

## Habitat et santé

## Complexité et spécificités de la pollution particulaire des logements

Période : juillet 2008 à janvier 2009

Corinne MANDIN

RSEIN / Ineris - Direction des Risques Chroniques – Verneuil-en-Halatte

Mots clés : Air Intérieur, Logement, Particules, Pollution Particulaire

La pollution particulaire des environnements intérieurs soulève de nombreux questionnements. Outre ceux liés à la complexité de la problématique des particules (mélange hétérogène dont les effets sur la santé varient notamment selon le profil granulométrique et la composition) se posent des questions supplémentaires spécifiques au contexte de l'air intérieur. Quelles sont les sources susceptibles d'avoir un impact non négligeable sur les niveaux de concentration dans les bâtiments ? Dans quelle mesure ces derniers sont-ils influencés par l'air extérieur ? Dans quelle proportion les phénomènes de réactivité chimique contribuent-ils à la formation de particules ? Quelle est la part attribuable aux expositions intérieures dans les effets sur la santé associés aux particules, mise en évidence de façon convergente, dans les études épidémiologiques ? Les publications récentes contribuent à fournir des éléments de réponse.

### Des sources variées dont les contributions respectives demeurent difficiles à identifier

Mis à part le tabagisme, les sources les plus importantes au sein de l'environnement domestique en termes de masse et/ou de nombre de particules émises apparaissent être les activités de cuisson. Cependant, toute généralisation demeure délicate puisque les émissions dépendent largement de l'énergie, du mode et de la durée de cuisson, ainsi que des aliments cuisinés, et que, selon la gamme de diamètres de particules examinée, les conclusions peuvent être différentes. See et Balasubramanian (2008) ont étudié plusieurs modes de cuisson, sous conditions contrôlées, dans une cuisine de 21 m<sup>3</sup>, portes et fenêtres closes, sans présence humaine hormis celle de l'expérimentateur. Des différences nettes sont observées entre les niveaux de concentration dans la pièce, par exemple, en PM<sub>2,5</sub><sup>1</sup> : 72 versus 209 µg m<sup>-3</sup> et en HAP<sup>2</sup> : 11 versus 37 ng m<sup>-3</sup>, pour la vapeur versus la friture. Wallace *et al.* (2008) ont conduit des tests, similaires dans le principe, dans une maison expérimentale. Ils se sont intéressés plus particulièrement à la gamme des particules de diamètre compris entre 2 et 64 nm. Les tables de cuisson gaz ou électriques émettent un grand nombre de particules de diamètre inférieur à 10 nm (y compris sans cuisson d'aliment) avec des débits d'émission autour de 10<sup>12</sup> particules min<sup>-1</sup>, ce qui conduit à des concentrations de l'ordre de 105

particules cm<sup>-3</sup>, soit cent fois plus élevées que le niveau de fond, hors fonctionnement. Malgré un phénomène de coagulation prépondérant dans les premiers instants, devant le renouvellement d'air et le dépôt sur les surfaces, les concentrations dans la gamme étudiée restent élevées pendant près de deux heures. Enfin, Gehin *et al.* (2008) ont caractérisé les émissions de particules (diamètre de 5 nm à 1 µm) de vingt activités domestiques en enceinte expérimentale contrôlée de 2,36 m<sup>3</sup>. Les activités de cuisson et de nettoyage de four par pyrolyse présentent les émissions les plus élevées.

Par ailleurs, l'étude de la contribution de l'air extérieur à la pollution de l'air intérieur fait encore l'objet de nombreuses publications, l'objectif étant de savoir si *in fine* le mélange particulaire intérieur est déterminé ou non par l'extérieur. Ceci est d'importance dans le contexte des études épidémiologiques relatives à la pollution atmosphérique urbaine, qui, jusqu'à présent, assimilaient l'exposition personnelle aux particules à la concentration mesurée au niveau de la station la plus proche ou représentative du fond urbain, sans tenir compte directement des expositions au domicile. Ainsi, Yli-Tuomi *et al.* (2008) ont mesuré, dans le cadre d'une étude de panel (77 personnes âgées non fumeuses souffrant de troubles coronariens, résidant à Amsterdam et Helsinki), les concentrations en PM<sub>2,5</sub> et ont déterminé leur composition élémentaire, au domicile et à l'extérieur en zone péri-urbaine (mesures quotidiennes à l'extérieur et bihebdomadaires à l'intérieur, de novembre 1998 à juin 1999). Les activités intérieures ont été renseignées par questionnaire. Au final, les auteurs estiment qu'en moyenne à Helsinki, 70 % des PM<sub>2,5</sub> intérieures proviennent de l'extérieur ; ce pourcentage atteint 84 % à Amsterdam, ce qui conforte la pertinence de l'utilisation exclusive de mesures en stations urbaines fixes. À noter que, dans les deux villes, les concentrations en PM<sub>2,5</sub> étaient inférieures à l'intérieur par rapport aux niveaux extérieurs (différence non significative pour Helsinki).

### Commentaire

Les études de caractérisation des sources intérieures permettent de documenter les émissions de particules, incluant les gammes ultrafines dont l'intérêt sanitaire est désormais reconnu. Afin de mieux appréhender le mélange particulaire en présence, la caractérisation passe également par détermination de la composition chimique. Parallèlement, ces études demeurent difficiles à comparer ou à extrapoler à des

contextes généraux, puisque les protocoles mis en œuvre diffèrent (mesure en chambre d'émission ou en conditions réelles à l'échelle 1 ; les résultats sont ainsi parfois exprimés dans des unités différentes), les paramètres suivis (masse, nombre, carbone organique ou élémentaire, éléments métalliques...), les appareils en place et de facto les gammes de particules étudiées sont variables. En tout état de cause, ces études sont à poursuivre.

S'agissant de la source « air extérieur », les comparaisons et extrapolations ne sont pas aisées. Il s'agit en outre de ne pas confondre ce qui relève des niveaux de concentration, des données relatives à la composition. S'agissant des niveaux par exemple, une proportion importante des particules dans le logement proviennent de l'extérieur. A ces particules d'origine extérieure, s'ajoutent celles produites par les sources comme la cuisson ou le tabagisme. Ainsi, dans certaines situations, bien que favorisant la pénétration de particules, une ouverture des fenêtres diminue alors les concentrations intérieures, ce qui peut sembler paradoxal à première vue. Par ailleurs, l'examen des niveaux n'est pas suffisant en soi, car des concentrations plus faibles à l'intérieur sont à mettre en regard du temps passé dans le logement (plus long qu'à l'extérieur) et de la nature des particules (plus ou moins toxiques selon la source).

### Des phénomènes complexes

Outre la production de particules, qualifiée de directe, par les sources évoquées précédemment, d'autres phénomènes physico-chimiques peuvent également être des contributeurs non négligeables. La formation d'aérosols organiques secondaires par la réaction entre les terpènes (émis par les produits d'entretien notamment) et l'ozone provenant de l'extérieur ou de sources intérieures, a été largement documentée par des tests en chambre ou *in situ*. Cette réactivité chimique a été étudiée récemment dans un nouveau contexte par **Waring et al. (2008)**. Leur étude était consacrée aux tests d'efficacité d'épurateurs d'air (filtres, précipitateur électrostatique et ioniseurs d'air). Dans la mesure où le processus d'épuration de certains d'entre eux est fondé sur l'émission d'ozone, les auteurs ont cherché à caractériser la formation de particules secondaires en présence de diffuseurs de parfum solides ou liquides. Pour des taux de renouvellement d'air compris entre 0,5 et 1 h<sup>-1</sup>, ils observent une production nette de particules qui varie de 650 à 2 600 particules cm<sup>-3</sup>, dans la gamme de diamètres allant de 4,6 à 157 nm. Pour deux ioniseurs, toutes les particules formées ont un diamètre inférieur à 50 nm.

Par ailleurs, le phénomène de remise en suspension par les occupants des bâtiments constitue également un déterminant important des concentrations particulières intérieures. **Qian et Ferro (2008)** ont simulé la présence humaine dans

une salle expérimentale de taille réelle, successivement pour trois types de revêtements de sol (revêtement vinyle, moquette neuve ou usagée) empoussiérés de manière à assurer un dépôt uniforme de particules dont le diamètre variait de 0,8 à 10 µm. Les concentrations étaient mesurées par trois compteurs optiques (diamètre compris entre 0,3 et 20 µm). Celles-ci montrent clairement que le taux de remise en suspension augmente avec la taille des particules et qu'il varie selon la nature du sol et la présence d'une personne (pas d'intensité et de fréquence variables).

### Commentaire

Si le modèle (non décrit ici) utilisé par **Qian et Ferro (2008)** pour le volet modélisation de l'étude semble inapproprié, les conclusions confortent celles de précédents auteurs. Il avait en effet déjà été montré que, lors de l'utilisation d'un aspirateur sur une moquette, les concentrations en PM<sub>2,5</sub> présentaient une augmentation peu perceptible pendant le passage, tandis que les teneurs en PM<sub>10</sub> montraient un pic très marqué suivi d'une lente décroissance après l'interruption du nettoyage. Si ces travaux peuvent sembler de portée limitée, ils restent utiles pour aider à la compréhension des phénomènes qui régissent la formation et l'évolution des particules dans les bâtiments. Appréhender ces phénomènes permet de mieux comprendre la nature chimique des particules dans les gammes de taille qui peuvent présenter des effets sur la santé, ainsi que les interactions possibles avec d'autres contaminants de l'air intérieur. À titre d'exemple, l'adsorption des allergènes à des particules remises en suspension peut avoir un impact chez les personnes allergiques.

### Encore peu d'études sur les effets sanitaires spécifiques aux expositions intérieures

Les principales études épidémiologiques relatives à la pollution particulaire intérieure ont été menées dans des pays en voie de développement où des combustibles solides issus de la biomasse sont brûlés quotidiennement dans les foyers domestiques pour la préparation des aliments et le chauffage. Dans les pays industrialisés, les études épidémiologiques conduites pour examiner les effets des expositions aux particules dans les environnements intérieurs sur la santé sont très peu nombreuses.

**McCormack et al. (2009)** ont étudié les relations entre les concentrations intérieures en particules et l'asthme infantile. Entre 2001 et 2004, ils ont suivi 150 enfants âgés de 2 à 6 ans et résidant dans l'agglomération de Baltimore, États-Unis. Les enfants étaient recrutés lorsque leur pathologie asthmatique avait été enregistrée par les services de santé dans les douze derniers mois. Le critère d'inclusion final était que l'asthme ou des symptômes de type asthmatique ou bien la prise de médicaments contre l'asthme dans les six

## Complexité et spécificités de la pollution particulaire des logements

Corinne MANDIN

derniers mois soient rapportés par un médecin. Les prélèvements environnementaux avaient lieu à t=0, t+3 mois et t+6 mois. Les PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub> étaient prélevées pendant 72 heures dans la chambre de l'enfant. Ces mêmes fractions granulométriques étaient mesurées simultanément à un site extérieur central, les résidences des enfants étant toutes situées à moins de 3 km. Un test cutané (*prick test*<sup>4</sup>) pour 14 allergènes a été réalisé à t=0. Lors de chacun des trois mesurages, un questionnaire détaillé (utilisé pour de précédentes études sur l'asthme, comme ISAAC<sup>5</sup>) a été complété par un aide-soignant pour décrire les symptômes déclarés et les soins reçus par l'enfant les mois et semaines précédents. Cette personne remplissait en outre un carnet journalier pour décrire les événements survenant dans la maison pendant les 72 heures de prélèvement. Le nombre d'ouvertures de fenêtres d'une durée supérieure à 10 minutes et le budget espace-temps de l'enfant étaient renseignés.

Dans les logements, les concentrations moyennes en PM<sub>2,5-10</sub> et PM<sub>2,5</sub> étaient respectivement égales à 17,4 ± 21,0 µg m<sup>-3</sup> et 40,3 ± 35,4 µg m<sup>-3</sup>. Les tests statistiques ont montré, après ajustement sur l'âge, le sexe, le groupe ethnique, le niveau d'éducation des parents, la saison et la concentration en particules à l'extérieur, qu'une augmentation de 10 µg m<sup>-3</sup> des concentrations intérieures en PM<sub>2,5-10</sub> était associée à une augmentation des symptômes asthmatiques de 6 % (IC à 95 % = [1 ;12]), des symptômes nocturnes de 8 % (IC à 95 % = [1 ;14]), des sifflements ralentissant l'élocution de 11 % (IC à 95 % = [3 ;19]) et du recours à une médication d'urgence de 6 % (IC à 95 % = [1 ;10]). Pour les PM<sub>2,5</sub>, seuls les symptômes nocturnes et le recours à une médication d'urgence montrent une augmentation significative, respectivement de 6 % (IC à 95 % = [1 ;10]) et 4 % (IC à 95 % = [1 ; 8]). Le nombre d'ouvertures quotidiennes de fenêtre n'a pas été inclus dans le modèle d'analyse, car l'ajout de cette variable était sans influence sur les résultats.

#### Commentaire

Cette étude épidémiologique, relativement puissante, est pour l'instant l'une des rares à s'être intéressée aux particules dans l'environnement intérieur (hors pays en voie de développement). Elle est cohérente avec de précédents résultats ayant montré, pour l'asthme, que la fraction PM<sub>2,5-10</sub> était associée à des effets plus sévères par rapport à la fraction fine. Il aurait été intéressant que les auteurs positionnent leurs résultats par rapport à ceux obtenus pour l'air ambiant extérieur. Par ailleurs, le groupe d'enfants inclus dans l'étude est issu d'un quartier défavorisé de la ville; il serait intéressant de reproduire ces travaux pour d'autres groupes de populations.

#### Conclusion générale

Les articles analysés sont à l'image de la diversité et de la complexité des questions relatives à la pollution particulaire des logements. D'autres facteurs importants (comme la filtration de l'air entrant, l'influence des systèmes de ventilation et de traitement de l'air plus généralement) ou d'autres phénomènes (tels que la coagulation ou les pertes liées à la diffusion brownienne<sup>6</sup>) n'ont néanmoins pas été abordés. La détermination des effets sur la santé et éventuellement, ultérieurement, la fixation de valeurs guides pour les particules dans les ambiances intérieures, passent nécessairement par une meilleure connaissance en amont du mélange particulaire. Les biocontaminants, bien que non abordés dans cette note, sont évidemment à ne pas écarter.

Si Charles Weschler (2009), dans sa synthèse sur l'évolution des pollutions intérieures depuis les années 50, considère que les concentrations en particules sont plus faibles du fait des diminutions du tabagisme et des concentrations extérieures, la problématique n'en demeure pas moins toujours d'intérêt. De nouvelles sources ont pu apparaître au sein des logements, comme par exemple les chauffages d'appoint dont le nombre augmente dans un contexte de précarité énergétique grandissante. Par ailleurs, certaines typologies constructives plus répandues, comme les cuisines américaines, peuvent favoriser la dispersion des émissions. En outre, l'intérêt pour des fractions granulométriques nanométriques oblige également à reconsidérer éventuellement les conclusions ayant pu être tirées pour les PM<sub>10</sub> ou les particules totales. L'introduction potentielle dans les logements de nanoparticules via des appareils de traitement d'air (fondés sur la photocatalyse ou des matériaux ou produits à base de nanomatériaux innovants) nécessite d'avoir une bonne connaissance de la pollution particulaire actuelle afin de pouvoir, dans un avenir plus ou moins proche, repérer l'impact de ces « nouvelles » nanoparticules. Il en est de même s'agissant de la composition chimique: la mise en évidence de nouveaux composés, retardateurs de flamme, pesticides, etc. dans les poussières domestiques oblige à considérer leur présence potentielle dans l'air du fait des phénomènes de remise en suspension mis en évidence. Les enjeux scientifiques sont donc d'importance.

## Mots clés utilisés pour la recherche bibliographique

Indoor, Dwelling, Home, Particle, Particulate Matter, Ultrafine.

## Publications analysées

**Gehin E, Ramalho O, Kirchner S.** Size distribution and emission rate measurement of fine and ultrafine particle from indoor human activities. *Atmos. Environ.* 2008; 42(35) : 8341-52.

**McCormack MC, Breysse PN, Matsui EC et al.** In-home particle concentrations and childhood asthma morbidity. *Environ. Health Perspect.* 2009; 117(2): 294-8.

**Qian J, Ferro AR.** Resuspension of dust particles in a chamber and associated environmental factors. *Aerosol Sci. Technol.* 2008; 42(7): 566-78.

**See SW, Balasubramanian R.** Chemical characteristics of fine particles emitted from different gas cooking methods. *Atmos. Environ.* 2008; 42(39):8852-62.

**Wallace L, Wang F, Howard-Reed C et al.** Contribution of gas and electric stoves to residential ultrafine particle concentrations between 2 and 64 nm: Size distributions and emission and coagulation rates. *Environ. Sci. Technol.* 2008; 42(23):8641-7.

**Waring MS, Siegel JA, Corsi RL.** Ultrafine particle removal and generation by portable air cleaners. *Atmos. Environ.* 2008; 42(20):5003-14.

**Yli-Tuomi T, Lanki T, Hoek G et al.** Determination of the sources of indoor PM<sub>2.5</sub> in Amsterdam and Helsinki. *Environ. Sci. Technol.* 2008; 42(12): 4440-6.

## Publications de référence

**Jantunen M, Hänninen O, Koistinen K et al.** Fine PM measurements: personal and indoor air monitoring. *Chemosphere* 2002; 49(9):993-1007.

**Schneider T, Sundell J, Bishof W et al.** 'EUROPART'. Airborne particles in the indoor environment. A European interdisciplinary review of scientific evidence on associations between exposure to particles in buildings and health effects. *Indoor Air*; 2003; 13(1):38-48.

## Revue de la littérature

**Weschler CJ.** Changes in indoor pollutants since the 1950s. *Atmos. Environ.* 2009; 43(1): 153-69.

## Publications non sélectionnées

**Brown KW, Sarnat JA, Suh HH et al.** Ambient site, home outdoor and home indoor particulate concentrations as proxies of personal exposures. *J. Environ. Monit.* 2008; 10(9):1041-51.

Cette étude vise à déterminer les corrélations (pour les PM<sub>2,5r</sub> les sulfates et le carbone élémentaire) entre mesures en sites urbains fixes, prélèvements dans l'environnement intérieur et concentrations personnelles (25 personnes). Une variabilité saisonnière est montrée, en lien direct avec les pratiques de ventilation.

**Evans GJ, Peers A, Sabaliauskas K.** Particle dose estimation from frying in residential settings. *Indoor Air* 2008; 18(6):499-510.

*Ces travaux sont du même type que ceux décrits dans la note. Les tests visaient à étudier l'influence des aliments pour une cuisson par friture sur les facteurs d'émission en particules ultrafines (20 nm – 10 µm) et PM<sub>2,5</sub> et les concentrations résultantes dans l'air intérieur, dans cinq typologies différentes d'habitations (appartement ou maison, cuisine ouverte dans chaque cas).*

**Coleman BK, Lunden MM, Destailats H, Nazaroff WW.** Secondary organic aerosol from ozone-initiated reactions with terpene-rich household products. *Atmos. Environ.* 2008; 42(35):8234-45.

**Langer S, Moldanova J, Arrhenius K et al.** Ultrafine particles produced by ozone/limonene reactions in indoor air under low/closed ventilation conditions. *Atmos. Environ.* 2008; 42(18):4149-59.

**Toftum J, Feund S, Salthammer T et al.** Secondary organic aerosols from ozone-initiated reactions with emissions from wood-based materials and a «green» paint". *Atmos. Environ.* 2008; 42(33):7632-40.

*Ces trois publications font état de la formation de particules ultrafines par la réaction chimique entre l'ozone et les terpènes, en l'occurrence le limonène dans le second article, mise en évidence au moyen de tests en chambre d'émission. Ceci a déjà été décrit largement dans la littérature. L'originalité du dernier article réside dans le fait de s'intéresser en particulier à une peinture étiquetée « écologique ».*

**Martuzevicius D, Grinshpun SA, Lee T et al.** Traffic-related PM<sub>2,5</sub> aerosol in residential houses located near major highways: Indoor versus outdoor concentrations. *Atmos. Environ.* 2008; 42(27): 6575-85.

*Les auteurs ont mesuré, à chacune des saisons, les concentrations en PM<sub>2,5</sub> et éléments traces métalliques dans six maisons occupées, situées à différentes distances d'une autoroute (aux États-Unis). Ils confirment que le soufre est un*

## Complexité et spécificités de la pollution particulaire des logements

Corinne MANDIN

bon marqueur de la pénétration de la pollution particulaire extérieure. Ils concluent en affirmant que ce n'est pas tant la distance à la route et l'intensité du trafic qui sont déterminantes, mais la structure de l'enveloppe du bâtiment et les modalités de ventilation.

**O'Connell S, Au-Yeung HK, Gregory CJ et al.** Outdoor and indoor respirable air particulate concentrations in differing urban traffic microenvironments. *J. Toxicol Environ. Health A*; 2008; 71(16):1069-72.

Les auteurs comparent les concentrations intérieures et extérieures en particules dans 123 maisons de l'agglomération de Cardiff, UK, réparties dans une zone à fort trafic et une autre à faible circulation (route secondaire, impasse ou quartier éloigné du centre ville). L'échantillon est important; cependant les paramètres suivis (particules totales et  $PM_{2.5}$ ) ne sont pas les plus pertinents.

**Ward T, Palmer C, Bergauff M et al.** Results of a residential indoor  $PM_{2.5}$  sampling program before and after a woodstove changeout. *Indoor Air* 2008; 18(5): 408-15.

Les auteurs ont étudié l'évolution des concentrations en  $PM_{2.5}$  avant puis après remplacement du poêle à bois vétuste, à l'intérieur de 16 maisons (de non fumeurs) en zone rurale aux États-Unis. En moyenne, les concentrations diminuent de 71 % ( $p=0,0001$ ). En revanche, d'autres marqueurs de la combustion du bois, que sont les acides abiétique et déhydroabiétique ont vu leurs concentrations augmenter dans toutes les habitations après installation des nouveaux appareils.

**Schripp T, Wensing M, Uhde E, Salthammer T et al.** Evaluation of ultrafine particle emissions from laser printers using emission test chambers. *Environ. Sci. Technol.* 2008; 42(12):4338-43.

**Wensing M, Schripp T, Uhde E et al.** Ultra-fine particles release from hardcopy devices: sources, real-room measurements and efficiency of filter accessories. *Sci. Total Environ.* 2008; 407(1):418-27.

Ces deux articles traitent d'un sujet d'actualité, largement médiatisé dans d'autres pays, qui est celui des émissions de particules par les imprimantes et photocopieurs. Ces articles sont ainsi mentionnés à titre informatif, mais ne concernent pas directement l'habitat, ou dans une moindre mesure, car les foyers sont de plus en plus équipés en informatique.

---

**Lexique**


---

<sup>1</sup>  $PM_{2.5}$ : Particule de diamètre médian inférieur à 2,5  $\mu m$ ; on les qualifie également de particules fines

<sup>2</sup> HAP: Hydrocarbures aromatiques polycycliques; il s'agit d'imbrûlés de combustion. Les HAP mesurés dans l'étude présentée ici sont les 16 composés dits « de l'US-EPA »; l'agence pour la protection de l'environnement américaine recommande en effet couramment la mesure de ces 16 congénères les plus toxiques pour la santé humaine, en l'état actuel des connaissances

<sup>3</sup> Terpènes: Classe d'hydrocarbures, dont certaines molécules sont utilisées dans les produits d'entretien pour leurs propriétés odoriférantes (limonène ou pinène, par exemple). Ces composés ont la particularité d'avoir une ou plusieurs liaisons insaturées, donc d'être réactifs chimiquement

<sup>4</sup> Prick test: Test visant à déterminer la réaction allergique impliquant les immunoglobulines IgE, réalisé par exposition cutanée contrôlée à une faible quantité d'allergènes et observation de la réponse

<sup>5</sup> ISAAC: International Study of Asthma and Allergies in Childhood, étude internationale multicentrique de référence sur les causes de l'asthme et des allergies chez les enfants

<sup>6</sup> Pertes par diffusion brownienne: décrit le fait que les particules s'entrechoquent entre elles et partent dans d'autres directions (mouvement brownien) et qu'elles peuvent ainsi rencontrer des parois ou surfaces et s'y adsorber.