› Les systèmes d'aération et de ventilation

- Nettoyer régulièrement les ouvertures d'aération : grilles (hautes pour entrée d'air frais et basses pour la sortie de l'air vicié), bouches de ventilation situées dans les murs ou les cadres de fenêtres et veiller à ce qu'elles soient bien dégagées (ne pas les boucher et ne pas les dissimuler derrière un meuble).
- Veiller à l'étanchéité de votre logement pour que la circulation d'air se réalise bien telle qu'elle a été prévue et pour limiter les déperditions de chaleur.
- Veiller à laisser un espace d'environ 20 mm sous les portes pour permettre à l'air de circuler.
- Laisser fonctionner la VMC 24 heures sur 24.
- Nettoyer les composants de la VMC régulièrement et surveiller leur état : filtre et réseau aéraulique.
- Nettoyer une fois par trimestre les bouches d'extraction des pièces de service ; les démonter, les laver à l'eau savonneuse, les rincer et les refixer.
- Faire vérifier la VMC par un spécialiste tous les 3 ans.

› Les systèmes de traitement d'air

Les systèmes de climatisation individuelle

- S'assurer de l'évacuation des condensats.
- Éviter toute stagnation dans le bac de récupération qui peut présenter un risque de proliférations de microorganismes.
- Remplacer le filtre à air en fonction de la qualité de l'air extérieur et au moins une fois par an.
- S'il existe une allergie aux moisissures, passer le filtre à l'eau javellisée chaque mois pendant l'utilisation.

Les systèmes de climatisation centralisée

Les tours aéroréfrigérantes

Les tours aéroréfrigérantes sont soumises à la réglementation sur les Installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) qui impose depuis la parution des arrêtés du 13 décembre 2004 des mesures spécifiques d'entretien, de maintenance et de surveillance qui ne sont pas abordées dans ce document.

Les humidificateurs

- Utiliser de l'eau potable et la remplacer régulièrement pour ne pas favoriser le développement de microorganismes (attention : préférer les systèmes d'injection vapeur).
- Veiller à maintenir l'humidificateur vide et sec quand il n'est pas utilisé.
- Nettoyer, détartrer et désinfecter régulièrement quelle que soit son utilisation (bac à condensats, média de ruissellement, etc.).
- Vérifier lors du nettoyage le bon fonctionnement du dispositif d'évacuation à rupture de charge.

Les bacs à condensats

- S'assurer que le bac a une pente suffisante vers l'évacuation afin d'éviter la stagnation des condensats.
- Vérifier que l'évacuation comporte un dispositif à rupture de charge.
- Programmer un nettoyage et une désinfection *a minima* annuellement à la remise en service de l'installation pour la production d'air froid.
- Remplir régulièrement le siphon en période d'arrêt ou de fonctionnement en production chauffage.

Le réseau aéraulique, la ventilation et les filtres

- Programmer le nettoyage et la désinfection voire le remplacement des réseaux aérauliques en fonction du taux d'encrassement ou d'un diagnostic réalisé par un professionnel.
- Vérifier l'étanchéité (fuite) des conduites et du calorifuge.
- Respecter les instructions d'entretien du ventilateur ; *a minima* un contrôle annuel de l'état du ventilateur (pales, courroies, moteur, etc.).
- Réaliser tous les mois le renouvellement ou le nettoyage des préfiltres et le renouvellement des filtres tous les 6 mois accompagné d'un nettoyage ou d'une désinfection des caissons.

Bibliographie

- » Bâtiment et Santé - Guide technique Légionelles et systèmes de refroidissement. Agence méditerranéenne de l'environnement région Languedoc-Roussillon, avril 2004.
- » Guide du maître d'ouvrage Hygiénisation des installations de ventilation COSTIC. ADEME, ministère du Logement, avril 2009.
- » Guide Climatisation et santé. UNICLIMA, novembre 1991.
- » Guide technique Chauffage, climatisation, ventilation et santé. Agence méditerranéenne de l'environnement (AME), Comité régional de l'éducation pour la santé (CRES), septembre 2001.
- » Les guides du Centre technique des industries aérauliques et thermiques. CETIAT /Qualité de l'air dans les installations aérauliques. Guide pratique, janvier 2004.
- » Guide de la pollution de l'air intérieur. Ministère de la Santé et des Sports/INPES, 2009.
- » Faire respirer votre maison avec la ventilation. ADEME, avril 2008.
- » Bâtiment et santé - Ventilation des bâtiments ; réhabilitation dans l'habitat collectif. CSTB, 2003.

ORIENTATION DIAGNOSTIQUE ET EXPLORATION DE L'HABITAT

Interroger son patient sur son habitat

Un questionnaire court peut être utilisé par un médecin lors de la consultation médicale. Ce questionnaire est proposé au patient atteint d'une pathologie respiratoire chronique, et vise à repérer et à apprécier les facteurs de l'habitat qui peuvent expliquer ou qui sont susceptibles d'aggraver son état respiratoire. Ce questionnaire est disponible à la fin de l'ouvrage (détachable et photocopiable).

Apprécier les facteurs aggravants de l'habitat de son patient Les 5 questions essentielles à lui poser

1. L'humidité du logement

Pensez-vous que votre maison est humide, parce que :

- vous constatez du salpêtre (taches blanches) sur les murs ou le sol
- vous voyez des taches de moisissures sur les murs ou le décolllement des papiers peints
- vous observez des condensations d'eau sur les vitrages
- vous ressentez des odeurs de moisi lorsque vous rentrez chez vous
- vous observez des infiltrations d'eau sur vos murs
- vous avez eu un dégât des eaux

2. La présence d'une source de pollution inhabituelle

Pensez-vous qu'il y a une source de pollution inhabituelle dans votre maison, parce que :

- vous venez d'emménager
- vous venez d'acheter un mobilier neuf
- vous venez de poser un nouveau revêtement
- vous venez de faire des travaux de peinture ou autres types de travaux (moins de 6 mois)
- votre environnement extérieur est polluant (route fréquentée, usine, garage communicant, etc.)

3. Les activités domestiques

Pensez-vous que vos activités dans la maison sont polluantes, parce que :

- vous fumez ou un membre de votre famille fume
- vous utilisez de nombreux produits ménagers (détergents, désinfectants, insecticides, fongicides ou herbicides, sprays, etc.)

- vous utilisez souvent des parfums d'intérieur (aérosols, bougies parfumées, bâtonnets d'encens, etc.)
- vous utilisez une cuisinière à gaz sans aération
- vous êtes chauffé au fioul, au charbon, au bois ou au pétrole
- vous utilisez une cheminée à foyer ouvert

4. La poussière domestique

Pensez-vous qu'il y a beaucoup de poussière dans votre maison, parce que :

- vous avez une moquette dans votre chambre ou des tissus muraux
- vous avez des doubles rideaux
- vous avez des meubles tapissés (fauteuil, armoire, etc.)
- vous avez un sommier tapissier
- vous avez un animal de compagnie
- vous avez des plantes

5. L'aération/la ventilation

Pensez-vous que votre maison n'est pas bien aérée, parce que :

- vous n'ouvrez pas vos fenêtres dans chaque pièce 10 minutes matin et soir
- vos entrées d'air dans les pièces principales et vos sorties d'air vicié dans les salles d'eau et cuisine sont encrassées ou bouchées
- vous observez qu'il n'y a pas de tirage d'air aux bouches d'extraction d'air
- vous avez un double vitrage et pas de réglette d'aération, et peut-être pas de VMC dans les pièces humides

Selon les éléments diagnostiques et les informations recueillies au cours de la consultation médicale sur les facteurs environnementaux de l'habitat, le médecin pourra donner directement à son patient des conseils d'éviction des allergènes et de lutte contre les polluants intérieurs.

Le médecin pourra également engager d'autres explorations, en accord avec son patient, comme une consultation spécialisée (allergologie, ORL, ophtalmologie, dermatologie, etc.), la visite à domicile d'un conseiller médical en environnement intérieur, la réalisation d'un audit technique, d'analyses environnementales par un laboratoire spécialisé ou une enquête de salubrité de l'habitat menée par l'Agence régionale de santé (ARS) ou le Service communal d'hygiène et de santé (SCHS).

Autres outils d'exploration

LE CONSEILLER MÉDICAL EN ENVIRONNEMENT INTÉRIEUR (CMEI)

Le CMEI se rend au domicile du patient pour l'accompagner dans sa démarche d'éviction des allergènes et de réduction des polluants intérieurs. Ces conseils personnalisés permettent au patient de modifier son environnement et/ou ses habitudes de vie et ont démontré leur bénéfice clinique (www.cmei-france.fr).

Ce professionnel possède aujourd'hui un diplôme inter-universitaire de santé respiratoire et habitat (universités de Brest, Montpellier, Paris, Toulouse et Strasbourg) ou une licence professionnelle des métiers de la santé et de l'environnement (université de Strasbourg). Il existe en 2010 en France une centaine de diplômés.

Le CMEI est formé pour établir un audit de l'environnement intérieur. Il enquête au domicile des personnes qui en font la demande (par le biais d'un médecin, et sur prescription de celui-ci), réalise des prélèvements (poussière, moisissures, polluants chimiques, etc.) et des mesures d'allergènes, et établit un diagnostic permettant ensuite de mettre en œuvre des moyens d'action pour l'éviction des polluants domestiques, et d'adapter son habitat. Le CMEI doit ainsi connaître les bases de réglementations concernant la qualité de l'air intérieur, ainsi que les différents partenaires techniques et institutionnels qui interviennent dans le domaine de l'habitat et de la santé, et leurs fonctions respectives. L'intervention du CMEI au domicile du patient consiste à :

- recueillir de façon rigoureuse des informations sur l'environnement de l'habitat ;
- proposer des méthodes d'éviction des polluants chimiques et biologiques de l'environnement intérieur pour limiter l'exposition du patient ;
- si nécessaire, réaliser ou préconiser des prélèvements d'air et de poussière, selon les recommandations normalisées, pour mesurer les principaux polluants chimiques et biologiques de l'environnement intérieur.

Cette intervention est gratuite lorsque le CMEI est rattaché à une collectivité publique ou payante, lorsqu'il exerce à titre privé (150 à plus de 300 €).

Comment se passe la visite d'un CMEI ?

Le CMEI ne se déplace que sur prescription médicale, au mieux après un bilan allergologique. C'est donc le médecin qui propose ce service à son patient, lequel prendra alors rendez-vous avec le CMEI. La visite, qui dure de 1 à 2 heures, débute par un questionnaire complet qui permet au CMEI d'avoir une idée précise du mode de vie et de l'environnement du malade. À l'aide du questionnaire, le CMEI visite chaque pièce de la maison et prend en compte toutes les données concernant le chauffage, la ventilation, les revêtements de sol, murs et plafond, le mobilier et les menuiseries. Il s'intéressera également aux allergies du patient ainsi qu'à ses symptômes.

Le CMEI propose ensuite des conseils en fonction des observations et/ou mesures effectuées et de la pathologie afin d'améliorer la qualité de vie. Il propose également des mesures d'éviction personnalisées en fonction des habitudes culturelles. Ces conseils permettent aux patients de modifier leur environnement en choisissant des revêtements ou matériaux adaptés (exemples : housses anti-acariens pour les matelas, sommier à lattes, revêtement de sol lavable). Ces conseils nécessitent parfois des changements dans les habitudes de vie (exemples : fréquence d'aération, techniques d'entretien). Certains polluants se mesurent simplement à domicile par des tests semi-quantitatifs (exemple : les allergènes d'acariens par le biais de l'Acarex-test®). Pour d'autres polluants, comme les polluants chimiques ou les moisissures, les techniques sont plus complexes et/ou plus coûteuses et nécessitent la sous-traitance de laboratoires d'analyses spécialisés. Le CMEI mesure aussi le taux d'hygrométrie, l'humidité des surfaces ainsi que la température. Il peut aussi, grâce à des biochecks ou tubes passifs, analyser la présence de formaldéhyde, et pour certains ayant du matériel plus élaboré, faire une vraie recherche de polluants.

Le patient apprécie particulièrement le fait de pouvoir poser des questions, de constater le cas échéant la présence d'allergènes ou de sources de pollution *in situ*, et de comprendre mieux le fonctionnement des allergènes et polluants intérieurs mis en cause dans le déclenchement de certaines crises ; ce qui lui permet de mettre en place une éviction globale et efficace. Pour le médecin, l'utilisation des services d'un CMEI est une aide précieuse dans la précision de son diagnostic autant que dans le travail sur la motivation du patient à participer activement à sa prise en charge thérapeutique.

Un compte rendu est systématiquement envoyé au patient et au médecin reprenant les observations et les mesures effectuées pendant la visite, ainsi que les conseils d'éviction proposés au patient. Un suivi est effectué 3 à 6 mois plus tard.

Quel bénéfice apporte le conseil à domicile ?

Toutes les études montrent que ce professionnel, qui intervient au domicile des patients allergiques et/ou asthmatiques, apporte un effet bénéfique à l'évolution clinique du patient. Ainsi, les conseils permettent au patient de modifier son environnement et/ou ses habitudes de vie pour diminuer l'exposition aux allergènes et polluants intérieurs. Il peut s'avérer aussi nécessaire de diriger le patient vers d'autres acteurs sanitaires et/ou de l'habitat.

Dans certains cas, il peut s'avérer utile de compléter l'enquête du CMEI par une enquête technique de l'habitat pour relever d'éventuelles anomalies de conception ou de fonctionnement des installations (matériaux constitutifs du bâti, caractéristiques des ouvrants, performance des moyens de ventilation, installations de chauffage, etc.). Ce type d'enquête, qui fait appel à des compétences particulières, peut être réalisé par un bureau d'étude selon la norme XP X 43-403 de 1999 « Audit de la qualité de l'air dans les locaux non industriels : bâtiments à usage d'habitation et locaux similaires ». Cette intervention est à la charge de l'occupant (ou du propriétaire).

Dans la majorité des cas, les constats de la visite du CMEI et/ou de l'enquête technique permettent d'identifier des mesures simples à mettre en œuvre ou des anomalies notoires auxquelles il faut remédier, éventuellement par des travaux, sans réaliser d'échantillonnage pour recherche et analyse d'agents polluants.

Bibliographie

- » De Blay F *et al.* Medical indoor environment counselor (MIEC): role in compliance with advice on allergen avoidance and on mite allergen exposure. *Allergy* 2003 ; 58 : 27-33.
- » Morgan WJ *et al.* Results of a home-based environmental intervention among urban children with asthma. *N Engl J Med* 2004 ; 351 : 1 068-80.
- » Speyer-Olette C *et al.* Conseillère médicale en environnement intérieur. Bilan et suivi de cinq années d'exercice. *Rev fr Allergol* 2009 ; 49 : 577-81.

LES ANALYSES ENVIRONNEMENTALES

Le recours à un organisme spécialisé dans les analyses environnementales nécessite de bien préciser au préalable les objectifs de ces analyses pour sélectionner une stratégie d'échantillonnage.

Les objectifs des analyses de l'air peuvent être :

– **une estimation de l'exposition** : c'est-à-dire la concentration d'un ou plusieurs polluants auxquels le patient serait exposé, sélectionnés par le médecin lors de l'interrogatoire ou lors d'une enquête *in situ*. Ces mesurages doivent être conduits selon les méthodes de référence établies pour chaque polluant, en conditions standardisées (en particulier en termes de durée d'échantillonnage), afin de pouvoir les comparer aux valeurs de gestion réglementaires ou recommandées. Ces analyses sont en général réservées à des laboratoires spécialisés et reconnus compétents ;

– **un repérage de sources de pollution ou une évaluation de l'efficacité de mesures prises** (mesurages avant-après) : il s'agit de mesurages ponctuels, pour lesquels les méthodes mises en œuvre peuvent être plus rapides (parfois avec résultats instantanés) et visent plutôt à déceler des pics de pollution localisés (dans l'espace et dans le temps).

Outre les recherches d'agents polluants, il peut être utile de mesurer les paramètres physiques, tels que la température ou l'hygrométrie, qui sont généralement considérés comme des facteurs de confort pour l'occupant, mais dont il faut souligner le rôle dans les phénomènes de relargage des composés chimiques et dans la contamination biologique de l'air et des supports.

De nombreuses méthodes normalisées d'échantillonnage et d'analyse sont disponibles ou en pré-

paration (par exemple la série des normes ISO 16000), tant pour les polluants chimiques que biologiques. Le choix de la méthode revient souvent au laboratoire qui doit donc être compétent et connaître les objectifs de l'analyse, les circonstances particulières qui motivent l'analyse et certaines caractéristiques de l'habitat à investiguer. Le rapport d'essais établi par le laboratoire doit contenir de ce fait les informations suivantes :

- d'ordre général : nom de l'intervenant, adresse de l'habitat, date des interventions, objet de la demande ;
- mesurages : localisation et horaire, référence et description de la procédure d'échantillonnage et d'analyse, observations ayant pu influencer les prélèvements ou les analyses ultérieures (nombre de personnes présentes, activités, etc.) notées sur la *feuille de suivi d'essais sur site*, incertitude des mesurages le cas échéant, résultats des mesurages ;
- conclusions : résultats des mesurages en relation avec les observations faites au cours de l'enquête et des campagnes d'échantillonnage, personne responsable de la validité technique du rapport.

Le laboratoire peut aussi fournir une interprétation sur la conformité du résultat à une spécification dont le référentiel doit être précisé ou émettre un avis d'expert et préconiser des mesures correctives. Pour les agents biologiques contaminants de l'air intérieur, aucune valeur de référence n'a été établie compte tenu des trop grandes incertitudes qui existent sur les relations quantitatives entre ces agents et les manifestations pathologiques. L'interprétation des mesures relèvera donc plus de la comparaison avec des mesures réalisées dans des locaux « témoins » ou dans l'air extérieur et à des données issues de la bibliographie scientifique.

A contrario, pour les agents physico-chimiques, la difficulté d'interprétation des résultats réside principalement dans le choix des valeurs de référence à prendre en compte. En effet, la littérature propose de multiples niveaux de référence qui n'ont pas tous la même signification :

- pour certains polluants (radon, monoxyde de carbone et amiante), il existe des **valeurs de gestion réglementaires** qui imposent des actions correctives en cas de dépassement de ces valeurs ;
- pour d'autres polluants (formaldéhyde, benzène, tétrachloroéthylène, etc.), il existe des **valeurs repères d'aide à la gestion**, définies par le Haut Conseil de la santé publique (HCSP) qui recommande des actions immédiates ou différées, selon le niveau de dépassement de ces valeurs ;
- en outre, pour quelques polluants, il existe des référentiels nationaux (AFSSET Propositions de valeurs guides de qualité d'air intérieur) ou internationaux (WHO Guidelines for indoor air quality: selected pollutants, 2010) qui proposent des **valeurs guides en fonction de durées d'exposition**, c'est-à-dire des couples niveaux de concentration/durées d'exposition, en dessous desquels les risques pour la santé de la population générale sont négligeables ;
- enfin, pour les polluants pour lesquels aucune valeur n'a été définie, les concentrations mesurées peuvent être comparées à celles de locaux du même type ou à celles de l'air extérieur à proximité du local concerné, à condition que les mesures aient été réalisées dans les mêmes conditions d'échantillonnage. En revanche, il ne faut jamais se référer aux valeurs limites d'exposition professionnelle, ni aux limites d'exposition accidentelle car ces valeurs ont été déterminées pour des expositions à court ou moyen terme (de 15 minutes à 8 heures pour les premières et de 1 minute à 1 heure pour les secondes) et correspondent à des niveaux pour lesquels des effets physiologiques réversibles peuvent être observés ou pour lesquels aucun effet léthal n'est observé.

En règle générale, les valeurs de gestion et les valeurs guides doivent être comparées à des estimations de l'exposition mesurées par des méthodes d'analyse standardisées. Les tableaux suivants donnent une liste non exhaustive des polluants principalement recherchés, en les classant en fonction du type de valeur de référence disponible.

Valeurs de gestion réglementaire.

Substance	Valeurs de gestion réglementaire	Actions de gestion	Référentiels
Radon*	< 400 Bq/m ³	Pas d'action corrective nécessaire	Arrêté du 22 juillet 2004 relatif aux modalités de gestion du risque lié au radon dans les lieux ouverts au public
	Entre 400 et 1 000 Bq/m ³	Actions correctives simples souhaitables	
	> 1 000 Bq/m ³	Actions correctives impératives	
Monoxyde de carbone	Entre 20 ppm (10 ppm à compter du 1 ^{er} juillet 2014) et 50 ppm	Situation anormale, investigations complémentaires nécessaires	Arrêté du 15 septembre 2009 relatif à l'entretien annuel des chaudières dont la puissance nominale est comprise entre 4 et 400 kW
	≥ 50 ppm	Danger grave et immédiat, arrêt de la chaudière	
Amiante	5 fibres/litre	Seuil nécessitant des travaux sur certains matériaux	Article R1334-18 du code de la santé publique

**En 2010, l'OMS a proposé d'abaisser ces seuils à 100 Bq/m³ et 300 Bq/m³, valeurs non encore reprises dans les dispositions réglementaires en France.*

Valeurs repères de gestion du Haut Conseil de santé publique.

Substance	Valeurs repères de gestion	Actions de gestion	Référentiels
Benzène	2 µg/m ³ (si mesure air extérieur < 2 µg/m ³)	Aucune mesure à prendre en dessous de cette valeur cible Valeur recommandée à partir de 2012 pour les bâtiments neufs	Avis du HCSP du 16 juin 2010
	5 µg/m ³	Valeur repère actuelle, à faire évoluer d'ici 2012 vers la valeur cible	
	10 µg/m ³	Valeur d'action rapide : mesure à prendre dans un délai de quelques semaines à un mois	
Formaldéhyde	10 µg/m ³ à compter du 1 ^{er} juillet 2014) et 50 ppm	Aucune mesure à prendre en dessous de cette valeur cible Valeur recommandée à partir de 2012 pour les bâtiments neufs	Avis du HCSP d'octobre 2009
	30 µg/m ³	Valeur repère actuelle, à faire évoluer d'ici 2019 vers la valeur cible	
	50 µg/m ³	Danger grave et immédiat, arrêt de la chaudière	
	100 µg/m ³	Valeur d'information et de recommandation, valeur maximale d'exposition longue durée proposée en 2009 : mesures à prendre dans l'année	
Tétrachloro-éthylène	250 µg/m ³	Valeur d'action immédiate : mesures à prendre dans un délai d'un mois	Avis du HCSP du 16 juin 2010
	1 250 µg/m ³	Valeur cible à atteindre d'ici 2015 dans tous les bâtiments	

Valeurs guides françaises (AFSSET) et internationales (OMS).

Substance	Valeurs guides	Référentiels
Trichloroéthylène	Pour une exposition de moins de 1 an : 800 µg/m ³	Avis de l'AFSSET du 28 septembre 2009
	20 µg/m ³ pour une exposition vie entière et un excès de risque de 10 ⁻⁵ 2 µg/m ³ pour une exposition vie entière et un excès de risque de 10 ⁻⁶	
Naphtalène	10 µg/m ³ pour une exposition chronique	Avis de l'AFSSET du 26 août 2009
Dioxyde d'azote	200 µg/m ³ pour une exposition de 1 heure 40 µg/m ³ pour une exposition d'une année	WHO Guidelines for indoor air quality: selected pollutants, 2010
Benzo(a)pyrène	0,12 ng/m ³ pour une exposition vie entière et un excès de risque de 10 ⁻⁵ 0,012 ng/m ³ pour une exposition vie entière et un excès de risque de 10 ⁻⁶	WHO Guidelines for indoor air quality: selected pollutants, 2010

La complexité de la métrologie environnementale doit faire considérer avec précaution la décision d'une campagne de mesurages, d'autant qu'il existe encore des interrogations sur l'impact sanitaire de l'exposition à certains polluants, aux faibles doses ou des expositions combinées.

Le médecin demandeur d'analyses environnementales doit faire appel à un organisme spécialisé qui doit :

- avoir une bonne connaissance des risques sanitaires, des liens pertinents entre les valeurs des mesures et des risques sanitaires ;
- proposer un plan d'échantillonnage, des conditions de réalisation et de transport des prélèvements, des méthodes normalisées de mesure pour les paramètres pour lesquels elles existent, des méthodes alternatives, des méthodes validées pour les paramètres pour lesquels aucune norme n'existe, et les limites de ces méthodes. L'organisme peut aussi être accrédité pour certains protocoles de prélèvement et essais.

Ces compétences permettront de préciser au mieux les points suivants : définition des objectifs, choix des polluants à mesurer, stratégie d'échantillonnage, validation des méthodes de prélèvement et d'analyse, interprétation des résultats.

L'Agence régionale de santé peut être une source d'informations pour le médecin.

Bibliographie

- » AFSSET. Valeurs guides de qualité d'air intérieur. Document cadre et éléments méthodologiques. Juillet 2007.
- » HCSP. Valeurs repères d'aide à la gestion dans l'air des espaces clos. Présentation de la démarche méthodologique. Octobre 2009.
- » Ministère de la Santé et des Sports. Gestion de la qualité de l'air intérieur dans les établissements recevant du public, 2010.
- » WHO Guidelines for indoor air quality: selected pollutants, 2010.
- » www.anses.fr/index.htm, page Les avis > Les avis de l'agence > Milieux aériens.
- » www.hcsp.fr, page Avis et rapports > Sécurité sanitaire > Environnement.

L'habitat insalubre

La loi du 10 juillet 1970, dite loi Vivien, a désigné par « *logements insalubres* » les logements qui se trouvent dans des conditions de nature à porter atteinte à la vie ou à la santé de leurs occupants.

Cette définition a été précisée par des critères techniques dans la circulaire du 28 août 1971 : remplacée par celle n°293 du 23 juin 2003 relative à la mise à disposition d'une nouvelle grille d'évaluation de l'état des immeubles susceptibles d'être déclarés insalubres.

La définition de l'insalubrité dans le code de santé publique ne fait pas ressortir les deux facteurs principaux de l'insalubrité qui sont les caractéristiques techniques d'un bâti dégradé et les conditions anormales d'occupation du logement. En outre, il est difficile de déterminer un « *seuil de danger* » pour la santé des occupants.

Une définition nouvelle de l'insalubrité pourrait être : « *Un logement insalubre est un logement dont la configuration (habitabilité médiocre), l'équipement (déficient), l'état (entretien insuffisant) ou les conditions dans lesquelles il est occupé (mauvais usage, surpeuplement) altèrent, aggravent ou constituent un risque direct pour l'état de santé de ses habitants ou des voisins* ».

Les délégations territoriales de l'Agence régionale de santé (ARS) et les Services communaux d'hygiène et de santé (SCHS) interviennent dans le cadre de l'application du code de la santé publique (art. L.1311-4. L.1331-22 et suivants).

En général, les interventions se réalisent sur plainte des occupants, signalement d'un maire ou d'une assistante sociale, d'un médecin, etc. Dans tous les cas, il faut que les occupants soient demandeurs pour que la visite des logements puisse se réaliser sans contestation.

Lors de la visite du logement, plusieurs cas peuvent se présenter :

– infractions au Règlement sanitaire départemental (RSD) mais pas d'insalubrité : c'est le maire qui est en charge de l'application du RSD et qui doit gérer le dossier. L'ARS peut lui apporter une aide technique ;

– insalubrité : dossier géré par l'ARS. En général, phase amiable dans un premier temps pour inciter le propriétaire à faire les travaux. S'il ne les réalise pas, un arrêté d'insalubrité est proposé au CODERST (Conseil départemental de l'environnement et des risques sanitaires et technologiques).

Pour évaluer si un logement entre ou non dans le cadre de l'insalubrité, une grille de cotation établie par la circulaire n°293 du 23 juin 2003 peut être utilisée (cf. grille).

L'insalubrité est qualifiée d'irréductible lorsque le coût des travaux nécessaires à la sortie de l'insalubrité est supérieur au coût de la reconstruction du bâtiment neuf ou qu'ils ne sont pas techniquement faisables.

Un logement dans un immeuble collectif ne peut pas être déclaré insalubre irréductible si l'immeuble n'est pas insalubre irréductible.

Les conséquences principales de l'arrêté d'insalubrité :

– les loyers ne sont plus dus (les charges continuent d'être dues) ;

– le bail est suspendu ;

– les occupants sont protégés et ne peuvent pas être expulsés ;

– le propriétaire est tenu de réaliser les travaux de sortie d'insalubrité dans un délai imparti. S'il ne les fait pas, c'est la collectivité (maire ou préfet) qui se substitue (cas de l'insalubrité réductible) ;

– le propriétaire a à sa charge l'hébergement des occupants en cas d'interdiction temporaire d'habiter. Il doit également proposer 3 offres de relogement en cas d'insalubrité irréductible ;

– si le logement devient vacant, il ne peut pas être reloué avant la sortie d'insalubrité.

L'habitat indigne

La notion d'habitat indigne trouve son application dans les politiques de l'habitat :

- loi Besson, loi Molle, Plans départementaux d'action pour le logement des personnes défavorisées (PDALPD) qui doit prévoir le repérage de l'habitat indigne et des logements non décentes ainsi que les actions de résorption correspondantes ;
- les Programmes locaux de l'habitat (PLH) doivent également prévoir le repérage de l'habitat indigne et les actions de résorption correspondantes ;
- l'habitat « indigne » est une notion nouvelle, introduite par le programme d'éradication de l'habitat indigne. Ce terme englobe les logements insalubres, ainsi que les logements concernés par l'accessibilité au plomb et les immeubles en péril.

La notion de l'habitat indigne fut, à l'origine de l'action du pôle national de lutte contre l'habitat indigne, **un concept plus politique que juridique**. C'est, aujourd'hui, en application de l'article 84 de la loi de mobilisation pour le logement et de lutte contre l'exclusion (Molle) du 25 mars 2009, une notion juridique introduite à l'article 4 de la loi du 31 mai 1990, dite « loi Besson ».

Constituent un habitat indigne les locaux ou installations utilisés aux fins d'habitation et impropres par nature à cet usage, ainsi que les logements dont l'état, ou celui du bâtiment dans lequel ils sont situés, expose les occupants à **des risques manifestes pouvant porter atteinte à leur sécurité physique ou à leur santé**.

Cette définition concerne tous types de locaux et tous types d'occupation ; elle s'applique à tous locaux utilisés, de fait, aux fins d'habitation et à tous types d'occupation quels que soient leurs statuts, dès lors que les locaux présentent des risques.

Elle implique nécessairement que ces situations de danger et de salubrité soient traitées avec les moyens adéquats, dès lors qu'il y a un risque manifeste pour la sécurité physique ou la santé des occupants : cela renvoie donc à la mise en œuvre des pouvoirs de police du préfet (insalubrité, locaux impropres, plomb accessible, etc.) et des maires, tant en police générale en application des articles 2212-2 du code général des collectivités territoriales, que le fondement du règlement sanitaire départemental et qu'en police spéciale (édifices menaçant ruine, sécurité des établissements d'hébergement recevant du public, des équipements communs des immeubles collectifs d'habitation).

L'habitat indigne ne recouvre ni les logements inconfortables, c'est-à-dire ne disposant pas à la fois d'une salle d'eau, de toilettes intérieures, et d'un chauffage central, ni les logements vétustes ; notion qui renvoie à l'entretien, dès lors qu'il n'y a pas de risque pour la santé ou la sécurité des occupants.

Les ARS et les SCHS interviennent dans le cadre de l'insalubrité relevant du code de la santé publique et de la lutte contre le saturnisme infantile.

Le péril et l'application du RSD relèvent de la compétence du maire.

L'habitat décent

La notion d'habitat « indécemment » est explicitée par un décret en Conseil d'État (n°2002-120 du 30 janvier 2002). La loi SRU indique que « **le bailleur est tenu de remettre au locataire un logement décent ne laissant pas apparaître de risques manifestes pouvant porter atteinte à la sécurité physique ou à la santé et doté d'éléments le rendant conforme à l'usage d'habitation** ». Le décret d'application définit les critères de confort exigibles par les locataires.

Ce qui distingue les notions juridiques du logement décent et de l'habitat indigne, c'est le positionnement juridique ou non, sauf exception, la nature des désordres ou des insuffisances des logements. Les notions d'habitat indigne et de logement décent ne sont pas étanches ; si le logement locatif

expose ses occupants à des risques pour la santé et la sécurité, celui-ci entre dans les deux champs. La notion de logement décent trouve son application dans les rapports locatifs (code civil et loi 1989, compétence des commissions départementales de conciliation et des tribunaux d'instance) ainsi que dans le code de la Sécurité sociale (**la décence du logement est une condition du versement des aides personnelles au logement**). Son contenu est défini par le décret du 30 janvier 2002 ; l'analyse des caractéristiques de la décence montre une grande similitude avec les dispositions du RSD type. **Aussi, tout logement loué à bail présentant des désordres au regard du RSD, donc indigne, sera quasiment toujours non décent.**

Dans le cas d'habitat non décent, l'ARS et les SCHS ne sont pas compétents.

Bibliographie

» PNLHI - Pôle national de la lutte contre l'habitat indigne : www.habitat.indigne.logement.gouv.fr

