

**NOTE DU LCSQA – Air intérieur : Métrologie du formaldéhyde****S. FABLE, L. CHIAPPINI (LCSQA/INERIS)****SYNTHESE**

Dans un contexte national de mise en place d'une surveillance de la qualité de l'air dans certains établissements recevant du public (ERP), conformément au décret no 2011-1728 du 2 décembre 2011 et dans la continuité des travaux menés entre 2007 et 2009 sur la chambre d'exposition de l'INERIS et en atmosphère réelle, ce travail a pour objectif premier l'évaluation des performances des tubes passifs Radiello® en atmosphère simulée, selon les modalités du protocole de surveillance du formaldéhyde dans les lieux scolaires et d'accueil de la petite enfance élaboré par le LCSQA (Rapport LCSQA, Marchand, 2008) en tenant compte de l'influence de la vitesse du vent, paramètres dont l'impact sur les débits de prélèvement a été suspecté au cours des travaux précédents (Rapport LCSQA, 2007; Rapport LCSQA, 2008, Rapport LCSQA, 2009 ...).

Par ailleurs, la mise en œuvre des essais en atmosphère simulée a été l'occasion de mener les travaux de veille métrologique en testant deux dispositifs émergents différents.

Ainsi, ce travail se décline sous deux aspects :

- 1) Confirmation des performances des tubes passifs Radiello® pour un temps d'exposition de 4,5 jours et évaluation de l'influence de la vitesse du vent sur les débits de prélèvements.
- 2) L'évaluation, dans le cadre des travaux de veille métrologique, de deux dispositifs émergents présentant des caractéristiques, des objectifs et des niveaux de performance différents, en atmosphère réelle et simulée : le premier est une balise commercialisée par la société AZIMUT Monitoring sur le principe de micro capteurs électroniques d'oxydes métalliques. Le deuxième est un analyseur en continu basé sur le piégeage du formaldéhyde gazeux en solution, avec une dérivation sélective et détection par fluorimétrie développé par le laboratoire des Matériaux Surfaces et Procédés pour la Catalyse (LMSPC) de l'Université de Strasbourg.

Ces essais ont confirmé la validité de l'emploi des tubes Radiello® pour la surveillance du formaldéhyde dans les écoles et les crèches conformément au décret no 2011-1728 du 2 décembre 2011.

Ils ont également corroboré l'hypothèse selon laquelle des vitesses de vent trop élevées de l'ordre de  $1 \text{ m s}^{-1}$  pouvaient entraîner des sur-estimations des concentrations mesurées par les tubes passifs Radiello®. Présentant un faible impact sur des mesures réalisées en air intérieur où les niveaux de vent sont supposés inférieurs, cette constatation souligne néanmoins :

- l'importance de choisir le point de prélèvement au plus loin des systèmes de ventilation à proximité desquels la vitesse du vent peut atteindre des valeurs de l'ordre de  $1 \text{ m s}^{-1}$ ,
- l'intérêt de disposer d'une base de données sur les niveaux de vent en air intérieur,

- la nécessité d'ajuster les conditions expérimentales des essais menés en chambre pour la simulation des prélèvements en environnement intérieur. Ainsi, dans le cadre de l'organisation des exercices de comparaison interlaboratoire sur la mesure du formaldéhyde (et du benzène) par tube passif, les vitesses de vent seront fixées dans la chambre à  $0,2 \text{ m s}^{-1}$ .

En ce qui concerne la veille sur les appareils de mesure en continu, le premier, développé et commercialisé par la société AZIMUT monitoring, fournit des mesures en temps réel des niveaux de composés organiques légers dont le formaldéhyde pour lequel la mesure n'est pas spécifique. Malgré une sous-estimation des concentrations, il a démontré sa capacité à suivre les variations de concentrations générées dans la chambre et à réaliser une mesure stable tout au long des essais. Ainsi, peu encombrant, silencieux, il permet de suivre des variations de concentration au cours du temps faisant de lui un outil de diagnostic et de gestion de la qualité de l'air intérieur pertinent et efficace, complémentaire de mesures plus spécifiques comme les méthodes normalisées par exemple.

Le second, développé par le LMSPC, basé sur le piégeage du formaldéhyde gazeux en solution, sa dérivation sélective et sa détection par fluorimétrie, a été évalué en atmosphère simulée mais également en atmosphère réelle, dans un bureau. L'interprétation des résultats relatifs à l'utilisation de cet appareil nécessitant des essais supplémentaires, elle fera l'objet d'un rapport ultérieur.

## INTRODUCTION

Dans un contexte national de mise en place d'une surveillance de la qualité de l'air dans les établissements recevant du public (ERP) et dans la continuité des travaux menés entre 2007 et 2009 sur la chambre d'exposition et sur le terrain, ce travail a pour objectif premier l'évaluation des performances des tubes passifs Radiello® en atmosphère réelle et simulée, selon les modalités du protocole de surveillance du formaldéhyde dans les lieux scolaires et d'accueil de la petite enfance élaboré par le LCSQA (Rapport LCSQA, Marchand, 2008) et conformément au décret no 2011-1728 du 2 décembre 2011 relatif à la surveillance de la qualité de l'air intérieur dans certains établissements recevant du public. Ce dernier définit les établissements dans lesquels la surveillance périodique de la qualité de l'air intérieur, introduite par la loi n°2010-788 du 12 juillet 2010 portant engagement national pour l'environnement, est obligatoire et à la charge des propriétaires ou des exploitants des bâtiments. Il impose entre autre que les prélèvements et les analyses soient réalisés par des organismes accrédités. Cette surveillance périodique sera progressivement mise en place à partir du 1er janvier 2015 et concerne notamment la mesure de deux composés, le benzène et le formaldéhyde.

Ainsi, il est indispensable de vérifier les performances des tubes passifs Radiello® pour un temps d'exposition de 4,5 jours. Ce travail permet de répondre à la nécessité de mettre en œuvre une méthode de mesure passive du formaldéhyde dans les établissements scolaires dans l'attente de capteurs peu onéreux et robustes permettant un suivi dynamique des concentrations.

Toujours dans une optique de validation des tubes passifs Radiello®, ces essais en chambre de simulation ont été dimensionnés afin d'évaluer en même temps l'influence de la vitesse du vent sur les débits de prélèvements du formaldéhyde en exposant des tubes avec et sans cage de protection.

Depuis 2007, des mesures de formaldéhyde par tubes passifs Radiello® ont été réalisées à la fois en atmosphère simulée (chambre d'exposition de l'INERIS, Rapport LCSQA, 2007; Rapport LCSQA, 2008) et en atmosphère réelle (supermarché, magasins de meuble, Rapport LCSQA, 2007, bureaux et maisons de particuliers, Rapport LCSQA, 2008, école, Rapport LCSQA, 2009 ...).

Des différences, observées entre les essais menés en atmosphère réelle dans des conditions de ventilation quasi-nulle (environnement intérieur de particuliers - maisons) et des essais menés en présence d'une vitesse de vent de l'ordre de  $1 \text{ m s}^{-1}$  (chambre d'exposition, supermarché avec système de ventilation contrôlée), ont révélé l'importance de définir l'influence des paramètres environnementaux, en l'occurrence ici la vitesse du vent, sur les débits de prélèvement des aldéhydes sur le tube Radiello®.

En effet, la vitesse du vent pourrait expliquer la surestimation des concentrations obtenues avec les tubes Radiello® dans les maisons et la chambre d'exposition par rapport à celles obtenues dans le supermarché.

L'influence de la vitesse du vent sur le débit d'échantillonnage des tubes passifs a été démontrée par plusieurs études portant notamment sur le prélèvement du  $\text{NO}_2$  (Gair, 1995; Sekine, 2008) ou des benzène, toluène, éthylbenzène et xylène (Pennequin-Cardinal, 2005). En effet, le transfert de masse du polluant considéré, en l'occurrence le formaldéhyde, peut être perturbé par les mouvements d'air à la surface du tube impliquant des artefacts négatifs lorsque la vitesse du vent est trop faible, positifs lorsqu'elle est trop forte. C'est pourquoi il a été décidé de tester, en parallèle des essais de validation de l'emploi des tubes Radiello® présentés précédemment, l'influence de ce paramètre environnemental.

Enfin, la mise en œuvre des essais en atmosphère simulée a été l'occasion de mener les travaux de veille métrologique en testant un analyseur en continu développé par le laboratoire des Matériaux Surfaces et Procédés pour la Catalyse (LMSPC) de l'Université de Strasbourg et la balise commercialisée par la société AZIMUT Monitoring.

Ainsi, ce travail se décline sous deux aspects :

- 1- Confirmation des performances des tubes passifs Radiello® pour un temps d'exposition de 4,5 jours et évaluation de l'influence de la vitesse du vent sur les débits de prélèvements,
- 2- Evaluation de méthodes émergentes, capteur et analyseur on-line dans le cadre des travaux de veille métrologique, en atmosphère réelle et simulée.

## METHODOLOGIE

### Conditions expérimentales des essais en atmosphères simulées

Les essais ont été réalisés dans la chambre d'exposition de l'INERIS, décrite en détail dans Rapport LCSQA, 2011 et permettant de recréer de manière répétable et maîtrisée des conditions environnementales telles que la concentration en polluants, la température, l'humidité relative ou la vitesse de vent. Le contrôle de ces paramètres est en effet indispensable afin de valider les méthodes dans des conditions réelles proches de celles rencontrées dans les environnements intérieurs.

La campagne s'est déroulée sur cinq semaines comme le montre le Tableau 1. La première semaine a été dédiée à la préparation de la chambre (nettoyage, vérification des niveaux de blanc, vérification de la vitesse de vent, stabilisation de l'humidité relative et de la température...).

Deux niveaux de concentration ont été testés,  $\sim 10$  et  $\sim 30 \mu\text{g m}^{-3}$ , et deux vitesses de vent,  $0,2 \text{ m s}^{-1}$ ,  $1 \text{ m s}^{-1}$ , à  $20^\circ\text{C}$  et 50 % d'humidité relative.

Tableau 1 : Conditions expérimentales des essais en chambre d'émission

Semaines	Concentration formaldéhyde	Vitesse de vent
Semaine 1	Blanc	$1 \text{ m s}^{-1}$
Semaine 2	$10 \mu\text{g m}^{-3}$	$1 \text{ m s}^{-1}$
Semaine 3	$10 \mu\text{g m}^{-3}$	$0,2 \text{ m s}^{-1}$
Semaine 4	$30 \mu\text{g m}^{-3}$	$0,2 \text{ m s}^{-1}$
Semaine 5	$30 \mu\text{g m}^{-3}$	$1 \text{ m s}^{-1}$

Les valeurs de  $10 \mu\text{g m}^{-3}$  et  $30 \mu\text{g m}^{-3}$  de formaldéhyde correspondent aux valeurs guides définies pour une exposition de longue durée à compter du 1<sup>er</sup> janvier 2023 et du 1<sup>er</sup> janvier 2015 respectivement, par le Décret no 2011-1727 du 2 décembre 2011 relatif aux valeurs-guides pour l'air intérieur pour le formaldéhyde et le benzène.

La vitesse de vent de  $1 \text{ m s}^{-1}$  est représentative de conditions extérieures ou intérieures ventilée. De plus, elle est la vitesse employée depuis 2006 pour la réalisation des essais formaldéhyde dans la chambre et est donc conservée comme essai repère. La valeur de  $0,2 \text{ m s}^{-1}$  est plus représentative de niveaux rencontrés en air intérieur.

## Méthodes testées

Trois techniques ont fait l'objet des tests de validation dans la chambre :

### Les tubes de prélèvement passif Radiello code 165

Méthode de prélèvement intégratif de référence (NF ISO 16000-4) basée sur le prélèvement via le piégeage chimique du formaldéhyde par réaction avec un agent dérivatisant<sup>1</sup> spécifique des fonctions carbonylées imprégné sur la cartouche d'adsorption, la DNPH (2,4-DiNitroPhénylHydrazine), elle implique l'emploi de tubes à diffusion radiale, de type Radiello® (code 165), commercialisés par la Fondation Salvatore Maugieri (FSM). La cartouche code 165 est un filet en acier inoxydable (100 mesh) rempli de florasil et revêtu d'un agent dérivatisant, la 2,4-DNPH. Ces cartouches sont introduites dans des corps diffusifs cylindriques poreux (code 120-1) favorisant la diffusion sur toute la surface du cylindre et non uniquement à son extrémité.

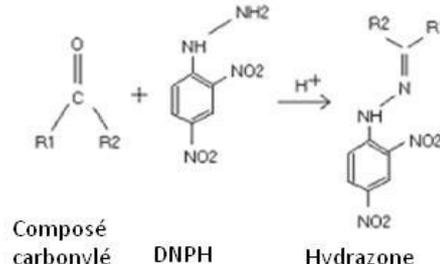


Figure 1 : Photographie d'une cartouche Radiello® code 165 (gauche) Principe de chimisorption du formaldéhyde, réaction des composés carbonylés avec la DNPH (droite)

Ce type de méthode permet une évaluation de l'exposition des populations et une comparaison aux valeurs guide imposées par le décret no 2011-1727 du 2 décembre 2011.

### La méthode dite « on-line » commercialisée par AZIMUT Monitoring

Les balises Fireflies® développées par la société AZIMUT Monitoring qui développe et propose des solutions inédites de contrôle et de suivi continu des nuisances, des consommations de ressources, ont été testées.

Le système de mesure était constitué de multi capteurs silencieux et de faible consommation pour le suivi des paramètres de confort (température, humidité relative), de confinement (dioxyde de carbone), de composés organiques volatils légers (Formaldéhyde, acétaldéhyde, méthanol, éthanol, butanol, exprimés en équivalent formaldéhyde). Le système n'a nécessité aucune maintenance technique particulière après installation.



Figure 2 : Photographie de la balise Fireflies®

En ce qui concerne la mesure des composés organiques volatils léger, elle se base sur une méthode de détection électrochimique. La cellule de mesure est constituée de deux électrodes en métal baignant dans un électrolyte approprié pour quantifier les vapeurs de gaz. Les gaz diffusant dans la cellule génèrent un voltage à l'électrode catalytique active suite à la réaction d'oxydation du composé. L'amplitude de ce voltage est directement proportionnelle à la concentration du composé. Les capteurs sont livrés calibrés au formaldéhyde et sont inter calibrés avec nos systèmes de référence avant l'installation.

La gamme de mesure est de 0,01- 10 ppm (~10 – 1000  $\mu\text{g m}^{-3}$ ). La précision est de  $\pm 25 \%$  de la lecture. Résolution 10  $\mu\text{g m}^{-3}$ . Les données sont exprimées en  $\mu\text{g m}^{-3}$  équivalent formaldéhyde.

<sup>1</sup> La dérivatisation consiste à substituer un groupement fonctionnel par un autre groupement pour faciliter son piégeage ou sa détection.

## La méthode dite « on-line » en cours de développement au laboratoire LMSPC

Un analyseur de formaldéhyde est en cours de développement au Laboratoire des Matériaux et Procédés pour la Catalyse (LMSPC) de l'Université de Strasbourg et a bénéficié pour son automatisation d'un financement dans le cadre du programme PRIMEQUAL. Son fonctionnement repose sur le couplage de trois étapes : le piégeage du formaldéhyde gazeux en solution, sa dérivation sélective et sa détection par fluorimétrie. Le pas de temps est de 10 minutes.

### **Dispositif pour l'étude de l'influence de la vitesse de vent**

Enfin, afin de tester l'influence de la vitesse de vent sur la mesure du formaldéhyde par tubes passifs Radiello®, un système de protection a été mis en œuvre.

En effet, toute la difficulté de cette étude réside en la génération et le suivi d'une faible vitesse de vent dans la chambre d'exposition. Nos moyens de mesures n'étaient pas adaptés pour mesurer avec précision des vitesses de vent faibles, inférieures à  $1 \text{ m s}^{-1}$ . Le système de génération de vent a été modifié en 2010 et un appareil de mesure a été acheté. Il nous est à présent possible de générer de manière stable et précise, et de mesurer, des vitesses de vent faibles de  $0,2 \text{ m s}^{-1}$ .

Néanmoins, il n'est pas possible d'atteindre une valeur de vitesse de vent nulle puisque la génération de vent est indispensable pour assurer l'homogénéité de l'atmosphère de la chambre. Pour pallier cette difficulté, un système permettant d'exposer des tubes dans la chambre, à l'abri du vent, tout en assurant la recirculation de l'air, a été mis au point dans le cadre de cette étude. Pour ce faire, une cage de protection métallique a été mise en œuvre telle que le montre la Figure 3.

Afin d'évaluer l'efficacité de son utilisation et de s'assurer qu'elle ne perturbe pas les mouvements d'air dans la chambre, la cage vide y a été placée. La vitesse de vent a été mesurée au dessus, en dessous, sur les côtés et dans la cage. Alors qu'elle est de  $1 \text{ m s}^{-1}$  tout autour, la vitesse de vent est inférieure à  $0,2 \text{ m s}^{-1}$  à l'intérieur.

### **Organisation des prélèvements**

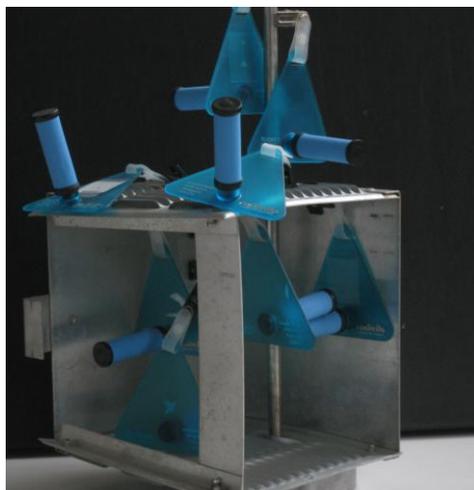
L'ensemble des systèmes de prélèvements actifs décrits précédemment sont connectés sur la chambre d'exposition via une canne de prélèvement disposant de six points de piquage.

C'est le cas des cartouches Sep-pack® et des deux préleveurs on-line développés par le LMSPC.

Les moyens de prélèvement passifs (tubes Radiello® et balise AZIMUT) sont introduits dans la chambre d'exposition.

Les mesures réalisées par tubes Radiello® sont comparées à des prélèvements réalisés sur tube actif basés sur le même principe de piégeage du formaldéhyde par la DNPH. Ainsi, deux prélèvements sur Sep-Pack® sont réalisés par jour, un premier pendant 8 heures environ, du matin 8h jusqu'en fin d'après midi 16h, et un second de 16 h jusqu'au lendemain matin 8h et ce afin de couvrir toute la période d'exposition des tubes passifs.

Quant aux balises, deux ont été introduites dans la chambre. Compte tenu des contraintes de place, l'une a été placée horizontalement, l'autre verticalement.



*Figure 3 : Cage de protection du vent utilisée pour l'exposition des Radiello®*

## RESULTATS

### Performances du tube passif Radiello® et estimation de l'influence de la vitesse du vent

Le tableau ci-dessous présente les résultats d'analyse des cartouches passives comparées à celles des cartouches actives pour la mesure des concentrations en formaldéhyde.

Est systématiquement précisée la dispersion sur l'ensemble des quatre tubes Radiello protégés (introduits dans la cage), exposés (maintenu hors de la cage) et sur l'ensemble des huit tubes Radiello® (exposés + protégés).

Les concentrations mesurées par les tubes Radiello sont comparées aux concentrations mesurées Sep-pack.

Tableau 2 : Concentrations en formaldéhyde ( $\mu\text{g m}^{-3}$ ) mesurées par cartouches Sep-Pack, Radiello protégés (introduits dans la cage, et exposés (hors de la cage).

	Sep pack®	Radiello® exposés	Radiello® protégés	Radiello® Exposés + protégés	Ecart Sep® Pack/Radiello® exposés + protégés	Ecart Sep® Pack/Radiello® exposés	Ecart Sep Pack®/Radiello® protégés
Semaine 1 (vent 1 m s <sup>-1</sup> )							
Moyenne ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	7,22	7,5	7,3	7,4	-1.2	-3,5%	-0,6%
Ecart-type		0,2	0,8	0,5			
Dispersion		2,23%	10,57%	7,15%			
Semaine 2 (vent 0,2 m s <sup>-1</sup> )							
Moyenne ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	4,56	4,79	4,38	4,58	-0.4	-4,9%	4,2%
Ecart-type		1,18	0,06	0,80			
Dispersion		24,52%	1,28%	17,47%			
Semaine 3 (vent 1 m s <sup>-1</sup> )							
Moyenne ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	34,16	39,59	40,07	39,83	-15.3	-14,7%	-15,9%
Ecart-type		0,81	0,51	0,68			
Dispersion		2,06%	1,27%	1,70%			
Semaine 4 (vent 0,2 m s <sup>-1</sup> )							
Moyenne ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	37,81	40,33	39,82	40,07	-5.8	-6,4%	-5,2%
Ecart-type		2,44	1,49	1,89			
Dispersion		6,05%	3,74%	4,72%			

### Performance des tubes passifs pour la surveillance en AI : Comparaison des écarts relatifs et distributions entre Sep-Pack® et Radiello® (protégés + exposés)

Si l'on s'intéresse dans un premier temps aux écarts relatifs entre les mesures Sep-pack® et l'ensemble des mesures Radiello®, toute considération de vitesse de vent mise à part, ces résultats confirment le bon accord entre mesure passive et active et la validité de l'emploi des tubes Radiello® pour la surveillance du formaldéhyde dans les lieux scolaires et d'accueil de la petite enfance. Les écarts entre les deux types de méthodes sont en effet faibles, compris entre 4 et 15 %. Notons que ces écarts vont systématiquement dans le sens de la surestimation des tubes passifs par rapport aux tubes actifs et sont du même ordre de grandeur que la valeur de dispersion sur l'ensemble des mesures Radiello®.

En effet, il est également intéressant de noter que les dispersions sur l'ensemble des concentrations mesurées par les tubes Radiello® sont faibles, comprises entre 2 et 17 %.

Cette dernière valeur de 17 % correspond à l'écart mesuré au cours de la semaine présentant les concentrations en formaldéhyde les moins élevés ( $\sim 4 \mu\text{g m}^{-3}$ ) mais également les niveaux de vent les plus faibles ( $0.2 \text{ m s}^{-1}$ ).

Influence de la vitesse du vent : Comparaison des écarts relatifs entre Sep-Pack® et Radiello® (protégés + exposés) à 0.2 et 1 m s<sup>-1</sup>

Les écarts entre les valeurs obtenues par Sep-Pack® et Radiello® semblent plus faibles à  $0,2 \text{ m s}^{-1}$  suggérant une surestimation plus importante par les tubes Radiello® en lien avec une exposition à un niveau de ventilation de  $1 \text{ m s}^{-1}$ . Cette observation corrobore les conclusions des essais précédents (Rapport LCSQA, 2008; Chiappini, 2009; Chiappini, 2009; Rapport LCSQA, 2009; Chiappini, 2010).

Il existe peu de données sur les vitesses de vent communément rencontrées en air intérieur. Une publication datant de 1998 présente une moyenne arithmétique sur 55 bureaux investigués aux Etats-Unis de  $0,3 \text{ m s}^{-1}$ , 85 % des mesures étant inférieures à cette valeur.

Ainsi, ces phénomènes de surestimation liés à des vitesses de vent trop élevées de l'ordre de  $1 \text{ m s}^{-1}$  sont peu probables en environnement clos.

Compte tenu du peu de données existantes sur les niveaux de vitesse de vent en air intérieur, il semblerait pertinent d'intégrer des mesures de ce paramètre autant que possible aux campagnes menées en air intérieur afin d'initier la constitution d'une base de données en fonction des milieux (écoles, bureaux...), des systèmes de ventilation....

Si l'on compare les concentrations pour l'ensemble des Radiello® (exposés + protégés) à  $1 \text{ m s}^{-1}$  et à  $0,2 \text{ m s}^{-1}$ , il semblerait que la dispersion des valeurs soit légèrement plus importante à  $0,2 \text{ m s}^{-1}$  qu'à  $1 \text{ m s}^{-1}$  mais le nombre de données est faible pour que ce résultat puisse être considéré comme significatif.

De plus, aucune différence n'est observée entre les comparaisons Sep-pak®/Radiello® exposés et Sep-pack®/Radiello® protégé. L'emploi de la cage ne semble donc pas concluant.

**Evaluation de méthodes émergentes : les balises de la société AZIMUT Monitoring**

Le tableau ci-dessous présente les concentrations moyennes pour chaque semaine et chacune des deux balises, des concentrations en composés organiques volatils légers (exprimés en équivalent formaldéhyde), comparées, à titre indicatif, aux mesures réalisées par Sep-Pack. Il est en effet important de rappeler que ces capteurs ne sont pas spécifiques au formaldéhyde. Par conséquent les concentrations mesurées ne sont pas directement comparables à des mesures de formaldéhyde par DNPH.

*Tableau 3 : Moyenne des concentrations en composés organiques volatils légers mesurés par les balises chaque semaine et moyenne des concentrations en formaldéhyde mesurées par Sep-Pack*

	Semaine 1 (vent 1m/s)		
Formaldéhyde / COV légers *	Sep pack	Balise horiz*	Balise verticale*
	7,22	17,0	16,0
	Semaine 2 (vent 0,2m/s)		
Formaldéhyde / COV légers*	Sep pack	Balise horiz*	Balise verticale*
	4,56	1,0	3,0
	Semaine 3 (vent 1 m/s)		
Formaldéhyde / COV légers*	Sep pack	Balise horiz*	Balise verticale*
	34,16	21,00	23,0
	Semaine 4 (vent 0.2 m/s)		
Formaldéhyde / COV légers*	Sep pack	Balise horiz*	Balise verticale*
	42,17	16,0	21,0

Il est ainsi possible de constater que :

- les deux balises présentent des résultats différents selon leur positionnement, la balise en position horizontale se caractérisant par une tendance à la sous-estimation par rapport à la balise en position verticale qui correspond à sa position usuelle de mise en œuvre,
- la vitesse du vent semble influencer sur les mesures en particulier lorsque l'on considère les résultats des semaines 1 et 2. Rappelons néanmoins que les vitesses de 1 m s-1 pour lesquelles les résultats sont moins satisfaisants ne sont pas communes en air intérieur,
- les concentrations sont sous-estimées dans le cas des essais en condition de concentration élevée en formaldéhyde (semaine 3 et 4). Le fabricant ne s'explique pas ce phénomène et des essais sont en cours.

Les mesures réalisées par les balises sont stables au cours du temps ainsi que le montre la Figure 4. Les balises semblent par ailleurs soumises à un effet mémoire important. En effet, le début des deux courbes correspond au moment où la balise est mise en route hors de la chambre, dans l'atmosphère du laboratoire où les niveaux en COV légers sont très certainement plus élevés que dans la chambre d'exposition. Une journée semble nécessaire à la balise pour éliminer cet effet mémoire.

Un exemple d'augmentation du signal lorsque le réservoir de formaldéhyde est rechargé afin de poursuivre la génération dans la chambre induisant une « bouffée » ponctuellement montrant la capacité du système à répondre à des variations de concentration est donné sur la figure ci-après.

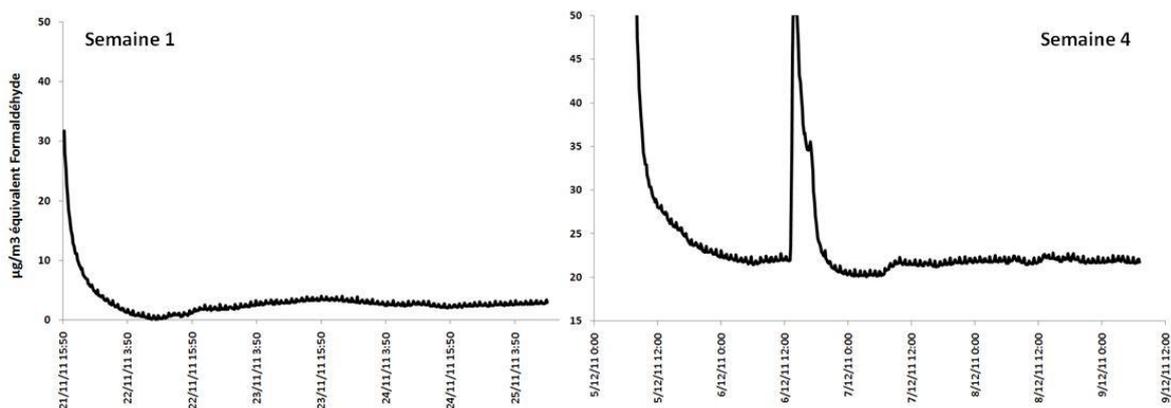


Figure 4 : Exemple de suivi temporel des concentrations en COV légers mesurées par la balise d'AZIMUT Monitoring

Ces essais montrent que, bien que non spécifique à la mesure du formaldéhyde, cet outil peut se révéler très utile pour le suivi des variations des concentrations en polluants et la gestion de la qualité de l'air intérieur. Notons néanmoins la nécessité de travailler sur l'influence de la vitesse du vent en particulier lorsque les niveaux de concentration sont faibles.

### **Evaluation de méthodes émergentes : l'analyseur du LMSPC**

L'exploitation des mesures réalisées avec l'analyseur du LMSPC nécessitant des calibrations supplémentaires, aucun résultat concernant cet appareil ne sera présenté ici. Ils feront l'objet d'une note ultérieurement.

## CONCLUSIONS

Ces essais ont confirmé la validité de l'emploi des tubes Radiello® pour la surveillance du formaldéhyde dans les écoles et les crèches conformément au décret no 2011-1728 du 2 décembre 2011 relatif à la surveillance de la qualité de l'air intérieur dans certains établissements recevant du public.

Ils ont également corroboré l'hypothèse selon laquelle des vitesses de vent trop élevées de l'ordre de  $1\text{ m s}^{-1}$  pouvaient entraîner des sur-estimations des concentrations mesurées par les tubes passifs Radiello®. Présentant un faible impact sur des mesures réalisées en air intérieur où les niveaux de vent sont supposés inférieurs, cette constatation suggère :

- 1) L'importance de choisir le point de prélèvement au plus loin des systèmes de ventilation à proximité desquels la vitesse du vent peut atteindre des valeurs de l'ordre de  $1\text{ m s}^{-1}$
- 2) L'intérêt de mesures systématiques de la vitesse du vent lors de campagnes de mesure afin de disposer au mieux des dispositifs de prélèvements dans la pièce mais également de constituer une base de donnée sur les niveaux de vent en air intérieur.
- 3) La nécessité d'ajuster les conditions expérimentales des essais menés en chambre pour simuler des prélèvements en environnement intérieur. Ainsi, dans le cadre de l'organisation des exercices de comparaison interlaboratoire sur la mesure du formaldéhyde (et du benzène) par tube passif, les vitesses de vent seront fixées dans la chambre à  $0,2\text{ m s}^{-1}$ .

En ce qui concerne la veille sur les appareils de mesure en continu, deux dispositifs présentant des caractéristiques, des objectifs et des niveaux de performance différents ont été testés.

Le premier, développé et commercialisé par la société AZIMUT monitoring, fournit des mesures en temps réel des niveaux de composés organiques légers dont le formaldéhyde pour lequel sa mesure n'est pas spécifique. Néanmoins, peu encombrant, silencieux, Il permet de suivre des variations de concentration au cours du temps faisant de lui un outil de diagnostic et de gestion de la qualité de l'air intérieur pertinent et efficace, complémentaire de mesures plus spécifiques comme les méthodes normalisées par exemple.

Le second, développé par le LMSPC, basé sur le piégeage du formaldéhyde gazeux en solution, sa dérivation sélective et sa détection par fluorimétrie, a été évalué en atmosphère simulée mais également en atmosphère réelle, dans un bureau. L'interprétation des résultats relatifs à l'utilisation de cet appareil nécessitant des essais supplémentaires, elle fera l'objet d'un rapport ultérieur.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Chiappini, L., R. Dagnelie, et al. (2010). "Multi-tool formaldehyde measurement in simulated and real atmospheres for indoor air survey and concentration change monitoring." Air Quality, Atmosphere & Health: 1-10.
- Chiappini, L., R. Dagnelie, et al. (2009). "Multi-tool formaldehyde measurements in simulated and real atmosphere for indoor air monitoring." Air Quality - Science and application Istanbul, Turkey.
- Chiappini, L. and S. Fable (2009). "Passive formaldehyde measurements in simulated and real atmosphere for indoor air monitoring." aamg conférence Krakow, Poland.
- Gair, A. J. and S. A. Penkett (1995). "The effects of wind speed and turbulence on the performance of diffusion tube samplers." Atmospheric Environment **29**(18): 2529-2533.
- Marchand, C. (2008). "Elaboration de protocoles de surveillance du formaldéhyde, du benzène et du monoxyde de carbone dans l'air des lieux clos ouverts au public." Rapport INERIS/LCSQA pour le MEEDDM disponible sur <http://www.lcsqa.org/rapport/2008/ineris-emd-cstb/elaboration-protocoles-surveillance-formaldehyde-benzene-monoxyde-carbo>.
- Pennequin-Cardinal, A. (2005). Développement et qualification de méthodes d'échantillonnage passif pour mesurer les Composés Organiques Volatils dans l'air intérieur. Structure et dynamique des systèmes réactifs. Lille, Université des Sciences et Technologies de Lille - Ecole des Mines de Douai.
- Rapport LCSQA (2007). Comparaison de différentes méthodes de prélèvement des aldéhydes en présence d'ozone, en conditions réelles et simulées, Rapport INERIS - DRC - 07-85148-0825A pour le LCSQA.
- Rapport LCSQA (2008). "Mesure du formaldéhyde." Disponible sur <http://www.lcsqa.org/thematique/missions-diverses/air-interieur/mesure-du-formaldehyde-0>.
- Rapport LCSQA (2009). "Mesure du formaldéhyde." disponible sur <http://www.lcsqa.org/thematique/missions-diverses/air-interieur/mesure-du-formaldehyde-version-projet>.
- Rapport LCSQA (2011). "Synthèse des travaux du LCSQA sur le formaldéhyde depuis 2005." Disponible sur <http://www.lcsqa.org/rapport/2011/ineris/synthese-travaux-lcsqa-formaldehyde-2005-2010-version-projet>.
- Rapport LCSQA and L. Chiappini (2008). "Mesure du formaldéhyde." **Disponible sur <http://www.lcsqa.org/action/2008/air-interieur/mesure-formaldehyde>**.
- Rapport LCSQA, S Fable, et al. (2009). "Mesure du formaldéhyde." **Disponible sur <http://www.lcsqa.org/action/2009/missions-diverses/mesure-formaldehyde>**.
- Sekine, Y., S. F. Watts, et al. (2008). "Development of highly sensitive passive sampler for nitrogen dioxide using porous polyethylene membrane filter as turbulence limiting diffuser." Atmos Environ **42**: 4079-4088.