



Info Santé Environnement Intérieur

N°25
Décembre 2008

Bulletin de veille scientifique conçu et réalisé par le réseau RSEIN, *Recherche Santé Environnement Intérieur*, grâce à des financements du Ministère de l'écologie, de l'énergie, du développement durable et de l'aménagement du territoire, du Ministère de la santé, de la jeunesse, des sports et de la vie associative, et de l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie

ÉDITO

Garantir des milieux de vie sains à tous et en particulier aux populations les plus vulnérables (enfants, personnes âgées...) apparaît comme une évidence. Et pourtant, les pouvoirs publics ou autres acteurs concernés sont-ils vraiment en mesure de nous fournir ces garanties ? Le lien entre l'environnement et la santé humaine est complexe et nécessite l'élaboration d'une stratégie globale, dont la mise en œuvre implique de développer un plan d'action complet et cohérent.

La gestion de la qualité de l'air intérieur implique une telle approche globale, tant en ce qui concerne l'analyse et la gestion des déterminants de santé, que sur le plan des modes d'intervention. Par ailleurs, elle doit prendre en compte l'héritage du passé, assumer les constats du présent et identifier les problèmes émergents.

Le diagnostic des milieux intérieurs doit continuer à nous éclairer sur les polluants que l'on est susceptible de rencontrer dans les différents locaux (milieux d'accueil de la petite enfance, écoles, centres sportifs, résidences pour personnes âgées...). Certains polluants sont déjà bien connus de tous, mais restent, dans certains cas, difficiles à maîtriser. Par exemple, même si les fibres d'amiante sont désormais bien connues et les modes opératoires pour leur enlèvement clairement établis et balisés, elles n'en restent pas moins un problème. Les moisissures, également bien connues, demeurent toutefois encore difficiles à gérer. De nombreux autres facteurs, liés par exemple à la gestion énergétique du bâtiment, au concept architectural de l'habitat ou à l'environnement extérieur, peuvent jouer un rôle déterminant. Certains polluants font l'objet de nouveaux constats et doivent nous interpeller. La mise sur le marché de techniques plus performantes (ordinateurs compacts nécessitant l'utilisation de quantités plus importantes de retardateurs de flamme), de nouveaux produits (désodorisants...) ou de nouveaux matériaux peut-elle se faire au détriment de la santé des générations futures ?

La recherche est un second élément indispensable à la mise en œuvre d'une approche globale. Elle doit non seulement s'intéresser aux polluants émis par les différents produits et matériaux mis sur le marché, mais également à leur devenir dans le milieu de vie où l'être humain vit et respire (et émet donc de l'humidité), ainsi qu'à l'impact sur la santé des plus vulnérables, en particulier les femmes enceintes et les enfants, tenant compte des fenêtres de vulnérabilité (avant la conception, durant la grossesse, lors de petite enfance ou de l'adolescence). La santé des enfants est un déterminant important de celle des adultes ! L'échelle de temps n'est pas à négliger : de nouveaux constats s'ajoutent déjà à l'heure actuelle au fardeau des maladies d'origine environnementale (saturnisme, problèmes respiratoires, troubles neurologiques, cancers). Il est donc de notre devoir de mettre tout en œuvre pour éviter de voir s'alourdir une telle charge dans le futur.

La communication et la formation représentent un troisième élément de cette approche globale. Le risque zéro existe-t-il ou existera-t-il vraiment ? Que peut-on faire dès lors pour réduire davantage l'impact de la qualité de l'air intérieur sur les populations ? Sensibiliser les différents publics cibles (occupants des logements, architectes, puéricultrices, enseignants, personnels de maintenance, enfants, médecins...) leur permet de faire des choix en toute conscience et de gérer leur milieu de vie de façon responsable. Pour gagner en efficacité, la sensibilisation doit souvent amener à changer de comportement sur le long terme. La notion de temps réapparaît ainsi ! Ceci implique le développement d'actions variées, répétées et coordonnées.

Suite en page 2

Marie-Christine DEWOLF, Marc ROGER et François CHARLET
Hainaut Vigilance Sanitaire

L'élaboration de réglementations contraignantes et claires constitue un autre élément essentiel. Ces dernières doivent, entre autres, permettre de limiter les expositions environnementales (par exemple en limitant les émissions des produits et matériaux mis sur le marché et en responsabilisant l'industriel, comme cela se fait dans le cadre de REACH où la charge de la preuve est inversée), de définir clairement les critères indispensables à une gestion énergétique optimale cohérente avec un environnement intérieur de qualité ou d'encourager les initiatives qui contribuent à la prise en compte des facteurs de risque environnementaux et à la réduction du fardeau des maladies.

Enfin, cette démarche exige également une transversalité dans le mode de fonctionnement des pouvoirs publics (en charge du logement, de la santé publique, de la sécurité sociale, de l'enseignement...).

La gestion de la qualité de l'air intérieur implique une approche globale. Elle doit être coordonnée de façon à pouvoir répondre aux problèmes rencontrés par les populations, et particulièrement les plus vulnérables d'entre elles. Elle doit donc être transversale et assurer un équilibre permanent entre le développement de politiques, les actions de sensibilisation et de formation, le diagnostic des milieux intérieurs et la recherche.

Marie-Christine DEWOLF, Marc ROGER et François CHARLET

Hainaut Vigilance Sanitaire

Cet éditorial fait écho à la journée transfrontalière d'échanges sur la qualité de l'air intérieur qui s'est tenue à Paris le 16 décembre 2008. Hainaut Vigilance Sanitaire est anciennement l'Institut d'hygiène et de bactériologie de la Province du Hainaut en Belgique. Les résultats de ses travaux récents sur la qualité de l'environnement intérieur dans les crèches belges sont présentés dans ce numéro du bulletin (en pages 29 et 30).

SOMMAIRE

Substances → p2 ; Lieux de vie → p7 ; Effets sanitaires → p17 ; Expologie – Évaluation des risques → p23 ; Informations diverses → p27

Les astérisques renvoient aux termes du glossaire. → p30

Le présent bulletin rassemble les analyses faites par les experts du réseau RSEIN, de travaux scientifiques récents sélectionnés pour leur intérêt scientifique. Le lecteur est invité à se reporter à la liste de tous les articles recueillis pour l'élaboration de ce numéro disponible sur le site Internet du réseau RSEIN : <http://rsein.ineris.fr>. Le lecteur est également invité à consulter le texte intégral de chaque article analysé.



SUBSTANCES

Influence de certaines caractéristiques du chat sur les taux allergéniques mesurés dans les logements

Source : Nicholas C, Wegienka G, Havstad S *et al.* Influence of cat characteristics on *Fel d 1* levels in the home. *Annals of Allergy Asthma & Immunology*, 101(1) [2008]: 47-50.

Article analysé par : Denis CHARPIN, Hôpital Nord et Pôle méditerranéen des sciences de l'environnement, Marseille ; denis-andre.charpin@mail.ap-bm.fr

Des études expérimentales suggèrent que les chats mâles sont des producteurs plus importants d'allergènes que les chats femelles et que la castration diminue la production de l'allergène majeur de cet animal (*Fel d 1*). On pourrait de ce fait conseiller aux patients atopiques qui veulent acquérir un chat de préférer un animal castré. La présente étude a cherché à savoir si ces caractéristiques et d'autres étaient effectivement liées, en situation réaliste, à des taux allergéniques moindres dans les logements.

L'étude s'intègre dans le suivi d'une cohorte de nouveau-nés cherchant d'éventuelles corrélations entre l'environnement domestique et le développement des maladies allergiques infantiles. Elle a con-

sisté à mesurer le taux d'allergène majeur du chat par aspiration de la poussière sur le sol de la chambre à coucher du nouveau-né à l'âge d'un mois et à mettre ce résultat en relation avec divers paramètres :

- la présence de chats dans le logement et leur nombre ;
- les caractéristiques du chat : âge, sexe, poids, poil ras ou long, temps passé par l'animal quotidiennement dans le logement ;
- les caractéristiques du logement : situation urbaine ou péri-urbaine, sol lisse ou moqueté.

Le tableau ci-dessous montre que 15 % des familles avaient un chat. La majorité des analyses statistiques concerne les 59 familles qui avaient un seul chat. L'une des caractéristiques du chat est liée fortement aux taux allergéniques : il s'agit de la castration qui paraît multiplier ces derniers par un facteur 10 chez le mâle et un facteur 3 à 4 chez la femelle. Les taux allergéniques sont plus élevés chez les chats mâles, chez les chats à poils longs et dans les logements où le chat passe plus de temps, mais ces différences ne

sont pas statistiquement significatives. Par contre (non mentionné dans le tableau), les taux allergéniques sont significativement plus élevés quand la pièce est moquettée et quand le logement se trouve en banlieue plutôt qu'en centre-ville. Le résultat le plus important est la mise en évidence d'un contenu en allergènes de chat plus élevé dans les logements qui abritent un chat ou une chatte castré(e) par rapport aux logements abritant l'animal non castré.

Caractéristiques du chat (ou des chats) au domicile et taux allergéniques dans les logements

	Nombre de logements	Taux de <i>Fel d 1</i> (µg/g)		
		moyenne	min et max	<i>p</i>
Présence d'un chat :				
- oui	104	32,9	0,05 – 2 315	< 0,01
- non	577	0,4	0,05 – 878	
Nombre de chats :				
- 0	577	0,4	0,05 – 878	< 0,01
- 1	59	20,8	0,06 – 2 315	
- ≥ 2	44	68,9	0,05 – 2 263	
Sexe du chat :				
- mâle	35	22,4	0,06 – 2 315	0,76
- femelle	24	18,6	0,30 – 1 276	
Longueur du poil :				
- court	29	17,0	0,06 – 2 315	0,51
- long	11	22,4	0,25 – 973	
Tous les chats :				
- non castrés	15	5,2	0,06 – 152	0,02
- castrés	44	33,5	0,25 – 2 315	
Chats mâles :				
- non castrés	9	3,5	0,06 – 98,9	0,03
- castrés	26	42,6	0,52 – 2 315	
Chats femelles :				
- non castrés	6	9,1	0,85 – 152	0,42
- castrés	18	23,7	0,30 – 1 276	
Temps passé dans le logement :				
- 0 à 12 heures	9	16,0	0,80 – 602	0,70
- de 13 à 24 heures	50	21,8	0,06 – 2 315	

Commentaires

Une des limites de l'étude réside dans le fait que l'information relative à la castration du chat a été obtenue par questionnement du propriétaire de l'animal, et non par examen de ce dernier par un vétérinaire. Par ailleurs, les résultats obtenus sont en contradiction flagrante avec ceux des études expérimentales menées par l'équipe allergologique marseillaise dans les années 90. Ces études avaient mis en évidence, grâce au lavage de la peau de l'animal, une production d'allergènes *Fel d 1* réduite chez le chat immédiatement après castration et rapidement restaurée après injection de testostérone. La produc-

tion allergénique de ces chats n'avait pas fait l'objet d'étude à plus long terme. Il est difficile d'expliquer des résultats aussi divergents. Quoiqu'il en soit, il paraît prématuré de conseiller aux patients allergiques de procéder à la castration de l'animal dans le but de réduire son allergénicité. Des auteurs américains ⁽¹⁾ ont d'ailleurs fait remarquer que les patients allergiques au chat ayant des chats castrés restent symptomatiques.

(1) Miller JD, Bell JB and Vandernoot D. Castration of pets does not prevent allergy to pets. *Clinical and Experimental Allergy*, 25(6) [1995]: 575.



SUBSTANCES

Évaluation et identification des déterminants des concentrations fongiques dans l'air intérieur des logements de nouveau-nés à Paris

Source : Dassonville C, Demattei C, Detaint B *et al.* Assessment and predictors determination of indoor airborne fungal concentrations in Paris newborn babies home. *Environmental Research*, 108(1) [2008]: 80-85.

Article analysé par : Dorothee GRANGE, Observatoire régional de santé d'Ile-de-France ; d.grange@ors-idf.org

Dassonville *et al.* avaient deux objectifs principaux : déterminer le spectre et les concentrations des moisissures présentes dans l'air intérieur des logements parisiens et développer un modèle prédictif permettant d'estimer l'exposition résidentielle aux moisissures à partir des caractéristiques des logements, des habitudes de vie du foyer, des paramètres climatiques et des concentrations de moisissures dans l'air extérieur.

Un échantillon de 190 enfants a été tiré au sort parmi les 4 177 nouveau-nés inclus dans une cohorte prospective constituée à Paris depuis 2003. Des prélèvements d'air ont été effectués dans la chambre du bébé (30 secondes et 2 minutes) et à l'extérieur du logement (1 minute), lors de deux visites réalisées en deux saisons différentes : durant la saison chaude (avril-septembre) et durant la saison froide (octobre-mars). Il était demandé aux parents de fermer les fenêtres de la chambre un jour avant la visite. Après incubation des échantillons, les colonies fongiques ont été comptées et identifiées à l'aide de critères standardisés. Les taxons identifiés ont été choisis en raison de leurs potentiels effets sur la santé respiratoire et l'allergie. Par ailleurs, un questionnaire portant sur les caractéristiques du logement et les habitudes du foyer (type de logement, superficie, nombre d'occupants, habitudes d'aération, système de ventilation, équipement, mobilier, animaux domestiques, taches d'humidité, taches de moisissures, dégâts des eaux...) a été administré par un enquêteur formé. Des paramètres de confort tels que la température, l'humidité relative et la concentration en dioxyde de carbone ont également été mesurés durant 24 heures.

Des moisissures ont été détectées dans l'air intérieur de la quasi-totalité des logements. Les genres les plus fréquemment rencontrés étaient *Cladosporium* et *Penicillium*, isolés respectivement dans 77 % et 93 % des logements durant la saison froide et dans 95 % et 83 % des logements durant la saison chaude. *Aspergillus* a été retrouvé dans 60 % des logements et les autres genres dans moins de 20 % des logements. Les moyennes géométriques des concentrations intérieures totales en moisissures lors des deux visites étaient de 232,4 et 186,7 UFC*/m³ respectivement. Les concentrations extérieures en moisissures (respectivement 517,8 et 382,3 UFC*/m³)

étaient les meilleurs prédicteurs de la concentration intérieure totale en moisissures et de celle de *Cladosporium*. La concentration intérieure totale et celle de *Cladosporium* étaient également significativement plus élevées durant la saison chaude que durant la saison froide et corrélées positivement à la durée d'aération de la chambre. La présence d'au moins un signe d'humidité (taches d'humidité, taches de moisissures, dégâts des eaux et odeur de mois) était, quant à elle, associée à des concentrations intérieures totales et en *Aspergillus* plus élevées.

Cette étude fournit pour la première fois le spectre et les concentrations des moisissures rencontrées dans l'air intérieur des logements parisiens. Comme observé dans d'autres études, les niveaux extérieurs de moisissures et la saison contribuent de manière significative aux niveaux observés à l'intérieur des logements. Les caractéristiques du logement et les habitudes du foyer, en particulier la durée d'aération, le type de ventilation et les signes d'humidité, jouent également un rôle important. Cette étude met ainsi en évidence l'importance d'effectuer des mesures répétées dans le temps du fait de la variabilité des concentrations de moisissures, notamment en fonction des saisons.

Commentaires

L'évaluation de l'exposition aux moisissures dans les environnements intérieurs est particulièrement complexe et cette étude apporte des éléments intéressants concernant les genres et les concentrations de moisissures à l'intérieur des logements. Toutefois, la méthode de recueil utilisée nécessite un prélèvement de courte durée et, même si cette limite a été prise en compte en effectuant deux mesures, ceci pose la question de la représentativité temporelle des résultats. De plus, si l'identification des genres permet de prendre en compte leurs potentiels effets sanitaires, certains types de moisissures peuvent être exclus du fait des méthodes de recueil et d'identification utilisées. Par ailleurs, il aurait été intéressant que la relative faible contribution des sources intérieures aux concentrations de moisissures rencontrées à l'intérieur des logements soit davantage discutée et que des conclusions concernant la faisabilité d'un modèle prédictif soient mentionnées.



SUBSTANCES

Guide pour interpréter les rapports d'enquête et de recherche des moisissures dans les ambiances intérieures

Source : Horner WE, Barnes C, Codina R and Leventin E. Guide for interpreting reports from inspections/investigations of indoor mold. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 121(3) [2008]: 592-597.

Article analysé par : Annie MOUILLESEAUX ; annie.mouilleseaux@noos.fr

Le document de Horner *et al.* est présenté comme un guide à l'adresse des praticiens cliniciens. Il précise les objectifs, ainsi que les manières d'envisager les enquêtes de terrain, les techniques d'échantillonnage et d'essai, et l'interprétation raisonnable que l'on peut en attendre.

Les effets sur la santé, la dégradation structurelle d'un bâtiment, la dépréciation due à des moisissures visibles et/ou des odeurs de moisi sont trois raisons pour lancer une enquête. L'inspection physique de l'immeuble est la partie la plus importante de l'enquête dont l'objectif doit être clair. Il ne s'agit pas de conclure si l'ensemble est « sain » (notion trop vague et subjective), mais de déterminer s'il y a colonisation mycélienne (localisation des zones contaminées, effets sur la qualité de l'air) ou de vérifier l'éradication effective des biocontaminants.

Le médecin doit s'aider de critères multiples pour tester la qualification des enquêteurs (expérience, formation continue...) et vérifier que le laboratoire n'a de lien, ni avec la société chargée des échantillonnages, ni avec une société spécialisée en traitement.

L'échantillonnage doit permettre de tester les hypothèses faites lors de l'enquête. En l'absence de standardisation, les techniques utilisées doivent être éprouvées et reconnues (Tableau 1 en page suivante). Pour l'air, la grande variabilité des résultats nécessite une référence extérieure. Les réservoirs (poussières) donnent une image de l'exposition à long terme aux moisissures et à leurs produits (par exemple, mesure des COV* microbiens pour qualifier les odeurs de moisi).

Par ailleurs, il n'y a pas de formule pour distinguer une flore de base d'un mélange atypique, un niveau normal d'un niveau anormal ; aucune relation dose-effet n'est établie à ce jour. Les standards proposés n'étant pas reconnus par les scientifiques, des recommandations ont été suggérées. L'interprétation doit être conduite avec prudence ; une circonstance fortuite peut provoquer un ratio de concentrations entre l'intérieur et l'extérieur supérieur à 1. La présence de moisissures sur des surfaces n'est pas une preuve de leur développement, leur présence y étant

ubiquiste (Tableau 2 en page suivante), sauf dans le cas d'un seul type de spores. *Chaetomium* ou *Stachybotrys chartarum* sont rarement présents dans des locaux sans problème d'humidité.

Pour l'air, les résultats quantitatifs s'expriment en UFC*/m³ et sont accompagnés d'autres paramètres de qualité (thermo-hygrométrie, concentration en monoxyde de carbone et en COV*...), d'une grille d'interprétation et du type d'échantillonneur utilisé (calibration comprise). Pour les surfaces et matériaux, les résultats doivent être associés à une échelle semi-quantitative clairement expliquée et exprimés en UFC* par gramme de poussière, voire par mètre carré de surface.

Les rapports d'analyse clairs et faciles d'utilisation devraient inciter au recours à un médecin qualifié. L'auteur rappelle que, dans tous les cas, les instances américaines (*Centers for Disease Control*, US-EPA*) recommandent de nettoyer rapidement toute moisissure visible selon des procédures indiquées sur leurs sites Internet.

Les auteurs concluent que les enquêtes sont utiles si elles sont bien faites, ce qui exige des connaissances dans des domaines variés. Les médecins doivent savoir dégager les points importants de rapports souvent peu explicites qui ne devraient pas inclure de données médicales. Les analyses devraient être considérées comme des outils ou un complément d'enquête. En l'absence d'une enquête bien documentée, les conclusions pourront rarement s'appuyer sur les analyses.

Commentaires

Rappeler régulièrement les conditions d'une bonne enquête environnementale et ce que doit contenir un rapport circonstancié et lisible par celui auquel il s'adresse (client médecin ou non) est utile. Il est préférable que ceux qui font une enquête ou des échantillonnages n'aient pas de rapport avec des entreprises de traitement. Le texte, bien que contenant de nombreuses remarques d'intérêt, reste un guide pour les médecins et ne donne que peu d'indications techniques précises.

Tableau 1 : Avantages et inconvénients des diverses techniques d'échantillonnage et d'analyse d'air

Méthode d'analyse	Type d'échantillonnage	Avantages	Inconvénients
Microscopie optique	Impacteurs à fente, filtration	Niveau total des spores, utilisation facile, rapidité relative des analyses	Personnel entraîné requis, détermination par groupes mycéliens, pas d'indication de viabilité
Mise en culture	Impaction, impingers, filtration	Identification au niveau de l'espèce	Spores cultivables, effets milieux de culture, temps
Détection de métabolites, immunochimie	Impingers, filtration, cyclones	Détection spécifique des allergènes, très sensible	Nombre limité des tests commercialisés, essais monoclonaux pouvant être trop spécifiques
Détection de métabolites, d'enzymes (protéases)	Impingers, filtration, cyclones	Indépendant des espèces, intègre l'activité de multiples espèces	Suggéré par la clinique pour les protéases, mais pas établi
Biologie moléculaire (PCR*)	Impingers, cyclones, filtration, impacteurs à fente	Détection des séquences spécifiques de l'ADN, pas de culture ou de microscopie, très sensible	Les fragments mycéliens peuvent être dépourvus d'ADN et non détectés, pas d'indication sur la viabilité, pas d'information sur les allergènes
Biochimie : ergostérol, β -(1-3)-glucanes	Impingers, cyclones, filtration	Estimation de la biomasse fongique	Pas d'identification des moisissures, des sources non mycéliennes peuvent affecter les glucanes

Tableau 2 : Prélèvements de surfaces et analyses

Type d'échantillon	Méthode d'analyse	Types d'observation	Conclusion possible
Ruban adhésif	Microscopie directe	Fructifications Mélange de spores	Surface colonisée Moisissure de surface
Examen direct de matériau	Microscopie directe	Fructifications Pénétration intra matériau	Matériau colonisé Matériau colonisé
Mise en culture de papier peint, poussière déposée ou écouvillonnage	Sur boîtes de Pétri	Colonies de même type Moisissures variées Pas de moisissure	Suggère une colonisation de matériau Moisissure de surface Surface très propre ou récupération de résidus de désinfectant avec l'échantillon

Autres articles d'intérêt sur la thématique SUBSTANCES :

Abdallah MAE, Harrad S and Covaci A. Hexabromocyclododecanes and tetrabromobisphenol-A in indoor air and dust in Birmingham, UK: Implications for human exposure. *Environmental Science & Technology*, 42(18) [2008]: 6855-6861.

Bohlin P, Jones KC, Tovalin H and Strandberg B. Observations on persistent organic pollutants in indoor and outdoor air using passive polyurethane foam samplers. *Atmospheric Environment*, 42(31) [2008]: 7234-7241.

Yli-Tuomi T, Lanki T, Hoek G, Brunekreef B *et al.* Determination of the sources of indoor PM_{2.5} in Amsterdam and Helsinki. *Environmental Science & Technology*, 42(12) [2008]: 4440-4446.

Lignell U, Meklin T, Rintala H *et al.* Evaluation of quantitative PCR and culture methods for detection of house dust fungi and streptomycetes in relation to moisture damage of the house. *Letters in Applied Microbiology*, 47(4) [2008]: 303-308.

Noss I, Wouters IM, Visser M *et al.* Evaluation of a low-cost electrostatic dust fall collector for indoor air endotoxin exposure assessment. *Applied and Environmental Microbiology*, 74(18) [2008]: 5621-5627.



Source : Roussel S, Reboux G, Bellanger A-P *et al.* Characteristics of dwellings contaminated by moulds. Journal of Environmental Monitoring, 10(6) [2008]: 724-729.

Article analysé par : Sabine HOST, Observatoire régional de Santé d'Ile-de-France ; s.host@ors-idf.org

La prise en compte de la présence de moisissures dans les logements en tant que critère d'insalubrité est confrontée à l'absence d'indices valides. Cette étude avait pour but d'identifier les caractéristiques des logements et de l'environnement domestique associées à de fortes concentrations de moisissures cultivables dans l'air. Elle vise notamment à juger de l'efficacité du questionnaire pour évaluer la qualité de l'environnement domestique et de l'utilité des mesures microbiologiques.

Entre octobre et mai (de 2004 à 2006), 128 logements francs-comtois (France) ont été enquêtés, dont 29 à la demande d'un médecin ayant observé des troubles allergiques ou pulmonaires chez les occupants, et 40 à la suite de constats d'insalubrité des services sociaux municipaux ou départementaux. Les 59 autres logements constituaient des contrôles de caractéristiques similaires. Un questionnaire administré par un enquêteur formé permettait de recueillir des informations (25 questions) concernant les occupants, le logement et les quatre principales pièces de vie : cuisine, salle de bain, salon et chambre. Un total de 500 pièces a été enquêté. L'inspection visuelle permettait notamment de recueillir des données concernant la présence d'humidité et de moisissures visibles. Une mesure de l'humidité relative était réalisée dans la salle de bain et le salon. Des prélèvements d'air (100 L) étaient réalisés à l'aide d'un biocollecteur MAS100™ placé en position centrale et à 0,75 m du sol dans les pièces vérifiant certains critères (aspirateur passé il y a plus de deux jours ; fenêtres fermées depuis plus d'une heure). Deux milieux de culture ont été utilisés : Malt agar et Dichloran-Glycérol incubés respectivement à 25 et 30°C. L'identification et le comptage étaient réalisés à 7 jours.

Sept espèces ont été identifiées dans plus de 10 % des échantillons : *Penicillium spp.*, *Aspergillus spp.*, *Cladosporium spp.*, levures, *Wallemia sebi*, *Alternaria spp.*, *Rhodotorula spp.*, les trois premiers genres représentant environ 86 % des microorganismes isolés (en UFC*/m³). Un effet de la saison a pu être mis en évidence avec des concentrations en moyenne plus élevées en octobre. La concentration totale en moisissures était significativement plus élevée dans

les appartements situés en rez-de-chaussée, dans les logements sans dispositif de ventilation, dans ceux dotés d'un chauffage électrique ou bien ayant subi un dégât des eaux, ainsi que dans les logements les plus densément occupés. Pour environ un tiers des pièces inspectées, l'odeur d'humidité ou la présence de moisissures visibles étaient rapportées. Ces critères étaient significativement reliés à une élévation des concentrations en moisissures. Toutefois, pour environ 16 % des pièces concernées, les niveaux de moisissures restaient faibles, et pour environ 18 % des pièces où les niveaux étaient élevés, ces critères n'étaient pas rapportés. Une élévation des concentrations en moisissures était associée à une élévation de la surface de contamination, bien que la corrélation soit faible. La distribution des concentrations en moisissures suggère cependant un plateau au-delà d'une surface de 500 cm².

Les genres les plus fréquemment retrouvés, *Penicillium*, *Aspergillus* et *Cladosporium*, sont ceux rapportés dans la littérature. Cette enquête a mis en évidence que les critères reliés à la présence de moisissures sont plus liés à la structure même du bâtiment qu'aux habitudes des occupants (ouverture des fenêtres, séchage du linge...), ce qui, en termes de gestion, peut avoir des répercussions importantes. La présence de moisissures visibles ou d'odeur d'humidité ne permet pas de prédire des concentrations élevées de moisissures dans l'air et vice versa. En effet, d'une part la dispersion des spores dépend de nombreux facteurs, et d'autre part les développements fongiques ne sont pas toujours visibles.

En raison des effets sanitaires potentiels, la présence de moisissures dans l'habitat fait partie des critères d'insalubrité retenus par la législation. Cependant un simple questionnaire ne permet pas de déterminer les concentrations dans l'air ou bien les espèces. En conclusion, lorsqu'une pathologie en lien avec les moisissures est suspectée, si l'inspection du logement ne permet pas d'identifier clairement la source de contamination, il est recommandé d'effectuer un prélèvement d'air.

Commentaires

Cette étude illustre la difficulté à évaluer de manière simple la contamination d'un logement par les moisissures. En effet, les critères descriptifs ne sont pas suffisants. Elle confirme néanmoins la pertinence de la prise en compte de la taille de la surface contaminée en première quantification de la contamination. Ces résultats sont donc un pas supplémentaire vers l'établissement d'un diagnostic « moisissures ».

On regrette cependant que l'hypothèse selon laquelle une contamination visible dans une pièce pouvait affecter l'air des autres pièces du logement n'ait pas été testée dans cette analyse. Par ailleurs, il n'est pas fait mention dans la discussion des limites des prélèvements d'air ponctuel, qui d'une part, permettent de détecter uniquement la flore viable, et d'autre part, ne sont pas représentatifs d'une exposition moyenne.



LIEUX DE VIE

Virus *influenza* pandémique à l'intérieur des bâtiments : quel risque de transmission par les systèmes de ventilation ou de climatisation ?

Source : Ezratty V et Squinazi F. Virus *influenza* pandémique à l'intérieur des bâtiments : quel risque de transmission par les systèmes de ventilation ou de climatisation ? Environnement, Risques & Santé, 7(4) [2008]: 255-263.

Article analysé par : Jean-Jacques Aké AKOUA, Centre scientifique et technique du bâtiment – CSTB ; ake.akoua@cstb.fr

La question de la transmission du virus *influenza* à l'intérieur des bâtiments par l'intermédiaire des systèmes de ventilation ou de climatisation est une question cruciale dans le contexte d'une possible pandémie grippale. L'article analysé a pour objectif d'explorer la plausibilité d'une contamination par cette voie comparée à une transmission « classique » (par gouttelettes, par contact direct ou indirect), qui nécessite une proximité entre le sujet source et l'hôte susceptible. Sur la base de recherches bibliographiques, les auteurs ont analysé la transmission de la grippe à l'intérieur d'un bâtiment, au travers de trois questionnements. Ils proposent également des recommandations et un agenda de recherche.

La première question examinée concerne la distance de transport des particules respiratoires. Dans les conditions habituelles rencontrées dans des bâtiments, les grosses gouttelettes d'un diamètre supérieur à 100 µm ne restent généralement pas longtemps dans l'air et vont, quelques secondes après leur expulsion, se déposer dans un rayon de deux mètres sous l'effet des forces gravitationnelles. Les particules d'un diamètre inférieur à 100 µm expulsées par le sujet source vont très vite diminuer de taille du fait d'une perte en eau. Dans un espace ventilé, le transport et la dispersion des particules dont le diamètre à l'expulsion est inférieur à 100 µm ne vont pas obéir de la même façon à la loi de gravité, car ils dépendent de nombreux paramètres, y compris de la position et des caractéristiques du sujet source lors de leur expulsion. Les particules de moins de 5 µm de diamètre (expulsées directement ou formées secondairement) peuvent rester longtemps en suspension dans l'air et leur cinétique suit

de près les flux de l'air qui les transportent. Les aérosols en suspension peuvent ainsi être transportés par les flux d'air à distance du sujet source.

La deuxième question étudiée est la capacité des systèmes de ventilation et de climatisation à favoriser la diffusion des aérosols dans un bâtiment. Pour des bâtiments ventilés non climatisés, les auteurs suggèrent que le risque de diffusion des aérosols est faible parce que l'air est extrait par un conduit à l'extérieur du bâtiment sans recirculation d'air d'un appartement à l'autre. Les auteurs pensent toutefois que le passage des aérosols d'un appartement à un autre est possible à l'occasion de circonstances anormales comme un dysfonctionnement de la ventilation mécanique contrôlée ou du fait de conditions météorologiques particulières. Dans le cas des bâtiments climatisés, si le système fonctionne en « tout air neuf », les aérosols présents dans l'air repris passent dans les conduits aérauliques avant d'être évacués à l'extérieur du bâtiment. En revanche, si l'air repris est mélangé à de l'air neuf dans une centrale de traitement d'air, les auteurs suggèrent qu'à la possibilité de diffusion des aérosols dans les parties communes, s'ajoute le risque de recirculation dans les locaux des aérosols présents dans l'air repris, avec toutefois une dilution du fait du mélange avec de l'air neuf. Pour les centrales disposant de filtres, à l'exception des rares cas de filtration de très haute efficacité nécessitant des conditions particulières de température et de débit d'air, les filtres communément utilisés laissent vraisemblablement passer un certain pourcentage d'aérosols (pouvant contenir le virus *influenza*).

Enfin, les auteurs examinent la possibilité que le virus *influenza* présent dans les aérosols ayant diffusé infecte des personnes dans un même espace ou dans une autre partie du bâtiment via la climatisation. Comparé à d'autres virus comme ceux de la rougeole ou de la varicelle, le virus *influenza* a un taux de transmissibilité beaucoup plus faible. Les auteurs notent que les résultats des études épidémiologiques et des expérimentations animales et humaines qui évoquent la possibilité d'une transmission par l'intermédiaire d'aérosols, n'apportent aucune preuve directe d'une transmission possible de la grippe à une distance de plus de 2 à 3 mètres dans un même espace clos. Il n'existe ainsi, selon les auteurs, aucun argument en faveur d'une transmission à distance par la ventilation ou la climatisation, même si ceux-ci soulignent par ailleurs les faiblesses et lacunes des études actuellement disponibles.

La dernière partie de l'article est consacrée à des recommandations aux gestionnaires de bâtiment. Les auteurs recommandent par exemple d'inciter les personnes susceptibles d'être contaminées à rester chez elles et à ne pas fréquenter les établissements ouverts au public et les bâtiments de bureaux, sauf cas particulier et sous couvert de précautions. Ils préconisent aussi de ne pas arrêter le fonctionnement de l'installation de ventilation mécanique ou de climatisation le week-end et la nuit, de faire régulièrement inspecter les systèmes de ventilation ou de climatisation et de favoriser, quand les conditions le permettent, l'ouverture des fenêtres dans les bâtiments ventilés non climatisés. Ils suggèrent aussi de ne pas installer des dispositifs d'épuration d'air parce que l'efficacité et l'innocuité des différentes techniques d'inactivation des agents infectieux sont encore en cours d'évaluation. Enfin, les auteurs estiment que le bénéfice d'une augmentation du taux de renouvellement en air neuf au-delà des débits réglementaires n'est pas démontré.

Commentaires

Cet article est intéressant car il propose une synthèse des connaissances, dans laquelle les auteurs distinguent clairement les phénomènes physiques de dispersion dans un local et dans un bâtiment (qui conduisent à montrer que les aérosols peuvent être transportés par les systèmes), des éléments relatifs au virus, comme le pouvoir infectant ou la concentration, qui, en l'état actuel des connaissances, ne permettent pas de dire qu'il existe un potentiel de transmission dans les systèmes de ventilation et de climatisation. Par ailleurs, cet article se veut pragmatique, puisqu'il va jusqu'à émettre des propositions de recommandations à l'attention des gestionnaires des bâtiments et, dans un souci de cohérence, il liste les mesures ne pouvant pas être conseillées sur la base des connaissances actuelles. Par exemple, les auteurs préconisent de ne pas augmenter le renouvellement en air neuf au-delà des débits réglementaires parce que le bénéfice sanitaire n'est pas prouvé. L'augmentation du débit d'air neuf pourrait pourtant contribuer à la dilution des aérosols et permettrait de les extraire plus rapidement du bâtiment. Il est cependant vrai que dans un bâtiment climatisé, cette solution peut parfois être difficilement applicable. S'agissant du risque d'apport d'air froid, évoqué comme gêne associée, il est faible avec une centrale de traitement d'air car elle dispose en général d'une chaudière ou d'une pompe à chaleur. Enfin, concernant la recommandation relative à l'ouverture des fenêtres, non conseillée par les auteurs dans un bâtiment climatisé et pas toujours possible en pratique, les occupants pourraient certainement accepter cette ouverture en dépit d'un relatif inconfort thermique avec l'arrêt de la climatisation dans l'hypothèse où le bénéfice sanitaire serait montré.



LIEUX DE VIE

Suivi des PM_{2,5}* en milieu intérieur résidentiel avant et après le changement d'un poêle à bois

Source : Ward T and Noonan C. Results of a residential indoor PM_{2,5} sampling program before and after a woodstove changeout. *Indoor Air*, 18(5) [2008]: 408-415.

Article analysé par : Gaëlle GUILLOSSOU, Service des études médicales d'EDF ; gaelle.guillossou@edf.fr

La fumée résultant de l'utilisation domestique de poêles à bois est la principale source hivernale de PM_{2,5}* dans l'air de plusieurs vallées des Montagnes Rocheuses (États-Unis), où la combustion de biomasse est le premier moyen de chauffer les habitations. Dans le but de réduire les niveaux ambiants et intérieurs de particules fines, un programme de

remplacement de poêles à bois vétustes par des poêles à bois respectueux des débits d'émission de particules et de fumée définis par l'US-EPA*, a été mené entre 2005 et 2007 dans diverses communautés de cette région. Les auteurs se sont intéressés à l'évolution des particules fines à l'intérieur, avant puis après remplacement du poêle à bois vétuste.

Des capteurs portables de PM_{2,5}* (un Dust Trak pour la mesure en continu de la concentration massique, ainsi qu'un préleveur d'air Leland© équipé de filtres quartz pour l'analyse de la composition des particules) ont été installés dans 16 habitations (résidents non fumeurs) de la vallée de Libby (Montana, États-Unis), à 1,5 m du sol dans la pièce où était installé le poêle (en général, le salon) pour deux campagnes de mesure de 24 heures chacune. Un premier prélèvement a eu lieu avant le remplacement des poêles vétustes. Le second prélèvement était effectué environ deux à trois semaines après

l'installation des nouveaux poêles. Les paramètres suivis étaient la concentration massique en PM_{2,5}*, le carbone organique (OC), le carbone élémentaire (EC), puis des marqueurs chimiques de la fumée de bois (vanilline, acétovanillone, guaiacol, 4-éthylguaiacol, levoglucosan, acide abiétique, acide déhydroabiétique). Les concentrations extérieures en PM_{2,5}* dans la communauté de Libby aux dates des campagnes de prélèvement dans les habitations ont été récupérées auprès du département de la qualité environnementale de l'État du Montana.

Concentrations mesurées avant et après le changement du poêle à bois dans 16 maisons

	Valeur médiane avant	Valeur médiane après	Variation en %	<i>p</i>
Moyenne des PM _{2,5} * (µg/m ³)	34,5	9,5	- 71 %	0,0001
Maximum des PM _{2,5} * (µg/m ³)	266	51,5	- 76 %	0,0002
Carbone organique (µg/m ³)	14,4	9,4	- 26 %	0,007
Carbone élémentaire (µg/m ³)	0,68	0,29	- 6 %	0,054
Levoglucosan (ng/m ³)	652	321	- 45 %	0,001
Acide déhydroabiétique (ng/m ³)	74,1	154	+ 133 %	0,0001
Acide abiétique (ng/m ³)	2,8	5,20	+ 292 %	0,153

Le remplacement des poêles à bois vétustes par des modèles plus récents conduit à réduire les concentrations massiques moyennes et maximales en PM_{2,5}* dans les 16 habitations instrumentées. Avant le changement d'appareil, 7 habitations sur 16 dépassaient les critères de qualité d'air extérieur en PM_{2,5}* de 35 µg/m³ sur 24 heures, établis par l'US-EPA* (l'une des habitations atteignant 118 µg/m³) ; elles ne sont plus que deux après l'installation des modèles plus récents (valeur maximale mesurée égale à 86 µg/m³). Pour 13 des 16 habitations suivies, l'utilisation des nouveaux poêles à bois tend à diminuer aussi la concentration en carbone organique et en carbone élémentaire des PM_{2,5}*. Cependant, dans certaines habitations, la proportion de carbone organique de ces particules fines est passée de 34 % avant changement du poêle, à 84 % après mise en place des modèles certifiés par l'US-EPA* (variation de 2 à 6 % concernant le carbone élémentaire). Le levoglucosan a fortement diminué suite à l'installation des poêles à bois plus récents. Ce n'est pas le cas des acides abiétique et déhydroabiétique (des acides résiniques de nombreux conifères) dont les concentrations ont fortement augmenté dans toutes les habitations après installation des nouveaux systèmes. Enfin, concernant les autres marqueurs, aucune évolution particulière n'a pu être mise en évidence. Par ailleurs, ni la température extérieure, ni la concentration massique en PM_{2,5}* dans l'air extérieur n'étaient corrélées aux teneurs intérieures en particules fines et en levoglucosan.

Selon les auteurs, les fortes réductions des teneurs intérieures en PM_{2,5}* et en levoglucosan observées sont probablement liées à une combustion du bois plus complète dans les poêles à bois certifiés par l'US-EPA*. Ils expliquent par contre difficilement l'augmentation importante de deux marqueurs de la fumée de bois. Ils soulignent que d'autres études ont aussi mis en évidence une augmentation des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) dans des habitations ayant remplacé des poêles à bois vétustes par des modèles plus modernes et supposent que des composés chimiquement très stables (tels que l'acide abiétique, l'acide déhydroabiétique et les HAP*) seraient émis davantage par vaporisation que par combustion ou pyrolyse, et continueraient ainsi à être émis aux mêmes teneurs, voire en concentrations supérieures, malgré la mise en place de poêles à bois plus modernes. Enfin, les auteurs soulignent les limites de leur étude, notamment l'effectif réduit d'habitations étudiées et la présence d'autres sources intérieures de particules fines.

Commentaires

Cette étude est intéressante car elle soulève deux points importants : l'impact du chauffage au bois sur la qualité de l'air, notamment dans des régions rurales faiblement industrialisées, et l'apparition d'effets « collatéraux » inattendus pouvant survenir suite au remplacement d'appareils vétustes par des équipements récents. Cependant, on peut regretter que les conséquences sanitaires d'un remplacement de poêle à bois vétuste, liées à l'évolution des divers paramètres suivis, n'aient pas été étudiées. De même, il aurait été intéressant d'enrichir la liste des substances mesurées dans les habitations, afin, par

exemple, que la composition des $PM_{2,5}^*$ soit précisée (notamment concernant la fraction organique). En effet, la concentration massique est le critère sur lequel la réglementation des particules fines dans l'air ambiant repose, mais il n'est pas évident que ce soit le critère le plus intéressant à suivre d'un point de vue sanitaire ; la fraction carbonée des particules fines est riche en substances dont les effets toxiques sont démontrés (cas des HAP*). Les auteurs précisent que cette étude reste « préliminaire » et qu'elle devrait déboucher sur de plus amples travaux et développements, notamment en termes sanitaires.



LIEUX DE VIE

Étude expérimentale des facteurs responsables de la remise en suspension des poussières accumulées sur le sol

Source : Qian J and Ferro AR. Resuspension of dust particles in a chamber and associated environmental factors. *Aerosol Science and Technology*, 42(7) [2008]: 566-578.

Article analysé par : Marc ABADIE, Laboratoire d'étude des phénomènes de transfert et de l'instantanéité : Agro-industrie et bâtiment – LEPTIAB ; marc.abadie@univ-lr.fr

La remise en suspension de particules déposées sur le sol est généralement un paramètre peu considéré dans les études de qualité de l'air des ambiances intérieures. Cependant, ce phénomène peut être responsable d'une augmentation significative de la concentration en particules, principalement dans la zone proche du sol, qui peut accentuer l'exposition des usagers, en particulier des enfants. C'est dans ce contexte que Qian et Ferro ont effectué une série d'expérimentations afin de cerner les facteurs environnementaux contribuant à la remise en suspension des poussières déposées sur le sol.

Cinquante-quatre expérimentations ont été effectuées dans une salle de taille réelle (4,88 m × 3,66 m × 3,05 m). Au début de chaque expérimentation, le revêtement de sol testé (linoléum, moquette neuve ou moquette usagée) a été empoussiéré selon un protocole rigoureux afin d'assurer un dépôt uniforme de particules polydispersées, dont le diamètre variait de 0,8 à 10 μm . Chaque participant effectuait une série d'activités déterminées : marcher jusqu'au centre de la pièce, rester assis sans bouger ou en bougeant les pieds... La variation de la concentration en particules, ainsi que la température, l'humidité relative et la vitesse d'écoulement de l'air ont été mesurées en plusieurs points de la salle. L'intensité et la fréquence des pas de chaque participant ont également été suivies grâce à des capteurs piézoélectriques placés sous le plancher. La remise en suspension des particules a été déterminée en appliquant un modèle monozone classique qui intègre également la ventilation et le dépôt des particules sur les surfaces intérieures, dont les effets ont été déterminés lors d'une expérimentation prélimi-

naire. La température de l'air a été maintenue constante au cours des expérimentations.

L'analyse de la variation de la concentration en particules a permis de montrer que le taux de remise en suspension est une fonction croissante de la taille des particules et que, pour les tailles de particules testées, sa valeur varie de 10^{-5} à 10^{-2} h^{-1} . Il a également été montré que la remise en suspension dépend du type de revêtement de sol. Ainsi, le niveau de remise en suspension des particules déposées sur la moquette neuve est significativement supérieur aux niveaux déterminés pour la moquette usagée et le linoléum. L'humidité relative de l'air, qui a varié librement entre 25 et 50 % pendant les expérimentations, n'a montré aucune influence sur la remise en suspension. Enfin, il a été observé une grande variabilité de la remise en suspension selon les participants : si la tendance générale montre une remise en suspension plus importante pour les individus ayant des pas lourds et rapides, des niveaux différents de remise en suspension ont cependant été obtenus pour des participants ayant des pas d'intensité et de fréquence semblables.

Afin de limiter la remise en suspension de particules déposées sur le sol, les auteurs concluent qu'un revêtement de sol du type linoléum est préférable puisque ce dernier présente un taux plus faible de remise en suspension et une quantité de particules déposées plus faible que les moquettes. D'autres facteurs non inclus dans la présente étude, comme le type et la forme de la semelle des chaussures, ainsi que la manière de marcher des individus, semblent être tout aussi importants que l'intensité et la fréquence des pas des individus.

Commentaires

L'apport principal de la présente étude réside dans l'évaluation quantitative du niveau de remise en suspension pour différentes tailles de particules et différents revêtements de sol. On regrette cependant que le modèle utilisé par les auteurs ne soit pas adapté au problème traité et que ces niveaux de remise en suspension soient ainsi entachés d'erreurs. En effet, compte tenu de la hauteur de la salle (3,05 m) et de la position des bouches de soufflage et de reprise, il est peu probable que la concentration en particules soit identique dans l'ensemble de la pièce ; la condition d'homogénéité nécessaire à l'utilisation du modèle employé n'est probablement

pas vérifiée. Pour rappel, la remise en suspension tend à augmenter la concentration en particules principalement dans une zone proche du sol et non dans l'ensemble du volume. Ainsi, le recours à un modèle à (au moins) deux zones horizontales, à l'intérieur desquelles la concentration en particules serait homogène, est fondamental dans ce cas. Se poserait alors la problématique du traitement du transport de particules entre ces deux zones qui devrait être analysé par méthode CFD (*Computational Fluid Dynamics*) ou, plus simplement, selon la méthode zonale.



LIEUX DE VIE

Comparaison des logiciels Minitab et CART pour l'identification des variables déterminantes de niveaux de concentration dans l'air intérieur

Source : Kadiyala A and Kumar A. Application of CART and Minitab software to identify variables affecting indoor concentration levels. *Environmental Progress*, 27(2) [2008]: 160-168.

Article analysé par : Jean-Baptiste MASSON, Institut national de l'environnement industriel et des risques – INERIS ; jean-baptiste.masson@ineris.fr

Dans le cadre de la recherche de facteurs déterminants de la pollution de l'air intérieur, les spécialistes peuvent rencontrer des difficultés à choisir l'outil statistique le plus adapté à leur problématique. Cet article donne un exemple d'utilisation de deux techniques différentes pour un même problème concernant la qualité de l'air à l'intérieur d'un bus. Puis les auteurs comparent ces deux outils, en termes de résultats sur ces données particulières, mais aussi de propriétés générales.

La première des deux techniques statistiques étudiées, la plus couramment utilisée, est celle de la régression linéaire multiple. Elle consiste à supposer que la variable à expliquer (ou une de ses transformées comme dans le cas de la régression logistique) dépend linéairement des variables explicatives. Il s'agit ensuite d'estimer statistiquement les coefficients de cette combinaison linéaire (par exemple au sens des moindres carrés). La seconde technique est nommée CART (*Classification And Regression Trees*). Il s'agit d'une procédure récursive de division de la population étudiée : à chaque étape, on cherche une manière optimale (en fonction de la variable à expliquer) de subdiviser l'échantillon en deux sous-populations à l'aide d'une seule variable explicative. Puis on applique la procédure à chacun de ces sous-groupes, jusqu'à ce qu'on obtienne des groupes homogènes ou de taille inférieure à un seuil fixé par l'utilisateur (10 % de la population totale pour les auteurs). Chaque groupe terminal est alors caracté-

risé par une séquence de conditions portant chacune sur une variable explicative. Les deux méthodes aboutissent à une procédure pour attribuer à un nouvel individu, dont on ne connaîtrait que les valeurs des variables explicatives, une valeur de la variable à expliquer.

Les données utilisées pour la comparaison concernent un bus de l'agglomération de Toledo (Oklahoma, États-Unis) durant le mois de septembre 2007, et sont de différentes natures et provenances : données météorologiques (centre national météorologique), remplissage du bus et état de la circulation (surveillance vidéo interne au bus), mesures de concentrations en particules, dioxyde de carbone (CO₂), monoxyde de carbone (CO), oxydes d'azote (NO et NO₂) et dioxyde de soufre (SO₂) dans le bus (matériel embarqué).

Les auteurs ont employé le logiciel Minitab 15 pour les régressions linéaires multiples, et le logiciel CART 6.0 (de la société Salford) pour les arbres de décision. Après avoir construit plusieurs modèles de régression pour chacune des variables à expliquer (les concentrations des différents polluants), les auteurs sélectionnent les variables « importantes » dans chaque cas. Pour cela, ils s'appuient sur des fonctions propres à chacun des logiciels (« *Best Subset Regression* » de Minitab, propriété « Importance » de chaque variable calculée par CART). Le tableau en page suivante résume ces résultats.

Résultats de la comparaison des prédictions des concentrations intérieures au moyen des logiciels Minitab et CART

Polluant	Variables déterminantes obtenues avec CART	Variables déterminantes obtenues avec MINITAB
CO ₂	Nombre de passagers	Nombre de passagers Direction du vent
CO	Direction du vent Température à l'intérieur du bus	Température à l'intérieur du bus Humidité relative à l'intérieur du bus Direction du vent Voitures en circulation
NO	Température à l'intérieur du bus Direction du vent	Température à l'intérieur du bus Température ambiante Humidité relative ambiante Vitesse du vent Voitures en circulation
SO ₂	Humidité relative ambiante Direction du vent Humidité relative à l'intérieur du bus	Humidité relative à l'intérieur du bus Température ambiante Direction du vent
Particules	Concentrations ambiantes en PM _{2,5} * ⁽¹⁾ Etat du bus ⁽²⁾ Camions en circulation	Concentrations ambiantes en PM _{2,5} * État du bus Humidité relative ambiante Visibilité

(1) données fournies par l'US-EPA* ; (2) à l'arrêt ou roulant, portes ouvertes ou fermées

Les auteurs estiment que les deux outils conduisent à des conclusions similaires sur ce jeu de données. Par contre, du point de vue méthodologique, ils signalent plusieurs différences importantes, sans se prononcer pour autant clairement en faveur d'un outil au détriment de l'autre :

- CART prend en compte toutes les variables explicatives pour construire un arbre qui ne fait intervenir que certaines d'entre elles, alors que Minitab requiert de l'utilisateur qu'il sélectionne *a priori* des variables explicatives qui interviennent toutes dans le modèle calculé ;
- CART construit un unique arbre optimal, alors que Minitab propose plusieurs solutions accompagnées de valeurs (R^2 , R^2 ajusté) que l'utilisateur doit juger avec sa culture statistique ;
- CART est une procédure non paramétrique et non linéaire, alors que Minitab ne fournit que des relations de type linéaire entre les variables ; une transformation des données (changement d'échelle, logarithme, racine carrée...) conduit ainsi à une formule différente pour Minitab, mais a peu d'influence sur l'arbre produit par CART. Cependant, il semble que l'identification des variables déterminantes n'en soit pas affectée ;
- CART isole les données aberrantes dans des nœuds terminaux distincts du reste de la population, alors que Minitab s'appuie sur toutes les données de la même manière ;

- CART peut traiter des valeurs manquantes, alors que Minitab ignore les individus incomplets.

Commentaires

Cet article a le mérite de remettre en cause la technique de régression linéaire multiple, aujourd'hui très répandue. La méthode CART semble plus robuste ; elle résiste à certaines propriétés courantes des données, comme les valeurs aberrantes ou les valeurs manquantes. Moins dépendante des choix de l'utilisateur, elle ne requiert pas de sélectionner des variables explicatives et ne se limite pas à chercher des dépendances linéaires. Le domaine de la recherche de déterminants pourrait tirer profit de sa popularisation.

Néanmoins, ces avantages apparents sont surtout dus au fait que le modèle de régression linéaire multiple repose sur une hypothèse de modélisation exigeante. Si cette dernière n'est pas vérifiée, la méthode produit des résultats peu fiables ; par contre, dans ses conditions de validité, elle est la méthode la plus adaptée. Il est donc important de s'interroger *a priori* sur la linéarité des dépendances recherchées.

D'autre part, les auteurs se sont restreints à l'emploi de logiciels particuliers, ce qui ne permet pas de comparer les deux approches de manière exhaustive. On pourrait se demander si d'autres implémentations de ces techniques présentent les mêmes propriétés.

Nota : Les deux méthodes sont mises en œuvre dans l'environnement statistique gratuit R (<http://www.r-project.org>).



Source : Geelen LMJ, Huijbregts MAJ, Ragas A *et al.* Comparing the effectiveness of interventions to improve ventilation behavior in primary schools. *Indoor Air*, 18(5) [2008]: 416-424.

Article analysé par : Mickaël DERBEZ, Centre scientifique et technique du bâtiment – CSTB ; mickael.derbez@cstb.fr

Des études ont montré l'impact négatif d'un taux de renouvellement d'air faible mesuré dans les écoles sur la santé des enfants, mais aussi sur leurs performances scolaires. De nombreux travaux européens et nord-américains relatent des salles de classe insuffisamment ventilées ; les actions correctives à mettre en place, notamment au regard des systèmes de ventilation, sont cependant toujours difficilement réalisables. Une des alternatives proposées est d'améliorer le comportement d'aération de l'occupant vis-à-vis des ouvrants. Malheureusement, on connaît peu de choses sur les moyens ou outils efficaces à mettre en œuvre dans les écoles pour favoriser ce changement de comportement. L'objectif de l'étude de Geelen *et al.* était de déterminer l'efficacité de trois outils visant à améliorer le comportement d'aération dans les écoles primaires en suivant les concentrations en CO₂, produit par le métabolisme humain et considéré comme un indicateur du confinement.

Quatre-vingt-une salles de classe de vingt écoles primaires néerlandaises répondant à une liste de critères prédéfinis (absence de système de ventilation, éloignement des grands axes de circulation, absence de travaux dans l'école pendant l'étude, enfants âgés de 7 à 10 ans) ont été sélectionnées aléatoirement et scindées en quatre groupes de tailles identiques. Le premier groupe (n = 20) a reçu des conseils d'aération personnalisés (instructions à suivre par l'enseignant). En complément de ces conseils, un dispositif d'avertissement lumineux basé sur la mesure en continu du CO₂ (diode rouge s'illuminant au dessus de 1 200 ppm) a été installé dans le second groupe (n = 20). Un module d'enseignement intitulé « Air extérieur, rentre et jouons ! » a été proposé aux enseignants et enfants du troisième groupe (n = 21). Le quatrième groupe (n = 20) constitue le groupe de référence.

Chaque classe a fait l'objet de trois phases d'investigations (d'une durée d'une semaine) menées en période hivernale (2004-2005). Au cours de chaque phase, les paramètres de confort (CO₂, température et humidité relative) ont été enregistrés toutes les 3 minutes et l'enseignant devait consigner l'état d'ouverture ou de fermeture des ouvrants et des grilles d'aération dans un journal de bord. La phase de référence (T0) a été conduite deux à trois

semaines avant la mise à disposition des outils d'aide à la gestion de l'aération. Les effets de l'application de ces outils ont été évalués pendant la phase à court terme (T1) immédiatement après l'intervention, et pendant la phase à long terme (T2) six semaines après. À l'issue de ces deux dernières phases, les enseignants ont été interviewés pour donner leur opinion sur ces expériences. L'évaluation de l'efficacité de ces outils a été appréhendée pour chaque classe par l'écart des concentrations moyennes en CO₂ entre les phases T0 et T1 pour l'effet à court terme, et entre les phases T0 et T2 pour l'effet à long terme.

Les enseignants sont majoritairement satisfaits des outils mis à disposition (95 % pour le dispositif d'avertissement lumineux, 80 % pour le module d'enseignement et 60 % pour les conseils d'aération personnalisés). Toutefois deux tiers des enseignants n'ont respecté que partiellement les consignes d'aération, principalement à cause de problèmes d'inconfort (présence de courants d'air et d'air froid). Les journaux de bord présentent de trop nombreuses données manquantes, ce qui rend leur exploitation impossible.

L'exploitation des concentrations en CO₂ mesurées pendant les jours scolaires montre qu'en phase de référence (T0), la situation de confinement est similaire pour les quatre groupes (dépassement des 1 000 ppm 65 % des jours scolaires). Pour chaque période d'observation (T1 et T2), ce pourcentage passe respectivement à 55 et 62 % pour le groupe recevant uniquement les conseils d'aération, à 38 et 57 % pour celui équipé de l'avertisseur lumineux et à 58 et 40 % pour celui doté du module d'enseignement. Pour le groupe de référence, ce pourcentage est stable (T1 : 63 % et T2 : 69 %).

L'analyse des données montre également que les moyennes de concentrations en CO₂ pendant les jours scolaires ne sont pas significativement différentes pour les quatre groupes en phase de référence. Sur le court terme, l'écart de concentration entre T0 et T1 est le plus important pour le groupe équipé de l'avertisseur lumineux. Sur le long terme, l'écart de concentration entre T0 et T2 est le plus élevé pour le groupe équipé de l'avertisseur lumineux et celui doté du module d'enseignement.

Parmi les trois outils d'aide à la gestion de l'aération des salles de classe des écoles primaires comparés dans le cadre de cette étude d'intervention, la mise à disposition d'un avertisseur lumineux basé sur la mesure du CO₂ ou celle d'un module d'enseignement incitant les enfants à aérer et à surventiler la salle de classe apparaissent efficaces, alors que la prescription de conseils d'aération personnalisés semble inefficace. Grâce à ces outils, le confinement des salles a significativement baissé, mais les concentrations en CO₂ excèdent encore le seuil de 1 000 ppm pour 40 % des jours scolaires. En attendant d'améliorer les équipements de ventilation de façon notamment à supprimer l'inconfort thermique, l'avertisseur lumineux et le module d'enseignement s'avèrent être des outils d'aide à la gestion de l'aération efficaces et faciles à mettre en œuvre pour diminuer le confinement et assurer une meilleure qualité d'air intérieur. La poursuite de l'étude devrait permettre d'étudier l'effet combiné de ces deux outils, leur utilisation en continu et à plus long terme (après 1 an).

Commentaires

Cette étude d'intervention est particulièrement intéressante car elle a permis de tester et de prouver, sur un nombre important d'écoles primaires dépourvues de systèmes de ventilation, l'efficacité de deux outils d'aide à la gestion de l'aération des salles de classe. L'approche pédagogique originale mise en œuvre a permis d'impliquer directement les élèves dans la gestion de l'aération des locaux et constitue également une plus-value incontestable de cette étude. La diminution du confinement a été clairement mise en évidence suite au changement de comportement des enseignants et des enfants, aussi bien à court terme qu'à long terme. Ce changement de comportement est toutefois supposé car aucune analyse n'a été réalisée à partir des journaux de bord inexploitable. Afin de compléter l'analyse des données, il aurait été intéressant d'étudier, dans chaque groupe, l'incidence de l'implication des occupants sur l'efficacité des outils proposés. Bien que le confinement ait baissé, la question se pose de savoir si la qualité de l'air intérieur s'est réellement améliorée en l'absence de mesures de polluants ou d'indicateurs de pollution en parallèle des teneurs en CO₂. Il serait pertinent de mener cette étude dans d'autres lieux d'enseignement (collèges et lycées) où les situations d'occupation sont très différentes.



LIEUX DE VIE

Variabilité spatio-temporelle des teneurs en COV* dans un centre commercial

Source : Eklund BM, Burkes S, Morris P and Mosconi L. Spatial and temporal variability in VOC levels within a commercial retail building. *Indoor Air*, 18(5) [2008]: 365-374.

Article analysé par : Sophie TETON, réseau de surveillance de la qualité de l'air ATMO PACA ; sophie.teton@atmopaca.org

De nombreuses études ont été réalisées pour caractériser les niveaux de COV* à l'intérieur des bâtiments, essentiellement des habitations et des bureaux, plus rarement des bâtiments commerciaux. Rares sont également les travaux visant à caractériser, à l'instar de l'étude de Eklund *et al.*, les teneurs en COV* sur des périodes de temps longues.

Le centre commercial étudié est situé à proximité d'une autoroute à fort trafic, dans une ville américaine du New-Jersey (33 000 habitants). Le bâtiment est séparé en dix magasins. Chaque box est équipé d'une climatisation réversible sur le toit. Les magasins sont alignés dans le centre commercial comme présenté dans le tableau ci-dessous.

Commerces présents dans le centre commercial étudié et COV* potentiellement émis par chacun

N°	Type de commerce	COV* potentiellement émis
1 (Nord)	Bijouterie	isopropanol
2	Salon de coiffure / ongles	acétone, éthanol, acétate d'éthyle, isopropanol, toluène
3	Restaurant	éthanol
4	Restaurant	éthanol
5	Loueur de vêtements	tétrachloroéthylène
6	Pressing	tétrachloroéthylène
7	Opticien	éthanol, isopropanol
8	Loueur vidéo	éthanol, isopropanol
9	Restaurant	éthanol
10 (Sud)	Restaurant	éthanol

De mars 2003 à juillet 2005, 130 échantillons ont été prélevés à l'intérieur du centre commercial (entre 8 et 25 par site) et 25 à l'extérieur, à proximité immédiate du bâtiment. Les prélèvements ont été effectués par canister pour la recherche d'une soixantaine de composés : hydrocarbures aromatiques monocycliques (benzène, toluène...), composés chlorés (trichloroéthylène, tétrachloroéthylène...) et hydrocarbures oxygénés (acétone...). L'analyse a été réalisée par la méthode EPA TO-15. La moyenne a été calculée par la méthode de Kaplan-Meier conçue pour traiter des données avec des limites de détection multiples. La médiane et le percentile 90 ont été calculés en substituant les données non détectées par la moitié de la valeur de la limite de détection.

28 composés sont retrouvés dans plus de 10 % des échantillons d'air intérieur. Pour 12 d'entre eux, l'amplitude des valeurs est forte tant au niveau temporel que spatial, et 8 composés présentent des valeurs supérieures à 1 000 µg/m³ pour un ou plusieurs échantillons.

À l'extérieur, 23 composés sont retrouvés dans plus de 10 % des échantillons ; tous sont également mesurés dans l'air intérieur. Les concentrations sont majoritairement inférieures à 5 µg/m³. Pour les auteurs, l'air extérieur semble l'origine la plus probable de certains composés détectés à l'intérieur : benzène, éthylbenzène, xylènes... Inversement, l'air intérieur influe sur l'air extérieur, puisque l'acétone est détectée à l'extérieur à des concentrations supérieures à 30 µg/m³. Ceci semble également être le cas pour l'éthanol et l'isopropanol.

Le ratio des concentrations intérieures/extérieures est toujours élevé, jusqu'à 1 500 pour l'acétone. Ceci suggère la présence de sources intérieures prépondérantes. Les très fortes concentrations intérieures enregistrées sur quelques échantillons tendent à « tirer » les moyennes globales vers le haut ; ceci est notable pour l'acétone (moyenne 175 fois supérieure à la médiane). Parmi les 11 composés présen-

tant des concentrations moyennes supérieures à 5 µg/m³, seuls 5 ont des médianes de cet ordre de grandeur : acétone, éthanol, isopropanol, toluène et tétrachloroéthylène.

Les variabilités spatiales marquées à l'intérieur du centre commercial pour l'acétone (jusqu'à 4 ordres de grandeur entre les magasins n°2 et n°9), le toluène, l'éthanol et le tétrachloroéthylène semblent en lien direct entre le lieu de prélèvement et les sources connues des COV* (maxima en acétone et en toluène au n°2, en tétrachloroéthylène au n°5). De plus, des transferts de composés d'un site à l'autre sont mis en évidence. L'acétone et le toluène au magasin n°2 migrent vers les magasins adjacents (fortes concentrations aux n°1 et n°3). Le facteur de corrélation entre les concentrations mesurées pour ces deux composés ($R^2 = 0,87$) met en évidence une source commune. Le rapport des concentrations toluène/benzène renforce cette hypothèse : il est nettement plus élevé au nord du bâtiment qu'au sud, où il devient équivalent à celui de l'air extérieur. Les auteurs montrent également le transfert du tétrachloroéthylène du pressing vers les magasins adjacents ; ils soulignent en particulier un transfert par les gaines de ventilation lors d'une mesure à l'occasion d'un arrêt de l'extraction d'air dans le pressing.

Commentaires

Cette étude basée sur un grand nombre de données permet une démonstration précise de l'influence directe des sources intérieures sur les niveaux de COV*, tant à l'intérieur qu'à l'extérieur. Elle montre en outre les transferts possibles d'un site à l'autre et suggère le passage par les gaines de ventilation. Il est dommage que cette dernière hypothèse n'ait fait l'objet que d'un unique prélèvement. Par ailleurs, il aurait été utile de mettre en relation la variabilité temporelle des polluants avec l'activité des magasins et leur fréquentation.

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

Gustafson P, Ostman C, Östman C and Sällsten G. Indoor levels of polycyclic aromatic hydrocarbons in homes with or without wood burning for heating. *Environmental Science & Technology*, 42(14) [2008]: 5074-5080.

Heudorf U. Particulate matter in classrooms - Problem and the impact of cleaning and ventilation with the city of Frankfurt am Main as an example. *Gesundheitswesen*, 70(4) [2008]: 231-238.

Fromme H, Diemer J, Dietrich S, Cyrus J *et al.* Chemical and morphological properties of particulate matter (PM₁₀, PM_{2.5}) in school classrooms and outdoor air. *Atmospheric Environment*, 42(27) [2008]: 6597-6605.

Wargocki P, Wyon DP, Lynge-Jensen K and Bornehag CG. The effects of electrostatic particle filtration and supply-air filter condition in classrooms on the performance of schoolwork by children (RP-1257). *HVAC&R Research*, 14(3) [2008]: 327-344.

Glorennec P, Bonvallet N, Mandin C *et al.* Is a quantitative risk assessment of air quality in underground parking garages possible? *Indoor Air*, 18(4) [2008]: 283-292.

Lopez E, Schuhmacher M and Domingo JL. Human health risks of petroleum-contaminated groundwater. *Environmental Science and Pollution Research*, 15(3) [2008]: 278-288.



EFFETS SANITAIRES

Diminution des symptômes irritatifs suite au remplacement de panneaux acoustiques de laines de verre partiellement revêtus

Source : Palomäki E, Uitti J, Virtema P *et al.* Decreasing irritation symptoms by replacing partially coated acoustic glass wool boards with fully coated boards. *Scandinavian Journal of Work Environment & Health*, Supplement 4 [2008]: 64-68.

Article analysé par : Guillaume BOULANGER, Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail – AFSSET ; guillaume.boulangier@afsset.fr

L'exposition aux fibres minérales artificielles pourrait être associée à des symptômes d'irritation des muqueuses chez les travailleurs de bureaux. Les auteurs suggèrent que les matériaux d'isolation ou de filtration dans les conduites de ventilation sont la source principale d'émission en fibres dans l'air intérieur. L'objectif de l'étude est d'évaluer l'impact lié à l'élimination d'une source potentiellement importante de fibres (panneaux acoustiques partiellement revêtus) à l'intérieur d'un immeuble de bureaux finlandais sur l'exposition et la prévalence de différents symptômes chez les travailleurs.

L'étude compare un groupe d'employés dit d'intervention ($n = 32$) situé à un étage où les panneaux acoustiques de laines de verre partiellement revêtus ont été remplacés par des panneaux entièrement revêtus et un groupe de référence ($n = 34$) localisé à un autre étage sans modification des locaux. Un nettoyage intensif des locaux a été conduit de manière simultanée pour les deux étages. Les deux groupes ont répondu à des questionnaires standardisés (avant, tout de suite après et trois ans après l'intervention) et, pour certains, se sont soumis à des lavages nasals avant et après l'intervention (respectivement 13 et 14 volontaires). Les fibres minérales artificielles ont été collectées à l'étage des travaux à partir de prélèvements superficiels dans les locaux. Les fibres de longueur supérieure à $20 \mu\text{m}$ ont été comptées par microscopie électronique à intervalles réguliers avant, puis après l'intervention. Pour les lavages nasals, les fibres ont été comptées par microscopie optique à contraste de phase. Concernant la prévalence des symptômes éventuellement liés à l'environnement professionnel, les proportions des plaintes des travailleurs ont été calculées séparément pour chaque groupe.

Concernant les concentrations surfaciques de fibres minérales artificielles à l'étage des travaux, les auteurs mettent en évidence une augmentation lors du retrait des panneaux partiellement revêtus avant que les concentrations, suite au nettoyage intensif, reviennent aux niveaux précédant les travaux.

Pour les lavages nasals, le nombre de fibres tend à plus diminuer dans le groupe d'intervention que dans celui de référence ($p = 0,072$). Lorsque les

auteurs réalisent une analyse appariée du nombre de résultats nuls (0 f/mL de fibres de longueur supérieure à $20 \mu\text{m}$) et positifs, il existe une augmentation significative des résultats nuls dans le groupe d'intervention ($p = 0,03$; test McNemar).

L'analyse du questionnaire montre, après une période de suivi de trois ans, une diminution significative ($p < 0,05$) des plaintes concernant l'air sec, les odeurs déplaisantes, la poussière et la saleté pour le groupe d'intervention, au contraire du groupe de référence où le nombre de plaintes augmente. Les symptômes oculaires, trachéo-nasaux et cutanéofaciaux, ainsi que la fatigue, diminuent au cours du suivi dans le groupe d'intervention, mais pas dans le groupe de référence (avec une diminution significative pour la fatigue et les syndromes cutanéofaciaux ($p < 0,05$)).

Pour les réponses du groupe de référence, les seules modifications négatives relatives aux facteurs psycho-sociaux pendant le suivi concernent une diminution de l'intérêt et de la stimulation pour le travail.

D'après les auteurs, les résultats de l'étude confortent les suspicions sur le fait que les laines minérales émises par les panneaux acoustiques partiellement revêtus peuvent causer une sensation d'air sec ainsi que des symptômes d'irritation cutanée et respiratoire parmi des travailleurs de bureaux. L'élimination des laines minérales détectées dans les poussières surfaciques de bureaux semble un moyen efficace de diminuer les plaintes pour symptômes irritatifs. Les auteurs soulignent l'intérêt d'une période longue pour le suivi des travailleurs, la démarche ne devant pas se limiter à une interrogation des personnes juste après les travaux de rénovation.

Les auteurs discutent, à juste titre, les résultats issus de leur étude. Pour le questionnaire, ils évoquent notamment le biais associé au fait que les sujets étaient informés des travaux de rénovation et du nettoyage intensif des locaux. Ils soulignent ainsi l'intérêt qu'aurait une étude randomisée (en aveugle si possible) ou contrôlée pour établir une relation de causalité entre exposition aux laines minérales et symptômes irritatifs.

Un autre facteur de confusion concerne les changements organisationnels intervenus uniquement dans le groupe de référence pouvant expliquer la baisse d'intérêt et de motivation au travail. Enfin, les symptômes ne sont pas spécifiques et peuvent être d'origine multifactorielle.

Pour la mesure des fibres à l'étage des travaux, ils discutent la courte durée du prélèvement surfacique dans les locaux (1 semaine). Pour les lavages nasals, les résultats ne sont pas conclusifs en raison du faible nombre de personnes et des limites associées à la technique microscopique utilisée (microscopie optique à contraste de phase). Les auteurs ne recommandent pas l'utilisation de cette démarche en routine pour les problématiques de fibres dans les bureaux.

Au final, les auteurs préconisent de remplacer les panneaux acoustiques de laines de verre partiellement revêtus par des panneaux entièrement revêtus. Enfin, en cas de symptômes irritatifs non spécifiques signalés dans les environnements de bureaux et en l'absence de causes identifiées, les auteurs proposent de réaliser des prélèvements surfaciques afin d'identifier par microscopie électronique d'éventuelles laines minérales.

Commentaires

La méthode proposée par les auteurs semble intéressante mais présente néanmoins des limites.

Concernant le questionnaire, il ne semble pas que les mêmes personnes ont été interrogées avant, immédiatement après l'intervention et trois ans après.

Pour les lavages nasals, le faible nombre de sujets et l'exclusion de deux échantillons prélevés avant l'intervention (soit 15 % des échantillons prélevés avant les travaux) limitent l'interprétation des résultats. De même, aucun élément n'est disponible concernant l'histoire personnelle des sujets (exposition croisée lors de travaux domestiques ou dans d'autres environnements). Enfin, la microscopie optique à contraste de phase ne permet pas d'identifier la nature des fibres mesurées (possibilité d'inclure des fibres organiques par exemple).

Concernant les prélèvements surfaciques dans les locaux, en dépit du fait qu'ils n'ont concerné que le groupe d'intervention, ils ne permettent pas d'estimer l'exposition des travailleurs (contrairement aux prélèvements d'air). Aucune justification n'est apportée sur le choix de la classe granulométrique retenue (fibres de longueur supérieure à 20 µm et exclusion *de facto* d'une partie de la distribution granulométrique), d'autant plus que la microscopie électronique n'est pas la méthode la plus adéquate pour mesurer les fibres longues et épaisses. L'interprétation des résultats est d'autant plus difficile que la variation des concentrations de fibres avant ou trois ans après les travaux n'apparaît pas significative.

La démarche de recherche des sources à l'origine de symptômes irritatifs non spécifiques chez les travailleurs de bureaux, associée aux recommandations de nettoyage intensif et régulier des locaux, paraît pertinente, mais doit faire l'objet d'une méthode plus précise incluant notamment la prise en compte d'autres polluants, comme les COV* par exemple.



EFFETS SANITAIRES

Rôle des phtalates relargués par le PVC dans le développement de l'asthme et des allergies : revue de la littérature et méta-analyse

Source : Jaakkola JJK and Knight TL. The role of exposure to phthalates from polyvinyl chloride products in the development of asthma and allergies: A systematic review and meta-analysis. *Environmental Health Perspectives*, 116(7) [2008]: 845-853.

Article analysé par : Vincent NEDELLEC, Vincent Nedellec Conseils ; vincent.nedellec@vnc-sante.fr

Les noms complets des phtalates évoqués sont développés à la fin de cette analyse.

Les plastiques de type PVC sont utilisés dans les revêtements de surfaces intérieures, les emballages alimentaires, en couverture dans l'agriculture et dans certains appareillages médicaux en raison de leur stabilité et de la flexibilité que leur confèrent les plastifiants incorporés. Les diesters de phtalates sont les plastifiants les plus utilisés (900 000 tonnes

utilisées en 2007 en Europe). Les plus employés sont le DiNP, DiDP et le DEHP. Dans les pays industrialisés, les expositions sont donc très répandues et se font majoritairement via l'alimentation. Cet article propose une revue systématique de la littérature et une méta-analyse des risques allergiques et asthmatiques liés à l'exposition au DEHP.

Les auteurs ont interrogé la base de données Medline avec la requête suivante : “[phtalates OR polyvinyl chloride] AND [asthma OR allergy]”. Parmi les 54 articles obtenus, seules les études ciblant les effets des phtalates sur le système respiratoire humain ou sur des paramètres immunologiques chez l’animal ou *in vitro* ont été retenues. Pour la méta-analyse des résultats épidémiologiques, le modèle à effet fixe ⁽¹⁾ de Mantel-Haenszel ou celui à effet aléatoire de DerSimonian and Laird sont mis en œuvre selon les conditions d’utilisation classique (test acceptant ou rejetant l’hypothèse d’homogénéité).

41 publications sont retenues : 14 études toxicologiques mécanistiques, 9 études de cas ou séries de cas d’asthmes professionnels, 17 études épidémiologiques et une étude expérimentale humaine. Deux études chez la souris indiquent que le MEHP (métabolite du DEHP) a la plus forte capacité d’augmenter la réponse immunitaire en comparaison des autres phtalates. Chez les souris co-exposées par inhalation à l’ovalbumine et au MEHP (0,03 ou 0,4 mg/m³), le niveau de lymphocytes et d’éosinophiles dans le lavage broncho-alvéolaire est supérieur à celui des souris exposées uniquement à l’ovalbumine. Il a été démontré que cet effet « adjuvant » est lié à la structure chimique ; ainsi les monoesters à 8 (MEHP, MnOP) ou 9 (MiNP) chaînes carbonées sont plus actifs que ceux à 4, 7 ou 10 chaînes. Sur culture de cellules épithéliales humaines, le MEHP stimule la production de cytokines plus fortement que d’autres monoesters. Les études animales permettent d’établir une dose minimale sans effet nocif observable à 30 µg/m³. Les niveaux d’exposition humaine en population générale seraient substantiellement supérieurs. Chez l’adulte, dix études (travailleurs dans l’industrie du PVC) montrent une association entre l’exposition aux vapeurs de PVC chauffé et la survenue de nouveaux cas d’asthme ou de symptômes respiratoires. Chez l’enfant, cinq études épidémiologiques montrent une association entre la présence de matériaux en PVC à la maison et le risque d’asthme. Les méta risques estimés, exprimés sous forme d’*odds ratio*, sont de 1,55 (IC_{95%*} : 1,18 – 2,05) pour l’asthme et de 1,32 (IC_{95%*} : 1,09 – 1,60) pour l’allergie (modèle à effet fixe).

L’exposition aux phtalates peut moduler la réponse allergique des rongeurs co-exposés à des allergènes. Le chauffage du PVC contribue probablement au développement de l’asthme chez l’adulte. Chez l’enfant, le risque d’asthme et d’allergie augmente avec les indicateurs d’exposition aux phtalates. Le manque de mesures quantitatives des expositions dans les études épidémiologiques limite la portée de leurs résultats.

Commentaires

Les phtalates ont longtemps été considérés comme faiblement toxiques, c’est pourquoi ils sont largement utilisés dans les produits de consommation courante. De nouvelles méthodes toxicologiques ont permis de mieux décrire leurs effets sur les systèmes complexes, comme la réponse immunitaire ou la fonction endocrinienne. Cette revue systématique est bien documentée et très actuelle puisque toutes les études expérimentales citées, sauf deux, sont postérieures à l’année 2000. Les conclusions des auteurs contredisent celles de l’évaluation européenne ⁽²⁾ qui avait écarté la responsabilité causale du DEHP dans la survenue de l’asthme sur la base d’un nombre beaucoup plus limité d’études. Cette synthèse expose les preuves expérimentales disponibles et les mécanismes sous-jacents à cet effet « adjuvant » du DEHP. Les expositions aux phtalates dans les environnements intérieurs, ainsi que leurs conséquences sur l’état de santé, devraient faire l’objet d’études en France, pays pour le moment peu impliqué dans la connaissance de cette problématique de santé publique.

- (1) L’utilisation d’un modèle à effet fixe est conditionnée par un test acceptant l’hypothèse d’homogénéité entre les études.
- (2) *Risk Assessment Report* du DEHP disponible sur le site Internet : <http://ecb.jrc.ec.europa.eu/>

DEHP : diéthylhexyl phtalate ; DiDP : diisodécyl phtalate ; DiNP : diisononyl phtalate ; MEHP : monoéthylhexyl phtalate ; MnOP : mono-*n*-octyl phtalate ; MiNP : monoisononyl phtalate



EFFETS SANITAIRES

Risques sanitaires liés à la fréquentation des piscines durant l’enfance

Source : Schoefer Y, Zutavern A, Brockow I *et al.* Health risks of early swimming pool attendance. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 211(3-4) [2008]: 367-373.

Article analysé par : Marie-Thérèse GUILLAM, SEPIA-Santé ; mtguillam_sepia@orange.fr

Les objectifs de ce travail étaient d’étudier les liens entre la fréquentation précoce des piscines, la prévalence d’infections lors de la première année de vie et

le développement des maladies allergiques entre 1 et 6 ans (avec une focalisation sur les bébés nageurs).

L'étude s'est déroulée en Allemagne dans le contexte d'une cohorte prospective de nouveau-nés. Cette cohorte a inclus entre 1997 et 1999, 3 097 enfants de 4 régions allemandes et son suivi a pour objectif global d'analyser l'influence des comportements de vie sur le système immunitaire et le développement des allergies chez l'enfant.

Ce travail a été effectué avec les données récoltées entre 2003 et 2005 sur 2 192 enfants. Les informations ont été recueillies à l'aide de questionnaires à 6, 12 et 18 mois et à 2, 4 et 6 ans. Les données renseignées par les parents concernaient notamment les caractéristiques socio-économiques, médicales et comportementales. La fréquentation des piscines a été renseignée seulement à l'âge de 6 ans et sur deux points : (1) l'âge de première fréquentation (selon 5 items : 1^{ère} année de vie et régulière (bébé nageur) ; 1^{ère} année de vie et occasionnelle ; entre 1 et 3 ans ; entre 3 et 6 ans ; jamais) et (2) sur les douze derniers mois (selon 4 items : 1 fois par semaine ; 1 fois par mois ; plus rarement ; jamais). Pour les analyses, trois catégories de fréquentation ont été retenues : 1^{ère} année de vie et régulière ; 1^{ère} année de vie et occasionnelle ; après la 1^{ère} année ou jamais. Les données sanitaires prises en compte sont les maladies infectieuses précoces (1^{ère} année de vie) et allergiques diagnostiquées par un médecin lors des 6 mois avant le remplissage des questionnaires de suivi à 6, 12, 18 et 24 mois. Les prévalences de maladies allergiques (entre 1 et 6 ans) et d'infections (lors de la 1^{ère} année de vie) ont été décrites en fonction de la fréquentation des piscines, i.e. l'asthme, le rhume des foies, l'eczéma, la diarrhée, les infections des voies respiratoires supérieures et l'otite. Pour étudier les relations, des modèles de régression logistique ont été mis en œuvre en ajustant sur le sexe, la région, le niveau d'éducation des parents, l'atopie des parents, le nombre de frères et sœurs plus âgés dans la fratrie et la fréquentation des crèches lors de la première année de vie.

Sur les 2 192 enfants, 30,1 % ont été bébés nageurs, 29,9 % ont fréquenté occasionnellement la piscine entre 0 et 1 an, et 40,1 % ne l'ont jamais fréquentée ou seulement après l'âge d'un an (plus de 90 % des enfants l'ont fréquentée avant 3 ans et 0,7 % des enfants n'y sont encore jamais allés). Les prévalences d'asthme, de rhume des foies et d'eczéma sont respectivement de 3,2 ; 5,1 et 21,3 %. Les prévalences de diarrhée, d'infections respiratoires et d'otite sont respectivement de 32,7 ; 77,3 et 19,6 %. Les prévalences des maladies allergiques (entre 1 et 6 ans) ne sont pas plus élevées chez les enfants qui ont été bébés nageurs. Les enfants n'ayant pas encore fréquenté la piscine ou l'ayant fréquentée après 1 an, présentent d'ailleurs un risque d'asthme plus élevé que les deux autres groupes de fréquentation (OR* = 2,35 ; IC_{95%*} = 1,21 – 4,56). Parmi les maladies infectieuses, ces mêmes enfants ont un risque significativement plus faible de diarrhée que les

autres (OR* = 0,72 ; IC_{95%*} = 0,57 – 0,93). Selon les auteurs, les types de fréquentation sur les douze derniers mois ne montrent aucune association (pas même de tendance visible) avec les maladies allergiques ou infectieuses.

Dans cette étude, les auteurs mettent donc en évidence que les bébés nageurs ont plus de risque de présenter des diarrhées la première année de vie, mais pas plus de maladies allergiques ultérieurement (jusqu'à 6 ans). Par ailleurs, les enfants qui n'ont pas été bébés nageurs ont un risque supérieur de souffrir d'asthme. Selon les auteurs, ce résultat pourrait être dû à un évitement de la fréquentation de la piscine du fait d'une maladie allergique précocement suspectée (c'est-à-dire, dans la première année de vie) ou bien à la non prise en compte de facteurs de confusion (ce résultat, avec en parallèle celui sur les diarrhées, pourrait conduire à envisager un effet protecteur des activités de bébés nageurs dans le contexte de l'hypothèse hygiéniste, ce à quoi n'adhèrent pas les auteurs).

La non concordance des résultats avec ceux d'autres études, principalement celles réalisées en Belgique, est amplement discutée. Une différence importante concerne les limites réglementaires du chlore combiné dans l'eau (dont sont issues les chloramines volatiles présumées responsables des effets respiratoires délétères) : en Allemagne, le seuil réglementaire (0,2 mg/L) est 10 fois plus faible qu'en Belgique. Les auteurs émettent donc l'hypothèse que ce seuil pourrait protéger contre le développement de maladies allergiques, mais que, par contre, les conditions de traitement de l'eau seraient alors insuffisantes pour la désinfecter de manière adéquate, d'où l'augmentation de maladies infectieuses. D'autre part, contrairement aux études belges où des mesures de biomarqueurs de l'endommagement de l'épithélium pulmonaire ont été réalisées en parallèle de la fréquentation des piscines, ici seules des données rétrospectives d'exposition issues d'un questionnaire sont disponibles. Par ailleurs, le groupe « témoin » n'est pas constitué d'enfants n'ayant jamais fréquenté la piscine (car leur nombre est trop faible) ; il regroupe aussi des enfants ayant des fréquentations après un an, mais dont la régularité ou fréquence n'est pas prise en compte. Les auteurs évoquent aussi le fait que le développement éventuel de problèmes allergiques pourrait ne pas être effectif dès 6 ans.

Les auteurs concluent que leur étude ne permet pas d'émettre de conclusion définitive sur le risque de maladies allergiques pour les bébés nageurs, mais que cette pratique pourrait aggraver le risque de maladies infectieuses. La réglementation en vigueur en Allemagne pour les concentrations en composés chlorés dans l'eau doit être maintenue et la fréquentation des piscines ne doit commencer qu'à un âge où les systèmes immunitaire et pulmonaire sont suffisamment développés.

Commentaires

Les auteurs discutent amplement des points faibles de leur étude. Cependant, ils n'abordent pas celui de la définition des maladies allergiques. Aucune standardisation n'est mentionnée (il est juste précisé qu'elles sont diagnostiquées par le médecin de famille), alors que cette définition est particulièrement importante pour l'asthme. Par ailleurs, les maladies ont été comptabilisées à partir du moment où elles ont été diagnostiquées une fois lors d'un suivi. Il n'est pas fait mention de confirmation de la maladie allergique au cours des suivis entre 1 et 6 ans.

Par ailleurs, il apparaît particulièrement dommageable, dans le contexte de cette cohorte prospective, des données de fréquentation des piscines n'aient pas été recueillies comme les autres types de données à intervalles réguliers. La troisième catégorie de fréquentation (après un an et non fréquentation) paraît très discutable.

Les limites de cette étude ne permettent donc effectivement pas de conclure quant aux effets de la fréquentation précoce des piscines chlorées sur le développement des maladies allergiques. Le point concernant les différences de réglementations allemande et belge est très intéressant. À titre d'information, en France, le chlore combiné dans l'eau ne doit pas dépasser 0,6 mg/L, soit une valeur plus proche de la limite réglementaire allemande. L'introduction d'un recueil valide de ce type de données dans une cohorte mère-enfant en France serait intéressante.



EFFETS SANITAIRES

Cancer du poumon et exposition résidentielle au radon : résultats de la nouvelle étude du New-Jersey

Source : Wilcox HB, Al-Zoughool M, Garner MJ *et al.* Case-control study of radon and lung cancer in New Jersey. *Radiation Protection Dosimetry*, 128(2) [2008]: 169-179.

Article analysé par : Hélène BAYSSON ; helene.baysson@laposte.net

Cet article présente les résultats de l'étude cas-témoin « New-Jersey II », menée dans cinq comtés ruraux du New-Jersey, États-Unis, afin d'évaluer le risque de cancer du poumon associé à l'exposition domestique au radon. À la différence de la première étude (« New-Jersey I ») ⁽¹⁾, l'étude « New-Jersey II » inclut également des hommes (« New-Jersey I » ne portait que sur des femmes, recrutées entre 1982 et 1984) et les niveaux de concentration en radon sont relativement élevés (« New-Jersey I » avait été menée en zone urbaine, caractérisée par des faibles niveaux de concentration en radon).

Les cas de cancer du poumon, histologiquement vérifiés, ont été identifiés entre 1989 et 1992. Le diagnostic de cancer du poumon primaire devait être confirmé de manière histologique ou cytologique. Les cas et les témoins ont été appariés sur le sexe, la race, l'âge et le statut tabagique (fumeur, non-fumeur). Près de 80 % des cas et des témoins éligibles ont accepté de participer à l'étude. La concentration en radon a été mesurée dans les habitations occupées par les sujets au cours de la période des 5 à 30 années précédant leur inclusion dans l'étude. Les risques relatifs ont été calculés grâce à une régression logistique conditionnelle après prise en compte du sexe, de l'âge, de la durée du tabagisme, du nombre de cigarettes par jour, du nombre d'habitations occupées (1, > 1) et du nombre

d'années couvertes par les mesures de radon (< 25, > 24). Seuls les sujets dont au moins une habitation a fait l'objet d'une mesure de la concentration en radon ont été conservés dans l'analyse.

L'étude « New-Jersey II » inclut 651 cas (349 hommes, 302 femmes) et 740 témoins (392 hommes, 348 femmes). 44 % des cas et 7 % des témoins n'ont pas pu être interrogés directement. Le nombre moyen d'habitations occupées au cours de la période des 5 à 30 années précédant l'inclusion dans l'étude est de 1,5 chez les cas et 1,4 chez les témoins. La concentration en radon a été mesurée dans 92 % des habitations. Après remplacement des données manquantes, la moyenne de l'exposition au radon au cours des 5 à 30 dernières années est de 46,0 Bq/m³ chez les cas et de 46,4 Bq/m³ chez les témoins.

Les risques relatifs ajustés sur le sexe, l'âge, la durée du tabagisme, le nombre de cigarettes par jour, le nombre d'habitations occupées et le nombre d'années couvertes par les mesures de radon sont les suivants : 1,00 ; 0,90 (IC_{95%*} = 0,64 – 1,25) ; 1,02 (IC_{95%*} = 0,66 – 1,57) ; 1,31 (IC_{95%*} = 0,68 – 2,53), 1,40 (IC_{95%*} = 0,64 – 3,09), 0,76 (IC_{95%*} = 0,36 – 1,61), lorsque les concentrations en radon sont divisées en six classes : < 25 Bq/m³ ; 25-49 Bq/m³ ; 50-74 Bq/m³, 75-99 Bq/m³, 100-149 Bq/m³ et ≥ 150 Bq/m³.

Le risque relatif est égal à 1,05 ($IC_{95\%}^* = 0,86 - 1,56$) pour une augmentation de 100 Bq/m³ de l'exposition moyenne au radon au cours des 30 années précédant l'inclusion dans l'étude. Il est égal à 0,87 ($IC_{95\%}^* = 0,86 - 1,56$) pour les hommes et 1,29 ($IC_{95\%}^* = 0,88 - 2,70$) pour les femmes. Il est à noter que le nombre de cas contribuant au groupe d'exposition supérieure à 150 Bq/m³, notamment chez les hommes, est faible.

Lorsque l'analyse est répétée en sélectionnant uniquement les 326 cas et les 418 témoins ayant une bonne estimation de l'exposition au radon (plus de 20 années couvertes par les mesures et 1 ou 2 habitations occupées au cours de la période étudiée), les estimations de risque restent globalement inchangées. Aucune variation du risque associée à l'exposition domestique au radon n'a été mise en évidence en fonction de l'âge du sujet, de son statut tabagique ou de son niveau d'éducation. Les risques relatifs bruts sont plus élevés pour les cancers du poumon à petites cellules par rapport aux autres types histologiques.

Le niveau de risque de cancer du poumon estimé dans cette étude (augmentation non statistiquement significative de 5 % pour une augmentation de 100 Bq/m³) est cohérent avec les résultats des études cas-témoin publiées et les extrapolations obtenues à partir des études sur les mineurs d'uranium. Le risque associé à l'exposition domestique au radon est plus élevé pour les femmes par rapport aux hommes ; ce résultat avait déjà été observé dans les études cas-témoin menées dans le Connecticut et dans l'Utah, mais pas dans l'analyse conjointe nord-américaine ^(2,3). Enfin, l'augmentation de risque de cancer du poumon plus élevée pour les cancers à petites cellules que pour les autres types histologiques de cancer du poumon, décrite dans l'étude « New-Jersey II », est cohérente avec ce qui a été rapporté dans de nombreuses études (en Allemagne de l'Ouest ⁽⁴⁾, au Royaume-Uni ⁽⁵⁾, dans les études conjointes européennes ⁽⁶⁾ et nord-américaines ^(2,3), dans certaines études sur les mineurs d'uranium).

Commentaires

Cette étude montre une association positive entre l'exposition au radon et le risque de cancer du poumon. L'estimation du risque obtenue est cohérente avec les résultats des études individuelles déjà publiées. Néanmoins, dans cette étude, l'estimation du risque est sous-estimée du fait :

- de l'incertitude aléatoire liée aux erreurs de mesure qui n'a pas été prise en compte ;
- du nombre élevé de cas qui n'ont pas pu être interrogés directement, ce qui a pu entraîner un biais de classification du tabagisme et de l'exposition au radon ;
- du faible nombre de cas contribuant à l'estimation du risque associé à une exposition supérieure à 150 Bq/m³.

Prise isolément, l'étude « New-Jersey II » a une puissance statistique insuffisante pour conclure à un résultat nettement significatif. Elle sera incluse dans l'analyse conjointe mondiale en cours et dont l'objectif est de réunir l'ensemble des études cas-témoin sur le risque de cancer du poumon associé à l'exposition domestique au radon menées en Europe (13 études), en Amérique du Nord (8 études), en Chine (2 études) et en Russie (1 étude). L'étude « New-Jersey I », déjà incluse dans l'analyse conjointe nord-américaine, fera également partie de l'analyse conjointe mondiale.

- (1) Schoenberg JB, Klotz JB, Wilcox HB *et al.* Case-control study of residential radon and lung cancer among New Jersey women. *Cancer Research*, 50 [1990]: 6520-6524.
- (2) Krewski D, Lubin JH, Zielinski JM *et al.* Residential radon and risk of lung cancer: A combined analysis of 7 North-American case-control studies. *Epidemiology*, 16(2) [2005]: 137-145.
- (3) Krewski D, Lubin JH, Zielinski JM *et al.* A combined analysis of North-American case-control studies of residential radon and lung cancer. *Journal of Toxicology and Environmental Health A*, 69(7-8) [2006]: 533-597.
- (4) Kreienbrock L, Kreuzer M, Gerken M *et al.* Case-control study on lung cancer and residential radon in western Germany. *Am J Epidemiol*, 153(1) [2001]: 42-52.
- (5) Darby S, Hill D, Auvinen A *et al.* Radon in homes and risk of lung cancer: Collaborative analysis of individual data from 13 European case-control studies. *British Medical Journal*, 330(7485) [2005]: 223-226.
- (6) Darby S, Whitley E, Silcocks P *et al.* Risk of lung cancer associated with residential radon exposure in south-west England: A case control study. *British Journal of Cancer*, 78(3) [1998]: 394-408.

Autres articles d'intérêt sur la thématique EFFETS SANITAIRES :

Chen CY, Chow D *et al.* Short-term secondhand smoke exposure decreases heart rate variability and increases arrhythmia susceptibility in mice. *Am J of Physiology-Heart and Circulatory Physiol*, 295(2) [2008]: H632-H639.

Takkouche B, Gonzalez-Barcala FJ, Ertminan M and Fitzgerald M. Exposure to furry pets and the risk of asthma and allergic rhinitis: A meta-analysis. *Allergy*, 63(7) [2008]: 857-864.

Molhave L. Inflammatory and allergic responses to airborne office dust in five human provocation experiments. *Indoor Air*, 18(4) [2008]: 261-270.



Source : Caro J and Gallego M. Alveolar air and urine analysis as biomarkers of exposure to trihalomethanes in an indoor swimming pool. *Environmental Science & Technology*, 42(13) [2008]: 5002-5007.

Article analysé par : Luc MOSQUERON, Veolia Environnement ; luc.mosqueron@veolia.com

Formés par réaction entre le chlore et la matière organique, les trihalométhanes (THM) sont des sous-produits de désinfection de l'eau traitée par chloration dont les principaux représentants sont le chloroforme (CHCl₃), le bromoforme (CHBr₃), le bromodichlorométhane (BDCM) et le dibromochlorométhane (DBCM). Leur présence dans l'eau et l'air des piscines conduit à une exposition des nageurs et employés par contact cutané et par inhalation. Si diverses études basées sur des mesures biologiques ont permis de démontrer l'exposition aux THM* (chloroforme en particulier), la sensibilité des différentes matrices biologiques utilisées (air expiré, sang, urines...) a assez rarement été comparée.

Dans ce contexte, l'objectif principal de cette étude espagnole était de comparer la sensibilité de dosages de THM* dans l'air alvéolaire (méthode précédemment développée par les auteurs) et dans les urines, parmi le personnel et des nageurs fréquentant une piscine couverte.

Les auteurs ont couplé à des mesurages dans l'air et l'eau de la piscine, des dosages dans les urines et la fraction alvéolaire de l'air expiré chez 15 employés de l'établissement (maîtres-nageurs, réceptionnistes et agents de maintenance) et 12 nageurs. Les mesures biologiques ont été réalisées selon un schéma identique pour les deux matrices (urines, air alvéolaire) avec des échantillons collectés chez chaque

sujet avant et après les activités professionnelles (après 2 heures et 4 heures de travail) ou de loisir (après une 1 heure de natation).

Dans l'air et l'eau de la piscine comme dans les urines et l'air alvéolaire, l'exposition aux THM* est dominée par le chloroforme et dans une moindre mesure par le bromodichlorométhane.

Avant exposition, les teneurs mesurées dans les urines et l'air alvéolaire chez le personnel et les nageurs ne diffèrent pas.

Après exposition, les teneurs en THM* dans l'air alvéolaire ne sont augmentées que de manière marginale chez les réceptionnistes (travaillant à distance des bassins tout au long de la journée) et les agents d'exploitation (n'effectuant que des passages épisodiques autour des bassins). En revanche, chez les nageurs et les maîtres-nageurs, les concentrations urinaires et alvéolaires augmentent significativement (voir le tableau ci-dessous). Ces augmentations sont plus nettes chez les nageurs, suggérant, selon les auteurs, une surexposition liée au contact cutané durant la baignade, à de plus fortes teneurs en THM* dans l'air au niveau de l'eau des bassins et à une activité ventilatoire accrue. Les différences « avant/après » observées chez les nageurs et les maîtres-nageurs sont plus marquées dans l'air alvéolaire que dans les urines.

Concentrations moyennes en THM mesurées dans les matrices environnementales et biologiques*

				Chloroforme	BDCM
Eau (µg/L)				120	2
Air (µg/m ³)				220	8
Air alvéolaire (µg/m ³)	Avant exposition	Tous sujets		2,4 – 5,6	< LD
	Après exposition	Maîtres-nageurs	+ 2 h	33	2,3
			+ 4 h	53	2,7
		Nageurs	+ 1h	82	2,7
Urines (ng/L)	Avant exposition	Maîtres-nageurs		476	21
		Nageurs		472	22
	Après exposition	Maîtres-nageurs	+ 2 h	906	36
			+ 4 h	1 252	50
		Nageurs	+ 1h	1 454	59

BDCM : bromodichlorométhane ; LD : limite de détection

Ces résultats confirment la relation déjà établie entre les teneurs en THM* dans l'eau des bassins et dans l'air ambiant des piscines. Ils mettent en évidence chez les sujets les plus exposés du fait de leur proximité aux bassins (nageurs et maîtres-nageurs) une excellente corrélation entre les teneurs en chloroforme dans l'air ambiant et l'air alvéolaire (les concentrations dans l'air alvéolaire augmentent linéairement avec les teneurs dans l'air intérieur, alors qu'elles augmentent de manière non linéaire avec la durée d'exposition). Par ailleurs, la forte corrélation entre les teneurs en chloroforme dans les urines et l'air expiré observée chez les maîtres-nageurs et les nageurs indique, selon les auteurs, que ces deux matrices sont pertinentes pour estimer une exposition très récente aux THM* ; les dosages dans l'air alvéolaire présentent toutefois une plus forte sensibilité que dans les urines.

Commentaires

Les résultats montrent que des mesures dans l'air expiré constituent une méthode sensible pour estimer une exposition récente aux THM*. Malgré un échantillon de taille limitée, ils indiquent également que l'exposition des nageurs est plus forte que celle des maîtres-nageurs (une heure de natation conduisant à des niveaux d'exposition plus forts que quatre heures de surveillance de baignade) et qu'il semble possible de prédire l'exposition des nageurs et maîtres-nageurs à partir de la seule connaissance des concentrations en THM* dans l'air des piscines et de la durée d'exposition des sujets.

L'une des limites de l'étude réside dans le fait que, comme bien souvent, les auteurs ne relient pas les niveaux d'exposition mesurés dans les matrices biologiques avec d'éventuels impacts sur la santé. L'acquisition de telles données biologiques reste donc limitée par le fait qu'il est impossible de prédire ou d'estimer si les forts niveaux d'exposition subis sur de courtes périodes par les nageurs ou les maîtres-nageurs peuvent être à l'origine d'effets délétères.



EXPOLOGIE – EVALUATION DES RISQUES

Expositions personnelles des habitants de Windsor (Ontario, Canada) aux COV*, prédiction par des mesures intérieures et des enquêtes

Source : Stocco C, MacNeill M, Wang D *et al.* Predicting personal exposure of Windsor, Ontario residents to volatile organic compounds using indoor measurements and survey data. *Atmospheric Environment*, 42(23) [2008]: 5905-5912.

Article analysé par : Philippe GLORENNEC, École des hautes études en santé publique – EHESP ; philippe.glorennec@ehesp.fr

De nombreuses études épidémiologiques utilisent les concentrations extérieures en COV* comme estimateur d'exposition. Comme ces concentrations sont souvent inférieures aux niveaux personnels d'exposition, cela peut conduire à une erreur de mesure de l'exposition et donc à une estimation biaisée du risque. Cette étude vise à décrire les activités des résidents de Windsor (Ontario, Canada), les concentrations extérieures, intérieures et personnelles, et à étudier leurs relations dans la perspective d'une modélisation des expositions personnelles.

Les prélèvements et enquêtes ont eu lieu en 2005 dans 48 maisons de non fumeurs, à la fois en été et en hiver. Ils se sont déroulés quotidiennement du lundi au samedi. L'enquête a recueilli des informations sur le logement (âge, superficie, nombre d'occupants, présence d'un garage, mode de chauffage et de cuisson), les produits utilisés (toilette et ménage), la répartition du temps entre micro-environnements (intérieur et extérieur du domicile, intérieur et extérieur ailleurs, travail, transport). Les

prélèvements d'air par canister ont été effectués dans le séjour, la cour et sur les participants (sac à dos). Le taux de renouvellement d'air a été estimé par traçage au perfluorocarbène. Le choix des COV* à mesurer s'est fait en fonction de leur toxicité et de leur présence *a priori* dans les logements. Les données ont été analysées par saison, avec un modèle linéaire généralisé utilisant un terme auto-régressif pour tenir compte de l'auto-corrélation des mesures.

Les concentrations en COV* et les expositions personnelles sont supérieures en été, à l'exception du 1,1,1-trichloroéthane, du benzène, du dichlorométhane, de l'isobutane (pas de différence significative) et du 1,3-butadiène (concentration significativement plus élevée en hiver). Les auteurs attribuent les niveaux supérieurs en été à des taux d'émission plus élevés du fait de la température. Pour le 1,3-butadiène (plus abondant en hiver), ils évoquent une réactivité accrue avec la température.

L' α -pinène, l'éthanol, l'isobutane et le limonène ont des ratios intérieur/extérieur (I/E) et personnel/extérieur (P/E) de 20 à 670, indiquant une prédominance des sources intérieures. Les COV* liés au trafic automobile (1,3-butadiène, benzène, acétaldéhyde, m,p-xylène et toluène) ont, quant à eux, des ratios compris entre 2 et 10. Les auteurs s'attendaient à des ratios inférieurs à 1 pour le 1,3-butadiène et le benzène en l'absence de sources intérieures (maisons sans fumeur). À part pour le limonène, les ratios personnel/intérieur (P/I) sont proches de 1 (0,8-1,3), indiquant une large contribution des concentrations intérieures aux expositions.

La modélisation visant à identifier les déterminants de l'exposition montre pour l'essentiel que les concentrations intérieures sont très prédictives des expositions, en accord avec l'observation d'une large majorité du temps passé à l'intérieur du domicile. Selon les composés, la part de variance expliquée par les concentrations à l'intérieur du domicile varie de 42 à 90 %. Cependant, les concentrations extérieures expliquent, pour certains composés, jusqu'à 30 % de la variance de l'exposition, en faisant ainsi des déterminants non négligeables de l'exposition.

Les auteurs discutent aussi l'influence sur les résultats, pour certains composés, du mode de chauffage, du garage, du taux de renouvellement d'air. Ils con-

cluent, avec les précautions d'usage sur la représentativité (lieu, maisons sans fumeur) et le fait que l'exposition aux COV* est largement déterminée par les concentrations intérieures.

Commentaires

Plus que l'identification des sources intérieures comme contributeurs à l'exposition aux COV*, l'intérêt de cette étude est de reposer sur des mesures quotidiennes répétées pendant une semaine à chaque saison. Cette diminution des fluctuations aléatoires des estimations se traduit par un assez haut degré de variance expliquée de l'exposition (r^2 élevés pour la prédiction des expositions traduisant une bonne corrélation entre prédiction et observation). Cela fournit des indications intéressantes pour dimensionner la mesure de l'exposition aux COV* lors d'études épidémiologiques (taille d'échantillon). Cet intérêt aurait pu être encore plus important si les auteurs avaient discuté l'apport du budget espace-temps-activités en terme de part de variance expliquée. Même s'il est dommage que les auteurs n'aient pas mis leurs observations en perspective avec celles d'autres études du même type, les données présentées sont nombreuses et de qualité, rendant ainsi l'article utile à qui s'intéresse aux expositions aux COV*.

Autres articles d'intérêt sur la thématique EXPOLOGIE / ÉVALUATION DES RISQUES :

Carbonnelle S, Bernard A, Doyle IR *et al.* Fractional exhaled NO and serum pneumoproteins after swimming in a chlorinated pool. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 40(8) [2008]: 1472-1476.

Brown KW, Sarnat JA, Suh HH *et al.* Ambient site, home outdoor and home indoor particulate concentrations as proxies of personal exposures. *Journal of Environmental Monitoring*, 10(9) [2008]: 1041-1051.

De Bruin YB, Koistinen K, Kephelopoulos S *et al.* Characterisation of urban inhalation exposures to benzene, formaldehyde and acetaldehyde in the European Union. *Environmental Science & Pollution Research*, 15(5) [2008]: 417-430.

Morgan MK, Stout DM, Jones PA and Barr DB. An observational study of the potential for human exposures to pet-borne diazinon residues following lawn applications. *Environmental Research*, 107(3) [2008]: 336-342.

Autre article d'intérêt – Efficacité des plantes à éliminer le formaldéhyde de l'air intérieur : contribution des parties aérienne et racinaire

Source : Kim KJ, Kil MJ, Song JS *et al.* Efficiency of volatile formaldehyde removal by indoor plants: Contribution of aerial plant parts versus the root zone. *J of the Am Soc for Horticultural Science*, 133(4) [2008]: 521-526.

Article analysé par : Vincent NEDELLEC, Vincent Nedellec Conseils ; vincent.nedellec@vnc-sante.fr

Certaines plantes en pot permettent une épuration de l'air à l'intérieur des bâtiments. Le formaldéhyde, polluant majeur de l'environnement intérieur, peut être absorbé par les plantes au niveau des parties aériennes par les stomates et la cuticule. Pendant la métabolisation, l'activité enzymatique oxyde le formaldéhyde en CO₂. Les expérimentations avec du formaldéhyde marqué au C¹⁴ montrent que 60 à

90 % du composé est métabolisé et que son assimilation est cinq fois plus rapide le jour que la nuit. Certains microorganismes du substrat sont aussi capables de réduire les COV*. Cette étude coréenne vise à déterminer, pour deux espèces de plante, la contribution respective à leur pouvoir épurant des parties aérienne et racinaire.

Des plants de *Ficus benjamina* et *Fatsia japonica*, âgés de deux ans, sont placés en chambre expérimentale en verre (1 m³). Pour mesurer la contribution des parties aériennes, le pot (Ø 25 cm) et les racines sont scellés dans un sac en téflon. Pour la contribution de la partie racinaire, le tronc est coupé. L'exposition en chambre dure 5 heures de jour et 5 heures de nuit. Une chambre témoin (sans plante, ni pot) est aussi instrumentée. Une partie des pots sans tronc est stérilisée. Le formaldéhyde est introduit dans la chambre jusqu'à une concentration de 2 µL/L (12 fois la concentration autorisée dans les maisons neuves en Corée). Les mesures de concentrations dans l'air sont réalisées toutes les heures. On calcule le temps pour atteindre la moitié de la concentration initiale en formaldéhyde après déduction des pertes mesurées dans la chambre témoin. Le test de Fisher exact permet de tester la significativité statistique des résultats comparés.

Une perte spontanée de 7,3 % (jour) et 6,9 % (nuit) est enregistrée dans la chambre témoin (fuite, dégradation photochimique spontanée...). L'activité d'épuration par les feuilles est près de 50 fois plus forte le jour (environ 0,5 µg/m³/cm²) que la nuit (environ 0,01 µg/m³/cm²). L'assimilation par les stomates domine celle par la cuticule. Pour la partie racinaire, l'épuration est peu influencée par le cycle

jour/nuit (environ 0,32 µg/m³/cm² le jour et 0,53 µg/m³/cm² la nuit). L'efficacité épuratrice des plantes entières est supérieure le jour à la nuit. Les proportions « parties aériennes / parties racinaires » sont de 61 % / 39 % le jour et de 2 % / 98 % la nuit pour le *Fatsia japonica*, et de 43 % / 57 % le jour et 6 % / 94 % la nuit pour le *Ficus benjamina*. Le taux d'épuration diminue avec la décroissance des concentrations dans la chambre. Grâce aux mesures faites avec les pots stérilisés, on montre que 90 % de la capacité épuratrice de la zone racinaire et du substrat provient de l'activité microbienne et 10 % seulement d'un stockage dans le sol. Les temps de demi-vie d'épuration sont présentés dans le tableau ci dessous. Au total, l'activité microbienne dans la zone racinaire est le facteur d'épuration le plus important, car il ne varie presque pas entre le jour et la nuit, alors que l'épuration via l'absorption foliaire n'est efficace que le jour.

Puisque le facteur dominant l'efficacité épuratrice d'une plante en pot est l'activité microbienne dans la zone racinaire, les auteurs recommandent de développer la recherche pour savoir quels microorganismes sont les plus susceptibles de métaboliser le formaldéhyde afin de pouvoir maximiser le potentiel de phytoremédiation des plantes d'intérieur.

Temps de demi-vie d'épuration des plantes étudiées (T_{50%} en minutes)

Espèce	Partie de la plante	T _{50%} en minutes (moyenne ± écart-type)	
		jour	nuit
<i>Fatsia japonica</i>	Plante entière	96 ± 11	150 ± 24
	Partie aérienne	149 ± 36	non déterminé
	Partie racinaire	299 ± 18	117 ± 11
<i>Ficus benjamina</i>	Plante entière	123 ± 5	160 ± 13
	Partie aérienne	296 ± 57	non déterminé
	Partie racinaire	206 ± 16	174 ± 6

Commentaires

Cette étude bien faite est plutôt convaincante. Les chambres expérimentales relativement petites et confinées ont certainement maximisé le potentiel épurateur des plantes par amélioration du contact entre le formaldéhyde et les différentes parties épuratrices. La décroissance du taux d'épuration avec la décroissance des concentrations en formaldéhyde démontre cette maximisation du potentiel épurateur des plantes dans l'expérimentation. Toutefois, les résultats marquants étant basés principalement sur des comparaisons, cette maximisation expérimentale ne peut avoir faussé l'intérêt de cette étude. Il est important de mieux connaître le pouvoir épurateur des plantes en pot afin d'en déduire les recomman-

dations pertinentes et efficaces pour le grand public. Enfin, cette méthode d'épuration de l'air intérieur semble plus efficace que certaines options technologiques de type peintures photooxydantes aux nanoparticules de TiO₂, qui, selon des résultats expérimentaux récents, pourraient produire plus de formaldéhyde qu'elles n'en détruisent ⁽¹⁾. Par ailleurs, il semble important de rappeler que certaines plantes peuvent être allergisantes, voire toxiques.

(1) Auvinen J and Wirtanen L. The influence of photocatalytic interior paints on indoor air quality. Atmospheric Environment, 42(18) [2008]: 4101-4112. Cet article fait partie des publications collectées ce dernier trimestre dans le cadre de la veille RSEIN.

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

Yu CH, Morandi MT and Weisel CP. Passive dosimeters for nitrogen dioxide in personal/indoor air sampling: A review. *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*, 18(5) [2008]: 441-451.

Palot A, Charpin-Kadouch C, Ercoli J et Charpin D. Composés organiques volatils intérieurs : concentrations, sources, facteurs de variabilité. *Revue des Maladies Respiratoires*, 25(6) [2008]: 725-730.

Pestka JJ, Yike I, Dearborn *et al.* Stachybotrys chartarum, trichothecene mycotoxins, and damp building-related illness: New insights into a public health enigma. *Toxicological Sciences*, 104(1) [2008]: 4-26.

Fuentes-Leonarte V, Tenias JM and Ballester F. Environmental factors affecting children's respiratory health in the first years of life: A review of the scientific literature. *European Journal of Pediatrics*, 167(10) [2008]: 1103-9.

Guieysse B, Hort C, Platel V *et al.* Biological treatment of indoor air for VOC removal: Potential and challenges. *Biotechnology Advances*, 26(5) [2008]: 398-410.

Fullerton DG, Bruce N and Gordon SB. Indoor air pollution from biomass fuel smoke is a major health concern in the developing world. *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*, 102(9) [2008]: 843-851.

On signale en outre un numéro spécial de la revue *Radiation Protection Dosimetry* paru en 2008 sur la thématique du radon résidentiel (série 130, numéro 1).

INFORMATIONS DIVERSES

Compte-rendu de congrès

Comment concilier énergie, qualité de l'air intérieur et santé, Lyon, 4 décembre 2008

Organisé par l'Observatoire de la qualité de l'air intérieur dans le cadre du salon POLLUTECH, cette conférence a tout d'abord permis d'aborder la place de la QAI* dans les sujets d'actualité les plus marquants (mesures du Grenelle de l'environnement, élaboration du Plan National Santé Environnement 2) et la problématique majeure des enjeux énergétiques du bâtiment. Puis, les derniers résultats des programmes de recherche de l'Observatoire ont été présentés : estimation du temps passé à l'intérieur

du logement par la population française, humidité et moisissures dans les logements, typologie des logements et lien avec la multipollution, étude de la précarité énergétique potentielle sur la base des données de la campagne logements.

➔ Pour télécharger les présentations, consulter le site de l'Observatoire de la qualité de l'air intérieur : <http://www.air-interieur.org>

Réglementation

De nouveaux textes ont été publiés relatifs au **monoxyde de carbone (CO)**. Le **décret n°2008-1231 du 27 novembre 2008** introduit dans le code de la construction et de l'habitation de nouvelles mesures de prévention des intoxications par le CO. Les locaux d'habitation ou leurs dépendances abritant des appareils de chauffage et de production d'eau chaude sanitaire de moins de 70 kW (à l'exception des appareils étanches) devront ainsi disposer d'une entrée d'air permanente et d'un système d'évacuation vers l'extérieur des produits de combustion.

L'apparition récente d'**appareils de décoration et de chauffage d'appoint fonctionnant au bioéthanol** et ne disposant pas de conduit de raccordement des fumées pose question quant à la dégradation de la qualité de l'environnement intérieur associée aux émissions de polluants et à la production de

vapeur d'eau. Ainsi, le **secrétaire d'État chargé de l'industrie et de la consommation** a mis en garde, dans un avis émis le **3 décembre 2008**, les fabricants, importateurs et distributeurs de ces appareils, contre les risques d'intoxication, au CO notamment. Les risques de brûlure et d'incendie sont également concernés. L'État demande aux fabricants de mettre ces appareils en conformité avec les règles de sécurité du code de la consommation et de prévoir une information des utilisateurs vis-à-vis des précautions d'usage et des risques associés. Quelques jours plus tard, le **12 décembre 2008**, la **Commission de la sécurité des consommateurs** a publié un avis relatif à la sécurité des foyers à éthanol, confirmant la préoccupation sanitaire, notamment suite à des tests d'émission de CO, de dioxyde d'azote, de formaldéhyde et d'acroléine par quatre foyers sur le marché (<http://www.securiteconso.org/article703.html>).

Évaluation de l'environnement domestique de nouveau-nés franciliens

Cette thèse a été réalisée au laboratoire Santé Publique et Environnement, EA 4064 (Faculté des sciences pharmaceutiques et biologiques de l'Université Paris Descartes), en partenariat avec le Laboratoire d'hygiène de la ville de Paris (DASES, Mairie de Paris). Elle a été soutenue le 5 septembre 2008.

Une étude environnementale a été menée afin d'évaluer les concentrations de contaminants biologiques (endotoxines, moisissures, acariens) et de polluants chimiques (aldéhydes et nicotine) dans l'air et/ou la poussière de logements franciliens et leur variabilité au cours d'une année, et de mettre en relation les résultats des mesurages effectués et les données fournies par les questionnaires sur les caractéristiques de l'environnement où vivent des nouveau-nés, dans le but d'identifier les principaux déterminants des concentrations environnementales mesurées.

Cette étude environnementale porte sur les domiciles de 196 nouveau-nés issus d'une cohorte francilienne de naissances dans laquelle les mesurages sont répétés au cours de la première année de vie des enfants, à deux reprises pour les contaminants biologiques et à quatre reprises pour les polluants chimiques. Ceux-ci sont recueillis dans l'air de la chambre de l'enfant pendant une durée de 7 jours à l'aide de dispositifs passifs de type Radiello® pour les aldéhydes. La nicotine est prélevée par un badge développé par Hammond *et al.* Les aldéhydes sont dosés par chromatographie liquide haute performance couplée à une détection dans l'ultraviolet. La nicotine est analysée en chromatographie gazeuse couplée à un détecteur thermo-ionique. Les endotoxines de l'air sont recueillies sur un filtre en fibre de verre pendant une durée de 24 heures à l'aide d'une pompe de type Chem-Pass® à un débit de 3,5 L/min placée dans la pièce principale. Elles sont ensuite analysées par le test du Lysat d'Amoebocytes de Limule. Les spores mycéliennes sont précipitées sur un milieu gélosé au Malt plus Chloramphénicol à l'aide d'un échantillonneur d'air à crible (Air Idéal Biomérieux®) dans la chambre du bébé (50 L et 200 L d'air en duplicat) et à l'extérieur du logement (100 L). Les colonies sont comptées et identifiées après 5 jours d'incubation à 25°C. La poussière déposée sur le matelas de l'enfant et sur le sol de la chambre est prélevée à l'aide d'un aspirateur Tornado®, sur un filtre de cellulose sur une surface de 1 m² pendant 2 minutes. Un test semi-quantitatif Acarex® permet d'évaluer la charge en acariens. Parallèlement, mais seulement à deux reprises, les paramètres de confort (température, humidité relative et dioxyde de carbone) sont mesurés pendant 24 heures dans la chambre du bébé avec un

appareil de type Q-Trak®. Simultanément, un enquêteur administre un questionnaire visant à décrire les caractéristiques des logements et les habitudes de vie des occupants.

Quoique conformes à la littérature, les niveaux d'endotoxines sont faibles et leur variabilité est relativement peu expliquée par le modèle prédictif construit (15,8 %). Ceci peut être dû au fait que ces concentrations sont sujettes à des variations à très court terme (mouvements d'air...) qui ne peuvent être correctement prises en compte par le questionnaire. En ce qui concerne les moisissures, les modèles prédictifs construits expliquent environ 50 % de la variabilité des niveaux de moisissures totales et du genre *Cladosporium*, le principal déterminant correspondant aux niveaux extérieurs. Ces modèles mettent aussi en évidence des facteurs tels que l'aération et la présence de signes d'humidité. Quant aux acariens, leurs niveaux retrouvés dans les poussières déposées sur le matelas ou au sol sont faibles, voire très faibles.

Cette étude a aussi documenté les niveaux de huit aldéhydes dans les logements. Ils sont comparables à ceux retrouvés dans la littérature et la variabilité de leurs niveaux entre les visites sur une année est aussi importante que la variabilité entre les logements. La recherche des déterminants a mis en évidence des facteurs liés aux caractéristiques des habitats et au mode de vie des occupants. À côté des paramètres de confort et d'aération, tels que la température, l'humidité relative et le CO₂, les principales sources intérieures d'aldéhydes, qu'elles soient continues (matériaux d'ameublement, revêtements) ou discontinues (combustions, produits ménagers, bricolage), ont bien été identifiées par le questionnaire.

Cette étude a permis, dans un premier temps, de doser des aérocontaminants biologiques et des polluants chimiques et de documenter leurs concentrations dans l'air et/ou la poussière de logements franciliens, jusqu'alors peu décrites dans la littérature. Leur variabilité au cours de l'année de suivi a pu être examinée grâce aux mesurages répétés ; celle-ci étant importante, un prélèvement unique ne saurait être représentatif d'une exposition à long terme.

S'agissant de la contamination biologique, elle s'avère faible et proche du bruit de fond. En ce qui concerne la pollution chimique, la majorité des familles est exposée à des niveaux intérieurs de formaldéhyde supérieurs aux valeurs susceptibles de provoquer des irritations oculaires et nasales. Compte tenu de ce résultat, il paraît indispensable d'étudier l'impact sanitaire de l'exposition aux aldéhydes sur l'incidence des symptômes respiratoires et allergiques, au cours des premiers mois de vie. Les résultats relatifs à l'identification des déterminants des niveaux intérieurs d'aldéhydes sont prometteurs et devraient permettre d'examiner cette question. En effet, il est désormais envisageable de construire des modèles prédictifs des niveaux moyens

d'exposition à ces polluants et de les extrapoler à l'ensemble des logements de nouveau-nés recrutés dans le cadre de la cohorte, afin de classer chaque enfant au regard de son degré d'exposition aux différents aldéhydes (faible, moyen, fort).

Cette démarche devrait ensuite aboutir à la mise en relation de ces variables d'exposition avec l'incidence des symptômes respiratoires et allergiques au cours de la première année de vie des enfants, et ainsi à établir des relations dose-réponse, qui n'existent pas dans la littérature à l'heure actuelle.

➔ Pour plus d'informations, contacter Claire DASSONVILLE : dassonvilleclaire@botmail.com

Travaux divers

Mise au point d'un outil d'évaluation et analyse de l'environnement intérieur de milieux d'accueil de la petite enfance

Dans le cadre d'un projet du plan d'actions pour l'environnement et la santé des enfants en Belgique (CEHAP, *Children's Environment and Health Action Plan* ; www.nehap.be), un projet a été spécifiquement dédié aux lieux d'accueil de la petite enfance, en l'occurrence les crèches. Les objectifs en étaient multiples :

- identifier les problèmes rencontrés dans l'environnement intérieur des crèches, de façon à en réduire l'impact potentiellement négatif sur la santé des enfants ;
- encourager la sensibilisation à cette problématique et la prévention dans les crèches ;
- soutenir les crèches dans une démarche d'appropriation et d'amélioration de la qualité de l'air intérieur ;
- dégager les points critiques permettant d'établir un cadre réglementaire aux exigences d'un environnement intérieur sain pour les enfants.

La première phase consistait en une enquête d'auto-évaluation (676 questionnaires envoyés) permettant de mieux comprendre les difficultés rencontrées par les milieux d'accueil de la petite enfance. La plupart d'entre eux sont aménagés dans des bâtiments non conçus initialement pour cette utilisation (61 %), ce qui explique pourquoi près de 50 % des participants ont confirmé avoir effectué d'importantes rénovations et des travaux d'aménagement au cours du temps, souvent dans les pièces où les enfants ont accès. Environ 22 % des milieux d'accueil ont mentionné que d'autres activités se situaient dans le même bâtiment : garages, entrepôts ou ateliers. Ces activités peuvent être à l'origine de pollutions inté-

rieures telles que les COV*. Près de 33 % des participants souffrent de problèmes d'humidité et 25 % ont observé le développement de moisissures dans leurs crèches. En terme de ventilation, la salle de bains, pièce où l'on produit beaucoup d'humidité, apparaît être le local le moins équipé en fenêtres pouvant s'ouvrir sur l'extérieur (pour évacuer l'humidité produite). L'analyse des questionnaires permet de suspecter que 52 % des milieux d'accueil utilisent des pesticides (principalement des insecticides), de façon exceptionnelle ou régulière (lutte contre les cafards par ex.), ce qui constitue une source importante de COV*. 72 % des participants renseignent l'utilisation de désodorisants en spray ou sur prise électrique. Concernant la maintenance des appareils à combustion (solide, liquide ou gaz), un risque d'intoxication au monoxyde de carbone pourrait concerner 7 % des participants.

Pour valider le processus d'auto-évaluation, un échantillon (non représentatif) de 25 crèches parmi les 495 ayant répondu à l'enquête a fait l'objet d'une analyse des pollutions intérieures dans le cadre de la seconde phase du projet. Des concentrations élevées en COV* ont été observées dans la plupart des crèches et, dans certains cas, des niveaux jugés inacceptables de formaldéhyde. Pour les légionelles, un milieu d'accueil a été contrôlé positif pour le séro-groupe 1 (contamination élevée) et un autre pour les sérogroupes 2-14. Les analyses ont également révélé la présence de plomb dans l'eau et les peintures. Parmi les 25 milieux d'accueil visités, 14 (soit 56 %) présentaient d'importants développements de moisissures. Une bonne corrélation entre auto-évaluation et inspection approfondie a été observée pour les moisissures, mais pas pour les COV*.

Ce projet a proposé des recommandations répondant aux problèmes identifiés. Il a également permis de mettre en évidence les tendances en matière d'exposition et de comportement. Il a constitué un précieux support à la mise en place de l'arrêté « Infrastructure », portant approbation des modalités fixées par l'Office de la naissance et de l'enfance (ONE) en terme de réglementation générale des

milieux d'accueil. Ce projet s'inscrit dans un processus d'éducation permanente des acteurs de la petite enfance.

➔ Pour plus d'informations, contacter Marie-Christine DEWOLF :

marie_christine.dewolf@bainaut.be

Sur le web

Pour répondre à la demande croissante des différents publics sur la QAI*, la délégation Nord-Pas de Calais de l'**Association pour la prévention de la pollution atmosphérique (APPA)** a souhaité regrouper un maximum de documents existants au sein d'un site web.

Plus de 150 outils ont ainsi été répertoriés à ce jour : dépliants, brochures, fiches ou guides. Ce portail évolutif va se développer au fur et à mesure des contributions et des attentes des internautes.

➔ <http://qai.appanpc.fr>

La **Fédération française du bâtiment**, en partenariat avec l'Organisme professionnel de prévention du bâtiment et des travaux publics (OPPBTP), a publié **en mai 2008** un guide d'aide au choix de solutions techniques de traitement des **peintures au plomb** pour les professionnels du bâtiment.

Peintures au plomb, Aide au choix d'une solution technique de traitement pour les professionnels du bâtiment, OPPBTP, ISBN 978-2-7354-0370-7 ; Mai 2008 – 84 pages

➔ <http://www.oppbtp.fr>

GLOSSAIRE

COV : Composés Organiques Volatils

HAP : Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques

IC_{95%} : Intervalle de Confiance à 95 %

OR : *Odd Ratio*

PCR : *Polymerase Chain Reaction*

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

QAI : Qualité de l'Air Intérieur

THM : Trihalométhanes

UFC : Unité Formant Colonie

US-EPA : *US Environmental Protection Agency*

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

Directeur de la publication : Vincent Lafèche

Directeur de la rédaction : André Cicolella

Comité de rédaction du N°25 : Desqueyroux H, Dor F, Ezratty V, Guillam M-T, Mandin C, Nedellec V et Teton S, avec la participation de Bonnet C, Festy B, Le Moullec Y et Marchand C.

Coordination et contact : Corinne Mandin, corinne.mandin@ineris.fr

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

ISSN 1760-5407

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, 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 Sécurité 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 d'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 : corinne.mandin@ineris.fr