

AICOLE

L'Air à l'Intérieur des éCOLEs en région Centre

Etat des lieux de la qualité de l'air à l'intérieur des classes



Janvier 2010

Lig'Air - Surveillance de la qualité de l'air en région Centre

3 rue du Carbone - 45 100 ORLEANS

Tel : 02.38.78.09.49 - Fax : 02.38.78.09.45 - Courriel : ligair@ligair.fr - Site internet : www.ligair.fr

SOMMAIRE

I- Introduction et cadre de l'étude	3
II- Présentation de l'étude AICOLE.....	4
II-1 Choix des écoles	4
II-2 Polluants visés.....	6
II-3 Mise en œuvre et mode de fonctionnement	8
II-3-1 Méthodes et moyens mis en œuvre	8
<i>II-3-1-1 Evaluation de l'exposition à long terme</i>	<i>8</i>
<i>II-3-1-2 Evaluation de l'exposition à court terme.....</i>	<i>10</i>
II-3-2 Mesure des paramètres de confinement.....	11
II-3-3 Période des prélèvements.....	12
II-3-4 Comité de suivi et de communication	13
III- Résultats.....	13
III-1 Exposition à long terme.....	13
III-1-1 Limites liées à l'exploitation des données	13
III-1-2 Validation des moyennes annuelles.....	16
III-1-3 Evaluation de l'exposition à long terme	17
<i>III-1-3-1 Cas du formaldéhyde</i>	<i>17</i>
<i>III-1-3-2 Cas du benzène.....</i>	<i>19</i>
<i>III-1-3-3 Cas du dioxyde d'azote.....</i>	<i>20</i>
III-1-4 Comportement annuel des polluants mesurés	21
<i>III-1-4-1 Comportement annuel du formaldéhyde</i>	<i>22</i>
<i>III-1-4-2 Comportements annuels du benzène et du dioxyde d'azote.....</i>	<i>24</i>
III-2 Discussions et premières préconisations	26
III-2-1 Discussions.....	26
III-2-2 Les bonnes pratiques pour maîtriser l'exposition au formaldéhyde	31
IV- Conclusion et perspectives	34
ANNEXES.....	36

I- Introduction et cadre de l'étude

A la différence de la pollution de l'air extérieur, plus investiguée et faisant l'objet de réglementations, celle de l'air intérieur est restée relativement méconnue. Les études menées ces dix dernières années montrent que dans l'air intérieur des bâtiments confinés (faible ventilation), les concentrations des polluants primaires peuvent être largement supérieures à celles enregistrées dans l'air extérieur. La problématique de l'air intérieur prend encore plus d'importance lorsque nous considérons le budget espace temps. En effet, nous passons en moyenne 80% de notre temps (voir plus pour certaines populations sensibles comme les jeunes enfants, les malades et les personnes âgées) dans des environnements clos (habitation, bureau, école...).

L'environnement intérieur fait partie de la sphère privée, il est donc nettement plus difficile à investiguer. Il offre une grande diversité de situations de pollution, avec de nombreux agents physiques et contaminants chimiques ou microbiologiques, liés aux bâtiments, aux équipements, à l'environnement extérieur immédiat et au comportement des occupants. Les polluants détectés dans l'air intérieur ne sont pas nécessairement différents d'un environnement clos à l'autre^{1,2}. En revanche, les concentrations, en plus de leurs variations temporelles, peuvent subir des variations spatiales dépendantes de la nature et de la densité du mobilier, de l'activité et du comportement des occupants, des matériaux de construction, de la qualité de l'air extérieur de l'environnement proche, du débit d'air renouvelé, etc....

Les écoles font partie des environnements clos qui peuvent renfermer des niveaux de pollution relativement importants^{3, 4}. En effet, les écoles se distinguent des logements et des bureaux par une densité d'occupation et de mobilier plus importante, ce qui influence nécessairement l'environnement intérieur. Le nettoyage est beaucoup plus fréquent que dans les logements et les bureaux. En plus, les activités scolaires nécessitent l'utilisation, parfois en quantités élevées, de produits particuliers (craies, feutres, colles, peintures, ...). Ces produits dégagent dans l'air des polluants qui peuvent s'accumuler à l'intérieur des classes et atteindre des concentrations élevées. L'accumulation de ces polluants à l'intérieur des écoles est favorisée, entre autres, par une mauvaise ventilation⁵. En effet, contrairement aux bureaux, les systèmes de ventilation sont peu répandus dans les écoles maternelles et primaires françaises. Les systèmes de ventilation mécaniques, lorsqu'ils existent, sont souvent inadaptés ou défectueux et la ventilation par ouvrant n'est parfois pas effective, pour des raisons de sécurité et/ou d'économie d'énergie⁵.

¹ Hiérarchisation sanitaire des paramètres mesurés dans les bâtiments par l'observatoire de la qualité de l'air intérieur. Observatoire de la qualité de l'air intérieur. Rapport final, novembre 2002.

² Impact énergétique et sanitaire du renouvellement d'air dans deux écoles. Observatoire de la qualité de l'air intérieur. Rapport final, novembre 2004.

³ Quelles mesures de gestion pour améliorer la qualité de l'air intérieur ? Jean-Marie QUEMENER, mémoire de fin d'étude à ENSP. Collection « Etudes et synthèse » de la Direction des Etudes Economiques et de l'Evaluation Environnementale (D4E), juin 2007.

⁴ Qualité de l'air intérieur dans les écoles : spécificités de la problématique et données disponibles, INERIS, Corinne Mandin, Journée air intérieur POLLUTECH, décembre 2005.

⁵ Qualité de l'air intérieur dans les écoles maternelles et primaires : spécificités de la problématique et implications en termes d'évaluation et de gestion des risques sanitaires. Béatrice Jédor, ENSP, 2005.

La qualité de l'air intérieur dans les écoles constitue une problématique tout à fait spécifique⁶. Les polluants détectés n'y sont pas nécessairement différents de ceux présents dans les autres environnements clos. En revanche, les concentrations peuvent y être plus élevées. Enfin et surtout, les écoles sont occupées par une population sensible, les jeunes enfants, ce qui confère à la problématique une dimension toute particulière. Elle fait l'objet de l'action 29 « Qualité des bâtiments accueillant des enfants » du Plan National Santé-Environnement (PNSE) et de sa déclinaison au niveau régional, PRSE de la région Centre.

La caractérisation de la qualité de l'Air à l'Intérieur des écoles « **AICOLE** » est une étude qui s'inscrit directement dans le PRSE de la région Centre (action 29). Elle vise, d'une part, la caractérisation des niveaux de polluants auxquels peuvent être exposés les enfants et les enseignants dans différentes typologies d'écoles primaires, et d'autre part, la sensibilisation des occupants des écoles à cette problématique, en les intégrant directement comme partenaires lors des campagnes de mesures. En outre, les résultats de cette étude permettront d'approcher les déterminants de cette exposition et d'élaborer un guide d'actions préventives à mettre en œuvre afin de réduire et maîtriser cette exposition.

Cette étude a été réalisée en partenariat avec le rectorat et les inspections académiques ainsi que 25 mairies de la région Centre, et avec le soutien financier de la Région Centre, de la DRASS et de la DRIRE.

II- Présentation de l'étude AICOLE

II-1 Choix des écoles

La définition d'un échantillon représentatif du parc des écoles primaires et maternelles de la région Centre, basée sur les données spécifiques à chaque établissement (date de construction ou de rénovation, équipement et mobilier, présence de système de ventilation, ...), s'avère très difficile par le manque de ces informations. A défaut d'avoir un échantillon des établissements scolaires représentatif du parc régional existant, AICOLE s'est intéressée à un échantillon d'écoles traduisant, d'une part, la représentativité spatiale des écoles sur la région Centre, et d'autre part, les caractères rural et urbain des écoles régionales. Ainsi, au minimum, 4 écoles, 2 rurales et 2 urbaines, ont été définies sur chacun des 6 départements que compte la région Centre (tableau 1).

département	Nombre d'écoles	Rurales / urbaines
Cher (18)	5	3 / 2
Eure-et-Loir (28)	4	2 / 2
Indre (36)	4	2 / 2
Indre-et-Loire (37)	4	2 / 2
Loir-et-Cher (41)	4	2 / 2
Loiret (45)	6	4 / 2

Tableau 1 : typologie des écoles et des classes étudiées dans chaque département

⁶ Qualité de l'air intérieur dans les écoles : spécificités de la problématique et données disponibles, INERIS, Corinne Mandin, Journée air intérieur POLLUTECH, décembre 2005.

Le choix des communes participantes a été réalisé en deux étapes.

Dans un premier temps 52 communes ont été sollicitées pour participer à cette étude. Ces communes ont été sélectionnées par rapport à leur localisation géographique mais aussi sur la base d'autres données communales telles que la densité de la population et l'occupation du sol. Ces 52 communes étaient déjà des partenaires de Lig'Air pour l'évaluation annuelle de la pollution de l'air extérieur lors des campagnes régionales réalisées en 2005 et 2007. AICOLE a suscité l'intérêt de 26 communes.

Dans un second temps, un questionnaire visant la réalisation d'un inventaire simplifié des écoles présentes sur chacune des communes (âge de l'école, la date de la dernière rénovation, présence ou non d'une classe CP⁷, ...) a été envoyé à ces communes. Suite à ce questionnaire, 23 communes ont été choisies. Les 3 autres ont été éliminées, pour l'une des deux raisons, soit qu'elles ne possédaient pas de classe de CP soit qu'elles étaient redondantes dans un même département avec d'autres communes. Au total, 25 écoles ont été sélectionnées sur les 23 communes retenues, auxquelles ont été ajoutées deux écoles référence (cf. II-3-1-1) situées dans le Loiret.

La figure 1 présente la localisation géographique des communes participantes. Les noms des écoles figurent dans le tableau 2.

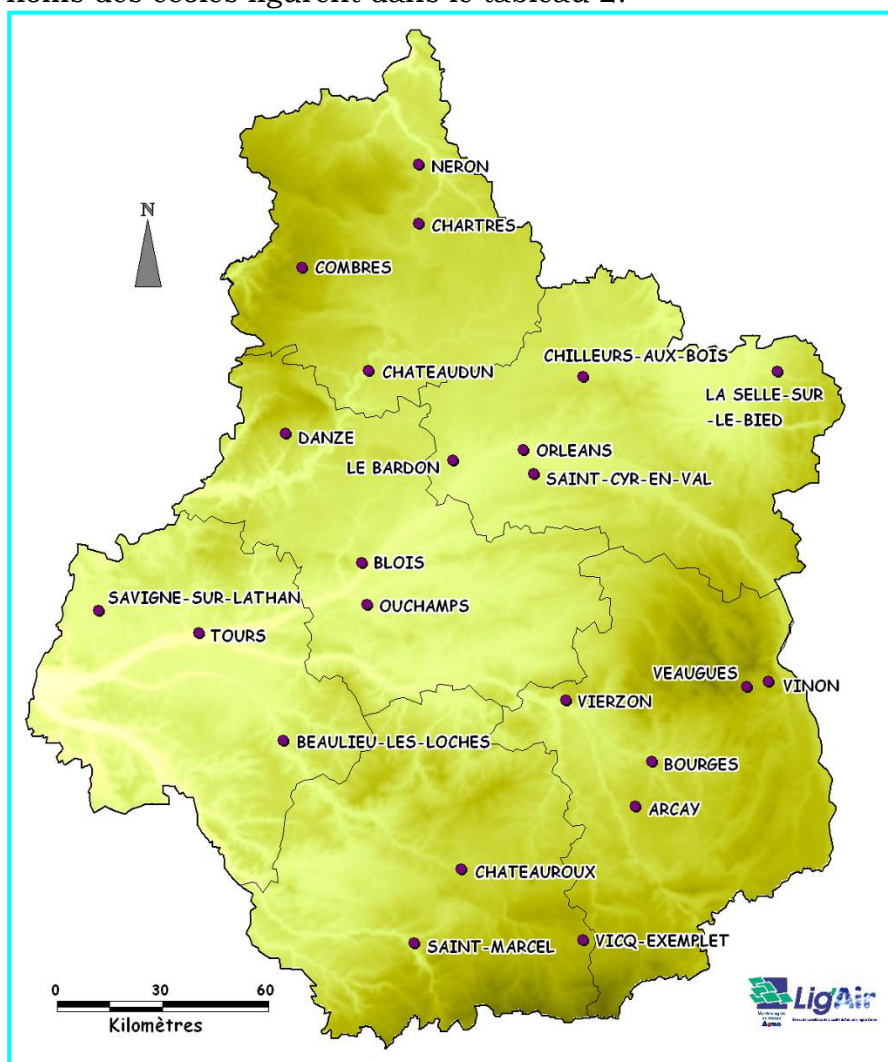


Figure 1 : Communes participant à l'étude AICOLE

⁷ La classe de CP est retenue comme classe référentielle dans le sens où beaucoup d'activités manuelles sont encore pratiquées (colle, feutres, peinture, ...) et non plus par petits groupes mais par la classe entière.

Département	Commune	Ecole	Type	Niveau de la classe
18	ARÇAY	Ecole primaire d'Arçay	Rural	CP, CE1, CE2
18	VINON	Ecole primaire de Vinon	Rural	CM1, CM2
18	VEAUGUES	Ecole publique de Veaugues	Rural	GS, CP
18	VIERZON	Ecole élémentaire Tunnel Château	Urbain	CP
18	BOURGES	Ecole primaire Nicolas Leblanc	Urbain	CP
28	NERON	Ecole primaire de Néron	Rural	GS, CP
28	COMBRES	Ecole primaire de Combres	Rural	CP
28	CHÂTEAUDUN	Ecole élémentaire République	Urbain	CP, CE1
28	CHARTRES	Ecole élémentaire Maurice de Vlaminck	Urbain	CP
36	VICQ-EXEMPLET	Ecole primaire de Vicq-Exemptet	Rural	CE1, CE2
36	SAINT-MARCEL	Ecole primaire Jean Jaurès	Rural	CP
36	CHÂTEAUROUX	Ecole élémentaire Michelet	Urbain	CP
36	CHÂTEAUROUX	Ecole élémentaire Les Marins/Claude Bernard	Urbain	CP
37	BEAULIEU-LES-LOCHES	Ecole primaire de Beaulieu-lès-Loches	Rural	CP
37	SAVIGNE-SUR-LATHAN	Ecole primaire de Savigné-sur-Lathan	Rural	CP
37	TOURS	Ecole élémentaire Molière	Urbain	CP
37	TOURS	Ecole élémentaire Mirabeau	Urbain	CP
41	OUCHAMPS	Ecole primaire d'Ouchamps	Rural	CE2
41	DANZE	Ecole primaire de Danzé	Rural	CP
41	BLOIS	Ecole des Hautes Saules	Urbain	CP
41	BLOIS	Ecole élémentaire Charcot	Urbain	CP
45	LA SELLE SUR LE BIED	Ecole primaire	Rural	CP
45	CHILLEURS-AUX-BOIS	Ecole primaire de Chilleurs-aux-Bois	Rural	CP
45	LE BARDON	Ecole maternelle de Le Bardon	Rural	PS*
45	SAINT-CYR-EN-VAL	Ecole élémentaire Claude de Loynes	Rural	CP
45	ORLEANS	Ecole élémentaire Jacques Androuet du Cerceau	Urbain	CP
45	ORLEANS	Ecole élémentaire Romain Rolland	Urbain	CP

* PS = Petite Section. Cette classe a été intégrée à l'étude suite à des plaintes.

Tableau 2 : écoles sélectionnées pour l'étude AICOLE

II-2 Polluants visés

Les études multi-polluants (hors contaminants biologiques et allergènes) dans les écoles maternelles et primaires, et plus généralement dans les lieux de vie fréquentés par les enfants, font état d'une forte présence des aldéhydes à l'intérieur des locaux. La présence de composés organiques volatils, autres que les aldéhydes, a aussi été notée. Les ratios intérieur/extérieur de certains COV varient en fonction des activités scolaires, des produits d'entretien des locaux, de la localisation géographique de l'école (proximité des axes routiers), ... Pour les polluants classiques : ozone O₃, monoxyde de carbone CO et dioxyde d'azote NO₂, les concentrations à l'intérieur sont généralement plus faibles qu'à l'extérieur et elles sont largement conditionnées par l'environnement immédiat de l'école, en particulier pour le CO et le NO₂ (présence d'axe routier). Enfin, des composés chimiques, moins classiques, tels que les HAP, les pesticides, les phtalates, les PCB et les éthers de glycol peuvent aussi être observés dans l'air intérieur des écoles^{8, 9}.

⁸ Hiérarchisation sanitaire des paramètres mesurés dans les bâtiments par l'observatoire de la qualité de l'air intérieur. Observatoire de la qualité de l'air intérieur. Rapport final, novembre 2002.

⁹ Lieux de vie fréquentés par les enfants : Typologie et qualité de l'air intérieur. Observatoire de la qualité de l'air intérieur. Rapport final, juillet 2006.

AICOLE est une étude multi-polluants de longue durée (1 année scolaire). Sa réalisation devait se faire sans occasionner de grande gêne dans le déroulement de la scolarité. Par conséquent, le choix des polluants à suivre s'est limité à ceux qui possèdent une Valeur Guide de l'Air Intérieur (VGAI) ou qui font partie des polluants jugés prioritaires par l'AFSSET¹⁰ pour l'élaboration des VGAI et qui peuvent être prélevés par des méthodes passives simples à mettre en œuvre.

Trois principaux polluants ont donc été visés : Formaldéhyde, Benzène et Dioxyde d'azote. Les concentrations en benzène obtenues lors de cette étude seront comparées à la VGAI long terme de ce polluant (10 µg/m³). En ce qui concerne le dioxyde d'azote et devant l'absence de VGAI pour ce polluant, les concentrations obtenues seront comparées à la valeur limite de NO₂ applicable en air extérieur (42 µg/m³ pour l'année 2009).

Le cas du formaldéhyde est différent des deux premiers polluants. En effet, il est le seul polluant qui possède à l'heure actuelle des valeurs repères d'aide à la gestion dans l'air des espaces clos¹¹. Ces valeurs, établies par le Haut Conseil de la Santé Publique, permettent, en fonction des concentrations mesurées, de classer les bâtiments concernés sur une échelle de A à C et de donner des préconisations spécifiques à chacune des classes (tableau 3). Les concentrations en formaldéhyde, mesurées dans cette étude, seront comparées et discutées par rapport à ces valeurs de gestions.

Valeurs repères	Intitulé	Préconisations - Caractérisation du bâtiment
10 µg/m ³	Valeur cible ou VGAI à long terme de l'Afsset	[formaldéhyde] ≤ 10 µg/m ³ Aucune préconisation. Bâtiment qualifié de catégorie A+. En 2019, cette valeur doit être respectée dans tous les espaces clos.
30 µg/m ³ (en 2009)	Valeur repère de qualité d'air - Seuil diminué chaque année de 2 µg/m ³ pour atteindre la valeur cible en 2019	Si 10 µg/m ³ < [formaldéhyde] < 30 µg/m ³ Aucune action corrective spécifique. En cas de travaux ou de changement d'ameublement, choisir des matériaux moins émissifs. Bâtiment qualifié de catégorie A
50 µg/m ³ (en 2009)	Valeur d'information et de recommandation - Seuil diminué chaque année de 4 µg/m ³ pour atteindre la valeur cible en 2019	- Si 30 µg/m ³ ≤ [formaldéhyde] ≤ 50 µg/m ³ Bâtiment qualifié de catégorie B. Agir dans un premier temps sur la ventilation du local et/ou sur les comportements des occupants, pour ramener les niveaux en dessous de 30 µg/m ³ . - Si 50 µg/m ³ < [formaldéhyde] ≤ 100 µg/m ³ Bâtiment qualifié de catégorie C. Il est nécessaire, dans un délai de quelques mois, d'identifier la ou les source(s) principale(s) et de la (les) réduire en engageant des actions appropriées
100 µg/m ³	Valeur d'action rapide	Si 100 µg/m ³ < [formaldéhyde] Bâtiment qualifié de catégorie C. Identifier la ou les sources principales et les neutraliser dans le mois suivant les mesures afin d'obtenir des niveaux inférieurs à la valeur repère de qualité d'air.

Tableau 3 : valeurs repères d'aide à la gestion dans l'air des espaces clos pour le formaldéhyde¹⁰.

¹⁰ Valeurs guides de qualité de l'air intérieur. Documents cadres et éléments méthodologiques. AFSSET, juillet 2007.

¹¹ Valeurs repères d'aide à la décision dans l'air des espaces clos : Le formaldéhyde. Octobre 2009.

Enfin, en plus de ces trois polluants, l'acétaldéhyde, le propanal, le butyraldéhyde, le benzaldéhyde, le valéraldéhyde et l'isovaléraldéhyde ont été aussi suivis lors de l'étude AICOLE.

II-3 Mise en œuvre et mode de fonctionnement

II-3-1 Méthodes et moyens mis en œuvre

AICOLE vise la quantification des concentrations auxquelles sont exposés, à long et court terme, les occupants des classes. Afin d'atteindre cet objectif, deux méthodes de prélèvements ont été mises en œuvre pour qualifier les concentrations de chaque type d'exposition.

II-3-1-1 Evaluation de l'exposition à long terme

Comme nous l'avons dit précédemment, l'évaluation de l'exposition à long terme se fait au regard des valeurs de gestion pour le formaldéhyde et par rapport à la VGAI long terme et la valeur limite annuelle en air extérieur respectivement pour le benzène et le dioxyde d'azote. Afin d'approcher cette évaluation de manière objective, les mesures sont réalisées tout au long de l'année scolaire (hors vacances et week-end) sur l'ensemble des écoles.

Moyens techniques mis en œuvre

Les techniques de prélèvements mises en œuvre, pour cette évaluation, sont basées sur l'échantillonnage passif. Ce type de prélèvement ne nécessite pas l'utilisation de pompe et n'introduit donc pas de nuisance sonore pouvant perturber le déroulement de l'enseignement.

Les polluants présents dans l'air, sont piégés sur un adsorbant par simple diffusion moléculaire. Chaque polluant est transféré naturellement de l'air vers l'adsorbant qui lui est spécifique. Cette méthode de prélèvement ne nécessite pas l'utilisation d'une pompe à air. Le module d'échantillonnage se présente sous la forme d'un tube rempli ou imprégné d'adsorbant, qui se fixe sur un kit de fixation (figure 2). Le tube, ainsi que son enveloppe externe, sont perméables à l'air afin de faciliter le transfert moléculaire.

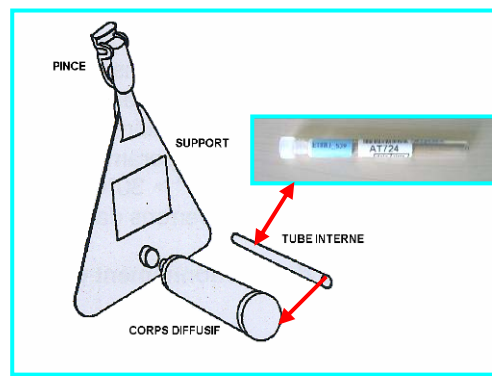


Figure 2 : module d'échantillonnage passif

Pour l'évaluation de la qualité de l'air extérieur, le module d'échantillonnage prend place dans une boîte de protection qui se fixe directement sur un poteau électrique ou un lampadaire. Dans l'air intérieur des classes, le module d'échantillonnage doit être installé de manière qu'il soit hors de portée des enfants pour des raisons de sécurité et qu'il ne gêne pas la circulation dans les salles afin de ne pas perturber le bon déroulement de la scolarité. Pour ces raisons, Lig'Air a mis en place un dispositif de fixation (photo 1) adapté au module d'échantillonnage (photo 2) dans les environnements clos et en particulier dans les classes des écoles. Il se présente sous forme d'une barre métallique (photo 1) facilement adaptable (photo 3) aux différents supports susceptibles d'exister dans les classes (armoire, étagère...).

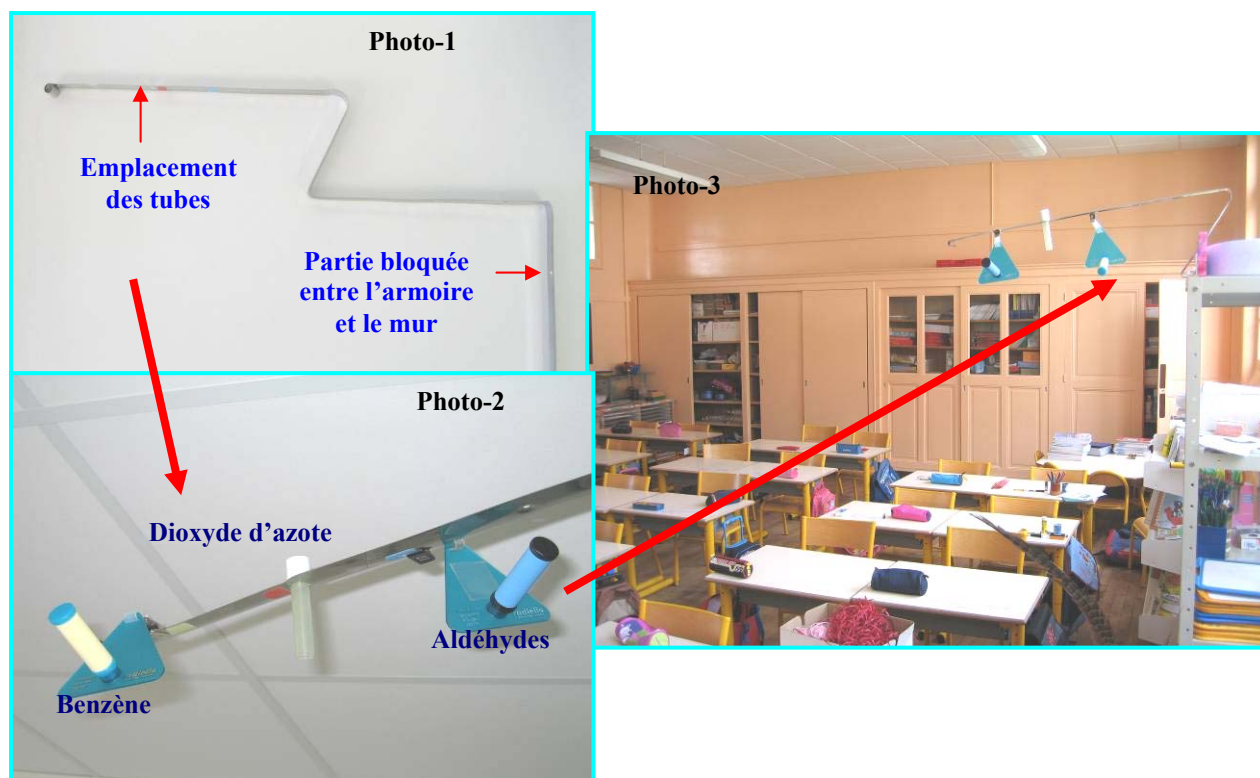


Figure 3 : dispositif mis en place pour l'échantillonnage passif dans les classes étudiées

Ce dispositif permet le maintien, de façon robuste, des modules d'échantillonnage passifs en utilisant les supports existants dans les classes. Dans le cas où aucun support n'existe en classe, ce qui est assez rare, le dispositif est fixé directement sur le mur tout en assurant une distance minimale de 50 cm entre le mur et le dispositif du prélèvement.

Mode de fonctionnement

Afin d'avoir une homogénéité des prélèvements et pour minimiser les gênes occasionnées dans le déroulement de la scolarité, les prélèvements ont été réalisés sur un pas d'échantillonnage hebdomadaire, à raison d'un prélèvement par mois, hors vacances scolaires pour les 25 écoles sélectionnées. Les prélèvements ont débuté à l'ouverture des classes le lundi matin, et ont fini à la fermeture des classes le vendredi après-midi. La journée du mercredi est comptée dans l'échantillonnage.

A ces 25 écoles, ont été ajoutées deux écoles, dans lesquelles l'échantillonnage est réalisé chaque semaine de la période scolaire et non seulement une semaine par mois comme dans les autres écoles. Les concentrations enregistrées dans ces deux écoles, seront utilisées, entre autres, pour valider les moyennes annuelles observées dans les autres écoles (cf. III-1-3). Ces deux écoles sont nommées « écoles de référence » l'une à caractère périurbain et l'autre urbain.

Les deux écoles de référence ont été choisies de façon à être les plus proches du siège de Lig'Air. Les prélèvements dans ces deux écoles ont été gérés par le personnel de Lig'Air. Ainsi, deux fois par semaine scolaire, une personne de Lig'Air se déplace dans ces deux écoles pour la pose et dépose des préleveurs.

Compte tenu du nombre d'écoles visées par AICOLE et de leur éloignement géographique, ce mode de fonctionnement ne peut être appliqué à l'ensemble des

sites étudiés. Le personnel de Lig'Air est insuffisant pour gérer à lui seul ces prélèvements dans de bonnes conditions, tout en assurant le reste de son activité.

Associer et impliquer les occupants de la classe, en particulier les professeurs des écoles, à cette étude en leur confiant la gestion des poses et déposes des préleveurs passifs, était la meilleure solution. Après accord du Rectorat de l'académie Orléans-Tours, les enseignants volontaires ont été formés à la manipulation des préleveurs par le personnel de Lig'Air. Un manuel d'utilisation rappelant, entre autres les bonnes pratiques, leur a été aussi confié.

Ce mode de fonctionnement a déjà fait ses preuves, lors des études régionales annuelles en air extérieur, menées par Lig'Air, en collaboration directe avec une cinquantaine de communes. Ces dernières avaient la charge des poses et déposes des préleveurs passifs.

Le planning des prélèvements est géré par Lig'Air. Avant chaque période de prélèvement, Lig'Air adresse aux enseignants participants un courrier contenant les préleveurs passifs, une enveloppe réponse affranchie et un questionnaire d'activité. Le lundi matin de la semaine des prélèvements, chaque enseignant installe les tubes sur le dispositif d'échantillonnage (figure 3) suivant le manuel mis à sa disposition. A la fin des cours le vendredi après-midi, les tubes sont retirés et conditionnés dans leurs étuis, puis envoyés à Lig'Air avec le questionnaire d'activité, à l'aide de l'enveloppe réponse mise à leur disposition. Le questionnaire d'activité contient les dates et heures de la pose et dépose des tubes mais aussi des informations sur les activités et les produits utilisés en classe, lors de cette semaine.

L'implication directe du corps enseignant dans cette étude facilite, d'une part sa mise en œuvre et sa réalisation, et d'autre part, elle contribue à une meilleure sensibilisation du milieu scolaire à la problématique de la pollution de l'air intérieur.

Les tubes sont rassemblés à Lig'Air et envoyés aux laboratoires pour être analysés. Les concentrations obtenues après analyses sont des concentrations moyennées sur la totalité de la période d'échantillonnage.

II-3-1-2 Evaluation de l'exposition à court terme

L'évaluation de l'exposition à court terme se fait au regard des VGAI à court terme. Parmi les polluants visés dans AICOLE, seul le formaldéhyde est doté d'une VGAI à court terme ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sur 2 heures). Par conséquent, il est le seul polluant à être suivi pour l'évaluation de cette exposition.

La technique de prélèvement utilisée dans cette partie est complètement différente de celle utilisée pour l'évaluation à long terme. Elle est basée sur la technique des prélèvements actifs. Elle nécessite l'utilisation d'une pompe (figure 4) qui aspire l'air à travers un piège spécifique aux aldéhydes (famille chimique du formaldéhyde). Le piège se présente sous la forme d'une



Figure 4 : dispositif mis en place pour les prélèvements de courte durée.

ampoule (figure 4) remplie d'un composé chimique capable de piéger spécifiquement chaque aldéhyde à son contact.

La méthode utilisée est donc plus complexe que l'utilisation des préleveurs passifs, par conséquent, ces prélèvements n'ont pas été confiés aux professeurs des écoles mais assurés par le personnel technique de Lig'Air.

Toutes les classes étudiées dans le cadre d'AICOLE n'ont pas été concernées par ces prélèvements. Une hiérarchisation de ces classes a été effectuée à partir des résultats obtenus lors de l'évaluation de l'exposition à long terme, afin d'obtenir une liste restreinte des établissements pouvant faire l'objet de prélèvements à courte durée. La priorité a été donnée aux classes dont les concentrations en formaldéhyde étaient dans les extrêmes (fortes et faibles) tout en intégrant une classe dont les concentrations sont représentatives des niveaux moyens observés. Au final, 4 classes ont été sélectionnées : une classe appartenant à l'une des deux écoles de référence dont les concentrations en formaldéhyde sont plutôt représentatives des niveaux moyens, deux classes dans lesquelles les concentrations annuelles en formaldéhyde étaient parmi les plus élevées et une classe dans laquelle la concentration en formaldéhyde était parmi les plus faibles.

Chacune de ces 4 classes a fait l'objet de 4 prélèvements successifs sur un pas de deux heures. Outre la comparaison des concentrations obtenues par rapport à la VGAI du formaldéhyde, ces prélèvements permettront d'approcher le comportement de ce polluant au cours d'une journée scolaire et mettre ainsi en relief les tranches horaires les plus « chargées ». Les prélèvements actifs ont été réalisés dans les écoles de Tours Molière, Orléans Romain Rolland, Combres et Vierzon Tunnel Château.

Les résultats des mesures actives ne sont pas discutés dans ce rapport. Ils seront intégrés avec d'autres résultats, dans un rapport complémentaire. Néanmoins, les premières observations sont présentées en annexe 1.

II-3-2 Mesure des paramètres de confinement

La présence des fortes concentrations en polluants dans les environnements clos est généralement liée au faible taux de renouvellement d'air. A défaut de mesurer le renouvellement d'air, nous avons suivi les paramètres de confinement tels que les concentrations en gaz carbonique (CO₂), température et humidité relative à l'intérieur de certaines classes.

Ce suivi a été réalisé à l'aide d'un analyseur qui mesure instantanément l'ensemble de ces paramètres (figure 5).

Lig'Air dispose de 3 analyseurs de ce type. Un a été installé dans l'une des deux écoles de référence. Le second analyseur a été installé prioritairement dans les classes qui montraient la présence de niveaux relativement importants en formaldéhyde. Et enfin le troisième a été utilisé dans une classe où les niveaux en formaldéhyde étaient relativement moins importants. Les paramètres de confinement ont été aussi



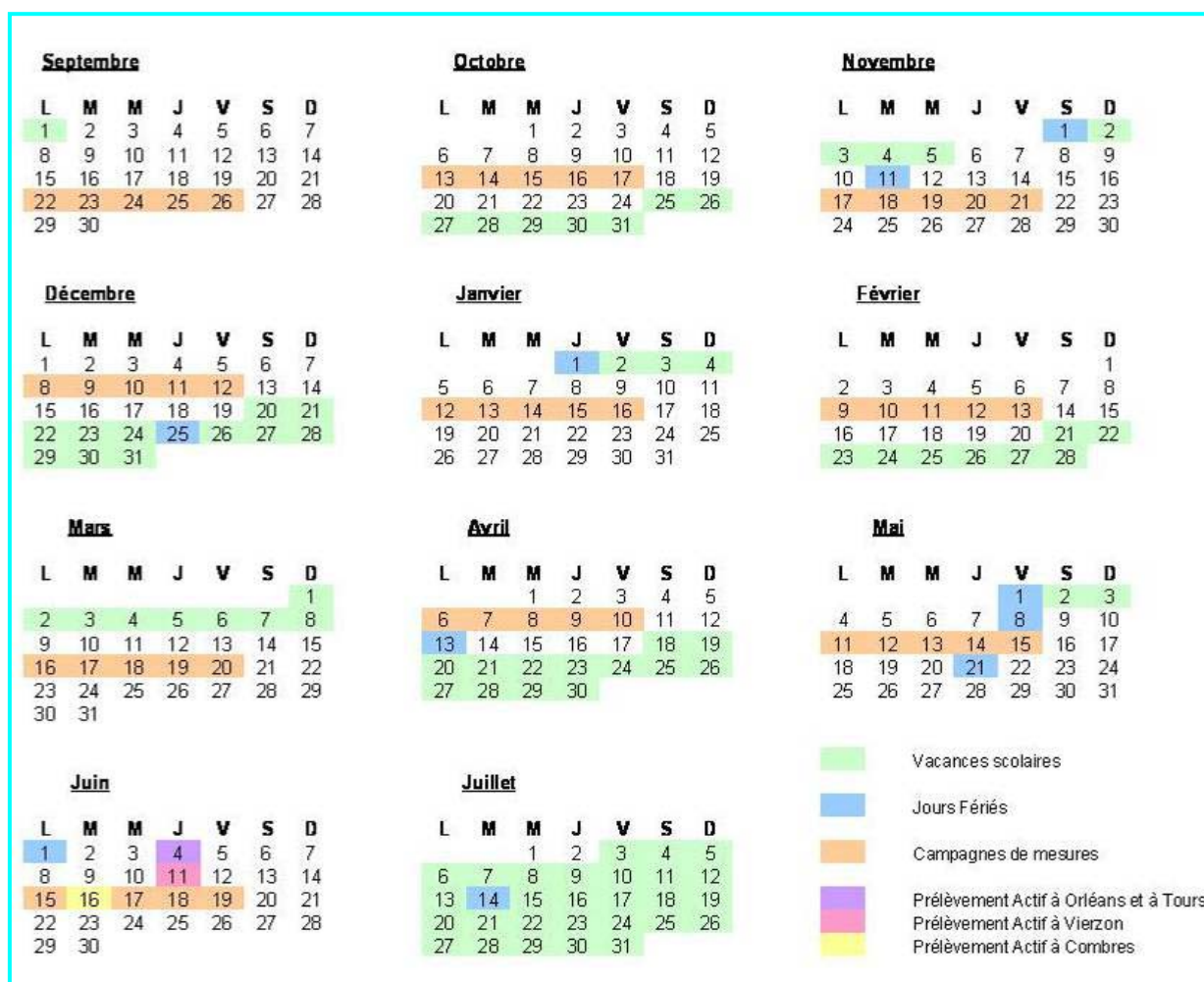
Figure 5 : appareil de mesures des paramètres de confinement

suivis pendant les prélèvements de courtes durées. Les écoles où des mesures de confinement ont été réalisées sont Tours Molière, Saint-Cyr-en-Val et Vierzon Tunnel Château.

Les résultats des mesures de confinement ne sont pas discutés dans ce rapport. Ils seront intégrés avec d'autres résultats, dans un rapport complémentaire. Néanmoins, les premières observations sont présentées en annexe 2.

II-3-3 Période des prélèvements

Les prélèvements se sont déroulés durant toute l'année scolaire de septembre 2008 à juin 2009 à raison d'une semaine de mesure par mois, en dehors des vacances scolaires et des jours fériés suivant le planning ci-dessous.



Pour les deux écoles de référence, les prélèvements ont été réalisés chaque semaine scolaire. Pour toutes les écoles, les mesures débutaient le lundi matin pour se terminer le vendredi après-midi.

Les prélèvements de courte durée ont été réalisés durant le mois de juin dans des écoles appartenant aux communes de Combres, Vierzon, Tours et Orléans.

II-3-4 Comité de suivi et de communication

Dans le cadre de l'étude AICOLE, un comité de suivi et de communication a été créé. Ce comité composé par la DRIRE, la DRASS, la Région Centre, le Rectorat de l'Académie Orléans-Tours, l'ADEME, des représentants des communes participantes et Lig'Air, suivait le déroulement de l'étude à travers des réunions périodiques durant lesquelles Lig'Air présentait les résultats. Il avait la charge d'alerter les décideurs dans le cas où des concentrations anormalement élevées, en comparaison avec les études existantes, auraient été observées dans l'une des classes étudiées.

Dans le cadre de ce comité, une journée d'information et de sensibilisation destinée aux conseillers d'hygiène et sécurité des inspections académiques, a été organisée en novembre 2008. Le but de cette journée était de former des interlocuteurs départementaux, afin de répondre aux questionnements et aux inquiétudes, susceptibles d'être suscités par l'étude AICOLE.

Dans un objectif de prévention, le comité de suivi et de communication a décidé, lors de sa dernière réunion, de publier les premiers résultats d'AICOLE, afin d'informer les décideurs locaux, sur la qualité de l'air intérieur des classes étudiées et de mettre en œuvre, dès le début de l'année scolaire 2009-2010, les mesures correctives pour améliorer la qualité de l'air intérieur dans ces classes - mesures qui pourront être généralisées à l'ensemble des établissements scolaires.

III- Résultats

Seuls les résultats relatifs aux concentrations en formaldéhyde, benzène et dioxyde d'azote, sont présentés dans ce rapport. Ces concentrations sont discutées par rapport aux VGAI à long terme pour les deux premiers polluants et par rapport à la valeur limite annuelle en air extérieur pour le NO₂.

Les résultats du dépouillement des questionnaires d'activité et les relations susceptibles d'exister entre activités en classe et concentrations mesurées, seront discutés et présentés dans un prochain rapport.

Les résultats relatifs aux autres polluants mesurés, notamment les aldéhydes, sont présentés à titre indicatif en annexe 3.

III-1 Exposition à long terme

III-1-1 Limites liées à l'exploitation des données

La détermination de l'exposition à long terme est estimée sur chacune des classes étudiées à partir de 10 valeurs à raison d'une concentration hebdomadaire par mois scolaire. Cette estimation est faite sur l'année scolaire et non sur l'année civile. Elle constitue donc une indication, et non une valeur absolue, de cette exposition.

Cette évaluation est basée sur les prélèvements hebdomadaires réalisés en collaboration avec les enseignants. Tous les prélèvements devaient commencer le lundi matin à l'ouverture des classes, et finir le vendredi après-midi à leur fermeture. Le temps d'exposition théorique devait donc être aux alentours de 4,5 jours. Cependant, dans la pratique, cette durée d'exposition n'a pas toujours été

respectée. Elle a présenté des variations allant de 2 jours à 42 jours d'exposition (figure 6). En effet, il est arrivé que certains capteurs aient été oubliés et soient restés en mode prélèvement sur des périodes d'échantillonnage bien plus longues que la période théorique de 4,5 jours et même au-delà de la période de validation technique de 7 jours (période maximale durant laquelle les prélèvements doivent être faits. Au-delà de 7 jours les prélèvements perdent leur validité technique).

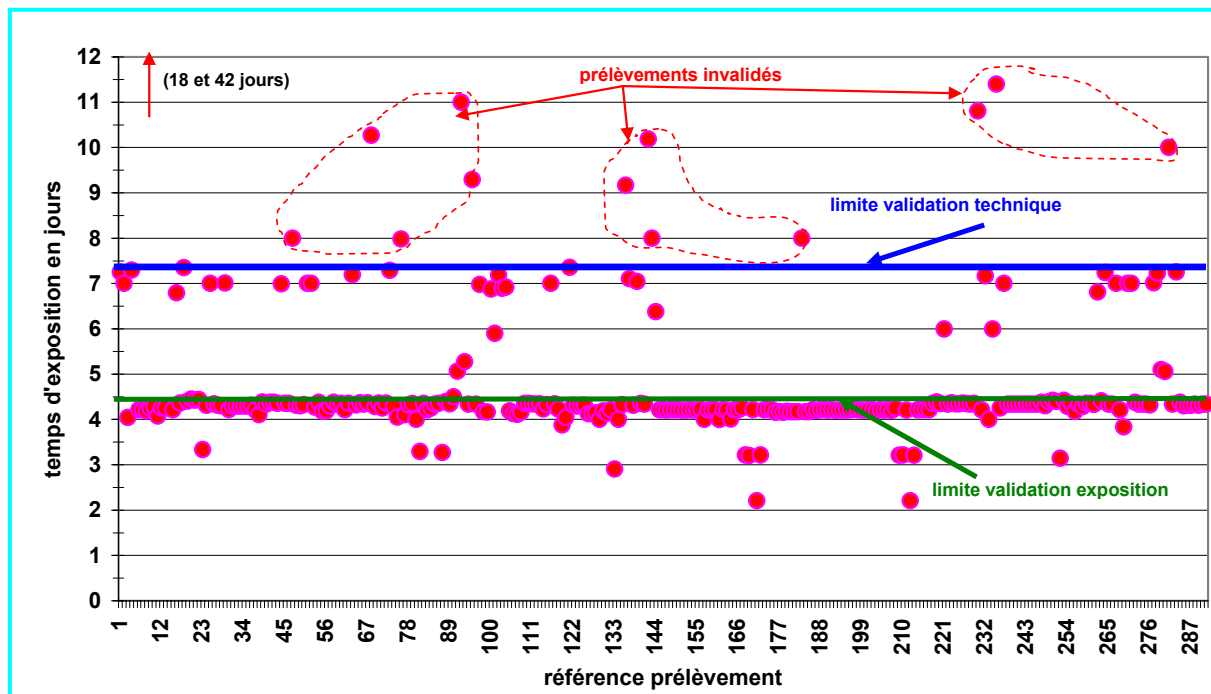


Figure 6 : temps d'exposition des prélèvements

Les prélèvements effectués sur des périodes supérieures à la période de validation technique ont été invalidés. Cette invalidation concerne un total de 14 prélèvements sur l'ensemble de la campagne de mesure.

Les prélèvements réalisés dans un temps inférieur à la durée théorique correspondent aux semaines comprenant des ponts ou des jours fériés. Ces prélèvements restent représentatifs de l'exposition des occupants des classes, et seront donc pris en compte dans le calcul des moyennes annuelles.

Au total, 274 prélèvements sont validés techniquement dont 86% ont été réalisés sur des périodes fluctuant aux alentours de 4,5 jours et donc représentatifs de l'exposition des occupants des classes. Les 14% restants, soit 39 prélèvements, ont été réalisés globalement du lundi au lundi incluant par conséquent les samedis et les dimanches. Ces prélèvements ne sont pas représentatifs des périodes d'exposition des occupants des classes, mais ils ont été réalisés sur des pas de temps qui respectent la validité technique. Par conséquent et compte tenu du peu d'informations que nous possédons sur la qualité de l'air intérieur en général, nous avons décidé de ne pas invalider ces prélèvements et de les utiliser pour améliorer l'information, en particulier sur les sites qui n'ont pas beaucoup de données représentatives de l'exposition des occupants des classes (tableau 4). En ce qui concerne l'évaluation de l'exposition à long terme, et afin d'avoir des données homogènes sur l'ensemble des classes étudiées, nous avons décidé de ne prendre en compte que les prélèvements représentatifs de cette exposition. Ceci implique, bien évidemment, que la représentativité des données par rapport à la moyenne annuelle sera différente d'une école à l'autre. Elle est médiocre pour l'école d'Arçay (1 seul prélèvement sur 10 est utilisé tableau 4) et bonne pour les classes des écoles de Néron, Chilleurs-aux-Bois et pour l'école Molière à Tours (10 prélèvements sur

10 sont utilisés tableau 4) ainsi que pour les deux écoles de références (écoles sur fond jaune du tableau 4). Dans le cas de l'école d'Arçay, l'incertitude sur les concentrations en formaldéhyde liée à la variabilité temporelle est estimée à 78%⁽¹²⁾. Cette incertitude est estimée à environ 29%⁽¹⁰⁾ sur une moyenne calculée sur deux prélèvements, l'un en période froide et l'autre en période chaude. Le tableau 4 montre que 24 écoles sur les 27 possèdent au minimum 5 prélèvements représentatifs de l'exposition des occupants. L'incertitude liée à la variabilité temporelle pour ces écoles doit donc être inférieure à 29%. Pour les deux écoles restantes (école de J. A. du Cerceau à Orléans et l'école de Vicq-Exempt), elles possèdent 3 prélèvements et par conséquent l'incertitude devrait être au plus égale à 29%.

	Formaldéhyde		Benzène		Dioxyde d'azote	
	Nombre total de mesures valides	Nombre de mesures liées à l'exposition	Nombre total de mesures valides	Nombre de mesures liées à l'exposition	Nombre total de mesures valides	Nombre de mesures liées à l'exposition
Arçay	4	1	4	1	4	1
Orléans J A du Cerceau	6	3	6	3	6	3
Vicq-Exempt	6	3	7	4	7	4
Vierzon	9	5	7	4	8	5
Blois Hautes Saules	7	5	7	5	7	5
Combres	8	5	8	5	8	5
Savigné-sur-Lathan	8	5	8	5	8	5
Danzé	10	5	10	5	10	5
Blois Charcot	8	6	8	6	6	4
Veaugues	8	6	8	6	8	6
Châteauroux Michelet	8	7	7	6	8	7
Le Bardon	8	7	8	7	7	7
Chartres	8	7	8	7	9	8
Beaulieu-lès-Loches	8	8	8	8	8	8
Châteaudun	10	8	10	8	10	8
Vinon	10	9	9	8	10	9
Ouchamps	9	9	9	9	9	9
Tours Mirabeau	9	9	9	9	9	9
Châteauroux Claude Bernard 1	10	9	10	9	10	9
La Selle sur le Bied	10	9	10	9	10	9
Saint-Marcel	10	9	10	9	10	9
Bourges	9	9	9	9	10	10
Tours Molière	10	10	9	9	10	10
Chilleurs-aux-Bois	10	10	10	10	10	10
Néron	10	10	10	10	10	10
Orléans Romain Rolland	30	30	29	31	31	31
Saint-Cyr-en-Val	31	31	31	31	31	31

Tableau 4 : nombre de mesures valides par site de mesures et par polluant (sur fond jaune les deux écoles de référence)

¹² Groupe de travail de la Commission Spécialisée Risque liés à l'Environnement (CSRE) : Valeurs repères d'aide à la gestion dans l'air des espaces clos. Présentation de la démarche méthodologique. Octobre 2009

III-1-2 Validation des moyennes annuelles

En dehors des deux écoles référence, l'exposition à long terme sera évaluée sur chacune des classes étudiées, à partir d'une moyenne partielle calculée au maximum sur 10 valeurs à raison d'une valeur par mois durant l'année scolaire. La représentativité de cette moyenne partielle par rapport à la moyenne annuelle, a été évaluée sur les données récoltées sur les deux écoles de référence. Rappelons ici, que ces deux écoles ont été surveillées tout au long de l'année scolaire et non de façon fractionnée comme les 25 autres écoles.

Dans le tableau 5 sont comparées les moyennes annuelles et les moyennes partielles obtenues sur les deux écoles de référence. Les moyennes annuelles sont calculées sur l'ensemble des valeurs (une valeur par semaine). Les moyennes partielles sont calculées uniquement sur les périodes durant lesquelles l'ensemble des 27 écoles ont été surveillées.

		Orléans-R. Rolland	St-Cyr-en-Val-C. De Loynes
Formaldéhyde	moyenne sur l'année	20,6	19,3
	moyenne partielle	20,9	19,6
Dioxyde d'azote	moyenne sur l'année	10,4	8,9
	moyenne partielle	10,4	7,3
Benzène	moyenne sur l'année	1,2	1,1
	moyenne partielle	1,1	1,0

Tableau 5 : comparaison des moyennes partielles par rapport aux moyennes annuelles, enregistrées sur les deux écoles de référence

La première lecture de ce tableau montre clairement qu'en valeur absolue, les moyennes partielles sont largement représentatives des moyennes annuelles.

L'écart le plus important ($1,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$) entre ces moyennes a été observé sur les niveaux du dioxyde d'azote, à l'école de référence Claude de Loynes de Saint-Cyr-en-Val. Donnant une représentativité de 82% de la moyenne annuelle. Pour ce même polluant, la représentativité est à 100% sur l'école Romain Rolland à Orléans.

En ce qui concerne le formaldéhyde, une surestimation d'environ 1,5% est notée sur les deux écoles de référence.

L'utilisation des moyennes partielles en benzène introduit une sous-estimation d'environ 9% des moyennes annuelles de ce polluant sur les deux écoles de référence.

Enfin le tableau 5 montre que l'évaluation de la moyenne annuelle, à partir des moyennes partielles, introduit un écart relatif qui varie en fonction du polluant et du site. Ces écarts sont inférieurs à 10% dans le cas du formaldéhyde et du benzène et ils peuvent atteindre 18% dans le cas du dioxyde d'azote.

Par conséquent, les moyennes annuelles, fournies dans ce rapport, doivent être considérées comme des estimations dont les représentativités minimales sont proches de celles observées sur les deux écoles de référence et suivant le polluant considéré.

III-1-3 Evaluation de l'exposition à long terme

III-1-3-1 Cas du formaldéhyde

Les concentrations moyennes, minimales et maximales, en formaldéhyde dans chacune des classes étudiées, figurent dans le tableau 6. Elles sont aussi présentées sur la figure 7 suivant les valeurs repères d'aide à la gestion proposées par le Haut Conseil de la Santé Publique (HCSP)¹³ pour les bâtiments existants, privés et publics.

écoles	Moy	Min	Max	écoles	Moy	Min	Max
Combres	50	31	64	Chartres	17	12	23
Vierzon	41	25	56	Beaulieu-lès-Loches	16	10	21
Blois Hautes Saules	38	28	45	Néron	16	11	26
Vicq-Exempt	34	23	40	La Selle sur le Bied	16	13	18
Châteauroux Michelet	29	17	53	Arçay	15	15	15
Châteaudun	28	18	35	Veaugues	14	11	17
Châteauroux Claude Bernard 1	27	20	37	Vinon	14	9	20
Blois Charcot	26	17	46	Ouchamps	13	8	17
Danzé	22	17	28	Tours Molière	12	7	18
Chilleurs-aux-Bois	21	14	28	Bourges	12	5	16
Orléans Romain Rolland	21	13	32	Saint-Marcel	11	7	16
Tours Mirabeau	20	12	33	Orléans J A du Cerceau	10	7	15
Saint-Cyr-en-Val	19	10	35	Le Bardon	8	5	12
Savigné-sur-Lathan	19	13	24				

Tableau 6 : concentrations moyennes, minimales et maximales, en formaldéhyde ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) en air intérieur des écoles (campagne AICOLE année scolaire 2008/2009)

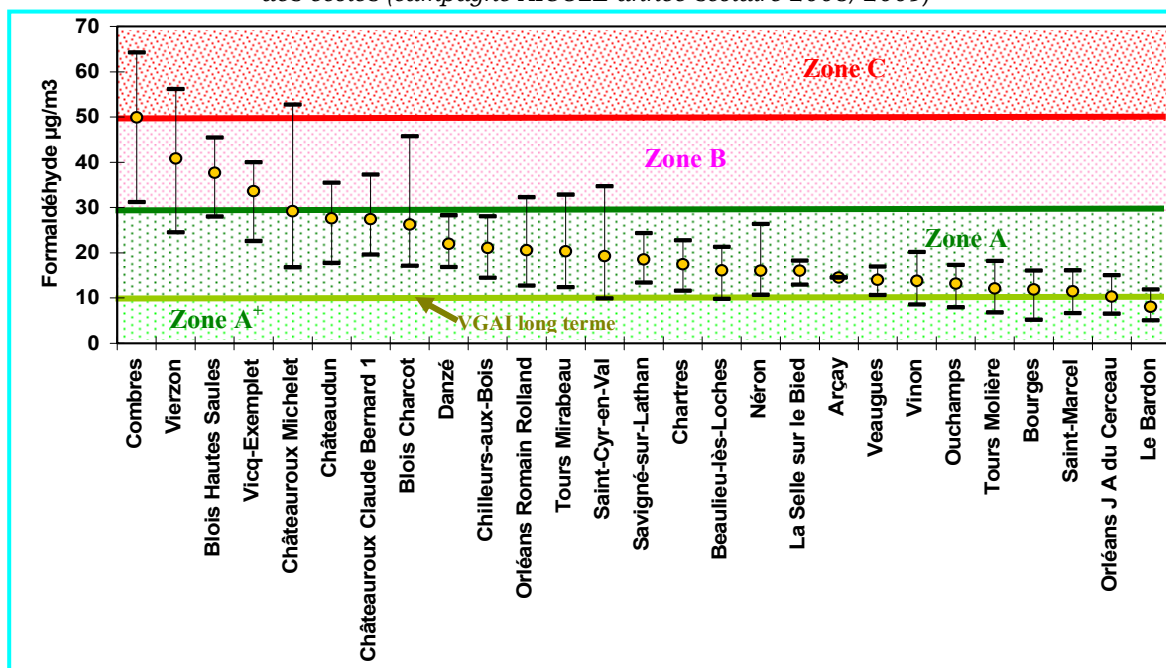


Figure 7 : concentrations en formaldéhyde et valeurs de gestion (étude AICOLE année scolaire 2008/2009)

¹³ Valeurs repères d'aide à la gestion dans l'air des espaces clos : Le formaldéhyde. Groupe de travail de la commission spécialisée Risques liés à l'environnement (CSRE). Octobre 2009.

En terme de concentration moyenne, la valeur cible de 10 µg/m³ (VGAI long terme) à atteindre en 2019, est respectée uniquement sur deux écoles : école J. A. du CERCEAU à Orléans et l'école de la commune de Le BARDON. Ces deux écoles présentent des concentrations inférieures ou égales à 10 µg/m³ et elles sont les seules à être situées dans la zone A⁺ (figure 7) témoignant ainsi d'une très bonne qualité de l'air vis-à-vis du formaldéhyde. La seule action préconisée, pour ces deux écoles, est de veiller à ce que la situation ne se dégrade pas, puisque la valeur cible est déjà atteinte.

La valeur repère de qualité de l'air, fixée par le HCSP à 30 µg/m³ pour l'année 2009, est respectée par 23 écoles dont les deux écoles de la zone A⁺. Les 21 autres écoles ont des concentrations inférieures à 30 µg/m³ tout en restant supérieures à 10 µg/m³ (zone A sur la figure 7). Ces écoles, sont qualifiées de catégorie A. Aucune action corrective spécifique n'est préconisée pour ces écoles. Il conviendra de profiter de travaux de rénovation ou de changement d'ameublement afin de choisir des matériaux les moins émissifs et ainsi favoriser l'évolution progressive vers la VGAI long terme fixée à 10 µg/m³. Rappelons ici, que la valeur repère de qualité de l'air, fixée à 30 µg/m³ en 2009, sera diminuée chaque année de 2 µg/m³ pour atteindre la valeur cible (10 µg/m³) en 2019.

Toujours en termes de concentration moyenne, la valeur d'information et de recommandations¹⁴, fixée par le HCSP pour l'année 2009 à 50 µg/m³, a été respectée sur l'ensemble des sites étudiés (zone C figure 7). Tout en respectant cette valeur, 4 écoles présentent des concentrations comprises entre 30 et 50 µg/m³. Ces écoles sont qualifiées de catégorie B et elles sont situées dans l'espace « provisoirement tolérables » (zone B figure 7). Ces écoles doivent agir dans un premier temps sur la ventilation des locaux et/ou sur le comportement des occupants, pour ramener les niveaux en dessous de 30 µg/m³, valeur repère de qualité de l'air.

Cette première analyse des résultats, par rapport aux valeurs de gestion, montre que seulement 4 écoles (Combres, Vierzon, Blois Hautes Saules et Vicq-Exempt) présentent des concentrations moyennes dépassant la valeur repère de qualité de l'air. Cependant, l'analyse de l'ensemble des données par rapport aux valeurs de gestion (tableau 3) indique que d'autres écoles ont présenté, en terme de concentration individuelle, des niveaux supérieurs à 30 µg/m³. Certaines écoles ont même présenté des concentrations dépassant la valeur d'information et de recommandation fixée à 50 µg/m³, comme nous pouvons le constater dans le tableau 7. L'école de la commune de Combres présente ainsi la plus forte fréquence de dépassement de cette valeur. Il convient de noter aussi que la concentration maximale de l'ensemble de l'étude AICOLE (64 µg/m³) a été observée sur cette commune, comme c'est le cas, d'ailleurs, pour la moyenne annuelle (50 µg/m³). Par conséquent, cette école présente un réel risque de dépassement de la valeur d'information et de recommandation. Cette valeur passera à 46 µg/m³ en 2010.

¹⁴ C'est en 2009, la valeur maximale admissible pour une exposition de longue durée. Au-delà, il est nécessaire, dans un délai de quelques mois, d'identifier la ou les source(s) principale(s) dans le logement ou l'établissement concerné et de la (les) réduire en engageant des actions appropriées. Cette valeur sera diminuée chaque année de 4 µg/m³ pour atteindre la valeur cible (10 µg/m³) en 2019.

	30 < formaldéhyde < 50	formaldéhyde > 50
Blois Hautes Saules	4	
Châteauroux Claude Bernard 1	4	
Châteaudun	3	
Vierzon	3	1
Combres	2	3
Saint-Cyr-en-Val	2	
Vicq-Exemptet	2	
Blois Charcot	1	
Châteauroux Michelet	1	1
Orléans Romain Rolland	1	
Tours Mirabeau	1	

Tableau 7 : fréquence de dépassement, par école, des valeurs de gestion (sur fond jaune les écoles de la zone B en termes de moyenne annuelle)

III-1-3-2 Cas du benzène

Les concentrations moyennes, minimales et maximales, en benzène sur chacune des classes étudiées, sont comparées à la VGAI long terme sur la figure 8. Les données chiffrées sont présentées dans le tableau 6.

Contrairement au formaldéhyde, le benzène ne possède pas encore de valeurs de gestion.

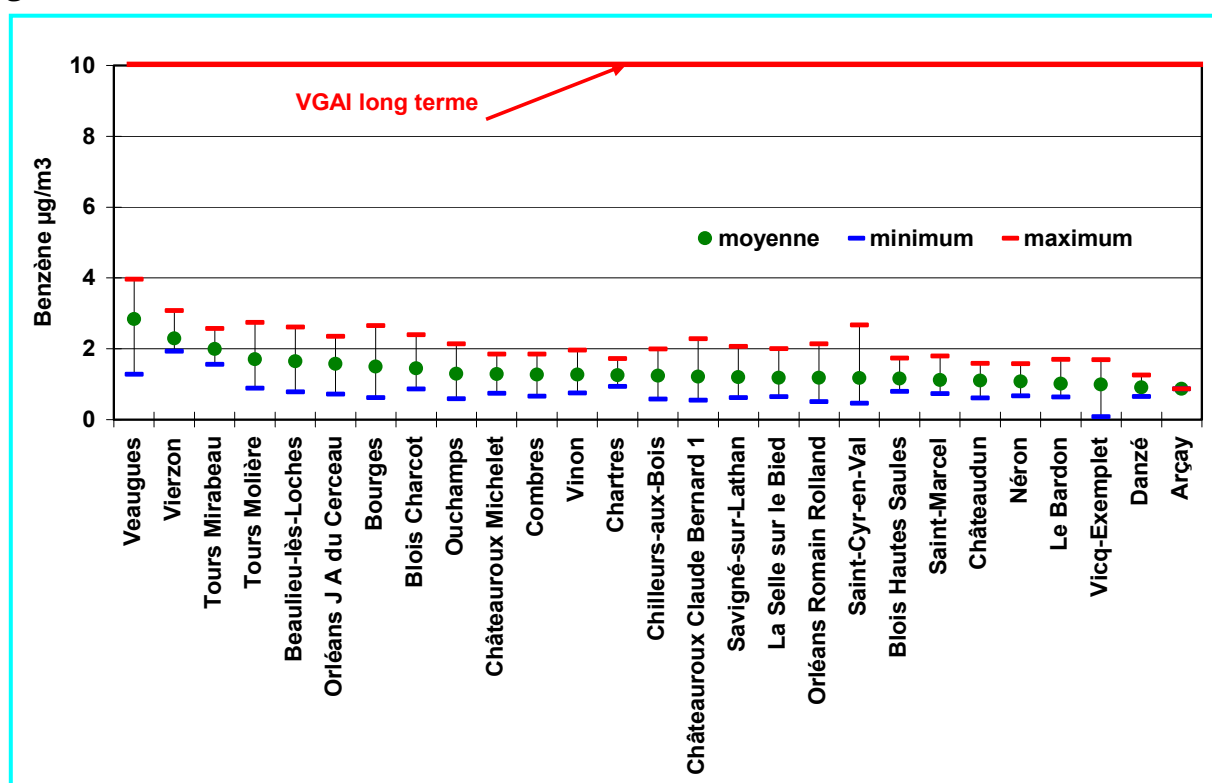


Figure 8 : concentrations en benzène comparées à la VGAI long terme (étude AICOLE année scolaire 2008/2009)

La VGAI long terme pour le benzène est largement respectée sur l'ensemble des classes étudiées. 25 classes sur les 27 ont présenté des concentrations moyennes, en benzène, inférieures ou égales à 2 µg/m³. Les niveaux les plus importants ont été observés sur l'école de Veaugues et sur celle de Vierzon. Cette dernière école avait présenté aussi des niveaux relativement élevés en formaldéhyde.

écoles	Moy	Min	Max	écoles	Moy	Min	Max
Veaugues	2,8	1,3	4,0	Châteauroux Claude Bernard 1	1,2	0,5	2,3
Vierzon	2,3	1,9	3,1	Savigné-sur-Lathan	1,2	0,6	2,1
Tours Mirabeau	2,0	1,6	2,6	La Selle sur le Bied	1,2	0,6	2,0
Tours Molière	1,7	0,9	2,7	Orléans Romain Rolland	1,2	0,5	2,1
Beaulieu-lès-Loches	1,6	0,8	2,6	Saint-Cyr-en-Val	1,2	0,5	2,7
Orléans J A du Cerceau	1,6	0,7	2,3	Blois Hautes Saules	1,2	0,8	1,7
Bourges	1,5	0,6	2,7	Saint-Marcel	1,1	0,7	1,8
Blois Charcot	1,4	0,9	2,4	Châteaudun	1,1	0,6	1,6
Ouchamps	1,3	0,6	2,1	Néron	1,1	0,7	1,6
Châteauroux Michelet	1,3	0,7	1,8	Le Bardon	1,0	0,6	1,7
Combres	1,3	0,7	1,8	Vicq-Exemptlet	1,0	0,1	1,7
Vinon	1,3	0,7	2,0	Danzé	0,9	0,6	1,3
Chartres	1,3	0,9	1,7	Arçay	0,9	0,9	0,9
Chilleurs-aux-Bois	1,2	0,6	2,0				

Tableau 8 : concentrations moyennes, minimales et maximales, en benzène ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) en air intérieur des écoles (campagne AICOLE année scolaire 2008/2009)

D'une manière générale, la VGAI long terme du benzène semble être respectée aussi bien par les valeurs moyennes que par les concentrations individuelles. Aucune concentration mesurée, durant cette étude, n'est supérieure à la VGAI long terme. La concentration maximale en benzène observée durant la campagne AICOLE est de $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et a été enregistrée sur l'école de Veaugues (tableau 8).

III-1-3-3 Cas du dioxyde d'azote

Les concentrations moyennes, minimales et maximales, en dioxyde d'azote sur chacune des classes étudiées, sont comparées à la VGAI long terme sur la figure 9. Les données chiffrées sont présentées dans le tableau 9. Comme pour le benzène, le dioxyde d'azote ne possède pas de valeurs de gestion et contrairement aux deux autres polluants, il ne possède pas non plus de VGAI long ou court terme.

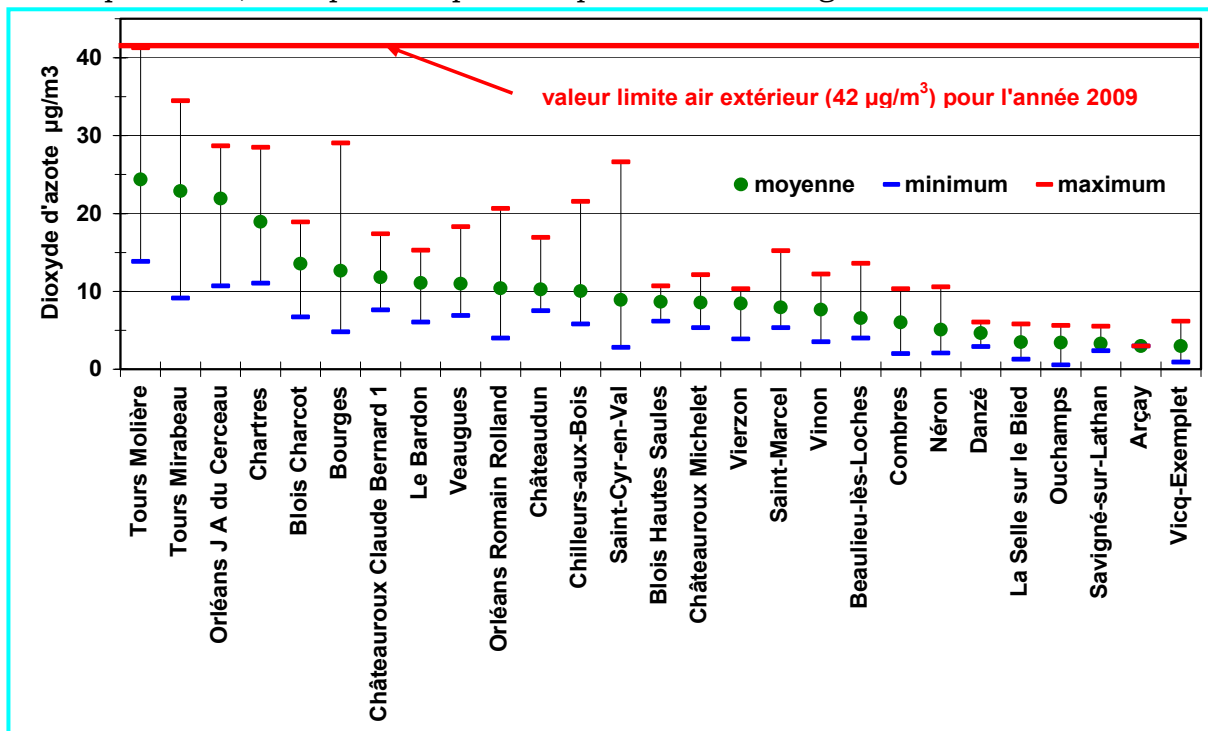


Figure 9 : concentrations en dioxyde d'azote comparées à la valeur limite en air extérieur pour l'année 2009 (campagne AICOLE année scolaire 2008/2009)

Ecoles	Moy	Min	Max	Ecoles	Moy	Min	Max
Tours Molière	24	14	41	Blois Hautes Saules	9	6	11
Tours Mirabeau	23	9	34	Saint-Marcel	8	5	15
Orléans J A du Cerceau	22	11	29	Vierzon	8	4	10
Chartres	19	11	29	Vinon	8	4	12
Bourges	13	5	29	Beaulieu-lès-Loches	7	4	14
Blois Charcot	14	7	19	Combres	6	2	10
Châteauroux Claude Bernard 1	12	8	17	Danzé	5	3	6
Châteaudun	10	8	17	Néron	5	2	11
Le Bardou	11	6	15	Arçay	3	3	3
Veaugues	11	7	18	Savigné-sur-Lathan	3	2	6
Orléans Romain Rolland	10	4	21	La Selle sur le Bied	3	1	6
Chilleurs-aux-Bois	10	6	22	Ouchamps	3	1	6
Saint-Cyr-en-Val	9	3	27	Vicq-Exempt	3	1	6
Châteauroux Michelet	9	5	12				

Tableau 9 : concentrations moyennes, minimales et maximales, en dioxyde d'azote ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) en air intérieur des écoles (campagne AICOLE année scolaire 2008/2009)

Par manque de valeurs réglementaires ou repères de ce polluant en air intérieur, les concentrations sont comparées à sa valeur limite en air extérieur ($42 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour l'année 2009). La première lecture de la figure 9 montre que cette valeur est largement respectée sur l'ensemble des classes étudiées. La concentration moyenne maximale en dioxyde d'azote observée lors de la campagne AICOLE est de $24 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et a été enregistrée sur l'école Molière à Tours. Le niveau le plus important mesuré lors de cette campagne ($41 \mu\text{g}/\text{m}^3$) a été aussi enregistré dans cette école (tableau 9).

D'une manière générale, les concentrations les plus élevées en dioxyde d'azote sont plutôt observées dans les écoles à caractère urbain. Ceci est dû au fait que la source dominante de ce polluant est la circulation automobile, source de pollution plus intense en milieu urbain qu'en milieu rural. La distinction entre caractères urbain et rural n'est pas ressentie sur les concentrations des deux autres polluants, notamment pour le formaldéhyde.

III-1-4 Comportement annuel des polluants mesurés

Les comportements annuels des trois principaux polluants (formaldéhyde, benzène et dioxyde d'azote) ont été établis à partir des mesures réalisées dans les deux écoles de référence : école Romain Rolland à Orléans (école à caractère urbain) et l'école Claude de Loynes à Saint-Cyr-en-Val (école à caractère périurbain).

Les variations temporelles des concentrations d'un polluant donné résultent de l'influence d'un grand nombre de facteurs physico-chimiques (sources d'émissions, réactions chimiques et photochimiques, conditions météorologiques, confinement et aération, activités et comportements des occupants des lieux,...), qui vont agir directement ou indirectement sur les concentrations mesurées. Ces interactions vont conditionner à différentes échelles de temps, les comportements des polluants suivis.

Les comportements annuels des polluants, établis dans le cadre d'AICOLE, seront utiles pour identifier les périodes qui présentent le plus de risque d'exposition à chacun de ces trois principaux polluants. Les facteurs qui les conditionnent seront peu discutés dans ce rapport.

III-1-4-1 Comportement annuel du formaldéhyde

Les variations temporelles des niveaux du formaldéhyde enregistrés sur les deux écoles de référence durant l'année scolaire 2008-2009, sont représentées sur la figure 10. Les points rouges matérialisent les périodes de prélèvements sur l'ensemble des écoles étudiées.

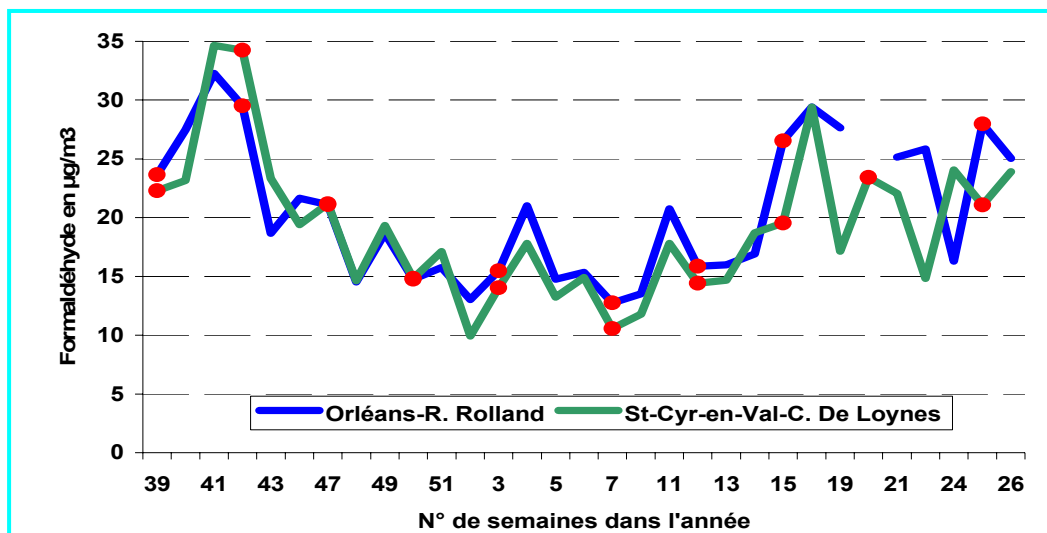


Figure 10 : comportement annuel du formaldéhyde sur les deux écoles référence pour l'année scolaire 2008-2009. (points rouges : période des prélèvements sur l'ensemble des écoles)

Quel que soit le site, la figure 10 montre que les concentrations les plus élevées sont enregistrées au début et à la fin de l'année scolaire. Les concentrations relativement élevées en début d'année, décroissent progressivement pour osciller aux alentours de 15 µg/m³ en milieu d'année scolaire. A partir de la semaine 15 (mi-avril), les concentrations en formaldéhyde entament progressivement une phase d'augmentation pour atteindre des valeurs relativement élevées en fin d'année scolaire. Ce comportement semble indiquer un cycle saisonnier qui se matérialise par des faibles niveaux pendant la saison hivernale et des concentrations relativement élevées lors de la saison estivale. L'automne et le printemps, sont respectivement des saisons de décroissance et d'augmentation des concentrations vers un minimum hivernal et un maximum estival (figure 11).

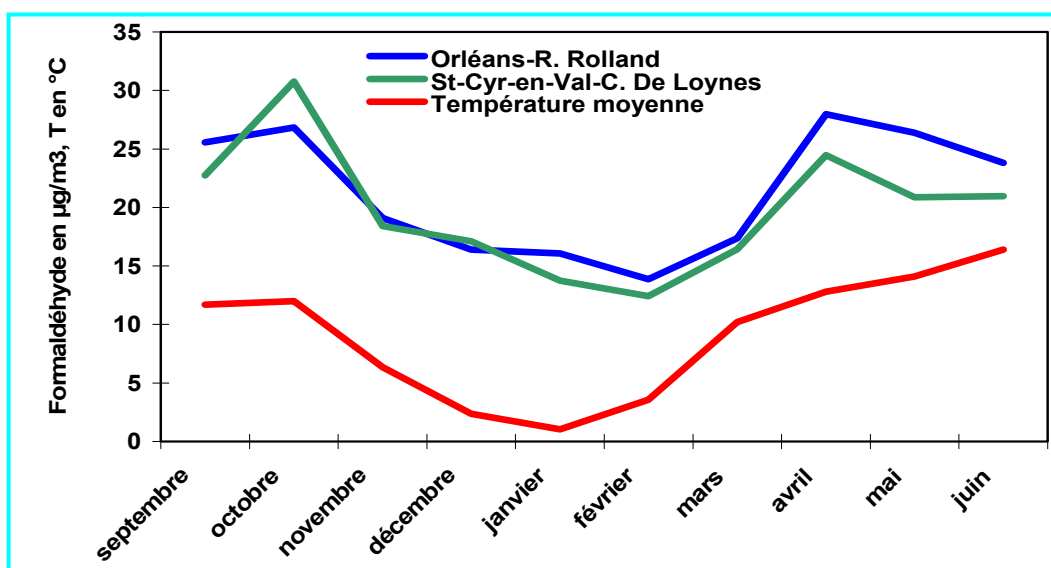


Figure 11 : profils des concentrations mensuelles en formaldéhyde et de la température extérieure sur Orléans (Météo-France) et sur les deux écoles référence durant l'année scolaire 2008-2009.

La figure 10 montre, en outre, une très bonne similitude du comportement du formaldéhyde dans les deux classes étudiées, sachant que ces deux classes sont situées dans deux écoles différentes, qu'elles n'ont pas le même mobilier, et que le comportement des occupants est différent puisqu'elles sont occupées par des personnes différentes. La similitude ainsi constatée sur les comportements de ce polluant dans ces deux classes, semble être conditionnée et dictée, en premier lieu, par des facteurs non liés aux environnements intérieurs, mais plutôt à des paramètres extérieurs qui peuvent avoir des effets directs ou indirects, mais similaires, sur l'environnement intérieur de chacune des deux classes. Ces paramètres peuvent être tout simplement les conditions météorologiques et en particulier le rayonnement solaire et la température de l'air ambiant. En effet, les figures 11 et 12 qui représentent respectivement les variations mensuelles et hebdomadaires des concentrations en formaldéhyde et de la température extérieure, montrent l'existence d'une bonne similitude entre les comportements du formaldéhyde, dans les deux écoles, et celui de la température extérieure. Cette similitude perd de l'importance à partir de la semaine 11 (figure 12) même si des tendances comparables restent présentes (figure 11).

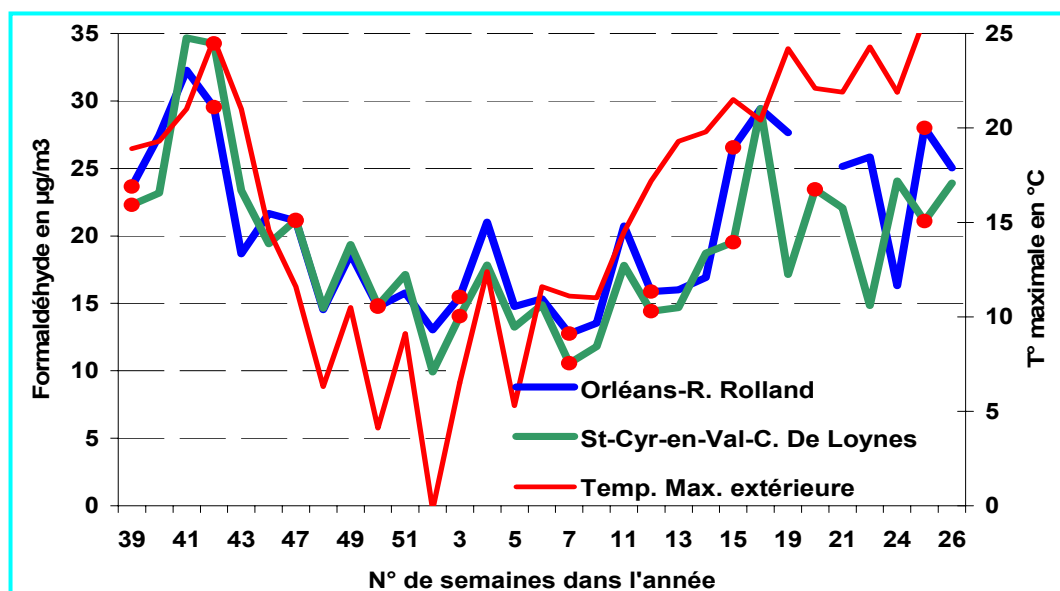


Figure 12 : profils de la température extérieure sur Orléans (Météo-France) et des concentrations en formaldéhyde dans les deux écoles référence durant l'année scolaire 2008-2009.

La similitude du comportement annuel du formaldéhyde et celui de la température extérieure, a été aussi observée dans d'autres études relatives à l'air intérieur^{15, 16}. Cette similitude traduit, dans ses grandes lignes, les variations saisonnières des conditions météorologiques.

Indépendamment des causes qui sont à l'origine de ce type de comportement et de la relation apparente entre ce polluant et la température extérieure, les résultats des mesures montrent que les périodes de fortes expositions au formaldéhyde sont localisées en dehors de la saison hivernale, en début et fin d'année scolaire (de septembre à mi-novembre et de mi-mars à juin).

¹⁵ Mesure des aldéhydes dans l'air intérieur des écoles maternelles et des crèches de la région Rhône-Alpes. Convention DRASS. Atmo-Rhone-Alpes, décembre 2007.

¹⁶ Small Chamber Methods for Characterizing Formaldehyde Emission from Particleboard. Derrick R. et al. Characterizing Sources of Indoor Air Pollution and Related Sink Effects .pp 211-224. BRUCE A. TICHENOR editor 1996.

La figure 13, présentant les concentrations en formaldéhyde de l'ensemble des classes étudiées, moyennées par rapport aux périodes des prélèvements, confirme cette tendance. Les valeurs minimales en formaldéhyde sont observées en hiver.

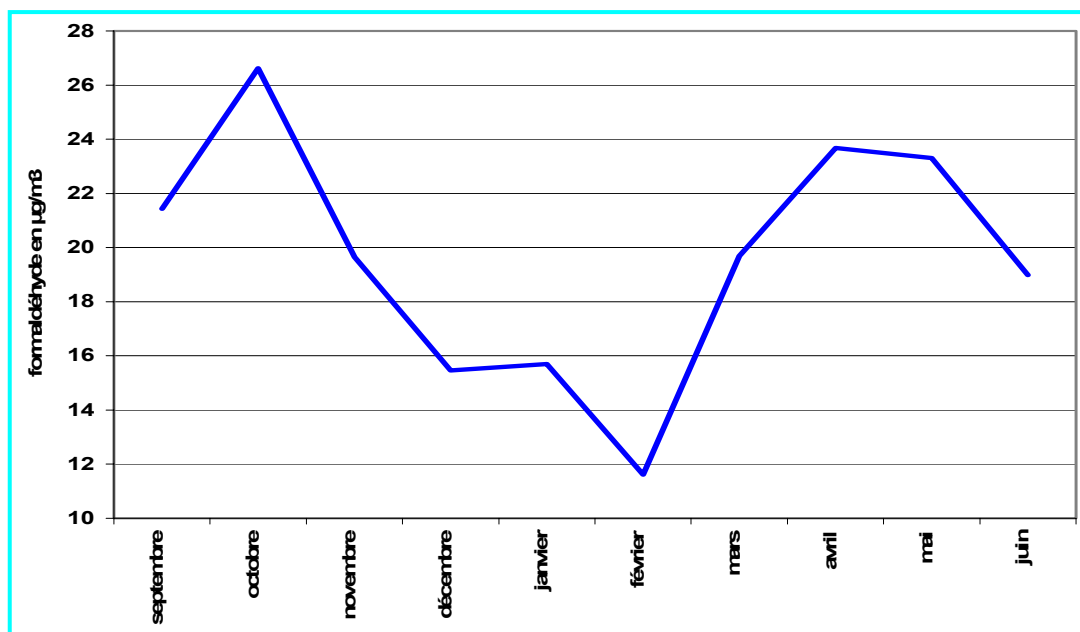
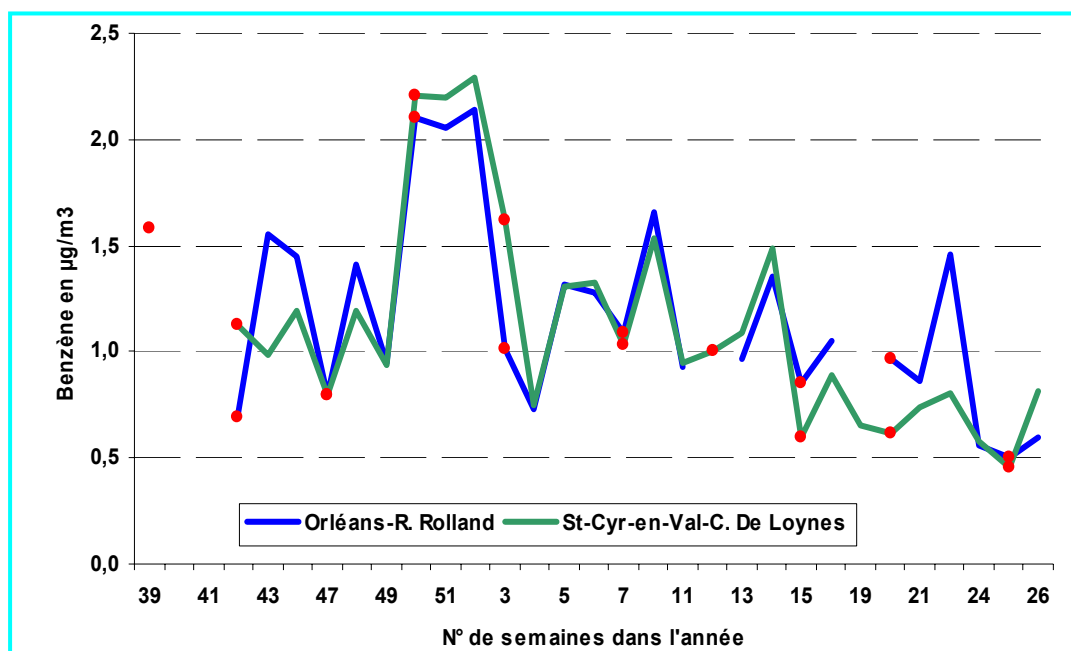


Figure 13 : variation saisonnière moyenne des concentrations en formaldéhyde (Campagne AICOLE 2008-2009)

III-1-4-2 Comportements annuels du benzène et du dioxyde d'azote.

Les variations temporelles des concentrations hebdomadaires en benzène et en dioxyde d'azote, sont présentées respectivement sur les figures 14 à 15. Les points rouges, sur ces deux figures, matérialisent les périodes de prélèvements sur l'ensemble des écoles étudiées. Les profils annuels des concentrations mensuelles en benzène et en dioxyde d'azote, sont présentés respectivement sur les figures 16 et 17.

Figure 14 : variations des concentrations hebdomadaires en benzène sur les deux



x écoles référence durant l'année scolaire 2008-2009.

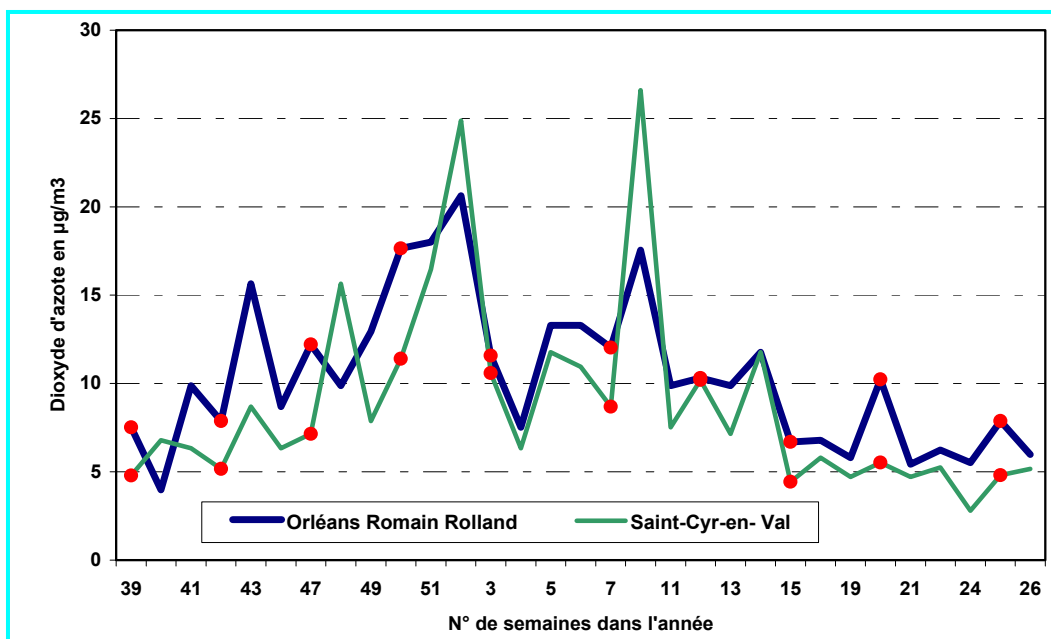


Figure 15 : variations des concentrations hebdomadaires en dioxyde d'azote sur les deux écoles référence durant l'année scolaire 2008-2009.

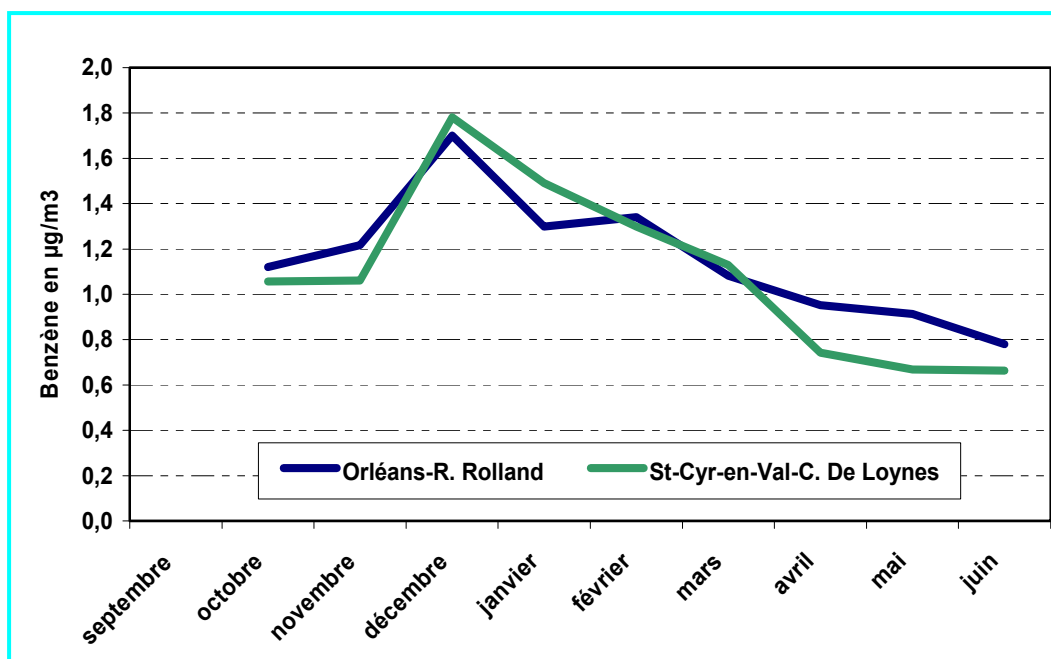


Figure 16 : variations des moyennes mensuelles des concentrations en benzène dans les deux écoles référence durant l'année scolaire 2008-2009.

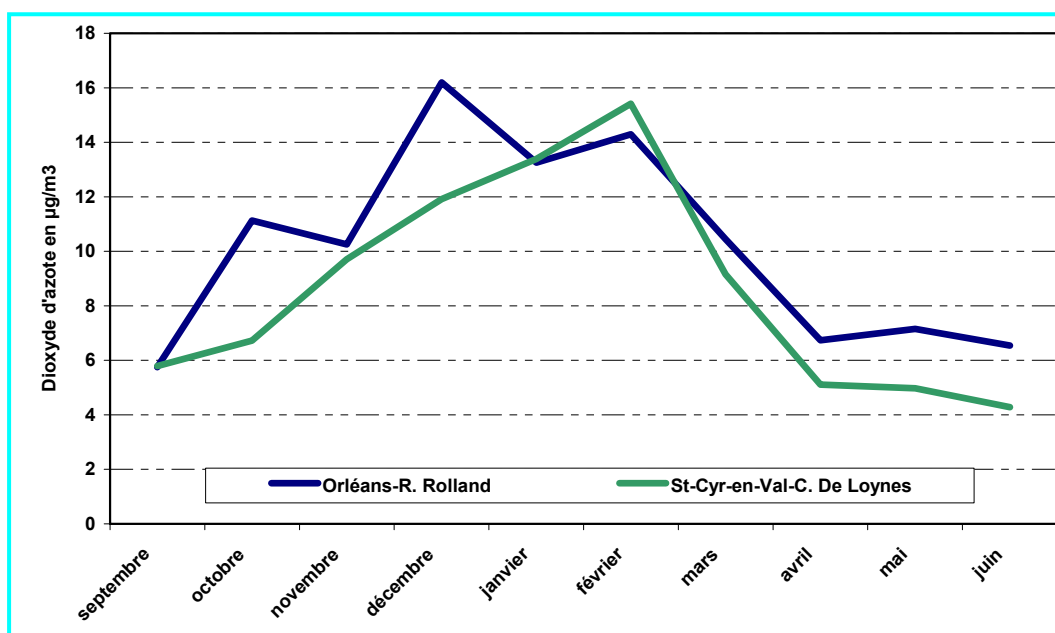


Figure 17 : variations des moyennes mensuelles des concentrations en dioxyde d'azote dans les deux écoles référence durant l'année scolaire 2008-2009.

Comme pour le formaldéhyde, les concentrations en benzène et en dioxyde d'azote ont présenté une grande variabilité d'une semaine à l'autre. Des similitudes sont aussi observées entre les comportements de chaque polluant dans les deux classes de référence (figures 14 et 15).

En terme de variation saisonnière, ces deux polluants ont présenté les mêmes tendances, à savoir les concentrations les plus importantes sont enregistrées durant la saison hivernale et les concentrations les plus faibles sont plutôt observées pendant la saison printanière (figures 16 et 17). Cette variation saisonnière est largement comparable à celle que nous observons habituellement sur les concentrations de ces deux polluants en air extérieur. Ceci semble indiquer que les concentrations en benzène et en dioxyde d'azote dans l'air intérieur de ces deux classes, sont conditionnées par celles de l'air extérieur.

Contrairement au formaldéhyde, les périodes de fortes expositions au benzène et au dioxyde d'azote, sont localisées pendant la période hivernale. Période propice à l'accumulation de ces deux polluants en air extérieur.

III-2 Discussions et premières préconisations

III-2-1 Discussions

Les premiers résultats présentés dans ce rapport montrent que concernant le benzène, les concentrations observées, ont largement respecté la VGAI long terme sur l'ensemble des classes étudiées. Les niveaux mesurés sont similaires, voire inférieurs, à ceux rencontrés dans l'air ambiant. Malgré son caractère rural, c'est l'école de Veaugues qui a présenté les concentrations les plus élevées en termes de concentrations moyennes comme en termes de concentrations maximales. Les premières investigations semblent montrer que ces niveaux ne seraient pas dus à une pollution interne mais plutôt, semble-t-il, à un transfert de pollution de

l'extérieur vers l'intérieur, due à un nouveau revêtement de la chaussée à proximité de l'école. Cette école fera l'objet d'une visite d'expertise afin de confirmer cette hypothèse.

En ce qui concerne le dioxyde d'azote, les niveaux observés sont inférieurs à la valeur limite annuelle en air extérieur pour l'année 2009. Les concentrations les plus élevées sont plutôt enregistrées à l'intérieur des écoles urbaines. Les écoles rurales présentent les niveaux les plus faibles en dioxyde d'azote. Cette distinction des typologies des écoles en fonction des concentrations en dioxyde d'azote s'explique tout simplement par le fait que ce polluant n'a pas de source de pollution interne dans les classes, et qu'il est émis principalement par la circulation automobile, plus dense en milieu urbain qu'en milieu rural.

Les figures 18, 19 et 20 représentent la variation des concentrations en dioxyde d'azote, mesurées à l'extérieur et à l'intérieur respectivement des écoles de Nicolas Leblanc à Bourges, de Molière et Mirabeau à Tours et de l'école Tunnel Château à Vierzon. Les concentrations extérieures ont été relevées aux stations de surveillance de l'air ambiant, gérées par Lig'Air. Pour Bourges et Vierzon, ces stations sont situées dans les écoles étudiées. Pour les deux écoles de Tours, les concentrations extérieures en dioxyde d'azote sont mesurées à la station La Bruyère. Ces stations sont de typologie urbaine de fond, donc représentatives de la qualité de l'air extérieur non influencée par des émissions directes.

Pour l'école de Bourges et les deux écoles de Tours (figures 18 et 19), les concentrations intérieures et extérieures, en dioxyde d'azote, ont présenté des variations similaires. Le comportement du dioxyde d'azote à l'intérieur de ces trois écoles, décrit dans ses grandes lignes celui des concentrations de ce polluant en air extérieur. La variation saisonnière de ce polluant est bien décrite en intérieur comme en extérieur. En terme de concentration moyenne, les deux écoles de Tours présentent des niveaux intérieurs équivalents à ceux observés à l'extérieur. L'école de Bourges présente des concentrations légèrement inférieures à l'intérieur (tableau 10).

Ecoles	NO ₂ Intérieur (µg/m ³)	NO ₂ Extérieur (µg/m ³)
N. Leblanc (Bourges)	13	19
Mirabeau (Tours)	23	23
Molière (Tours)	24	23

Tableau 10 : concentrations moyennes intérieures et extérieures en NO₂ dans l'école de Bourges et dans les deux écoles de Tours (campagne AICOLE 2008-2009)

Concernant l'école Tunnel Château à Vierzon (figure 20), contrairement aux 3 premières écoles, aucune similitude n'est observée sur les comportements des concentrations intérieures et extérieures en dioxyde d'azote. En air extérieur, les niveaux du dioxyde d'azote décrivent bien la variation saisonnière de ce polluant, à savoir les concentrations les plus importantes en période hivernale et les plus faibles concentrations durant le printemps et l'été. En air intérieur, cette variation est moins marquée, voire absente. La concentration moyenne de dioxyde d'azote en air extérieur (19 µg/m³) est environ 3 fois plus importante que celle observée en air intérieur (7 µg/m³).

De cette description des comportements des concentrations interne et externe en dioxyde d'azote et compte tenu de l'origine de ce polluant (exclusivement à l'extérieur des classes), nous pouvons conclure que la classe étudiée dans l'école de Vierzon présente un confinement plus important que les trois autres classes, induisant ainsi un faible échange entre l'air intérieur de la classe et l'air extérieur.

En terme de concentration en formaldéhyde, la classe de l'école de Vierzon est classée en catégorie B alors que les 3 autres classes sont qualifiées catégorie A. Autrement dit, la concentration moyenne en formaldéhyde dans la classe de l'école de Vierzon est supérieure à la valeur repère qualité de l'air fixée en 2009 à $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

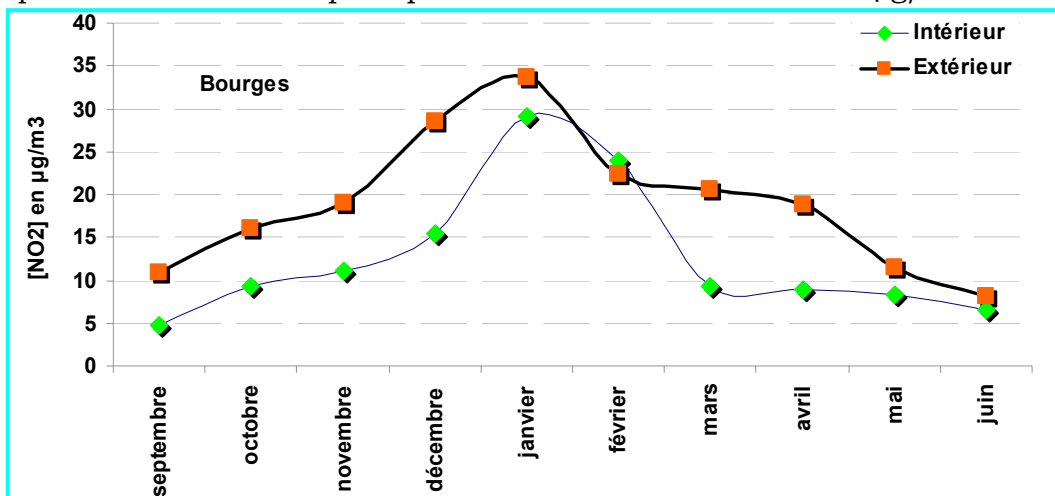


Figure 18 : comportement des concentrations intérieures et extérieures en dioxyde d'azote à l'école Nicolas Leblanc (Bourges). Campagne AICOLE année scolaire 2008-2009

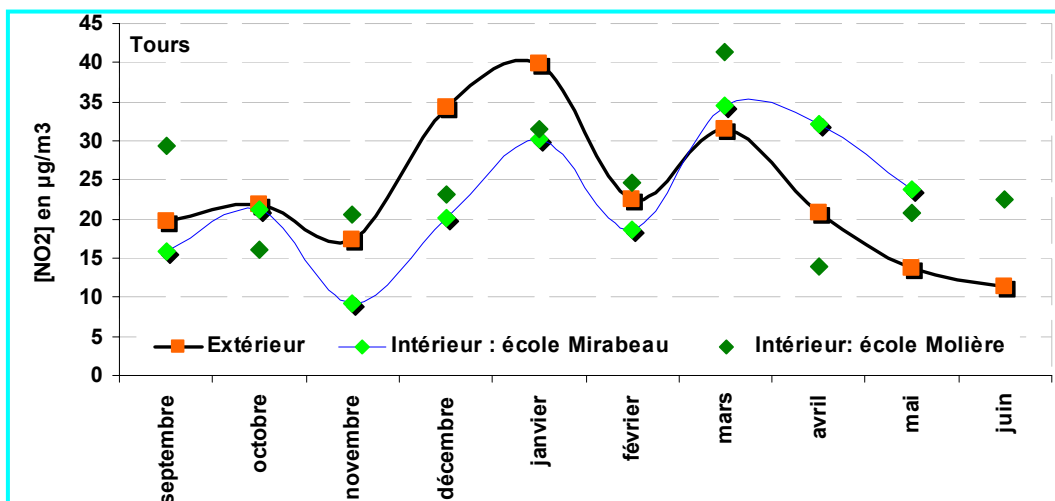


Figure 19 : comportement des concentrations intérieures et extérieures en dioxyde d'azote aux écoles Molière et Mirabeau (Tours). Campagne AICOLE année scolaire 2008-2009

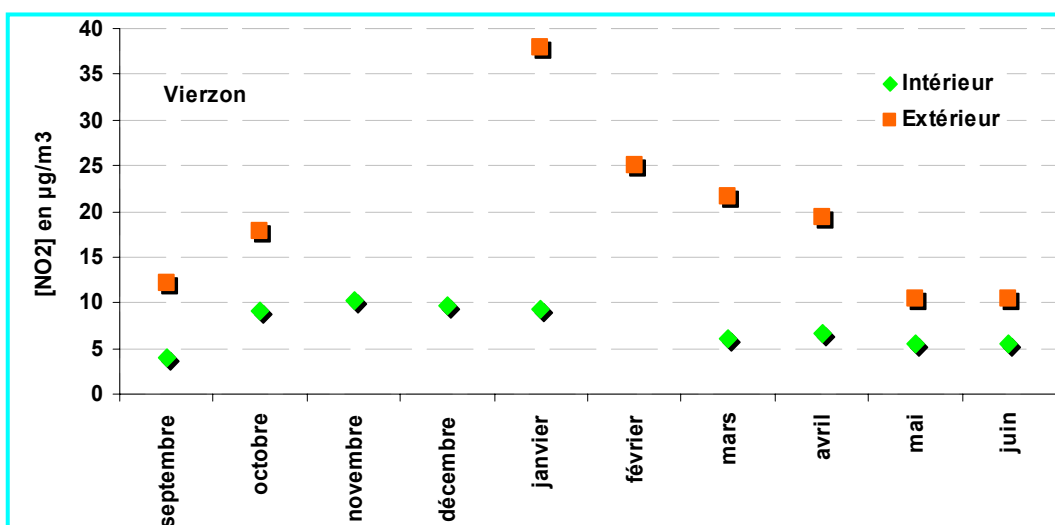


Figure 20 : comportement des concentrations intérieures et extérieures en dioxyde d'azote à l'école Tunnel Château (Vierzon). Campagne AICOLE année scolaire 2008-2009

En ce qui concerne le formaldéhyde, 4 classes sur les 27 étudiées sont classées dans la catégorie B avec des niveaux entre 40 et 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en terme de concentration moyenne. Deux classes sont répertoriées catégorie A+ et les autres, donc la majorité, sont classées catégorie A. Le suivi en continu de ce polluant dans les deux écoles de référence a montré que le comportement du formaldéhyde est semblable à celui de la température extérieure. Les concentrations augmentent et décroissent avec la température extérieure, décrivant ainsi une variation saisonnière matérialisée avec des faibles concentrations en période hivernale et des fortes concentrations en dehors de cette saison. Cette variation saisonnière a été confirmée en moyenne sur l'ensemble des sites étudiés.

Une récente étude américaine menée sur les mobiles homes¹⁷ montre que les concentrations en formaldéhyde sont associées à la température intérieure (figure 21). Une augmentation de la température intérieure induit un accroissement des concentrations en formaldéhyde et inversement, une diminution de la température conduit à une décroissance des niveaux de ce polluant.

Ainsi, il est fort possible que la relation observée dans notre étude entre la température extérieure et les concentrations en formaldéhyde ne soit qu'apparente, elle traduit le lien entre la température intérieure et les concentrations de ce polluant. Ce lien s'explique principalement par l'effet de la température sur les sources diffuses de ce polluant (mobilier, matériaux de construction, colles, ...). Ces sources émettent plus de formaldéhyde lorsque la température augmente, et inversement, les émissions sont plus faibles lorsque la température diminue¹⁸.

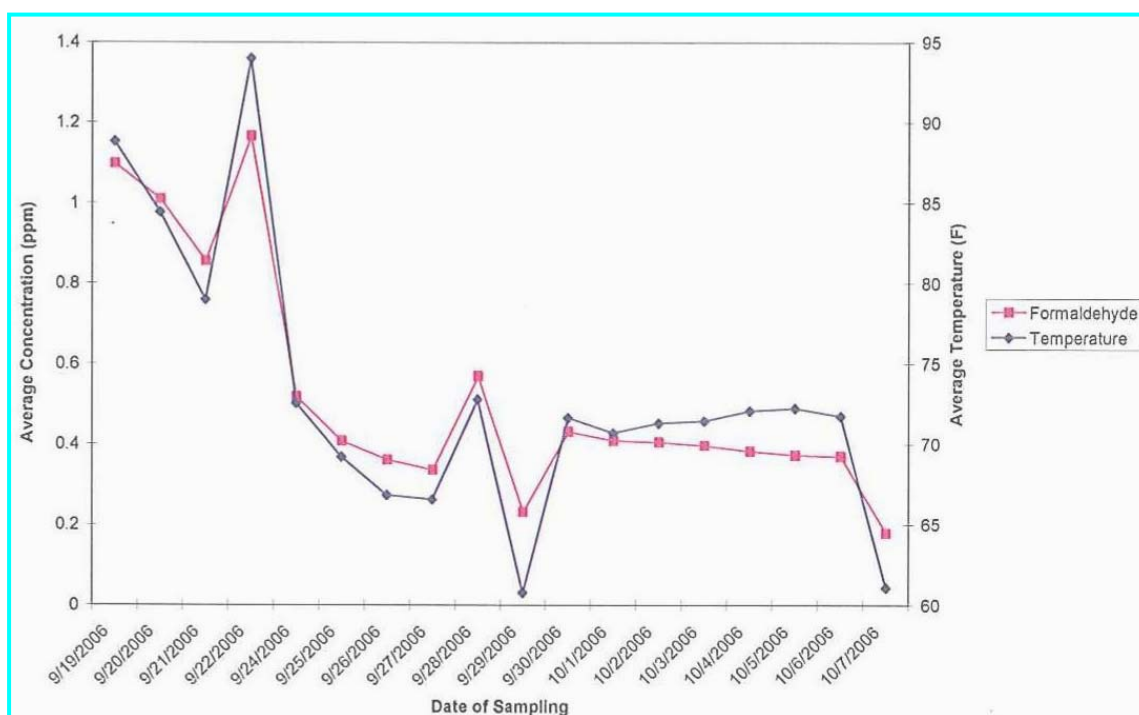


Figure 21 : relation entre les concentrations en formaldéhyde et la température intérieure (fenêtres fermées)¹⁶

¹⁷ An Update Revision of ATSDR's February 2007 Health Consultation : Formaldehyde Sampling of FEMA Temporary-Housing Trailers. Baton Rouge, Louisiana, September-October, 2006. U.S. DEPARTMENT OF HEALTH AND HUMAN SERVICE. October 2007.

¹⁸ An Update on Formaldehyde. 1997 revision. US consumer product safety commission Washington, DC20207.

Une réduction d'environ 70% a été observée sur les concentrations en formaldéhyde lorsqu'on fait baisser la température intérieure de 30°C à 20°C¹⁹. Une réduction des concentrations en formaldéhyde de l'ordre de 40% a été aussi observée¹⁷ lorsque l'humidité relative de l'air intérieur passe de 70% à 30%. Une température et un taux d'humidité élevés favorisent l'émission de formaldéhyde²⁰.

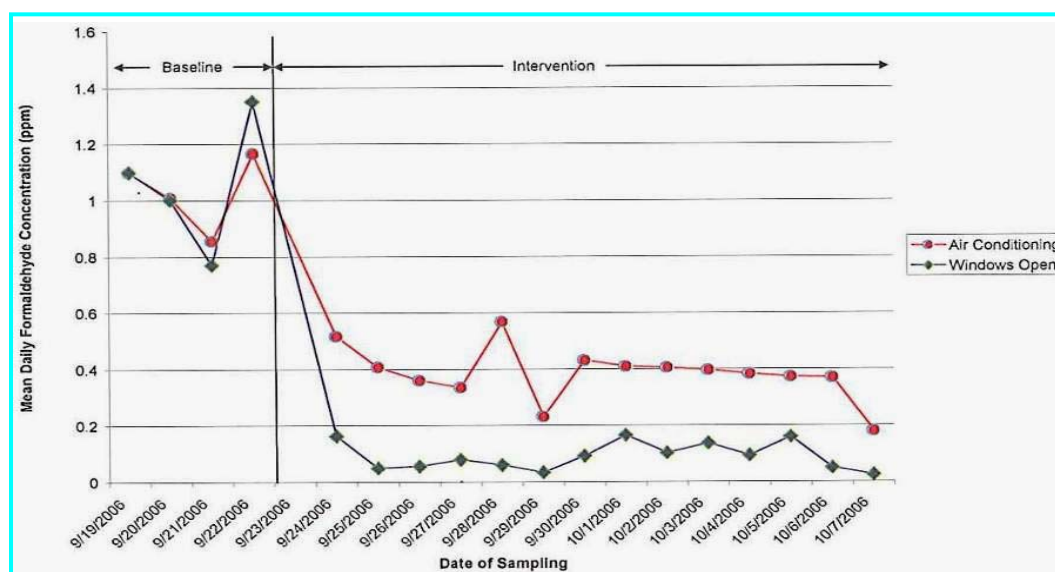


Figure 22 : effets de la maîtrise de la température et l'ouverture des fenêtres sur les niveaux du formaldéhyde²⁰

Ainsi l'atténuation des concentrations en formaldéhyde semble être possible en contrôlant la température et l'humidité relative de l'environnement intérieur. La figure 22, tirée d'une étude réalisée sur les mobiles homes²¹, montre que l'utilisation de l'air conditionné conduit effectivement à une réduction des concentrations en formaldéhyde. Cette réduction est estimée à environ 63%, pour l'abaissement de la température de 29°C à environ 22°C. Cependant, même si le contrôle de la température intérieure par l'utilisation de la climatisation semble conduire à une réduction des niveaux en formaldéhyde, les concentrations finales restent encore plus élevées que celles obtenues en agissant tout simplement sur l'aération, par l'ouverture des fenêtres (figure 22). Par cette dernière action, simple et non coûteuse, la réduction des concentrations en formaldéhyde est d'environ 91% par rapport à l'état initial et elles sont 4 fois inférieures à celles obtenues par climatisation. Il est intéressant de noter que quel que soit le mode d'action utilisé, air conditionné ou aération, il subsiste toujours un niveau résiduel en formaldéhyde (figure 23).

Cette même étude²² rapporte que dans le cas d'ouverture des fenêtres, la relation entre température intérieure et concentration en formaldéhyde disparaît (figure 23, zone B). Les concentrations en formaldéhyde dépendent de la température uniquement lorsque les fenêtres sont fermées (figure 21 et figure 23 zone A).

¹⁹Mitigation of residential formaldehyde contamination by indoor climate control. Am Ind Hyg Assoc J. Godish T. and Rouch J. 1986 Dec; 47(12):792-7.

²⁰ Formaldéhyde à l'intérieur des locaux. Informations et conseils au consommateur. Confédération Suisse. Office fédéral de la santé publique. Berne, août 2008.

²¹ An Update Revision of ATSDR's February 2007 Health Consultation : Formaldehyde Sampling of FEMA Temporary-Housing Trailers. Baton Rouge, Louisiana, September-October, 2006. U.S. DEPARTMENT OF HEALTH AND HUMAN SERVICE. October 2007.

²² An Update Revision of ATSDR's February 2007 Health Consultation: Formaldehyde Sampling of FEMA Temporary-Housing Trailers. Baton Rouge, Louisiana, September-October, 2006. U.S. DEPARTMENT OF HEALTH AND HUMAN SERVICE. October 2007.

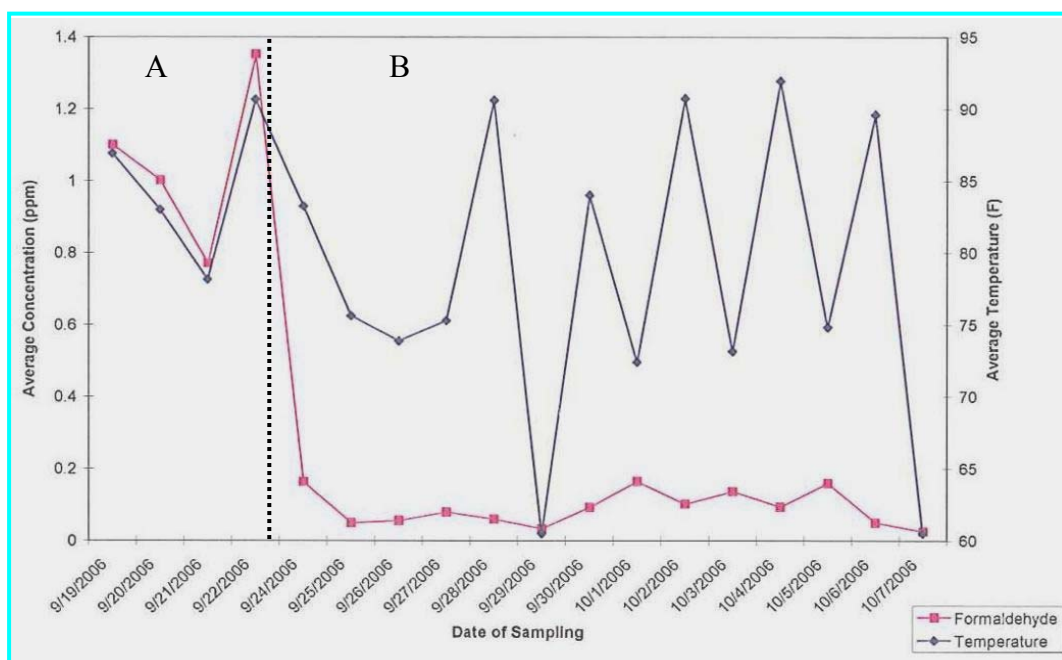


Figure 23 : relation entre les concentrations en formaldéhyde et la température intérieure (A : fenêtre fermée, B : fenêtre ouverte)²³

Les concentrations mesurées en formaldéhyde, comme pour tout polluant, sont la résultante d'un grand nombre de processus et d'interaction. Ces processus peuvent conduire à une augmentation ou au contraire à une diminution de ces concentrations. Lorsque les fenêtres sont fermées, les émissions du formaldéhyde augmentent avec la température et les concentrations s'accumulent à l'intérieur du local. Lorsque les fenêtres sont ouvertes, l'échange entre l'air intérieur et extérieur augmente et contribue à la dilution des concentrations en formaldéhyde en les ramenant à des niveaux équivalents à ceux observés en air extérieur. Ces derniers sont très faibles par rapport à ceux observés en air intérieur²⁴. Lorsque les fenêtres sont ouvertes, même si la température intérieure augmente pour devenir équivalente à la température ambiante, la dilution reste le processus prédominant et l'emporte sur les autres processus et en particulier sur les sources d'émission. L'influence de la température n'est alors plus observée.

III-2-2 Les bonnes pratiques pour maîtriser l'exposition au formaldéhyde

Les sources du formaldéhyde à l'intérieur des classes sont de deux types : permanentes et à court terme. Elles sont permanentes lorsqu'elles proviennent de l'ameublement, des matériaux de construction, du revêtement de sol, de la décoration... Elles sont à court terme lorsqu'elles résultent des activités des occupants (utilisation des colles, des peintures...) et de certains produits de nettoyage. L'élimination, ou la réduction, des sources permanentes, ne peut se faire qu'en engageant des travaux de rénovation et/ou de changement d'ameublement et en choisissant des matériaux moins émissifs. Les émissions à court terme peuvent

²³ An Update Revision of ATSDR's February 2007 Health Consultation: Formaldehyde Sampling of FEMA Temporary-Housing Trailers. Baton Rouge, Louisiana, September-October, 2006. U.S. DEPARTMENT OF HEALTH AND HUMAN SERVICE. October 2007.

²⁴ Valeurs repères d'aide à la gestion dans l'air des espaces clos. Le formaldéhyde. Haut Conseil de la Santé Publique. Octobre 2009.

être éliminées ou à défaut réduites, en choisissant des produits ne contenant pas ou peu de formaldéhyde.

La réduction des concentrations en formaldéhyde peut se faire, dans un premier temps, en agissant sur les facteurs qui conditionnent le comportement de ce polluant à l'intérieur des classes (température, humidité, dilution, saisonnalité...).

Les préconisations qui vont suivre ont pour objectif principal la réduction des concentrations en formaldéhyde dans les classes. Elles sont basées sur les observations et les résultats de l'étude AICOLE tout en intégrant les conseils et les préconisations rencontrés dans différents guides et brochures^{25, 26, 27, 28, 29} relatifs à l'amélioration de la qualité de l'air intérieur. Elles doivent être utilisées en gardant à l'esprit que les établissements doivent profiter des travaux de rénovation ou de changement d'ameublement pour choisir les matériaux les moins émissifs et privilégier, pour les activités scolaires comme pour le nettoyage, les produits ne contenant pas ou peu de formaldéhyde. D'une manière générale, les matériaux et les produits émettant le moins de COV (Composés Organiques Volatils) doivent être privilégiés, car ces polluants peuvent réagir chimiquement et produire du formaldéhyde.

Ventilation et Aération

Les classes doivent avoir un système de ventilation qui assure un débit d'air neuf de 15 m³ par heure et par personne³⁰. La ventilation permet de renouveler en permanence l'air d'une pièce empêchant ainsi l'accumulation des polluants à l'intérieur des classes. L'aération, par ouverture des fenêtres, permet de renouveler l'air d'une pièce avec un débit plus important que la ventilation, en faisant entrer de l'air frais pendant quelques minutes. C'est un complément de la ventilation, en particulier si cette dernière est défaillante. Elle devient nécessaire lorsque le système de ventilation est inexistant (sur les 27 classes étudiées, 20 classes n'ont aucun système de ventilation, 5 classes ont une ventilation naturelle via un système de grilles et seulement deux classes possèdent une ventilation automatique type VMC).

Dans tous les cas, avec ou sans système de ventilation, l'aération des classes par ouverture des fenêtres est fortement conseillée dans les cas suivants :

1. après chaque activité nécessitant l'utilisation de la colle, de la peinture et des feutres,
2. après le nettoyage des classes.

En dehors de la saison hivernale, et si les fenêtres sont de types oscillo-battantes ou à soufflet, alors il est préférable de laisser les fenêtres entrebâillées sur leur partie haute, pendant toute la durée de l'activité.

²⁵ Formaldéhyde à l'intérieur des locaux. Informations et conseils au consommateur. Confédération Suisse. Office fédéral de la santé publique. Berne, août 2008.

²⁶ Recenser, prévenir et limiter les risques sanitaires environnementaux dans les bâtiments accueillant des enfants. Guide à l'usage des collectivités territoriales (www.ecologie.gouv.fr)

²⁷ Pour une bonne qualité de l'air chez soi. Brochure éditée par l'APPA (association pour la prévention de la pollution atmosphérique. www.appa.asso.fr)

²⁸ Guide de la pollution de l'air intérieur. Tous les bons gestes pour un air plus sain. INPES (www.inpes.sante.fr)

²⁹ Guide de prévention : Le formaldéhyde en milieu de travail. IRSST (Institut de recherche Robert-Sauvé et en Sécurité de Travail) www.irsst.qc.ca

³⁰ Ventilation Performante dans les Ecoles : Guide de conception. Centre Technique des Industries Aérauliques et Thermiques (www.cetiat.fr).

Réduire l'intensité des périodes de forte exposition

Durant l'année scolaire, les périodes de forte exposition au formaldéhyde sont localisées en dehors de la saison hivernale (de septembre à mi-novembre et de mi-mars à juin). Ces périodes sont caractérisées par des faibles concentrations en polluants primaires tels que le benzène et le dioxyde d'azote. Pendant ces périodes, il faut augmenter la fréquence et/ou la durée de l'aération des locaux, ce qui aura pour effet une réduction de l'intensité des concentrations maximales en formaldéhyde et donc une réduction de sa moyenne annuelle. Les pratiques suivantes peuvent être adoptées :

1. ouverture des fenêtres le matin avant l'arrivée des enfants,
2. ouverture des fenêtres pendant les récréations et à la coupure du déjeuner,
3. ouverture des fenêtres juste après le départ des écoliers.

Ces pratiques peuvent aussi être adoptées en période froide, notamment l'ouverture des fenêtres pendant les récréations, en veillant à baisser dans la mesure du possible, les thermostats des radiateurs pour ne pas gaspiller l'énergie.

Agir sur la température et l'humidité

Une température et un taux d'humidité élevés favorisent l'émission du formaldéhyde ainsi que d'autres substances chimiques provenant des matériaux de construction et d'ameublement. C'est pourquoi il convient de maintenir une certaine fraîcheur dans les locaux : en les aérant fréquemment le matin pendant les périodes chaudes et en ne les chauffant pas à plus de 21 degrés durant la saison froide. L'aération permet de réduire le taux d'humidité en particulier pendant la saison froide.

Stockage des produits

Les produits nécessaires à l'activité scolaire doivent être stockés en dehors de la classe dans un local ou une armoire possédant une aération vers l'extérieur.

IV- Conclusion et perspectives

La caractérisation de la qualité de l'Air à l'Intérieur des écoles « **AICOLE** » est une étude qui s'inscrit directement dans l'action 29 du Plan Régional Santé Environnement (PRSE) de la région Centre. Elle vise, d'une part, la caractérisation des niveaux des polluants auxquels sont exposés les occupants des classes, et d'autre part, la sensibilisation des enseignants et des écoliers à la problématique de la pollution de l'air intérieur. Elle a été menée durant l'année scolaire 2008-2009, dans 27 écoles réparties sur des communes rurales et urbaines de la région Centre.

En plus du formaldéhyde, du benzène et du dioxyde d'azote, 7 autres aldéhydes ont été suivis lors de cette étude. La présence de ces dix polluants a été notée dans toutes les classes étudiées, avec des concentrations variables d'un polluant à l'autre et d'une classe à l'autre. Les résultats de l'étude confirment ceux des études menées dans d'autres régions et montrent ainsi qu'ils ne sont pas spécifiques aux écoles de la région Centre.

Aucun dépassement de la VGAI long terme pour le benzène n'a été constaté. Cette valeur a été respectée aussi bien par les concentrations moyennes annuelles que par les concentrations individuelles.

Le dioxyde d'azote ne possède pas encore de valeur guide en air intérieur. La comparaison de ses concentrations annuelles par rapport à sa valeur limite en air extérieur, montre que cette dernière a été respectée. La distinction entre caractères urbain et rural a été constatée pour ce polluant. Les concentrations les plus élevées en dioxyde d'azote sont plutôt observées dans les écoles à caractère urbain. Ceci est dû au fait que la source dominante de ce polluant est la circulation automobile, source de pollution plus intense en milieu urbain qu'en milieu rural. Dans les classes moins confinées, une grande similitude est observée sur les variations des concentrations extérieures et intérieures en dioxyde d'azote. Les moyennes annuelles extérieures et intérieures sont équivalentes, ce qui implique un transfert de la source extérieure vers l'intérieur. Cette similitude n'est plus observée dans les classes plus confinées. La moyenne annuelle en air extérieur est environ 3 fois plus importante que celle en air intérieur.

Le formaldéhyde est le seul polluant possédant des valeurs repères d'aide à la gestion dans l'air intérieur. L'analyse des résultats suivant ces valeurs de gestion montre que la valeur repère de qualité de l'air ($30 \mu\text{g}/\text{m}^3$) en 2009 est respectée dans 85% des classes étudiées (23 classes). Deux d'entre elles respectent même la valeur cible ($10 \mu\text{g}/\text{m}^3$) à atteindre en 2019. Ces deux classes sont qualifiées de catégorie A+. Les 21 autres classes sont de catégorie A, et elles doivent atteindre la catégorie A+ d'ici 2019.

La valeur repère qualité de l'air a été dépassée par 4 classes (15%) tout en respectant la valeur d'information et de recommandation ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) en 2009. Ces classes sont qualifiées de catégorie B. Elles doivent baisser leurs concentrations en formaldéhyde pour ramener les niveaux en dessous de la valeur repère qualité de l'air et avec un objectif d'être en dessous de la valeur cible à l'horizon de 2019.

En terme de moyenne annuelle, aucun dépassement de la valeur d'information et de recommandation ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) n'a été constaté. La concentration moyenne maximale observée est de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Par contre en terme de valeur hebdomadaire, 5 concentrations supérieures à $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ont été enregistrées dans 3 classes différentes. La concentration maximale atteinte lors de cette étude est $64 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Elle a été enregistrée avec deux autres valeurs supérieures à 50 µg/m³, dans cette même classe. Un réel risque de dépassement de la valeur d'information et de recommandation est constaté dans cette classe. Cette valeur d'information et de recommandation sera de 46 µg/m³ en 2010.

L'analyse des comportements annuels de ces trois polluants montre que les périodes de forte exposition au benzène et au dioxyde d'azote sont localisées en période hivernale. Saison propice à l'augmentation des concentrations de ces polluants en air extérieur. Pour le formaldéhyde, les périodes de forte exposition sont localisées en dehors des périodes froides. Les concentrations les plus élevées sont enregistrées, globalement, de septembre à fin octobre et de mi-mars à la fin de l'année scolaire. Une aération fréquente des classes, par ouverture des fenêtres, devrait diminuer l'intensité des pics en formaldéhyde pendant ces périodes et par conséquent la moyenne annuelle de ce polluant.

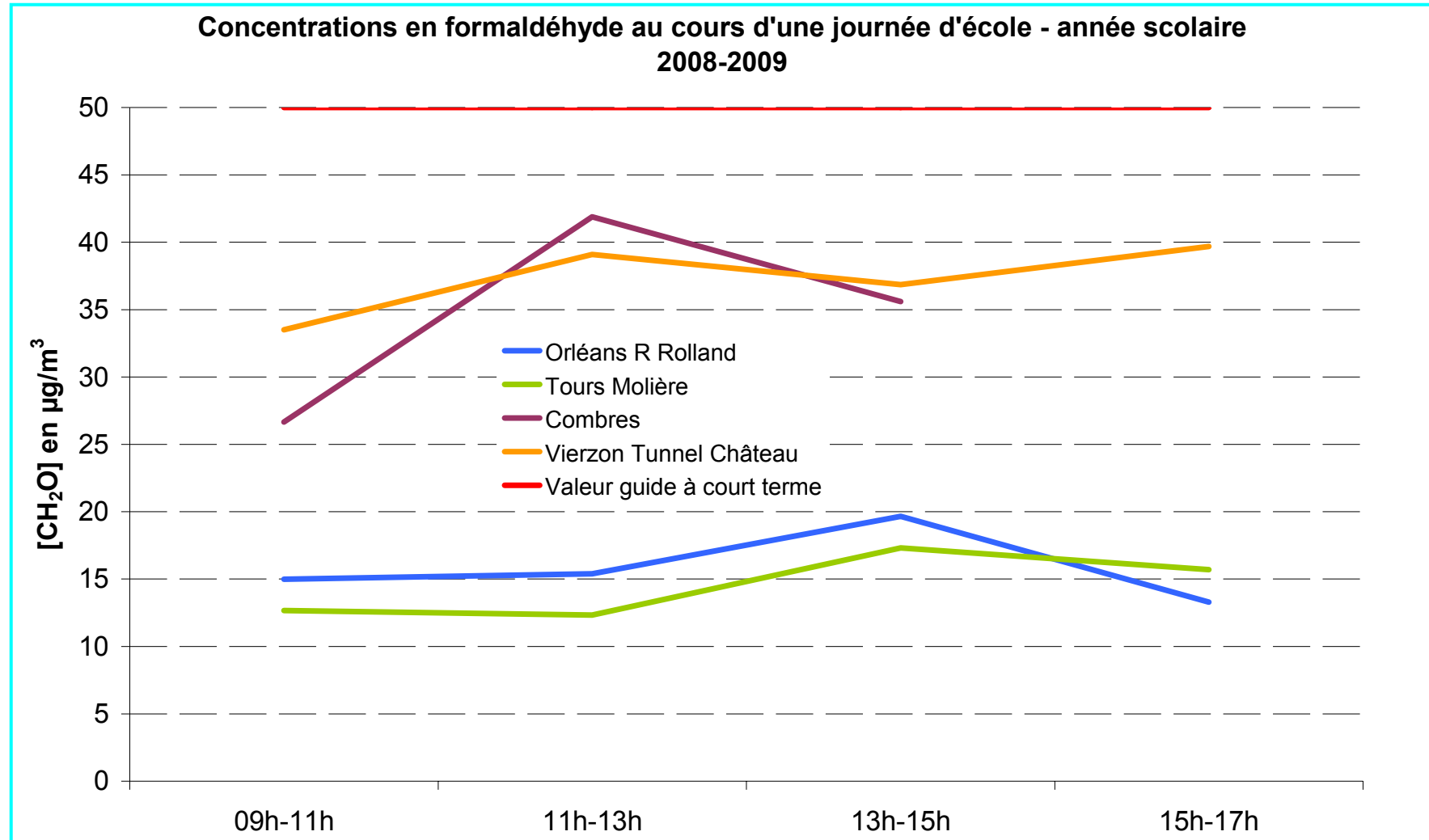
L'importance d'une bonne ventilation, pour faire diminuer les niveaux de polluants dans l'air intérieur, est soulignée dans toutes les études relatives à cette problématique. Or, sur les 27 classes étudiées, seulement 5 classes ont une ventilation naturelle via un système de grilles et uniquement deux classes possèdent une ventilation mécanique contrôlée (VMC). L'aération par ouverture des fenêtres, tout en veillant à la sécurité des enfants, devient alors nécessaire pour réduire les taux de ces polluants dans les classes. Même en présence d'une VMC, l'aération des classes doit être adoptée pendant les récréations et certaines activités scolaires.

Lors de cette étude, chaque prélèvement était accompagné d'un questionnaire regroupant, entre autres, des informations sur les activités scolaires menées pendant la durée du prélèvement. L'analyse de ces questionnaires en fonction des concentrations mesurées, est en cours de réalisation. Les résultats de cette analyse feront l'objet d'un rapport complémentaire. Seront aussi inclus dans ce rapport, les résultats relatifs aux polluants non discutés dans le présent rapport.

Durant l'année scolaire 2010-2011, une quinzaine d'écoles et de crèches de la région Centre seront investiguées dans le cadre de la seconde phase de la campagne pilote, menée au niveau national et pilotée par les ministères en charge de l'écologie et de la santé. Les prélèvements seront assurés par Lig'Air.

ANNEXES

Annexe 1 : premiers résultats des mesures actives



Annexe 2 : premiers résultats des mesures de confinement

Seuils utilisés par le détecteur de confinement du CSTB :

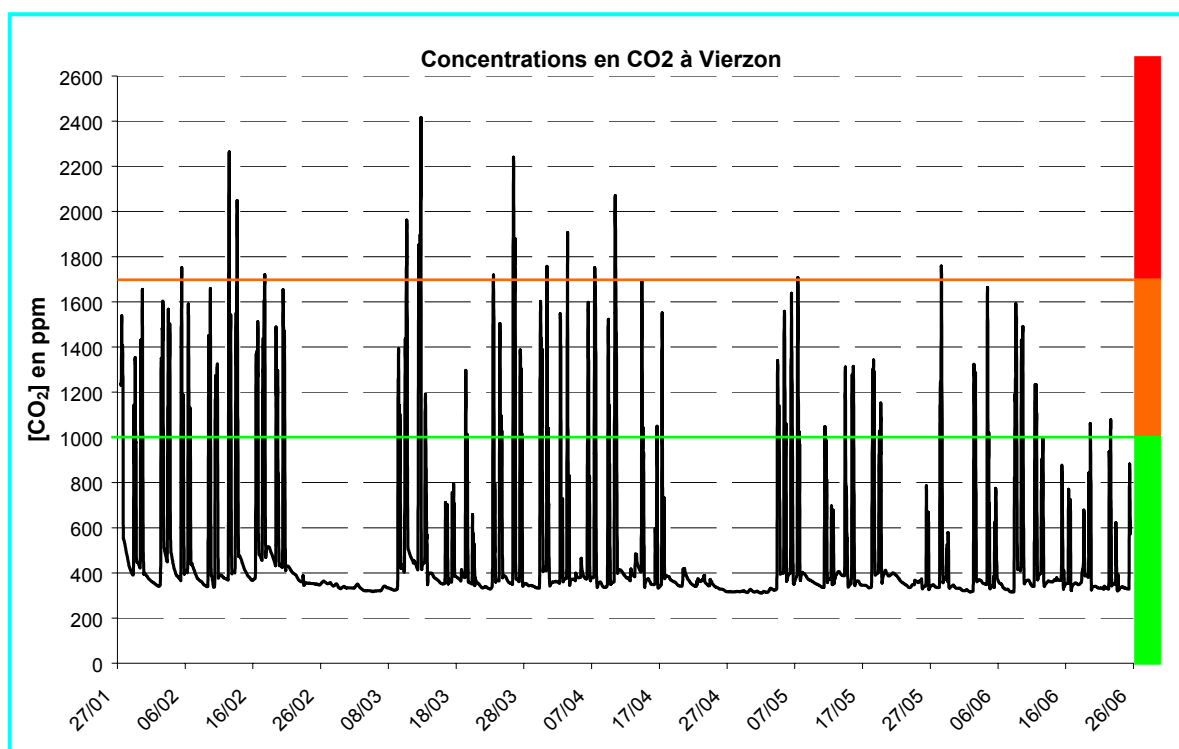
[CO₂] < 1000 ppm (vert): l'ambiance n'est pas confinée, il convient de maintenir les fenêtres fermées;

1000 ppm ≤ [CO₂] < 1700 ppm (orange): l'ambiance est légèrement confinée et il est utile d'ouvrir les fenêtres pour faire baisser le taux de confinement;

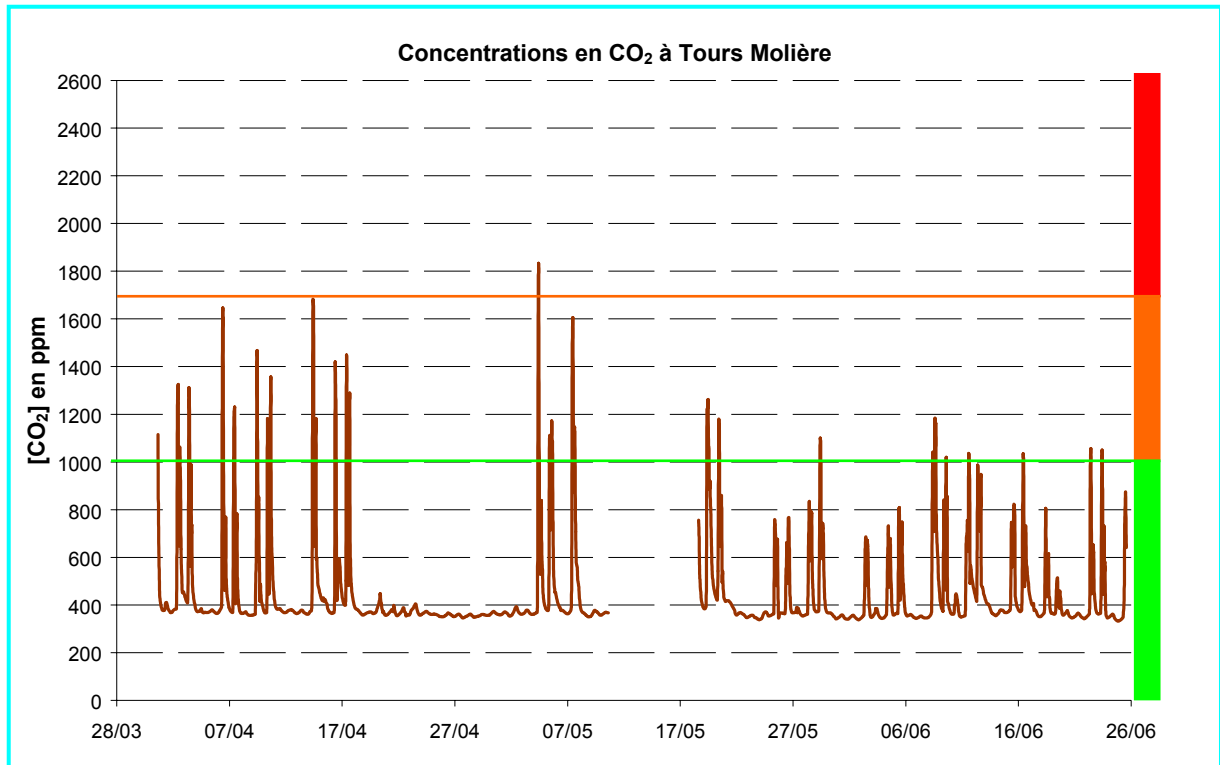
[CO₂] ≥ 1700 ppm (rouge): il faut ouvrir les fenêtres pour augmenter le renouvellement d'air du local.

En dehors des vacances scolaires, l'ambiance dans la classe est légèrement confinée pendant 11% de la période étudiée.

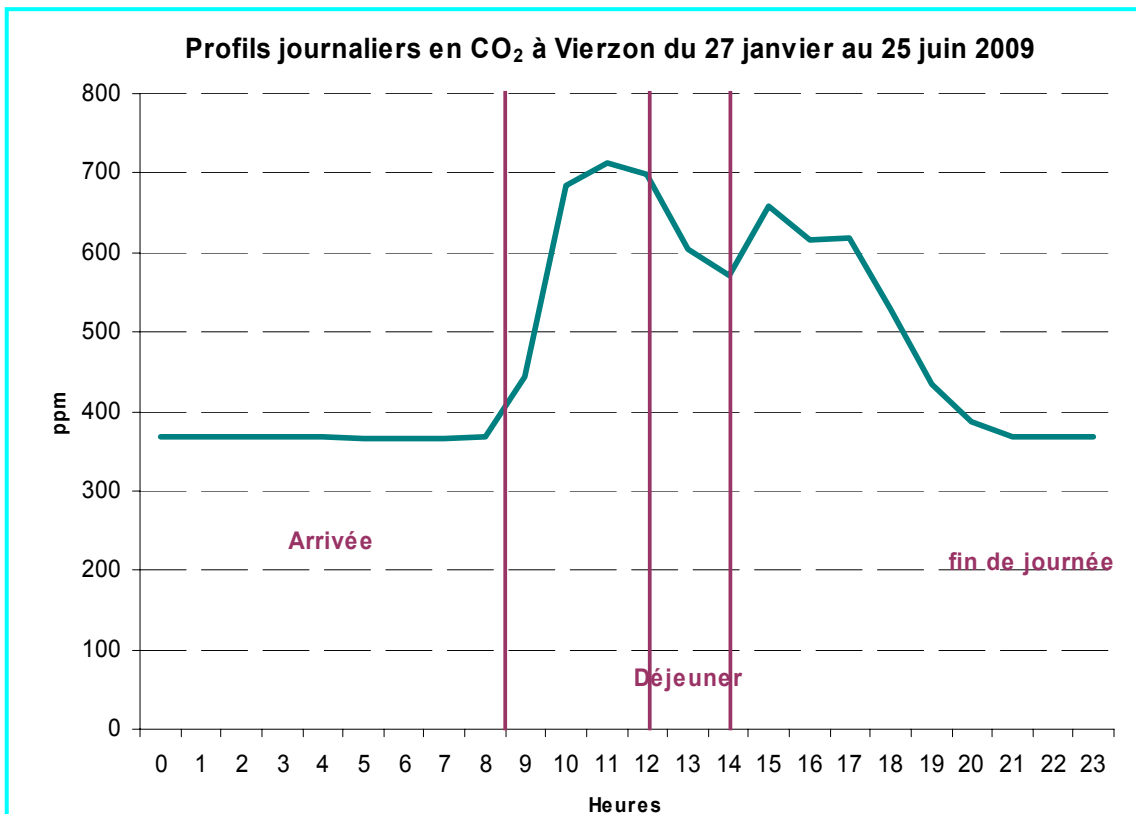
Le confinement est plus important en hiver et au début du printemps.



Les concentrations en CO₂ à Tours Molière sont plus faibles que sur Vierzon. Il en est de même pour les concentrations en formaldéhyde.



Le profil des concentrations est lié à la présence de personnes dans la classe. Les niveaux maxima sont observés en fin de matinée et dans l'après-midi. Lorsque la classe est vide, la nuit et avant l'arrivée des élèves, les concentrations en CO₂ sont au plus bas. De même, on constate qu'au cours de la pause déjeuner, les niveaux baissent pour ré-augmenter lorsque les cours reprennent.



Annexe 3 : Concentrations moyennes en aldéhydes (unité : $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Ecoles	Formaldéhyde	Acétaldéhyde	Propanal	Butanal	Benzaldéhyde	Isopentanal	Pentanal	Hexanal
Combres	50	8	3	14	2	1	5	29
Vierzon	41	13	4	-	1	3	13	46
Blois Hautes Saules	38	7	2	8	4	1	3	11
Vicq-Exempt	34	8	2	5	1	2	3	17
Châteauroux Michelet	29	7	2	6	1	1	3	13
Châteaudun	28	7	2	6	2	1	4	18
Châteauroux Claude Bernard 1	27	6	2	6	1	1	7	30
Blois Charcot	26	6	2	5	1	1	2	9
Danzé	22	6	2	5	2	1	4	21
Chilleurs-aux-Bois	21	5	1	5	1	1	2	9
Orléans Romain Rolland	21	5	1	9	2	1	2	9
Tours Mirabeau	20	7	2	7	1	1	2	10
Saint-Cyr-en-Val	19	5	1	4	1	1	2	9
Savigné-sur-Lathan	19	6	1	5	1	1	3	11
Chartres	18	4	1	4	1	1	1	5
Beaulieu-lès-Loches	16	6	2	4	1	1	3	14
Néron	16	5	1	7	1	1	3	13
La Selle sur le Bied	16	4	1	6	1	1	2	8
Arçay	15	6	1	3	0	0	2	9
Veaugues	14	5	2	7	0	1	4	19
Vinon	14	5	1	6	1	1	2	10
Ouchamps	13	4	1	3	1	1	1	6
Tours Molière	12	5	2	5	1	1	2	9
Bourges	12	5	1	4	1	1	2	7
Saint-Marcel	12	4	1	7	0	1	2	7
Orléans J A du Cerceau	10	4	1	5	0	1	2	11
Le Bardou	8	4	1	3	1	1	2	6

Annexe 4 : Questionnaire général

PARTIE ADMINISTRATIVE

Commune :

Nom de l'établissement :

Niveau(x) scolaire de la classe (petite section, CP, CE2...) :

Contact (personne responsable des tubes passifs) :

Tél. :

ENVIRONNEMENT DE L'ETABLISSEMENT

1- Environnement général :

- Rural
- Urbain (banlieue)
- Urbain (centre)
- Zone industrielle
-
- Autre

2- A proximité de l'établissement il y a :

- Station service
- Espace vert
- Gare routière
- Axe de circulation à fort trafic
- Cheminée de chauffage d'immeuble
- Débouché de tunnel routier
- Industrie
- Autre :
.....

LE BATIMENT

3- A quelle période la construction du bâtiment a-t-elle été achevée ?

- < 6 mois
- < 2 ans
- < 10 ans
- entre 10 et 20 ans
- > 20 ans

4- Y a t-il eu des travaux importants depuis moins de 2 ans ?

- Oui
- Non

5- Si oui, préciser lesquels :

.....

.....

LA SALLE DE CLASSE :

6- La salle de classe se situe :

- Au rez-de-chaussée
- au 1^{er} étage
- au 2^{ème} étage
- Autre :

7- La salle de classe est exposée :

- Nord
- Sud
- Est
- Ouest

8- Si les fenêtres de la salle de classe donnent sur un axe routier, ce dernier est-il :

- Très passant
- Moyennement fréquenté
- Peu fréquenté

9- Dimensions de la salle de classe (en m) : H :L :l :

10- Combien y a t-il de fenêtres donnant sur l'extérieur de l'école dans la salle de classe ?

11- Type de vitrage :

12- L'étanchéité fournie par les fenêtres de la salle de classe est :

- Bonne
- Mauvaise

13- Combien y a-t-il de portes donnant sur l'extérieur de l'école dans la salle de classe ?

14- La salle de classe communique directement par une porte avec :

- une autre salle de classe
- une salle de repos
- une salle de propreté, des sanitaires
- une pièce de stockage des produits de nettoyage
- une pièce de stockage des fournitures
- la cour / l'extérieur
- une bibliothèque
- Autre :

L'AERATION

15- L'extraction d'air vicié est :

- Automatique
- Naturelle avec grille de ventilation
- Il n'y en a pas

16- Valeur du débit d'air extrait (si connue) :m³/h

17- Existe t-il un programmateur pour l'aération ?

- Oui
- Non

LE CHAUFFAGE

18- Type de chauffage :

- un chauffage central
- un poêle individuel
- Autre :

19- Type d'énergie utilisée pour le chauffage :

- Fioul
- Bois
- Gaz
- Electricité
- Charbon
- Autre :

20- Si la salle de classe est chauffée par une chaudière, cette dernière est située :

- dans une autre pièce communiquant directement avec la salle de classe
- dans une autre pièce ne communiquant pas directement avec la salle de classe
- dans un autre bâtiment
- Autre :

LES REVETEMENTS

21- Le revêtement principal du sol est :

- du carrelage, dallage
- du linoléum, revêtement plastique
- du parquet stratifié
- du parquet en bois massif
- de la moquette, tapis
- de la peinture
- Autre :

22- Si le sol est recouvert par d'autres type de revêtements (en plus du revêtement principal), quels sont ils ?

- du carrelage, dallage
- du linoléum, revêtement plastique
- du parquet stratifié
- du parquet en bois massif
- de la moquette, tapis
- de la peinture
- Autre :

23- De quand date le revêtement principal du sol ?

24- Le revêtement mural principal est :

- du papier peint, papier vinyl
- de la peinture
- des boiseries
- du textile
- de la moquette
- du carrelage, de la faïence
- Autre :

25- Si le mur est recouvert par d'autres type de revêtements (en plus du revêtement principal), quels sont ils ?

- du papier peint, papier vinyl
- de la peinture
- des boiseries
- du textile
- de la moquette
- du carrelage, de la faïence
- Autre :

26- De quand date le revêtement mural principal ?

27- Le revêtement principal du plafond est :

- du papier peint, papier vinyl
- de la peinture
- des boiseries
- du textile
- de la moquette
- plafond suspendu
- Autre :

28 Si le plafond est recouvert par d'autres types de revêtements (en plus du revêtement principal), quels sont-ils ?

- du papier peint, papier vinyle
- de la peinture
- des boiseries
- du textile
- de la moquette
- plafond suspendu
- Autre :

29- De quand date le revêtement principal du plafond ?

LES EQUIPEMENTS

30- Si la salle de classe contient du mobilier en bois massif, de quand date-t-il ?.....

31- Si la salle de classe contient du mobilier en bois reconstitué (particules, stratifié, contreplaqué), de quand date-t-il ?.....

32- Il y a un photocopieur :

- dans la salle de classe
- dans une pièce communiquant directement avec la salle de classe
- Autre :

33- Dans la salle de classe, il y a un ou des tableau(x) à utiliser avec :

- des feutres
- des craies
- Autre :

34- Il y a une bibliothèque :

- dans la salle de classe
- dans une pièce communiquant directement avec la salle de classe
- Autre :

35- Le matériel de peinture, vernis, collage, les pesticides, les produits détergents sont stockés :

- sur une étagère
- dans un placard : Ventilé
 Non ventilé
- Autre :

36- Le placard ou l'étagère contenant peinture, vernis, colle, pesticides, produits détergent se trouve :

- Dans la salle de classe
- Dans une pièce communiquant directement avec la salle de classe
- Autre :

NETTOYAGE DE LA SALLE DE CLASSE

	Lundi		Mardi		Mercredi		Jeudi		Vendredi	
	Matin	Après-midi	Matin	Après-midi	Matin	Après-midi	Matin	Après-midi	Matin	Après-midi
Lavage du sol										
Nettoyage des vitres										
Nettoyage du mobilier										
Nettoyage des tapis/moquettes										

37- La mairie est-elle engagée dans une démarche écologique avec l'utilisation pour les écoles :

- de produits nettoyants plus écologiques
- de feutres sans solvants pour les tableaux
- autre :

Annexe 5 : Questionnaire activité : à remplir durant les campagnes de mesures

Commune :

Nom de l'établissement :

Nom de la personne qui a rempli le questionnaire :

Période de mesures : du au

Les questions 2 et 3 nécessitent un suivi au jour le jour.

1- Indiquer les dates et les heures de pose et de retrait des tubes à diffusion passive

	Pose des tubes	Retrait des tubes
Date		
Heure		

2- Le nombre de personnes (enfants + adultes) présentes dans la salle de classe était de :

	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi
Matin					
Après-midi					

3- Préciser la durée approximative en minutes pour chaque activité :

		Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi
Activités pratiquées par les élèves	Peinture / Vernis					
	Colle					
	Feutres					
	Pâte à modeler					
	Autre :					
Utilisation du tableau	A feutres					
	A craies					
Ouverture des portes et fenêtres communiquant avec l'extérieur						
Ouverture des portes communiquant avec une bibliothèque, une salle contenant un photocopieur ou une salle de stockage (peinture, colle...)						

4- Durant la semaine, les élèves et/ou vous-même avez-vous senti une gêne ?
(préciser le nombre de personnes concernées)

- maux de tête :
- gorge sèche :
- frottement des yeux :
- Nausées :
- Autre :
- Aucune gêne particulière

6- Durant la semaine, l'aération automatique a-t-elle fonctionné ?

- Oui
- Non

7- Au cours de la semaine, vous avez utilisé dans votre salle de classe :

- Des anti-poux ou autres insecticides
- Des produits de nettoyage pour une cage contenant des animaux domestiques (lapins, rongeurs...) ou pour un aquarium
- Des produits anti-parasitaires sur des animaux domestiques (lapins, rongeurs...)
- Des pesticides
- Des désodorisants d'intérieur sous forme d'aérosol
- Des désodorisants d'intérieur sous forme de diffuseur électrique

8- Durant la semaine, le chauffage a-t-il fonctionné ?

- Oui : préciser le nombre de jours : jour(s)
- Non

9- Depuis la précédente campagne de mesure, y a-t-il eu un ou des changement(s) dans la salle de classe (nouveau mobilier, nouvelle peinture au mur, arrivé d'un animal domestique, d'une plante...) ?

.....

NOTES