



Qualité de l'air intérieur dans les lycées de la région Rhône-Alpes



Etude de faisabilité dans 4 établissements

Août 2010



AMPASEL et COPARLY font partie du dispositif français de surveillance et d'information de la qualité de l'air. Leur mission s'exerce dans le cadre de la loi sur l'air du 30 décembre 1996 et de ses décrets d'application notamment le décret 98-361 du 6 mai 1998 relatif à l'agrément des organismes de surveillance de la qualité de l'air.

A ce titre et compte tenu du statut d'organisme non lucratif du réseau, AMPASEL et COPARLY sont garants de la transparence de l'information sur le résultat de leurs travaux.

Condition de diffusion :

- Les données recueillies tombent dès leur élaboration dans le domaine public. Le rapport d'étude est mis à disposition sur www.atmo-rhonealpes.org, un mois après livraison.
- Les données contenues dans ce document restent la propriété des associations. Elles ne sont pas rediffusées en cas de modification ultérieure.
- Toute utilisation partielle ou totale de ce document doit faire référence aux associations en terme de « AMPASEL, COPARLY (2010) Qualité de l'air intérieur dans les lycées de la région Rhône-Alpes. Etude de faisabilité dans 4 établissements. Convention Région Rhône-Alpes ».
- AMPASEL et COPARLY ne sont en aucune façon responsables des interprétations et travaux intellectuels, publications diverses résultant des résultats de leurs travaux et pour lesquels aucun accord préalable n'aurait été donné.

Cette étude a reçu le soutien financier de la Région Rhône-Alpes.

Résumé

En regard du temps passé dans les établissements scolaires par les élèves, l'air intérieur dans ces établissements est devenu une préoccupation majeure pour la santé de ces populations sensibles. A ce jour, les données concernant les concentrations de polluants dans l'air intérieur des lycées sont extrêmement parcellaires au niveau national. Elles sont les moins bien connues, en ce qui concerne les établissements scolaires.

Par ailleurs, en lien avec la problématique énergétique principalement, les standards de la construction évoluent. Toutefois, maîtrise de l'énergie et qualité de l'air intérieur peuvent sembler difficiles à concilier à première vue.

C'est dans ce contexte que les associations de surveillance de Rhône-Alpes ont proposé à la Région Rhône-Alpes de réaliser une étude dans 4 lycées afin de vérifier la faisabilité d'une évaluation de la qualité de l'air dans ce type d'enceintes.

Les établissements ont été sélectionnés en fonction des caractéristiques des bâtiments afin d'avoir un panel diversifié, même si le faible nombre d'établissements restreint cet exercice.

Deux lycées de construction récente, à haute qualité environnementale, et deux lycées de construction plus ancienne ont été retenus. Dans chaque établissement, 5 salles (Centre de Documentation et d'Information (CDI), deux salles de classe, deux salles de Travaux Pratiques) et un point extérieur ont fait l'objet de mesures de polluants du lundi matin au vendredi soir, à trois reprises pendant l'année scolaire 2008-2009. Des mesures de CO₂ ont également été effectuées dans quelques salles afin d'évaluer le renouvellement d'air.

L'étude a permis tout d'abord de repérer les spécificités liées à la vie d'un lycée pour la mise en œuvre d'études de qualité de l'air dans ce type d'enceintes.

Sans surprise, les lycées n'échappent pas à la règle et les concentrations de polluants sont plus élevées dans l'air intérieur que dans l'air extérieur environnant. Néanmoins, l'environnement a un impact visible lorsque les sources internes sont réduites, comme pour le benzène dans les salles d'enseignement général. Cet impact est en revanche négligeable dans le cas du formaldéhyde ou lors d'activités spécifiques (TP, ateliers communicants).

Malgré le faible nombre d'établissements, l'étude montre **des niveaux de formaldéhyde globalement moins élevés que dans les autres types d'établissements scolaires**. La valeur repère 2009 proposée par le Haut Conseil de Santé Publique n'est dépassée que dans une seule des salles sondées.

L'étude des niveaux de CO₂ dans quelques salles montrent la bonne efficacité des systèmes de ventilation mécanique pour limiter le confinement des salles. Dans les établissements récents équipés de ces systèmes, les niveaux mesurés sont très inférieurs au lycée avec ventilation naturelle, même si des niveaux de CO₂ supérieurs à 1000 ppm correspondant à un début de confinement peuvent être observés pendant les heures de présence des élèves. L'absence de ventilation mécanique est particulièrement visible en période froide où le renouvellement de l'air par ouverture des fenêtres est plus limité.

L'évacuation de l'air vicié par les systèmes de ventilation mécanique laisse penser que les niveaux des autres polluants seront corrélés à la présence ou non de ces systèmes. Toutefois, l'étude a permis de souligner qu'en matière de qualité de l'air intérieur, **la ventilation n'est pas le seul paramètre à prendre en compte et qu'il s'agit bien de restreindre les sources potentielles de polluants**. Pour cela, l'aménagement extérieur, l'aménagement intérieur, et notamment la communication avec des zones d'ateliers, les matériaux de construction, le mobilier et les produits de nettoyage doivent être considérés. Ainsi, malgré un faible renouvellement d'air, les niveaux de formaldéhyde sont faibles dans le lycée ancien, hormis dans le centre de documentation.

Les résultats obtenus sur les bâtiments récents montrent qu'il est possible de limiter les concentrations de formaldéhyde et atteindre la valeur repère 2019. Certaines salles toutefois se démarquent, pour lesquelles il conviendra d'identifier les facteurs influençant la qualité de l'air intérieur.

Sommaire

1. Introduction	8
2. Méthodologie	9
1. Les sites de mesure	9
1. Choix des établissements et des salles	9
2. Description des sites de mesures	9
3. Localisation du prélèvement dans la salle	11
2. Les périodes de mesures	12
3. Les polluants mesurés	12
1. Choix des polluants	12
2. Mesures complémentaires	13
3. Matériel utilisé	14
4. Valeurs guides et valeurs de gestion de qualité de l'air intérieur	15
1. Les valeurs guides de l'AFSSET	15
2. Les valeurs de gestion de la qualité de l'air intérieur	15
3. Résultats	17
1. Le déroulement de l'étude	17
2. Les mesures	18
1. La mesure du CO ₂	18
2. Le benzène	21
3. Le toluène	22
4. Les xylènes	23
5. Le formaldéhyde	24
6. L'acétaldéhyde	26
4. Conclusions	27
Bibliographie	28

Figures et tableaux

Figure 1 : Emplacement du lycée Récamier	9
Figure 2 : Emplacement du lycée des Pays de l'Arbresle	10
Figure 3 : Emplacement du lycée Sampaix	10
Figure 4: Emplacement du lycée Carnot	11
Figure 5 : Emplacement du lycée Carnot	11
Figure 6 : CO ₂ et test de performance des élèves	14
Figure 7: Tube à diffusion passive sur support	14
Figure 8: mesure du CO ₂ et de la température.	14
Figure 9 : Suivi des teneurs en CO ₂ au cours de la semaine lors des campagnes de mars et de mai	18
Figure 11 Comparaison des évolutions des concentrations de CO ₂ en période froide et période chaude dans le lycée de l'Arbresle (VMC double flux) et au lycée Récamier (ventilation naturelle)	19
Figure 10 : CO ₂ et VMC (campagne 2)	19
Figure 12 : Benzène : concentrations moyennes.	21
Figure 13 : Toluène : concentrations moyennes	22
Figure 14 : Xylènes (Ortho, Méta, Para): concentrations moyennes	23
Figure 15 : Formaldéhyde : Concentrations moyennes	24
Figure 16 : Formaldéhyde : résultats des études rhônapines	25
Figure 17 Concentration moyenne de formaldéhyde dans chaque salle	25
Figure 18 : Acétaldéhyde : Concentrations moyennes	26

1. Introduction

Les premiers résultats des études menées par l'Observatoire de la Qualité de l'Air Intérieur (OQAI⁹) confirment bien la nécessité de mieux connaître la qualité de l'air dans les locaux privés ou publics. Ceci est particulièrement vrai en ce qui concerne les établissements scolaires dans lesquels les élèves passent plus de 6 heures par jour en période scolaire.

Le Plan National Santé Environnement 2009-2012 (PNSE^a) confirme cette orientation et prévoit dans le cadre de ses différentes actions de réduire les expositions dans les bâtiments accueillant des enfants, de mieux gérer la qualité de l'air intérieur dans les lieux publics et de mieux connaître les déterminants de la qualité de l'air intérieur et renforcer la réglementation. Ces objectifs sont repris dans le Plan Régional Santé Environnement de Rhône-Alpes (PRSE^b), en particulier dans la fiche action n° 29 qui vise à "veiller à la qualité des bâtiments accueillant des enfants".

Dès 2006 et afin de répondre à cet objectif, les Associations Agréées du Surveillance de la Qualité de l'Air (AASQA) de la région Rhône-Alpes se sont impliquées fortement dans cette démarche en menant une enquête régionale^c dans les écoles maternelles et crèches, concernant la mesure du formaldéhyde, polluant classé cancérigène par le CIRC¹. Depuis, elles poursuivent leurs investigations en priorité dans les établissements recevant de jeunes publics (écoles, collèges..).

A ce jour, les données concernant les concentrations de polluants dans l'air intérieur des lycées sont extrêmement parcellaires aux niveaux national et international et semblent être les moins bien connues, en ce qui concerne les établissements scolaires. Par ailleurs, en lien avec les problématiques énergétiques principalement, les standards de la construction évoluent. Les problématiques de la maîtrise de l'énergie et de la qualité de l'air intérieur peuvent sembler difficiles à concilier à première vue.

C'est sur cette base que les AASQA ont proposé à la Région Rhône-Alpes de réaliser une étude dans 4 lycées de la région afin de vérifier la faisabilité d'une évaluation de la qualité de l'air dans ce type d'enceintes. Ce projet constitue donc une étude préliminaire de la qualité de l'air intérieur dans les lycées, d'autre part une comparaison des résultats obtenus sera faite en fonction des caractéristiques des bâtiments, bien que le nombre restreint d'établissements limite cet exercice.

Le présent rapport expose en premier lieu la méthodologie employée, puis les résultats et enfin les principales conclusions.

¹ CIRC : Centre International de Recherche sur le Cancer.

2. Méthodologie

1. Les sites de mesure

1. Choix des établissements et des salles

Les établissements choisis pour réaliser cette première étude ont été déterminés en accord avec la Direction du patrimoine immobilier du Conseil Régional Rhône-Alpes. Ils ont été sélectionnés en fonction des caractéristiques des bâtiments afin d'avoir un panel diversifié, même si le faible nombre d'établissements restreint cet exercice.

Deux lycées de construction récente, le **lycée des Pays de l'Arbresle** à Sain Bel et le lycée **Sampaix** à Roanne, et deux lycées de construction plus ancienne, le **lycée Récamier** à Lyon (2^{ème} arrondissement) et le **lycée Carnot** à Roanne ont été retenus :
Les lycées Carnot et Sampaix représentent une seule unité administrative mais deux sites géographiques et deux types de construction bien distincts.

Dans chaque établissement, 5 salles (Centre de Documentation et d'Information (CDI), deux salles de classe, deux salles de Travaux Pratiques) et un point extérieur ont fait l'objet de mesures de polluants.

2. Description des sites de mesures

→ Le lycée Récamier à Lyon



Cet établissement se situe dans le deuxième arrondissement de Lyon. Il est placé dans une zone à très forte densité de population le long des rives du Rhône. Il est longé sur deux côtés par des voiries à fort trafic.

Il s'agit d'un lycée d'enseignement général et ne comporte donc aucun atelier susceptible d'être à l'origine d'émissions polluantes.

Figure 1 : Emplacement du lycée Récamier

Les salles retenues sont toutes dans le même bâtiment qui comporte 6 étages. Ce bâtiment ancien possède une ventilation naturelle.

Nom du site	Description
Salle 101	Salle de cours au 1 ^{er} étage
Salle 606	Salle de cours informatique au 6 ^{ème} étage
Salle 310	Salle de TP de Physique au 3 ^{ème} étage
Salle 210	Salle de TP de Biologie au 2 ^{ème} étage
CDI	Centre d'information et de documentation (2 ^{ème} étage)
Extérieur	Rue de la Charité

→ Le lycée du Pays de l'Arbresle à Sain Bel



Cet établissement se situe sur la commune de Sain Bel, en zone rurale et n'est pas sous l'influence de source de pollution à proximité. Ce lycée, de construction très récente (2008), répond aux critères de construction de type Haute Qualité Environnementale. Le lycée a été mis en fonctionnement à la rentrée de septembre 2008, il n'a accueilli que des élèves de seconde pour sa première année de fonctionnement.

Figure 2 : Emplacement du lycée des Pays de l'Arbresle

Ce lycée d'enseignement général ne comporte aucun atelier susceptible d'être à l'origine d'émissions polluantes. Les bâtiments d'enseignement sont équipés d'une ventilation mécanique simple flux avec régulation par sonde de présence.

Les salles retenues sont situées dans deux ailes différentes du bâtiment d'enseignement, le CDI est situé dans le bâtiment administratif.

Nom du site

Description

Salle D116	Salle de cours au rez-de chaussée – Bâtiment D
Salle D117	Salle de cours au rez-de chaussée – Bâtiment D
Salle C110	Salle de TP Physique-Chimie au rez-de chaussée – Bâtiment C
Salle C212	Salle de TP Biologie au 1 ^{er} étage – Bâtiment C
CDI	Centre d'information et de documentation - Bâtiment Administratif
Extérieur	Préau du lycée

→ Le lycée Sampaix à Roanne



Il se situe en périphérie de l'agglomération de Roanne. Destiné à l'enseignement professionnel dans 3 grands secteurs : maintenance industrielle, mécanique automobile et conduite routière. Plusieurs ateliers susceptibles d'émettre des polluants sont présents sur le site. Ceux-ci concernent essentiellement les formations relatives à la maintenance automobile

Ce lycée est constitué de bâtiments de constructions différentes. Le bâtiment A a été livré en 2007, la zone atelier en ossature bois a été livrée en 2008. Ce lycée est labellisé HQE, il est équipé d'une ventilation double flux.

Figure 3 : Emplacement du lycée Sampaix

Nom du site

Description

A033	Salle de cours – Bâtiment A – rez de chaussée
A138	Salle de TP – Bâtiment A – 1 ^{er} étage
D009	Salle de cours dans le bâtiment D (porte souvent ouverte sur couloir)
C004	Salle de cours dans le bâtiment C (porte communicante avec l'atelier auto)
CDI	Centre d'information et de documentation- Bâtiment A – 1 ^{er} étage
Extérieur	Cour intérieure

→ Le lycée Carnot à Roanne



Cet établissement se situe avenue Carnot au centre de Roanne, en zone de forte densité de population, et semble éloigné de toute source de pollution hormis la proximité des voiries environnantes.

Il s'agit d'un lycée d'enseignement scientifique et technologique. Les activités techniques menées dans cet établissement ne devraient pas être à l'origine de l'émission de polluants.

Figure 5 : Emplacement du lycée Carnot

Certaines parties du lycée étaient en phase de rénovation pendant l'année scolaire 2008-2009.

Nom du site	Description
A6	Salle de cours dans la partie Atelier (pas de fenêtres sur l'extérieur)
A15Ter	Salle de cours dans la partie Atelier (pas de fenêtres sur l'extérieur)
314A	Salle de TP 3 ^{ème} étage, remplacé à la campagne 3 par la salle 415 (4 ^{ème} étage - Rénové en cours d'année)
307A	Salle de TP 3 ^{ème} étage, remplacé à la campagne 3 par la salle 419 (4 ^{ème} étage - Rénové en cours d'année)
CDI	Centre d'information et de documentation - situé au 1 ^{er} étage, partie déjà rénovée en début d'année.
Extérieur	Cour de l'établissement - Côté rue Buffon

3. Localisation du prélèvement dans la salle

La norme NF ISO 16000-2 (Air intérieur. Partie 2 : Stratégie d'échantillonnage du formaldéhyde) précise que l'appareil d'échantillonnage doit être placé à au moins 1 m ou 2 m d'un mur et à une hauteur de 1,50 m ou de 1 m à 1,2 m dans le cas des bureaux, des écoles ou des jardins d'enfants dans lesquels la position assise est normale. Il est recommandé par ailleurs d'éviter les endroits exposés au soleil, à proximité des systèmes de chauffage, dans un courant d'air marqué ou à proximité des conduits de ventilation.

Ces préconisations ont été respectées autant qu'il était possible compte tenu des configurations des salles. Toutefois, les prélèvements ont été effectués à une hauteur légèrement supérieure à celle indiquée dans la norme. En effet, les mesures étaient réalisées pendant les périodes de présence des élèves, il était important de placer le matériel à une hauteur supérieure à la taille des élèves afin d'éviter des manipulations et de ne pas gêner les déplacements.

En comparaison des écoles maternelles et crèches où le matériel était facilement mis hors de portée des occupants, le risque de détérioration a priori dans les lycées était plus grande et l'étude de faisabilité devait en partie apporter des éléments sur ce point. Une affichette descriptive a été réalisée à cet effet.

2. Les périodes de mesures

Afin d'avoir une bonne représentativité de la qualité de l'air intérieur, trois périodes de mesure au cours des 3 saisons correspondant aux trimestres de l'année scolaire ont été retenues afin d'appréhender la variabilité des températures à l'intérieur des locaux, des taux de ventilation et les différentes activités.

Chaque campagne de mesures s'est déroulée du lundi matin au vendredi après midi (4,5 jours) de façon à représenter au mieux la période de travail des élèves.

Le tableau ci-dessous présente les dates des campagnes de mesures pour chaque établissement.

	Campagne 1	Campagne 2	Campagne 3
Lycée Récamier Lycée des Pays de l'Arbresle	du 24 au 28 novembre 2008	du 2 au 6 mars 2009	du 11 au 15 mai 2009
Lycée Carnot Lycée Sampaix	du 1 ^{er} au 5 décembre 2008	du 9 au 13 mars 2009	du 25 au 29 mai 2009

3. Les polluants mesurés

1. Choix des polluants

De manière générale, la pollution de l'air intérieur a pour origine :

- Des polluants chimiques émis par les appareils ménagers, les matériaux de construction et d'ameublement, les produits d'entretien ...
- Des polluants biologiques émis par les animaux de compagnie, les acariens, les moisissures...
- Des polluants venant de l'air extérieur, du trafic automobile notamment.

Dans le cadre de cette étude, seuls les polluants chimiques ont été recherchés.

Ceux susceptibles d'être retrouvés dans l'air intérieur étant très nombreux, les investigations se sont focalisées sur :

- Le formaldéhyde et l'acétaldéhyde.
- Le benzène, le toluène, les xylènes.

En effet, ces polluants font partie des polluants jugés prioritaires dans le cadre de plusieurs travaux. Au niveau national, **formaldéhyde** et **benzène** appartiennent au groupe 1 des substances prioritaires pour l'établissement d'une valeur guide en air intérieur^m, des valeurs guides ont été établies récemment pour ces deux polluants^{n,p}.

Acétaldéhyde, toluène et xylènes font partie du groupe 2 des substances prioritaires dans le cadre de la hiérarchisation réalisée par l'Agence Française de Sécurité Sanitaire de l'Environnement et du Travail^m.

Lors des premiers échanges sur l'étude avec la Région Rhône-Alpes, seule la mesure du formaldéhyde (et des aldéhydes) était prévue. Ce choix avait été fait car, au moment de la rédaction du projet, ce composé était le seul à faire l'objet d'une recommandation de la part de l'AFSSET et était sensé faire l'objet d'une valeur guide de gestion de la qualité de l'air intérieur (voir paragraphe 4). La mesure du benzène (et des autres BTX) a été ajoutée au protocole initial suite à la parution de l'avis de l'AFSSET concernant ce composé^p.

Plus d'infos sur ces polluants :

- Le **formaldéhyde** est classé depuis juin 2004 par le Centre International de la Recherche sur le Cancer (CIRC) comme polluant cancérigène (groupe 1). Ce polluant est également un irritant des yeux, du nez et de la gorge. Le formaldéhyde est présent dans de nombreux produits de construction et de décoration, produits d'entretien. Il peut être également produit par réaction chimique entre certains composés présents dans l'air intérieur et l'ozone.
- Le **benzène** a fait l'objet de nombreuses études concernant ses effets aigus et chroniques. L'ensemble des données recensées dans le cadre de l'établissement des valeurs guides en air intérieur montre que la voie d'exposition majeure au benzène dans la population générale est l'inhalation. Lors d'une exposition aiguë, *de nombreux troubles peuvent apparaître comme des céphalées, des vertiges, des troubles de la parole,...* Des concentrations élevées de benzène entraînent une dépression du système nerveux central et du système respiratoire pouvant conduire au décès. Par ailleurs, les études épidémiologiques en milieu professionnel ont clairement mis en évidence une relation causale entre l'exposition au benzène et l'apparition de leucémies aiguës non lymphocytaires, particulièrement la leucémie aiguë myéloïde [extrait de AFSSET, 2008^o].
Le benzène est issu du trafic automobile, du chauffage et de la fumée de tabac. Il ne doit pas entrer dans la composition des produits d'usage courant.
- L'**acétaldéhyde** a été classé comme cancérigène possible par le CIRC. C'est également un irritant des yeux et des voies respiratoires. A l'intérieur, il peut provenir de la fumée de cigarette mais également des panneaux de particules.
- A l'intérieur, le **toluène** peut provenir des produits d'entretien, les **xylènes** sont issus des peintures, des colles et des vernis.

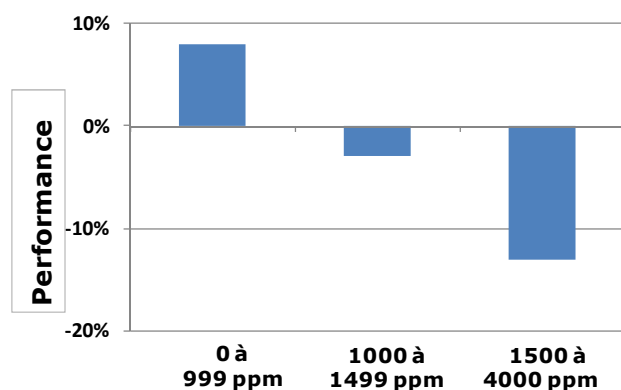
2. Mesures complémentaires

Afin d'aider à l'interprétation des résultats, des mesures complémentaires ont été effectuées. Dans chaque salle, la température a été suivie à l'aide d'un thermomètre enregistreur. Par ailleurs, dans quelques salles, selon la disponibilité du matériel, l'humidité relative et le dioxyde de carbone (CO₂) ont été mesurés à l'aide d'un analyseur-enregistreur.

A l'intérieur, le CO₂ peut être produit par l'activité humaine (respiration) et lors d'une combustion (appareils de chauffage). Dans les salles de classe, l'augmentation des niveaux de CO₂ est essentiellement due aux occupants, elle peut être très rapide si l'air de la pièce n'est pas suffisamment renouvelé.

En l'absence d'occupants, lorsque l'air de la pièce a bien été renouvelé, des niveaux semblables aux niveaux extérieurs sont observés : un peu plus de 350 ppm.

Le dioxyde de carbone est un bon indicateur du taux de renouvellement d'air pour l'air intérieur. Il peut permettre de mettre en évidence une mauvaise aération pouvant provoquer une accumulation des polluants. L'étude de la décroissance des niveaux de CO₂ en absence de sources (occupants en particulier) permet de vérifier le taux de renouvellement d'air de la pièce concernée, une décroissance lente correspond alors à un taux faible de renouvellement d'air.



Dans un local, une teneur en CO₂ supérieure à 1000 ppm est signe d'un confinement. L'augmentation des teneurs en CO₂ dans une salle de classe entraîne une diminution notable des performances des élèves. La figure 6 montre une diminution de compréhension d'un texte par les élèves. Cette diminution peut être supérieure à 10% pour les gammes de concentration les plus élevées. Elle débute dès que les niveaux atteignent 1000 ppm.

Figure 6 : CO₂ et test de performance des élèves (Myhrvold, 1996)¹

3. Matériel utilisé

→ Mesures par tubes à diffusion passive



Cette méthode a été utilisée pour la mesure des BTEX et des aldéhydes. Dans chaque salle investiguée et à l'extérieur de l'établissement, un tube a été exposé du lundi matin au vendredi soir de chaque campagne.

>> Les concentrations mesurées sont donc des **concentrations moyennes sur 4,5 jours**.

Les tubes utilisés sont :

BTEX : code 145 de la société Radiello®

Aldéhydes : code 165 de la société Radiello®

Figure 7: Tube à diffusion passive sur support

Les tubes ont été analysés par le laboratoire Interrégional de Chimie (LIC) du Grand Est, localisé à Strasbourg.

L'analyse d'un tube passif Aldéhydes permet de quantifier simultanément 7 aldéhydes : le formaldéhyde, l'acétaldéhyde, le propionaldéhyde, le butyraldéhyde, le benzaldéhyde, l'isovaléraldéhyde et le valéraldéhyde.

De même, l'analyse d'un tube passif BTEX permet de quantifier simultanément 5 polluants : le benzène, le toluène, l'éthylbenzène, les m+p xylène et o-xylène.

→ Mesures en continu



Figure 8: mesure du CO₂ et de la température.

Les mesures du CO₂ et de l'humidité relative ont été réalisées en continu au moyen d'un analyseur de type Q-Trak 8552 permettant des mesures sur un pas de temps de 1 minute. Cet appareil est identique à celui utilisé lors des études réalisées dans les écoles et les crèches par les AASQA Rhône-Alpes et lors de l'enquête nationale logements effectuée par l'OQAI.

Le suivi de la température effectué pendant toute la période de mesure sur chaque site des établissements a été réalisé à l'aide de thermomètres enregistreurs de type Radiello®. Ce suivi a permis d'estimer la température moyenne de chaque salle étudiée (extérieur y compris) sur la période.

4. Valeurs guides et valeurs de gestion de qualité de l'air intérieur

1. Les valeurs guides de l'AFSSET

L'Agence Française de Sécurité Sanitaire de l'Environnement et du Travail (AFSSET) a déterminé en 2007 des valeurs guides en air intérieur (VGAI) pour 3 substances : le benzène, le formaldéhyde et le monoxyde de carbone. Ces valeurs guides de qualité de l'air intérieur ont pour principal objectif de fournir une base pour protéger la population des effets sanitaires liés à une exposition à la pollution de l'air par inhalation et d'éliminer, ou de réduire, les contaminants ayant un effet néfaste sur la santé humaine et le bien-être.

Pour le formaldéhydeⁿ, l'AFSSET propose une valeur guide court terme applicable sur 2 heures et une valeur guide applicable sur une exposition long terme, fondées sur la prise en compte des irritations oculaires et nasales :

- 50 $\mu\text{g.m}^{-3}$ sur 2 heures pour une exposition à court-terme ;
- 10 $\mu\text{g.m}^{-3}$ pour une exposition à long terme.

Pour le benzène^p, trois valeurs guides correspondant respectivement à des expositions à court terme, intermédiaire et chronique ont été déterminées :

- VGAI long terme :
10 $\mu\text{g.m}^{-3}$ pour une exposition > 1 an (effets hématologiques non cancérogènes)
- 2 $\mu\text{g.m}^{-3}$ pour une exposition vie entière (effets hématologiques cancérogènes) ;
- VGAI intermédiaire :
20 $\mu\text{g.m}^{-3}$ sur un an (effets hématologiques non cancérogènes)
- VGAI court terme :
30 $\mu\text{g.m}^{-3}$ en moyenne sur 14 jours (effets hématologiques non cancérogènes)

Pour le monoxyde de carbone^o, 4 valeurs guides permettant de ne pas dépasser le seuil de 2,5% de carboxyhémoglobine dans le sang (niveau à ne pas dépasser pour protéger l'ensemble de la population) ont été définies :

- 10 mg.m^{-3} pour une exposition de 8 heures
- 30 mg.m^{-3} pour une exposition de 1 heure
- 60 mg.m^{-3} pour une exposition de 30 minutes
- 100 mg.m^{-3} pour une exposition de 15 minutes

A noter que le monoxyde de carbone n'a pas été retenu initialement dans l'étude, car les risques concernant cette substance sont plutôt liés à des appareils de chauffage d'appoint défectueux.

2. Les valeurs de gestion de la qualité de l'air intérieur

- Suite au Grenelle de l'Environnement, le principe de surveillance de la qualité de l'air intérieur dans les lieux ouverts au public a été décidé (engagement n° 152). Des études² sont actuellement en cours au niveau national pour élaborer des protocoles de mesure pour différentes substances pouvant faire l'objet d'une surveillance.

Ces études concernent dans un premier temps les lieux scolaires et d'accueil de la petite enfance. 300 de ces établissements répartis sur l'ensemble du territoire, feront l'objet d'investigations lors de deux campagnes de mesures programmées pour les années scolaires 2009-2010 et 2010-2011. Les polluants concernés sont ceux pour lesquels des valeurs guides sanitaires étaient disponibles ; à savoir : le formaldéhyde et le benzène. Le monoxyde de carbone a également été écarté de cette étude. Suite à cette étude, des valeurs de gestion de la QAI devraient être publiées afin de proposer, en fonction des niveaux de polluants trouvés dans les établissements, des actions correctives à mener.

² Etudes pilotées par la Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air (LCSQA) en partenariat avec le CSTB. Les AASQA, dont celles de Rhône-Alpes, sont associées à ces travaux dans leurs régions respectives.

Le PNSE II prévoit une surveillance obligatoire des écoles et crèches pour 2012/2013. Si les lycées ne sont pas directement concernés par cette proposition, il est fort probable que l'on assiste à une demande importante des parents d'élèves et des enseignants de ces établissements lors de la publication des premiers résultats de ces études et contrôles.

Par ailleurs, le Haut Conseil de Santé Publique (HCSP) a défini des valeurs repères qui sont établies dans le but d'orienter l'action publique.

Trois valeurs repères sont prévues pour tous les polluants qui feront l'objet d'une proposition :

→ **une valeur repère de qualité de l'air :**

C'est la valeur en dessous de laquelle il n'y a pas d'action spécifique à engager à court terme. Elle peut être considérée comme la teneur maximale acceptable pour une bonne qualité de l'air vis-à-vis du polluant considéré dans les conditions régulières d'occupation d'un local.

Cette valeur est appelée à décroître linéairement au fil des années afin d'atteindre la valeur cible de l'AFSSET.

→ **Une valeur d'information et de recommandation (VIR) :**

Elle détermine un niveau de contamination qui ne doit pas être dépassé dans un local habité. Si c'est le cas, il est nécessaire d'identifier les sources et de réduire dans les meilleurs délais (quelques mois) celles dont l'impact est le plus important. Cette valeur connaîtra également une décroissance linéaire afin d'atteindre à terme la valeur guide de l'AFSSET.

→ **Une valeur d'action rapide (VAR) :**

Elle correspond à un niveau de concentration tel que des travaux et actions d'amélioration sont nécessaires à court terme afin d'identifier les sources de pollution et de les neutraliser.

A ce jour, le HCSP a publié les valeurs retenues pour le formaldéhyde :

	AFSSET Valeur guide	Valeur repère	HCSP Valeur d'information et de recommandations	Valeur d'action rapide
Formaldéhyde	10 $\mu\text{g.m}^{-3}$	30 $\mu\text{g.m}^{-3}$ en 2009 20 $\mu\text{g.m}^{-3}$ en 2014 10 $\mu\text{g.m}^{-3}$ en 2019	50 $\mu\text{g.m}^{-3}$	100 $\mu\text{g.m}^{-3}$

Tableau 1 : Valeur guide et valeurs repères pour le formaldéhyde

3. Résultats

1. Le déroulement de l'étude

L'étude menée en 2008-2009 sur les 4 lycées sélectionnés était la première étude sur ce type d'établissement. Cette étude devait permettre notamment d'étudier la faisabilité de ce type d'études et identifier les éventuelles spécificités des lycées.

>> *L'organisation des campagnes*

Afin de procéder à l'installation du matériel dans de bonnes conditions, les emplois du temps des salles ont été recueillis dans la mesure du possible afin d'intervenir avant le début des cours ou pendant les intercourrs. Pour les salles de TP, ces emplois du temps sont plus difficiles à recueillir car variables d'une semaine à l'autre. Néanmoins, la mise en place du matériel dans ces salles pendant les cours a été bien acceptée.

Il faut noter également pour la réalisation de campagnes de mesures dans les lycées que la fin d'année est marquée par les périodes d'examens, en conséquence la troisième campagne de mesures doit être réalisée assez tôt pour se situer dans un fonctionnement normal de l'établissement. Dans les lycées Sampaix et Carnot, l'ensemble de l'effectif n'était plus présent pour la dernière campagne.

La taille des établissements, comparativement à d'autres niveaux scolaires, est à prendre en compte pour les temps nécessaires à l'installation du matériel notamment. Par ailleurs, le sondage de 5 salles n'est peut-être pas suffisant pour représenter la diversité des bâtiments.

>> *Le matériel*

Une crainte a priori avant le début de l'étude était le vol ou la dégradation du matériel. Dans le but de limiter ces pertes, en concertation avec les responsables d'établissements, une affichette explicative avait été disposée sur les portes des salles incluses dans l'étude. Il faut noter que cette demande est spécifique aux lycées. Dans les collèges et les écoles, il est au contraire fréquemment demandé de ne pas mettre d'affichage.

Dans les faits, peu de pertes ont été constatés pendant l'étude, ainsi la très grande majorité des tubes à diffusion passive laissés en place pendant une semaine de cours n'ont pas été dégradés ou volés. 3 tubes sur les 120 installés ont disparu. Aucune dégradation n'a eu lieu sur le matériel de mesure du CO₂.

2. Les mesures

1. La mesure du CO₂

Compte tenu du matériel disponible, des mesures ont pu être mises en place lors des campagnes 2 et 3 dans une des salles des établissements des pays de l'Arbresle, Récamier et Sampaix. Les salles retenues pour ces mesures sont les salles les plus occupées.

Pour le CO₂, la valeur de **1000 ppm** est admise comme signe d'un confinement.

La figure 9 présente l'évolution hebdomadaire des concentrations de CO₂ dans ces salles.

Pour les établissements équipés d'une ventilation mécanique, le Règlement Sanitaire Départemental (RSD) prévoit un taux de renouvellement d'air minimum dans les salles de classe égal à 15 m³/h/élève.

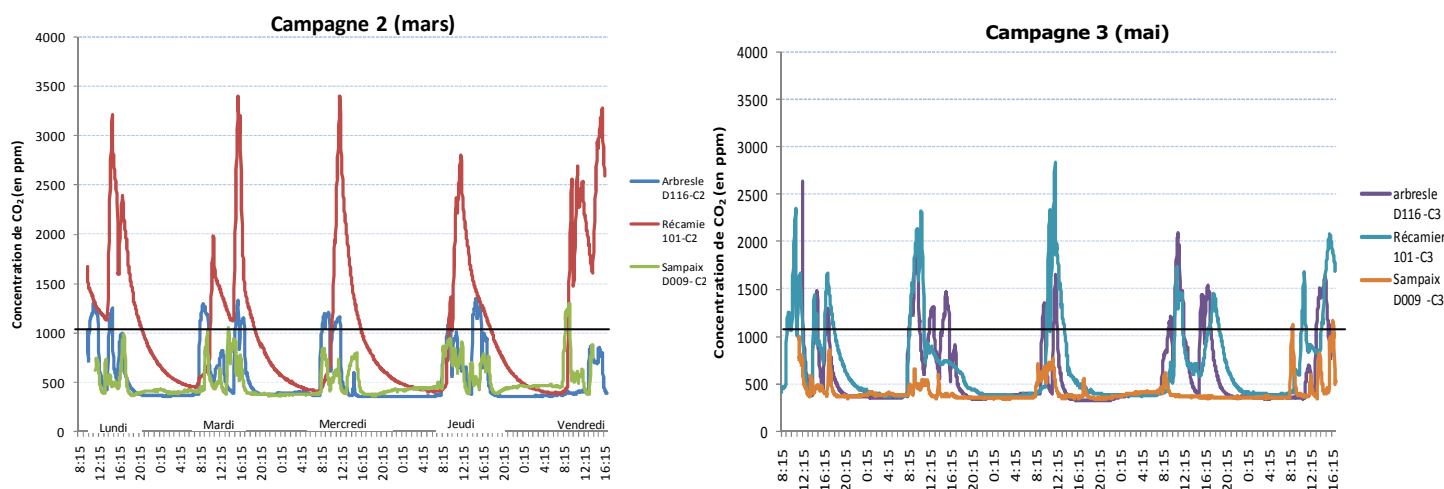


Figure 9 : Suivi des teneurs en CO₂ au cours de la semaine lors des campagnes de mars et de mai

La ligne rouge (1000 ppm) représente la valeur de la concentration en CO₂ au dessus de laquelle on considère habituellement que l'air de la salle est confiné (seuil de confinement).

>> Quel que soit l'établissement considéré, les courbes présentent les mêmes caractéristiques générales avec une augmentation très rapide des concentrations dès que les élèves entrent dans la classe et une diminution plus ou moins rapide selon l'établissement lorsqu'ils quittent la salle. Un examen plus précis des courbes révèle de fortes différences quant à l'évolution des taux de CO₂ selon l'établissement mais aussi en fonction de la saison et des habitudes des occupants.

>> **L'influence de la ventilation mécanique contrôlée (VMC) est très nette** sur les courbes d'évolution du CO₂. La figure suivante illustre bien l'impact de la VMC au lycée de l'Arbresle qui permet de **limiter les niveaux maximums** de CO₂ en présence des élèves et de **faire diminuer rapidement** ces derniers en l'absence d'élèves (et donc de production de CO₂).

Ainsi, dans cet exemple, au lycée Récamier où les cours se sont terminés à 12h, le niveau de CO₂ maximal atteint près de 2800 ppm et ne retrouve pas le niveau de l'air ambiant avant le lendemain matin. Au lycée de l'Arbresle, le niveau maximal observé dans la journée est inférieur à 1500 ppm. Suite au départ des élèves à 17h, le niveau de CO₂ retrouve le niveau de l'air ambiant à 18h30.

Au lycée de l'Arbresle, on peut remarquer que les niveaux de CO₂ diminuent assez rapidement à chaque intercour. Cette diminution permet de garder des niveaux maximaux assez bas.

Les courbes montrent bien l'efficacité de l'apport de la présence d'un système de renouvellement d'air.

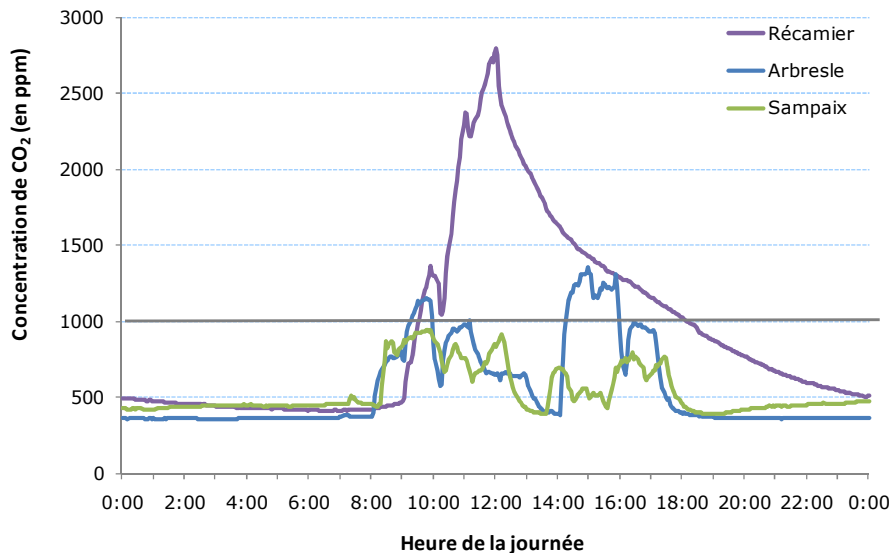


Figure 10 : CO₂ et VMC (campagne 2)

>> La variation saisonnière des niveaux de CO₂ est plus importante pour le lycée Récamier, où, en période chaude, le renouvellement d'air par ouverture des fenêtres est probablement plus fréquent. Par exemple, le mardi à midi, une décroissance très rapide est observée, très certainement due à l'ouverture des fenêtres. Rappelons que la campagne 2 a eu lieu au mois de mars et la campagne 3 au mois de mai avec une température de 28°C sur l'agglomération lyonnaise le mardi 12 mai.

Au lycée des pays de l'Arbresle, les pics de CO₂ sont légèrement plus élevés lors de la campagne du mois de mai, il est possible que les débits de ventilation aient été modifiés.

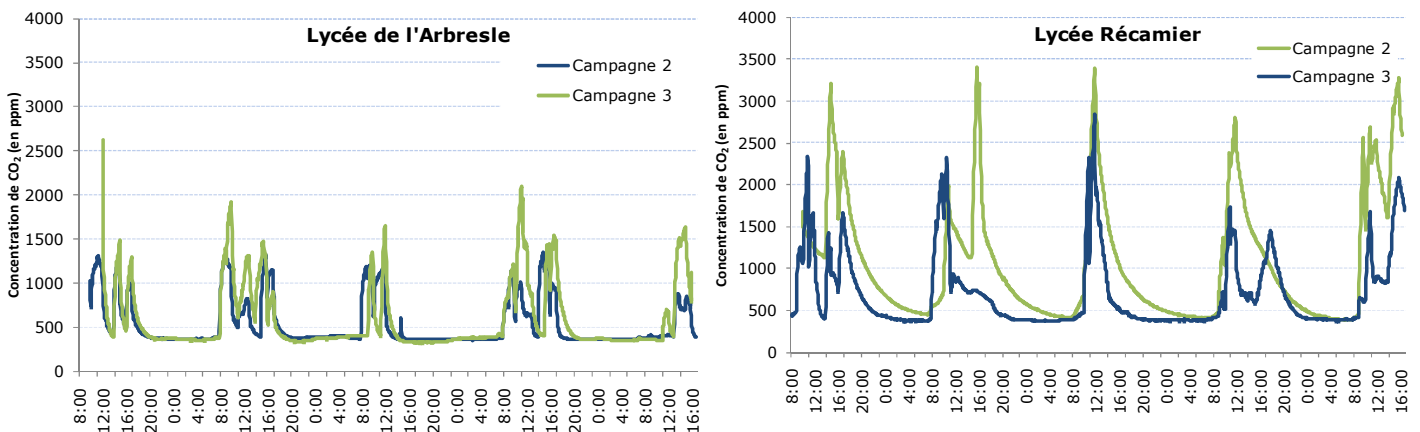


Figure 11 Comparaison des évolutions des concentrations de CO₂ en période froide et période chaude dans le lycée de l'Arbresle (VMC double flux) et au lycée Récamier (ventilation naturelle)

Comparaison aux autres études et aux valeurs de référence

Les profils relevés dans les salles des lycées sont tout à fait comparables à ceux relevés dans d'autres études.

Dans le cadre d'une étude menée par l'Observatoire de la Qualité de l'Air intérieur sur les stratégies d'aération par ouverture des fenêtres, le seuil de 1000 ppm a été utilisé pour signaler une ambiance légèrement confinée pour laquelle il est utile d'ouvrir les fenêtres et le seuil de 1700 ppm a été retenu pour indiquer le confinement et la nécessité d'ouverture des fenêtres pour renouveler l'air.

Les valeurs observées dans la salle du lycée Récamier sont fréquemment supérieures à 1000 ppm : 41% du temps total lors de la campagne 2 et, bien que le calcul soit plus difficile en l'absence de l'emploi du temps précis des élèves, quasiment pendant la totalité de leur temps de présence dans la salle. Le seuil de 1700 ppm est également dépassé, particulièrement pendant la campagne 2 (mars).

Dans la salle du lycée de l'Arbresle, le pourcentage de temps où la concentration de CO₂ est supérieure à 1000 ppm est plus réduit. Toutefois, malgré la présence d'une ventilation mécanique, ce temps n'est pas nul. Le seuil de 1700 ppm n'est quasiment jamais dépassé dans cette salle.

Dans la salle D009 du lycée Sampaix, le temps où la concentration de CO₂ est supérieure à 1000 ppm est très faible, il faut noter toutefois que le nombre d'élèves présent est inférieur et que la porte de la salle est fréquemment ouverte sur le couloir (observation faite lors des installations de matériel).

	Campagne 2			Campagne 3		
	Arbresle D116	Récamier 101	Sampaix D009	Arbresle D116	Récamier 101	Sampaix D009
Maximum de CO₂ (en ppm)	1357	3403	1298	2632	2838	1162
Moyenne de CO₂ (en ppm)	536	1059	499	585	707	412
Pourcentage de temps où C_{CO2} > 1000 ppm	11.3	41.0	1.3	15.6	19.4	0.6

Tableau 2 Statistiques des données de CO₂

Conclusions sur les niveaux de CO₂

La présence d'un système de ventilation mécanique (VMC simple flux ou double flux) permet de limiter de façon très significative l'augmentation des taux de CO₂ dans les salles de classe. Ainsi, le lycée Récamier qui ne possède pas de système de ventilation mécanique (VMC) présente des concentrations de CO₂ nettement plus élevées que les lycées de l'Arbresle et Sampaix qui eux, en sont équipés. Toutefois, dans les établissements équipés d'une VMC, des niveaux de CO₂ supérieurs à 1000 ppm correspondant à un début de confinement peuvent être observés pendant les heures de présence des élèves.

L'absence de ventilation mécanique est particulièrement visible en période froide où le renouvellement de l'air par ouverture des fenêtres est plus limité.

L'évacuation de l'air vicié par les systèmes de ventilation mécanique laisse penser que les niveaux des autres polluants susceptibles d'être émis à l'intérieur seront eux aussi concernés par cette diminution.

2. Le benzène

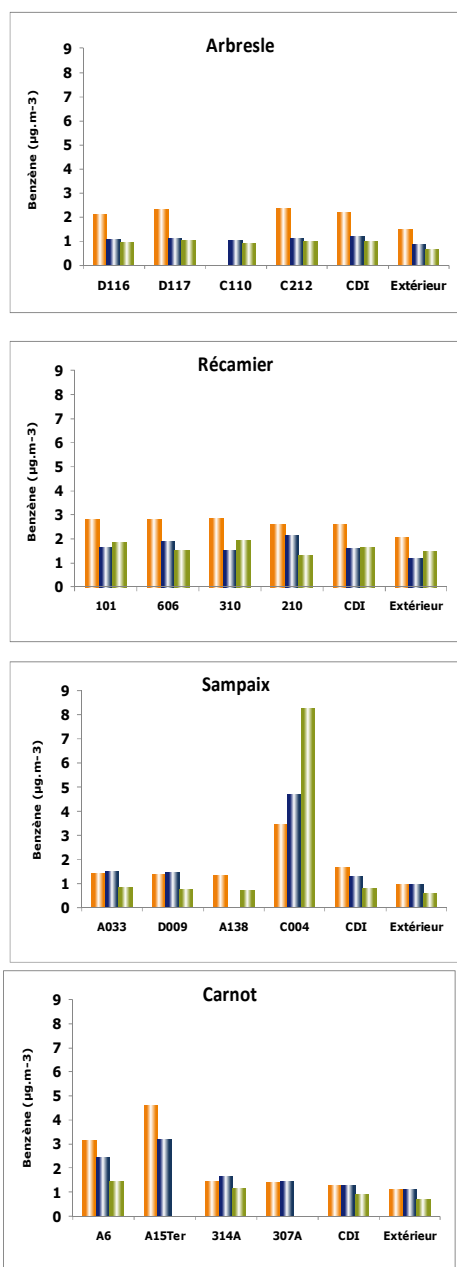


Figure 12 : Benzène : concentrations moyennes

La figure 12 présente l'ensemble des résultats de benzène par établissement. Ces résultats montrent que :

>> Les niveaux mesurés à l'intérieur sont toujours supérieurs à ceux mesurés à l'extérieur. Des sources internes sont donc cumulées à celles pouvant provenir de l'extérieur. Les niveaux les plus faibles sont relevés au lycée des pays de l'Arbresle situé en zone rurale tant à l'intérieur qu'à l'extérieur. Pour ce polluant, l'environnement extérieur est important dans la détermination des niveaux à l'intérieur des bâtiments.

>> La première campagne se déroulant fin novembre/ début décembre est celle présentant de manière générale les niveaux les plus élevés, à la fois en air intérieur et extérieur. La température de cette campagne est également la plus froide.

>> Certaines salles présentent des niveaux atypiques.

Les mesures effectuées dans la salle C004 du lycée Sampaix révèlent les valeurs les plus élevées. Cette salle est communicante avec l'atelier de maintenance automobile et équipée d'un banc moteurs.

Les salles de cours A6 et A15Ter du lycée Carnot, situées dans la section atelier de cet établissement, présentent des niveaux de benzène supérieurs à ceux mesurés dans les autres salles qui se trouvent dans un autre bâtiment de l'établissement. Il faut noter que ces salles n'ont pas d'ouverture sur l'extérieur.

La salle D009 du lycée Sampaix dont la porte donne sur le couloir du garage des camions n'est quant à elle pas impactée par la présence de ce garage. Deux explications peuvent être avancées : la salle ne donne pas directement sur le garage et le couloir suffit pour en limiter l'impact, les camions sont utilisés pour la formation de conduite routière et sont le plus souvent à l'extérieur.

Comparaison avec les autres études et les valeurs guides existantes

Les résultats obtenus sont inférieurs aux valeurs guides préconisées par l'AFSSET ($10 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ pour une exposition > 1 an) et devraient donc respecter les valeurs de gestion qui seront définies prochainement. Les niveaux moyens relevés sont du même ordre de grandeur que ceux relevés dans une étude récente dans les collèges de l'Isère⁹, hormis pour les salles communicant avec des zones d'atelier.

Conclusions sur le benzène

Les résultats montrent que les niveaux de benzène sont de manière générale liés aux niveaux relevés à l'extérieur, et donc à l'environnement du site. Dans certains cas particuliers, où des sources connues sont situées à proximité, des niveaux plus élevés sont observés. Les configurations intérieures et extérieures des bâtiments, ainsi que les activités spécifiques, ont plus d'influence sur les niveaux de benzène que les types de construction.

3. Le toluène

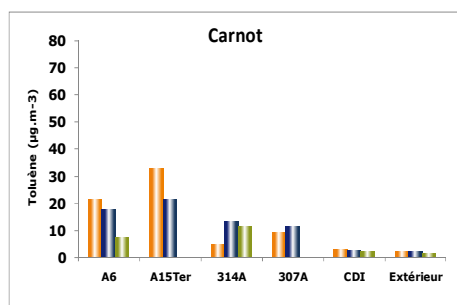
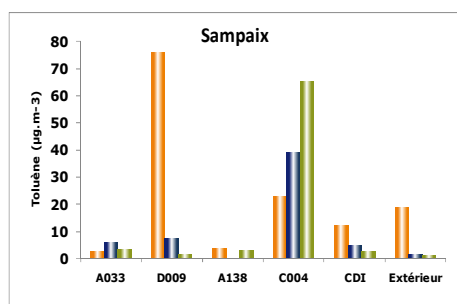
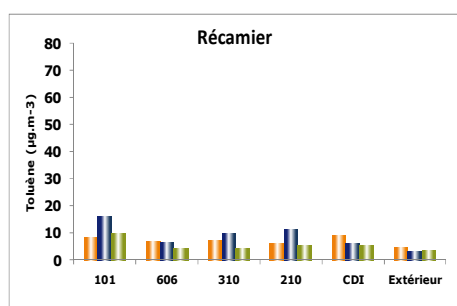
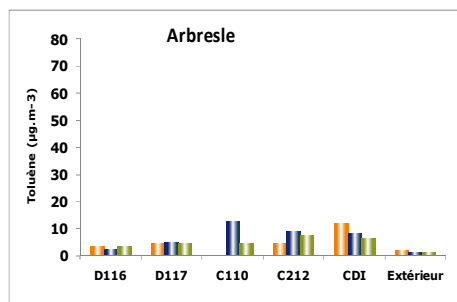


Figure 13 : Toluène : concentrations moyennes

La figure 13 présente l'ensemble des résultats de toluène par établissement. Ces résultats montrent que :

>> pour tous les établissements, les concentrations intérieures sont supérieures aux niveaux mesurés à l'extérieur. A l'exception de la 1^{ère} campagne au lycée Sampaix, les niveaux extérieurs des établissements situés en zone urbaine (Récamier et Carnot) sont plus élevés que ceux situés soit en zone rurale (Arbresle) ou en périphérie (Sampaix).

Par ailleurs, l'hétérogénéité des salles d'un même établissement montrent bien que des sources intérieures peuvent se cumuler avec la pollution extérieure.

>> contrairement au benzène, il ne semble pas y avoir d'effet marqué de la saison sur les concentrations de toluène.

>> les mesures de toluène confirment l'influence des ateliers sur la qualité de l'air respiré dans la salle de classe C004 du lycée Sampaix. Bien que la différence soit moins marquée, les niveaux de toluène dans les salles A6 et A15Ter du lycée Carnot, situées dans la partie atelier du lycée, sont supérieures à celles mesurées dans les autres classes.

Les niveaux élevés relevés dans la salle D009 du lycée Sampaix lors de la 1^{ère} campagne sont certainement liés à une source ponctuelle dont l'origine est difficile à déterminer. Le point extérieur situé proche de la salle D009 présente également une concentration moyenne élevée.

Comparaison à d'autres études et aux valeurs de référence

Hormis les salles à proximité d'ateliers, les concentrations de toluène relevées dans les salles des 4 lycées sont semblables à celles relevées dans les collèges de l'Isère lors d'une étude récente⁹.

Pour le toluène, il n'existe pas de valeur guide en air intérieur.

Conclusions sur le toluène

Les concentrations de toluène mesurées sont très variables selon les salles sondées. Les niveaux élevés sont plus liés à des activités spécifiques dans la salle (Travaux pratiques) ou à proximité (zone d'atelier automobile) qu'à l'environnement extérieur ou la construction du bâtiment.

4. Les xylènes

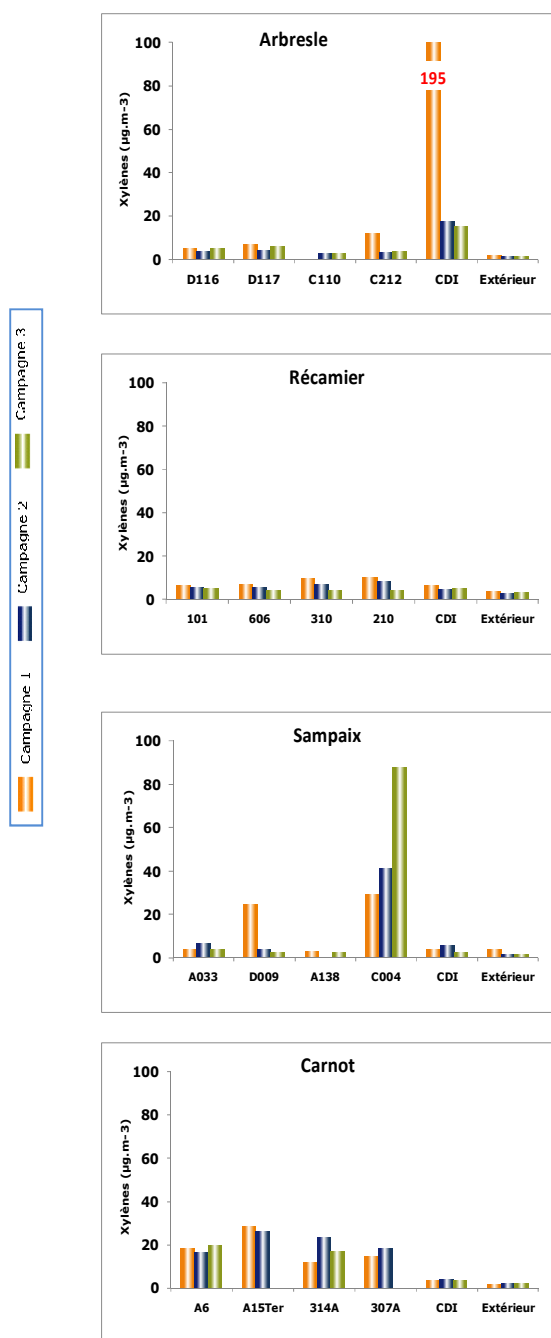


Figure 14 : Xylènes (Ortho, Méta, Para): concentrations moyennes

La figure 14 présente l'ensemble des résultats de xylènes par établissement. Ces résultats montrent que :

>> les niveaux de xylènes mesurés dans les salles sont toujours supérieurs à ceux mesurés dans l'air extérieur, même si l'écart est parfois très modéré.

>> il ne semble pas se dégager de tendance nette liée à la saison.

>> les niveaux de xylènes suivent la même évolution que ceux de toluène avec une forte influence de la situation des salles de classe dans les bâtiments recevant les ateliers des lycées Sampaix et Carnot.

Pour ces polluants, une valeur atypique est relevée au lycée des Pays de l'Arbresle dans le CDI lors de la première campagne. Cette valeur peut être expliquée par la mise en place d'un mobilier en bois neuf au tout début de l'année scolaire ou par les revêtements de ce bâtiment qui sont différents de ceux des autres bâtiments.

Les niveaux élevés de toluène et xylènes ou de xylènes seulement sont a priori plutôt dus à des sources de type peintures, colles, solvants alors que l'association de tous les BTEX serait liée à la combustion de carburants, telle qu'en air extérieur ou dans la salle C004 du lycée Sampaix.

Comparaison à d'autres études et aux valeurs de référence

L'étude menée dans les collèges de l'Isère rapporte des concentrations moyennes de $7,9 \mu\text{g.m}^{-3}$ et un maximum de $14,2 \mu\text{g.m}^{-3}$.

La plupart des salles de cours présentent des niveaux similaires. En revanche, les niveaux relevés dans les zones d'atelier ou tout particulièrement dans le CDI du lycée des Pays de l'Arbresle sont nettement supérieurs.

Il n'existe pas encore de valeurs guide pour les concentrations de xylènes en air intérieur.

Conclusions sur les xylènes

Les niveaux de xylènes sont variables. Le mobilier, les revêtements ou les activités spécifiques semblent influencer sur les concentrations mais il est difficile de déterminer leur origine de manière précise.

5. Le formaldéhyde

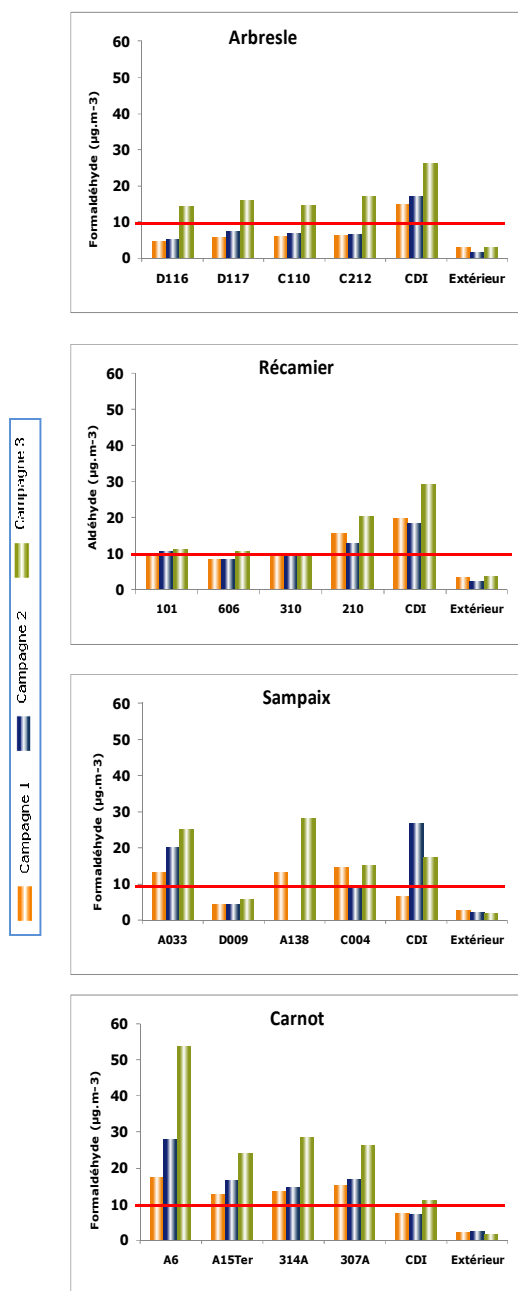


Figure 15 : Formaldéhyde :
Concentrations moyennes
 — Valeur guide préconisée par l'AFSSET (10 µg.m⁻³)

La figure 15 présente l'ensemble des résultats de formaldéhyde par établissement. Ces résultats montrent que :

>> pour chaque établissement, les niveaux de formaldéhyde mesurés à l'intérieur sont toujours largement supérieurs à ceux mesurés à l'extérieur, ce qui montre bien l'origine intérieure des sources.

>> au sein d'un même établissement, les niveaux suivent une même évolution au cours des saisons. Au lycée des pays de l'Arbresle et au lycée Carnot, une augmentation significative des concentrations lors de la 3^{ème} campagne (période chaude) est observée. Dans les deux autres établissements, l'évolution est plus variable selon les salles.

>> excepté au lycée Carnot, les concentrations de formaldéhyde relevées dans les CDI sont les plus élevées ou presque. L'émission de formaldéhyde par les ouvrages ainsi que la présence de nombreux rayonnages en bois peuvent expliquer cette observation. Au lycée de l'Arbresle, il faut noter toutefois que le CDI n'est pas dans le même bâtiment que celui des autres salles sondées, l'influence des différentes sources (mobilier, revêtements,..) est de ce fait difficile à déterminer.

Les niveaux relevés dans la classe A6 du lycée Carnot sont nettement supérieurs à ceux relevés dans les autres classes. Cette différence est encore plus marquée lors de la troisième campagne. La pratique d'une activité spécifique ou le changement de mobilier intervenu au cours de l'année pourrait expliquer cette différence. Cette salle de classe ne disposant pas de fenêtre, le manque d'aération joue certainement également un rôle important dans la dégradation de la qualité de l'air.

Le lycée Sampaix constitué de bâtiments de construction différente présente des concentrations de formaldéhyde hétérogènes. La salle située dans le bâtiment D livré en 2008 présente à toutes les campagnes des concentrations de formaldéhyde très réduites.

Comparaison aux autres études et aux valeurs guides en air intérieur

Plusieurs études concernant le suivi du formaldéhyde dans les établissements recevant des enfants (crèches, écoles maternelles et primaires, collèges) ont déjà été réalisées par les AASQA de la région Rhône-Alpes^{C,Q}. Les niveaux relevés dans les lycées sont en moyenne inférieurs aux niveaux relevés dans les classes dans le cadre de ces études. L'échantillon de 4 lycées seulement limite toutefois la comparaison aux autres établissements.

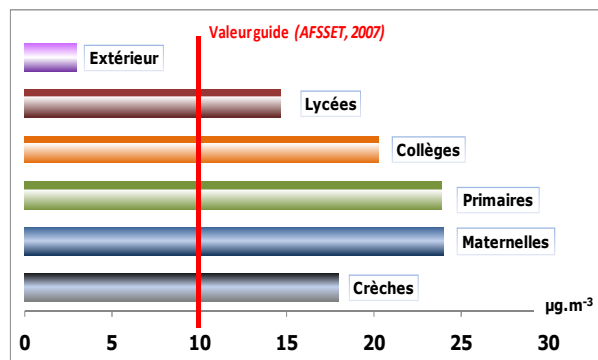


Figure 16 : Formaldéhyde : résultats des études rhônapines

La plus forte valeur relevée au lycée Carnot lors de la 3^{ème} campagne (53,6 µg.m⁻³) est du même ordre de grandeur que celle relevée dans d'autres types d'établissements scolaires.

La valeur guide d'exposition à long terme de 10 µg.m⁻³ préconisée par l'AFSSET, qui deviendra la valeur repère en 2019, est dépassée en moyenne sur les trois campagnes (estimation qui représente mieux l'exposition long terme sur un an) dans 12 des 20 salles investiguées (cf. Figure 17). Hormis la salle A6 du lycée Carnot, les valeurs moyennes respectent toutes la valeur repère proposée par le HCSP pour l'année 2009. En revanche, la salle A6 dépasse pendant une campagne la valeur d'information nécessitant d'identifier les sources de formaldéhyde et de les réduire à moyen terme.

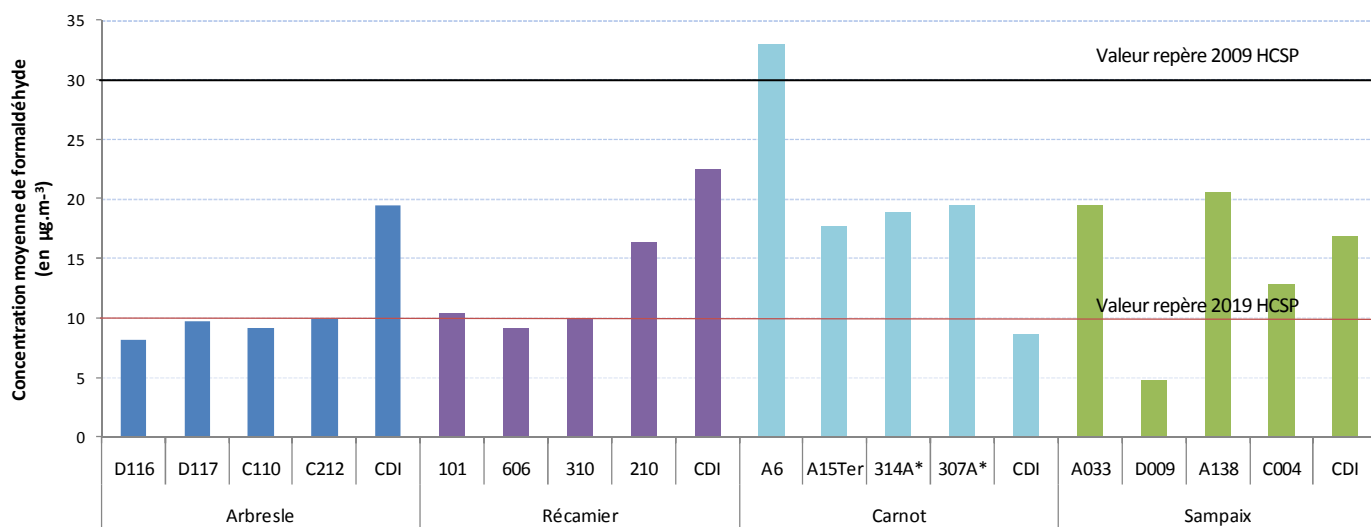


Figure 17 Concentration moyenne de formaldéhyde dans chaque salle

Conclusions sur le formaldéhyde

Les résultats montrent bien l'influence des sources de formaldéhyde, et non seulement de la ventilation, sur les concentrations relevées en air intérieur. Ainsi, bien que les mesures de CO₂ réalisées dans les classes D116 du lycée de l'Arbresle et 101 du lycée Récamier montrent que le renouvellement d'air est meilleur dans la première, les niveaux moyens de formaldéhyde sont semblables.

Les résultats obtenus sur les bâtiments récents des lycées de l'Arbresle et Lucien Sampaix montrent qu'il est possible de limiter les concentrations de formaldéhyde et atteindre la valeur repère 2019. Toutefois, l'ensemble des sources potentielles, et notamment le mobilier et les produits d'entretien, doivent être prises en compte. Ainsi, certaines salles toutefois se démarquent, pour lesquelles il conviendra d'identifier les facteurs influençant la qualité de l'air intérieur.

6. L'acétaldéhyde

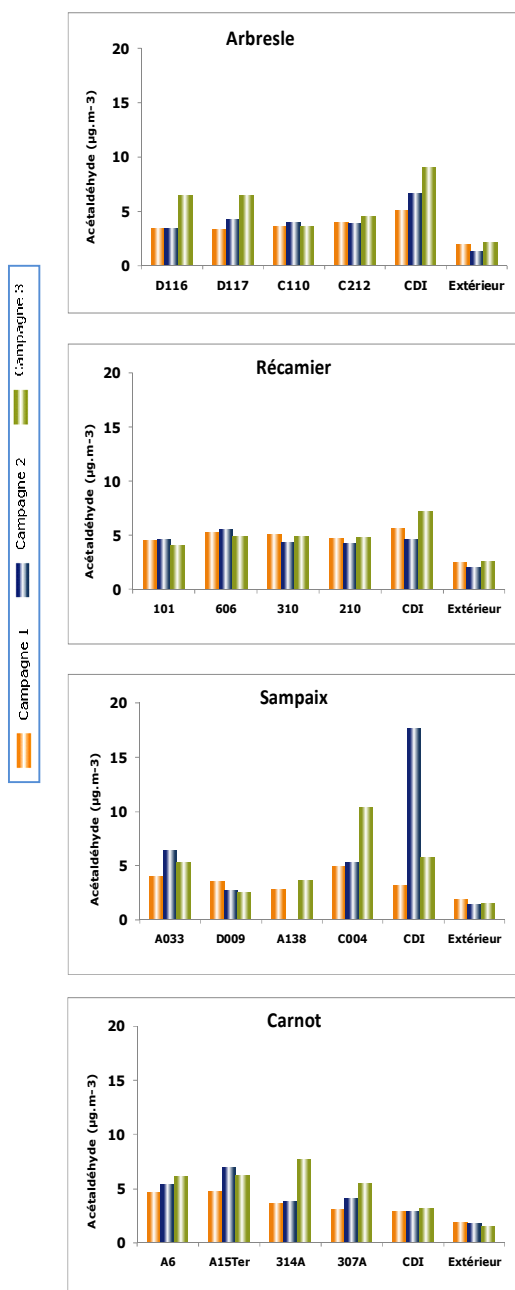


Figure 18 : Acétaldéhyde : concentrations moyennes

Conclusions sur l'acétaldéhyde

Les niveaux d'acétaldéhyde sont relativement homogènes entre les différents établissements et ne permettent pas de distinguer les facteurs influençant sur ce polluant.

La figure 17 présente les résultats des concentrations d'acétaldéhyde pour chaque salle et à chaque campagne.

>> De même que pour les autres polluants, les concentrations d'acétaldéhyde sont une nouvelle fois plus élevées à l'intérieur qu'à l'extérieur.

>> Les mesures de l'acétaldéhyde sont de manière générale plus élevées en période chaude, même si la variation saisonnière est beaucoup moins marquée que pour le formaldéhyde.

>> La valeur mesurée dans le CDI du lycée Sampaix lors de la 2^{ème} campagne semble liée à une activité ponctuelle et spécifique. Simultanément des niveaux plus élevés de butyraldéhyde ont été enregistrés, ces deux composés peuvent être émis par les photocopieurs.

Le relevé effectué lors de la 3^{ème} campagne dans la salle C004 correspond aux relevés de benzène, toluène et xylènes, ce qui tendrait plutôt à confirmer pour cette salle l'influence de l'atelier situé à proximité.

Comparaison aux autres études et aux valeurs de référence

Les valeurs observées en moyenne sur 3 campagnes sont du même ordre de grandeur que celles relevées dans les collèges de l'Isère. Par ailleurs, la valeur relevée dans le CDI du lycée Sampaix, bien qu'élevée par rapport aux autres, n'est pas totalement atypique.

Pour l'acétaldéhyde, il n'existe pas de valeur guide en air intérieur.

4. Conclusions

Dans la continuité des études menées dans les écoles et les collèges de Rhône-Alpes, cette étude était la première à s'intéresser à un autre type d'établissement scolaire : les lycées.

L'étude concernait 4 établissements seulement de la région Rhône-Alpes, constituant ainsi une étude de faisabilité dans ces enceintes. Malgré le nombre restreint d'établissements, différents types de construction ont été sélectionnés afin de mettre en évidence les facteurs pouvant influencer sur la qualité de l'air dans les salles de classe.

- L'étude a permis de repérer les spécificités liées à la vie d'un lycée pour la mise en œuvre d'études de qualité de l'air dans ce type d'enceintes. Dans le cas de lycées d'enseignement professionnel, la liste de polluants à étudier pourra être étendue, par exemple au monoxyde de carbone et dioxyde d'azote notamment.
- Les résultats obtenus dans cette étude confirment des éléments déjà observés dans l'air intérieur d'autres types d'établissements scolaires, de logements ou de locaux professionnels.
Ainsi, pour la majorité des polluants investigués, les niveaux à l'intérieur restent toujours plus élevés que les niveaux extérieurs. Cet état peut être lié, soit à une source intérieure qui vient s'ajouter à la pénétration de l'air extérieur, soit à un phénomène de concentration des polluants dans le bâtiment.
L'environnement extérieur impacte toutefois les niveaux à l'intérieur, comme la présence d'axes à fort trafic routier à proximité.
Dans les salles d'enseignement général, la différence entre l'intérieur et l'extérieur est peu marquée pour le benzène, le toluène et les xylènes mais s'accroît fortement pour les composés de la famille des aldéhydes (formaldéhyde et acétaldéhyde).
- Malgré le faible nombre d'établissements, l'étude montre **des niveaux de formaldéhyde globalement moins élevés que dans les autres types d'établissements scolaires**. Plusieurs valeurs élevées sont toutefois relevées et il est difficile de généraliser cette appréciation à l'ensemble des lycées.
La valeur repère 2009 est dépassée pour une seule des salles sondées.
- **L'étude des niveaux de CO₂ dans quelques salles montrent la bonne efficacité des systèmes de ventilation mécanique pour limiter le confinement des salles.**
Pour les établissements non équipés d'une VMC, ce confinement peut être important surtout en période froide. Il est important de rappeler dans ce cas au personnel que l'aération peut être effectuée pendant les intercourts sur une période de cinq à dix minutes qui est suffisante pour renouveler de façon satisfaisante l'air d'une salle de classe sans refroidir ni les murs, ni le mobilier et ainsi éviter de grosses déperditions de chaleur.
Concernant les systèmes de ventilation mécanique, il sera important de bien vérifier leur fonctionnement dans la durée. En effet, les lycées étudiés sont des bâtiments récemment livrés.
- Enfin, cette étude a permis de souligner qu'en matière de qualité de l'air intérieur, **la ventilation n'est pas le seul paramètre à prendre en compte et qu'il s'agit bien de restreindre les sources potentielles de polluants**. Pour cela, l'aménagement extérieur, l'aménagement intérieur, et notamment la communication avec des zones d'ateliers, les matériaux de construction, le mobilier et les produits de nettoyage doivent être considérés. Par exemple, l'émission de polluants par les matériaux de construction et le mobilier peut durer pendant des périodes assez importantes. Les niveaux, de xylènes en particulier, relevés dans le CDI du lycée des Pays de l'Arbresle lors de la première campagne, confirment bien cette observation. Il semble donc préférable de privilégier la réalisation de travaux ou d'aménagement en début de périodes de congés afin de permettre une diffusion maximale des polluants en dehors de la présence des élèves.

Bibliographie

- a** Plan National Santé Environnement II 2009 – 2012
- b** Plan Régional Santé Environnement - 2005
- c** AIR-APS, AMPASEL, ASCOPARG, ATMO Drôme-Ardèche, COPARLY, SUP’AIR (2007) Mesure des aldéhydes dans l’air intérieur des écoles maternelles et des crèches en Rhône-Alpes.
- d** Diagnostic Qualité de l’Air Intérieur dans les établissements scolaires du territoire de la Métro. Etude de faisabilité dans 4 établissements – Décembre 2008 – ASCOPARG
- e** Directive 2008/50/CE du Parlement européen et du Conseil du 21 mai 2008 concernant la qualité de l’air ambiant et un air pur pour l’Europe- *Journal officiel n° L152 du 11/6/2006 p.1-44.*
- f** Campagne de mesures du formaldéhyde dans les établissements scolaires et petite enfance de la ville de Strasbourg – Juillet 2005 – www.atmo-alsace.net.
- g** OQAI (2002) Rapport exécutif : De la phase préparatoire aux premiers résultats de l’étude pilote, Mars 2002.
- h** Bilan de la qualité de l’air dans 10 écoles de la région parisienne - A. M. Laurent - LHVP - Journée RSEIN - Juillet 2005
- i** Laurent AM, Person A, Petit-Coviaux F, Le Moullec Y, Festy B. (1993), Chemical characterization of indoor air quality inside schools in Paris. Proceedings of Indoor Air’93. Helsinki, Finlande, juillet 1993; vol 3 : 23-28.
- j** Recherche des déterminants du dioxyde d’azote et du formaldéhyde dans 96 logements de la ville de Québec (Canada) - Gilbert N.L., Gauvin D., Guay M. et al. ; Housing characteristics and indoor concentrations of nitrogen dioxide and formaldehyde in Quebec City, Canada CETIAT (2001), Ventilation performante dans les écoles, Guide de Conception, 29p. ; Environmental Research, 102(1) [2006]: 1-8
- k** RSDT (1978), Règlement Sanitaire Départemental Type, Circulaire du 9 août 1978 relative à la révision du règlement sanitaire départemental type, J. O. du 13 septembre 1978.
- l** Myhrvold, AN, Olsen E., Luridsen O. (1996) . Indoor Environment in schools – Pupils Health and performance in regard to CO2 concentrations. Proceeding of the 7th international conference on indoor air quality and climate. Vol4. Nagoya, Japan, 369-74.
- m** AFSSET (2007a) Valeurs guides de qualité de l’air intérieur. Documents cadres et éléments méthodologiques
- n** AFSSET (2007b) Valeurs guides de qualité de l’air intérieur. Le formaldéhyde.
- o** AFSSET (2007c) Valeurs guides de qualité de l’air intérieur. Le monoxyde de carbone
- p** AFSSET (2008) Valeurs guides de qualité de l’air intérieur. Le benzène.
- q** Ascoparg, Sup’AIR (2009) Diagnostic Qualité de l’air intérieur dans les collèges de l’Isère. Partenariat Qualité de l’Air dans les collèges avec le Conseil Général de l’Isère

ANNEXE 1 Résultats détaillés pour le CO₂

Arbresle (D116)			
	C2	C3	2 campagnes
moyenne	536	585	561
maxi	1357	2632	2632

Récamier (C3)			
	C2	C3	2 campagnes
moyenne	707	1059	883
maxi	2838	3403	3403

Sampaix (D009)			
	C2	C3	2 campagnes
moyenne	499	412	456
maxi	1298	1162	1298

ANNEXE 2 Résultats détaillés pour les BTEX

Benzène (en $\mu\text{g.m}^{-3}$ à 20°C)							Toluène (en $\mu\text{g.m}^{-3}$ à 20°C)						
Etablissement	Salle	Campagne 1	Campagne 2	Campagne 3	Moyenne des 3 campagnes	Moyennes établissements	Etablissement	Salle	Campagne 1	Campagne 2	Campagne 3	Moyenne des 3 campagnes	Moyennes établissements
Arbresle	D116	2,1	1,1	0,9	1,4	1,4	Arbresle	D116	3,5	2,3	3,4	3,1	6,3
	D117	2,3	1,1	1,0	1,5			D117	4,7	5,0	4,7	4,8	
	C110		1,0	0,9	1,0			C110		12,6	4,3	8,4	
	C212	2,3	1,1	1,0	1,5			C212	4,7	9,1	7,6	7,1	
	CDI	2,2	1,2	1,0	1,4			CDI	12,0	8,1	6,3	8,8	
	Extérieur	1,5	0,9	0,6	1,0			Extérieur	1,9	1,1	1,2	1,4	
Récamier	101	2,8	1,7	1,8	2,1	2,0	Récamier	101	8,1	15,8	9,7	11,2	7,7
	606	2,8	1,9	1,5	2,1			606	7,1	6,6	4,3	6,0	
	310	2,9	1,5	1,9	2,1			310	7,3	9,7	4,2	7,1	
	210	2,6	2,1	1,3	2,0			210	6,4	11,3	5,3	7,7	
	CDI	2,6	1,6	1,7	2,0			CDI	9,0	6,1	5,3	6,8	
	Extérieur	2,0	1,2	1,4	1,6			Extérieur	4,7	3,3	3,5	3,8	
Carnot	A6	3,2	2,4	1,4	2,3	2,0	Carnot	A6	21,3	17,7	7,3	15,4	12,2
	A15Ter	4,6	3,2		3,9			A15Ter	33,0	21,5		27,3	
	314A	1,4	1,7	1,1	1,4			314A	4,8	13,3	11,5	9,8	
	307A	1,4	1,4		1,4			307A	9,4	11,4		10,4	
	CDI	1,3	1,3	0,9	1,2			CDI	3,0	2,8	2,0	2,6	
	Extérieur	1,1	1,1	0,7	1,0			Extérieur	2,4	2,1	1,5	2,0	
Sampaix	A033	1,4	1,5	0,8	1,2	2,1	Sampaix	A033	2,5	5,8	3,0	3,8	17,8
	D009	1,4	1,4	0,8	1,2			D009	75,9	7,5	1,6	28,3	
	A138	1,3		0,7	1,0			A138	3,7		3,0	3,3	
	C004	3,4	4,7	8,3	5,5			C004	23,0	39,0	65,0	42,4	
	CDI	1,7	1,3	0,8	1,3			CDI	12,0	4,8	2,3	6,4	
	Extérieur	1,0	1,0	0,6	0,8			Extérieur	19,0	1,5	1,2	7,2	

(Ortho, Méta, Para) Xylènes (en $\mu\text{g.m}^{-3}$ à 20°C)						
Etablissement	Salle	Campagne 1	Campagne 2	Campagne 3	Moyenne des 3 campagnes	Moyennes établissements
Arbresle	D116	5.1	3.8	4.9	4.6	20.2
	D117	7.1	4.3	5.8	5.7	
	C110		2.7	2.7	2.7	
	C212	12.1	3.3	3.8	6.4	
	CDI	194.8	17.5	15.3	75.9	
	Extérieur	1.7	1.4	1.4	1.5	
Récamier	101	6.6	5.4	5.1	5.7	6.1
	606	7.1	5.3	4.2	5.5	
	310	9.3	7.0	4.0	6.8	
	210	9.8	8.1	4.2	7.3	
	CDI	6.8	4.4	4.9	5.4	
	Extérieur	3.5	2.7	3.4	3.2	
Carnot	A6	18.5	16.4	19.6	18.1	15.8
	A15Ter	28.5	26.2		27.3	
	314A	11.6	23.4	16.7	17.2	
	307A	14.5	18.6		16.6	
	CDI	3.3	4.0	3.5	3.6	
	Extérieur	2.0	2.1	2.2	2.1	
Sampaix	A033	4.0	6.7	3.9	4.9	15.9
	D009	24.4	4.0	2.8	10.4	
	A138	3.2		2.8	3.0	
	C004	29.1	41.2	87.9	52.7	
	CDI	3.9	5.5	2.8	4.1	
	Extérieur	4.0	1.3	1.4	2.2	

ANNEXE 3 Résultats détaillés pour les aldéhydes

Formaldéhyde (en $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ à 20°C)						
Etablissement	Salle	Campagne 1	Campagne 2	Campagne 3	Moyenne des 3 campagnes	Moyennes établissements
Arbresle	D116	4,8	5,4	14,5	8,2	11,3
	D117	5,6	7,6	15,8	9,7	
	C110	6,1	6,8	14,6	9,2	
	C212	6,3	6,5	17,0	9,9	
	CDI	14,9	17,1	26,3	19,4	
	Extérieur	3,1	1,6	3,0	2,6	
Récamier	101	9,1	10,8	11,2	10,4	13,6
	606	8,4	8,4	10,7	9,2	
	310	10,1	9,4	10,3	9,9	
	210	15,6	12,9	20,3	16,3	
	CDI	19,7	18,4	29,3	22,5	
	Extérieur	3,5	2,3	3,7	3,2	
Carnot	A6	17,3	28,0	53,6	32,9	19,5
	A15Ter	12,6	16,5	23,9	17,6	
	314A*	13,5	14,7	28,4	18,8	
	307A**	15,0	16,9	26,3	19,4	
	CDI	7,4	7,2	11,1	8,6	
	Extérieur	2,2	2,2	1,6	2,0	
Sampaix	A033	13,1	20,1	25,1	19,5	14,5
	D009	4,2	4,3	5,9	4,8	
	A138	13,2		28,0	20,6	
	C004	14,5	8,9	15,1	12,8	
	CDI	6,4	26,6	17,4	16,8	
	Extérieur	2,6	2,1	1,9	2,2	

* Salle 415 lors de la 3ème campagne **Salle 419 lors de la 3ème campagne

Acétaldéhyde (en $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ à 20°C)						
Etablissement	Salle	Campagne 1	Campagne 2	Campagne 3	Moyenne des 3 campagnes	Moyennes établissements
Arbresle	D116	3,4	3,5	6,4	4,4	4,8
	D117	3,3	4,3	6,5	4,7	
	C110	3,7	4,0	3,7	3,8	
	C212	3,9	3,9	4,6	4,1	
	CDI	5,1	6,7	9,1	7,0	
	Extérieur	1,9	1,4	2,1	1,8	
Récamier	101	4,5	4,6	4,1	4,4	5,0
	606	5,2	5,6	4,9	5,3	
	310	5,1	4,3	4,9	4,8	
	210	4,7	4,2	4,8	4,6	
	CDI	5,6	4,7	7,1	5,8	
	Extérieur	2,4	2,1	2,5	2,4	
Carnot	A6	4,7	5,4	6,2	5,4	4,8
	A15Ter	4,8	6,9	6,3	6,0	
	314A*	3,7	3,9	7,7	5,1	
	307A**	3,1	4,1	5,5	4,2	
	CDI	3,0	3,0	3,2	3,1	
	Extérieur	1,8	1,8	1,5	1,7	
Sampaix	A033	4,0	6,4	5,3	5,2	5,6
	D009	3,5	2,7	2,5	2,9	
	A138	2,8		3,7	3,2	
	C004	4,9	5,3	10,3	6,8	
	CDI	3,2	17,7	5,7	8,9	
	Extérieur	1,8	1,5	1,5	1,6	

* Salle 415 lors de la 3ème campagne **Salle 419 lors de la 3ème campagne