

## Edito

### Surveillance de la qualité de l'air intérieur dans les établissements recevant du public : la nouvelle réglementation

Suite à la campagne pilote menée entre 2009 et 2011 dans 310 écoles et crèches et conformément à l'engagement Grenelle n°152, le décret n° 2011-1728 du 2 décembre 2011 instaure la surveillance obligatoire de la qualité de l'air intérieur dans certains lieux clos ouverts au public. Cette surveillance devra être réalisée tous les 7 ans par des organismes accrédités, voire tous les 2 ans en cas de dépassement des valeurs limites. Les résultats de cette surveillance seront rendus publics par le propriétaire ou l'exploitant des locaux qui devra rechercher les sources de pollution et prévenir le préfet en cas de dépassement des valeurs limites.

Certaines personnes étant beaucoup plus sensibles que d'autres à une qualité de l'air dégradée (enfants, femmes enceintes, personnes âgées ou malades), la surveillance de la qualité de l'air intérieur sera obligatoire dans les établissements susceptibles de recevoir ces publics. L'entrée en vigueur de cette obligation sera progressive :

- 1er janvier 2015 pour les 9 000 crèches et les 17 000 écoles maternelles
- 1er janvier 2018 pour les 38 000 écoles élémentaires
- 1er janvier 2020 pour les 17 000 collèges et lycées et les centres de loisirs
- 1er janvier 2023 pour les autres établissements (hôpitaux, piscines...).

Le décret n° 2012-14 du 5 janvier 2012 précise les conditions de cette surveillance dans les établissements scolaires, les crèches et les centres de loisirs. Trois substances, jugées prioritaires dans l'air intérieur, seront mesurées : le formaldéhyde, le benzène et le dioxyde de carbone. Une évaluation des moyens d'aération sera également réalisée.



L'arrêté du 24 février 2012 précise les conditions d'accréditation des organismes chargés de réaliser la campagne de mesure de substances polluantes et/ou l'évaluation des moyens d'aération des bâtiments. Les documents d'exigences spécifiques sont en cours de finalisation par le COFRAC et seront disponibles d'ici le 1er juillet 2012. Les premières accréditations devraient être délivrées au 1er trimestre 2013.

La France est ainsi le premier pays à mettre en place une surveillance systématique et obligatoire de la qualité de l'air dans les établissements recevant un public vulnérable.

**Marie Carrega**

Ministère de l'Ecologie, du Développement durable et de l'Énergie

*Diligente et financée par le ministère chargé de l'environnement, en lien avec les ministères chargés de la santé et de l'éducation nationale, cette campagne est menée avec l'appui technique et organisationnel, au niveau national, de l'Institut national de l'environnement industriel et des risques (INERIS) dans le cadre de ses missions au sein du Laboratoire central de surveillance de la qualité de l'air (LCSQA), et du Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB). Les mesures ont été réalisées par les Associations agréées de surveillance de la qualité de l'air (AASQA). Voir aussi : N°211 de POLLUTION ATMOSPHERIQUE - JUILLET-SEPTEMBRE 2011*

## Sommaire

Météorologie : p 2 ; Concentration environnementales et expositions : p6 ; Risque et impact sur la santé : p 9 ;  
Gestion technique : p 12 ; News : p 15 ; Normalisation / réglementation : p15 ;

*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.*

## Recherche des sources intérieures de formaldéhyde et quantification de leur émission par un préleveur passif

Déterminer la provenance d'un polluant, lorsque sa concentration est élevée, relève souvent de l'enquête policière, en particulier lorsqu'il s'agit du formaldéhyde, tant les sources intérieures sont nombreuses et surtout les moyens de mesure des flux d'émission in situ pratiquement inexistant. A l'heure où le formaldéhyde fait, en France, l'objet d'une surveillance obligatoire dans certains établissements recevant du public [1], identifier sa ou ses principales sources revêt une importance majeure. Dans cette optique, les auteurs ont développé un préleveur passif de flux d'émission et l'ont utilisé pour déterminer les contributions de différentes sources dans 24 chambres d'étudiants et prédire la concentration à partir des données d'émissions mesurées in situ.

Les mesures ont été réalisées en France dans 24 petites chambres d'étudiants inoccupées (surface autour de 11 m<sup>2</sup>) de 3 résidences universitaires entre septembre 2009 et mars 2010. Les bâtiments ont été construits en 1975, 1991 et 1998, le plus ancien ayant été rénové en 2003. Les chambres sont équipées d'un système d'extraction mécanique localisé dans la salle de bains privative avec une entrée d'air montée sur la menuiserie de la fenêtre. Le taux de renouvellement d'air a été déterminé dans chacune des chambres par injection de CO<sub>2</sub> comme gaz traceur.

Le préleveur passif de flux d'émission est composé d'un filtre en fibre de quartz imprégné de réactif (2,4-dinitrophenylhydrazine) et disposé au fond d'une petite boîte de Petri. Le préleveur, disposé contre le matériau à analyser pendant 6 heures, récupère par diffusion le formaldéhyde émis et le piège sur le filtre. La quantité de formaldéhyde émise est déterminée au laboratoire et convertie en flux d'émission suivant une courbe de calibration reliant la masse collectée par le préleveur au flux d'émission déterminé par la méthode de référence en enceinte test. La limite de détection du préleveur passif est de 1,2 µg·m<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup>.

Dans chaque chambre, entre 13 et 15 préleveurs ont été disposés au niveau du sol (revêtement vinylique ou parquet), des murs (Placoplatre peint), du plafond (ciment peint), des portes, de l'armoire (contreplaqué), du bureau, des étagères et du lit (panneau de particules dans les trois cas). Le mobilier et les revêtements datent de la construction ou de la rénovation du bâtiment. Des mesures actives de la concentration de formaldéhyde dans l'air ont été réalisées en parallèle pendant 6 heures dans la chambre, dans le couloir de circulation entre les chambres et à l'extérieur des bâtiments.

La concentration de formaldéhyde se situe en moyenne entre 11 et 35 µg·m<sup>-3</sup> dans les 3 résidences, entre 7 et 11 µg·m<sup>-3</sup> dans les couloirs de circulation et entre 2 et 3 µg·m<sup>-3</sup> en extérieur. Trois facteurs environnementaux expliquent les différences de concentration observées : le principal est la température intérieure dont l'accroissement de 21 à 26 °C multiplie la

concentration de formaldéhyde par 2. Les deux autres facteurs sont d'une part le temps nécessaire pour renouveler l'air de la chambre (l'inverse du taux de renouvellement d'air) et d'autre part l'humidité absolue (en interaction avec la température). L'impact de ces deux facteurs reste comparativement plus faible que celui de la température seule.

Les flux d'émission surfaciques de formaldéhyde mesurés par les préleveurs sont globalement faibles et se situent entre 1 et 15 µg·m<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup>, sauf pour la literie dans une des résidences qui présente des niveaux plus élevés entre 21 et 131 µg·m<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup>. Des mesures réalisées en duplicat montrent une bonne homogénéité des mesures au sein d'un même matériau. Les flux d'émission sont fortement corrélés avec la température. A partir de ces mesures d'émission, la concentration de formaldéhyde dans l'air a été reconstruite dans chacun des cas à l'aide d'un modèle monozone. Une très bonne adéquation avec les concentrations mesurées a été observée, ce qui implique que les points de mesure choisis sont représentatifs de l'ensemble des sources. Le mobilier et les revêtements intérieurs contribuent en moyenne à hauteur de 45 et 43% respectivement, la literie contribuant jusqu'à 30% dans une des résidences.

L'augmentation du taux de renouvellement d'air de 0,5 à 1 h<sup>-1</sup> permettrait pour une des résidences de diminuer suffisamment la concentration pour atteindre la valeur guide sanitaire de 10 µg·m<sup>-3</sup> proposée par l'Anses. Cette action, même combinée avec le retrait de tout le mobilier, s'avère insuffisante pour atteindre la valeur guide dans le cas de la résidence présentant les niveaux les plus élevés (évolution de 35 à 13 µg·m<sup>-3</sup>). Les valeurs guides réglementaires du décret n° 2011-1727 du 2 décembre 2011 n'étaient pas encore parues lors de la publication de cet article.

### Commentaires et conclusion du lecteur

Cette étude très riche est parmi les rares à fournir des données d'émission déterminées sur le terrain avec des matériaux âgés en situation et soumis aux variations environnementales. Elle montre l'impact majeur de la température sur les cinétiques d'émission des sources principales que sont le mobilier et les revêtements intérieurs. Certains choix des auteurs sont toutefois discutables, sans que cela vienne altérer les grandes lignes de leurs conclusions.

En effet, les auteurs n'ont pas tenu compte de la concentration extérieure de CO<sub>2</sub> (typiquement autour de 400 ppm) lors de la détermination du taux de renouvellement d'air, jugée négligeable devant les 3500 ppm injectés. Or, elle introduit un écart de 0,12 unités logarithmiques à ce niveau, écart qui s'accroît lorsque la concentration décroît. Conséquence : le taux de renouvellement d'air est sous-estimé par les auteurs. Ainsi, les contributions calculées pour le mobilier et les revêtements intérieurs sont surestimées.

Les auteurs utilisent une constante de disparition du formaldéhyde de 0,4 h<sup>-1</sup> provenant d'une étude américaine de 1982, qui vient se rajouter à l'effet du renouvellement d'air. Cette disparition du formaldéhyde dans les environnements intérieurs a rarement été mentionnée dans d'autres études.

Des mesures en continu réalisées dans le cadre d'une autre étude en maison expérimentale ne montrent pas de perte supplémentaire de formaldéhyde (données non publiées). En revanche, les auteurs disposent d'autres résultats qui confirmeraient l'existence d'une constante de disparition du formaldéhyde [2]. Dans tous les cas, c'est un point important qui mériterait plus d'attention dans de futures études.

La démarche adoptée par les auteurs pourrait être employée pour la recherche des sources de formaldéhyde dans d'autres environnements intérieurs. Elle a été utilisée avec succès dans de petites chambres universitaires en utilisant près de 15 préleveurs pour 11 m<sup>2</sup> de surface au sol, soit plus de 1 préleveur par m<sup>2</sup>. Combien de préleveurs faudrait-il dans une salle de classe, dans un logement ou dans un bureau ? La mesure est-elle compatible avec l'occupation des locaux ? Beaucoup de questions restent en suspens. Les travaux doivent être poursuivis pour permettre d'y répondre. Un point fondamental semble être le choix des points de prélèvements. Il ne pourra pas être toujours exhaustif comme dans la présente étude et devra reposer sur le jugement d'un expert ou d'autres instruments permettant de pister le formaldéhyde.

## Références

[1] Décret no 2012-14 du 5 janvier 2012 relatif à l'évaluation des moyens d'aération et à la mesure des polluants effectuées au titre de la surveillance de la qualité de l'air intérieur de certains établissements recevant du public, J.O. n° 5 du 6 janvier 2012, page 262.

[2] Blondel Alodie (2010), Identification des sources intérieures de composés organiques volatils et estimation de leur contribution aux teneurs observées dans les logements français, Thèse de doctorat, Université de Lille 1, 166 p.

**Source :** Blondel A., Plaisance H. (2011), Screening of formaldehyde indoor sources and quantification of their emission using a passive sampler, *Building and Environment*, 46, 1284-1291.

**Article analysé par :** Olivier Ramalho, CSTB, olivier.ramalho@cstb.fr



## Métrologie

### Caractéristiques analytiques et détermination de nouveaux retardeurs de flamme bromés dans des poussières intérieures

Cet article a pour objet la présentation d'une méthode d'analyse de retardeurs de flamme bromés « nouvelle génération » dans des poussières de maison

A l'heure actuelle, au moins 75 retardeurs de flamme bromés (RFBs) différents ont été produits industriellement et la majorité d'entre eux sont des diphenyls éthers polybromés (PBDEs), des hexabromocyclododecanes (HBCDs) et du tétrabromobisphénol A (TBBP-A). Pendant leur production et leur utilisation, ces composés sont relargués dans l'environnement et, du fait de leur toxicité et de leur persistance, l'Union Européenne (UE) et certains Etats des USA ont décidé d'interdire l'utilisation du Penta- et de l'Octa-BDE et de réguler l'utilisation du Deca-BDE. De plus, ces mélanges viennent d'être inscrits dans la liste des Polluants Organiques Persistants (POPs) de la Convention de Stockholm.

Ces interdictions ont nécessité la fabrication de produits de substitution à ces RFBs afin de conserver les standards d'inflammabilité. Ces nouveaux RFBs (NRFBs) sont principalement les: 1,2-bis (2,4,6-tribromophénoxy) éthane (BTBPE), décabromodiphényl éthane (DBDPE), 2-éthylhexyl-2,3,4,5-tétabromobenzoate (TBB), bis(2-éthylhexyl)-3,4,5,6-tétabromophthalate (TBPH), tétrabromobisphénol A-bis(2,3-dibromopropyl éther) (TBBPA-DBPE) et le hexachlorocyclopentadiényl-dibromocyclooctane (HCDBCO).

Il y a peu d'informations disponibles sur les niveaux de concentrations de ces nouvelles substances bien qu'elles aient déjà été retrouvées dans l'environnement comme l'air, les jouets, les poussières, les sols... Les méthodes actuelles d'analyses pour ces NRFBs sont basées sur celles développées sur les RFBs tels les PBDEs mais peu de méthodes spécifiques existent et pour un nombre limité de matrices. Il est donc nécessaire de développer des méthodes spécifiques aux NRFBs.

Vingt et un échantillons de poussières intérieures ont été collectés à l'aide d'un aspirateur dans lequel un filtre en nylon de 25 µm de porosité a été inséré au niveau de l'embout d'aspiration. Chaque échantillon correspond à l'aspiration pendant exactement 4 minutes de 4 m<sup>2</sup> de sol en ciment nu. L'aspirateur a été soigneusement nettoyé à l'aide d'une compresse imbibée d'hexane avant et après le prélèvement. Les filtres ont été stockés à -18°C avant leur traitement.

Afin d'obtenir des échantillons homogènes, tous les échantillons ont été passés sur un tamis de 500 µm de porosité, transférés dans des récipients fermés et stockés à l'obscurité avant analyse. Tous les équipements utilisés ont été soigneusement nettoyés avec de l'hexane.

50 mg de poussières sont dopés avec un étalon interne (10 ng BDE 77, 10 ng BDE 128 et 30 ng 13C-BDE 209) puis passés (3 fois) au vortex (2 min.) et aux ultra-sons (5 min) puis centrifugés pendant 10 min.

Le surnageant est récupéré et le culot est resoumis à la même procédure une fois de plus. Le surnageant total est évaporé à sec sous azote, remis dans 1 mL de n-hexane et passé au vortex pour 1 minute.

Une purification en deux étapes a été entreprise ; une première sur cartouche en silice (500 mg) et élution séparée avec 10 mL de n-hexane (F1 pour HCDBCO et DBDPE) et 10 mL de dichlorométhane (F2 pour BTBPE, TBB, TBPH et TBBPA-DBPE) et concentrées à 1 mL (N2). Dans une seconde étape, les fractions F1 et F2 sont chargées respectivement sur 1 g de silice acidifiée (44%, w/w) et 500 mg de Florisil®. Chaque fraction est éluée avec 5 mL de n-hexane suivi par 5 mL de DCM et réunies dans un seul tube, concentrée à sec et reprise dans 50 µL d'iso-octane.

Tous les extraits ont été analysés par GC-NIMS (spectrométrie de masse en mode ionisation négative) sur une colonne de type DB-5. L'injection a été faite en mode « programmation de température ».

La procédure d'extraction mise en œuvre est exhaustive car aucun NRFBs n'a été retrouvé dans les poussières à l'issue d'une nouvelle

extraction des poussières extraites par la procédure utilisée.

La purification en deux étapes s'est révélée la meilleure procédure. La silice active a été utile pour la première étape parce qu'elle permet une bonne purification et une rétention efficace des composés polaires. Concernant la seconde étape, les résultats obtenus sont en accord avec la littérature et montrent que le Florisil® est le meilleur adsorbant pour le TBB, TBPH et BTBPE tandis que la silice acidifiée est recommandée pour le DBDPE.

Les limites de quantification obtenues sont de 0,5 ng/g (BTBPE), 2ng/g (TBPH et TBB) 20ng/g (DBDPE et TBBPA-DBPE). Elles permettent la quantification des NRFBs dans les échantillons de poussières collectés dans différents sites aux profils de concentrations variés.

Les blancs analysés n'ont pas montré de contamination par les NRFBs étudiés probablement à cause du nombre faible d'étapes et de verreries utilisées dans la procédure mise en œuvre et par l'absence de NRFBs dans l'environnement du laboratoire.

### Conclusion et discussion des auteurs

La procédure de purification des extraits qui a été utilisée et validée permet de bien isoler les NRFBs de la matrice et les rendements obtenus sont tout à fait satisfaisants à l'exception du TBBPA-DBPE qui montre des résultats faibles et variables et dont une explication pourrait être une dégradation partielle lors de la GC/NIMS.

La méthode montre une sensibilité en rapport avec les quantités attendues dans les échantillons de poussières à l'exception du TBBPA-DBPE.

Des améliorations doivent être envisagées comme la production d'étalons internes marqués de chaque NRFB étudié.

Des valeurs indicatives dans des poussières standards ont été obtenues pour la première fois suite à cette étude. Ce type de données sera utile pour les développements analytiques des NRFBs.

### Commentaires et conclusion du lecteur

Cet article purement analytique présente une méthode pour quantifier dans des échantillons de poussières, des nouveaux retardateurs de flamme bromés mis sur le marché après l'interdiction d'utilisation ou la régulation de certains PBDE dans l'UE ou aux Etats-Unis notamment. Ces molécules étant différentes des « anciennes » et encore relativement peu documentées, des développements analytiques sont nécessaires. Le présent article détaille une méthode d'extraction, de purification et d'analyse de 6 de ces NRFBs. Le texte est clair, bien structuré et toutes les étapes sont bien justifiées et argumentées. On pourra remarquer que la procédure de purification est longue et relativement complexe mais elle semble, d'après les auteurs, nécessaire pour bien isoler les différents NRFBs étudiés de la matrice. Cette purification facilite leur quantification dans les échantillons de poussières. L'analyse utilise un injecteur à programmation de température. Il serait intéressant de voir si un injecteur split/splitless en mode pulsé ne pourrait

pas donner des résultats comparables, ce qui permettrait de réduire le coût d'investissement de la chromatographie. Aucune justification particulière n'a été mentionnée pour le choix de ce type d'injecteur.

L'article donne une bonne base de départ analytique pour un laboratoire qui veut se lancer dans la détection de ces NRFBs dans des poussières de maison.

**Source :** N. Ali, S. Harrad, D. Muenhor, H. Neels, A. Covaci (2011) Analytical characteristics and determination of major novel brominated flame retardants (NBFRs) in indoor dust. *Analytical and Bioanalytical Chemistry* 400, 3073-3083.

**Article analysé par :** Maurice MILLET, Université de Strasbourg  
mmillet@unistra.fr

*Lire les résultats de l'application de cette méthode dans le second article d'Ali et al. commenté dans la rubrique Concentrations environnementales et expositions. page : 8*



## Métrologie

### Contribution de l'ozone à la formation d'aldéhydes dans les logements franciliens

Parmi les polluants de l'air intérieur, les aldéhydes revêtent un intérêt particulier du fait de leur présence quasi systématique et de leurs concentrations plus élevées qu'à l'extérieur. Les sources d'aldéhydes dans l'air intérieur sont multiples (équipements, activités humaines) mais leur présence résulte aussi des réactions chimiques entre l'ozone et certains composés organiques insaturés. Dans ce contexte, une étude a été réalisée en Ile-de-France au sein d'une cohorte de nouveau-nés (cohorte PARIS : Pollution and Asthma Risk: an Infant Study) afin d'évaluer la contribution de l'ozone à la formation d'aldéhydes dans les logements franciliens.

Des mesures de formaldéhyde, d'acétaldéhyde, d'hexaldéhyde et de polluants de l'air intérieur potentiellement impliqués dans la formation de ces aldéhydes (styrène, nicotine, NO<sub>2</sub>) ont été réalisées dans les chambres d'enfants de 196 logements entre février 2003 et juin 2006 ; cet échantillon aléatoire a été sélectionné à partir de la cohorte de nouveau-nés PARIS. Chaque logement a été visité sur deux périodes au cours de la première année de vie des nouveau-nés : froide (octobre à mars) et chaude (avril à septembre). A chaque visite, les polluants ont été prélevés grâce à des systèmes passifs sur une durée d'échantillonnage d'une semaine. En parallèle, la pollution extérieure en ozone a été fournie par les stations situées à proximité des logements. L'exposition à la pollution d'origine automobile a été estimée par l'indice ExTra d'exposition au trafic routier. Enfin, des informations sur les paramètres de confort (température, humidité relative), de confinement (CO<sub>2</sub>) et sur le cadre de vie des nouveau-nés ont été recueillies. La recherche de déterminants pour relier l'impact de l'ozone ambiant aux niveaux de concentrations en aldéhydes dans l'air intérieur a été estimée à partir d'un modèle de régression linéaire multiple.

Cette étude a concerné 365 visites, 185 en saison froide et 180 en saison chaude. Les concentrations des polluants mesurées dans les chambres des enfants sont présentées dans le tableau suivant :

réactions hétérogènes entre l'ozone et la nicotine adsorbée sur les surfaces intérieures.

|   | Saison froide |                  | Saison chaude |                  | t-test <sup>a</sup> |
|---|---------------|------------------|---------------|------------------|---------------------|
|   | GM (gsd)      | Médiane (P5-P95) | GM (gsd)      | Médiane (P5-P95) |                     |
| <b>Polluants de l'air intérieur (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>)</b> |               |                  |               |                  |                     |
| Formaldéhyde  | 17,2 (1,7)    | 17,1 (7,0-38,5)  | 20,9 (1,7)    | 21,0 (8,8-51,0)  | < 0,001             |
| Acétaldéhyde  | 8,9 (1,6)     | 8,5 (4,6-20,4)   | 8,7 (1,8)     | 8,7 (4,3-20,3)   | 0,6                 |
| Hexaldéhyde   | 20,7 (2,2)    | 20,5 (7,2-61,3)  | 26,1 (2,0)    | 24,7(10,386,0)   | 0,004               |
| Styrène   | 1,4 (1,7)     | 1,3 (0,7-3,8)    | 1,5 (1,7)     | 1,4 (0,7-4,0)    | 0,5                 |
| NO <sub>2</sub>   | 22,2 (1,5)    | 23,0(10,041,0)   | 24,8 (1,4)    | 25,0(13,541,5)   | 0,008               |
| <b>Ozone dans l'air extérieur (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>)</b>   |               |                  |               |                  |                     |
| Ozone dans l'air ambiant (moyenne sur 8 heures)                           | 24,9 (1,9)    | 26,1 (7,9-61,7)  | 75,2 (1,3)    | 74,7(53,0111,)   | < 0,001             |

GM : moyenne géométrique ; gsd : écart type géométrique ; P5-P95 : 5ème percentile-95ème percentile

<sup>a</sup> variation saisonnière comparée par un test de Student

Les aldéhydes ont été détectés dans tous les logements. Les niveaux de formaldéhyde et d'hexaldéhyde sont plus élevés en saison chaude qu'en saison froide. L'acétaldéhyde ne montre pas de différence significative selon la saison.

Le modèle de régression linéaire multiple a été ajusté pour les déterminants connus (présence de panneaux à base de bois dans les revêtements de sols et les meubles installés depuis moins d'un an dans la chambre d'enfant), mais aussi pour des facteurs intermittents (bricolage, combustion), et les paramètres de confort et de confinement.

Les niveaux de formaldéhyde et d'hexaldéhyde augmentent, respectivement de 4% et de 11%, quand la concentration moyenne en ozone ambiant augmente de 20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Des associations positives sont aussi mises en évidence entre les niveaux de formaldéhyde et les concentrations en nicotine, l'utilisation fréquente de désodorisants et la présence de produits de construction récents (revêtements de sols, peintures).

### Conclusion et discussion des auteurs

Les résultats laissent supposer que l'ozone ambiant peut avoir un impact significatif sur la qualité de l'air intérieur en présence de précurseurs d'aldéhydes (augmentation des concentrations en formaldéhyde et hexaldéhyde). L'influence de l'ozone apparaît plus significative pour l'hexaldéhyde que pour le formaldéhyde, probablement du fait de l'émission directe de formaldéhyde dans l'environnement intérieur (panneaux à base de bois). Ces résultats sont aussi à relier à la part prépondérante des réactions d'oxydation pouvant former de l'hexaldéhyde.

D'autre part, cette étude a permis de relier l'utilisation fréquente de désodorisants (émetteurs de terpènes qui sont hautement réactifs avec l'ozone) et les niveaux de formaldéhyde. Enfin, les auteurs ont aussi trouvé une association entre les concentrations de nicotine et de formaldéhyde, même si le formaldéhyde est présent dans la fumée de cigarette. Ce phénomène résulte de

### Commentaires et conclusion du lecteur

Actuellement, les sources d'émission directes d'aldéhydes dans l'air intérieur sont bien connues, comme les matériaux de construction et d'ameublement, les produits d'entretien, la combustion domestique et le tabagisme. De même, les phénomènes de réactivité entre l'ozone et les composés organiques insaturés sont aussi maintenant bien documentés mais ce sont souvent des études expérimentales en laboratoire, sans transfert systématique à des situations réelles.

L'intérêt majeur de cette étude est donc de mettre en évidence dans un véritable environnement domestique (chambres de nouveau-nés) la contribution de l'ozone à la formation de deux aldéhydes (formaldéhyde, hexaldéhyde) en présence de différents précurseurs (terpènes venant des désodorisants, nicotine liée au tabagisme, styrène émis par les produits de construction).

Cette étude suggère donc que la pollution de l'air intérieur en aldéhydes est bien sûr liée aux sources primaires continues (matériaux de construction et d'ameublement) et discontinues (bricolage, combustion, tabagisme), mais qu'il ne faut pas négliger la part pouvant venir des réactions d'oxydation entre l'ozone ambiant et d'autres polluants présents dans l'air intérieur. Les études en situation réelle doivent donc être poursuivies afin de mieux appréhender toute la complexité du phénomène.

**Source :** Fanny Rancière, Claire Dassonville, Céline Roda, Anne-Marie Laurent, Yvon Le Moullec, Isabelle Momas, Contribution of ozone to airborne aldehyde formation in Paris homes, Science of the Total Environment, 409 (2011), 4480-4483.

**Article analysé par :** Christophe Yrieix, FCBA; christophe.yrieix@fcba.fr

### Autres Publications d'intérêt dans cette rubrique

Sundell, Levin et al. (2011) - Ventilation rates and health: multidisciplinary review of the scientific literature. Indoor Air. 21 (3): 191-204.

Gorder and Dettenmaier (2011) - Portable GC/MS Methods to Evaluate Sources of cVOC Contamination in Indoor Air. *Journal/Ground Water Monitoring and Remediation* 31 (4): 113-119.

Marlet and Lognay (2011) - Monoterpenes: sources and implications in the indoor air quality. *Journal/Biotechnologie Agronomie Societe Et Environnement* 15 (4): 611-622.

Ramirez, Marce et al. (2011) - Determination of parabens in house dust by pressurised hot water extraction followed by stir bar sorptive extraction and thermal desorption-gas chromatography-mass spectrometry. *Journal/Journal of Chromatography A* 1218 (37): 6226- 6231.

Park, Kwon et al. (2011) - A Study on the Improvement of Indoor Air Quality of Newly-Built Apartment Houses Using Low Emission Building Materials. *Journal/Journal of Asian Architecture and Building Engineering* 10 (1): 235-240.

Maruo and Nakamura (2011) - Portable formaldehyde monitoring device using porous glass sensor and its applications in indoor air quality studies. *Journal/Analytica Chimica Acta* 702 (2): 247-253.

Hirst, Gressel et al. (2011) - Short-Term Monitoring of Formaldehyde: Comparison of Two Direct-Reading Instruments to a Laboratory-Based Method. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*. 8 (6): 357-363.

Kim, Lee et al. (2011) - Formaldehyde gas sensing chip based on single-walled carbon nanotubes and thin water layer. *Chemical Communications*. 47 (10): 2892-2894.

Ho, Kim et al. (2011) - Emission Rates of Volatile Organic Compounds Released from Newly Produced Household Furniture Products Using a Large-Scale Chamber Testing Method. *Journal/TheScientificWorldJournal* 11 1597-1622.

Li, Fazio et al. (2011) - An investigation of moisture buffering performance of wood paneling at room level and its buffering effect on a test room. *Journal/Building and Environment* 47 205-216.

## Concentrations environnementales et expologie

### Déterminants des particules fines dans les chambres de nourrissons au Danemark

L'exposition aux particules (PM) dans l'air ambiant est clairement associée à des effets néfastes sur la santé des adultes et des enfants. Cependant, les informations concernant les concentrations et les déterminants des PM dans l'environnement intérieur sont limitées. En particulier, les liens entre les concentrations des PM et les sources, les caractéristiques de l'environnement intérieur et les activités font défaut. L'objectif de cette étude danoise était de quantifier la concentration des PM<sub>2,5</sub> dans l'air de la chambre de nourrissons et de rechercher une association avec différentes sources d'émission.

Les nourrissons ont été sélectionnés au sein d'une cohorte danoise regroupant 411 mères souffrant d'asthme. Les mesures ont été répétées jusqu'à 4 fois dans la chambre des nourrissons, avec un délai médian de 6 mois entre chaque mesure. L'âge médian des nourrissons lors du premier et du dernier prélèvement était respectivement de 9 et 22 mois. Les PM<sub>2,5</sub> ont été prélevées au moyen d'un cyclone (KTL) relié à une pompe (4 L/min) fonctionnant en continu sur une semaine. La concentration en fumées noires a été estimée par une mesure de la réflectance sur les filtres PM<sub>2,5</sub>. En parallèle, un questionnaire a été renseigné sur les activités pouvant avoir une incidence sur les concentrations en PM durant la période d'échantillonnage. Ainsi, ont été renseignés l'usage de l'aspirateur, l'époussetage, le balayage, l'usage d'un grille-pain, d'un four, d'un poêle, d'une cheminée, de bougies, la proximité au trafic routier, les travaux de rénovation, l'ouverture des fenêtres, la distance entre la chambre du nourrisson et la pièce fumeur. Une analyse statistique descriptive des différentes variables explicatives a été menée par un test de linéarité des covariables (régression linéaire multiple).

Au total, 1120 prélèvements de PM<sub>2,5</sub> et 1122 mesures de fumées noires ont été validés chez 389 nourrissons. Les concentrations médianes des PM<sub>2,5</sub> et des fumées noires étaient respectivement égales à 13 µg/m<sup>3</sup> et 0,86.10<sup>-5</sup> m<sup>-1</sup>. Les concentrations en PM<sub>2,5</sub> étaient 40 à 50% plus élevées chez les nourrissons vivant au centre de Copenhague qu'en zone rurale et également plus élevées en hiver qu'en été. Les principales activités ayant une incidence sur les concentrations des PM<sub>2,5</sub> dans la chambre du nourrisson sont les cuissons en friture, l'utilisation d'un four, d'un grille-pain, de bougies, l'usage de l'aspirateur, le dépoussiérage et l'ouverture des fenêtres. La fumée de tabac est également associée aux concentrations élevées de PM<sub>2,5</sub>. Les concentrations élevées en fumées noires sont associées à trois sources principales de combustion : la fumée de tabac, le brûlage des bougies et l'utilisation d'une cheminée ou d'un poêle. La cuisson en friture est également associée à des concentrations fortes en fumées noires. Par ailleurs, l'ouverture des fenêtres conduit à une diminution des concentrations en PM<sub>2,5</sub> dans les logements avec fumeurs mais à une augmentation de ces concentrations dans les logements non fumeurs.

Les auteurs ont ainsi identifié plusieurs sources de particules fines dans les logements pouvant avoir une incidence sur les concentrations en PM<sub>2,5</sub> dans les chambres de nourrissons. Ces concentrations peuvent être réduites par l'utilisation d'une hotte dans la cuisine lors des cuissons en friture, en évitant l'usage de bougies, de la cheminée ou du poêle, en augmentant la distance entre la chambre du nourrisson et la pièce fumeur et en ouvrant les fenêtres dans les logements de fumeurs. De cette étude, il ressort que la fumée de tabac est un déterminant important des particules fines dans les chambres des nourrissons.

### Commentaires et conclusion du lecteur

L'étude apporte plusieurs informations intéressantes sur l'identification des sources des particules fines dans les logements. Les points forts de l'étude portent notamment sur le nombre de mesures réalisées et leur répétabilité dans un même logement ainsi que les nombreuses variables retenues pour l'analyse statistique. Ces travaux viennent renforcer les résultats déjà avancés par d'autres études. En outre, ils confirment que les cuissons en friture, notamment en l'absence de hotte aspirante, représentent une source importante d'émission de particules fines (ex : Projet Nanop). Toutefois, une critique peut être émise sur la méthodologie mise en œuvre par les auteurs pour quantifier ces différentes sources. En complément des mesures gravimétriques en continu sur une semaine, des mesures au moyen de compteurs de particules auraient sans doute permis de mieux renseigner ces différentes sources et de quantifier plus finement leurs émissions.

**Source :** Raaschou-Nielsen O, Sorensen M, Hertel O, Chawes B.LK, Vissing N, Bonnelykke K, Bisgaard H. Predictors of indoor fine particulate matter in infants' bedrooms in Denmark. *Environmental Research* 111, 87-93, 2011.

**Article analysé par :** Olivier Blanchard, Ecole des Hautes Etudes en Santé Publique, Inserm U1085/IRSET; olivier.blanchard@ehesp.fr

## Concentrations environnementales et expologie

### Etude AIRMEX - mesures de COV dans les bâtiments publics et les établissements scolaires de onze villes européennes: analyse statistique des données

L'article présente les résultats de l'étude multicentrique AIRMEX portant sur l'exposition des personnes aux composés organiques volatils (COV) dans onze villes européennes. L'analyse statistique porte sur les origines de ces espèces chimiques dans les environnements intérieurs et sur les variations géographiques et saisonnières des concentrations intérieures. Elle s'inscrit dans la continuité de trois programmes européens antérieurs EXPOLIS, MACBETH et PEOPLE qui s'étaient surtout focalisés sur l'exposition aux polluants réglementés dans l'air ambiant (notamment le benzène) et étend les investigations à 23 COV (comprenant des hydrocarbures, aromatiques, alcools et carbonylés) et à de multiples lieux intérieurs (logements, bureaux, établissements scolaires et bâtiments recevant du public).

Les campagnes de mesures furent réalisées dans 11 villes réparties au nord, au centre et au sud de l'Europe entre 2003-2008 durant deux périodes de l'année (en saisons chaude et froide). Environ 1000 échantillons furent collectés afin de mesurer les concentrations de 23 COV dans 182 lieux de travail différents (bureaux, salles d'attente, écoles) et 103 logements, parallèlement, l'exposition individuelle de 148 volontaires adultes fréquentant ces lieux intérieurs a également été mesurée. Des prélèvements à l'extérieur ont également été effectués à proximité de chaque lieu intérieur afin de documenter les ratios des concentrations Intérieur/Extérieur. Toutes ces mesures individuelles et microenvironnementales ont été réalisées à l'aide d'échantillonneurs passifs Radiello exposés pendant 7 jours incluant le week-end.

Les hydrocarbonés et alcools furent analysés par chromatographie gazeuse avec une détection FID et les carbonylés par chromatographie liquide selon les normes internationales ISO 16200-2 et ISO 16200-4, respectivement. Les niveaux des concentrations dans les trois environnements (logements, bureaux/salles de classe et extérieur) sont comparés en analysant les ratios des médianes des concentrations ainsi que les distributions.

Les niveaux d'exposition les plus élevés dans les environnements intérieurs sont observés pour les COV suivants : acétone, n-décane, n-dodécane, formaldéhyde et hexanal. Par ailleurs, l'analyse des ratios Intérieur/Extérieur (R) permet de diviser les COV en deux catégories : ceux qui sont principalement émis par des sources intérieures comme le formaldéhyde, l'hexanal et le d-limonène ( $R > 6$ ), et ceux qui proviennent de la pollution extérieure dominée par les émissions automobiles comme les BTX, l'hexane et l'heptane ( $R$  proche de 1). L'étude des ratios entre Logements/Bureaux et Ecoles montre une présence plus importante d'hexanal, limonène et  $\alpha$ -pinène dans les logements que dans les bureaux et les écoles. Des différences

géographiques apparaissent entre les concentrations intérieures : les teneurs intérieures en aromatiques sont plus élevées dans les villes du sud que dans celles du nord, La tendance est inverse pour les aldéhydes. Les auteurs attribuent ces différences au schéma routier et à un taux d'équipement des véhicules en pot catalytique plus faible favorisant la pollution extérieure dans les villes du sud et donc l'élévation des concentrations intérieures en aromatiques. Une utilisation plus importante de matériaux à base de bois (contre-plaqués, panneaux de particules) dans le nord de l'Europe pourraient expliquer la tendance géographique trouvée pour les aldéhydes. Concernant les variations saisonnières, les concentrations intérieures en terpènes sont plus faibles en saison chaude ce qui pourraient être expliquées par des taux de renouvellement d'air plus élevés et des réactions avec l'ozone venant de l'extérieur.

### Conclusion et discussion des auteurs

AIRMEX fournit surtout des données de base pour de futures études menées en population (études épidémiologiques, méta-analyses). La base de données est d'ailleurs disponible sur le site (<http://web.jrc.ec.europa.eu/airmex/>). L'étude met en évidence des tendances géographiques entre le sud et le nord de l'Europe pour les aromatiques et les aldéhydes qui pourraient être liées à des différences de pollution extérieure et de sources intérieures. La tendance saisonnière trouvée pour les terpènes fait apparaître une possible influence de la chimie sur les niveaux de concentration de ces espèces réactives qu'il serait utile de considérer dans les futures directives sur la qualité de l'air intérieur.

### Commentaires et conclusion du lecteur

Les résultats présentés dans cet article apportent des éléments d'intérêt sur les niveaux d'exposition des populations européennes aux COV et notamment dans différents environnements intérieurs. Les tendances géographiques et saisonnières des concentrations intérieures mises en évidence ont, pour certaines d'entre elles, confirmé des résultats d'études antérieures (cas de la différence géographique sur les aromatiques) et pour d'autres apporté des éléments nouveaux (différence géographique sur les aldéhydes et tendance saisonnière sur les terpènes). La présence plus importante d'hexanal, limonène et  $\alpha$ -pinène dans les logements que dans les bureaux et écoles constitue également une information nouvelle. Une analyse multivariée croisant les teneurs à des caractéristiques des environnements intérieurs et des pratiques des occupants pourraient confirmer les hypothèses avancées par les auteurs pour expliquer ces tendances.

**Source :** Geiss et al. (2011), The AIRMEX study - VOC measurements in public buildings and schools/kindergartens in eleven European cities: Statistical analysis of the data. Atmospheric Environment 45, 3676-3684.

**Article analysé par :** H. Plaisance, Affiliation : Ecole des Mines de Douai, [herveplaisance.dubois@sfr.fr](mailto:herveplaisance.dubois@sfr.fr)

## Concentrations environnementales et expologie

### Nouveaux retardateurs de flamme bromés dans les poussières intérieures en Belgique et au Royaume Uni : implication dans l'exposition humaine

Les retardateurs de flamme bromés (RFBs) sont utilisés depuis 1965 et entrent dans la composition d'un grand nombre de produits (matériaux de construction, véhicules, textiles, fournitures électriques et électroniques). Largement étudiés, certains de ces produits appartiennent au groupe des polluants organiques persistants, favorable au phénomène néfaste de bioaccumulation. Ainsi, certains Diphényles éthers polybromés (ou Polybromo Diphényles Ethers) (PBDEs) ont été interdits en Europe, au Japon, en Chine et dans plusieurs Etats des USA. Ainsi en est-il, notamment du Deca-BDE interdit en Europe depuis juillet 2008 dans certains produits de consommation.

Les auteurs de l'article se proposent de mesurer dans les poussières intérieures les nouveaux retardateurs de flamme bromés (NRFB) mis sur le marché en tant que produits de remplacement et d'évaluer l'exposition humaine (adultes et enfants) par ingestion de poussières.

Cinq nouveaux retardateurs de flamme bromés (NRFBs) sont pris en compte dans l'étude :

-Décabromodiphényléthane (DBDPE), 1,2-bis(2,4,6-tribromophénoxy) éthane (BTBPE), Tétrabromobisphénol A-bis(2,3-dibromopropyléther) (TBBPA-DBPE), 2-éthylhexyl-2,3,4,5-tétrabromobenzoate (TBB), bis (2-éthylhexyl)-3,4,5,6-tétrabromophthalate (TBPH).

Les composés sont mesurés dans les poussières intérieures de 39 habitats et de 6 bureaux belges et dans 36 salles de classe d'écoles primaires au Royaume-Uni. Les méthodes de prélèvement et d'analyses sont décrites dans la rubrique Métrologie en page 3.

L'analyse statistique des résultats repose sur une analyse de régression entre les nouveaux retardateurs de flamme bromés (NRFBs) mesurés dans cette étude et les Polybromo Diphényles Ethers (PBDEs) mesurés antérieurement dans des salles de classe du Royaume-Uni (Harrad et al, 2010a) et habitats belges (Roosens et al, 2010).

Les teneurs en BTBPE sont plus basses que pour les autres retardateurs de flamme excepté les TBB.

Le DBDPE est le principal nouveau retardateur de flamme bromé retrouvé dans les poussières des maisons et bureaux belges ; les auteurs soulignent l'importance de ce composé dans les bureaux belges (7 fois plus que dans ceux du Royaume Uni).

Dans les salles de classe, le composé majoritaire est le TBBPA-DBPE. Aucune corrélation (via une analyse de régression) n'est observée entre TBBPA-DBPE et DBDPE ni dans les maisons belges, ni dans les salles de classe britanniques, montrant ainsi l'existence de différentes sources d'émission de ces composés. Les valeurs obtenues dans les poussières dans les

maisons belges et dans les salles de classe britanniques sont significativement différentes et ne sont pas corrélées, révélant ainsi une diversité des sources de contamination.

Concernant l'évaluation de l'exposition par poussières ingérées chez les adultes et les enfants, les auteurs montrent que la dose d'exposition reste bien en dessous des valeurs toxicologiques de référence (VTR disponible pour le BTBPE, le DBDPE, le TBB et le TBPH). Néanmoins les auteurs soulignent que ces VTR ont été établies en s'appuyant sur des études toxicologiques anciennes avec un manque de robustesse et de données récentes des NBRF.

#### Conclusion et discussion des auteurs

L'étude montre qu'il y existe vraisemblablement une contamination environnementale par les nouveaux retardateurs de flamme bromés et que les adultes et les enfants peuvent être exposés à ces produits par ingestion de poussières déposées au sol.

Néanmoins des recherches supplémentaires sont indispensables pour mieux argumenter cette étude préliminaire et proposer une révision des valeurs de référence pour ces produits.

#### Commentaires et conclusion du lecteur

Cette étude répond aux critères analytiques ; la méthode semble fiable, sensible et spécifique.

Les auteurs ont d'ailleurs appliqué leur méthodologie dans d'autres espaces intérieurs, notamment dans des mosquées au Pakistan.

Néanmoins, dans cette étude, il est difficile d'évaluer l'exposition humaine sur un nombre aussi restreint d'échantillons, surtout pour l'estimation des adultes.

Cette étude a le mérite d'apporter des données sur les NRFBs, sachant que les mesures ont été menées en 2007-2008, date à laquelle les produits de remplacement étaient encore loin d'être largement utilisés.

Les auteurs poursuivent leurs recherches et dans une étude<sup>2</sup> publiée en avril 2012. Ils montrent l'existence d'une corrélation entre les dépôts au sol de poussières contaminées par des nouveaux retardateurs de flamme bromés et celles présentes dans les matelas des maisons en Nouvelle-Zélande.

**Source :** « Novel » brominated flame retardants in Belgian and UK indoor dust : implications for human exposure

Nadeem Ali, Stuart Harrad, Emma Goosey, Hugo Neels, Adrian Covaci  
Chemosphere, 83 (2011) 1360-1365

**Article analysé par :** Frédérique GRIMALDI, Faculté de Pharmacie, Marseille  
frederique.grimaldi@univ-amu.fr

#### Autres Publications d'intérêt dans cette rubrique

Guo (2011) - Source apportionment of volatile organic compounds in Hong Kong homes. *Journal/Building and Environment* 46 (11): 2280- 2286.

Haug, Huber et al. (2011) - Investigation on Per- and Polyfluorinated Compounds in Paired Samples of House Dust and Indoor Air from Norwegian Homes. *Journal/Environmental Science & Technology* 45 (19) : 7991-7998.

Lagalante, Shedden et al. (2011) - Levels of polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in dust from personal automobiles in conjunction with studies on the photochemical degradation of decabromodiphenyl ether (BDE-209). *Environment International*. 37 (5): 899- 906.

Ongwandee, Moonrinta et al. (2011) - Investigation of volatile organic compounds in office buildings in Bangkok, Thailand: Concentrations, sources, and occupant symptoms. *Building and Environment*. 46 (7) : 1512-1522.

Pegas, Alves et al. (2011) - Indoor air quality in elementary schools of Lisbon in spring. *Journal/Environmental Geochemistry and Health* 33 (5) : 455-468.

Wu, Apte et al. (2011) - Volatile Organic Compounds in Small- and Medium-Sized Commercial Buildings in California. *Journal/Environmental Science & Technology* 45 (20) : 9075-9083.

Lawson, Galbally et al. (2011) - The effect of proximity to major roads on indoor air quality in typical Australian dwellings. *Atmospheric Environment*. 45 (13) : 2252-2259.

Wheeler, Wallace et al. (2011) - Personal, Indoor, and Outdoor Concentrations of Fine and Ultrafine Particles Using Continuous Monitors in Multiple Residences. *Aerosol Science and Technology*. 45 (9) : 1078-1089.

<sup>2</sup>Ali N, Dirtu et al. (2012) - Occurrence of alternative flame retardants in indoor dust from New Zealand: Indoor sources and human exposure assessment. *Chemosphere*. In Press.

## Toxicité des PBDE : Organes cibles

Les études in vitro, in vivo, ainsi qu'épidémiologiques, ont révélés que les PBDE, ou leurs dérivés hydroxylés pouvaient affecter le système endocrinien, notamment la thyroïde, ainsi que le système reproducteur. Plus spécifiquement, il a été montré que l'effet du 6-OH-BDE-47 est plus puissant que celui du BDE-47 et que sa structure est proche de la thyroxine (T4).

## Neurotoxicité des PBDE : Effets comportementaux

L'administration de PBDE ou de plusieurs de ses congénères à différents stades du développement, chez la souris notamment mais aussi chez le rat, révèle une altération de la réponse spontanée (marche, redressement, activité totale), de l'apprentissage ou des réflexes des animaux. Les 2 premières semaines qui suivent la naissance représentent une période cruciale du neurodéveloppement chez la souris ou le rat. Cette période correspond chez l'Homme au dernier trimestre de la gestation ainsi qu'à l'enfance. Cette étape s'accompagne d'un fort développement du cerveau, y compris de synaptogenèse et de myélination.

## Effets sur la fonction et la structure du cerveau :

L'aspect fonctionnel du cerveau, suite à l'application ex vivo ou à l'administration in vivo (via la mère ou à l'âge adulte) de certains congénères du PBDE, semble être perturbé comme le révèle la diminution de la plasticité synaptique, phénomène impliqué dans la mémoire, ou l'augmentation de l'activité de la cascade glutamate-oxyde d'azote-cGMP, cette dernière jouant un rôle dans le relargage de neurotransmetteurs.

## Mécanismes cellulaires et moléculaires

Enfin, au niveau cellulaire, la famille des PBDE est responsable de mort neuronale par apoptose, d'une diminution de la différenciation, de la croissance et de la migration cellulaire. Les autres effets incluent la perturbation de la neurotransmission par le biais des neurotransmetteurs, de l'homéostasie du calcium ou des récepteurs (GABA<sub>A</sub>, nACh).

## Conclusion et discussion des auteurs

Les PBDE apparaissent clairement comme neurotoxiques, avec un potentiel plus affirmé pour les PBDE hydroxylés. Cette toxicité durant le développement cérébral, par les composés mères PBDE et leurs métabolites, se traduit par des altérations fonctionnelles et structurales du cerveau et par conséquent du comportement. Au moins deux voies semblent intervenir dans ce dysfonctionnement : une voie directe et une voie indirecte qui passeraient par une modification du système thyroïdien, ce dernier jouant un rôle important dans le développement cérébral. Cependant, l'hypothyroïdie observée pourrait résulter de l'interaction entre les PBDE et leurs métabolites et le système thyroïdien. Les fenêtres d'exposition pendant le développement cérébral sont un facteur à ne pas négliger, sans oublier les mélanges entre différents polluants. Les auteurs précisent que des études complémentaires sont nécessaires pour améliorer l'évaluation des risques neurotoxiques du PBDE et leurs métabolites.

## Commentaires et conclusion du lecteur

Cette revue est la septième revue depuis 2003 à traiter des PBDE (dont une revue supplémentaire parue après celle-ci) et de leurs



## Risque et impact sur la santé

### Neurotoxicité des retardateurs de flammes bromés : effets (in)directs des polybromodiphényléthers et des polybromodiphényléthers hydroxylés sur le (développement du) système nerveux

Dans les années 70, les retardateurs de flammes bromés (RFB) ont largement remplacé dans les produits de l'habitat, pour leur qualité ignifuge, les polychlorobiphényles (PCB) qui présentaient des effets néfastes sur la santé humaine et l'environnement. Dans la famille des RFB, les polybromodiphényléthers (PBDE)<sup>3</sup> sont les composés qui ont été les plus utilisés. On les retrouve dans l'environnement et chez l'Homme et à des niveaux plus élevés chez les Américains du nord que chez les Européens ou les asiatiques. Les enfants sont les plus susceptibles d'être exposés à ces substances, d'abord in utero, puis par le biais de l'allaitement, et ensuite de la nourriture et des poussières. Les molécules de PBDE méthoxylés et hydroxylés (MeO- et OH-PBDE) bien que retrouvées à l'état naturel (par exemple dans des algues, cyanobactérie, éponge), sont les métabolites du PBDE. Depuis le début des années 2000, plusieurs études font suspecter un lien entre l'utilisation des PBDE et des dysfonctionnement moteurs, comportementaux, ou cognitifs chez l'Homme.

effets neurotoxiques. Son principal atout est de se concentrer sur l'effet neurotoxique du métabolite OH-PBDE, plus important que la molécule mère. La revue montre qu'il y aurait deux voies, une directe et une indirecte, empruntées par les PBDE et leurs métabolites pour exercer leurs effets neurotoxiques au cours du développement. Cet intérêt est d'autant plus important que cette molécule hydroxylée est à la fois présente à l'état naturel, et à la fois liée au métabolisme des PBDE. Les auteurs précisent néanmoins que d'autres mécanismes pourraient être impliqués dans la neurotoxicité comportementale. Cette revue a, par ailleurs, été critiquée (Environ Health Perspect. 2011 Aug;119(8):A331; author reply A331-2) sur le fait que les auteurs n'avaient pas discuté, parmi les études citées, l'effet porté des animaux utilisés. Dingemans et ses collaborateurs ont alors répondu que ce point n'avait pas été relevé car, selon eux, il n'entrait pas en compte dans les effets cellulaires et moléculaires *in vitro*, qui tous indiquent l'effet neurotoxique des PBDE.

**Source :** Milou M.L. Dingemans, Martin van den Berg, and Remco H.S. Westerink (2011). Neurotoxicity of Brominated Flame Retardants: (In)direct Effects of Parent and Hydroxylated Polybrominated Diphenyl Ethers on the (Developing) Nervous System. Environ Health Perspect. Jul;119(7):900-7. Epub 2011 Jan 18. Revue

**Article analysé par :** Régine Robichon, Anses ;  
regine.robichon@anses.fr

### Autres articles d'intérêt :

Chakroun R. Corrélations entre les concentrations sériques de polybromodiphenylethers et les effets sur la fertilité et sur la fonction thyroïdienne. Bulletin de Veille Scientifique (Anses) 2011 ; 14 : 88-91

Schroeder H. Les modèles de neurotoxicologie *in vitro* : des outils performants dans la perspective des nouvelles stratégies d'évaluation du risque neurotoxique lié à l'exposition de l'Homme aux produits chimiques. Bulletin de Veille Scientifique (Anses) 2011 ; 12 : 91-98

<sup>3</sup>Sont concernés ici : BDE-47, 49 (tetrabromés), BDE-99, 100 (pentabromés), BDE-153 (hexabromés), BDE-183 (heptabromés), BDE-203 (octabromés), BDE-206 (nonabromés), BDE-209 (décabromés), DE-71, 6-MeO-BDE-47, 6-OH-BDE-47

l'exposition aux PFC via l'alimentation, l'eau potable, les poussières et l'air intérieur, puis de les comparer aux concentrations sanguines (sérum) mesurées chez des femmes norvégiennes. L'exposition des nourrissons est estimée via le lait maternel, l'air et les poussières.

Quarante femmes volontaires ont été recrutées dans la région d'Oslo. Les PCF (19 composés et 12 isomères) ont été recherchés dans les échantillons de sang, de lait maternel (19 volontaires), de poussières et d'air intérieur prélevés entre 2007 et 2008.

Les données nationales utilisées pour estimer l'exposition alimentaire (surveillance de la qualité des aliments) ne sont disponibles que pour le PFOS (perfluorooctylsulfonic acid) et le PFOA (perfluorooctanoic acid). Les consommations alimentaires sont renseignées par des questionnaires portant sur les 12 derniers mois et ciblant préférentiellement la consommation de poisson. Les autres variables d'exposition sont : eau = 1,41 l/j ; inhalation = 13,3 m<sup>3</sup>/j ; ingestion de poussières = 50 ; 100 ou 200 mg/j, biotransformation atmosphérique des précurseurs du PFOS : 1 % ; 20 % ou 100 % ; et du PFOA 0,02 % ; 0,5 % ou 1,7 %.

Les variables spécifiques aux nourrissons sont : poids corporel = 7 kg ; consommation de lait = 0,7 l/j. Un modèle PBPK (Egeghy & Lorber, 2010) a été utilisé afin de comparer les expositions externes aux taux sériques mesurés.

Onze PCF ont été retrouvés dans le sang et 2 dans le lait. Les taux de PFOS et de PFOA dans le lait représentent respectivement 1,4 % et 3,8 % de leurs taux sanguins. Ces taux sont corrélés significativement aux concentrations dans les poussières (PFOA), à l'inverse du nombre de mois depuis le dernier allaitement, à l'âge et au poids. En revanche, il n'y a pas de corrélation significative entre l'exposition totale externe estimée et les taux sériques. Selon les taux d'ingestion de poussière et de biotransformation et utilisés l'exposition totale médiane des adultes est de 0,64 ou 0,67 ou 0,77 ng/kg/j pour le PFOS et 0,27 ou 0,30 ou 0,36 ng/kg/j pour le PFOA. La contribution médiane des expositions alimentaires au PFOA représente 84 %, l'eau potable 11 %, les poussières 5,2 % et l'air 0,13 %. Pour le PFOS, ces contributions relatives sont de : 99 %, 0,68 %, 0,41 %, 0,1 %. Au niveau individuel, la part des poussières ou de l'air intérieur peut aller jusqu'à environ 50 % selon les hypothèses d'ingestion de poussière et de biotransformation atmosphérique retenues. Chez le nourrisson, l'exposition totale médiane est d'environ 9 ng/kg/j (PFOS) et 4,5 ng/kg/j (PFOA) dont 94 % et 83 % proviennent du lait maternel. Dans le modèle PBPK, les expositions estimées donnent des taux sériques en bon agrément avec ceux mesurés. L'hypothèse d'une ingestion de poussières à 50 mg/j fournit le meilleur agrément modèle/mesure.

### Conclusion et discussion des auteurs

Selon les résultats de cette étude, l'alimentation est la source dominante d'exposition au PFOS et PFOA. L'ingestion de poussière et l'historique d'allaitement de la mère sont les deux variables expliquant la plus grande part de variabilité des expositions individuelles. On peut expliquer cette contradiction apparente par la faible variation des consommations alimentaires



## Risque et impact sur la santé

### Caractérisation des voies d'exposition aux composés perfluorés (PFC) comparant les expositions externes aux biomarqueurs internes.

Les composés per- et polyfluorés (PFC) sont constitués d'une chaîne alkyle partiellement (poly) ou complètement (per) fluorée et de différents groupes fonctionnels attachés. Très largement utilisés dans les produits du commerce (surfactants, lubrifiants, peintures, emballages alimentaires, mousses anti flamme...), persistants et bioaccumulables, certains PFC sont ubiquitaires chez l'Homme et les animaux sauvages. Les études animales montrent des toxicités hépatique, développementale, immunitaire et hormonale. L'objectif de l'étude est d'estimer

dans le groupe d'étude, pendant que les concentrations dans l'air intérieur et dans les poussières étaient fortement variables. En dépit d'un nombre réduit de participants à l'étude, les résultats suggèrent que l'environnement intérieur peut être un facteur important de l'exposition humaine aux PFC. Pour les jeunes enfants, l'exposition dominante provient du lait maternel ; dans le scénario maximum, elle est proche du niveau de la Dose Tolérable Ingérée (TDI) pour le PFOS (150 ng/kg/j ; EFSA, 2008) et le PFOA (1,5 µg/kg/j ; EFSA, 2008).

### Commentaires et conclusion du lecteur

Cette étude montre clairement que l'exposition alimentaire aux PFC est la voie dominante, laissant une part marginale aux milieux de l'environnement intérieur. Dans certaines conditions (fortes concentrations dans les poussières et quantité ingérée importante), ils peuvent contribuer de façon plus significative. Les nourrissons sont dix fois plus exposés que les mères et majoritairement via le lait maternel, avec des niveaux proches des TDI de l'EFSA (autorité européenne de sécurité des aliments). Cependant, les résultats quantitatifs de cette étude doivent être considérés avec précaution, au regard notamment du faible nombre de femmes incluses dans l'étude. La Norvège est le pays d'Europe où l'allaitement maternel est le plus fréquemment pratiqué<sup>4</sup>. L'exposition alimentaire est peu variable dans cette étude, ce qui indique soit une contamination homogène des aliments, soit des consommations identiques. Il est vraisemblable qu'une approche basée sur l'analyse de plateaux repas dupliqués aurait permis une meilleure estimation des apports alimentaires. Quoiqu'il en soit, les parts relatives de chaque voie d'exposition ainsi que les corrélations avec les taux sanguins sont fortement influencées par les hypothèses des auteurs sur les variables d'exposition. Collectivement, il semble donc préférable, pour réduire l'exposition des femmes enceintes et ainsi protéger la santé des nourrissons, d'agir sur les expositions alimentaires, même s'il est utile de rester attentif à une possible contamination des poussières intérieures.

Source : Line S. Haug, Sandra Huber, Georg Becher, Cathrine Thomsen. Characterisation of human exposure pathways to perfluorinated compounds Comparing exposure estimates with biomarkers of exposure. *Environment International* : 2011 ; 37 : 687-693

Article analysé par : Nedellec Vincent, VNC, vincent.nedellec3@gmail.com

<sup>4</sup>Selon une étude récente plus de 80 % des bébés norvégiens sont allaités jusqu'à l'âge de 6 mois (Andreassen, 2001), ce qui correspond aux recommandations des autorités sanitaires.



## Risque et impact sur la santé

### Caractérisation de l'environnement intérieur de crèches collectives à Paris

Cette étude constitue un des volets du suivi environnemental de la cohorte de nouveau-nés parisiens : PARIS (« Pollution Asthma Risk : an infant study »). L'enquête environnementale porte sur un sous-échantillon de 196 nouveau-nés parmi les 3840 que compte la cohorte. L'environnement au domicile de ces enfants

a été préalablement caractérisé. Ce nouveau volet vise en particulier à évaluer, à l'aide de mesures répétées, les niveaux de contaminants biologiques et chimiques à l'intérieur des crèches accueillant ces enfants et de les comparer à ceux retrouvés dans leurs logements.

Les enfants étaient répartis entre 28 établissements différents qui ont tous accepté de participer à l'enquête. Des mesures dans l'air et dans les poussières ont été réalisées dans les pièces les plus fréquentées par les enfants et un questionnaire environnemental (caractéristiques des locaux, occupations, aération, signes d'humidités...) a été renseigné par un enquêteur. L'enquête a été répétée en été et en hiver. Les poussières ont été recueillies par aspiration de plusieurs matelas et de leur literie. Les concentrations en allergènes d'acariens (Der p1 et Der f1) ont été quantifiées dans les échantillons de poussières. Les concentrations d'endotoxines et de moisissures ont été mesurées à partir de prélèvements d'air. Les genres et espèces de moisissures d'intérêt sanitaire et/ou retrouvés dans les logements ont été retenus pour l'identification après incubation des échantillons. Les polluants chimiques (aldéhydes, COV, et NO<sub>2</sub>) ont été prélevés à l'aide de tubes passifs pendant une semaine. Des prélèvements de COV et de NO<sub>2</sub> ont également été réalisés à l'extérieur des locaux. Les paramètres de confort (CO<sub>2</sub>, température, humidité) ont aussi été relevés.

Les allergènes d'acariens ont été détectés dans 47,1 % des locaux en hiver et dans 31,6 % en été avec des niveaux allant de 0,18 à 7,3 µg/m<sup>3</sup>. Un seul échantillon présentait des niveaux supérieurs au seuil de sensibilisation de 2 µg/m<sup>3</sup>. Le niveau moyen d'endotoxines sur les 2 saisons s'élevait à 1,78 EU/m<sup>3</sup> <sup>(5)</sup>. Les deux genres de moisissures les plus fréquents étaient *Penicillium* et *Cladosporium*, retrouvés respectivement dans 71 % et 52 % des dortoirs en hiver. Ils étaient retrouvés plus fréquemment et à des niveaux plus élevés en été. *Aspergillus* constituait le troisième genre le plus rencontré. Globalement, les niveaux de moisissures étaient plus élevés dans les salles d'activités que dans les dortoirs et étaient plus élevés à l'extérieur qu'à l'intérieur.

Les concentrations de NO<sub>2</sub> se situaient entre 18 et 53,5 µg/m<sup>3</sup> en hiver et entre 9,5 et 41 µg/m<sup>3</sup> en été, à des niveaux inférieurs à ceux retrouvés à l'extérieur (dans l'air extérieur, la valeur limite est fixée à 40 µg/m<sup>3</sup> en moyenne annuelle). Les composés organiques volatils ont été détectés dans la plupart des échantillons et à des niveaux supérieurs aux niveaux extérieurs à l'exception du benzène. Les niveaux de formaldéhyde à l'intérieur des crèches se situaient entre 4,8 et 40,1 µg/m<sup>3</sup>. A l'exception du NO<sub>2</sub>, les niveaux de polluants chimiques étaient plus élevés dans les domiciles que dans les crèches.

### Conclusion et discussion des auteurs

Cette étude est la première à caractériser l'environnement intérieur de crèches en termes de pollutions chimique et biologique. Elle permet par ailleurs de comparer les niveaux de polluants à ceux relevés au domicile des enfants concernés. Les résultats sont cohérents avec ceux retrouvés dans la littérature. Les niveaux d'endotoxines plus élevés dans les crèches qu'au domicile peuvent s'expliquer notamment par des taux d'occupation plus importants ainsi qu'une plus grande

fréquence des changes des bébés. Les niveaux d'allergènes d'acariens étaient plus faibles que ceux retrouvés au domicile, ce qui peut s'expliquer par un entretien plus régulier de la literie. Les niveaux plus élevés de NO<sub>2</sub> dans les crèches qu'au domicile peuvent s'expliquer par la proximité des voies routières et la situation des locaux généralement en rez-de-chaussée. Les autres polluants chimiques étaient en revanche retrouvés à des niveaux moins élevés qu'au domicile, ce qui s'explique par la présence dans l'habitat de mobilier plus récent et de sources plus nombreuses, y compris la fumée de tabac. Il est constaté par ailleurs que, dans la moitié des établissements, l'aération apparaît insuffisante en regard des niveaux de CO<sub>2</sub> relevés et dénote une faible performance des systèmes.

### Commentaires et conclusion du lecteur

Avec un large éventail de polluants mesurés, ce travail contribue à améliorer la connaissance de la qualité de l'air dans les lieux d'accueil des jeunes enfants, bien qu'il n'ait pas vocation à être représentatif de la variété d'établissements existants. Très complémentaire d'un premier travail de caractérisation des logements de nouveau-nés, il permet par ailleurs d'appréhender les deux microenvironnements majoritairement fréquentés par cette population spécifique, et ainsi d'approcher son exposition globale aux polluants, déterminante dans les premiers mois de la vie pour ce qui concerne le risque de développer certaines pathologies. Il souligne également une problématique plus spécifiquement parisienne, avec des concentrations de NO<sub>2</sub> à l'intérieur de certains établissements relativement élevées. Liés vraisemblablement à la proximité des locaux aux voies de circulation, ces niveaux confirment l'influence de la pollution issue du trafic routier. Étant donné les effets sanitaires attribuables à cette pollution, notamment en termes de développement de l'asthme, il conviendrait de ne pas implanter ces établissements à proximité des voies à fort trafic.

**Source :** Roda, Barral et al. (2011) - Assessment of indoor environment in Paris child day care centers. *Journal/Environmental Research* 111 (8): 1010-1017.

**Article analysé par :** Sabine Host, ORS Île-de-France ; s.host@ors-idf.org

### Autres Publications d'intérêt dans cette rubrique

Angelini, Kumar et al. (2011) - Exposure to low environmental levels of benzene: Evaluation of micronucleus frequencies and S-phenylmercapturic acid excretion in relation to polymorphisms in genes encoding metabolic enzymes.

Danielsen, Moller et al. (2011) - Oxidative Stress, DNA Damage, and Inflammation Induced by Ambient Air and Wood Smoke Particulate Matter in Human A549 and THP-1 Cell Lines. *Chemical Research in Toxicology*. 24 (2): 168-184.

Blyussen, Janssen et al. (2011) - Assessment of wellbeing in an indoor office environment. *Journal/Building and Environment* 46 (12): 2632-2640.

Pruss-Ustun, Vickers et al. (2011) - Knowns and unknowns on burden of disease due to chemicals: a systematic review.

*Environmental Health*. 10 15.

Kim, Richardson et al. (2011) - Bias in the estimation of exposure effects with individual- or group-based exposure assessment. *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*. 21 (2): 212-221.

Zhukovsky, Onishchenko et al. (2011) - The Influence of Radon Measurement Errors on the Uncertainties of Epidemiological Case-Control Studies. *Radiation Protection Dosimetry*. 145 (2-3): 243-247.

Baumgartner, Schauer et al. (2011) - Indoor Air Pollution and Blood Pressure in Adult Women Living in Rural China. *Journal/Environmental Health Perspectives* 119 (10): 1390-1395.

de Wit, Björklund et al. (2011) - Tri-decabrominated diphenyl ethers and hexabromocyclododecane in indoor air and dust from Stockholm -microenvironments 2: Indoor sources and human exposure. *Journal/Environment International* 39 (1): 141-147.

Li, Zhang et al. (2011) - Indoor Air Pollution From Coal Combustion and the Risk of Neural Tube Defects in a Rural Population in Shanxi Province, China. *American Journal of Epidemiology*. 174 (4): 451-458.

Huang, Ikeda et al. (2011) - Field Survey on the Relation between IAQ and Occupants' Health in 40 Houses in Southern Taiwan. *Journal/Journal of Asian Architecture and Building Engineering* 10 (1): 249-256.

Masuck, Hutzler et al. (2011) - Inhalation exposure of children to fragrances present in scented toys. *Journal/Indoor Air* 21 (6): 501-511.

<sup>5</sup> EU Endotoxin Unit : unité exprimant l'activité des endotoxines indépendamment de leur type.



## Gestion Technique / Divers

### Bénéfices et coûts d'une amélioration de la qualité environnementale intérieure dans les bureaux américains.

Cette étude, menée par une équipe américaine du Laboratoire National Lawrence Berkeley et par l'Agence de Protection Environnementale (EPA), a confronté les gains et les coûts engendrés par la mise en œuvre de scénarios visant à améliorer la qualité environnementale intérieure (IEQ) des bureaux aux États-Unis. Les différentes actions peuvent être une augmentation des débits de ventilation, l'ajout d'économiseurs d'air, une diminution de la température intérieure en période hivernale ou une diminution de l'humidité de l'air, permettant selon les cas d'améliorer la performance au travail et le confort climatique ou de réduire les symptômes de Syndrome de Bâtiments Malsains (SBS) et l'absentéisme. Les auteurs ont chiffré les coûts engendrés pour les employeurs et la Sécurité sociale, ainsi que les dépenses énergétiques associées aux différentes actions, et ont pu montrer un bénéfice maximum pour plusieurs scénarios combinés de l'ordre de 20 milliards (Mds) \$ par an s'ils étaient appliqués à l'ensemble du parc.

L'objectif est de proposer aux gestionnaires d'immeubles de bureaux, aux professionnels du bâtiment, et aux pouvoirs publics, des actions simples à mettre en œuvre et permettant une amélioration de l'IEQ,

pour une légère augmentation des coûts énergétiques voire une économie. Ce travail s'appuie sur plusieurs études américaines assez récentes qui ont montré que ces actions avaient une conséquence directe sur la santé, le confort, et la performance au travail.

Cette étude est basée sur des observations et mesures (débits de ventilation, températures, taux d'absentéisme, performance au travail et cas de SBS) réalisées dans un échantillonnage représentatif de bureaux (étude BASE de l'EPA sur 100 immeubles ; étude sur 1396 employés de bureaux ; étude sur 40 immeubles) et a évalué les effets d'une mise en œuvre de différents scénarios :

**Scénario 1a** : augmentation du débit de ventilation à 10 L/s/occupant, si inférieur,

**Scénario 1b** : augmentation du débit de ventilation à 15 L/s/occupant, si inférieur,

**Scénario 2** : ajout d'économiseurs d'air (système permettant la fourniture d'un débit d'air minimum, en complément de la ventilation mécanique) pour la moitié des sites n'en possédant pas,

**Scénario 3** : limitation des températures intérieures à 23°C en hiver, par simple ajustement des thermostats,

**Scénario 4** : réduction de 30 % du nombre de bâtiments montrant une présence d'humidité et de moisissures (meilleure maintenance, amélioration des systèmes de contrôle de l'humidité).

Des relations empiriques entre les débits de ventilation ou la température avec la performance au travail et les symptômes de SBS, utilisées dans des études américaines antérieures, ont été utilisées.

L'augmentation des débits de ventilation, lorsqu'ils sont inférieurs à 10 L/s/personne, permettrait une réduction des cas de symptômes SBS de 13 à 19% pour 8 à 12 millions de travailleurs et une économie de 4 à 10 millions de jours d'absentéisme (selon le choix du scénario 1a ou 1b). Le bénéfice économique annuel est estimé à 5,6 Mds \$ (scénario 1a) et à 13,5 Mds \$ (scénario 1b). Dans le cas d'utilisation d'économiseurs (scénario 2), le bénéfice calculé serait de 11,8 Mds \$ lorsque l'estimation repose sur l'utilisation de débit de ventilation de type méthode volumétrique comme donnée d'entrée. Dans le cas d'utilisation de la méthode du pic de CO<sub>2</sub>, les résultats diffèrent fortement (bénéfice économique annuel de 1,3 Mds \$, 9 Mds \$ et 20 Mds \$ respectivement pour les scénarios 1a, 1b et 2). Pour les scénarios 3 et 4 (indépendant des débits), le bénéfice serait respectivement de 3,4 Mds \$ et 0,5 Mds \$.

Les auteurs précisent que les bénéfices économiques se font surtout dans l'amélioration de la performance au travail, suivi de la réduction de l'absentéisme. La réduction du SBS est plus faible économiquement parlant.

## Conclusion et discussion des auteurs

Les bénéfices économiques ont été clairement établis. Cependant, il a été impossible d'estimer les incertitudes sur les bénéfices économiques et en terme de santé, mais qui peuvent atteindre un facteur 2 ou 3 selon les auteurs. La compréhension de la manière dont les paramètres IEQ affectent la santé, la performance, et l'absence sont la première source d'incertitude. La seconde source d'incertitude vient de la méthode d'estimation du taux de ventilation. La méthode volumétrique est basée sur une technique

instrumentale, et peut surestimer le nombre de bâtiments avec un faible taux de renouvellement d'air (cette méthode ne tenant pas compte des infiltrations, contrairement à la méthode du pic de CO<sub>2</sub>).

## Commentaires et conclusion du lecteur

Même si cette étude présente des incertitudes et des limites, énoncées par les auteurs (par exemple, exclusion des petits bureaux, locaux à ventilation naturelle non cités, difficultés d'estimer le renouvellement de l'air), des bénéfices en termes économiques et de confort au travail ont été mis en avant et semblent incontestables. Cette étude pourrait permettre aux organismes en charge de la santé de préconiser la mise en application de certains des scénarios. Il semble cependant difficile, dans un contexte d'économie d'énergie, de faire accepter par exemple un doublement des débits de ventilation, notamment avec le développement des bâtiments basse consommation.

De plus, une application de la réglementation (maintenance régulière des équipements, respect des débits minimaux, contrôles périodiques) pourrait déjà permettre une amélioration de la qualité de l'environnement intérieur de ces locaux. Il serait intéressant, après les prochaines campagnes d'études des lieux de vie type bureaux, d'évaluer ces bénéfices dans un contexte français.

**Source :** Benefits and costs of improved IEQ in U.S. offices

**Article analysé par :** Bruno COUTY, Chef de la Section Air d'Aéroports de Paris;

bruno.couty@adp.fr



## Gestion Technique / Divers

### Evaluation du programme de gestion du radon domestique en Angleterre

Le Royaume-Uni a adopté un programme de gestion visant à limiter le risque pour la santé lié à l'exposition au radon dans les habitations. Ce programme inclut : pour les nouveaux bâtiments, des conseils sur les mesures protectives et leur installation ; pour les habitations existantes, situées dans des zones à forte émanation de radon, des incitations à effectuer des mesures de concentration et, si besoin, à mettre en œuvre les mesures nécessaires pour diminuer l'exposition.

Un audit a été lancé auprès de chaque ménage ayant eu une mesure de concentration de radon enregistrée dans la base de données nationale de mesures du radon et supérieure à 195 Bq/m<sup>3</sup> depuis le 1er janvier 2000. Au total 8834 questionnaires ont été envoyés entre juillet et septembre 2006 et 4326 questionnaires ont été retournés soit un taux de participation de 49%. Le questionnaire contenait 4 sections principales : les mesures de concentration de radon dans l'habitation, les opinions personnelles relatives au programme de gestion du radon, d'information et de conseils, les actions mises en place pour diminuer les niveaux de concentration de radon dans l'habitation, et des questions générales sur leur habitation et leur ménage. L'analyse statistique a porté sur les facteurs associés à la mise en place d'actions visant à réduire les niveaux de concentration de radon. Les ménages ayant répondu au questionnaire ont été classés en 2 groupes : les ménages ayant effectué des mesures d'assainissement du radon dans leur habitation et les ménages n'en ayant pas effectué.



1,317 ménages (soit 30 % des répondants) indiquent avoir mis en place des actions visant à réduire les niveaux de concentration de radon dans leur habitation. 65 % d'entre eux se disent satisfaits de la mesure d'assainissement pour leur santé et celle de leur famille. Les ménages n'ayant pas effectué de mesure d'assainissement du radon habitent plus fréquemment dans des habitations avec de fortes concentrations de radon, sont plus fréquemment fumeurs, sont plus fréquemment inemployés ou inaptés au travail, sont plus âgés (plus de 65 ans) ou résident dans leur habitation actuelle depuis longtemps que les ménages ayant réalisé de telles mesures d'assainissement. Il apparaît également que les ménages adoptent plus fréquemment des mesures d'assainissement quand ils considèrent l'information sur le « risque radon » claire et utile, d'où l'importance de la stratégie de communication.

### Conclusion et discussion des auteurs

Cet audit réalisé auprès des ménages résidant dans une habitation avec plus de 195 Bq/m<sup>3</sup> de concentration de radon (niveau d'action préconisé au Royaume Uni) a permis d'identifier les facteurs prédictifs de la mise en place de mesures d'assainissement du radon. Contrairement aux résultats des études antérieures, il apparaît que le taux de mise en œuvre des mesures d'assainissement diminue quand le niveau de concentration de radon mesuré dans l'habitation augmente. Ceci s'expliquerait par une inquiétude des ménages vis-à-vis du coût des travaux d'assainissement à mettre en œuvre. Par ailleurs, pour les fumeurs actuels et les personnes occupant leur habitation depuis de longues années (plus de 30), le radon n'apparaît pas représenter un réel risque pour la santé. Selon les auteurs, le programme de communication vis-à-vis du « Risque radon » au Royaume-Uni devrait cibler davantage les occupants de logements à forte concentration de radon, ainsi que les fumeurs. Afin d'améliorer l'équité, des aides financières devraient être proposées aux ménages résidant dans une habitation à forte concentration de radon ou à faibles revenus.

### Commentaires et conclusion du lecteur

Le pourcentage de non-répondants est élevé (51 %) mais comparable, selon les auteurs, à ce que l'on peut observer dans d'autres études basées sur des questionnaires postaux. Néanmoins, ceci amène à se poser la question d'un biais de confusion : le niveau socio-économique du ménage étant à la fois associé au fait de répondre au questionnaire et au fait d'entreprendre des mesures d'assainissement du radon dans les habitations. Par ailleurs, il aurait été intéressant de traiter séparément le groupe de répondants ayant reçu une aide financière pour leur travaux d'assainissement. Il est à noter également que le statut de fumeur/non-fumeur ainsi que le type d'emploi occupé sont auto-déclarés. En revanche, il n'est pas précisé si le ménage qui a répondu au questionnaire est propriétaire ou locataire du logement. Enfin, si les résultats de l'étude sont comparés à deux autres études anglaises et une étude américaine, il aurait été intéressant d'avoir d'autres données européennes, notamment françaises ou suisses.

**Source :** référence de l'article analysé Zhang W, Chow Y, Meara J, Green M. Evaluation and equity audit of the domestic radon programme in England. *Health policy* 102 (25011):81-88

**Article analysé par :** Baysson Hélène, IRSN, PRP-HOM, SRBE, Laboratoire d'Epidémiologie, helene.baysson@irsn.fr

## Performance énergétique et qualité environnementale intérieure des écoles grecques

La présente étude s'inscrit dans la démarche d'amélioration des performances énergétiques du parc d'écoles grecques selon les principes décrits dans la refonte de la Directive Européenne concernant la Performance Énergétique des Bâtiments (« EPBD recast », 2010). L'article vise dans un premier temps à effectuer un état des lieux de la consommation énergétique des écoles sur l'ensemble du territoire grec. Une seconde partie est réservée à l'étude approfondie d'une dizaine d'écoles, représentatives du parc, et à la détermination des meilleures solutions de réhabilitation pour améliorer la performance énergétique et la qualité environnementale intérieure (QEI) de ces établissements.

Sur les 14 446 établissements scolaires grecs, 500 écoles réparties sur l'ensemble du territoire ont été choisies pour l'audit énergétique. Il a été demandé aux directeurs de ces établissements de fournir les consommations énergétiques réelles de chauffage et d'électricité des trois dernières années. Parmi celles-ci, 9 écoles ont été choisies pour étudier la faisabilité de plusieurs améliorations de leur performance énergétique. Des campagnes de mesures de la température, humidité et concentration en CO<sub>2</sub> ont été effectuées pour évaluer objectivement la QEI de 5 de ces établissements en période estivale. Une étude concernant la perception des occupants par rapport au confort thermique, visuel et acoustique, à la ventilation et à la qualité de l'air (QAI) a complété les données.

Concernant l'audit énergétique, seuls 135 établissements ont fourni les données nécessaires à l'enquête. L'établissement scolaire grec typique comporte deux étages, entre 3 et 4 m de hauteur sous plafond, sans sous-sol, de forme parallélépipédique, avec un couloir séparant chaque étage en deux zones de classe, ventilé naturellement, équipé d'un chauffage central et de climatiseurs locaux (pour une petite partie), sans isolation thermique (63 % du parc) et des fenêtres à simple vitrage (77 % du parc). Les consommations énergétiques moyennes pour le chauffage et l'électricité sont respectivement de 57 et 12 kWh/m<sup>2</sup>. Les données objectives relatives à la QEI ont permis de montrer que la température, l'humidité relative et la concentration en CO<sub>2</sub> de ces locaux dépassaient respectivement les limites de confort et de QAI pendant près de 60 %, 30 % et 22.5 % du temps d'occupation. L'étude de perception de la QEI a confirmé à la fois le problème de température trop élevée en été et le manque de ventilation (persistance de mauvaises odeurs) mais les facteurs prépondérants d'inconfort étaient le bruit ambiant trop élevé, le niveau de propreté des locaux et le manque de place. Enfin, l'étude concernant les actions correctrices d'amélioration de la performance énergétique (remplacement de chaudière, installation de capteurs solaires thermiques et photovoltaïques, mise en place de protection solaire) a montré une diminution possible de la consommation de 2 à 31 % selon les scénarii et les établissements concernés avec un retour sur investissement de 8 ans en moyenne.

## Conclusion et discussion des auteurs

Un peu plus de la moitié des écoles grecques ont plus de 30 ans d'âge et près de 2/3 de l'ensemble du parc ne sont pas conformes à la réglementation en vigueur concernant l'isolation thermique de l'enveloppe et la qualité des ouvrants. De plus, la quasi non-existence de système de régulation du chauffage et de contrôle de l'éclairage artificiel conduit à des factures énergétiques bien plus élevées que nécessaire. Enfin, la ventilation naturelle de ces locaux, qui est très souvent sous-dimensionnée, induit fréquemment une mauvaise QAI. Selon les auteurs, les solutions viables et peu coûteuses à court terme concernent surtout l'amélioration de la production et de la distribution de la chaleur. A plus long terme, c'est l'intégration de systèmes solaires actifs, malgré un coût initial important, qui est concernée dans l'optique de l'application de la récente Directive Européenne « EPBD recast ».

## Commentaires et conclusion du lecteur

La présente étude a le mérite de faire un état des lieux objectif des performances énergétiques du parc d'écoles grecques tout en présentant une évaluation de la QEI. Devant les difficultés de traiter l'enveloppe des bâtiments considérés, qui possédaient déjà des fenêtres à double vitrage, les solutions préconisées par les auteurs, à savoir l'amélioration de la production, de la distribution et de la régulation de la chaleur et l'installation de systèmes de production solaire thermique et électrique, sont logiques et classiques. Pour ce qui est de la QEI estimée en période estivale uniquement, on notera une erreur d'interprétation des données. Les auteurs se basent en effet sur une température maximale de 26°C pour délimiter la zone de confort thermique, valeur qui est valable pour les ambiances climatisées mais qui peut, et doit être augmentée dans le cas de la ventilation naturelle (voir EN 15251). On regrettera également que les auteurs n'aient pas pu procéder à des mesures complémentaires concernant la QAI qui, dans le cas particulier de bâtiments ventilés naturellement et situés en site périurbains, auraient été des informations complémentaires très intéressantes pour juger de la QEI (par exemple NOx, COV, particules).

**Source :** Dascalaki and Sermpezoglou (2011) - Energy performance and indoor environmental quality in Hellenic schools. *Energy and Buildings*. 43 (2-3): 718-727.

**Article analysé par :** Marc ABADIE, Laboratoire des Sciences de l'Ingénieur pour l'Environnement – LaSIE, Université de La Rochelle ; marc.abadieuniv-lr.fr

## Autres Publications d'intérêt dans cette rubrique

Cheng and Tan (2011) - Removal of CO(2) from indoor air by alkanolamine in a rotating packed bed. *Journal/Separation and Purification Technology* 82 156-166.

Zhang, Mo et al. (2011) - Can commonly-used fan-driven air cleaning technologies improve indoor air quality? A literature review. *Journal/Atmospheric Environment* 45 (26): 4329-4343.

## News

### Pulbication de l'APPA.

L'APPA a publié une brochure sur la qualité de l'air dans les écoles et crèches « comprendre et agir ».

Retrouvez cette brochure à l'adresse suivante :

[http://www.appa.asso.fr/\\_admsite/Repertoire/1/fckeditor/file/APPA%20-%20Brochure%20cr%C3%A8ches%20\(light%20web\).pdf](http://www.appa.asso.fr/_admsite/Repertoire/1/fckeditor/file/APPA%20-%20Brochure%20cr%C3%A8ches%20(light%20web).pdf)

### Congrès de l'International Society of Indoor Air Quality and Climate – ISIAQ du 8 au 12 juillet 2012 – “Healthy Buildings 2012”.

Retrouvez les abstracts des sessions plénières et des workshop : <http://hb2012.org>



Cette conférence a été organisé par ISIAQ  
<http://www.isiaq.org/>

### Amiante

Dans la perspective de l'atelier d'échanges du 5 juin 2012 organisé dans le cadre de l'élaboration de *l'application SISE-ERP, les projets d'outils standardisés d'inspection et de contrôle de la réglementation amiante dans les ERP* élaborés en 2011 ont été actualisés pour tenir compte du décret du 3 juin 2011

## Normalisation / Réglementation

### Nouvelle valeur pour les effets cancérigènes et non cancérigènes du perchloréthylène publié le 10 février 2012. La valeur de la VTR chronique par inhalation passe à 40 µg/m³.

<http://www.epa.gov/iris/subst/0106.htm>

### Valeurs repères d'aide à la gestion pour le naphtalène dans l'air des espaces clos (HCSP).

Considérant le naphtalène pour sa toxicité propre et comme indicateur de la présence de sources d'émission de multiples polluants nocifs, le Haut Conseil de la santé publique (HCSP) recommande que soient respectées les concentrations limites suivantes pour le naphtalène dans l'air des espaces clos :

- 10 µg/m³ comme valeur repère de qualité d'air intérieur, immédiatement applicable et visant à protéger des effets à long terme de l'exposition au naphtalène, notamment des irritations nasales ;

- 50 µg/m³ comme valeur d'action rapide, qui doit amener à la mise en œuvre d'actions correctives visant à abaisser la concentration dans les bâtiments à moins de 10 µg/m³ dans un délai de moins de trois mois.

<http://www.hcsp.fr/explore.cgi/avisrapportsdomaine?ae=avisrapportsdomaine&clefr=250&menu=09>

## Normalisation / Réglementation

### Trichloréthylène : Nouvelles valeurs repères d'aide à la gestion pour le trichloroéthylène dans l'air des espaces clos.

Le Haut Conseil de la santé publique (HCSP) recommande, pour le trichloroéthylène dans l'air intérieur des immeubles d'habitation ou locaux ouverts au public :

- 2 µg/m<sup>3</sup> comme valeur repère de qualité d'air ; applicable dans un délai de cinq ans, elle vise à protéger des effets cancérogènes du trichloroéthylène ainsi que des effets chroniques non cancérogènes : hépatiques, rénaux, neurologiques, immunologiques, effets sur la reproduction et le développement.

- 10 µg/m<sup>3</sup> comme valeur d'action rapide ; elle déclenche la mise en œuvre d'actions correctives pour abaisser la concentration à moins de 2 µg/m<sup>3</sup> dans les bâtiments dans un délai de moins de six mois.

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

Directeur de la publication : Vincent Laflèche

Directeur de la rédaction : André Cicolella

Comité de rédaction du N°35 : O. Ramalho, M-A. Kerautret, H. Baysson, E. Revelat, C. Nicolle, L. Mosqueron, V. Nedellec, G. Boulanger, R. Robichon, C. Marchand, J. Dalvai.

Maquette : Patrick Bodu

Coordination et contact : Julien Dalvai - julien.dalvai@ineris.fr

ISSN 1760-5407

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

Le réseau RSEIN, en relation avec l'Observatoire de la Qualité de l'Air Intérieur, est constitué de représentants des structures suivantes : Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail, Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie, Association pour la Prévention de la Pollution Atmosphérique et ses comités régionaux Nord-Pas de Calais et PACA-Marseille, ATMO PACA représentant les Associations Agréées pour la Surveillance de la Qualité de l'Air, Bureau Véritas, Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, Complexe de Recherche Interprofessionnel en Aérothermochimie, École des Hautes Études en Santé Publique, Faculté de Pharmacie de Marseille, Faculté de Pharmacie de Paris V, Hôpitaux de Marseille, Hôpitaux de Rouen, Hôpitaux de Strasbourg, Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale, Institut de Radioprotection et de 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'Île-de-France, SEPIA-Santé, Service des Études Médicales de EDF, Université Bordeaux II – Équipe EA 3672 Santé Travail Environnement, Université de Caen, Véolia Environnement, Vincent Nedellec Conseils.

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

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