

Edito

La détection des COVm dans les espaces clos : une méthode alternative pour tracer la contamination fongique

Dans son rapport paru en 2009 « WHO guidelines for indoor air quality : dampness and mould », l'Organisation mondiale de la santé (OMS*) rappelle les effets sanitaires des champignons microscopiques colonisant nos habitats et notamment leur capacité à engendrer des pathologies immuno-allergiques et toxiques. Ces microorganismes peuvent, par ailleurs, agir sur la structure même des bâtiments, altérant irrémédiablement produits de construction et de décoration, phénomène largement redouté par les conservateurs du patrimoine. Dans ce contexte, la détection préventive de ces biocontaminants présente un intérêt croissant pour la protection des occupants et des ouvrages.

Traditionnellement, la contamination fongique d'un environnement est objectivée par son examen visuel ou par la culture des microorganismes présents dans l'air, sur les surfaces ou dans les poussières. De ce fait, les méthodes usuelles permettent rarement de détecter les contaminations cachées (croissance derrière une cloison, dans la structure du bâti ou dans des systèmes de ventilation par exemple) ou récentes pour lesquelles aucun signe de développement n'est apparent.

Aussi, la mise au point de méthodes basées, notamment, sur la détection de métabolites fongiques pour estimer la présence de ces microorganismes et surveiller la qualité microbiologique d'environnements « sensibles », a fait l'objet de nombreuses études⁽¹⁾. Ainsi, dès 1988, Miller, relayé par d'autres auteurs, suggère l'usage des Composés Organiques Volatils d'origine microbienne (COVm) comme traceurs d'une présence fongique dans des bâtiments.

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

En 2003, Moularat⁽³⁾, au travers de ses travaux sur les phénomènes à l'origine des COVm (métabolisme, biodégradation des matériaux), va renforcer cette approche et finalement déterminer une empreinte globale spécifique de la contamination fongique des environnements intérieurs. Uniquement qualitatif (présence/absence), cet indice s'affranchit alors des limites liées aux faibles concentrations en COVm.

L'outil ainsi développé a permis de statuer sur la présence de micro-

mycètes dans 37 % des logements français à l'occasion de la campagne nationale de l'Observatoire de la qualité de l'air intérieur⁽⁴⁾.

Cette approche a depuis également été éprouvée dans d'autres études à visée épidémiologique :

- ISAAC-FERMA menée par le CHU de Clermont Ferrand portant sur la corrélation entre l'exposition aux aérosols fongiques et l'asthme chez l'enfant,

- ESMHA, menée par l'Observatoire Régional de Santé d'Île de France, concernant les effets sanitaires des moisissures dans l'habitat.

Des études menées en collaboration avec des organismes en charge de la sauvegarde du patrimoine tels que : le Laboratoire de Recherche des Monuments Historiques, les Archives Nationales ou encore la Bibliothèque Nationale de France ; montrent également l'intérêt des empreintes chimiques comme moyen de détection.

Ces avancées scientifiques et l'avènement concomitant des nanotechnologies laissent présager la commercialisation, à court terme, de multiples « biodétecteurs d'alerte ».

En parallèle, la France devra, à l'instar de l'Amérique et l'Europe du Nord, investir dans la gestion de ces biocontaminants avec des mesures préventives ou correctives. La mise en place de préconisations concernant les produits de construction peu vulnérables, ou encore la rédaction de guides à destination du grand public et des professionnels de la réhabilitation apparaissent essentielles.

Marjorie DRAGHI, Enric ROBINE - CSTB

Pôle « Recherche et Innovation pour l'Hygiène des Bâtiments »
Laboratoire de Microbiologie des Environnements Intérieurs

Articles cités dans l'édito :

1 - Bjurman, J. (1999). "Release of MVOCs from microorganisms". *Organic Indoor Air Pollutants*. T. Salthammer, WILEY-VCH: 259-273.

Korpi, A.; Pasanen, A.-L.; Pasanen, P. and Kalliokoski, P., (1997). "Microbial growth and metabolism in house dust." *International Biodeterioration & Biodegradation*, 40(1): p.19-27.

Miller J.D., Laflamme A.M., Sobol Y., Lafontaine P., Greenhalgh R. (1988) "Fungi and fungal products in some Canadian houses" *International Biodeterioration*, 24(2) : 103-120

Sunesson, A.-L.; Nilsson C.-A.; Andersson, B. and Blomquist, G., (1996). "Volatile metabolites produced by two fungal species cultivated on building materials." *The Annals of Occupational Hygiene*, 40(4): p.397-410.

2 - Keller R., Senkpiel K., and Ohgke H. (2001). "Use of MVOC measurement and odor perception as indicator of mould in indoor areas". *Bioaerosols, fungi and mycotoxins : health effects, assessment, prevention and control*. E. Johanning. New York: 532-537.

3 - Moularat S (2005) "Etude de la contamination fongique des environnements intérieurs par la détermination et la mesure de traceurs chimiques spécifiques : application à l'hygiène de l'habitat" *Rapport de thèse, Université de Marne la Vallée*.

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

Moularat, S, Robine, E, Ramalho, O and Oturan, M (2008b). "Detection of fungal development in a closed environment through the identification of specific VOC: Demonstration of a specific VOC fingerprint for fungal development". *Science of the Total Environment* 407: 139-146.

4 - Moularat S, Derbez M, Kirchner S, Ramalho O and Robine E (2008c). "Détermination de la contamination fongique des logements français par un indice chimique ». *Pollution Atmosphérique* 197: 37-44.

Sommaire

Météologie : p 2 ; Lieux de vie : p 2 ; Effets sur la santé : p 4

Expologie – Évaluation des risques sanitaires : p 9 ; Publications : p10 ; Thèse : p 11 ; Manifestations : p 12.

Les astérisques renvoient aux termes du glossaire. p 12

Métrologie

Articles d'intérêt sur la thématique Métrologie :

Borrego, Valente et al. (2010) - Contribution of residential wood combustion to PM10 levels in Portugal. *Atmospheric Environment*. 44 (5): 642-651.

Kabir, Kim et al. (2010) - Barbecue charcoal combustion as a potential source of aromatic volatile organic compounds and carbonyls. *Journal of Hazardous Materials*. 174 (1-3): 492-499.

Methner, Hodson et al. (2010) - Nanoparticle Emission Assessment Technique (NEAT) for the Identification and Measurement of Potential Inhalation Exposure to Engineered Nanomaterials - Part A. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*. 7 (3): 127-132.

Lieux de vie

Prédictions des expositions domestiques aux plastifiants phtalates émis par les revêtements de sol vinyliques : sensibilité, incertitude et implications pour la biosurveillance

Plus de 3,5 millions de tonnes de phtalates sont produits chaque année, dont 2 millions de tonnes de diéthylexyl-phtalate (DEHP*). Le DEHP est surtout utilisé pour les produits en PVC* comme les revêtements de sol dont il constitue 20 à 40% du poids. Comme ils ne sont pas liés chimiquement aux matériaux, les phtalates sont lentement émis dans leur entourage et sont reconnus comme des polluants majeurs de l'environnement intérieur, auxquels la plupart des Américains sont exposés, selon les études de biosurveillance. Comme pour les autres composés organiques semi-volatils, les phtalates se volatilisent, en quantité faible mais suffisante pour un transport et une répartition vers les particules en suspension et déposées, et les surfaces. Ici un modèle précédemment conçu par les auteurs est développé pour prédire les émissions et expositions suite à la pose d'un revêtement de sol vinylique (RSV).

Conceptuellement le modèle repose sur :

- Des flux d'air entre cuisine, salle de bain, reste de la maison, extérieur ;
- Un taux d'émission défini par l'équilibre entre le RSV et l'air contigu, et par un transfert de l'air de surface ;
- Une adsorption, décrite par un équilibre, du DEHP gazeux sur les surfaces intérieures et les particules en suspension et déposées.

Les flux d'air, surfaces des meubles et matériaux, budgets espace-temps-activité utilisés sont issus de la bibliographie. Les constantes d'équilibre ont été calculées avec les concentrations en DEHP dans l'air et la poussière d'une précédente étude, et la pression de vapeur (voir Xu *et al.*, 2009).

Ce modèle a été utilisé pour estimer l'émission et les expositions pour un adulte et un enfant (inhalation, absorption cuta-

née et ingestion de poussière) au DEHP après la pose d'un RSV dans la maison. Une analyse de sensibilité (% de variation du résultat pour une variation d'une unité du paramètre) a permis de repérer les paramètres sensibles, qui ont ensuite fait l'objet d'une simulation de Monte Carlo en une dimension pour tester leur influence et quantifier l'incertitude associée.

L'équilibre (concentration dans l'air stable dans le temps) est atteint après un an et demi, avec une concentration dans l'air plus faible pour le reste de la maison du fait de plus grandes surfaces de mobilier par rapport à la surface de RSV. Les concentrations à l'équilibre sont similaires à celles observées en Europe et aux USA. Les expositions estimées varient de 5 µg/kg/jour pour le 5^{ème} percentile à 180 µg/kg/jour pour le 95^{ème} percentile, avec une médiane à 38 µg/kg/jour, soit le double de la valeur toxicologique de référence de l'US EPA*. Les expositions sont dominées par l'ingestion de particules déposées et sont supérieures à la dose de référence de l'US EPA, avec cependant l'utilisation d'une quantité de poussière ingérée qui peut être jugée élevée. Les enfants sont 2 à 10 fois plus exposés que les adultes. Les paramètres influençant le plus les expositions sont, en plus du poids corporel et de la durée d'exposition, la concentration du RSV en DEHP et sa constante d'équilibre avec l'air, sa surface, le taux de ventilation.

Des sources de DEHP n'ont pas été prises en compte, d'où une sous estimation des expositions, mais pourraient être ajoutées à ce modèle. Les auteurs concluent en l'utilité de ce type de modèle en complément des mesures biologiques de l'exposition afin d'identifier les sources et voies d'exposition. Enfin ce modèle pourrait servir pour d'autres composés semi-volatils.

Commentaires et conclusion du lecteur

Cet article traite d'un sujet d'actualité, l'exposition aux composés organiques semi-volatils, et en particulier celle d'un des plus préoccupants du point de vue sanitaire, le DEHP, du fait de la prévalence de l'exposition et des effets toxiques décrits. Il s'agit d'un des premiers articles avec une application concrète des équilibres complexes entre les phases (gaz, particules, surfaces) décrits par Weschler dans son article théorique sur les semi-volatils (Weschler CJ, Nazaroff WW. Semivolatile organic compounds in indoor environments. *Atmospheric Environment* 2008 Dec; 42(40): 9018-40). L'article, très pédagogique et bien écrit malgré la complexité intrinsèque est très pertinent d'un point de vue évaluation et gestion des risques sanitaires. Un de ses intérêts est la comparaison des différentes voies d'exposition, ce qui permet d'identifier les mesures de réduction des expositions. Cependant le repérage des paramètres les plus sensibles est relativement peu convaincant dans la mesure où il repose sur la variation d'une unité du paramètre d'entrée dont on ne connaît pas l'importance relative par rapport à la gamme de valeurs possibles. Les auteurs auraient aussi pu mentionner plus clairement que leur analyse de l'incertitude ne porte que sur l'incertitude des paramètres, et non sur la conception même du modèle. Le développement de cette partie aurait plus apporté que les considérations sur la biosurveillance, qui sont très pertinentes mais

assez générales. Si les résultats obtenus par cette modélisation sont comparés, et cohérents, avec la littérature, il paraîtrait souhaitable de la reproduire avec i) une mesure simultanée des concentrations (en DEHP et idéalement d'autres phtalates et composés volatils, ii) une analyse plus poussée des incertitudes paramétriques. Cela permettrait d'avancer vers la validation d'un modèle qui pourrait s'avérer fort utile en gestion de risques.

Source : Xu Y, Cohen Hubal EA, Little JC. Predicting residential exposure to phthalate plasticizer emitted from vinyl flooring: sensitivity, uncertainty, and implications for biomonitoring. *Environ Health Perspect* 2010 Feb; 118(2): 253-8.

Article analysé par : Philippe Glorennec, École des Hautes Études en Santé Publique. Philippe.Glorennec@ehesp.fr



Lieux de vie

Caractérisation des composés organiques particulaires et contribution des sources intérieures et extérieures aux particules ultrafines dans des maisons de retraite

De nombreuses études épidémiologiques et toxicologiques ont montré une association entre l'apparition d'effets sur la santé et l'exposition aux particules dans l'air ambiant, et mettant particulièrement l'accent sur les particules fines et ultrafines. Parmi ces dernières, celles d'origine extérieure présentent une activité toxicologique très importante directement corrélée à la quantité de matière organique présente. L'exposition aux particules ultrafines dans les environnements intérieurs peut être élevée tant par les niveaux de concentration mesurés que par l'importance du temps passé par les occupants. Néanmoins, il est difficile d'établir un lien avec les effets sanitaires tant que la contribution des différentes sources et la composition chimique de ces particules ne sont pas connues. Ces deux derniers points constituent les objectifs de cette étude californienne qui s'inscrit dans un programme de recherche plus général sur les effets de l'exposition aux particules chez les personnes âgées atteintes de maladie des artères coronaires (programme CHAPS : Cardiovascular Health and Air Pollution Study).

Des mesures en masse de particules quasi-ultrafines de diamètre aérodynamique inférieur à 250 nm ($PM_{0,25}^*$) ont été réalisées à l'intérieur et à l'extérieur de quatre maisons de retraites en Californie du Sud, situées proches de la côte à proximité d'axes à fort trafic routier. La pièce instrumentée était soit la salle principale d'activité soit la salle à manger commune. Deux campagnes (été et hiver) de 6 semaines ont été réalisées de 2005 à 2007. Des collectes journalières de $PM_{0,25}$ sur filtres ont été effectuées du lundi au vendredi. Les filtres sont pesés puis découpés avant analyse. Les paramètres analysés sont nombreux : 92 composés organiques parmi lesquels 15 HAPs*, 17 alcanes linéaires de 24 à 40 atomes de carbone, 7 hopanes, 5 stéranes et 11 acides organiques lourds ; 52 éléments traces, le carbone organique hydrosoluble, le carbone organique (OC*) et élémentaire (EC*).

Un modèle récepteur (modèle CMB de l'US EPA*) a été utilisé pour déterminer les contributions des différentes sources au carbone organique particulaire.

Les résultats ont été exprimés en masse particulaire équivalente (PM) en tenant compte du ratio OC/PM pour chaque source. Les contributions prises en compte sont le sulfate (basé sur la mesure de l'élément soufre), l'apport océanique (estimé à partir du sodium total), la resuspension de poussières (calculé à partir des concentrations de Si, Al, Ca, Fe et K), l'aérosol organique secondaire déterminé à partir du carbone organique hydrosoluble corrigé de la fraction attribuée aux feux de biomasse. Les sources considérées pour la fraction organique sont les véhicules légers, les poids lourds, les feux de biomasse, et les cargos maritimes. En moyenne, 67 % de la masse mesurée a été reconstruite à partir des contributions des sources issues du modèle. L'efficacité de transfert extérieur/intérieur a été estimée à partir d'études précédentes pour EC (entre 0,6 et 0,8), OC (entre 0,6 et 1), pour $PM_{2,5}$ (0,4 – 0,6) et le nombre total de particules (0,4 – 0,8). Le renouvellement d'air a été estimé à partir de mesures de CO et se situait entre 0,2 et 0,4 h⁻¹.

Les niveaux de $PM_{0,25}$ sont faibles en extérieur autour de 10 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ et varient très peu entre l'été et l'hiver. Les niveaux intérieurs restent en général inférieurs par rapport à l'extérieur de l'ordre de 63 à 107 %. La part la plus importante est attribuable au trafic routier (entre 2 et 5 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ soit 24 à 47 %) aussi bien pour l'intérieur que l'extérieur et en été comme en hiver. Les poids lourds contribuent 2 à 10 fois plus que les véhicules légers, ce qui s'explique aussi par une proportion importante de camions roulants dans la zone géographique étudiée.

La remise en suspension de particules par le trafic (pour l'extérieur) ou par les activités domestiques (pour l'intérieur) contribue de façon variable entre 0 et 22 %. La contribution estimée de l'aérosol organique secondaire varie de 3 à 19 % en intérieur ou extérieur. Les feux de biomasse contribuent à hauteur de 1 à 9 % selon les sites et saisons. La contribution du sulfate non-océanique aux particules ultrafines s'élève en moyenne à 7 %. Les apports océaniques (cargos maritimes compris) interviennent pour 1 %. La fumée de cigarette et de bougie présente un apport négligeable. La contribution des activités de cuisson n'a pas pu être déterminée bien que mise en évidence par la présence d'acides oléiques et palmitoléiques (indicateurs de la cuisson d'aliments) dans les particules ultrafines intérieures. La part non-attribuée de la masse de particules ultrafines représente 33 % dont une fraction importante peut être due au nitrate d'ammonium. La quantification des contributions des sources ne varie que très peu selon les saisons aussi bien à l'intérieur qu'à l'extérieur. La contribution des sources intérieures aux concentrations de HAPs, hopanes et stéranes est négligeable. Celles-ci ont par contre un impact significatif sur les teneurs en alcanes et acides organiques. Ces résultats impliquent que les personnes âgées vivant dans les maisons de retraites peuvent être exposées à une part importante de particules $PM_{0,25}$ provenant du trafic routier extérieur alors qu'elles passent la plupart de leur temps à l'intérieur. Or, d'après les résultats d'une étude de la même équipe, les particules associées au trafic sont plus fortement associées à l'apparition d'effets sanitaires chez les personnes âgées comparativement aux autres particules.

Commentaires et conclusion du lecteur

Cette étude originale fournit des éléments sur la contribution des sources aux concentrations intérieures et extérieures de particules quasi-ultrafines ($PM_{0,25}$) dans la banlieue Est de Los Angeles. Leurs résultats sont vraisemblablement transposables à d'autres environnements urbains et péri-urbains à proximité d'axes à fort trafic routier. Par contre, l'environnement intérieur étudié est particulier puisqu'il s'agit de maisons de retraite de surcroît toutes équipées de centrales de traitement d'air. Il est, dès lors, difficile d'extrapoler ces résultats à d'autres espaces intérieurs avec des spécificités en termes d'occupation, de mode de ventilation et de sources intérieures différentes. Les nombreuses hypothèses avancées dans le choix et l'estimation des contributions des différentes sources sont bien discutées et argumentées par les auteurs. Il est toutefois regrettable que la contribution des activités de cuisson n'ait pu être évaluée faute de profil d'émission approprié. De même, le samedi et le dimanche ne sont pas pris en compte dans les mesures. Or, ces journées pourraient être associées à un surcroît d'activités intérieures et à une modification du trafic. L'inclusion du week-end pourrait par conséquent potentiellement limiter la part des sources extérieures au profit des activités intérieures. Il serait nécessaire de disposer de budgets espace-temps-activités des occupants pour confirmer ces hypothèses. Pour finir, le calcul des contributions a été réalisé par rapport à la masse de particules collectées. La fraction fine de l'échantillon ($0,1 - 0,25 \mu m$) a donc plus de poids que la fraction ultrafine ($< 0,1 \mu m$). Dès lors, les sources émettant de nombreuses particules de quelques dizaines de nanomètres de diamètre sont mal représentées. Il serait intéressant de coupler ce travail avec une quantification des contributions des sources au nombre de particules ou à la masse de la seule fraction ultrafine ($PM_{0,1}$).

Source : Arhami M., Minguillon M.C., Polidori A., Schauer J.J., Delfino R.J., Sioutas C. – 2010 – Organic compound characterization and source apportionment of indoor and outdoor quasi-ultrafine particulate matter in retirement homes of the Los Angeles Basin. *Indoor Air*; 20(1): 17-30.

Article analysé par : Olivier RAMALHO, Centre Scientifique et Technique du Bâtiment – Division Santé ; olivier.ramalho@cstb.fr

Autres articles d'intérêt sur la thématique LIEUX DE VIE :

Zhang and Zhu (2010) - Measurements of ultrafine particles and other vehicular pollutants inside school buses in South Texas. *Atmospheric Environment*. 44 (2): 253-261.

Yamamoto, Shendell et al. (2010) - Residential air exchange rates in three major US metropolitan areas: results from the Relationship Among Indoor, Outdoor, and Personal Air Study 1999-2001. *Indoor Air*. 20 (1): 85-90.



Effets sur la santé

Taux hormonaux et qualité du sperme liés aux concentrations en retardateurs de flamme organophosphorés dans les poussières de maison

Les retardateurs de flamme halogénés comme le pentabromodiphényléther (PBDE-5*)¹ tendent à être remplacés par d'autres produits du fait de leur persistance dans l'environnement et de leurs effets perturbateurs endocriniens. Les composés organophosphorés (OP*) sont une des alternatives utilisées. Cette étude, réalisée aux États-Unis, a évalué si les concentrations dans les poussières de maison de deux retardateurs de flamme OP (le phosphate de tris (1,3-dichloro-2-propyle) (TDCPP) et le phosphate de triphényle (TPP)) étaient corrélées aux taux hormonaux sanguins et à la qualité du sperme de sujets exposés. Un échantillon d'hommes a été recruté de 2002 à 2007 parmi les participants à une étude évaluant l'impact des facteurs environnementaux sur la reproduction. Des sacs à aspirateur pleins ont été collectés et analysés dans les logements de 50 sujets sélectionnés à partir de cet échantillon d'hommes, indépendamment de leur fertilité ou de leur exposition potentielle à des retardateurs de flamme OP. L'extraction, la purification et l'analyse des poussières présentes dans les sacs ont été conduites selon une méthodologie validée. Un seul prélèvement sanguin était fait par sujet pour les dosages hormonaux comprenant la mesure de testostérone, SHBG (sex hormone binding globuline), inhibine B, FSH, LH, estradiol, prolactine, T4 libre, T3 et TSH². L'index d'androgènes libres (FAI) était calculé comme la fraction molaire de la testostérone totale sur la SHBG. La qualité du sperme était évaluée selon une technique standardisée et validée permettant le comptage du nombre de spermatozoïdes et l'évaluation de leur morphologie et de leur mobilité. Une analyse multivariée par régression linéaire a été conduite, après ajustement sur l'âge et l'indice de masse corporelle, pour tester les relations entre les concentrations d'OP dans les poussières de maison, les taux hormonaux sériques et la qualité du sperme.

Le TDCPP et le TPP ont été détectés dans, respectivement, 96 % et 98 % des échantillons de poussière collectés dans les 50 logements. Les concentrations en TDCPP et en TPP variaient beaucoup selon les logements, allant de la limite de détection (respectivement 107 et 173 ng/g) jusqu'à des valeurs maximales de 56 µg/g et 1,80 µg/g. Une augmentation d'un intervalle interquartile (IQR)³ du TDCPP dans les poussières était associée à une augmentation de 17 % de la prolactine [IC à 95 %, 4 à 32 %] et à une diminution de 3 % de la T4 libre [IC à 95 %, - 5 % à - 1 %]. Une augmentation d'un intervalle interquartile (IQR) du TPP dans les poussières était associée à une augmentation de 10 % de la prolactine [IC à 95 %, 2 à 19 %] et à une baisse de 19 % du nombre de spermatozoïdes [IC à 95 %, - 30 % à - 5 %]. Une association inverse entre le TDCPP et l'index d'androgènes libres a été retrouvée mais la relation n'était plus significative après ajustement.



Une association entre les concentrations de TDCPP et de TPP et une altération des taux hormonaux et de la qualité du sperme est observée malgré la taille relativement faible de l'échantillon. La méthodologie de cette étude transversale ne permet pas de déterminer la temporalité des associations observées ni de conclure à une relation causale. La présence concomitante d'autres retardateurs de flamme que les OP ou d'autres substances, non mesurés dans cette étude, aurait pu influencer sur les résultats. Cependant, les auteurs ont montré dans une précédente étude⁴ que la moyenne géométrique du TDCPP et du TPP étaient du même ordre de grandeur que la somme des 34 congénères du PBDE et que les retardateurs de flamme OP n'étaient que modérément corrélés avec les retardateurs de flamme halogénés tels que les bromés. Une meilleure caractérisation de l'exposition aux retardateurs de flamme OP devrait passer par l'identification de biomarqueurs d'exposition sensibles et spécifiques et par une meilleure évaluation des voies d'exposition potentielles (poussières de maison, air, chaîne alimentaire).

1 L'EPA a fait paraître un rapport en mai 2010 : «An Exposure Assessment of Polybrominated Diphenyl Ethers. » accessible à l'adresse suivante : <http://cfpub.epa.gov/ncea/cfm/recordisplay.cfm?deid=210404>

2 La SHBG est une glycoprotéine qui lie les hormones sexuelles et régule ainsi leur biodisponibilité et contrôle leur accès vers les cellules cibles; l'inhibine B est une hormone qui participe à la régulation des cycles menstruels et de la spermatogénèse de même que les hormones FSH et LH; l'estradiol est une hormone majoritaire féminine qui agit pour le maintien de la fertilité et les caractères sexuels secondaires; la prolactine joue un rôle important au niveau des glandes mammaires, de la production de lait et de la libido; T3, T4 et TSH désignent des hormones thyroïdiennes, la THS stimulant la production de T3 et de T4.

3 L'intervalle interquartile correspond à la différence entre le percentile 75 % et le percentile 25 %. Il est considéré comme une bonne mesure de la dispersion des données d'une variable.

4 Stapleton H, Klosterhaus S et al. Detection of organophosphate flame retardants in furniture foam and U.S. house dust. *Environ Sci Technol* 43 [2009]: 7490-7495.

Commentaires et conclusion du lecteur

Cette étude est la première à évaluer les effets perturbateurs endocriniens de retardateurs de flamme OP qui remplacent en partie des produits considérés comme dangereux pour la santé comme le PBDE-5. Les effets observés : augmentation du taux de prolactine, diminution de la T4 libre, altération de la qualité du sperme, sont à prendre en considération car ils pourraient avoir un retentissement notable sur le métabolisme, la reproduction, la santé cardiovasculaire et le neurodéveloppement des sujets exposés. Peu de données toxicologiques sont disponibles pour permettre de mieux comprendre les mécanismes d'action en jeu. Cette première étude exploratoire est bien entendu insuffisante pour conclure et d'autres travaux évaluant l'exposition aux retardateurs de flamme OP et leurs effets sur la santé sont nécessaires.

Source : Meeker J and Stapleton H. House dust concentrations of organophosphate flame retardants in relation to hormone levels and semen quality parameters. ; *Environmental Health Perspectives*, 118(3) [2010]: 318-323

Article analysé par : Véronique EZRATTY, Service des Études Médicales d'EDF ; veronique.ezratty@edf.fr

Effets comparés de l'exposition aux moisissures de l'air extérieur par rapport à celles de l'air intérieur sur la morbidité de l'asthme chez des enfants habitant des « inner city » (quartiers défavorisés de centre ville) aux États-Unis

L'exposition aux moisissures chez les sujets atopiques semble être un facteur de risque d'asthme mais toutes les études épidémiologiques ne retrouvent pas ce lien, en raison entre autres de la difficulté de mesure de l'exposition. Aux États-Unis, dans les quartiers défavorisés de centre ville appelés « inner city », la prévalence de l'asthme chez les enfants est élevée (12,8 %) et de plus les conditions de logement sont souvent dégradées (absence de système de ventilation, fuites, présence d'animaux nuisibles) et favorables à la présence de moisissures. Dans ce contexte, les auteurs ont étudié l'influence de l'exposition aux moisissures de l'air intérieur et extérieur sur la symptomatologie de l'asthme chez des enfants asthmatiques résidant dans ces quartiers.

L'étude « Inner City Asthma study » (ICAS) est une étude d'intervention multicentrique réalisée aux États-Unis sur une période de suivi de 2 ans. Elle a pour objectif d'évaluer l'efficacité d'interventions environnementales pour réduire la morbidité et la sévérité de l'asthme chez 937 enfants, âgés 5 à 11 ans ayant un asthme persistant modéré à persistant sévère et habitant les quartiers défavorisés de centre ville. Sur l'échantillon de 469 enfants ayant eu au moins un test cutané positif vis-à-vis d'un extrait d'allergène fongique (*Alternaria alternata*, *Cladosporium herbarum*, *Penicillium chrysogenum* et *Aspergillus species mix*), les symptômes d'asthme sont recueillis de manière longitudinale tous les 2 mois par un enquêteur au cours d'un entretien téléphonique : il s'agit du nombre maximal de jours (variable MSDs) sur une période de 2 semaines au cours desquels 1- l'enfant a eu des sifflements, de la toux et de l'essoufflement, 2- l'enfant a été réveillé par l'asthme et 3- l'enfant a été ralenti dans ses activités quotidiennes à cause de l'asthme. Les consultations médicales programmées et non programmées aux urgences (variable UVs) sont aussi demandées. Parallèlement, des mesurages répétés par culture sur milieu gélosé DG-18, de spores fongiques dans l'air intérieur et à l'extérieur du logement ont été réalisés à l'aide d'un échantillonneur d'air Burkard® sur la période de suivi des enfants : au total cinq prélèvements ont été effectués, à l'étape de référence, puis tous les 6 mois jusqu'à l'âge de 2 ans.

Parmi les 469 enfants, la prévalence de sensibilisation vis-à-vis du genre *Alternaria* est la plus élevée (36 %) suivie de celle des genres *Aspergillus* (27 %), *Cladosporium* (18 %) et *Penicillium* (13 %). Ces enfants ont aussi significativement plus de symptômes d'asthme par rapport à ceux (n = 467) ayant un test cutané aux allergènes fongiques négatif (respectivement MSDs = 6,3 vs 5,7 pour 2 semaines ; p=0,04). L'article présente les résultats issus de la construction de trois modèles linéaires mixtes prédisant le nombre de jours supplémentaires où les enfants ont eu des symptômes d'asthme et

les visites non programmées aux urgences sur une période de 2 semaines en fonction de l'augmentation d'un facteur 10 des concentrations en moisissures 1- dans l'air extérieur, 2- dans l'air intérieur et 3- dans l'air intérieur ajustées sur celles de l'air extérieur. Le nombre de jours supplémentaires où les enfants ont eu des symptômes d'asthme est significativement associé à une augmentation d'un facteur 10 des concentrations dans l'air extérieur des moisissures totales, de la somme des 4 principaux genres (*Alternaria*, *Aspergillus*, *Cladosporium* et *Penicillium*) et de chacun de ces genres analysés séparément à l'exception du genre *Aspergillus*. Des associations significatives sont aussi retrouvées avec les concentrations en moisissures de l'air intérieur à l'exception de celles du genre *Alternaria*. Enfin, les modèles ajustant les concentrations intérieures en moisissures sur celles de l'extérieur ne montrent plus d'association significative sauf pour le genre *Penicillium* pour lequel on observe un nombre de jours en excès de 1,19 ($p=0,03$). En ce qui concerne la variable UVs, aucune association n'est observée avec les moisissures de l'air extérieur à l'exception du genre *Aspergillus*. Par contre, l'augmentation des concentrations en moisissures totales, de celles de la somme des 4 genres ainsi que celles du genre *Penicillium* dans l'air intérieur est significativement associée à un risque plus élevé de consultation aux urgences. Ces associations persistent après ajustement sur les niveaux de moisissures de l'air extérieur. Les auteurs observent aussi que les effets de l'exposition à chacun des 4 genres de moisissures sur les variables MSDs et UVs sont plus importants chez les enfants ayant un test cutané positif vis-à-vis de l'allergène fongique étudié par rapport à ceux dont le test cutané est négatif pour cet allergène spécifique (il est à noter que le test cutané est positif à au moins un autre allergène fongique).

Ces résultats montrent que la sensibilisation vis-à-vis des allergènes fongiques et l'exposition aux moisissures contribueraient de façon indépendante à la symptomatologie de l'asthme chez ces enfants issus de milieux économiquement défavorisés. En effet, l'exposition aux moisissures de l'air extérieur serait plus associée à l'altération des activités quotidiennes liée à la gêne respiratoire (variable MSDs) alors que celle de l'air intérieur et notamment au genre *Penicillium* influencerait l'aggravation des symptômes d'asthme reflétée par les visites aux urgences (variable UVs). Ces résultats pourraient s'expliquer par des différences d'intensité d'exposition, qui serait plus importante et plus longue à l'intérieur de logements dégradés et mal ventilés qu'à l'extérieur, survenant sur des périodes plus courtes. L'exposition des enfants aux moisissures de l'air intérieur serait donc responsable de symptômes d'asthme plus sévères. Ces résultats devraient permettre d'identifier de nouvelles stratégies d'intervention environnementale dans ces populations pour réduire la morbidité et la sévérité de l'asthme.

Source : J. A. Pongracic, G. T. O'Connor, M. L. Muilenberg *et al.* – 2010 - Differential effects of outdoor versus indoor fungal spores on asthma morbidity in inner-city children. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 125 (3), Pages 593-599.

Article analysé par : Claire Dassonville, CSTB, DASES - Mairie de Paris ; dassonvilleclaire@hotmail.com

Commentaires et conclusion du lecteur

Les points forts de cette étude sont à la fois le recueil prospectif des symptômes d'asthme et la mesure de l'exposition aux moisissures par des mesurages répétés sur la période de suivi de 2 ans sur un échantillon relativement large d'enfants. Cette répétition des mesures permet de mieux approcher l'exposition aux moisissures sur la période de suivi malgré les limites méthodologiques connues de l'échantillonnage d'air par impaction, bien commentées par les auteurs dans la discussion. Cinq prélèvements d'air extérieur et intérieur ont été réalisés en duplicat, ce qui, au total, revient à avoir effectué et analysé 9400 prélèvements d'air sur 2 ans. Ce chiffre rend compte de l'ampleur du travail tant en termes de temps et d'organisation que du coût financier et explique pourquoi dans la plupart des études épidémiologiques à large échelle, la mesure de l'exposition est souvent basée sur un mesurage unique ou sur la déclaration par les sujets eux-mêmes de la présence d'humidité ou de moisissures dans leur logement, d'où une incertitude dans l'évaluation de l'exposition aux moisissures et à leurs allergènes. C'est en partie pour cette raison que les études épidémiologiques précédentes ne montraient pas de lien très clair entre l'exposition aux moisissures, la sensibilisation vis-à-vis des allergènes fongiques et la maladie asthmatique. Il est à noter que dans cette étude, les modèles statistiques construits sont ajustés sur les niveaux de la plupart des allergènes communément retrouvés dans les logements des quartiers défavorisés (chat, chiens, acariens, blattes et rongeurs) mais pas sur les comptages polliniques dans l'air extérieur ce qui pourrait biaiser les associations observées avec les moisissures de l'air extérieur. Les résultats obtenus sont cohérents avec ceux de publications antérieures et semblent relativement stables même lorsque les critères de positivité des tests cutanés sont plus stricts. Néanmoins, ils ne sont observés que sur une population très spécifique d'enfants vivant dans des quartiers défavorisés et ayant au moins un test cutané positif vis-à-vis des allergènes fongiques.



Effets sur la santé

Exposition aux composés organiques semi-volatils au domicile et symptômes de type syndrome des bâtiments malsains

Cette étude s'inscrit dans un suivi longitudinal relatif aux symptômes de type syndrome des bâtiments malsains (irritations des yeux, du nez et de la gorge, maux de tête, fatigue...) chez les occupants de pavillons à Sapporo, Japon (1,9 million d'habitants). Débuté en 2003 dans 576 maisons et s'étant intéressé les premières années aux expositions aux COV*, aldéhydes, allergènes d'acariens et moisissures, ce suivi s'est tourné, en 2006, vers les composés organiques semi-volatils (COSV*). De l'échantillon initial étaient encore volontaires 41 foyers, représentant 134 personnes

dont 33 déclarant souffrir de symptômes de type SBS* (Sick Building Syndrome – Syndrome des Bâtiments Malsains).

Lors de la première visite, un questionnaire auto-administré était distribué à tous les occupants du foyer afin de renseigner les symptômes survenus les trois mois précédents (chaque semaine, parfois ou jamais) ; le chef de famille documentait par ailleurs les caractéristiques du logement et les habitudes de vie (pratiques de nettoyage, d'aération...). Le dispositif pour un prélèvement actif d'air (phases gazeuse et particulaire) d'une durée de 48 heures était installé dans le salon. Les questionnaires étaient récupérés par les enquêteurs à la seconde visite, simultanément aux prélèvements d'air. De plus, dans le salon, les poussières du sol et des surfaces (mobilier, étagères...) étaient collectées séparément avec un aspirateur. Les composés recherchés étaient 7 esters de phtalates (communément appelés phtalates), 1 ester d'adipate, 11 esters de phosphate, 2 alkylphénols et 1 composé organochloré, le s-421 (N°CAS 127-90-2) utilisé comme synergiste d'insecticides organochlorés (i.e. augmentant leur activité). Les résultats ont été analysés par régression logistique binomiale avec le logiciel SPSS, avec ajustement sur le sexe, l'âge (tranches de 10 ans), l'historique d'allergie et le temps passé à la maison (12 heures ou moins dans le logement ; plus de 12 heures à domicile). Successivement ont été introduites comme co-variables dans le modèle l'odeur de moisi et la présence de condensation dans le logement.

Cinq phtalates et trois des esters de phosphate ont été détectés dans tous les prélèvements d'air (parmi les phtalates, concentration maximale mesurée pour le DEHP : 1 660 ng/m³, et parmi les phosphates, pour le tris(2-chloro-isopropyl)phosphate : 2 660 ng/m³). Le dibutylhydroxytoluène a été mesuré dans tous les échantillons à de fortes concentrations (max. = 3 510 ng/m³), tandis que le 4-nonylphénol et le s-421 ont été peu à moyennement détectés (respectivement 13 et 40 %). Dans les poussières du sol, comme des surfaces, le composé le plus détecté (dans 100 % des prélèvements) et en concentrations les plus fortes était le DEHP. S'agissant des associations avec les symptômes du type SBS, le tributylphosphate dans les poussières du sol apparaît le plus fortement corrélé à l'irritation des muqueuses (Odd Ratio (OR*) = 14 ; IC_{95%} = 3,1-66 ; p < 0,01). Des associations inverses sont constatées entre ce type d'effet et le tris(2-butoxyethyl)phosphate dans les poussières du sol (OR = 0,3 ; IC_{95%} = 0,1-0,6 ; p < 0,01). Des associations positives entre le DEHP dans les poussières du sol et l'irritation des muqueuses sont observées, mais elles ne sont pas significatives (OR = 2,4 ; IC_{95%} = 0,7-7,9).

Les auteurs soulignent clairement les limites de leur étude, la principale étant la très faible puissance. Ils estiment qu'un nombre minimal de 1 000 sujets serait nécessaire pour mettre en évidence les liens entre la présence de certains composés dans les poussières et les effets d'irritation des muqueuses. Par ailleurs, ils reconnaissent que le relevé des symptômes, par auto-questionnaire, est largement subjectif, notamment chez les enfants, chez qui parfois ce sont les parents qui ont documenté les effets (le nombre exact d'enfants n'est pas précisé, mais sur 134 personnes, 47 avaient moins de 20 ans).

Enfin, ils rappellent le biais de sélection des personnes recrutées ; sachant que 29 des 33 logements enquêtés présentaient des moisissures visibles, on peut effectivement penser que les personnes conscientes de leur environnement intérieur dégradé étaient plus volontaires pour poursuivre le suivi longitudinal.

Commentaires et conclusion du lecteur

Cette étude est tout à fait nouvelle à double titre. D'une part, elle examine les liens entre COSV et symptômes de type SBS, liens jamais envisagés dans les précédents travaux sur le SBS. D'autre part, elle inclut la mesure des concentrations dans l'air et les poussières du logement d'un grand nombre de composés. Les quelques études qui, à ce jour, ont mis en avant les effets sanitaires potentiels des expositions aux COSV dans l'environnement intérieur se sont intéressées uniquement aux phtalates et aux pesticides/biocides (pour ces derniers, l'exposition était le plus souvent évaluée par questionnaire). Pour les autres substances considérées par Kanazawa et al., aucune étude en population générale n'existe ; ce sont les résultats des études chez l'animal qui ont motivé leur intégration. Cependant, le faible nombre de sujets constitue une limite majeure, clairement soulignée par les auteurs, qui réduit la portée des résultats. D'un point de vue méthodologique, l'étude reste intéressante. Au final, on retiendra qu'elle appelle à la poursuite des travaux sur les niveaux de contamination des bâtiments par les COSV et les potentiels effets sur la santé associés, et à la prise en compte de nouvelles substances, qualifiées d'ailleurs de « COSV de demain » lors de la dernière conférence Healthy Buildings, en septembre 2009.

Source : Kanazawa, Saito et al. (2010) - Association between indoor exposure to semi-volatile organic compounds and building-related symptoms among the occupants of residential dwellings. *Indoor Air*. 20 (1): 72-84.
Article analysé par : Corinne MANDIN, Centre scientifique et technique du bâtiment – CSTB ; corinne.mandin@cstb.fr



Effets sur la santé

Exposition au formaldéhyde et asthme de l'enfant, une analyse combinée des études épidémiologiques

Les résultats d'études épidémiologiques sur l'association entre exposition au formaldéhyde et asthme de l'enfance semblent manquer de cohérence. Cette étude a pour objectif, après un inventaire systématique des études disponibles, de réaliser une analyse combinée (méta analyse) des résultats dans le but de fournir une image plus cohérente de cette association.

La recherche bibliographique a identifié sept études de bonne qualité scientifique fournissant des résultats quantitatifs sur l'association formaldéhyde / asthme chez l'enfant. Ces études (cinq transversales, une cas-témoin et une cohorte) représentent un ensemble de 5 930 participants dont

364 cas d'asthme. Trois autres études n'ont pas été retenues parce que l'exposition n'était pas quantifiée. Les études sont hétérogènes pour la définition de l'asthme : auto rapporté (5 études), diagnostic médical (2). Trois études ont mesuré l'exposition à la maison, trois à l'école et une à l'école et à l'extérieur. Dans ce dernier cas, les deux types d'exposition ont été considérés séparément. Les Odd Ratios (OR*) et les intervalles de Confiance à 95 % (IC 95 %) ont été extraits des résultats publiés ou calculés à partir des données fournies de manière à être tous exprimés pour la même augmentation du formaldéhyde dans l'air. L'OR combiné est calculé en utilisant des modèles à effets fixes ou aléatoires en pondérant le poids de chaque OR par l'inverse de sa variance. L'hétérogénéité est évaluée par les tests statistiques Q et I². Le premier indique si l'hétérogénéité est statistiquement significative. Le second calcule la proportion de la variabilité attribuable à l'hétérogénéité. Les valeurs I² de 25, 50 et 75 % indiquent une hétérogénéité faible, modérée et forte. Le modèle à effets fixes est approprié uniquement dans le cas d'un I² infé-

rieur à 50 %, autrement le modèle à effet aléatoire est utilisé. L'OR_{combiné} pour une augmentation de 10 µg/m³ de formaldéhyde dans l'air obtenu avec le modèle fixe est de 1,030 [1,020-1,040] et de 1,17 [1,02-1,22] avec le modèle aléatoire. L'une des études occupe 99 % du poids relatif. Le retrait de cette étude modifie les résultats en harmonisant les deux modèles : à effets fixes OR_{combiné} = 1,24 [1,09-1,42], à effets aléatoires OR_{combiné} = 1,24 [1,07-1,45]. L'OR_{combiné} a été stratifié selon différentes caractéristiques des études (tableau 1). Il est plus élevé quand l'asthme est auto rapporté, quand l'étude est de type cohorte ou transversale ou quand l'exposition est mesurée à l'école et que le taux de participation dans l'étude est supérieure à 60 %. Au total, les résultats indiquent une relation positive entre exposition des enfants au formaldéhyde et asthme, caractérisée par une relation dose réponse croissante de 17 % d'incidence de l'asthme par 10 µg/m³ de formaldéhyde.

Tableau 1 : OR_{combiné} par 10 µg/m³, selon le modèle fixe ou le modèle aléatoire et stratifiés selon les caractéristiques d'étude (McGwin, 2010)

	n	Modèle à effet fixe			Modèle à effet aléatoire		
		OR (IC95%) par 10 µg/m ³	p-Value	Q	I ²	OR (IC95%) par 10 µg/m ³	p-Value
Toutes les études	7	1,03 (1,02-1,04)	< 0,0001	14,28	51	1,17 (1,01-1,36)	0,0202
Exclusion étude sur pondérée	6	1,24 (1,09-1,42)	0,0013	6,76	11,3	1,24 (1,07-1,45)	0,0026
Méthode diagnostique							
Auto rapporté	6	1,21 (1,02-1,46)	0,0158	6,66	24,9	1,26 (0,97-1,64)	0,0446
Diagnostic médical	2	1,03 (1,02-1,04)	< 0,0001	4,22	76,3	1,12 (0,88-1,44)	0,1711
Type d'étude							
Cohorte	1	1,20 (0,80-1,70)	0,1711				
Cas-témoin	1	1,03 (1,02-1,04)	< 0,0001				
Transversale	6	1,25 (1,08-1,44)	0,0013	6,72	25,6	1,26 (1,03-1,55)	0,0122
Lieu d'exposition							
Logement	3	1,03 (1,02-1,04)	< 0,0001	4,29	53,4	1,10 (0,95-1,27)	0,1056
École	4	1,32 (1,05-1,66)	0,0082	3,48	13,8	1,33 (1,02-1,74)	0,0179
Taux de participation							
> 60%	4	1,34 (1,00-1,81)	0,0519	5,66	29,3	1,43 (0,92-2,23)	0,1139
Inconnu	3	1,03 (1,02-1,04)	< 0,0001	4,29	30,1	1,09 (0,96-1,25)	0,1924

Les trois études exclues faute d'avoir quantifié l'exposition indiquent également une relation positive entre formaldéhyde et asthme de l'enfant. L'hétérogénéité des études incluses est modérée, elle devient faible lorsque celle qui a la plus faible variance est exclue. Cette dernière est également la seule à avoir étudié des enfants de moins de 2 ans, population plus vulnérable. D'autres limites sont mentionnées par les auteurs : le biais de participation, le fait que certains OR sont ajustés et d'autre pas (l'OR combiné est donc susceptible de confusion résiduelle), l'impossibilité d'établir la temporalité exposition / maladie dans les études transversales (6 études sur 8) et les mesures non personnelles de l'exposition. L'OR combiné vaut pour la prévalence de l'asthme ce qui n'est pas satisfaisant au plan de la causalité.

En conclusion, même si les preuves d'une relation causale entre formaldéhyde et asthme chez l'enfant ne sont pas encore tout à fait satisfaisantes, cette analyse combinée concourt positivement au faisceau des preuves disponibles. Les auteurs recommandent la réalisation d'études épidémiologiques prospectives.

Commentaires et conclusion du lecteur

Cette étude n'aborde pas la question du degré de sévérité de l'asthme, pourtant au plan étiologique cela revêt une certaine importance. Les facteurs environnementaux associés à l'augmentation de la fréquence de l'asthme sont nombreux et peuvent être corrélés entre eux. Une description des mécanismes biologiques rendant plausible l'association entre asthme et formaldéhyde (effet irritatif local) aurait donné

plus de poids à la discussion de l'étude. Malgré ces faiblesses, sa principale qualité est de fournir une relation dose réponse robuste de même nature que celles données par les études épidémiologiques par exemple pour l'exposition au NO₂* ambiant et l'asthme infantile. Son existence change l'état des connaissances constaté par l'AFSSET* en 2007 : « *Il n'y a pas de modèle dose-réponse pour les effets non cancérigènes locaux liés aux expositions de formaldéhyde par inhalation* »¹. Combinée aux données d'exposition de l'OQAI*, cette relation dose réponse permettrait de mieux évaluer les impacts sanitaires du formaldéhyde dans l'air intérieur en France.

1 AFSSET, CSTB. Valeur guide de qualité de l'air intérieur. Le formaldéhyde. Juillet 2007, p83. http://www.afsset.fr/upload/bibliotheque/815908201109553246969584471508/VGAI_formaldehyde.pdf

Source : McGwin G.Jr., Lienert J., Kennedy J.I. Jr. - 2010 - Formaldehyde Exposure and Asthma in Children: A Systematic Review. Environ Health Perspec ; 118, 3 :313-17.

Article analysé par : Vincent Nedellec, VNC, vincent.nedellec@vnc-sante.fr

Autres articles d'intérêt sur la thématique EFFETS SUR LA SANTE :

Canova, Torresan et al. (2010) - Carbon monoxide pollution is associated with decreased lung function in asthmatic adults. European Respiratory Journal. 35 (2): 266-272.

de Hartog, Ayres et al. (2010) - Lung function and indicators of exposure to indoor and outdoor particulate matter among asthma and COPD patients. Occupational and Environmental Medicine. 67 (1): 2-10.

Expologie - Evaluation des risques sanitaires

Articles d'intérêt sur la thématique ÉVALUATION DES RISQUES SANITAIRES :

Grass, Ross et al. (2010) - Airborne particulate metals in the New York City subway: A pilot study to assess the potential for health impacts. Environmental Research. 110 (1): 1-11.

Gestion technique

Décomposition photocatalytique de polluants d'origine automobile à l'aide d'un réacteur à flux continu

Depuis quelques années, différents procédés de traitement ou de purification d'air sont proposés sur le marché ; les principaux modes d'action utilisés reposent soit sur un piégeage des polluants chimiques avec le charbon actif par exemple, soit sur une destruction des polluants (photocatalyse, plasma froid...), soit de manière plus marginale sur une épuration par les plantes.

La photocatalyse est un procédé qui conduit, par oxydation, à la destruction des composés organiques volatils par décomposition en dioxyde de carbone et en eau¹, lorsque l'oxydation est complète. Cette étude coréenne vise à tester les capacités d'élimination d'un système de photocatalyse en continu vis-à-vis de deux polluants rencontrés dans les habitacles de voitures et à évaluer la faisabilité de l'application d'un système embarqué à l'intérieur d'un véhicule. Les deux polluants étudiés sont le méthyltertiobutyléther (MTBE) et le naphthalène (HAP* très abondant dans les carburants) ; l'influence de la présence de trichloréthylène (TCE*) a été testée. Le réacteur photocatalytique testé, de forme géométrique annulaire, est constitué d'un tube en pyrex avec des parois internes recouvertes de dioxyde de titane (catalyseur) et d'une source de lumière UV insérée dans la structure du tube. Plusieurs paramètres du dimensionnement du réacteur ont été testés afin d'optimiser sa capacité d'épuration tout en étant compatible avec une intégration véhicule (quelques dizaines de millimètres) : diamètre aérodynamique du tube, débit d'écoulement du flux d'air (ajustement de la vitesse de flux en fonction du diamètre du tube de manière à avoir un temps de résidence constant de 5 secondes), humidité relative et composition de l'échantillon d'air testé (MTBE ou naphthalène seuls ou en mélange avec du TCE). Ont été fixés les paramètres suivants : concentrations des polluants (respectivement 25, 10 et 45 ppb pour le MTBE, le naphthalène et le TCE), intensité de la source UV (8W) et teneur en dioxyde de titane à la surface du revêtement (0,5 mg/cm²). Les concentrations de polluants testées correspondent aux teneurs attendues dans l'habitacle des voitures (MTBE) ou dans l'air ambiant (TCE).

Les résultats montrent que la capacité de dégradation du réacteur photocatalytique vis-à-vis des deux composés testés est dépendante du diamètre du tube, de l'humidité relative, de la nature du mélange et du débit d'écoulement. Globalement, le système d'oxydation photocatalytique offre une forte capacité de dégradation dans les conditions d'expérience (proche de 100 % dans certaines conditions) ; l'efficacité de la dégradation s'avère un peu plus faible pour le naphthalène que pour le MTBE. Confirmant ce qui avait déjà été montré expérimentalement, les résultats indiquent que le TCE favoriserait la dégradation photocatalytique des composés aromatiques volatils comme le naphthalène. Concernant le potentiel de formation de sous-produits ou produits secondaires, les résultats indiquent une formation limitée de CO*.

Selon les auteurs, cette étude de faisabilité technique montre que le système testé peut être embarqué dans les véhicules automobiles pour diminuer les teneurs en MTBE et en naphthalène et ainsi améliorer la qualité de l'air dans l'habitacle. De plus, il est confirmé que la présence de TCE aux niveaux généralement retrouvés dans l'air ambiant des zones urbaines augmenterait l'efficacité de dégradation du système photocatalytique vis-à-vis du naphthalène. N'ayant exploré que la formation secondaire de CO, les auteurs recommandent que des travaux complémentaires renseignent, dans des conditions expérimentales similaires à celles mises en œuvre dans cette étude, le potentiel de génération d'autres espèces secondaires comme le phosgène par exemple.

Commentaires et conclusion du lecteur

Alors que la littérature scientifique sur les systèmes de traitement de l'air intérieur est de plus en plus riche² et que l'offre commerciale en termes de procédés de traitement de l'air ou purificateurs d'air s'étoffe régulièrement, l'efficacité réelle et comparée de ces appareils photocatalytiques reste encore difficile à estimer (absence de protocole d'essai normalisé à ce jour, essais sur des polluants pris individuellement...) et leur innocuité reste sujette à controverse en raison du potentiel de formation de produits ou espèces secondaires qui reste trop rarement évalué dans les études.

Si le choix et la pertinence des deux polluants testés auraient mérité d'être précisés par les auteurs, leurs résultats confirment que, dans les conditions expérimentales testées, la photocatalyse permet de réduire de plus de 60 % la pollution intérieure en un seul passage (ordre de grandeur généralement retrouvé dans des études similaires) et s'avère ainsi efficace vis-à-vis des polluants étudiés. Si la capacité d'élimination est donc globalement satisfaisante pour ces deux polluants, on peut cependant regretter que le design d'étude proposé n'ait pas permis d'étudier la capacité de génération d'espèces secondaires autres que le CO (par exemple, formaldéhyde, acétaldéhyde, voire du phosgène comme le suggèrent les auteurs eux-mêmes). L'absence de réelle estimation de la formation de produits secondaires limite la portée des résultats de ces études sur les procédés d'épuration et ne permet pas réellement de juger de leur innocuité dans des conditions d'utilisation in situ.

1 Au contraire des procédés de traitement d'air par piégeage des polluants - comme le charbon actif par exemple.

2 On recense par exemple 3 autres articles sur cette thématique dans la veille scientifique RSEIN du présent bulletin : Lu, 2009 ; Vildoza, 2010 ; Hochmannova, 2010.

Source : Wan-Kuen Jo, Seung-Ho Shin. Photocatalytic decomposition of mobile-source related pollutants using a continuous-flow reactor. Journal of Environmental Sciences 2010, 22(3), 460-466.

Article analysé par : Luc Mosqueron, Veolia Environnement Recherche et Innovation, Pôle Evaluation et Veille Sanitaire, Rueil-Malmaison ; luc.mosqueron@veolia.com

Autres articles d'intérêt sur la thématique GESTION

Huss, Kooijman et al. (2010) - Fine particulate matter measurements in Swiss restaurants, cafés and bars: What is the effect of spatial separation between smoking and non-smoking areas? Indoor Air. 20 (1): 52-60.

Jo and Shin (2010) - Photocatalytic decomposition of mobile-source related pollutants using a continuous-flow reactor. Journal of Environmental Sciences. 22 (3): 460-466.

Autres articles d'intérêt : articles de synthèse parus récemment dans la littérature

Mas, de Juan et al. (2010) - Application of chemometric methods to environmental analysis of organic pollutants: A review. Talanta. 80 (3): 1052-1067.

Aubriet and Carré (2010) - Potential of laser mass spectrometry for the analysis of environmental dust particles--A review. Analytica Chimica Acta. 659 (1-2): 34-54.

Chen, Lee et al. (2010) - Ventilation performance prediction for buildings: Model assessment. Building and Environment. 45 (2): 295-303.

Nalbone (2010) - Pollution par les particules atmosphériques fines et ultrafines et risque cardiovasculaire. Médecine & Longévité. 2 (1): 22-39.

Sublett, Seltzer et al. (2010) - Air filters and air cleaners: Rostrum by the American Academy of Allergy, Asthma & Immunology Indoor Allergen Committee. Journal of Allergy and Clinical Immunology. 125 (1): 32-38.

Publications

Travaux de l'EPA Californie

Des publications récentes sur l'air intérieur sont présentées sur le site de l'Agence pour la Protection de l'Environnement californienne :

Ultrafine particle concentrations in schoolrooms and homes
Principal Investigator: William W. Nazaroff. University of California, Berkeley. 2010. 05-305

Assessment of health impacts of particulate matter from indoor air sources - phase 1: development of in vitro methodology.
Principal Investigator: Fumio Matsumura. University of California, Davis. 2010. 05-302

Ultrafine particle concentrations in schoolrooms and homes.
Principal Investigator: William W. Nazaroff. University of California, Berkeley. 2010. 05-305

<http://www.arb.ca.gov/research/apr/past/indoor.htm>

Radon: l'OMS recommande un seuil de 100 Bq/m³

Un oubli dans les précédent Bulletin RSEIN : en septembre 2009, l'OMS* a révisé le seuil acceptable d'exposition au Radon en recommandant d'être en deçà de 100 Bq/m³. Le guide, issu de la concertation d'une centaine d'experts s'appuyant sur les études récentes, mentionne également les techniques efficaces permettant de baisser rapidement le taux de Radon dans les environnements intérieurs.

<http://www.journaldelenvironnement.net/article/radon-l-oms-recommande-un-seuil-de-100-bq-m3,13359>

<http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs291/fr/index.html>

Le HCSP* préconise l'abaissement des normes de radon

A la suite de l'OMS, le HCSP a également proposé d'abaisser les seuils de Radon préconisés dans les lieux recevant du public en passant de 1000 à 300 Bq/m³. Ce seuil est une étape et devra à terme atteindre également les 100 Bq/m³ recommandés par l'OMS. Il faut toutefois noter que dans certaines régions françaises, la concentration naturelle atmosphérique dépasse parfois les 100 Bq/m³.

<http://www.journaldelenvironnement.net/article/le-hcsp-preconise-l-abaissement-des-normes-de-radon,17291>

Les premiers bulletins de l'OQAI

L'Observatoire de la qualité de l'air intérieur (OQAI) publie depuis cette année un bulletin d'informations sur ses travaux en cours. Le n°1 (mai 2010) traite des crèches et lieux d'enseignement. Il présente les principaux résultats d'une étude sur l'aération par ouverture des fenêtres et la création d'un indice de confinement de l'air intérieur, aujourd'hui déployé dans une centaine de salles de classe de trois régions françaises aux climats contrastés. Par ailleurs, des études spécifiques s'intéressent à la qualité microbienne de l'air des crèches et aux émissions de composés organiques volatils par les produits d'entretien et les fournitures scolaires. Enfin, le bulletin présente la future campagne nationale dans les écoles maternelles et élémentaires qui vise à acquérir une connaissance plus complète des niveaux d'exposition des enfants aux polluants de l'air dans ces locaux : particules, composés organiques volatils et semi-volatils, métaux, allergènes...

Dans le n°2 (juin 2010), les conclusions d'une journée technique organisée le 6 mai 2010 et ayant réuni les équipes de recherche travaillant sur l'épuration de l'air intérieur par les plantes sont présentées. En effet, compte tenu des fortes attentes du public sur ces techniques de remédiation très mises en avant, l'OQAI a souhaité faire un état des connaissances sur le sujet, en partenariat avec l'ADEME* et la Faculté de pharmacie de Lille. Le bulletin n°2 présente les grandes lignes des travaux conduits dans les autres pays et en France via notamment le programme Phytair.

Pour plus d'informations, télécharger les bulletins sur le site web : <http://www.air-interieur.org/>

Thèse

Évaluation des expositions humaines aux particules ultrafines dans l'environnement domestique

Xiaolin Ji, xiaolin.ji@ineris.fr

Ces travaux ont été financés dans le cadre des programmes propres de l'INERIS : programmes de recherche et d'appui au MEEDDM (programmes de la DGPR*). Ils ont également bénéficié du soutien financier de l'Agence Française de Sécurité Sanitaire de l'Environnement et du Travail (AFSSET*).*

Il existe actuellement de nombreuses interrogations concernant les expositions aux particules ultrafines (PUF*) dans les environnements intérieurs ainsi que sur leurs effets sur la santé. Notre étude s'est attachée à apporter des éléments de réponse quant à l'exposition des personnes. Le travail, réalisé en deux étapes, a dans un premier temps enrichi les données sur les émissions des sources de particules ultrafines dans l'environnement domestique, puis a développé des méthodes d'évaluation de l'exposition.

Deux campagnes de mesures (été, hiver), au cours de la phase de caractérisation des sources domestiques, ont permis de documenter la contribution à la pollution particulaire de 13 sources dans une maison expérimentale. Une source a été prise comme référence (l'encens) afin de proposer une méthodologie d'exploitation et d'analyse des résultats applicable aux autres sources de particules ultrafines. Cette approche de caractérisation des sources, mises en œuvre indépendamment, a permis d'une part de hiérarchiser les sources de particules ultrafines en fonction de leur importance relative (impact élevé : cuisson, chauffage d'appoint, grille-pain, impact modéré : encens, cigarette, bougie et impact faible : spray désodorisant, aspirateur, sèche-cheveux) par comparaison au bruit de fond ; d'autre part de mettre en évidence la diffusion de la pollution émise par une source à partir d'une pièce dans les autres pièces du logement, y compris pour des sources d'impact modéré comme l'encens.

Les niveaux de particules ultrafines en masse, en nombre et en surface spécifique ont été documentés durant les deux campagnes. La comparaison des différents paramètres suggère que la concentration en nombre reste la méthode la plus fiable pour le suivi des particules ultrafines, avec les appareils actuellement disponibles.

Une des originalités de ce travail a été d'étudier également l'impact de différents niveaux de ventilation, avec la mise en évidence et la quantification de l'effet positif de l'augmentation du renouvellement de l'air sur la concentration en particules (ex : diminution de 40 % de la concentration en nombre lorsque la ventilation passe d'un niveau 1 à un niveau 2).

Afin d'évaluer l'exposition d'une personne aux PUF dans son environnement domestique, une « journée-type week-end » a été établie. Elle correspond à un protocole bien précis d'activités domestiques mises en œuvre successivement dans la maison.

La mesure des expositions aux particules (incluant les particules ultrafines) sur une journée-type est une nouvelle façon de quantifier l'exposition humaine. Les résultats issus des mesures de la journée-type proposée peuvent être utilisés pour l'estimation de l'exposition réelle aux particules dans différentes pièces d'un habitat.

L'évaluation de l'exposition humaine aux particules ultrafines s'est appuyée sur une démarche multi étapes. La première étape a consisté à établir une estimation de l'impact global des sources sur la qualité de l'air prenant en compte l'impact de chaque source sur l'ensemble de la maison. L'étude de l'impact global des sources a conduit à la hiérarchisation décroissante suivante : cuisson des steaks, chauffage d'appoint, grille-pain, encens, cigarette, bougie, sèche-cheveux, aspirateur, spray désodorisant, spray laque.

La seconde étape a été de calculer un indicateur global d'exposition, prenant en compte la fréquence d'usage des sources et les dispositifs de ventilation du logement (VMC*, hotte aspirante). Ce travail est basé sur des réponses par questionnaire concernant la fréquence d'usage des sources étudiées. Au final, il est possible d'attribuer des scores par foyer et ainsi de classer ceux-ci dans l'échantillon interviewé.

Il est également possible d'identifier les sources majeures contribuant à la pollution particulaire dans un foyer et ainsi de proposer des solutions pour diminuer celle-ci.

La troisième étape a consisté à proposer des scénarii d'exposition selon les Budget-Espace-Temps-Activité des individus et leur statut, distinguant l'opérateur mettant en œuvre les sources et l'occupant « passif » du logement. Les expositions pondérées de quatre scénarii ont ainsi été comparées. L'opérateur mettant en œuvre les sources est 1,5 fois plus exposé aux particules ultrafines que l'individu moyen. Le sujet passant la majeure partie de son temps dans la pièce apparue comme la plus polluée (la cuisine) est exposé 2 à 3 fois plus exposé que l'individu moyen.

Enfin, l'exposition journalière d'une personne a également été construite à partir des données d'émission des sources et du temps passé dans les pièces de la maison selon la journée-type. Les résultats obtenus avec cette méthode ont été comparés à l'exposition mesurée : une différence de 17 % a été observée, l'exposition calculée étant minorée. Cette variation paraît acceptable compte-tenu des incertitudes liées notamment aux appareils de mesure des particules ultrafines. Cette approche offre des possibilités d'estimer les différentes expositions aux particules (notamment ultrafines) à partir des données météorologiques disponibles et de Budgets-Espace-Temps-Activité précis.

Les annonces de manifestations

Journées Techniques RSEIN / OQAI : les particules dans l'air intérieur, les 22 & 23 novembre 2010 à l'Université Lille 1

Dans le cadre de sa mission de veille sur la qualité de l'air intérieur, le réseau RSEIN organise régulièrement des journées scientifiques permettant de faire le point des connaissances sur une thématique particulière, en partenariat avec l'Observatoire de la qualité de l'air intérieur (OQAI). Ainsi, après s'être intéressé aux principaux lieux de vie (écoles en 2005 puis logements en 2007), le réseau RSEIN et l'OQAI vont s'attacher à la pollution particulaire pour la 3^{ème} édition des journées.

Un appel à communication est lancé ; pour plus d'information :

<http://www.rsein2010.fr/>

Deadline des soumissions : le 15 septembre 2010

Glossaire

ADEME : Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie

AFSSET : Agence Française de Sécurité Sanitaire de l'Environnement et du Travail

CO : Monoxyde de carbone

COV : Composés Organiques Volatils

COSV : composés organiques semi-volatils

DEHP : Di(2-ethylhexyl)phtalate

DGPR : Direction générale de la Prévention des Risques

EC / OC : carbone élémentaire et organique

HAP : Hydrocarbure Aromatique Polycyclique

H CSP : Haut Conseil de la Santé Publique

IC 95% : Intervalle de Confiance à 95 %

MEEDDM : Ministère de l'Ecologie, de l'Environnement, du Développement Durable et de la Mer

NO₂ : Dioxyde d'Azote

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

OQAI : Observatoire de la Qualité de l'Air Intérieur

OP : Organophosphate

OR : Odd Ratio

PBDE : polybromodiphényléthers

PM_{2,5/10} : Particules de diamètre aérodynamique médian inférieur à 2,5 / 10 µm

PUF : Particules Ultrafines

PVC : Polychlorure de Vinyle

SBS : Sick Building Syndrom

TCE : Trichloroéthylène

US-EPA : US Environmental Protection Agency

VMC : Ventilation Mécanique Contrôlée

Animation du réseau RSEIN et publication de Info Santé Environnement Intérieur coordonnées par l'INERIS

Directeur de la publication : Vincent Laflèche

Comité de rédaction du N°31 : M-A. Kerautret, V. Nedellec, M. Carrega, J. Larbre, avec la participation de Festy B.

Directeur de la rédaction : André Cicolella

Maquette : Patrick Bodu

Coordination et contact : Juliette Larbre juliette.larbre@ineris.fr

ISSN 1760-5407

INERIS, Parc Technologique ALATA, BP 2, 60550 Verneuil-en-Halatte, France

Le réseau RSEIN, en relation avec l'Observatoire de la Qualité de l'Air Intérieur, est constitué de représentants des structures suivantes : *Agence Française de Sécurité Sanitaire de l'Environnement et du Travail, Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie, Association pour la Prévention de la Pollution Atmosphérique et ses comités régionaux Nord-Pas de Calais et PACA-Marseille, ATMO PACA représentant les Associations Agréées pour la Surveillance de la Qualité de l'Air, Bureau Véritas, Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, Complexe de Recherche Interprofessionnel en Aérothermochimie, École des Hautes Études en Santé Publique, Faculté de Pharmacie de Marseille, Faculté de Pharmacie de Paris V, Hôpitaux de Marseille, Hôpitaux de Rouen, Hôpitaux de Strasbourg, Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale, Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire, Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques, Institut Technologique Forêt, Cellulose, Bois et Ameublement, Institut de Veille Sanitaire, Laboratoire Central de la Préfecture de Police de Paris, Laboratoire d'Étude des Phénomènes de Transfert et de l'Instantanéité : Agro-industrie et Bâtiment, Laboratoire d'Hygiène de la Ville de Paris, Laboratoire du Génie de l'Environnement Industriel – antenne de Pau de l'École des Mines d'Alès, MEDIECO, Observatoire Régional de Santé d'Ile-de-France, SEPIA-Santé, Service des Études Médicales de EDF, Université Bordeaux II – Équipe EA 3672 Santé Travail Environnement, Université de Caen, Véolia Environnement, Vincent Nedellec Conseils.*

Pour tout abonnement à la version électronique du bulletin, adressez vos coordonnées par email à : juliette.larbre@ineris.fr

ou inscrivez vous à partir du site internet : <http://rsein.ineris.fr/bullinfo/abonnement.html>