

ANALYSE SIMULTANEE DES COV ET DU FORMALDEHYDE DANS L'AIR INTERIEUR ET A L'INTERFACE AIR/MATERIAU : APPLICATION AU SUIVI CINETIQUE D'UN BATIMENT NEUF ET A LA MODELISATION DE LA QUALITE DE L'AIR INTERIEUR

BOURDIN Delphine^a, CANTAU Christophe^a, DESAUZIERS Valérie^b, MOCHO Pierre^c

a : Nobatek, 67 rue de Mirambeau, 64600 Anglet

b : Ecole des Mines d'Alès, Hélioparc, 2 avenue du Président Pierre Angot, 64053 Pau Cedex

c : LaTEP, Université de Pau et des Pays de l'Adour, rue Jules Ferry, BP7511, 64075 Pau Cedex

** : Auteur correspondant : dbourdin@nobatek.com*

Résumé

La qualité de l'air intérieur est reconnue comme un enjeu majeur de santé publique. En effet, la combinaison de bâtiments de plus en plus étanches à l'air avec l'émission de composés organiques volatils (COV) et de formaldéhyde par les matériaux de construction donnent naissance à des environnements intérieurs davantage pollués que l'air extérieur, et notamment dans les bâtiments neufs. Afin de réduire l'impact sur la santé des usagers, de nouvelles réglementations ont été mises en place. Elles consistent à surveiller régulièrement certains paramètres de qualité de l'air intérieur dans les établissements recevant du public. En parallèle, l'étiquetage de l'ensemble des matériaux de construction en fonction de leurs émissions de COV va devenir peu à peu obligatoire. Ainsi, des outils de prélèvement efficaces et simples à mettre en œuvre sont nécessaires afin d'être en mesure de réaliser sur site des diagnostics de qualité de l'air intérieur voire même de recherche de source de pollution si nécessaire. Dans cette optique, de nouveaux outils basés sur l'échantillonnage passif ont été développés. Ces outils permettent de mesurer la concentration en COV ainsi qu'en formaldéhyde, aussi bien dans l'air intérieur qu'à l'interface entre matériau et air. Ils ont ensuite été mis en œuvre dans trois bâtiments différents : un bâtiment de bureaux, un collège et un logement. En parallèle un modèle prédictif de concentration des polluants dans l'air a été développé.

Mots clés : *Composés organiques volatils, Formaldéhyde, Emissions de matériaux, Echantillonnage sur site, Qualité de l'air intérieur*

Introduction

La qualité de l'air intérieur (QAI) est maintenant reconnue comme un enjeu majeur de santé publique avec notamment la création en France de l'Observatoire de la Qualité de l'Air Intérieur (OQAI) ainsi que la mise en place d'une nouvelle réglementation. Ainsi, deux décrets rendant obligatoire la mesure de certains polluants dans les établissements recevant du public (décret n°2011-1728 du 2 décembre 2011) et fixant des valeurs-guides pour le formaldéhyde et le benzène (décret n°2011-1727 du 2 décembre 2011) ont d'ores et déjà été publiés. De plus, l'étiquetage de l'ensemble des matériaux de construction en fonction de leurs émissions de composés organiques volatils (COV) sera effectif dès 2013 (décret n°2011-321 du 23 mars 2011). En effet, l'impact des

matériaux de construction ainsi que des éléments de décoration sur la QAI est maintenant démontré et reconnu (MISSIA, 2010) (HODGSON, 2000). Ainsi, pour de nombreux composés que l'on trouve dans l'air intérieur (α -pinène, formaldéhyde, limonène...) la principale source d'émission se trouve à l'intérieur même du bâtiment. Ceci est particulièrement vrai dans les bâtiments neufs dans la mesure où les émissions de COV par les matériaux de construction diminuent avec le temps (BROWN, 2002). De plus, la tendance actuelle de construire des bâtiments de plus en plus étanches à l'air accroît l'impact des matériaux de construction sur la qualité de l'air intérieur. Dans ce contexte, il est nécessaire de disposer d'outils efficaces afin de réaliser sur site des diagnostics de QAI, incluant une recherche de sources d'émission.

Il existe à l'heure actuelle deux stratégies d'échantillonnage et d'analyse de la qualité de l'air intérieur. La première repose sur de l'échantillonnage actif : à l'aide de pompes l'air à analyser passe à travers des tubes de prélèvement sur lesquels les polluants sont adsorbés. L'échantillonnage peut durer de 30 minutes à quelques heures (NF ISO 16000-6, 2011 et NF ISO 16000-3, 2002). Les tubes sont ensuite analysés en laboratoire. La seconde stratégie repose sur un échantillonnage dit passif : les polluants viennent s'adsorber sur un support grâce à la diffusion (Photo 1). Dans ce cas les échantillonneurs sont généralement laissés en place une semaine et permettent d'estimer l'exposition moyenne. Ils sont ensuite analysés en laboratoire.



Photo 1 : échantillonnage passif de l'air intérieur sur tubes Radiello®

Dans les deux cas, l'échantillonnage des COV et l'échantillonnage des composés carbonylés, dont le formaldéhyde, se fait sur deux supports distincts. De même l'analyse des COV se fera à l'aide d'un chromatographe en phase gazeuse (GC) alors que l'analyse des composés carbonylés se fait en chromatographie en phase liquide (HPLC).

Il en est de même pour l'analyse sur site des émissions de produits de construction. La méthode normalisée dite « active » utilise une cellule d'émission, la FLEC®, couplée à de l'échantillonnage actif sur tubes d'adsorbant (NF ISO 16000-10, 2006). En parallèle, des échantillonneurs passifs (Photo 2), plus simples à mettre en œuvre pour la mesure sur site sont développés (SHINOHARA, 2009) (BLONDEL, 2010).

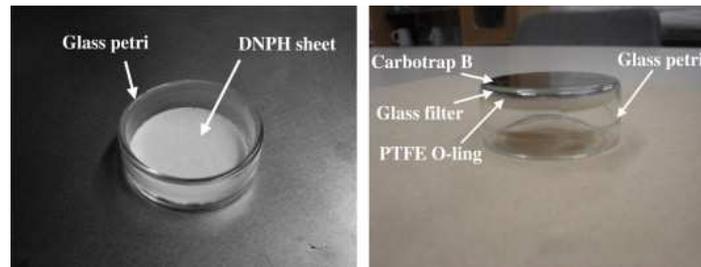


Photo 2 : PFS (passive flux sampler) : échantillonneur passif pour la mesure d'émissions de matériaux sur site (SHINOHARA, 2009)

Les méthodes d'analyse que nous avons développées reposent sur la micro-extraction sur phase solide (SPME). Cette méthode d'échantillonnage consiste à concentrer les polluants sur une fibre qui est ensuite directement désorbée dans l'injecteur d'un chromatographe en phase gazeuse. L'analyse des polluants se fait ensuite à l'aide du même chromatographe (ARTHUR, 1990). La SPME étant un échantillonneur passif, la quantité de polluants adsorbés sur la fibre lors de son exposition est proportionnelle au produit de la concentration en polluant et du temps d'exposition. Ce produit est appelé « dose d'exposition » et s'exprime en $\mu\text{g}\cdot\text{m}^3\cdot\text{min}$ (TUDURI, 2003) (LARROQUE, 2006). Deux méthodes d'analyses sur SPME ont été mises au point afin d'étudier 9 composés, dont le formaldéhyde, à la fois dans l'air intérieur mais également à l'interface entre air et matériau (NICOLLE, 2008) (NICOLLE, 2009). Ces méthodes ont ensuite été appliquées au sein de trois bâtiments dans le but de réaliser un diagnostic de l'air intérieur, d'identifier les principales sources de pollution et d'observer le comportement des matériaux durant les premiers mois d'utilisation du bâtiment. Enfin, un modèle prédictif de la qualité de l'air a été développé. Ce modèle permet de calculer la concentration de COV dans l'air intérieur à partir des émissions de chaque matériau présent dans la pièce et du taux de renouvellement d'air.

Matériels et Méthodes

Analyse SPME d'air intérieur et des émissions de matériaux

Les prélèvements d'air ont été réalisés dans des flacons en verre de 250 mL, fourni par la société Entech et équipé du « SPME-adapter » (Photo 3) (Demande de brevet français n°1003271). Les flacons sont nettoyés à l'azote humidifié puis mis sous vide en laboratoire. Sur site, ils sont remplis d'air puis analysés dans les deux jours suivants le prélèvement (conservation à température ambiante).



Photo 3 : Vials de prélèvement d'air équipé du SPME-adapter

Une fibre SPME modifiée est alors introduite dans le flacon pendant 30 minutes avant sa désorption et son analyse par chromatographie en phase gazeuse (DESAUZIERS, 2012). Les émissions des matériaux de construction sont évaluées à l'aide d'une méthode analogue. Une cellule de mesure en verre, équipée d'un septum pour l'introduction de la fibre SPME, est posée sur le matériau dont on souhaite connaître les émissions. Après 2 heures d'attente la fibre est introduite dans la cellule de verre et le prélèvement se fait directement sur site. La fibre est ensuite conservée durant 3 jours maximum dans un tube en acier inoxydable (LARROQUE, 2006) avant son analyse en GC.

Mesure du taux de renouvellement d'air

Le taux de renouvellement d'air a été déterminé par la méthode dite du gaz traceur. Du CO₂ pur est injecté dans la pièce jusqu'à atteindre une concentration de 2000 ppm. Toutes les ouvertures de la salle (portes et fenêtres) sont alors fermées et la concentration en CO₂ est enregistrée toutes les 10 minutes à l'aide de 6 capteurs répartis à travers la pièce. Le taux de renouvellement d'air τ peut alors être calculé à l'aide de la relation suivante :

$$\tau = \ln(C_0 - C_1) / (t_0 - t_1) \quad (1)$$

Où τ est exprimé en h⁻¹, C₀ est la concentration en CO₂ à t₀ et C₁ la concentration en CO₂ à t₁.

Modélisation de la qualité de l'air intérieur

La concentration des différents composés dans l'air intérieur a été calculée à l'aide d'un modèle d'équilibre des masses. Ce modèle prend en compte la contribution (émission ou adsorption) de chacun des matériaux, la ventilation ainsi que l'effet de puits. Il repose sur l'équation suivante (2) :

$$\frac{dC_i}{dt} = \sum_{j=1}^m Q_{ij} + \tau f C_{ext} - \tau C_i - U_{dep} \left(\frac{A}{V}\right) C_i$$

Avec: C_i la concentration du polluant (ppb), t le temps (s), f le taux de pénétration (0 < f < 1), Q_{ij} le taux d'émission du matériau j (ppb.s⁻¹), C_{ext} la concentration du polluant dans l'air extérieur, U_{dep} la cinétique de dépôt (m.s⁻¹), A la surface de la pièce (m²) et V son volume (m³). Une fois intégrée, l'équation permet de connaître la concentration du polluant en fonction du temps (3) :

$$C_i(t) = C_0 e^{-(U_{dep} \frac{A}{V} + \tau)t} + \frac{\sum Q_{ij} + \tau C_{ext}}{U_{dep} \frac{A}{V} + \tau} \left(1 - e^{-(U_{dep} \frac{A}{V} + \tau)t}\right)$$

Description des sites étudiés

Durant les campagnes de mesures trois sites ont été étudiés : un collège, un bâtiment de bureaux et un logement. Ces trois bâtiments avaient par ailleurs été construits avec une démarche « Haute Qualité Environnementale ».

Au sein du bâtiment de bureaux une salle de réunion de 40 m² a été étudiée (Photo 4). Cette salle n'était meublée que de tables et de chaises. Des volets roulants en PVC étaient installés à chaque fenêtre. Une campagne de mesures a été réalisée dans ce bâtiment en juin 2012.



Photo 4 : salle de réunion

Une salle de classe représentative de l'ensemble des salles d'enseignement (Photo 5) a été étudiée au sein du collège. La salle donne sur un couloir dont les murs sont recouverts d'un bardage en pin (Photo 6). Les prélèvements ont été effectués lorsque la salle était vide. La salle est équipée de bureaux et de chaises permettant d'accueillir 32 élèves. De plus, un rideau polyester est suspendu à chaque fenêtre. Enfin, au fond de la classe se trouve un local technique séparé du reste de la pièce par une porte.



Photo 5 : salle de classe



Photo 6 : couloir du collège

Le logement étudié est un logement livré en septembre 2012, inoccupé et construit sur le même site que le collège. Il s'agit d'une maison mitoyenne de deux étages. Le rez-de-chaussée se compose d'un salon, d'une cuisine ouverte et d'une chambre (Photo 7). A l'étage se trouvent 3 autres chambres ainsi qu'une salle de bains. Chaque chambre est équipée d'un placard fait de panneaux de particules mélaminés. Dans la cuisine se trouve un ensemble de meubles de rangement.

Les escaliers menant à l'étage sont séparés du salon par des planches de pin. Les escaliers sont en pin raboté.



Photo 7 : rez-de-chaussée du logement

Ces deux cas d'étude (salle de classe et logement) sont suivis depuis septembre 2012. Des campagnes de mesures ont lieu toutes les 2 ou 3 semaines. Les principales caractéristiques des sites étudiés sont présentées dans le tableau 1.

	Salle de réunion	Salle de classe	Logement
Ventilation	Mécanique	Mécanique	Naturelle, ventilation mécanique éteinte
Occupation	15 personnes, 1 fois par mois	25 élèves, 4 jours par semaine	Vide
Ameublement	PVC, panneau de particules	Bois, panneaux de particules, polyester	Bois, panneau de particules, mélaminé
Sol	PVC	PVC	Carrelage, jonc de mer
Mur	Peinture	Peinture	Peinture
Plafond	Peinture, métal	Faux plafond	Peinture

Tableau 1 : caractéristiques des sites étudiés

Résultats et discussion

Développement des méthodes d'analyse

Les méthodes d'analyse ont été développées pour 9 composés. Chacun des 9 composés est soit concerné par la nouvelle réglementation sur l'étiquetage des matériaux, soit représentatif de la construction bois. Pour ces neuf composés, des droites d'étalonnage satisfaisantes ont été obtenues. Les limites de détection (LOD) et de quantification (LOQ) sont assez basses pour remplir nos objectifs d'analyse de la qualité de l'air intérieur et d'émission des matériaux de construction (Tableau 2).

Composé	R ²	LOD ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)	LOQ ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)	RSD (n=6)
Toluène	0.9720	0.012	0.042	17%
p-xylène	0.9858	0.027	0.091	20%
Styrène	0.9746	0.013	0.043	16%
1,2-dichlorobenzène	0.9616	0.011	0.037	10%
Tétrachloroéthylène	0.9688	0.014	0.048	17%
Formaldéhyde	0.9959	0.005	0.016	18%
Acétaldéhyde	0.9178	0.051	0.170	30%
Hexanal	0.9699	0.124	0.414	24%
α -pinène	0.9653	0.049	0.164	17%

Tableau 2 : Performances analytiques en GC/MS de la méthode d'analyse de l'air intérieur, pour une extraction sur fibre SPME de 20 minutes

L'effet de l'humidité a également été étudié en traçant les droites d'étalonnage pour différentes valeurs d'humidité relative de l'air à 20°C (Schéma 1). Il a ainsi été montré que l'humidité relative de l'air n'avait pas d'influence sur la quantité de polluants adsorbé sur la fibre. Ainsi, une seule droite d'étalonnage peut être utilisée pour étudier des atmosphères allant de 0 à 70% d'humidité relative.

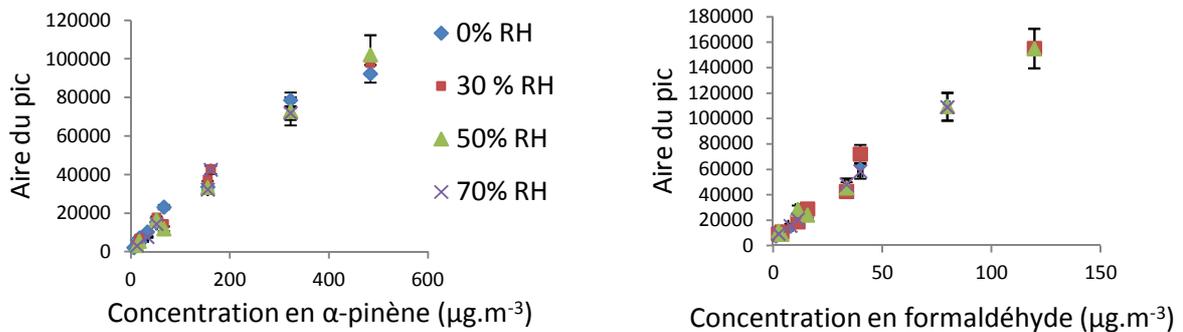


Schéma 1 : Droites d'étalonnage du formaldéhyde et de l' α -pinène pour différentes valeurs d'humidité relative de l'air (20°C), pour une extraction sur fibre de 20 minutes

Une comparaison a été faite entre cette méthode d'analyse sur fibre SPME et les méthodes normalisées d'analyse de la qualité de l'air intérieur (NF ISO 16000-6, 2011 et NF ISO 16000-3, 2002) au sein du logement. Les résultats obtenus avec les deux méthodes sont équivalents pour au moins trois composés (Tableau 3).

	SPME ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) (n=6)	Méthodes normalisées ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) (n=3)
Formaldéhyde	11.5 ± 1.5	12.3 ± 1.0
α -pinène	101.5 ± 21.0	103.3 ± 8.1
Styrène	1.3 ± 0.3	2.4 ± 1.0

Tableau 3 : Comparaison échantillonnage actif versus SPME pour l'analyse de l'air intérieur

Etudes de cas

Dans chacune des pièces étudiées l'émission de COV et de formaldéhyde de chacun des matériaux présents ainsi que la qualité de l'air intérieur ont été mesurées. Dans la grande majorité des cas la concentration en formaldéhyde était inférieure à la future valeur-guide fixée à 10 µg.m⁻³ (Tableau 4). L'α-pinène, représentatif des constructions en bois étaient présents dans l'ensemble des pièces étudiées. Cette omniprésence peut certainement s'expliquer par la présence de nombreuses sources comme le bardage en pin du couloir dans le collège ou encore le grand nombre de meubles en bois. C'est au sein du logement que sa concentration est la plus importante (130 µg.m⁻³ au cours de la première campagne). Cette forte concentration est certainement due à la présence de matériaux fortement émetteurs combinée à l'absence de ventilation mécanique. Il en est de même pour l'hexanal.

	Salle de réunion	Logement						
		Salle de classe			Rez-de-chaussée		Etage	
		Semaine 1	Semaine 2	Semaine 3	Semaine 1	Semaine 2	Semaine 1	Semaine 2
T (°C)	23.5	21.6	22.5	17.5	24.4	17.7	24.4	17.7
%RH	60	67.5	78.6	57.2	62.4	76.5	62.4	76.5
TOL	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
PIN	86.8±17.5	49.0±4.8	18.9±1.5	27.6±7.5	130.9±40.9	43.4±8.4	159.5±1.3	42.8±1.0
FOR	7.0±1.0	3.1±2.7	8.4±0.5	12.8±3.9	5.2±1.0	3.7±0.6	4.0±0.6	3.5±0.5
HEX	12.4±2.0	26.2±6.9	19.2±1.9	nd	80.4±14.7	20.2±5.4	92.5±0.4	33.3±6.1
STY	nd	1.1±0.1	5.7±0.5	0.9±0.1	1.6±0.5	0.8±0.5	2.4±0.2	1.3±0.1

T: température (°C), %RH: humidité relative de l'air, TOL: toluène, PIN: α-pinène, FOR: formaldéhyde, HEX: hexanal, STY: styrène, nd : non détecté

Tableau 4: Concentrations de l'air intérieur en COV et composés carbonylés mesurées dans les trois bâtiments

Concernant la salle de réunion, la concentration la plus élevée de COV en surface d'un matériau est l'hexanal émis par le sol (73 µg.m⁻³). Les tables faites de panneaux de particules sont la source la plus importante de formaldéhyde au sein de cette pièce (43 µg.m⁻³ à l'interface table/air). La même observation est faite dans la salle de classe où les bureaux sont la plus importante source de formaldéhyde (Schéma 2) avec une concentration à l'interface supérieure à 100 µg.m⁻³ en début de campagne. Cependant, les bureaux ne représentant qu'un quart de la surface totale de la classe et la ventilation mécanique étant activée en permanence (2.2 vol.h⁻¹), la concentration de l'air en formaldéhyde reste inférieure à 10 µg.m⁻³. Concernant l'α-pinène, certains matériaux ont pu être identifiés comme source d'émission comme les bureaux ou les portes mais il est clair que la source majoritaire au sein du collège est le bardage en pin recouvrant l'intégralité du couloir extérieur (Schéma 3). En effet, la concentration en α-pinène en surface de ce bardage est largement

supérieure à 2 mg.m^{-3} . On retrouve également ce COV à l'interface air/rideau : il semblerait qu'il soit adsorbé sur le tissu avant d'être réémis.

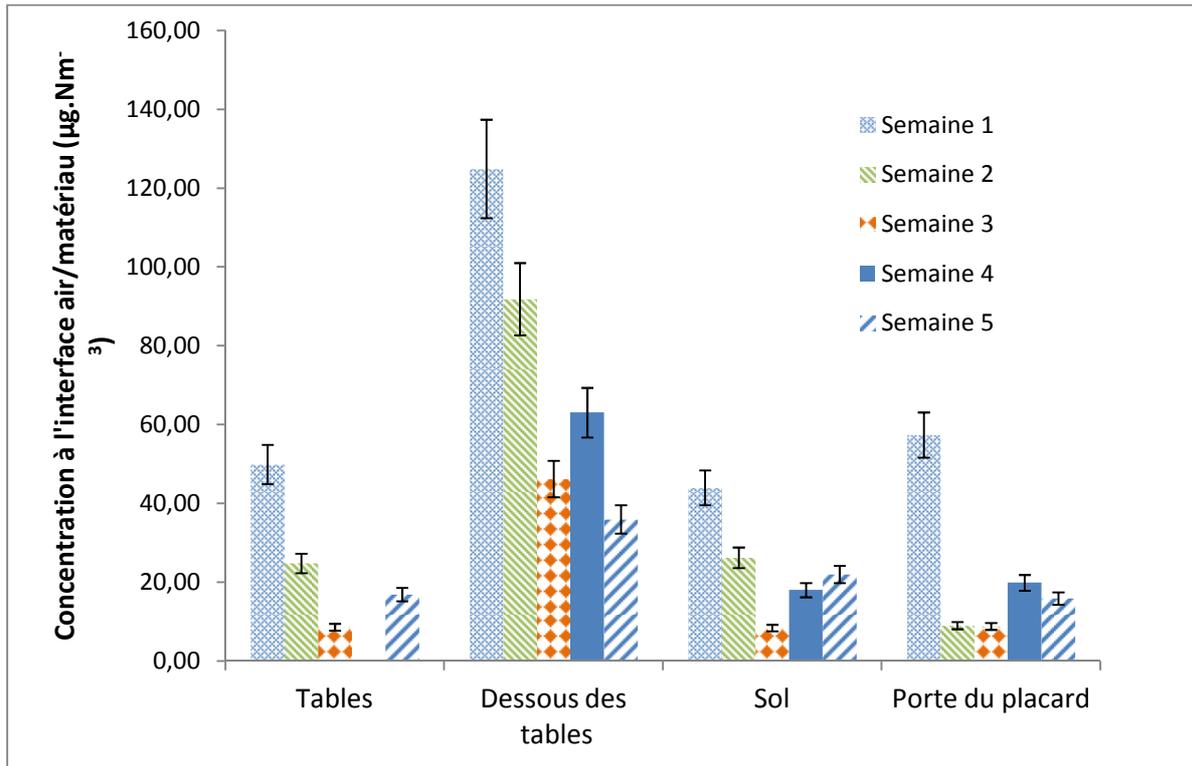


Schéma 2 : émissions de formaldéhyde dans la salle de classe

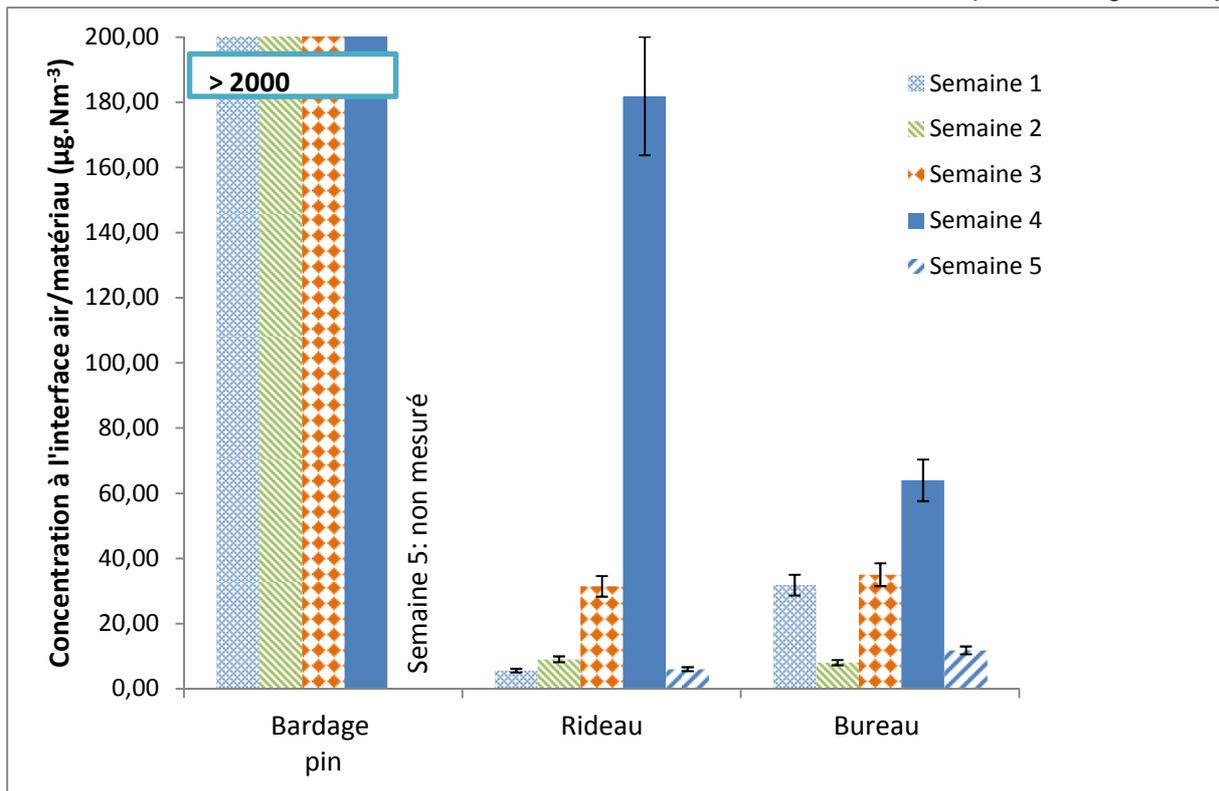


Schéma 3 : émissions d'α-pinène dans la salle de classe

Dans le logement l'escalier constitue la principale source d'α-pinène avec une concentration en surface supérieure à 4mg.m^{-3} . La majeure source de formaldéhyde est le plan de travail mélaminé de la cuisine. Cependant, la concentration en formaldéhyde reste basse car ce matériau ne représente qu'une faible surface (3 m^2) à l'échelle du bâtiment.

Modélisation de la qualité de l'air intérieur

Notre modèle de prédiction de la qualité de l'air intérieur a été appliqué dans la salle de réunion. L'injection de CO_2 a permis d'estimer le taux de renouvellement d'air à 0.98 vol.h^{-1} . Parallèlement, la concentration en formaldéhyde à la surface de chacun des matériaux de la pièce a été mesurée à l'aide du couplage entre notre cellule d'émission et une fibre SPME modifiée. Les résultats sont présentés dans le tableau 5.

Matériau	Air interface Concentration à l'interface air/matériau ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)
Tables	42.8 ± 7.7
Sol	15.3 ± 2.7
Chaises	6.7 ± 1.2
Plafond (partie peinte)	7.7 ± 1.4
Mur	10.1 ± 1.8
Portes	16.5 ± 3.0
Plafond (grilles de ventilation)	11.8 ± 2.1
Volets roulants	10.2 ± 1.8

Tableau 5 : Emissions de formaldéhyde dans la salle de réunion

Les résultats obtenus ont ensuite été introduits dans l'équation (3) afin d'estimer la concentration théorique en formaldéhyde. On obtient alors une valeur de $6.4 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, soit une valeur très proche de celle déterminée expérimentalement qui était de $7.0 \pm 1.0 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.

Conclusions et perspectives

Une méthode rapide, sensible et facile à mettre en œuvre sur site a été développée pour l'analyse de la qualité de l'air intérieur mais également pour l'analyse des émissions de matériaux. Ces méthodes permettent de réaliser un diagnostic de qualité de l'air intérieur mais également d'identifier d'éventuelles sources de pollution. Elles ont été appliquées à l'étude d'une salle réunion avec succès. Depuis septembre 2012, la qualité de l'air intérieur ainsi que les émissions de matériaux d'une salle de classe et d'un logement neufs sont suivis régulièrement. Les premiers résultats nous ont permis d'identifier clairement les principales sources de pollution. L'étude sera poursuivie jusqu'en février 2012 afin de suivre l'évolution des émissions de matériaux ainsi que leur impact sur la qualité de l'air. Le modèle prédictif de qualité de l'air intérieur en cours de développement devrait être étendu à d'autres polluants et sera ajusté grâce aux données recueillies au cours de nos campagnes. A terme, il pourrait devenir un outil précieux de gestion de la qualité de l'air intérieur en aidant notamment au choix des matériaux de construction ou alors en testant différents scénarii de ventilation.

Références bibliographiques

ARTHUR Catherine, PAWLISZYN Janusz ; « Solid-phase microextraction with thermal desorption using fused-silica optical fibers » ; Analytical Chemistry, N°62, pp 2145-2148; 1990.

BLONDEL Alodie, PLAISANCE Hervé; «Screening of formaldehyde indoor sources and quantification of their emission using a passive sampler»; Building and Environment, N°46, pp 1284-1291; 2011.

BROWN S.K.; «Volatile organic pollutants in new and established buildings in Melbourne, Australia»; Indoor Air, N°12, pp 55-63; 2002.

DESAUZIERS Valérie, AUGUIN Benoît; «SPME-adapter: un prélèvement rapide pour l'analyse de traces de COV dans l'air»; Ed Techniques de l'ingénieur, IN149 ; 2012.

HODGSON A.T., RUDD A.F., BEAL D., CHANDRA S.; «Volatile organic compound concentrations and emission rates in new manufactured and site-built houses»; Indoor Air, N°10, pp 178-192; 2000.

LARROQUE Virginie, DESAUZIERS Valérie, MOCHO Pierre; «Comparison of two solid-phase microextraction methods for the quantitative analysis of VOCs in indoor air»; Analytical and Bioanalytical Chemistry, N°386, pp 1457-1464; 2006.

LARROQUE Virgine, DESAUZIERS Valérie, MOCHO Pierre; « Study of preservation of polydimethylsiloxane/Carboxen solid-phase microextraction fibres before and after sampling of volatile organic compounds in indoor air » ; Journal of Chromatography A, N°1124, pp 106-111; 2006.

MISSIA D., DEMETRIOU E., MICHAEL N., TOLIS E.I., BARTZIS J.G.; «Indoor exposure from building materials: a field study»; Atmospheric Environment, N°44, pp 4388-4395; 2011.

NICOLLE Jérôme, DESAUZIERS Valérie, MOCHO Pierre; «Solid-phase microextraction sampling for a rapid and on-site evaluation of volatile organic compounds emitted from building materials »; Journal of Chromatography A, N°1208, pp 10-15; 2008.

NICOLLE Jérôme, DESAUZIERS Valérie, MOCHO Pierre, RAMALHO Olivier; «Optimization of FLEC-SPME for field sampling of VOCs emitted from solid building materials»; Talanta, N°80, pp 730-737; 2009.

SHINOHARA Naohide, KAI Yuya, MIZUKOSHI Atsushi, FUJII Minoru, KUMAGAI Kazukiyo, OKUIZUMI Yumiko, JONA Miki, YANAGISAWA Yukio; «On-site passive flux sampler measurement of emission rates of carbonyls and VOCs from multiple indoor sources»; Building and Environment, N°44, pp 859-863; 2009.

TUDURI Ludovic, DESAUZIERS Valérie, FANLO Jean-Louis; «A simple calibration procedure for volatile organic compounds sampling in air with adsorptive solid-phase microextraction fibres»; Analyst, N°128, pp 1028-1032; 2003.