



Au service
de la qualité
de l'air

Campagne de mesures de la qualité de l'air intérieur dans les locaux du collège d'Heiligenstein

Rapport relatif à la deuxième campagne de mesures qui s'est déroulée du 01 au 05 mars 2010



Avril 2010
ASPA 10042303
Contrat n°51-10

SOMMAIRE

I. CADRE ET OBJECTIFS DE L'ÉTUDE.....	4
II. CAMPAGNE DE MESURES	4
A. PARAMÈTRES MESURÉS	4
B. PÉRIODE DE MESURES.....	5
C. ÉCHANTILLONNAGE ET ANALYSES.....	5
D. EMPLACEMENTS DES SITES DE MESURES	6
E. LIMITES DE L'ÉTUDE.....	6
III. RÉSULTATS DES MESURES EN ALDÉHYDES ET COV	7
A. SUIVI DES ALDÉHYDES.....	7
B. SUIVI DES COV.....	9
C. SITUATION AU REGARD DES VALEURS GUIDES	13
D. RÉFÉRENCE AUX AUTRES CAMPAGNES DE MESURE RÉALISÉES EN AIR INTÉRIEUR	14
E. ORIGINES DES ALDÉHYDES ET AUTRES COV	16
IV. RÉSULTATS DES MESURES CO₂.....	18
V. CONCLUSION.....	21
ANNEXE I : RÉSULTATS CAMPAGNE JANVIER 2009.....	22
ANNEXE II : ECHANTILLONNEURS	24
A. ECHANTILLONNEUR PASSIF « COVNM »	24
B. ÉCHANTILLONNEUR PASSIF ALDÉHYDES	24
ANNEXE III : VALEURS GUIDES SANITAIRES AFSSET POUR LE BENZÈNE.....	25

I. CADRE ET OBJECTIFS DE L'ÉTUDE

Le Conseil Général du Bas-Rhin - Service Construction, avait sollicité l'ASPA fin 2008 pour la mise en œuvre d'une campagne de mesures en air intérieur dans les locaux du nouveau collège d'Heiligenstein (bâtiments achevés fin juillet 2008 avec une ouverture lors de la rentrée scolaire de septembre 2008).

Le collège est un établissement d'une capacité de 400 élèves et de 64 pour la section SEGPA (Section d'Enseignement Général et Professionnel Adapté) incluant également un internat de 30 places.

L'objectif de la première campagne était de réaliser un état des lieux de la qualité de l'air intérieur dans une construction récente intégrant les cibles relatives à la haute qualité environnementale (HQE) définies dans la charte Développement durable du Conseil Général du Bas-Rhin. La démarche environnementale a également concerné le choix des matériaux de construction (dont des peintures faiblement émissives), le système de renouvellement d'air (VMC double flux avec détecteur de présence), le mobilier scolaire...

Le suivi de qualité de l'air, réalisé fin janvier 2009 (cf. rapport ASPA 09032601-ID) a permis de souligner l'intérêt de la démarche environnementale retenue, notamment vis-à-vis des niveaux d'aldéhydes et de formaldéhyde en particulier. Toutefois, certaines salles présentaient des excès de concentrations en COV, pouvant être probablement liés, pour certains d'entre eux, aux produits d'entretien utilisés.

À noter que le système de ventilation mécanique contrôlée (avec détecteur de présence) ne permettait pas, dans la configuration des mesures (le système s'étant révélé défaillant après vérification), de renouveler suffisamment l'air dans les salles de classe pour limiter l'accumulation du CO₂.

Au regard de ces données, une deuxième campagne a été réalisée afin d'effectuer un suivi complémentaire dans un mode opérationnel. Celle-ci permet de suivre l'évolution des niveaux et de mettre en évidence l'impact des choix environnementaux réalisés.

II. CAMPAGNE DE MESURES

A. PARAMÈTRES MESURÉS

Les différentes études réalisées en milieu scolaire, notamment en France dans le cadre de l'Observatoire de la Qualité de l'Air Intérieur, ont mis en évidence une spécificité de la pollution de l'air intérieur. Les teneurs en polluants à l'intérieur des salles de classe vont dépendre de plusieurs facteurs : systèmes de ventilation, état du mobilier scolaire, activités dans la classe et teneurs extérieures. Il s'avère que les composés chimiques présents sont les aldéhydes (le formaldéhyde de manière quasi-systématique) et certains composés organiques volatils (COV).

Lors de cette 2^{ème} phase de mesure, les polluants suivis ont été identiques à ceux mesurés lors de la 1^{ère} phase. Les concentrations en **aldéhydes** en général (dont le **formaldéhyde**) ainsi qu'en **composés organiques volatils (COV)** ont ainsi été retenues comme indicateurs de la qualité de l'air intérieur.

L'objectif de la campagne étant de réaliser un état des lieux de la qualité de l'air intérieur, une durée d'échantillonnage de 4,5 jours a été choisie (en cohérence avec les protocoles nationaux en cours d'application sur le suivi de la qualité de l'air dans les lieux d'enseignement). Celle-ci permettra de se référer à la valeur guide long terme pour le formaldéhyde.

De plus, au regard de l'importance du paramètre ventilation souligné au travers de différentes études et colloques menés sur les écoles¹, il a été proposé de suivre en complément l'évolution des **teneurs en CO₂** (ainsi que température et humidité relative) dans les salles de classe afin de disposer d'éléments relatifs sur le taux de renouvellement d'air.

B. PÉRIODE DE MESURES

La campagne de mesures s'est déroulée du 01 au 05 mars 2010.

C. ÉCHANTILLONNAGE ET ANALYSES

Concernant les COV et les aldéhydes

Les prélèvements d'air ont été réalisés à l'aide de préleveurs temporaires à diffusion passive (cf. annexe I). Ils permettent le suivi des aldéhydes (formaldéhyde, acétaldéhyde...) et des composés organiques volatils.

Le principe de fonctionnement de ce mode de prélèvement est basé sur celui de la diffusion passive de molécules sur un absorbant (support solide imprégné de réactif chimique) adapté au piégeage spécifique du polluant gazeux.

La quantité de molécules piégées est proportionnelle à sa concentration dans l'environnement et est déterminée par analyse des échantillons différée en laboratoire. Ce mode de prélèvement fournit une moyenne sur l'ensemble de la période d'exposition.

Les analyses de ces différents prélèvements sont réalisées en laboratoire.

- Concernant les COV, les tubes passifs sont analysés en laboratoire par chromatographie en phase gazeuse couplée à un spectromètre de masse (CG-MS). Les échantillons ont été analysés par la société Salvatore Maugeri en Italie.
- Concernant les aldéhydes, l'analyse est réalisée au LIC (Laboratoire Inter-régional de Chimie) par HPLC couplée avec un détecteur UV.

Tube passif – suivi des aldéhydes



Concernant les paramètres CO₂/T et HR

Les mesures des paramètres T/HR et CO₂ ont été réalisées à l'aide de l'analyseur Q-Trak. Les résultats obtenus sont enregistrés en simultané par pas de temps de 10 minutes dans.

Analyseur Q-Trak : suivi du CO₂/T/HR



¹ Journée scientifique Qualité de l'Air Intérieur dans les écoles- Réseau RSEIN, 4 juillet 2005

D. EMBLEMES DES SITES DE MESURES

Cinq sites ont été sélectionnés parmi les dix retenus lors de la première campagne car ils étaient représentatifs de profils de pollution variés et présentaient des excès de concentrations en COV.

Les salles instrumentées sont les suivantes :

- ✓ Deux salles de cours équipées :
 - l'une de type enseignement SEGPA (salle n° 008) ;
 - l'autre de type enseignement classique (salle n°101) ;
- ✓ Salle de musique ;
- ✓ Bureau administratif n° 230 ;
- ✓ Salle polyvalente n°29.



Salle de cours SEGPA n°008

À noter que la salle polyvalente qui a été instrumentée lors de la première campagne était la salle 28 (car il n'avait pas été possible d'instrumenter la salle 29). Ces deux salles polyvalente (28 et 29) sont proches l'une de l'autre mais différentes en terme de conception. En effet, dans la salle 29, il y a une ossature et des parements en bois visibles. Il semblait intéressant de caractériser ce type de structure lors de la phase 2.

Un blanc terrain a été positionné dans la salle polyvalente n°29 afin de s'assurer de la non-contamination accidentelle des échantillons.

E. LIMITES DE L'ÉTUDE

L'étude ne permettra pas de qualifier les niveaux observés en regard des normes annuelles de qualité de l'air. **On considérera les niveaux déterminés comme des concentrations représentatives des périodes couvertes.** On pourra néanmoins à titre indicatif se référer à ces normes comme ordre de grandeur à ne pas dépasser sur une année complète.



Salle polyvalente n°29

III. RÉSULTATS DES MESURES EN ALDÉHYDES ET COV

A. SUIVI DES ALDÉHYDES

La durée d'exposition des tubes passifs pour déterminer les niveaux en aldéhydes a été de 4,5 jours.

Les analyses réalisées permettent la caractérisation de 7 composés de la famille des aldéhydes :

- Le formaldéhyde
- L'acétaldéhyde
- Le propionaldéhyde
- Le butyraldéhyde
- Le benzaldéhyde
- L'isovaléraldéhyde
- Le valéraldéhyde

Au sein de cette famille de polluants, deux composés suscitent un intérêt particulier au regard de leurs **effets sur la santé : le formaldéhyde et l'acétaldéhyde.**

Le formaldéhyde est classé cancérigène depuis juin 2004 par le CIRC (Centre International de Recherche sur le Cancer). C'est également un irritant des yeux, de la gorge et du nez.

L'acétaldéhyde quant à lui est également un irritant et a été classé cancérigène possible par le CIRC.

Les concentrations en **formaldéhyde** se sont échelonnées de 3,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dans la salle polyvalente à 12,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dans la salle de musique, avec une moyenne sur les cinq sites instrumentés de 6,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

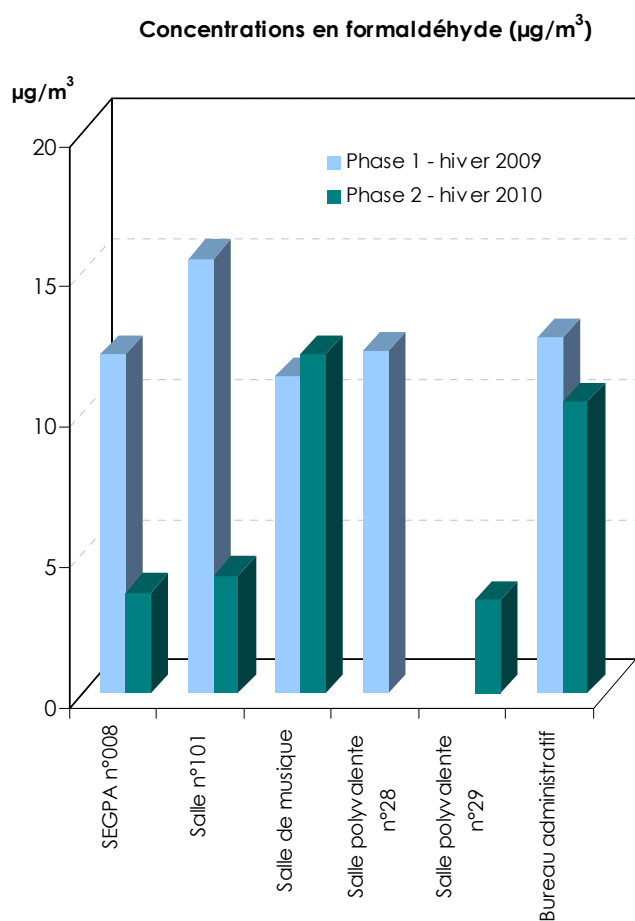
Les niveaux d'acétaldéhyde et de butyraldéhyde ont varié respectivement de 1,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (salle polyvalente 29) à 4,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (bureau administratif) et de 3,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (salle collège n°101) à 10,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (salle SEGPA).

Les **concentrations en aldéhydes** mesurées sont globalement **peu élevées** et présentent pour le formaldéhyde une **atténuation** par rapport aux mesures de 2009 (cf graphique 1 qui présente les concentrations en formaldéhyde mesurées lors des deux phases). Seule la salle de musique présente des teneurs en formaldéhyde très légèrement supérieures.

Les concentrations en formaldéhyde les plus élevées restent très proches des 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, valeur guide long terme Afsset.

Site	Concentrations en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ à 20°C						
	Formaldéhyde	Acétaldéhyde	Propionaldéhyde	Butyraldéhyde	Benzaldéhyde	Isovaléraldéhyde	Valéraldéhyde
Salle SEGPA n°008	3,6	2,4	0,7	10,4	< 0,4	< 0,6	< 0,5
Salle collège n°101	4,2	2,5	0,8	3,7	< 0,4	< 0,6	< 0,5
Salle de musique	12,1	3,9	1,1	5,7	< 0,4	< 0,6	1,0
Bureau administratif	10,4	4,6	1,9	8,8	< 0,4	< 0,6	2,0
Salle polyvalente n°29	3,3	1,7	0,5	8,8	< 0,4	< 0,6	< 0,5

Tableau 1 : Concentrations en aldéhydes ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) – phase 2 – mars 2010



Graphique 1 : Evolution des concentrations en formaldéhyde en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ entre les deux phases de mesures

B. SUIVI DES COV

Concernant les cinq sites instrumentés, les niveaux en **COV totaux** (somme des concentrations de chacun des 40 composés du tableau 2) mesurés lors de cette campagne s'échelonnent de **35 µg/m³** dans la salle de cours SEGPA à **132 µg/m³** dans le bureau administratif.

Les résultats de cette deuxième campagne montrent une baisse très significative des concentrations mesurées (de 78% en moyenne). Lors de la première campagne, les sites de mesures sélectionnés présentaient en effet des excès de concentrations en COV. Les résultats détaillés de la phase 1 sont consultables dans l'annexe I de ce rapport.

Les différents composés retrouvés majoritairement lors de la phase 1 présentent tous une baisse importante (cf tableau 3), excepté le n-undécane et ses isomères, qui affichent une augmentation d'un facteur 2 (pour des concentrations maximales toutefois limitées à 23 µg/m³). Le n-butyl acétate ainsi que le n-heptanol et ses isomères (bureau administratif et salle de cours) sont ensuite les composés majoritaires pour la phase 2.

A noter que les concentrations en 1,2,4-triméthylbenzène et ses isomères ont présenté une baisse moyenne de plus de 80% sur l'ensemble des sites instrumentés.

Evolution des concentrations en COVT en µg/m ³			
	Phase 1 - hiver 2009	Phase 2 - hiver 2010	Ecart
Salle n°101	482,8	64	-86%
Salle SEGPA n° 008	251,8	35	-86%
Salle de musique	227,1	67	-70%
Bureau administratif	461	132	-71%

Tableau 2 : Evolutions des concentrations en COV totaux lors des deux campagnes de mesures (µg/m³)

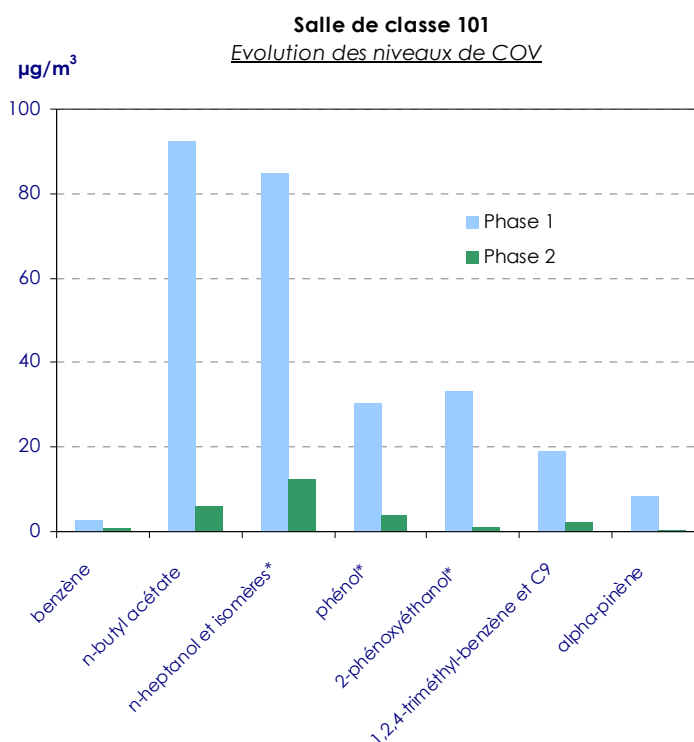
L'influence du changement des produits de nettoyage est visible (pour illustration cf graphique 2) au travers :

- ✓ la présence plus importante de n-undécane (entrant dans la composition de certains nettoyants pour sol)
- ✓ la diminution forte d'autres composés tels le phénoxy-éthanol, l'heptanol, le n-butyl acétate, le limonène...

Le fonctionnement opérationnel de la VMC contribue également à limiter les concentrations en COV.

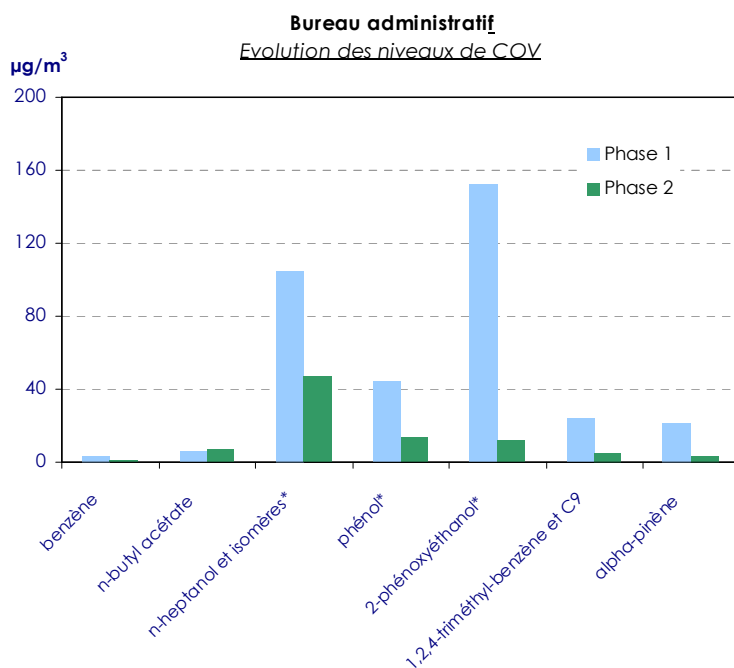
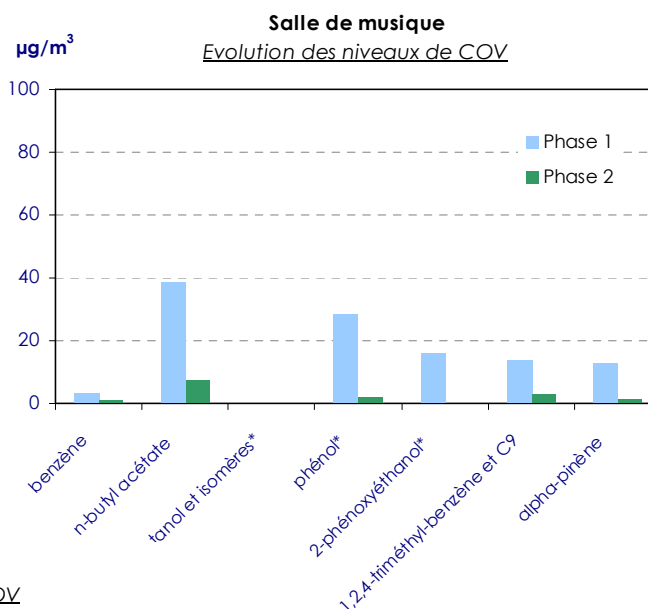
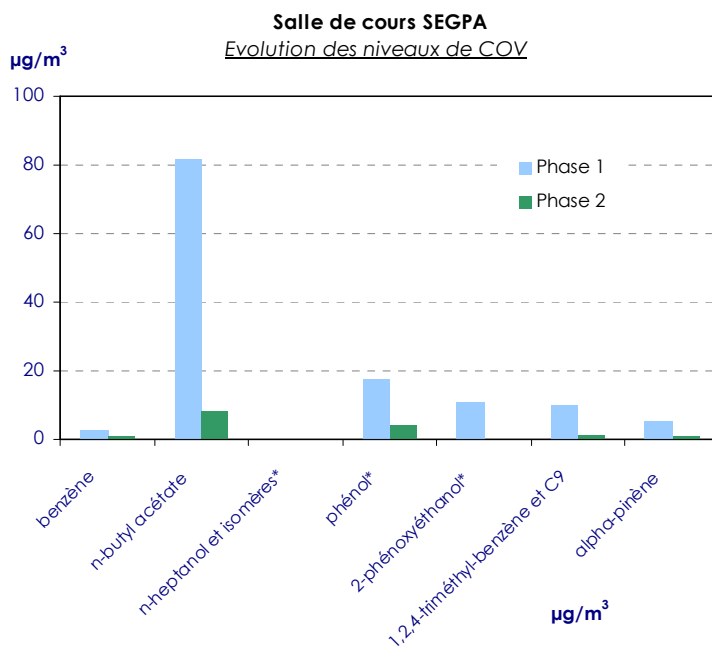
COV majoritaires ou d'intérêt	Source d'émissions des COV	Evolution moyenne entre les deux phases
n-undécane	White-spirit, colles pour sol, cires, vernis à bois, nettoyeurs pour sol, moquettes, tapis	209%
2-phénoxyéthanol	Solvant pour peintures, vernis, laques, encres d'imprimerie, colorants. Biocide pour produits ménagers et industriels	-97%
n-heptanol et isomères	Utilisés comme diluants des encres d'imprimerie, des résines, des vernis, peintures et colles à moquette.	-71%
phénol	Intermédiaire dans l'industrie des plastiques, fabrication de plastifiants, adhésifs, de durcisseurs de dissolvants et d'isolants. Depuis 2006, il ne peut plus être utilisé comme biocide (désinfectant).	-81%
n-butyl-acétate	Solvant (industrie des matières plastiques, des encres, des peintures, laques et vernis). Agent d'extraction. Agent de déshydratation. Synthèse organique, parfumerie.	-64%
1,2,4-triméthyl-benzène et C ₉	Intermédiaire de synthèse. Constituant de solvants pétroliers (white-spirit ordinaire, solvant naphtha, solvants aromatiques, etc. ...) utilisés pour la formulation de diluants, peintures, vernis, encres, pesticides. Constituants de carburants et de goudrons.	-83%
m-p-xylène	Peintures, vernis, colles, insecticides	-81%
benzène	Carburants, fumée de cigarettes, produits de bricolage, d'ameublement, de construction et de décoration.	-72%
limonène	Désodorisant, parfum d'intérieur, produits d'entretien.	-83%
alpha-pinène	Désodorisant, parfum d'intérieur, produits d'entretien.	-88%

Tableau 3 : Evolutions moyennes des concentrations en COV entre les 2 campagnes de mesures et sources d'émissions associées



Graphique 2 : Evolution des concentrations en certains COV - salle de classe n°101

Graphiques 3-4-5 : Evolution des concentrations en certains COV - salle de classe SEGPA n°008 –salle de musique et bureau administratif



		Concentrations en $\mu\text{g}/\text{m}^3$				
		Salle de Musique	Bureau Administratif	Salle de classe type du collège n°101	Salle de cours SEGPA n°008	Salle polyvalente n°29
COMPOSES ORGANIQUES VOLATILS	n-hexane et isomères	0,6	1,1	1,6	0,8	0,5
	éthylterbutyléther	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1
	2-méthoxyéthanol	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
	1,1,1-trichloroéthane	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
	isopropyl acétate	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
	benzène	0,9	0,8	0,8	0,8	0,7
	cyclohexane	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.
	1-méthoxy-2-propanol	1,0	1,0	1,9	0,2	0,1
	n-heptane et isomères	2,1	2,3	3,2	0,9	0,5
	trichloroéthylène	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
	2-éthoxyéthanol	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
	diméthylsulfure	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
	toluène	1,1	1,0	0,7	0,7	0,6
	n-octane et isomères	0,2	0,3	0,3	0,2	0,2
	tétrachloroéthylène	0,3	0,0	0,0	0,1	0,1
	n-butyl acétate	7,3	6,9	5,9	8,0	0,2
	2-méthoxyéthyl acétate	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
	éthylbenzène	0,5	0,8	0,4	0,3	0,3
	m- + p-xylène	1,3	2,3	1,2	0,8	0,9
	styrène	0,5	0,6	0,5	0,4	0,4
	o-xylène	0,5	0,9	0,4	0,3	0,3
	n-nonane et isomères	1,0	0,4	0,3	0,9	0,3
	2-éthoxyéthyl acétate	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
	2-butoxyéthanol	<0,1	1,2	0,1	0,1	<0,1
	alpha-pinène	1,7	3,1	0,6	0,8	1,1
	n-décane et isomères	3,4	1,1	0,9	1,8	2,8
	1,2,4-triméthyl-benzène et autres aromatiques C ₉	3,1	5,0	2,2	1,5	2,4
	1,4-dichloro-benzène	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
	2-éthyl-1-hexanol	0,7	3,2	1,6	0,7	0,6
	limonène	2,0	3,5	1,6	1,1	1,9
	n-undécane et isomères	21,5	17,6	17,2	7,0	22,8
	méthyl acétate*		0,2	0,5	0,5	
	méthyléthylcétone*	2,0				
	n-butanol*	1,6	4,4	1,9	1,0	0,3
	méthylcyclohexane*	1,2	1,0	1,6	0,6	
	méthylisobutylcétone*	0,7	0,5	0,6	0,7	
n-heptanol et isomères*		47	12			
phénol*	2,2	14	4	4	1,6	
2-phénoxyéthanol*		12	1,3			
dinitrobenzène*	7,6					
nitroaniline*	1,6					
COV TOTAUX	67	132	64	35	39	

Tableau 4 : Concentrations en composés organiques volatils en $\mu\text{g}/\text{m}^3$

A noter que la technique de mesure utilisée permet de suivre un nombre important de composés mais, pour certains d'entre eux, le débit de piégeage est estimé et non quantifié, ce qui induit une concentration approximative.

Ces composés sont clairement identifiés en fin de tableau 4 et sur les différents graphiques par un astérisque.

C. SITUATION AU REGARD DES VALEURS GUIDES

Peu de réglementations existent en France concernant la pollution de l'air intérieur, notamment pour caractériser les concentrations en composés organiques volatils (COV). À titre d'information, les États-Unis² recommandent une concentration totale en COV inférieure à 200 µg/m³ comme seuil de confort alors que l'Allemagne³ préconise une valeur cible de 300 µg/m³.

Parmi les polluants suivis, seules des valeurs guides sanitaires ont été proposées par l'AFSSET (Agence Française de Sécurité Sanitaire de l'Environnement et du travail) pour le benzène et le formaldéhyde.

LE BENZENE

L'AFSSET propose des valeurs guides sanitaires de qualité d'air intérieur (VGAI) pour des expositions à court terme, intermédiaire et chronique prenant en compte les effets hématologiques cancérigène et non cancérigène du benzène (cf. annexe II).

VGAI long terme :

2 µg/m³ pour une durée d'exposition « vie entière », correspondant à un excès de risque de 10⁻⁵, pour les **effets hématologiques cancérigènes**.

Les concentrations mesurées dans **les salles** se révèlent **inférieures à la VGAI sanitaire long terme** recommandée par l'AFSSET **pour les effets cancérigènes**

(exposition «vie entière»), correspondant à un excès de risque de 10⁻⁵).

La **médiane des concentrations (0,8 µg/m³)** se situe également **en dessous de la médiane des concentrations** relevées dans le cadre de la campagne de l'Observatoire de la Qualité de l'Air Intérieur (OQAI- cf. page14).

À titre d'information, le benzène fait l'objet de seuils à ne pas dépasser dans l'air ambiant en air extérieur, valeurs fixées par le code français de l'environnement livre II titre II – article R221-1. L'objectif de qualité en air extérieur est de 2 µg/m³ en moyenne annuelle et la valeur limite est fixée à 5 µg/m³ pour l'année 2010.

LE FORMALDEHYDE

Le formaldéhyde est un composé chimique que l'on retrouve quasi-systématiquement en milieu intérieur. Il est classé cancérigène depuis juin 2004 par le Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC).

L'AFSSET a proposé en juillet 2007 pour ce composé 2 valeurs guides sanitaires :

- **50 µg/m³ sur 2 heures** pour une exposition à **court terme**
- **10 µg/m³** pour une exposition à **long terme**.

En novembre 2009, le Haut Conseil de santé publique (HCSP) a rendu public son rapport sur les valeurs-repères d'aide à la gestion dans l'air intérieur pour le formaldéhyde.

Le HCSP propose **30 µg/m³**, comme valeur-repère de qualité d'air, sous laquelle, «en 2009, aucune action corrective spécifique n'est préconisée».

² Environmental Protection Agency – EPA et Møhlhave, L., 1986. Indoor air quality in relation to sensory irritation due to volatile organic compounds. ASHRAE Trans., 92 (I), 1-12.

³ Seifert, B., 1990. Regulating indoor air. In: Walkinshaw, D.S. (ed.), Indoor Air '90, Proceedings of the 5th International Conference on Indoor Air Quality and Climate, Toronto, Canada, July 29 - August 3, vol. 5, pp. 35-49.

Entre 30 et 50 µg/m³, les concentrations en formaldéhyde sont tolérées du fait «du caractère peu sévère» des effets sanitaires, et il est préconisés de ventiler le local et de choisir des meubles faiblement émissifs.

Au-delà de 50 µg/m³, des actions de correction devront être mises en place dans les mois suivant la mesure, ou très rapidement pour une concentration supérieure à 100 µg/m³.

Dans les salles de classe, les **concentrations moyennes** de **formaldéhyde** mesurées s'élèvent à **6,7 µg/m³**, **inférieures à la valeur guide long terme de l'AFSSET et à la valeur repère du HCSP.**

D. RÉFÉRENCE AUX AUTRES CAMPAGNES DE MESURE RÉALISÉES EN AIR INTÉRIEUR

L'Observatoire de la qualité de l'air intérieur (OQAI)⁴ a réalisé en 2004-2005 une vaste campagne afin d'obtenir une image représentative de la qualité de l'air à l'intérieur des logements français (567 logements enquêtés). Les résultats obtenus sont renseignés dans le tableau 4 en comparaison avec ceux obtenus lors de la deuxième campagne de mesures au Collège Heiligenstein.

Résultats de la campagne nationale logements réalisées par l'OQAI (µg/m ³)			Résultats de la deuxième campagne du Collège Heiligenstein (µg/m ³)	
Polluants	Médiane	95 ^{ème} percentile	Médiane	95 ^{ème} percentile
Acétaldéhyde	11,6	30,0	2,5	4,5
Formaldéhyde	19,6	46,7	4,2	11,8
Benzène	2,1	7,2	0,8	0,9
1,4 dichlorobenzène	4,2	150,5	0,1	0,1
Ethylbenzène	2,3	15,0	0,4	0,7
Styrène	1,0	2,7	0,5	0,6
Tétrachloroéthylène	1,4	7,4	0,1	0,2
Toluène	12,2	86,7	0,7	1,1
Trichloroéthylène	1,0	7,4	<0,1	<0,1
1,2,4-triméthylbenzène	4,1	21,3	2,4	4,6
m+p-xylène	5,6	42,3	1,2	2,1
o-xylène	2,3	14,7	0,4	0,9
Polluants	Médiane	90 ^{ème} percentile	Médiane	90 ^{ème} percentile
2-butoxyéthanol / EGBE	1,6	5,5	0,1	1,0
1-méthoxy-2-propanol / 2PG1ME	1,9	10,8	1,0	1,5

Médiane 50% des logements ont des teneurs inférieures à cette valeur
 xx^{ème} percentile xx % des logements ont des teneurs inférieures à cette valeur

Tableau 5 : Concentrations en COV en µg/m³- campagne logement OQAI

⁴ Campagne nationale Logements : État de la qualité de l'air dans les logements français Rapport final (mise à jour mai 2007 http://www.air-interieur.org/userdata/documents/Document_133.pdf)

Les concentrations obtenues dans le cadre de cette deuxième campagne sont (cf. tableau 5) inférieures à la médiane des concentrations mesurées dans le cadre de la campagne nationale logement pour la plupart des polluants référencés dans les deux études.

Les **médianes en benzène, 1,2,4-triméthylbenzène et xylènes sont inférieures à celles de l'OQAI** et les 95^{ème} percentiles restent inférieurs.

Les **niveaux de formaldéhyde et d'acétaldéhyde** sont quant à eux **inférieurs** à ceux de la campagne **OQAI**.

Différentes études concernant le suivi du formaldéhyde ont également été réalisées dans les établissements scolaires ou les crèches au cours des dernières années.

➔ L'étude ISAAC⁵ a consisté en la mise en œuvre de campagnes de mesure dans des écoles primaires de 6 villes (Marseille, Créteil, Bordeaux, Strasbourg, Reims et Clermont-Ferrand) entre 1999 et 2000. Les mesures ont été réalisées par capteurs passifs à diffusion radiale sur 5 jours (du lundi au vendredi). Les résultats préliminaires montrent que les niveaux en formaldéhyde présentent dans l'ensemble des classes enquêtées (396 salles de classes – représentant 110 écoles) **des moyennes variant de 22 à 32 µg/m³** selon les villes. Dans certaines classes, des concentrations intérieures maximales supérieures à 100 µg/m³ ont été mesurées.

⁵ Annesi-masano et al Measurements of air pollutants in elementary schools in the six cities of metropolitan France in the framework of the ISAAC study. Proceedings of the 12th World Clean Air&Environnement Congress and Exhibition, 26-31 August 2001, Seoul, Korea.

➔ Fin 2004-début 2005, la ville de Strasbourg a souhaité disposer d'une image représentative des niveaux de formaldéhyde rencontrés dans l'ensemble des écoles maternelles / primaires et des lieux accueil petite enfance.

La **concentration moyenne** rencontrée résultant des 526 points de mesure s'élève à **23 µg/m³** avec une médiane à 19 µg/m³. Basée sur des prélèvements de 48h, la campagne a permis de souligner une grande disparité d'exposition au formaldéhyde et de cerner certains établissements⁶ pouvant potentiellement dépasser les 100 µg/m³.

⁶ ASPA 05051901-ID Campagne de mesure du formaldéhyde dans les établissements scolaires et d'accueil de petite enfance de la ville de Strasbourg : bilan des niveaux mesurés.

E. ORIGINES DES ALDÉHYDES ET AUTRES COV

A titre d'information, les sources d'émission de ces différents composés (COV et aldéhydes) sont récapitulées ci-après.

LES ALDEHYDES

- **Formaldéhyde** : panneaux de particules, panneaux de fibres, panneaux de bois brut, peinture à phase solvant, fumée de cigarettes, photocopieurs ;
- **Acétaldéhyde** : photochimie, fumée de cigarettes, photocopieurs, panneaux de bois brut, panneaux de particules ;
- **Benzaldéhyde** : peintures à phase solvant, photocopieurs, parquet traité ;
- **Isovaléraldéhyde** : parquet traité, panneaux de particules ;
- **Propionaldéhyde** : fumée de cigarettes ;
- **Butyraldéhyde** : photocopieurs ;
- **Valéraldéhyde** : émissions des livres et magazines neufs, peintures à phase solvant, panneaux de particules.

Les principaux COV

Alcanes

- **n-heptane et isomères** : Solvant pour colles, encres, caoutchoucs et matières plastiques. Solvant d'extraction.
- **n-décane** : white spirit, colles pour sol, cires, vernis à bois, sol, moquettes, tapis.
- **n-undécane** : White-spirit, colles pour sol, cires, vernis à bois, nettoyeurs pour sol, moquettes, tapis

Alcools

- **isobutanol** : solvant dans les industries des laques, peintures, vernis, encres et résines, solvant de nettoyage.
- **n-heptanol et isomères** : utilisés comme diluants des encres d'imprimerie, des résines, des vernis, peintures et colles à moquette.
- **phénol** : intermédiaire dans l'industrie des plastiques, fabrication de plastifiants, adhésifs, de durcisseurs de dissolvants et d'isolants. Depuis 2006, il ne peut plus être utilisé comme biocide (désinfectant).

Hydrocarbures aromatiques

- **Benzène** : carburants, fumée de cigarettes, produits de bricolage, d'ameublement, de construction et de décoration.
- **Toluène** : Peintures, vernis, colles, encres, moquettes, tapis, vapeurs d'essence.
- **Styrène** : Matières plastiques, matériaux isolants, carburants, fumée de cigarette.
- **Xylènes** : peintures, vernis, colles, insecticides.
- **1,2,4-triméthylbenzène et isomères** : Intermédiaire de synthèse. Constituant de solvants pétroliers (white-spirit ordinaire, solvant naphtha, solvants aromatiques, etc. ...) utilisés pour la formulation de diluants, peintures, vernis, encres, pesticides. Constituants de carburants et de goudrons.

Acétates (esters)

- **n-butyl acétate** : Solvant (industrie des matières plastiques, des encres, des peintures, laques et vernis). Agent d'extraction. Agent de déshydratation. Synthèse organique, parfumerie.

Ethers de glycols :

- **2-phénoxyéthanol** : solvant pour peintures, vernis, laques, encres d'imprimerie, colorants. Biocide pour produits ménagers et industriels
- **1-méthoxy-2-propanol** : solvant dans l'industrie des laques, peintures, vernis, résines, encres, colorants, liquide de nettoyage. Agent de dispersion pour les huiles et les graisses. Constituants des colles. Agent de coalescence ou co-solvants dans les peintures en phase aqueuse.
- **2-butoxyéthanol** : Solvant dans l'industrie des peintures, vernis, encres d'imprimerie et dans l'industrie cosmétique. Constituant de produits divers : dégraissant. Produits d'entretien ménager et industriels. Produits utilisés dans l'industrie mécanique et métallurgique (lubrifiants, dégraissants...). Produits phytosanitaires : fongicides, herbicides. Produits de traitement des bois.

Terpènes

- **alpha-pinène, limonène et autres terpènes** : désodorisant, parfum d'intérieur, produits d'entretien.

IV. RÉSULTATS DES MESURES CO₂

Pendant toute la durée de la campagne, les niveaux de CO₂ ont été enregistrés par pas de 10 minutes.

Le collège est équipé d'une ventilation double flux avec détecteur de présence, les débits d'air sont ainsi variables en fonction de l'occupation de la salle.

Les graphiques 6, 7 et 8 illustrent les variations des taux de CO₂ dans les salles de classe.

Les teneurs en CO₂ mesurées concordent logiquement avec les périodes d'occupation (phase de croissance) et d'inoccupation des salles (phase de décroissance), le CO₂ étant lié à la respiration des personnes présentes.

À noter que suite à un problème technique, certainement lié au débranchement du matériel ou à une coupure d'électricité (le 02 mars à 17h00), l'enregistrement n'a pu être traité pour la salle de cours SEGPA.

Les enregistrements soulignent :

Pour la salle de cours n°101

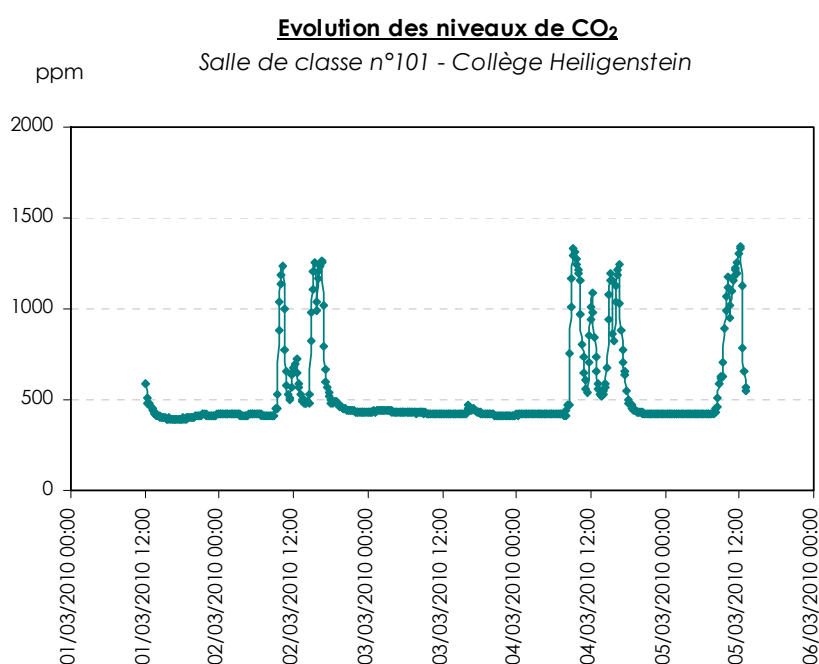
- ✓ Des maxima en CO₂ atteignant les **1300 ppm** le 02 mars à 15h26, le 04 mars à 9h30 et 16h36, le 05 mars à 12h00.

Pour la salle de musique :

- ✓ Des maxima en CO₂ atteignant les **1100 ppm** le 02 mars à 11h40.

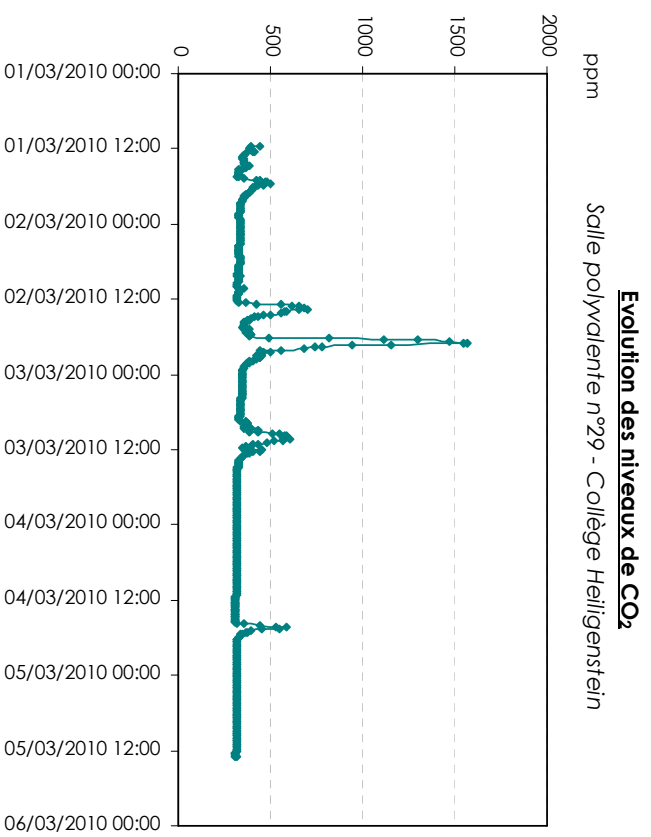
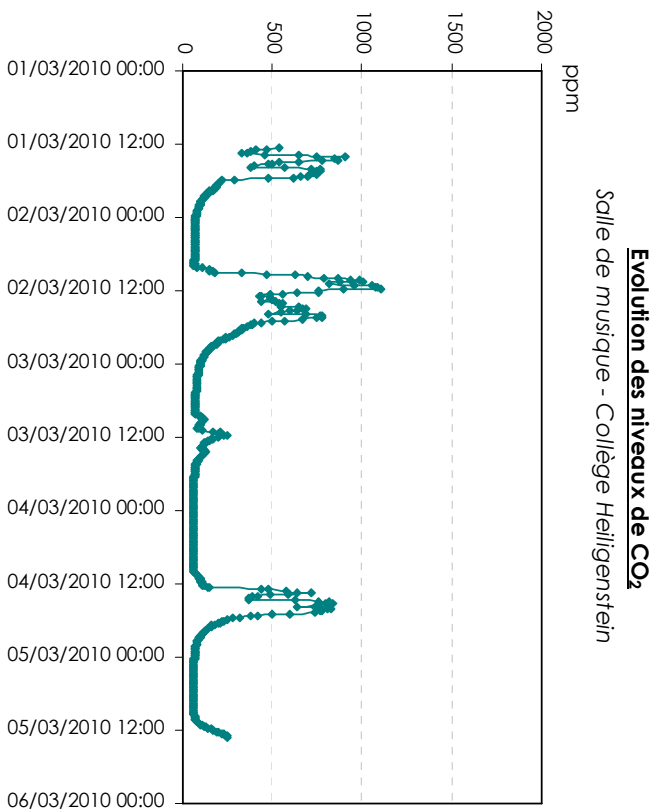
Pour la salle polyvalente n°29

- ✓ Des maxima en CO₂ atteignant les **1560 ppm** le 02 mars à 19h00.



Graphique 6 : Suivi des concentrations en CO₂ dans la salle n°101

Graphiques 7 et 8 : Suivi des concentrations en CO₂ dans la salle de musique et dans la salle polyvalente



La **valeur réglementaire** préconisée dans le règlement sanitaire départemental type (RSDT, 1985) est fixée à **1300 ppm**. Cette valeur est dépassée ponctuellement en période d'occupation dans la salle polyvalente et juste atteinte dans la salle de classe 101.

Dans le cadre d'études menées par le CSTB visant à tester l'efficacité de stratégies d'aération par ouverture des fenêtres afin de diminuer le confinement de l'air intérieur dans des écoles et crèches, un détecteur de confinement (avec voyant lumineux) basé sur la mesure du CO₂ dans le local a été mis en place.

Les deux seuils retenus étaient les suivants :

- 1000 ppm pour le seuil de passage du vert à l'orange,
- 1700 ppm pour le seuil de passage de l'orange au rouge.

À partir de 1700 ppm, il était recommandé d'ouvrir les fenêtres car l'ambiance est dite confinée.

L'enregistrement des niveaux en CO₂ souligne :

- Des niveaux de CO₂ inférieurs à la valeur seuil du CSTB et proches de la valeur réglementaire du RSDT.
- L'efficacité de coupler la démarche environnementale retenue (HQE et choix de produits de décoration les moins émissifs) à une VMC double flux (avec un taux de renouvellement d'air suffisant).

V. CONCLUSION

La campagne de mesures réalisée dans le collège d'Heiligenstein a permis de réaliser dans un mode de fonctionnement opérationnel un second état des lieux de la pollution sur cinq sites en suivant notamment, les aldéhydes, les composés organiques volatils totaux et les taux de dioxyde de carbone (suivi limité à trois salles).

Les résultats de la deuxième campagne menée dans le collège Heiligenstein soulignent :

✓ Des niveaux moyens de $6,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en **formaldéhyde** inférieurs à la valeur guide sanitaire long terme de l'AFSSET ($10 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

À noter que selon le HCSP, les bâtiments neufs livrés en 2012 devront présenter des teneurs en formaldéhyde inférieures à $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Le collège Heiligenstein répondrait donc à cette valeur repère.

✓ Une baisse des concentrations en composés organiques volatils totaux de près de 80%. Avec, pour les cinq sites où les COV totaux ont été quantifiés, des teneurs nettement inférieures à la valeur guide allemande pour les niveaux en COV totaux⁷ ($300 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

La valeur guide sanitaire AFSSET long terme de $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour le benzène n'est pas dépassée ($0,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en valeur médiane).

Le suivi des concentrations en CO₂ permet de mettre en évidence des taux de CO₂ inférieurs au seuil de 1700 ppm du CSTB et proches de la valeur réglementaire du RSDT (1300 ppm).

Au bilan, la démarche environnementale retenue, notamment pour limiter les émissions de composés organiques volatils, s'avère très intéressante pour les aldéhydes (le formaldéhyde notamment) et pour les COV totaux.

Le fonctionnement opérationnel du système de ventilation double flux, couplé à l'utilisation de produits d'entretien adaptés permet d'assurer la qualité sanitaire de l'air vis-à-vis des aldéhydes et COV.

⁷ Seifert, B., 1990. Regulating indoor air. In: Walkinshaw, D.S. (ed.), Indoor Air '90, Proceedings of the 5th International Conference on Indoor Air Quality and Climate, Toronto, Canada, July 29 - August 3, vol. 5, pp. 35-49.

ANNEXE I : RÉSULTATS CAMPAGNE JANVIER 2009

Site	Concentrations en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ à 20°C						
	Formaldéhyde	Acéaldéhyde	Propionaldéhyde	Butyraldéhyde	Benzaldéhyde	Isovaléraldéhyde	Valéraldéhyde
Centre de Documentation	16,9	8,8	3,9	11,0	0,5	0,6	5,1
Salle de classe n°101	15,5	6,4	2,1	8,4	0,9	0,6	3,4
Chambre internat n°212	14,5	6,6	3,4	7,5	0,5	< 0,5	3,2
Salle étude internat n°224	13,5	5,1	1,9	7,4	0,6	< 0,5	2,1
Bureau Adm. n°230	12,7	6,9	2,7	12,2	0,7	0,6	3,0
Salle SEGPA n°008	12,1	4,3	1,5	6,0	0,5	0,6	2,5
Salle polyvalente n°28	12,2	6,7	1,5	4,9	< 0,4	< 0,5	1,3
Salle de Musique	11,3	6,2	1,6	10,2	0,4	< 0,5	2,0
Salle de réunion n°227	10,4	5,5	2,1	10,0	0,5	< 0,5	2,3
Salle de restauration	5,8	6,0	2,1	8,6	< 0,4	0,7	2,2

Annexe 1 - tableau 1 : Concentrations en aldéhydes - mesures du 26 au 29 janvier 2009

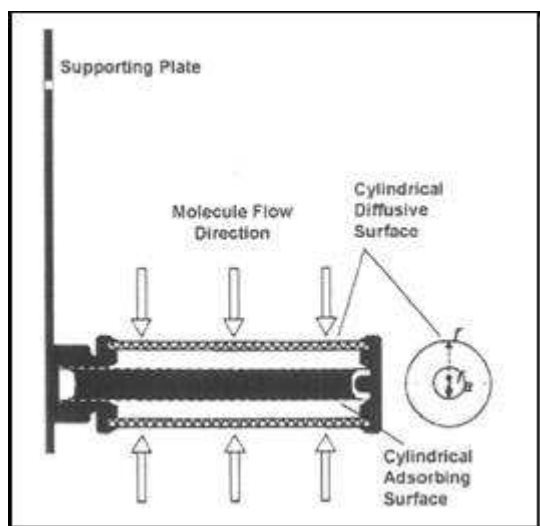
		Concentrations en µg/m ³								
		Salle de Musique	Salle de Restauration	Centre de Doc.	Salle d'étude internat 224	Bureau Administratif 230	Salle de réunion n°227	Salle de classe type du collège n°101	Salle de cours SEGPA n°008	Salle polyvalente n°28
COMPOSES ORGANIQUES VOLATILS	n-hexane et isomères	3,1	2,5	3,4	2,3	2,4	2,4	2,7	2,6	2,4
	éthylterbutyléther	1,0	0,6	0,7	0,6	0,7	0,6	0,6	0,5	0,6
	2-méthoxyéthanol	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
	1,1,1-trichloroéthane	<0,1	0,1	0,1	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
	isopropyl acétate	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	1,0
	benzène	3,4	3,7	3,1	3,2	3,1	3,4	2,8	2,8	3,3
	cyclohexane	1,7	4,0	1,2	5,7	5,4	4,6	3,4	0,9	1,8
	1-méthoxy-2-propanol	6,3	0,9	3,8	3,0	3,2	2,5	12,1	2,8	5,2
	n-heptane et isomères	4,2	2,0	4,0	3,6	3,6	4,0	12,6	2,3	4,6
	trichloroéthylène	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
	2-éthoxyéthanol	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,4	0,1	<0,1
	diméthylsulfure	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
	toluène	4,5	4,0	5,0	4,8	5,1	4,6	6,1	3,1	8,3
	n-octane et isomères	1,3	2,1	3,3	1,8	2,2	2,0	2,2	1,3	1,9
	tétrachloroéthylène	2,3	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,8	1,0	0,2
	n-butyl acétate	38,4	5,8	3,2	4,8	6,3	4,3	92,5	81,8	4,5
	2-méthoxyéthyl acétate	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
	éthylbenzène	1,8	2,0	1,7	2,2	2,9	2,4	12,7	1,3	5,0
	m- + p-xylène	5,4	7,1	5,4	7,6	9,2	7,4	23,8	3,4	16,0
	styrène	0,9	1,3	1,4	0,8	1,4	0,9	1,1	1,1	0,7
	o-xylène	2,2	3,1	2,1	3,2	3,7	3,1	10,5	1,4	8,3
	n-nonane et isomères	1,0	1,4	1,1	0,9	1,0	1,0	1,3	0,8	1,5
	2-éthoxyéthyl acétate	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
	2-butoxyéthanol	0,9	0,7	1,1	0,0	8,2	5,7	1,2	1,6	0,1
	alpha-pinène	13,2	15,3	30,6	10,6	20,9	27,1	8,5	5,3	19,1
	n-décane et isomères	5,1	2,9	6,9	3,1	3,2	3,3	3,8	2,8	3,4
	1,2,4-triméthyl-benzène et C ₉	14,1	9,8	9,8	21,0	23,9	20,3	19,0	10,2	113,2
	1,4-dichloro-benzène	0,3	0,2	0,3	0,4	0,3	0,4	0,6	0,8	0,2
	2-éthyl-1-hexanol	2,1	3,0	3,5	1,1	8,8	6,0	11,4	2,9	0,7
	limonène	23,6	65,8	8,5	6,8	12,0	13,3	21,8	4,8	7,0
	n-undécane et isomères	6,4	3,1	7,7	3,5	4,6	5,7	5,7	3,3	3,3
	méthyl acétate*	3,3		0,3	0,4	0,4	0,3	3,0	1,5	
	méthyléthylcétone*	13,9		25,7	12,3	6,5	6,0	18,3	0,8	
	éthyl acétate*	3,5		1,4	1,1	0,6		4,4	2,3	1,7
	isobutanol*	1,7	2,7	1,2	1,4	0,9	1,1	2,5	6,0	
	n-butanol*	4,3	5,0	6,2	5,6	8,1	6,6	6,7	4,1	
	méthylcyclohexane*	6,8	0,8	3,3	4,1	4,5	4,1	11,7	29,5	4,2
	méthylisobutylcétone*	5,0		0,8	0,5	0,7	0,5	16,3	13,3	
	n-heptanol et isomères*					105,1	40,1	84,9		
	phénol*	28,6	15,8	10,7	4,0	44,5	40,8	30,3	17,6	
2-phénoxyéthanol*	16,2	15,0	1,6	2,5	152,6	90,0	33,4	10,8		
dinitrobenzène*							6,9	20,6		
nitroaniline*							2,5	6,3		
isopropanol*		14,3					0,0			
1-butoxy-2-propanol*				4,0	4,9	4,8	4,0			
COV TOTAUX	227	195	159	127	461	320	483	252	218	

Annexe 1 - tableau 2 : Concentrations en composés organiques volatils - mesures du 26 au 29 janvier 2009

ANNEXE II : ECHANTILLONNEURS

Le principe de fonctionnement de ce mode de prélèvement est basé sur celui de la diffusion passive de molécules sur un absorbant adapté au piégeage spécifique du polluant gazeux. La quantité de molécules piégées est proportionnelle à sa concentration dans l'environnement et est déterminée par analyse différée des échantillons en laboratoire.

La cartouche de collection est livrée dans un tube en verre scellé. Une fois retirée du tube, la cartouche est insérée dans le corps diffusif du préleveur. Le corps diffusif est ensuite vissé sur un support qui sera disposé dans un abri si nécessaire.



A. ECHANTILLONNEUR PASSIF « COVNM »

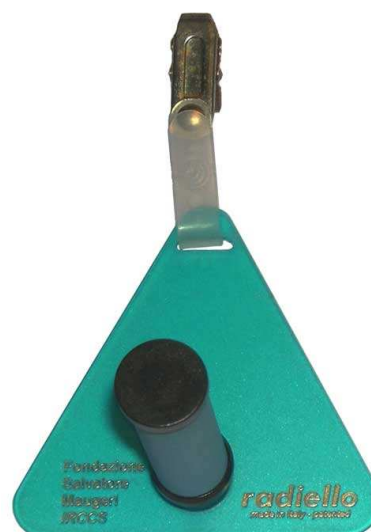
Après exposition, la cartouche est replacée dans le tube de verre et envoyée à un laboratoire d'analyse. La quantité totale de COV adsorbés sur la cartouche de charbon actif est extraite par désorption thermique et déterminée par chromatographie gazeuse.

B. ÉCHANTILLONNEUR PASSIF ALDÉHYDES

Les cartouches adsorbantes sont greffées avec du 2,4-DNPH (2,4-dinitrophénylhydrazine) qui est un réactif spécifique de la liaison C=O des aldéhydes et des cétones. Les hydrazones formées sont séparées par HPLC et détectées par absorption UV.

Les cartouches adsorbantes sont éluées avec de l'acétonitrile. Les hydrazones formées lors de l'exposition sont séparées par Chromatographie Liquide de Haute Performance et détectées par absorption UV.

Méthode d'analyse basée sur la norme NF X43-264.



ANNEXE III : VALEURS GUIDES SANITAIRES AFSSET POUR LE BENZÈNE

La réglementation française est pratiquement inexistante en ce qui concerne la pollution de l'air intérieur des locaux d'habitation. Seuls l'amiante, le radon et le plomb font l'objet d'une réglementation spécifique. Cependant, des valeurs guides sanitaires ont été proposées par l'AFSSET (Agence Française de Sécurité Sanitaire de l'Environnement et du Travail) pour quelques composés dont le benzène.

L'AFSSET propose des valeurs guides sanitaires de qualité d'air intérieur (VGAI) pour des expositions à court terme, intermédiaire et chronique prenant en compte les effets hématologiques du benzène.

VGAI long terme :

- 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour une durée d'exposition supérieure à un an, pour les effets hématologiques non cancérogènes.
- 2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour une durée d'exposition « vie entière », correspondant à un excès de risque de 10^{-5} , pour les effets hématologiques cancérogènes.

VGAI court terme :

- 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne sur 14 jours pour les effets hématologiques non cancérogènes prenant en compte des effets cumulatifs du benzène.

À titre d'information, le benzène fait l'objet de seuils à ne pas dépasser dans l'air ambiant en air extérieur, valeurs fixées par le code français de l'environnement (livre II titre II – article R221-1). L'objectif de qualité en air extérieur est de 2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle et la valeur limite est fixée à 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour l'année 2010.