Qualité de l'air intérieur dans des collèges de l'Isère

MESURES REALISEES EN 2013/2014

www.air-rhonealpes.fr

Diffusion : Janvier 2015

Siège social : 3 allée des Sorbiers – 69500 BRON
Tel : 09 72 26 48 90 - Fax : 09 72 15 65 64
contact@air-rhonealpes.fr

CONDITIONS DE DIFFUSION

Air Rhône-Alpes est une association de type *« loi 1901 »* agréée par le Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable des Transports et du Logement (*décret 98-361 du 6 mai 1998)* au même titre que l'ensemble des structures chargées de la surveillance de la qualité de l'air, formant le réseau national ATMO.
Ses missions s'exercent dans le cadre de la loi sur l'air du 30 décembre 1996. La structure agit dans l'esprit de la charte de l'environnement de 2004 adossée à la constitution de l'Etat français et de *l'article L.220-1 du Code de l'environnement*. Elle gère un observatoire environnemental relatif à l'air et à la pollution atmosphérique au sens de *l'article L.220-2 du Code de l'Environnement*.

Air Rhône-Alpes communique publiquement sur les informations issues de ses différents travaux et garantit la transparence de l'information sur le résultat de ses travaux.

A ce titre, les rapports d'études sont librement disponibles sur le site www.air-rhonealpes.fr

Les données contenues dans ce document restent la propriété intellectuelle d'Air Rhône-Alpes.
Toute utilisation partielle ou totale de ce document (extrait de texte, graphiques, tableaux, …) doit faire référence à l'observatoire dans les termes suivants : **© Air Rhône-Alpes (2015) « Qualité de l'air intérieur dans des collèges de l'Isère ».**
Les données ne sont pas rediffusées en cas de modification ultérieure.
Par ailleurs, Air Rhône-Alpes n'est en aucune façon responsable des interprétations et travaux intellectuels, publications diverses résultant de ses travaux et pour lesquels aucun accord préalable n'aurait été donné.

En cas de remarques sur les informations ou leurs conditions d'utilisation, prenez contact avec Air-Rhône-Alpes :
- depuis le formulaire de contact sur le site www.air-rhonealpes.fr
- par mail : contact@air-rhonealpes.fr
- par téléphone : 09 72 26 48 90

Un questionnaire de satisfaction est également disponible en ligne à l'adresse suivante http://www.surveymonkey.com/s/ecrits pour vous permettre de donner votre avis sur l'ensemble des informations mis à votre disposition par l'observatoire Air Rhône-Alpes.

Cette étude d'amélioration de connaissances a été rendue possible grâce à l'aide financière particulière du :

Conseil général de l'Isère

Toutefois, elle n'aurait pas pu être exploitée sans les données générales de l'observatoire, financé par l'ensemble des membres d'Air Rhône-Alpes.

Version éditée en pdf le 12 décembre 2014

Résumé

La qualité de l'air intérieur dans les établissements scolaires représente aujourd'hui un véritable enjeu de santé publique. Depuis plusieurs années, le Conseil Général de l'Isère (CG38) a entrepris une démarche d'amélioration des connaissances de la qualité de l'air intérieur de ses établissements scolaires : les collèges du département de l'Isère.
Suite à une première étude réalisée de 2008 à 2010, le Conseil Général de l'Isère a souhaité poursuivre le travail d'amélioration des connaissances sur la qualité de l'air intérieur des collèges durant l'année scolaire 2013-2014. Air Rhône-Alpes a réalisé une étude dans 3 établissements répondant aux objectifs suivants :

- → établir un diagnostic de la qualité de l'air intérieur afin d'évaluer les facteurs dégradant la qualité de l'air intérieur et expérimenter des actions d'amélioration ;
- → étudier l'influence de l'occupation des locaux sur la qualité de l'air intérieur dans l'objectif de mieux comprendre la « part du bâtiment » et la part « usages » ;

- Dans un premier établissement, ayant présenté des résultats non satisfaisants en termes de confinement et de concentrations de formaldéhyde en 2009, une balise de suivi en continu des polluants a été installée dans une salle pendant une période de quelques semaines en hiver. Les mesures effectuées ont montré **l'utilité de la démarche afin d'identifier la dynamique des concentrations de polluants, et mieux connaitre les facteurs dégradant la qualité de l'air intérieur**. Les constats ont permis de procéder à la mise en place d'actions d'amélioration. Compte tenu de la courte durée de l'expérimentation, seules des actions portant sur l'aération ont été testées.
Avec une consigne d'aération systématique aux intercours, une baisse d'environ 30% des concentrations de composés organiques volatils pendant la période de présence des élèves a été relevée. Toutefois, l'indice de confinement est toujours de 4 sur 5, montrant l'insuffisance de cette action dans cet établissement.

- Dans deux autres collèges de conception différente, l'influence de l'occupation a pu être évaluée par la comparaison de la qualité de l'air intérieur entre des salles occupées et inoccupées.
Pour cela, des mesures de formaldéhyde, benzène, PM2,5 et autres composés organiques volatils ont été effectuées pendant 1 semaine sur deux saisons distinctes (période chaude/période froide).
Les résultats des deux collèges montrent que **les concentrations des polluants réglementés, benzène et formaldéhyde, sont peu dépendantes de l'occupation de la salle.** En revanche, dans le cas du bâtiment neuf, où la ventilation a été coupée dans les salles inoccupées, les concentrations de formaldéhyde sont près de 2 fois supérieures à celles des salles où la ventilation fonctionne.
Les mesures réalisées ont mis également en évidence pour **les particules fines PM2,5 l'importance de l'apport extérieur et de la remise en suspension des particules en présence des occupants**.
Enfin, l'analyse des composés organiques volatils montre une évolution plus complexe car les sources potentielles de ces polluants sont nombreuses. Dans les deux établissements, le suivi en continu montre que **les concentrations des composés organiques volatils totaux augmentent pendant l'occupation par les élèves pour redescendre pendant la période d'inoccupation. Cette augmentation est probablement liée en partie à l'augmentation de la température en présence des élèves mais également à l'usage de la salle**. Dans le cas du collège de conception ancienne, l'influence des activités de ménage est probable sur certains composés organiques volatils, rappelant la **nécessité de bien aérer pendant les opérations de nettoyage, notamment dans les établissements ne possédant pas de ventilation mécanique**.

Sommaire

1. Contexte et introduction 7
2. Etude des facteurs dégradant la qualité de l'air intérieur dans un collège et propositions d'actions d'amélioration 8
2.1 Méthodologie 8
a) Sélection de l'établissement 8
b) Méthode de mesure 9
c) Planning de l'expérimentation 9
d) Polluants mesurés et indicateurs 9
2.2Résultats de la phase d'évaluation 10
a) Bilan technique 10
b) Le dioxyde de carbone - CO_2 11
c) Les composés organiques volatils (COV) 12
d) Conclusions 14
2.3 Actions d'amélioration 14
a) Amélioration n°1 : ouverture aux intercours 15
b) Amélioration n°2 : Ouverture en grand 16
2.4 Conclusions 18
3. Etude de l'influence de l'occupation des salles sur la qualité de l'air intérieur 19
3.1 Méthodologie 19
3.2 Le collège Champoulant à l'Isle d'Abeau 20
a) Le dioxyde de carbone (CO_2) 21
b) Les aldéhydes 21
c) Les BTEX 22
d) Evolution des COV totaux et légers au cours d'une semaine 23
e) Les particules fines PM2,5 24
f) Conclusions 25
3.3 Le collège Olympique à Grenoble 26
a) Le dioxyde de carbone (CO_2) 26
b) Les BTEX 27
c) Les aldéhydes 28
d) Les autres COV 28
e) Les particules fines PM2,5 30
f) Evolution des COV totaux et des COV légers 30
3.4 Conclusions 31
4. Conclusions 32

Annexes

ANNEXE 1 : Résultats des mesures réalisées avec le canister dans le collège Champoulant 32

1. Contexte et introduction

Depuis quelques années, la qualité de l'air intérieur (QAI) est devenue une préoccupation de santé publique en France. En effet, nous passons 80 à 90% de notre temps dans des environnements clos. Une étude exploratoire récente du coût socio-économique de la pollution de l'air intérieur initiée par l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses) et l'Observatoire de la Qualité de l'Air Intérieur (OQAI)[1] a estimé son coût à 19 milliards d'euros pour une année.

Dans ce contexte, la qualité de l'air intérieur dans les établissements scolaires suscite aujourd'hui un grand intérêt sanitaire et scientifique, en lien également avec les préoccupations de performance énergétique. Une surveillance obligatoire réglementaire a été mise en place pour ces établissements par décret du 2 décembre 2011. Depuis plusieurs années, le Conseil Général de l'Isère (CG38) a entrepris une démarche d'amélioration des connaissances de la qualité de l'air intérieur de ses établissements scolaires dont il est propriétaire et qu'il gère : les collèges du département.

Une étude a été réalisée dans 16 collèges durant les années scolaires 2008-2009 et 2009-2010[2] afin d'obtenir un premier état des lieux de la qualité de l'air intérieur dans ces établissements. Les résultats avaient mis en évidence de nombreux dysfonctionnements au niveau des systèmes de renouvellement d'air (absence d'entrée d'air, panne,…) engendrant un confinement élevé mais également des concentrations de polluants dépassant parfois les valeurs recommandées.

A la suite de cette première étude, le Conseil Général de l'Isère a souhaité poursuivre le travail d'amélioration des connaissances sur la qualité de l'air intérieur des collèges durant l'année scolaire 2013-2014. Trois axes de travail ont été identifiés :

- → établir un diagnostic afin d'évaluer les facteurs dégradant la qualité de l'air intérieur dans un collège et expérimenter des actions d'amélioration ;
- → étudier l'influence de l'occupation des locaux sur la qualité de l'air intérieur dans l'objectif de mieux comprendre la « part du bâtiment » et la part « usages » ;
- → sensibiliser les gestionnaires des collèges à la problématique de la qualité de l'air intérieur.

Ainsi, le présent rapport est constitué de deux parties répondant aux deux premiers axes de travail. La sensibilisation des gestionnaires, prévue sous forme d'ateliers, ne fait pas l'objet d'un rapport.

[1] ANSES (Avril 2014) Étude exploratoire du coût socio-économique des polluants de l'air intérieur
[2] ASCOPARG, SUPAIR (2009) Diagnostic Qualité de l'air intérieur dans les collèges de l'Isère – Etude dans 8 établissements - Année scolaire 2008-2009
ASCOPARG, SUPAIR (2010) Diagnostic Qualité de l'air intérieur dans les collèges de l'Isère – Etude dans 8 établissements - Année scolaire 2009-2010

2. Etude des facteurs dégradant la qualité de l'air intérieur dans un collège et propositions d'actions d'amélioration

Les mesures réalisées de 2008 à 2010 avaient révélé une qualité de l'air parfois médiocre dans les collèges (renouvellement d'air insuffisant, dépassement des valeurs guides). L'objectif de cette nouvelle étude est d'expérimenter une démarche permettant d'identifier les facteurs dégradants et de tester si possible des actions d'amélioration.

2.1 Méthodologie

a) Sélection de l'établissement

Le collège « Les Buclos », situé sur la commune de Meylan, a été choisi pour cette expérimentation. Cet ancien établissement, de construction traditionnelle, est équipé d'une ventilation naturelle et d'une isolation thermique par l'extérieur. Lors de la réalisation de celle-ci, les fenêtres ont été remplacées par des fenêtres beaucoup plus hermétiques mais équipées d'ouvertures en partie haute.
Les salles de classes sont réparties sur deux niveaux.

Les résultats des mesures réalisées en 2008-2009 avaient mis en évidence :

- **un confinement** important en lien avec un renouvellement de l'air insuffisant. Dans les salles de classes, les niveaux de CO_2 étaient rarement en dessous de 1000ppm (cf. figure 2),
- des concentrations de formaldéhyde non négligeables. **La valeur repère du formaldéhyde** de 30 µg/m^3, devenue valeur guide réglementaire depuis 2012 (cf. figure 1), était atteinte.

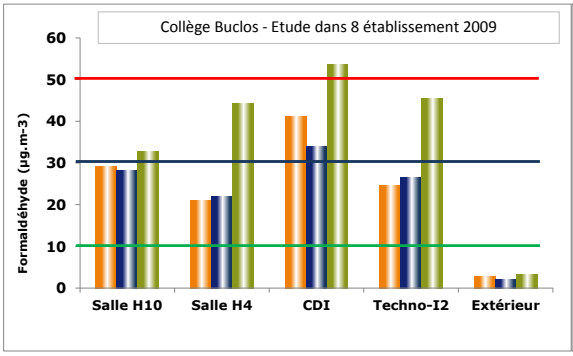


FIGURE 1 – FORMALDEHYDE - ETUDE 2009

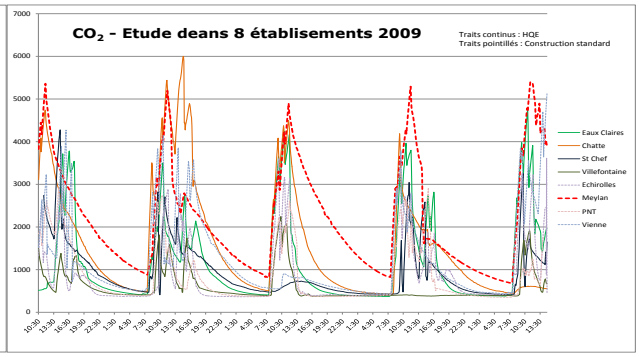


FIGURE 2 - MESURES DE CO_2 - ETUDE 2009

Deux points importants ont été notés lors de la première rencontre avec le personnel :

- Malgré le renforcement de l'isolation, le confort thermique en hiver ne semble pas satisfaisant. Ce point peut engendrer une réticence à ouvrir les fenêtres en période froide.
- Au quotidien, les fenêtres installées dans le collège ne peuvent s'ouvrir qu'en position oscillo-battante. L'ouverture à la française n'est possible qu'avec une clé non disponible pour les professeurs.

b) Méthode de mesure

Pour répondre aux exigences de l'étude, les mesures ont été réalisées à l'aide d'un outil réactif.
Ainsi, la balise Fireflies® de la société AZIMUT Monitoring (cf. figure 3) a été utilisée. Bien que n'étant pas homologuée pour des mesures réglementaires, elle rend possible **l'acquisition et le stockage en temps réel** des données ci-dessous :

- Paramètres de confort : température et hygrométrie
- Paramètres de qualité de vie : confinement (CO_2), composés organiques volatils légers en équivalent formaldéhyde et composés organiques volatils totaux en équivalent toluène.

FIGURE 3 - BALISE FIREFLIES®

Les données en continu avec un pas de temps de 10 min, consultables à distance dès le lendemain de l'acquisition, permettent une analyse plus fine des phénomènes entrant en jeu et l'ajustement éventuel des actions proposées.

c) Planning de l'expérimentation

Les mesures précédentes ayant mis en évidence un problème de renouvellement d'air et des concentrations en formaldéhyde non négligeables même en hiver, il a été décidé de réaliser l'expérimentation sur une période de plusieurs semaines en période froide, période la plus défavorable au confinement des salles.

L'expérimentation était prévue en deux temps :

- une première étape **d'évaluation** afin d'identifier les phénomènes de dégradation de la qualité de l'air intérieur et d'établir le niveau de référence,
- une seconde étape **de tests d'actions d'amélioration** de la qualité de l'air intérieur

Tout au long de la mise en œuvre de l'étude, les différents acteurs du collège ont été sollicités, notamment afin de recueillir les informations nécessaires à l'interprétation des données (occupation des salles, activités de ménage,…) et de mettre en œuvre les actions proposées.

Les mesures avec la balise ont été réalisées en continu durant la totalité de l'étude.

d) Polluants mesurés et indicateurs

Pour la réalisation de cette étude, la nécessité d'avoir des données en continu et disponibles en temps quasi réel afin d'étudier l'évolution des polluants a conduit à choisir la balise Fireflies® comme matériel de mesures. Les paramètres mesurés sont donc ceux disponibles avec cet outil :

- **Le dioxyde de carbone (CO_2)**

Les concentrations en CO_2 dans une salle de classe sont essentiellement liées à la respiration humaine des occupants. Les niveaux peuvent rapidement augmenter si l'air de la pièce n'est pas suffisamment renouvelé.
L'effet sanitaire le plus notable du CO_2 pour les occupants est la diminution de l'attention et de la concentration.
Le CO_2 est qualifié à l'aide de l'indicateur ICONE (cf. figure 4).Cet indice est utilisé dans le cadre de la surveillance réglementaire (cf. décret du 5 janvier 2012).

ICONE	Nature du confinement
0	nul
1	faible
2	moyen
3	élevé
4	très élevé
5	extrême

FIGURE 4 - ECHELLE ICONE

Il est calculé de la manière suivante :

$$ICONE = \left(\frac{2,5}{\log_{10}(2)}\right)\log_{10}(1 + f_1 + 3f_2)$$

$$f_1 : proportion\ \ de\ valeurs\ comprises\ entre\ 1000\ et\ 1700\ ppm \left(f_1 = \frac{n_1}{n_0 + n_1 + n_2}\right)$$

$$f_2 : proportion\ \ de\ valeurs\ supérieures\ à\ \ 1700\ ppm \left(f_2 = \frac{n_2}{n_0 + n_1 + n_2}\right)$$

La proportion des valeurs supérieures à 1700 ppm f2 (formule ci-dessus), calculée durant la présence des élèves, permet de caractériser également la qualité de l'air intérieur d'une pièce. Ce seuil est un repère pour affiner l'identification des périodes critiques.

- **Les composés organiques volatils totaux** (COV_T) en équivalent toluène

Les composés organiques volatils regroupent de nombreuses familles chimiques (hydrocarbures, éthers de glycol, composés chlorés,…) et par conséquent de nombreuses sources. En air intérieur, la plupart des sources sont intérieures : peintures, colles, vernis, produits d'entretien. Ils peuvent également provenir d'échanges avec l'air extérieur pour les composés comme le benzène et le toluène (trafic automobile, chauffage,..)
Pour caractériser la qualité de l'air intérieur, la **moyenne de la concentration en COV_{totaux} pendant la période de présence des élèves** sera utilisée. A titre indicatif, cette moyenne peut être comparée au seuil préconisé par la société Azimut Monitoring, développeur de la balise Fireflies®, pour ce paramètre : 3000 µg/m^3.

- **Les composés organiques volatils légers** (COV_L) en équivalent formaldéhyde

Les composés organiques légers sont ceux comportant le moins d'atomes de carbone. Le formaldéhyde, de formule CH_2O, fait partie de cette famille. Il est **présent dans de nombreux produits d'usage courant** : panneaux de bois aggloméré, certaines mousses pour l'isolation, certains vernis, les colles, les peintures, les moquettes, les rideaux, les désinfectants, les textiles et les cosmétiques,… Le formaldéhyde est un irritant des voies respiratoires et a été classé cancérigène par le Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC).
Pour caractériser la qualité de l'air intérieur, la **moyenne de la concentration en $COV_{légers}$ pendant la période de présence des élèves** sera utilisée. A titre indicatif, cette moyenne peut être comparée au seuil préconisé par la société Azimut Monitoring, développeur de la balise Fireflies® 60 µg/m^3.

2.2 Résultats de la phase d'évaluation

a) Bilan technique

Conformément au planning prévisionnel, la balise a été installée dans une salle de classe pour la période d'évaluation le lundi 9 décembre 2013. La salle G10, retenue pour cette installation, possède cinq fenêtres sur deux murs avec une orientation principale au Sud (cf. figure 5).
Après quelques jours de mesures, les résultats obtenus dans cette première salle se sont révélés meilleurs que ceux obtenus en 2008, la période d'évaluation a d'abord été prolongée puis finalement il a été décidé de tester une autre salle, la salle H10 (déjà testée en 2009). Concernant la salle G10, il semblerait que du fait de sa situation relativement ensoleillée, les fenêtres soient déjà souvent entrouvertes en fonctionnement normal, contribuant au renouvellement de l'air de la pièce.

FIGURE 6 – SALLE G10

FIGURE 5- SALLE H10

Au final, **la phase d'évaluation** a été réalisée du 9 décembre 2013 au 13 janvier 2014, suivie de **la phase des actions d'améliorations** du 16 au 24 janvier 2014.
De plus, une période de fermeture du 20 décembre 2013 au soir au 6 janvier 2014 au matin a également permis d'estimer les concentrations de fond en dehors des plages d'occupation.

Périodes	Début	Fin
Evaluation salle G10	lun 09/12/2013	lun 06/01/2014
Evaluation salle H10	lun 06/01/2014	lun 13/01/2014
Actions d'amélioration salle H10	jeu 16/01/2014	ven 24/01/2014

La phase « Evaluation » ayant pris plus de temps que prévu compte tenu du changement de salle, la durée de la phase « action et amélioration » a été réduite, permettant de ne réaliser que quelques tests.

b) Le dioxyde de carbone - CO_2

L'étude de l'évolution temporelle des concentrations de CO_2 pendant une journée (cf. figure 7) et pendant la semaine (cf. figure 8) permet de caractériser la qualité de l'air intérieur et d'identifier les périodes les plus sensibles.

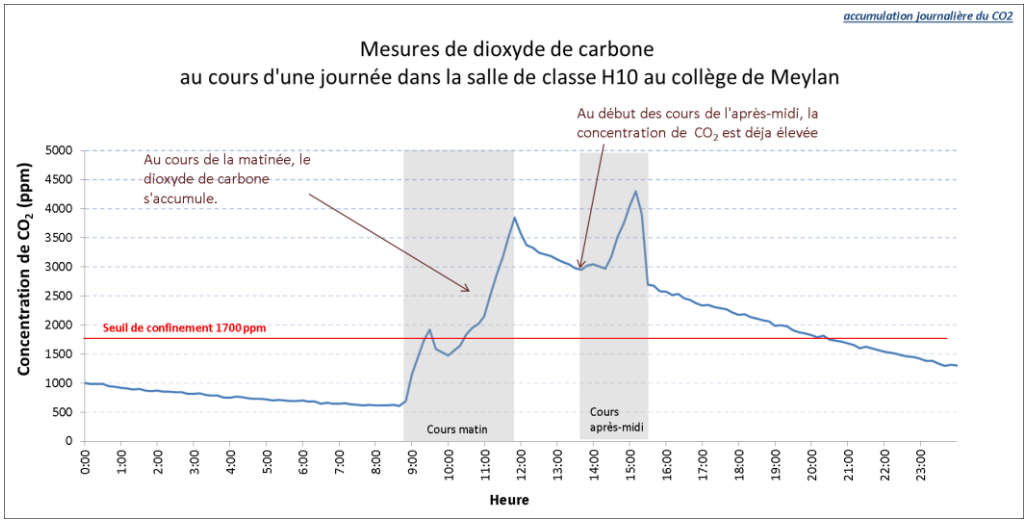


FIGURE 7 - ACCUMULATION JOURNALIERE DU CO2 - SALLE H10

Dès la première heure de cours, le taux de CO_2 augmente très rapidement. Durant la pause déjeuner, en l'absence d'occupants, les concentrations diminuent peu traduisant un renouvellement d'air

insuffisant et l'absence d'aération. L'air de la salle n'est pas renouvelé : ainsi, au début des cours de l'après-midi, les concentrations de CO_2 sont déjà très élevées (3000 ppm), elles continuent d'augmenter durant l'occupation de l'après-midi.
A la fin des cours de l'après-midi, les teneurs ont atteint leur maximum et après une phase de diminution rapide, correspondant à l'ouverture de la porte et/ou des fenêtres, les concentrations de CO_2 diminuent ensuite très lentement durant la nuit.

De même, avec **un pas de temps hebdomadaire** (cf. figure 8), il est facile de constater **l'effet de l'accumulation du CO_2 journalier à l'intérieur du collège et son impact sur la journée suivante**.

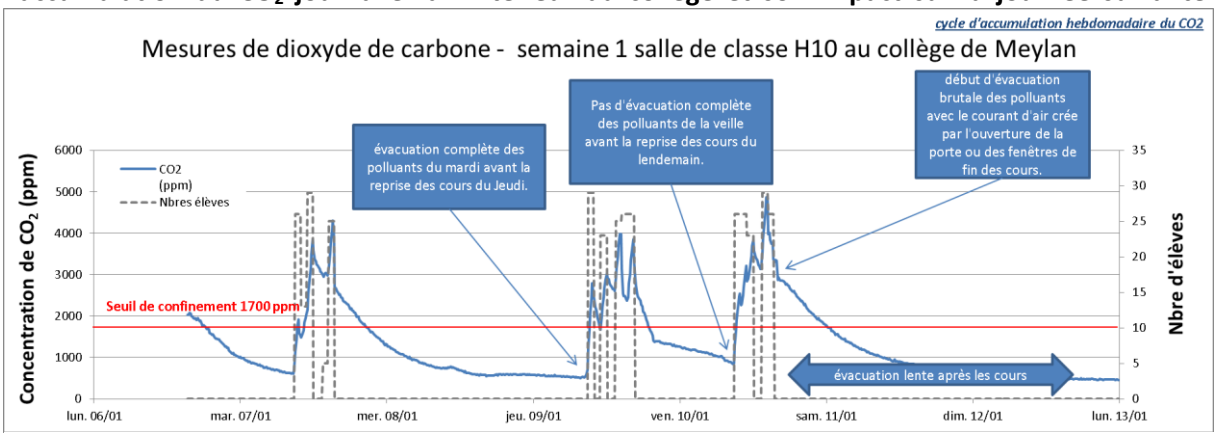


FIGURE 8 - ANALYSE DU CO_2 – HEBDOMADAIRE – SALLE H10

Ainsi, les concentrations sont supérieures au seuil de confinement de 1700 ppm durant la presque totalité de la présence des élèves et **l'accumulation du CO_2 dans la salle de classe affecte également la journée du lendemain**, essentiellement le mardi et le vendredi.

Indice de confinement ICONE de la salle de classe

Salle de classe	Indice de confinement
H10	5
G10	4

FIGURE 9 - INDICATEURS DE CONFINEMENT

L'indice de confinement de la salle H10 durant la phase d'évaluation est de 5/5, la nature du confinement est donc qualifiée d'extrême selon l'échelle de l'indice ICONE du CSTB.
En comparaison**, la salle G10 a un indice plus faible** mais reste toutefois qualifié de très élevé (calculé du 9/12/13 au 20/12/14 pour G10).

La proportion des valeurs supérieures à 1700 ppm

La décomposition des calculs des proportions f1 et f2 de l'indice ICONE, ci-contre, met en évidence la durée importante durant laquelle la salle de classe H10 est en situation de confinement pendant son occupation. Pour comparaison, le résultat de la salle G10 est aussi noté (cf. figure 10).

Salle de classe	1000ppm <f1 <1700 ppm	f2 > 1700 ppm	Période
H10	13	87	Constat 1 : 6 au 13 janv 2014
G10	29	66	9 déc au 20 déc 2013

FIGURE 10 - PROPORTIONS CO2 1700 PPM

Cet indicateur exprimé en pourcentage est plus précis et peut permettre de calculer des gains.

c) Les composés organiques volatils (COV)

Les courbes d'évolutions temporelles des COV_{totaux} et $COV_{légers}$ (cf. figures 11 & 12) permettent de mieux comprendre les facteurs influençant la qualité de l'air intérieur et d'identifier les périodes défavorables durant l'occupation des salles de classe
L'évolution hebdomadaire montre que les concentrations de COV légers et totaux augmentent pendant la journée, en présence des occupants. Cette augmentation pourrait être due en partie aux

occupants eux-mêmes (parfums, usages,…) mais également aux émissions du bâti et du mobilier favorisées par l'augmentation de la température et de l'humidité en journée. Pendant la pause de midi, alors que les concentrations en CO_2 diminuent, les concentrations en COV_{totaux} restent stables, ce qui tendrait à souligner le rôle des émissions des composants de la pièce quand la température est plus élevée.
Les émissions de COV sont faibles la nuit, en effet malgré le très faible taux de renouvellement d'air les niveaux de COV n'augmentent pas ou très peu. Toutefois, en cette période la température de la salle la nuit est inférieure à 15°C. Des mesures en été seraient nécessaires pour estimer les émissions de polluant en période chaude.

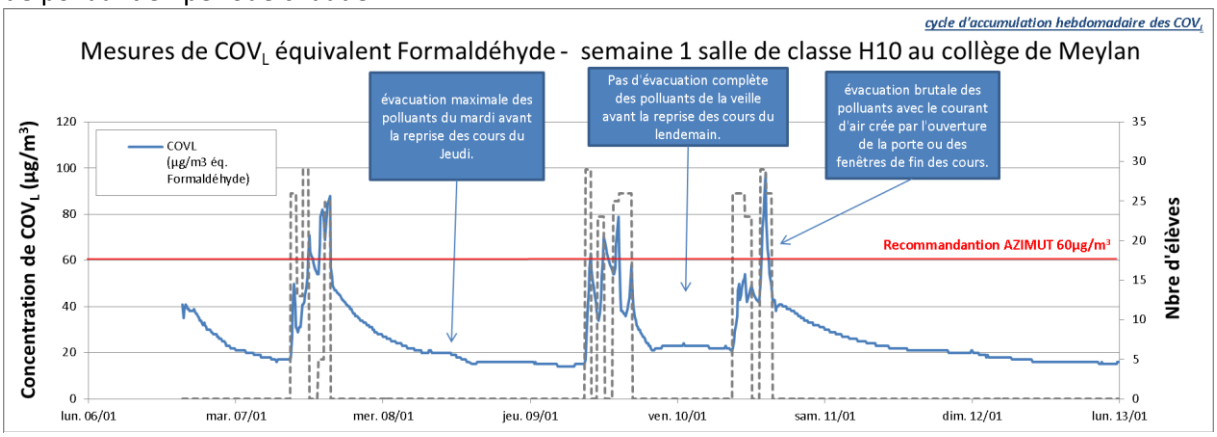


FIGURE 11 - EVOLUTION HEBDOMADAIRE DES COV_L – SALLE H10

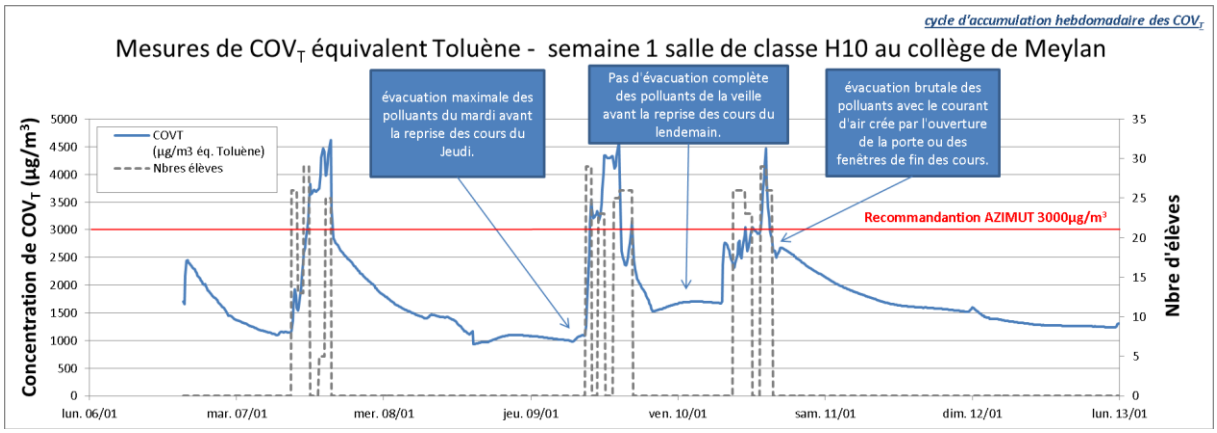


FIGURE 12 – CYCLE HEBDOMADAIRE DES COV_T - SALLE H10

Les moyennes de $COV_{légers}$ et de COV_{totaux} pendant la période de présence des élèves sont respectivement de 51 µg.m^{-3} et 3046 µg.m^{-3}, proches des seuils recommandés pour ces paramètres, indiquant une qualité de l'air moyenne et la nécessité de réaliser des actions d'amélioration.

L'absence de pics de courte durée en dehors de la présence des élèves indique qu'il n'y a pas de contribution forte du ménage en période normale.
Un pic élevé en COV a été constaté durant la période d'inoccupation suite aux opérations de ménage effectuées pendant les vacances scolaires (cf. figure 13). Après avoir brusquement augmenté au moment de l'opération, les teneurs ont ensuite baissé lentement les jours suivants.
Aucun pic de cette importance n'a été constaté durant les phases d'occupation, ce qui démontre une bonne gestion de ces interventions et de l'utilisation des produits d'entretien.

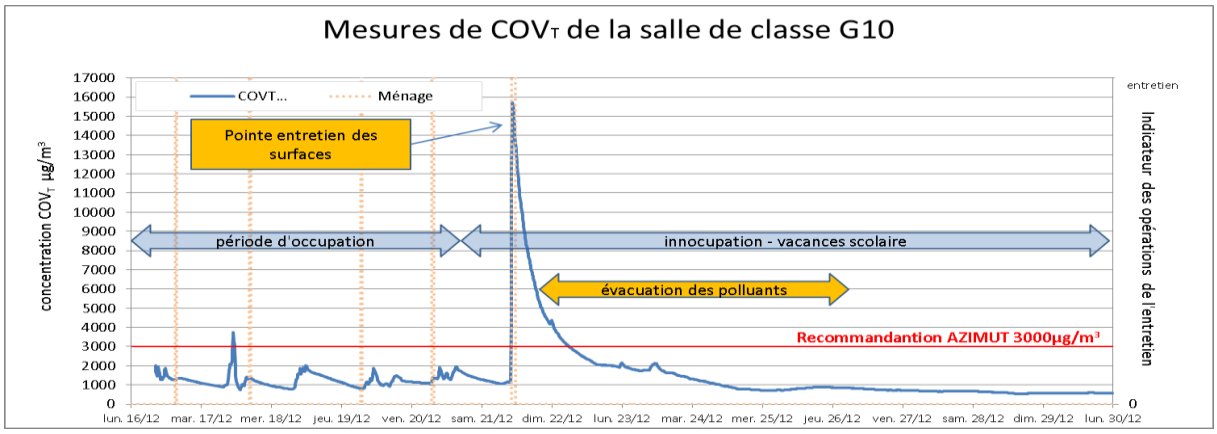


FIGURE 13 - EVOLUTION HEBDOMADAIRE DES COV_T

d) Conclusions

La mise en place d'un suivi en continu dans une salle de classe de différents paramètres de qualité de l'air intérieur a permis d'affiner le diagnostic réalisé lors de la précédente étude avec une méthodologie différente. Les résultats obtenus montrent :

- **Un confinement extrême** avec un indice de 5/5. Le renouvellement d'air de la pièce est très faible engendrant une hausse quasi-continue des concentrations de CO_2 tout au long de la journée. Sur la semaine d'évaluation, il y a très peu d'aération aux intercours.
- Les concentrations de composés organiques volatils augmentent en journée en présence des élèves traduisant l'influence potentielle des occupants mais également **des émissions des composants de la pièce (mobilier, bâti) lorsque la température augmente**.
- Les **activités de ménage ne semblent pas avoir d'impact majeur sur les concentrations de polluants** lors de la semaine de classe.

Un test supplémentaire consistant à faire augmenter la température de la pièce la nuit en l'absence d'occupants permettrait de mieux distinguer l'influence du bâtiment et du mobilier de celle des occupants.

2.3 Actions d'amélioration

L'état des lieux réalisé pendant la 1ère semaine de janvier en salle H10 a montré l'insuffisance du renouvellement de l'air dans la salle. Compte tenu de la période réduite pour réaliser les actions d'amélioration, les propositions se sont focalisées sur **des tests d'aération**. Ces actions sont simples à mettre en œuvre et pourraient être appliquées immédiatement.
De plus, au vu du faible impact des opérations de ménage sur les concentrations de polluants durant les classes, des actions concernant les opérations de ménage n'ont pas été entreprises.

a) Amélioration n°1 : ouverture aux intercours

La première action concerne l'amélioration de l'aération, pendant l'occupation de la salle, par l'ouverture de la porte et des fenêtres (en position oscillo-battante) durant 10 min au début de chaque cours. Cette action serait très simple à mettre en œuvre au quotidien.
L'action a été communiquée auprès du collège le lundi 13 janvier sous la forme d'une consigne et a été appliquée à partir du mardi 14 janvier en salle H10.

Les figures 14 à 16 présentent les évolutions pendant une semaine des 3 paramètres étudiés (CO_2, COV_{totaux}, $COV_{légers}$) en comparaison de la semaine de constat.

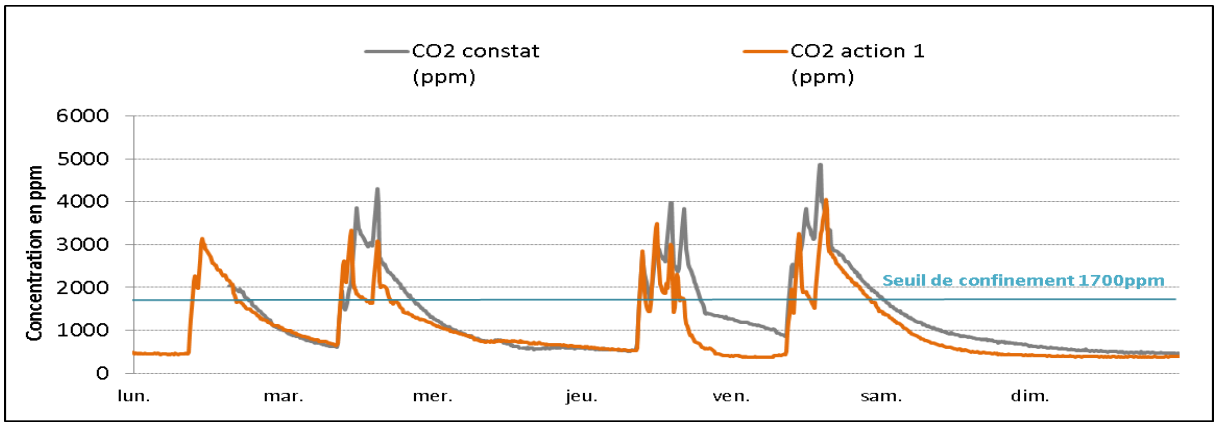


FIGURE 14 COMPARAISON DE L'EVOLUTION DU CO_2 AVEC OU SANS ACTION D'AMELIORATION

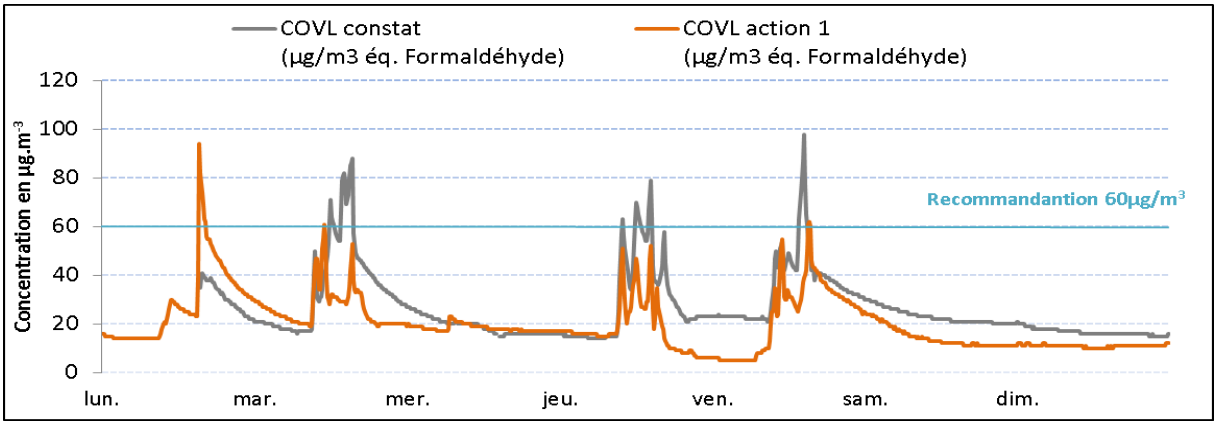


FIGURE 15 COMPARAISON DE L'EVOLUTION DES COV $_{LEGERS}$ AVEC OU SANS ACTION D'AMELIORATION

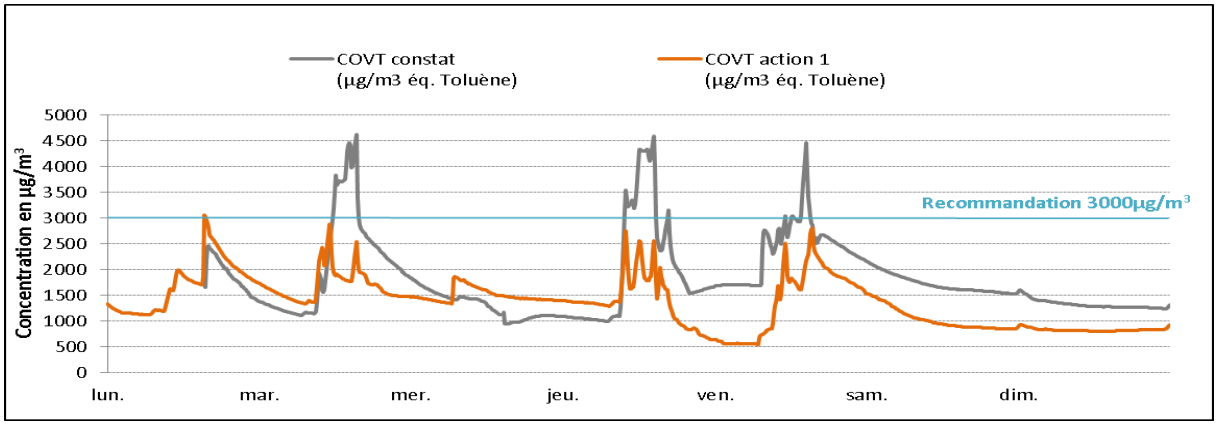


FIGURE 16 COMPARAISON DE L'EVOLUTION DES COV $_{TOTAUX}$ AVEC OU SANS ACTION D'AMELIORATION

La figure 14 **montre une diminution des concentrations de CO_2,** notamment lors de la pause de midi le mardi et le vendredi. Toutefois, les concentrations restent globalement élevées. L'indice de confinement passe ainsi de 5 à 4, soit d'un confinement qualifié d'extrême à un confinement très élevé. Le pourcentage de valeurs supérieures à 1700 ppm diminue de 87 à 76%, **soit une amélioration de 10% environ**.

Concernant les COV $_{totaux}$ et les COV $_{légers}$, les figures 15 et 16 montrent également une diminution des concentrations avec l'application des consignes d'une ouverture régulière des fenêtres. **Le gain est d'environ 30% sur les concentrations moyennes en présence des élèves.**

Ce constat est à prendre avec précaution compte tenu de la courte durée du test. La variabilité des résultats peut être liée au sentiment de confort lié à l'échange de l'air entre l'intérieur et l'extérieur, et donc par conséquent, essentiellement à la température extérieure.

En effet en hiver, le confort thermique semble peu satisfaisant pour les occupants et cela peut être un frein à l'aération par ouverture des fenêtres, c'est pourquoi la température a été également enregistrée lors de la mise en œuvre des actions d'amélioration. Durant l'action n°1, on constate une variabilité de la température et de l'hygrométrie probablement liée aux occupants et à leurs déplacements ou aux aérations successives durant la journée.
Pendant la semaine d'action, la température extérieure a été légèrement plus basse en comparaison de la semaine de constat, cependant il est important de noter, malgré une fréquence d'ouverture des fenêtres plus élevée, le maintien de la température et l'hygrométrie dans leur zone de confort respective (cf. figure 17).

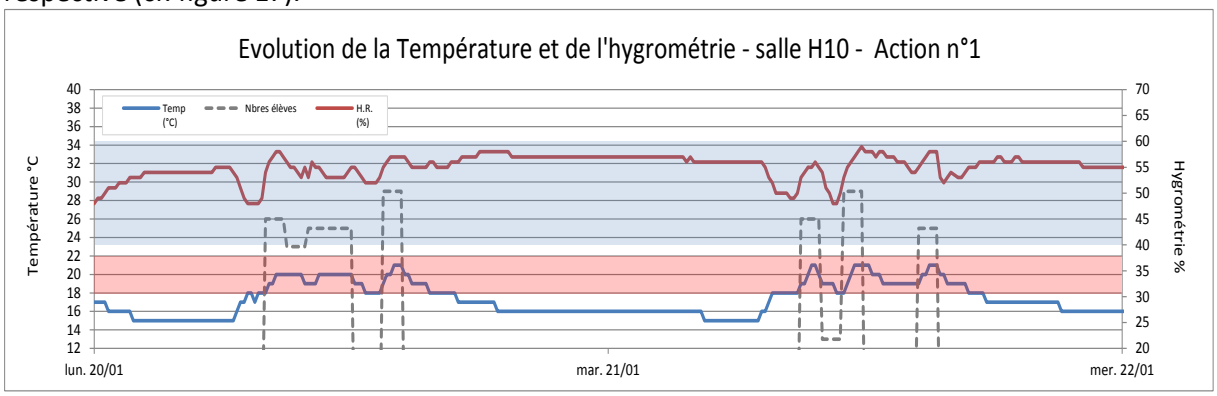


FIGURE 17 : EVOLUTION DE LA TEMPERATURE ET DE L'HYGROMETRIE ACTION 1

>> **Cette action a mis en évidence l'influence sur la qualité de l'air intérieur du renforcement de l'aération dans une salle de classe dépourvue d'une ventilation adaptée**. Bien que les concentrations de CO_2 diminuent, elles restent élevées engendrant un indice de confinement égal à 4 sur une échelle de 1 à 5. Le renouvellement d'air induit par les ouvertures en oscillo-battant est ainsi insuffisant pour renouveler l'air de la pièce. Toutefois, on peut noter que **cette action entraine une baisse d'environ 30% sur les concentrations moyennes en COV totaux et légers**.

b) Amélioration n°2 : Ouverture en grand

L'action n°1 a mis en évidence la difficulté de renouveler totalement l'air de la pièce en raison de la limitation liée aux ouvrants de la salle de classe. Ainsi, il a été envisagé au cours d'une seconde action de renforcer l'aération par une méthode dite d'aération transversale permettant de renouveler intégralement l'air de la salle de classe en un temps très court.

La consigne a donc été transmise pour réaliser une aération transversale le jeudi 23 janvier 2014 durant la pause déjeuner. Pendant 10 min, les fenêtres et la porte de la classe ont été ouvertes en grand. Cette action n'a pas été réalisable plusieurs fois compte tenu de la problématique des ouvrants à clef.

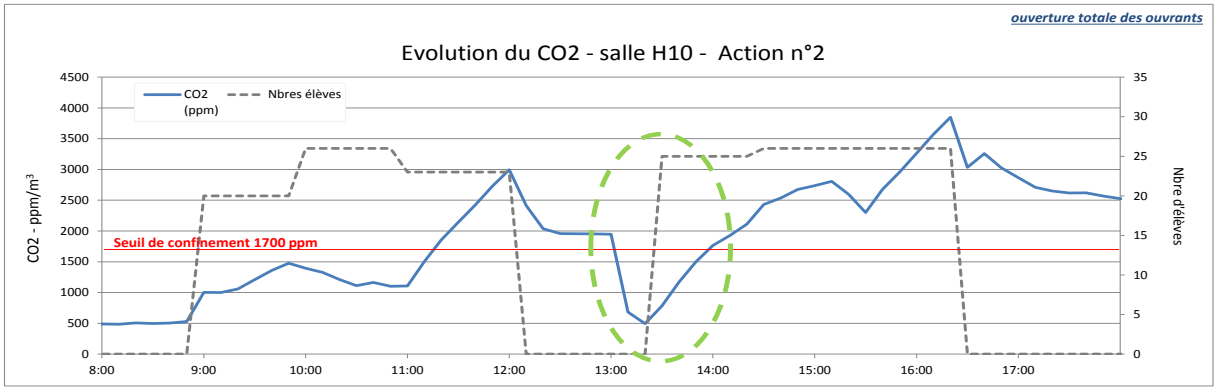


FIGURE 18 : EVOLUTION DU CO2 - ACTION 2

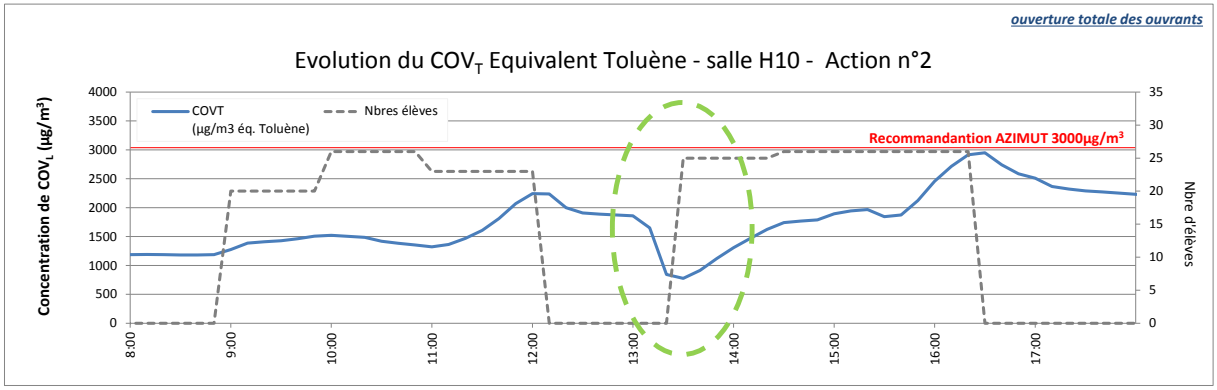


FIGURE 19 : EVOLUTION DES COV TOTAUX - ACTION 2

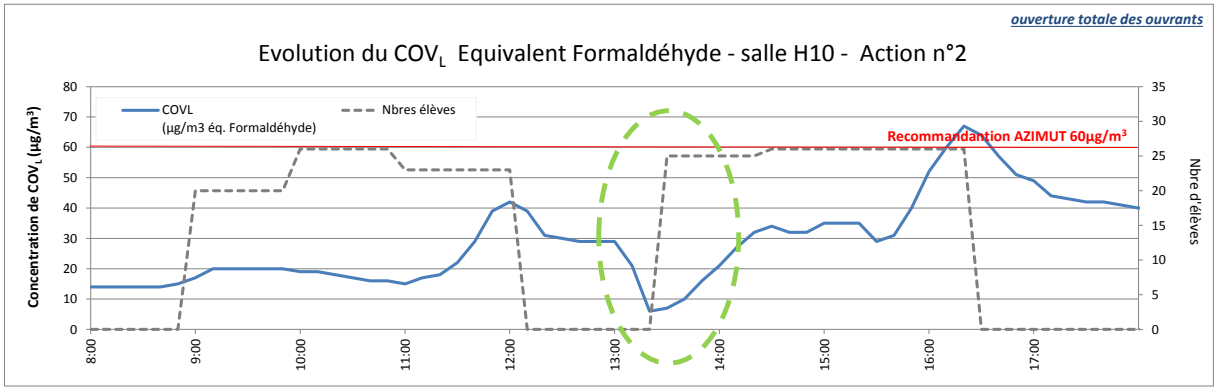


FIGURE 20 : EVOLUTION DES COV LEGERS ACTION 2

L'impact de cette action est significatif. Les concentrations en CO_2, COV totaux et COV légers ont atteint le minimum de leurs valeurs, se rapprochant ainsi du niveau minimum du collège en phase d'inoccupation. Toutefois, au bout de 30 minutes environ après la reprise des cours, les niveaux de CO_2 dépassent à nouveau 1700 ppm. Par ailleurs, l'influence de l'action n°2 sur la température intérieure est importante, elle sort de la zone de confort pendant la présence d'occupants (cf. figure 26) à cause d'une température extérieure basse.

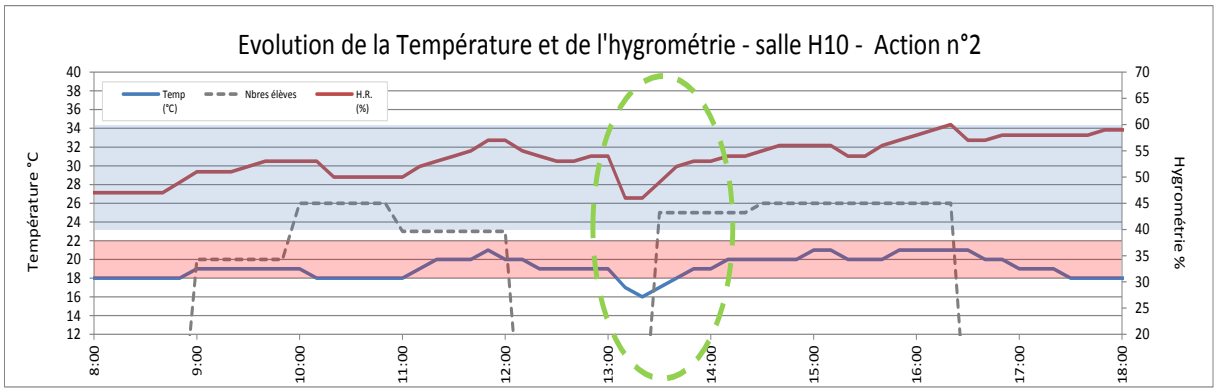


FIGURE 21 : EVOLUTION TEMPERATURE ET HYGROMETRIE ACTION 2

>> Cette seconde action a permis de renouveler intégralement l'air de la salle de classe en milieu de journée en atteignant le niveau minimum de concentration. **Ce résultat souligne la nécessité, en l'absence de ventilation mécanique, de prévoir des ouvrants adaptés**. Dans le cas de ce collège, ce test met toutefois en évidence la problématique du confort puisque la température est basse au retour des élèves et en début de cours.

2.4 Conclusions

L'étude réalisée au sein du collège « Les Buclos » a permis d'approfondir les connaissances sur la qualité de l'air intérieur dans cet établissement, notamment grâce à l'utilisation d'un outil de mesure plus réactif. Les quelques mesures effectuées montrent **l'utilité de ce type d'outil afin d'identifier la dynamique des concentrations de polluants et mieux connaitre les facteurs dégradant la qualité de l'air intérieur.**

Les mesures réalisées ont montré en fonctionnement normal :

- **Un confinement extrême** avec un indice de 5/5.
- Une augmentation des concentrations de composés organiques volatils en journée en présence des élèves traduisant l'influence potentielle des occupants mais également **des émissions des composants de la pièce (mobilier, bâti) lorsque la température augmente**.
- Une **faible influence des activités de ménage**.

Compte tenu de la courte durée de l'expérimentation, seules des actions portant sur l'aération ont été testées. **Avec une consigne d'aération systématique aux intercours, une baisse d'environ 30% des concentrations de composés organiques volatils pendant la période de présence des élèves a été relevée. Toutefois, l'indice de confinement est toujours de 4 sur 5, montrant l'insuffisance de cette mesure dans cet établissement.**

Bien que la mise en œuvre de cette expérimentation montre une réelle prise de conscience de la problématique au sein du collège, des modifications plus importantes sont indispensables dans cet établissement pour améliorer la qualité de l'air intérieur, tout en conservant un confort minimal.

3. Etude de l'influence de l'occupation des salles sur la qualité de l'air intérieur

L'objectif de cette seconde étude était de mettre en évidence l'influence de l'occupation des salles sur la qualité de l'air intérieur. Deux collèges ont été choisis pour la mise en œuvre par le Conseil Général de l'Isère :

- Le **collège Champoulant à l'Isle d'Abeau**, bâtiment neuf disposant d'une ventilation mécanique double flux.
- Le **collège Olympique à Grenoble**, bâtiment relativement ancien ne disposant pas de système de ventilation mécanique.

3.1 Méthodologie

Les mesures ont été réalisées dans **deux salles occupées** et **deux salles vides** de chaque collège. Les polluants pris en compte lors de l'étude sont les suivants :

- Les **aldéhydes** dont le **formaldéhyde** et les **BTEX** (**Benzène**, toluène, éthylbenzène, xylènes), mesurés à l'aide de tube à diffusion passive (Radiello®, figure 22) donnant une concentration moyenne sur la période de mesure.
- Le **CO_2** (indicateur de confinement), mesuré en continu avec un pas de temps de 10 minutes sur toute la période à l'aide de différents matériels (Balise Fireflies, Profil'Air ou Q-TRAK).
- Les **particules fines $PM_{2,5}$**, mesurées en continu avec un pas de temps de 10 minutes dans une salle vide et une salle occupée de chaque collège à l'aide d'un PDR 1500 (figure 24).
- **31 Composés organiques volatils (COV)**, mesurés sur une journée de cours de 8h à 16h à l'aide de canisters, dans une salle occupée et une salle vide de chaque collège (figure 23).
- **Les COV totaux en équivalent toluène et les COV légers en équivalent formaldéhyde**, mesurés en continu avec un pas de temps de 10 minutes dans une salle occupée de chaque collège.

FIGURE 24 : TUBE A DIFFUSION PASSIVE (RADIELLO©)

FIGURE 23: CANISTER

FIGURE 22:PDR, APPAREIL DE MESURE DES PM2,5

Deux périodes d'une semaine de mesures ont été réalisées : **une en période froide** (chauffage) et **une en période chaude** (pas de chauffage). Les tubes passifs ont été disposés du lundi matin au vendredi soir. La balise a été installée lors de la deuxième période uniquement pendant la semaine de mesures et un week-end supplémentaire afin d'avoir des informations sur les concentrations en période d'inoccupation.

Pour compléter ces mesures et faciliter l'exploitation des données, un questionnaire d'occupation a été rempli par les professeurs dans les salles occupées (nombre d'élèves présents par heure) ainsi qu'un questionnaire d'accompagnement de la mesure par salle.

L'objectif principal de l'étude est de comparer les résultats des salles inoccupées et des salles occupées. Les concentrations obtenues peuvent par ailleurs être comparées à différentes valeurs définies en lien avec leur impact sanitaire sur la santé humaine. Le décret n°2011-1727 du 2 décembre 2011 fixe notamment les valeurs-guides pour les polluants réglementés en air intérieur (valeur guide réglementaire). D'autres valeurs guide sont fixées par l'OMS[3] ou l'ANSES[4] (voir valeur guide).

Polluant	**Valeur Guide réglementaire (en µg/m³)**	**Valeur Guide (en µg/m³)**
Benzène	**5** (2013) **2** (2016)	**5** (2013) **2** (2016)
Formaldéhyde	**30** (2015) **10** (2023)	**30** (2015) **10** (2023)
Trichloroéthylène	aucune	2
Acétaldéhyde	aucune	200
Toluène	aucune	300
Ethylbenzène	aucune	300
m+p-Xylène	aucune	**200**
o-Xylène	aucune	200
Tétrachloroéthylène	aucune	250

TABLEAU 1 : VALEURS-GUIDES ET VALEUR LIMITE POUR L'AIR INTERIEUR

3.2 Le collège Champoulant à l'Isle d'Abeau

Le collège Champoulant est très récent puisque sa mise en service date de septembre 2012. Il est composé de deux blocs principaux spécialisés: administratif, cours et Travaux Pratiques sur 3 étages.

Les différents niveaux des classes ont été ouverts progressivement. A l'ouverture du collège en 2012, il y avait 155 élèves. L'effectif a progressivement augmenté pour atteindre 295 élèves en 2013. L'occupation était réduite dans le but d'effectuer des réglages de début de vie d'un bâtiment (VMC, ouverture, mobilier…)
Ce bâtiment possède une **ventilation mécanique double flux**. Un automate a été installé pour la ventilation des pièces qui se déclenche lorsque le détecteur de CO_2 mesure une concentration supérieure à un seuil fixé. Par ailleurs, des consignes pour laisser les fenêtres fermées ont été données au personnel du collège.

[3] Organisation Mondiale de la Santé
[4] Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail

Les salles choisies pour les mesures de qualité de l'air intérieur sont situées à des étages différents mais de configuration identique. Il s'agit des salles :

- → **105 et 107** (occupées)
- → **200 et 201** (inoccupées).

Les mesures ont été réalisées :

- → **du 30 septembre au 4 octobre 2013** (période chaude)
- → **du 27 au 31 janvier 2014** (période froide)

a) Le dioxyde de carbone (CO_2)

Dans ce collège, la ventilation est mécanique et possède un détecteur de CO_2.

- → Les concentrations de CO_2 au cours de la semaine dans les salles 107 et 105 augmentent rapidement avec la présence des élèves jusqu'à des niveaux qui peuvent atteindre 3000 ppm pour ensuite diminuer tout aussi rapidement lors de la sortie des élèves (cf. figure 28). La ventilation de la salle semble donc légèrement insuffisante en présence des élèves (seuil de 1300 ppm préconisé par le Règlement Sanitaire Départemental).
- → **L'indice de confinement au cours de la semaine est égal à 2** (moyen) pour les deux salles occupées ; ce qui reste correct pour des salles pouvant accueillir parfois plus de 30 élèves.
- → Les niveaux dans la salle vide restent stables et de l'ordre du niveau extérieur usuel (400 ppm), montrant qu'il n'y a pas d'échange avec le reste du bâtiment.

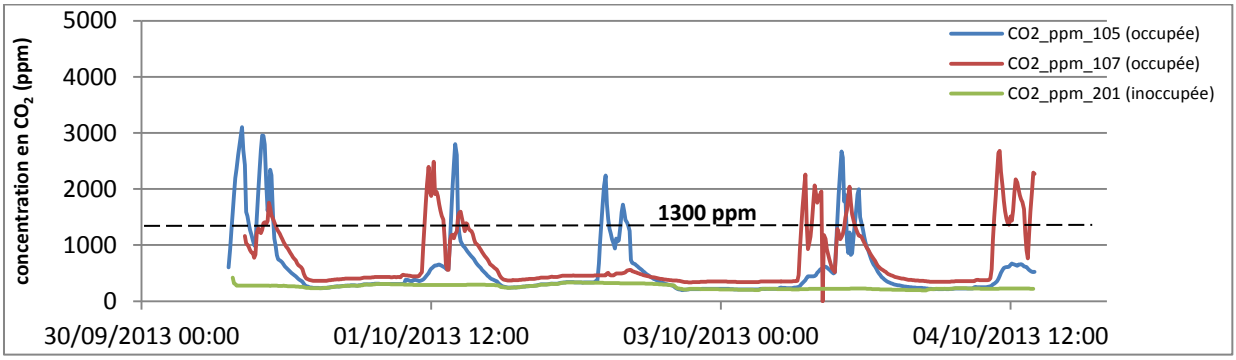


FIGURE 25:EVOLUTION DU TAUX DE CO_2 (EN PPM) DANS LES OCCUPEES ET INOCCUPEES

En conclusion, la présence de quelques concentrations élevées en CO_2 montre que le débit de la ventilation pourrait être augmenté même si l'indice de confinement est raisonnable. Les très faibles concentrations de CO_2 dans les salles inoccupées traduisent l'absence d'échange avec le reste du bâtiment.

b) Les aldéhydes

La figure 26 présente les concentrations moyennes des aldéhydes dans les différentes salles.

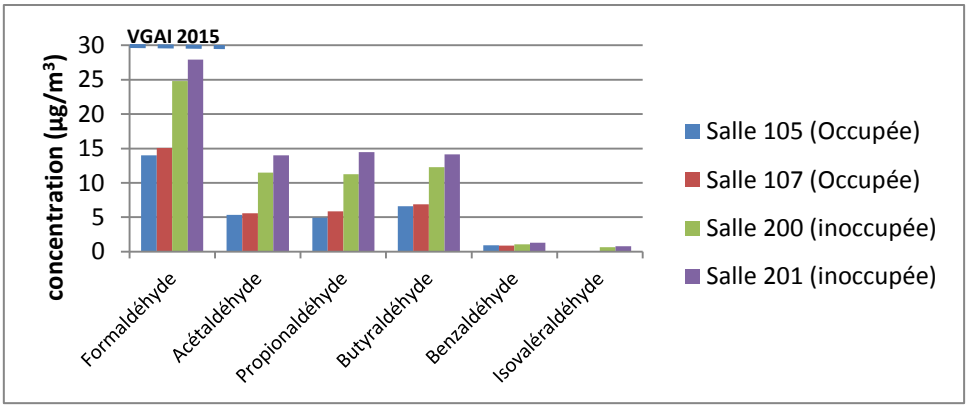


FIGURE 26 : CONCENTRATIONS MOYENNES EN ALDEHYDES (EN µG/M^3) SUR LES DEUX PERIODES DE MESURE DANS LES DIFFERENTES SALLES OCCUPEES ET INOCCUPEES DU COLLEGE CHAMPOULANT

→ Les **concentrations moyennes en aldéhydes sont plus faibles dans les salles occupées que dans les salles inoccupées**. Les niveaux de formaldéhyde mesurés sont relativement importants dans les salles inoccupées, proches de la valeur guide réglementaire de 2015 (30 µg/m^3) sans la dépasser. En revanche, la valeur à respecter en 2023 (10 µg/m^3) est dépassée dans toutes les salles.

→ L'analyse des deux périodes de mesure montre que les concentrations sont plus élevées en période chaude (plus de 30 µg/m^3 dans les salles inoccupées). Le relargage des aldéhydes est en effet favorisé par des températures plus importantes. Par ailleurs, au cours de la visite préalable aux mesures, une forte odeur dans les salles avait bien été relevée dans les salles inoccupées. En effet, le mobilier, le revêtement de sol, les matériaux de décoration sont les principales sources de ces aldéhydes.

Dans ce bâtiment neuf, les concentrations d'aldéhydes sont plus élevées dans les salles inoccupées, où la ventilation est coupée. Ceci traduit le relargage de polluants des matériaux neufs et souligne la nécessité de ventiler. Dans un bâtiment neuf où la ventilation n'est activée qu'en période de présence des élèves, il est possible que les concentrations de polluant augmentent pendant la nuit.

c) Les BTEX

La figure 27 présente les concentrations moyennes sur les différentes salles.

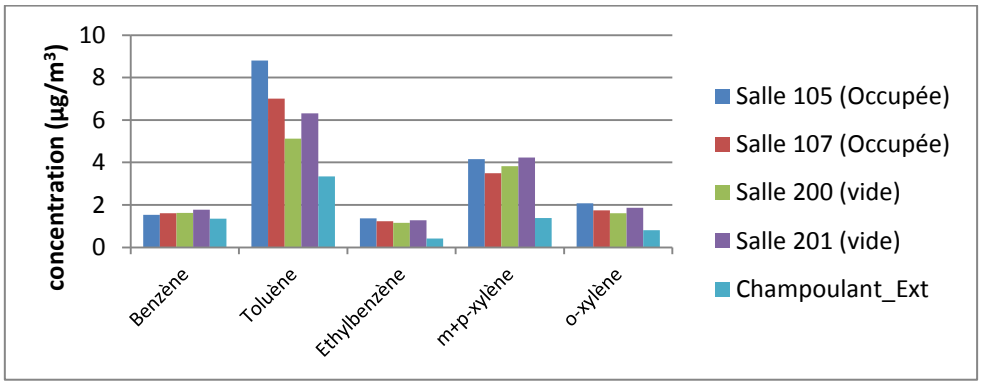


FIGURE 27 : CONCENTRATION EN BTEX (EN µG/M3) DANS LES DIFFERENTES SALLES OCCUPEES ET INOCCUPEES

→ Contrairement aux aldéhydes, les concentrations en BTEX ne sont pas supérieures dans les salles vides, montrant une influence moindre du mobilier et des matériaux dans les concentrations de polluants pour cette famille dans ce bâtiment.
→ Le rapport des concentrations entre l'air intérieur et l'air extérieur est supérieur à 2 pour le toluène, l'éthylbenzène et les xylènes, ce qui aurait tendance toutefois à montrer l'influence de sources internes comme les produits d'entretien, les produits de décoration utilisés dans les salles : peinture, vernis, colle.
→ Les concentrations de benzène ne dépassent pas les valeurs guides 2013 (5 µg/m^3) et 2016 (2 µg/m^3) applicables dans les établissements recevant du public.

d) Evolution des COV totaux et légers au cours d'une semaine

La mesure des COV totaux a été réalisée à l'aide de la balise Fireflies© pendant la campagne hivernale (2e période). Contrairement aux tubes passifs, cet outil de mesure permet d'étudier les évolutions sur des pas de temps de 10 minutes et **de comparer ainsi les concentrations de polluants dans une même salle en présence des élèves et en période d'inoccupation**.

→ **Les concentrations relevées augmentent en période de présence des élèves** (cf. figure 28). Les concentrations de la semaine ne redescendent que très rarement jusqu'aux niveaux minimums du week-end à cause du non fonctionnement de la ventilation en dehors des temps de présence des élèves. Compte tenu du fonctionnement spécifique de la ventilation, il est difficile de conclure en journée sur l'apport extérieur et les émissions liées à la présence des élèves.
→ De manière générale, le relargage des COV est favorisé par une augmentation des températures. Toutefois, l'augmentation de température pendant le week-end (25/01) montre une faible augmentation des concentrations de COV en regard de celles observées la semaine.
→ Un pic à 7h du matin le vendredi 31 janvier traduit probablement l'influence ponctuelle du ménage.
→ Pour les COV totaux, le seuil préconisé par la société Azimut Monitoring (3000 µg/m^3) n'est jamais dépassé (figure 32).

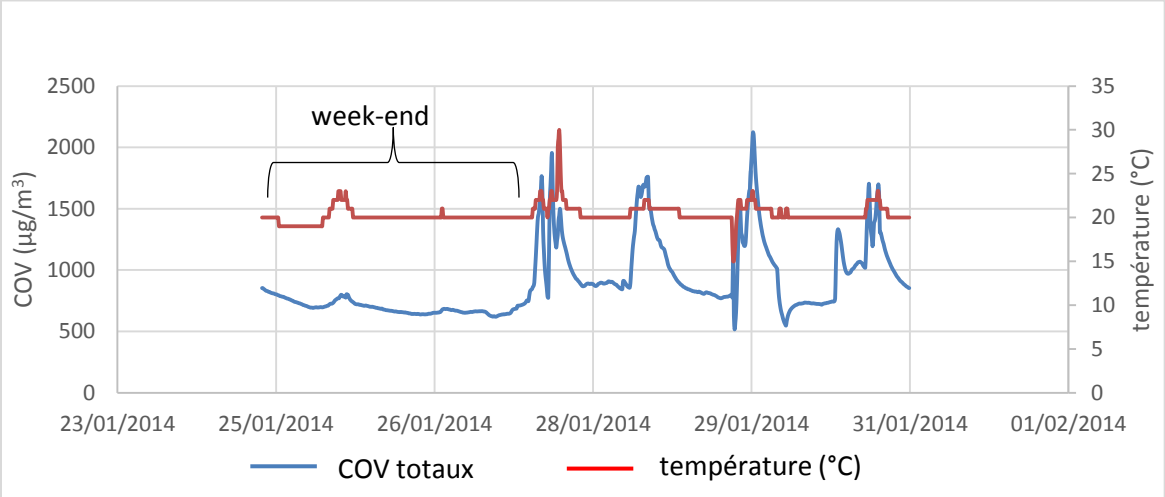


FIGURE 28 : EVOLUTION DE LA CONCENTRATION DES COV TOTAUX (µG/M3 EN EQUIVALENT TOLUENE) DANS LA SALLE 105 DU COLLEGE CHAMPOULANT

→ Les concentrations des COV légers suivent sensiblement la même dynamique que les COV totaux (figure 29) avec des niveaux satisfaisants (inférieurs au seuil recommandé de 60 µg/m^3 par Azimut monitoring). Ces concentrations augmentent avec la température.

→ Le niveau de fond relevé est assez faible (inférieur à 10 g/m^3), ce qui signifie que les concentrations relevées en journée dans cette salle sont plutôt dus à l'activité du personnel (élèves et enseignants) qu'au relargage des matériaux.

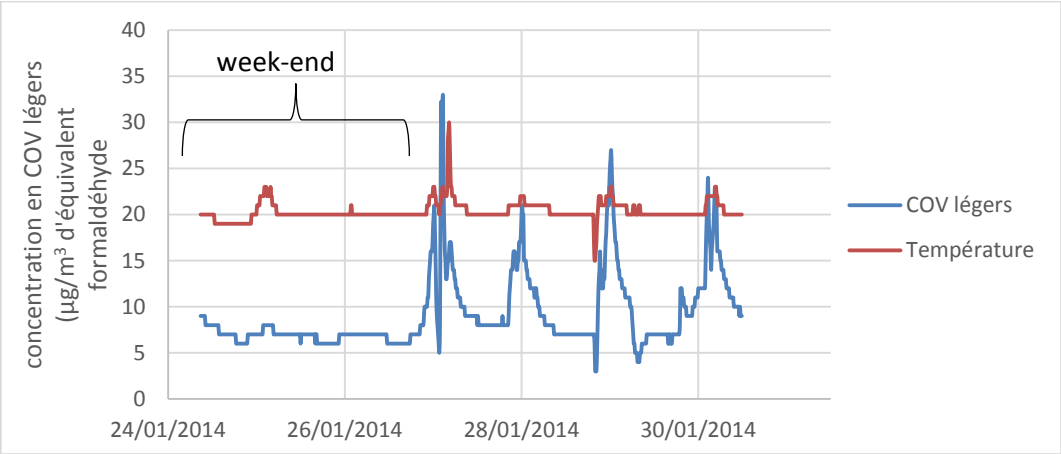


FIGURE 29 : EVOLUTION DE LA CONCENTRATION DES COV LEGERS (EN µG/M3 D'EQUIVALENT FORMALDEHYDE) DANS LA SALLE 105 DU COLLEGE CHAMPOULANT

Ces mesures réalisées en période froide ne confirment pas les hypothèses d'émissions par les matériaux (issus des comparaisons salles occupées/salles vides). Des tests lors de la période chaude et dans la salle vide auraient été intéressants dans ce cas.

e) Les particules fines PM2,5

Les figures 30 et 31 présentent les évolutions des concentrations de PM2,5 dans les salles 105 (occupée) et 201 (vide) respectivement lors des 1ère et 2ème périodes de mesures.

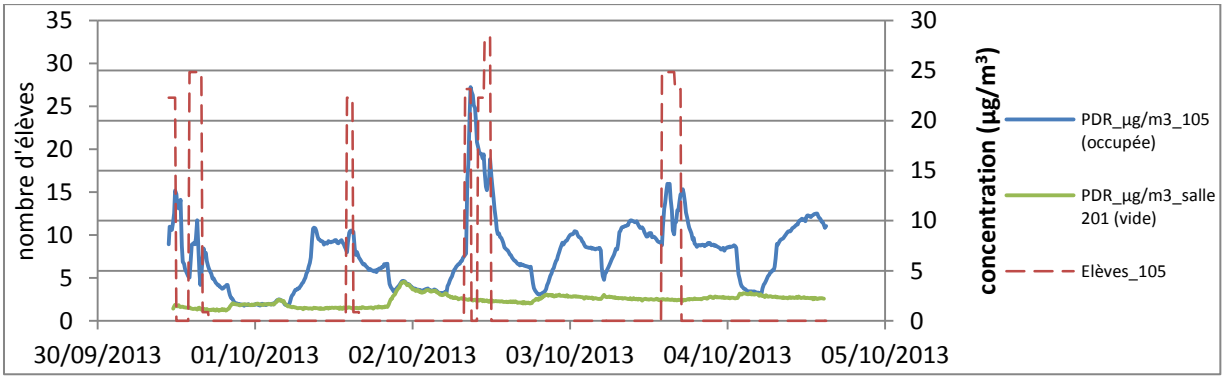


FIGURE 30 : CONCENTRATION EN PARTICULES FINES PM2,5 (µG/M^3) DANS UNE SALLE INOCCUPEE ET OCCUPEE DU COLLEGE CHAMPOULANT LORS DE LA 1ERE CAMPAGNE

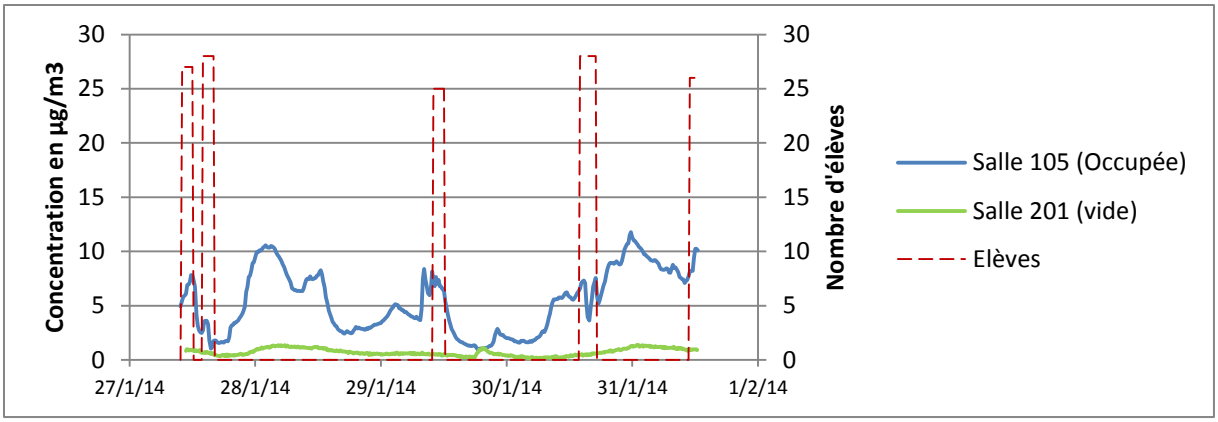


FIGURE 31 : CONCENTRATION EN PARTICULES FINES PM2,5 (µG/M^3) DANS UNE SALLE INOCCUPEE ET OCCUPEE DU COLLEGE CHAMPOULANT LORS DE LA 2E ME CAMPAGNE

→ **Les niveaux de PM2,5 sont supérieurs dans la salle occupée par rapport à la salle vide**. L'écart entre les concentrations est en moyenne de 10 µg/m^3.

→ Les niveaux relevés pour les deux campagnes sont en moyenne inférieurs à la valeur repère en air intérieur (20 µg/m^3).

→ L'évolution dans la salle vide et la salle occupée est très différente. Chaque période de classe est marquée par une augmentation des concentrations en particules fines dans la salle occupée n°105, montrant l'influence de la remise en suspension des particules.

→ Toutefois, en dehors de la présence d'élèves dans la salle 105, les teneurs suivent une évolution qui semble correspondre à une mise en route du système de ventilation et des échanges avec l'air extérieur, surtout lors de la première période (cf. figure 30).

f) Conclusions

Les mesures de polluants et les données des questionnaires d'occupation des salles ont permis d'étudier l'influence de la présence des élèves sur la qualité de l'air intérieur.

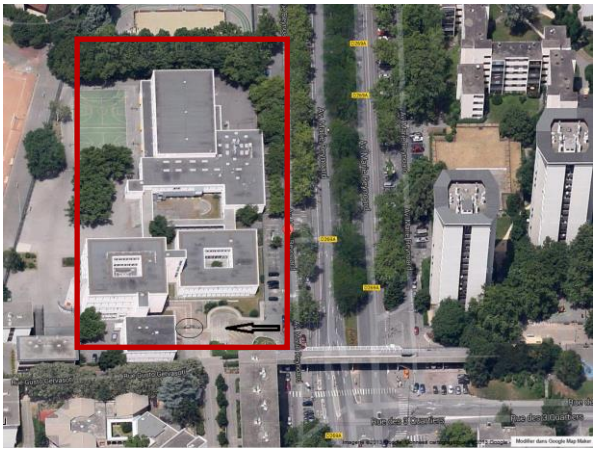
Dans cet établissement, les différences observées entre salles occupées et inoccupées semblent en grande partie liées au fonctionnement de la ventilation. Ainsi, les niveaux de formaldéhyde sont plus élevés dans les salles inoccupées, ce qui souligne l'influence des matériaux sur les concentrations de cette famille de polluants en air intérieur. Les concentrations de benzène sont similaires dans les différentes salles.

Les mesures réalisées dans cet établissement ont mis en évidence l'apport extérieur pour les concentrations de particules fines PM2.5 et l'influence de la remise en suspension engendrée par la présence des élèves.

S'agissant des composés organiques volatils, on peut noter une augmentation en présence des élèves.

3.3 Le collège Olympique à Grenoble

Le collège Olympique est relativement ancien : il a été construit en 1968. Il est composé de cinq blocs spécialisés: administratif, scientifique (TP), général (cours), self, gymnase. En 2013, 325 élèves occupaient ce collège.
Plusieurs rénovations ont eu lieu : en 1992/93 : le troisième étage a été rénové ; en 2011 : la peinture du second étage a été refaite. L'isolation extérieure des bâtiments ainsi que le double vitrage avec menuiseries PVC ont été réalisés.



Par ailleurs, la peinture du 1er étage était en cours d'achèvement le jour de la visite préalable aux mesures (8 octobre 2013).
L'entretien des salles s'effectue une fois par jour pour les salles occupées avec un produit respectant le label NF environnement. Le nettoyage est hebdomadaire pour les salles non occupées. Le 2ème étage est réalisé l'après-midi de 15h00 à 18h00. Le 3ème étage est lui nettoyé le matin de 6h00 à 6h30. Lors de la visite, une forte odeur de plastique, colle et peinture dans les salles a été relevée.

Les salles choisies pour l'étude ont été :

- → La salle **occupée n°21** et la salle **inoccupée n°23** de configuration identique entre elles.
- → La salle **occupée n°39** et la salle **inoccupée n°38** également de configuration identique entre elles.

Les mesures ont été réalisées :

- → **du 14 au 18 octobre 2013** (période chaude)
- → **du 24 au 28 février 2014** (période froide)

a) Le dioxyde de carbone (CO_2)

→ Les concentrations de CO_2 au cours de la semaine dans les salles 21 et 39 atteignent des niveaux très élevés synonymes d'un confinement important (près de 5000 ppm) en présence des élèves pour ensuite diminuer plus ou moins lentement lors de la sortie des élèves (cf. figure 32). Les baisses rapides en fin de cours traduisent une aération probable par ouverture de fenêtres.
→ Les niveaux dans les salles 23 et 38 sont relativement élevés (jusqu'à 1000 ppm) pour des salles inoccupées pour la plupart du temps (présence ponctuelle d'élèves). Cela montre que l'air du collège stagne et n'est pas suffisamment renouvelé. Il conviendrait d'aérer de manière plus régulière les différentes salles.
→ **L'indice de confinement au cours de la semaine du 13 au 21 octobre 2013 est égal à 3 pour la salle 21 et 2 pour la salle 39** ; le confinement est donc moyen pour la 1ère salle et bon pour la 2e

salle occupée. L'occupation de ces salles fait augmenter nettement le taux de CO_2 qui dépasse régulièrement le seuil de 1300 ppm fixé par le Règlement Sanitaire Départemental.

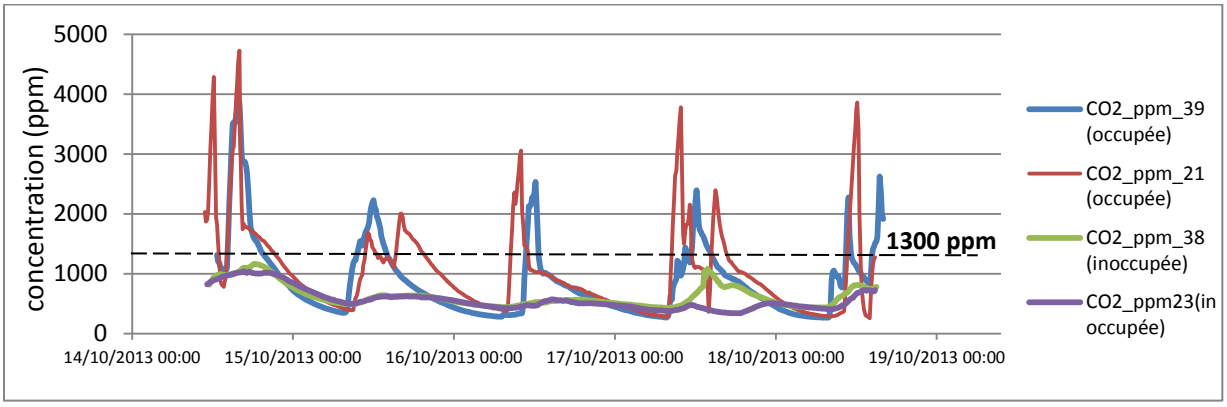


FIGURE 32:CONCENTRATION EN CO_2 (EN PPM) DANS DES SALLES OCCUPEES ET INOCCUPEES

b) Les BTEX

Compte tenu de leur spécificité, les résultats de toluène sont présentés séparément dans la figure 33, puis les résultats des autres polluants dans la figure 34.

→ Les concentrations en toluène sont très élevées dans la salle 39 lors de la période chaude (14 au 18 octobre 2013), les niveaux augmentent jusqu'à plus de 480 µg/m^3 (saturation du tube passif) mais ne dépassent pas les 10 µg/m^3 pour la seconde campagne. Les travaux récents réalisés dans le collège (peinture) ainsi que le ménage pourraient expliquer ces niveaux qui sont nettement moins élevés dans les autres salles mais restent à des teneurs importantes (30 µg/m^3 dans les salles inoccupées) (cf. figure 38).

En période froide, les niveaux de toluène sont plus élevés dans les salles occupées.

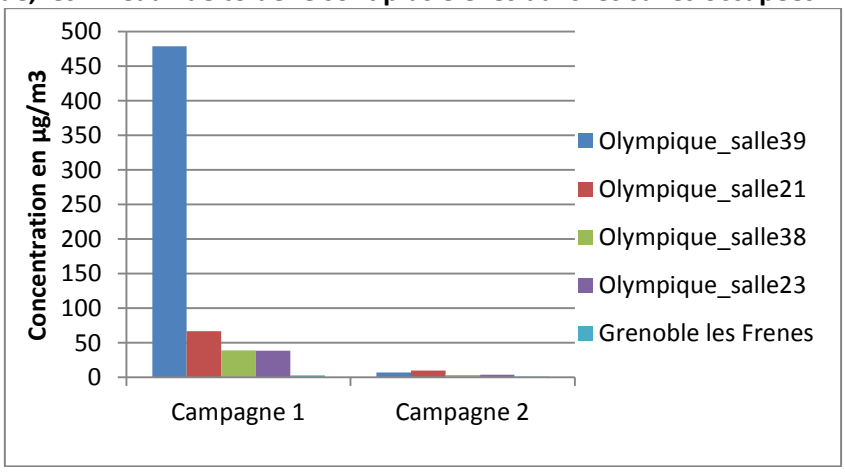


FIGURE 33 CONCENTRATIONS EN TOLUENE LORS DES DEUX CAMPAGNES DE MESURE

→ Les autres polluants présentent des concentrations plus faibles : les **concentrations en benzène** notamment ne dépassent pas les 2 µg/m^3, ce qui est déjà inférieur à la valeur guide de 2016, et **sont homogènes dans les salles occupées et inoccupées** (cf. figure 34).

→ Pour les autres polluants (éthylbenzène, xylènes), les niveaux dans les salles occupées sont supérieurs aux niveaux dans les salles inoccupées.

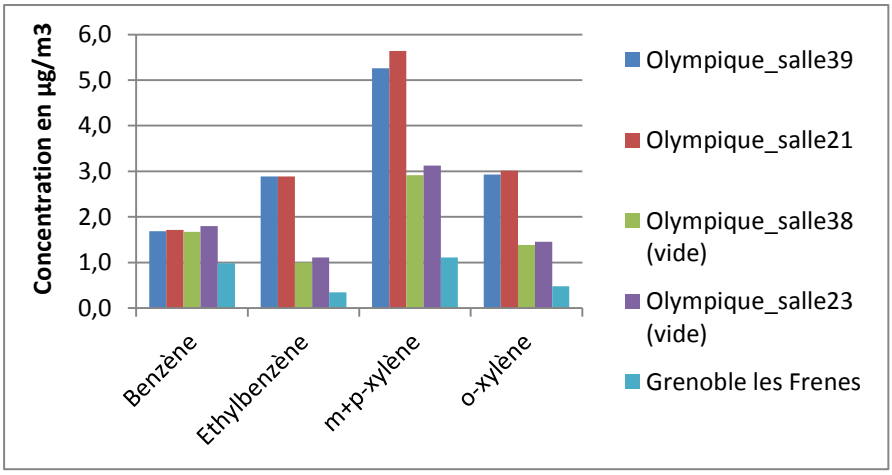


FIGURE 34:CONCENTRATIONS MOYENNES SUR LES DEUX CAMPAGNES EN BTEX (EN µG/M^3) DANS DES SALLES DU COLLEGE OLYMPIQUE

c) Les aldéhydes

→ Les données mesurées dans les salles inoccupées et les salles occupées sont à peu près équivalentes. Les niveaux de formaldéhyde sont légèrement plus élevés dans les salles inoccupées par rapport aux concentrations relevées dans les salles occupées par les élèves. Ceci peut être lié à une aération par ouverture de fenêtres moins fréquente dans ces salles.

→ Les niveaux de formaldéhyde mesurés dans les salles respectent la valeur guide réglementaire de 2015 (30 µg/m^3).

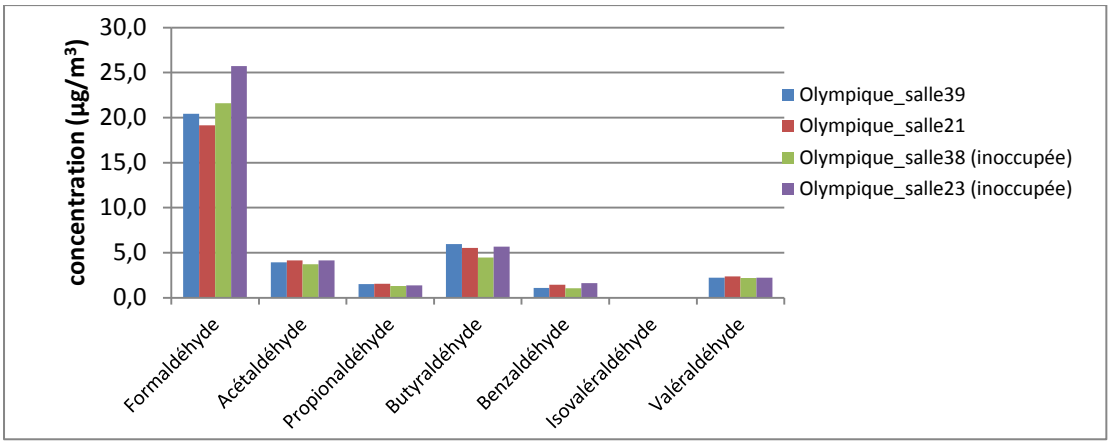


FIGURE 35:CONCENTRATIONS MOYENNES SUR LES DEUX CAMPAGNES EN ALDEHYDES (EN µG/M3) DANS DES SALLES DU COLLEGE OLYMPIQUE

d) Les autres COV

Les figures 36 et 37 présentent les résultats des mesures de composés organiques volatils réalisées pendant une durée d'une journée par campagne (de 8h à 16h). Ces résultats sont présentés séparément car ils présentent de grandes disparités.

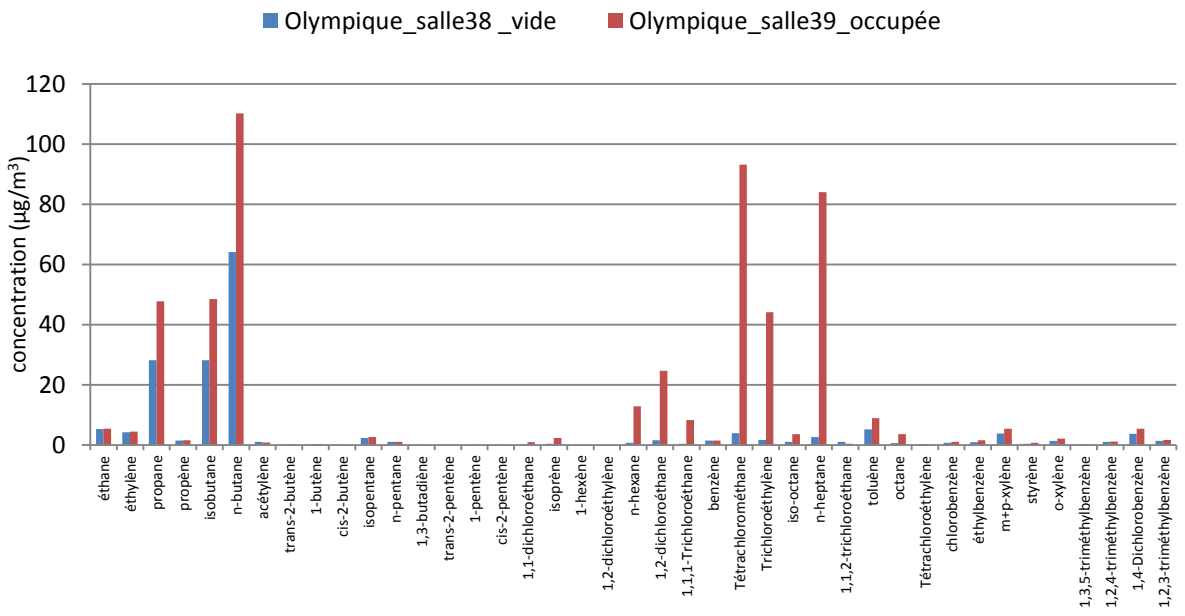


FIGURE 36 : COMPARAISON DES CONCENTRATIONS DE COV (EN µG/M³) ENTRE UNE SALLE OCCUPEE ET UNE INOCCUPEE EN PERIODE CHAUDE (OCTOBRE 2013)

→ La comparaison des mesures entre la salle inoccupée et la salle occupée montre un groupe de 3 polluants (propane, isobutane et n-butane) présentant des concentrations non négligeables dans les 2 salles et supérieures dans la salle 39 (occupée). Ces concentrations pourraient être liées à l'environnement extérieur.

→ **Un autre groupe de polluants présente des concentrations élevées et nettement supérieures dans la salle occupée,** laissant à penser que les sources pourraient être à l'intérieur du bâtiment (n-heptane, 1,2 dichloroéthane, 1,1 trichloroéthane, tétrachlorométhane, trichloréthylène). Le tétrachlorométhane est un liquide incolore et extrêmement volatile, interdit depuis 1987 dans le cadre du protocole de Montréal, à cause de ces effets néfastes, à la fois pour la couche d'ozone et pour notre santé. Ce composé a récemment été retrouvé en grande quantité dans l'atmosphère par des chercheurs de la NASA sans explication claire. Il est également parfois retrouvé dans l'air ambiant en Rhône-Alpes. La présence de plusieurs composés chlorés en grande quantité dans la salle 39 pourrait être liée à des activités de ménage sans que cela puisse être affirmé de manière certaine.

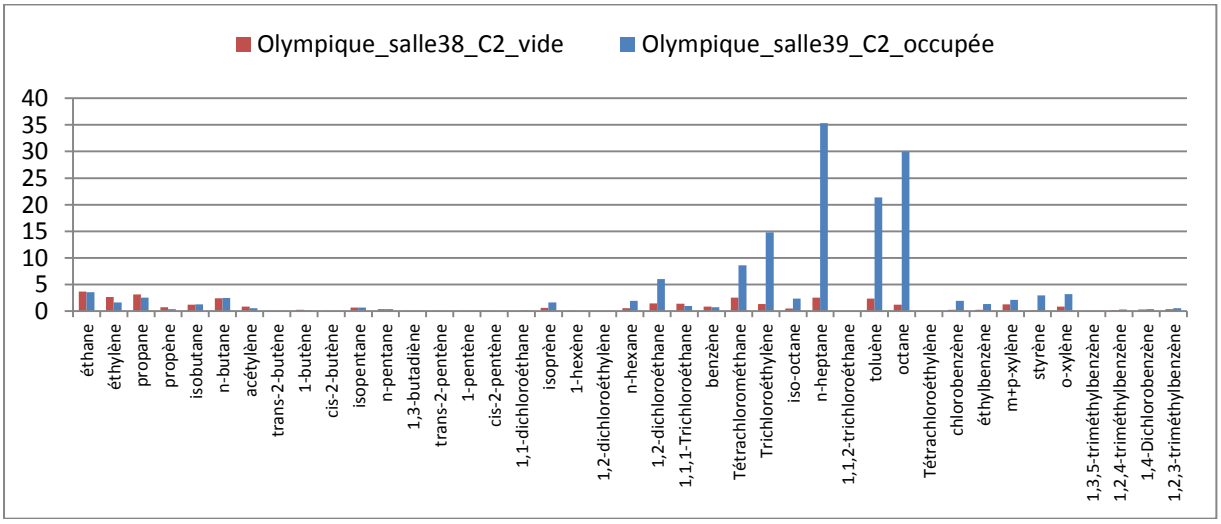


FIGURE 37 : COMPARAISON DES CONCENTRATIONS DE COV (EN µG/M³) ENTRE UNE SALLE OCCUPEE ET UNE INOCCUPEE LORS DE LA 2E CAMPAGNE

→ En période froide, bien que les concentrations soient inférieures, la présence de plusieurs composés chlorés en quantité supérieure dans la salle occupée a été à nouveau constatée.

e) Les particules fines PM2,5

→ L'écart entre les concentrations dans la salle inoccupée et dans la salle occupée est faible au regard de l'incertitude de mesures des appareils (cf. figure 38). Les évolutions des concentrations sont similaires dans les 2 salles. En présence des élèves, les concentrations de PM2,5 augmentent en comparaison de la salle inoccupée, probablement en lien avec la remise en suspension de particules.

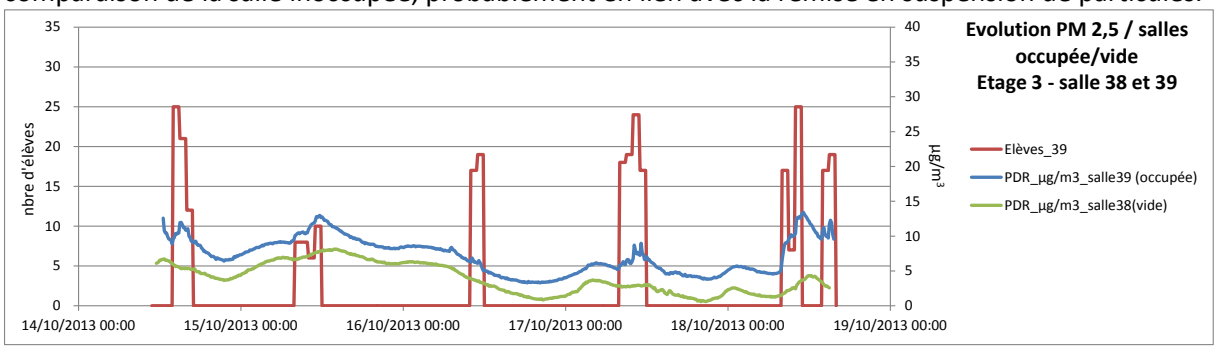


FIGURE 38 : EVOLUTION DES CONCENTRATIONS EN PARTICULES FINES (EN µG/M3) DANS UNE SALLE VIDE ET UNE SALLE OCCUPEE DU COLLEGE OLYMPIQUE

Dans ce collège, l'occupation des salles a donc peu d'influence sur les concentrations moyennes de particules fines.

f) Evolution des COV totaux et des COV légers

→ Les mesures réalisées avec la balise Fireflies© entre le 21/02/2014 et le 27/02/2014 montrent une évolution régulière et globalement corrélée des concentrations de CO_2, COV totaux et COV légers avec la présence des élèves (figure 39).

→ Le week-end (22-23 février), les concentrations sont les plus basses. Pendant la semaine, il n'y a que les niveaux de CO_2 qui diminuent et tendent vers les mêmes valeurs que le week-end. Les teneurs en COV ne diminuent pas jusqu'au minimum du week-end. Il faut noter qu'au cours de la semaine la température est également en augmentation.

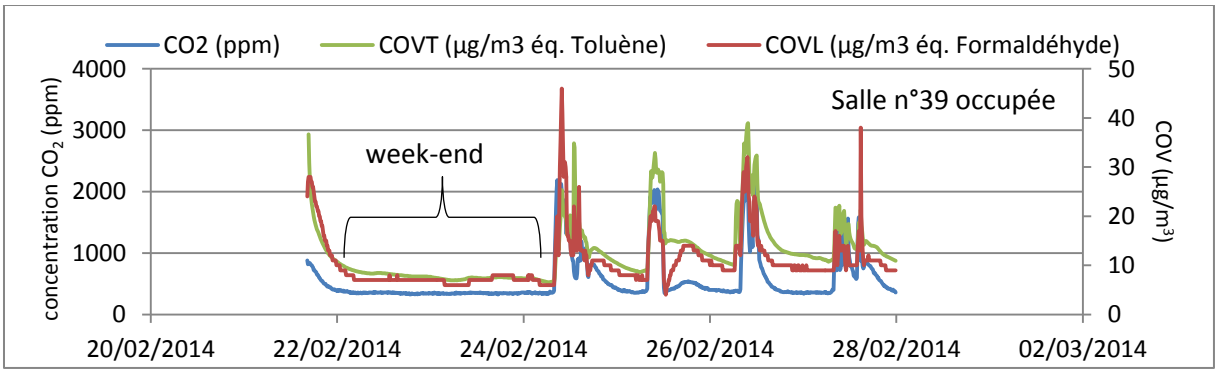


FIGURE 39 : EVOLUTION DES CONCENTRATIONS DE CO_2 (EN PPM), COV TOTAUX ET COV LEGERS (EN µG/M^3) DANS LA SALLE N°39 DU COLLEGE OLYMPIQUE

→ Toutefois, on peut observer quelques pics de composés organiques qui ne sont pas du tout corrélés avec les concentrations de CO_2, par exemple, le lundi 24 février à 12h50 (cf. figure 40).

La diminution du dioxyde de carbone traduit une aération probable alors que les concentrations de COV augmentent traduisant soit l'utilisation de produits ménagers, soit un apport extérieur. L'utilisation semble plus probable mais ne peut pas être confirmée par les questionnaires (horaires manquants pour la réalisation du ménage).

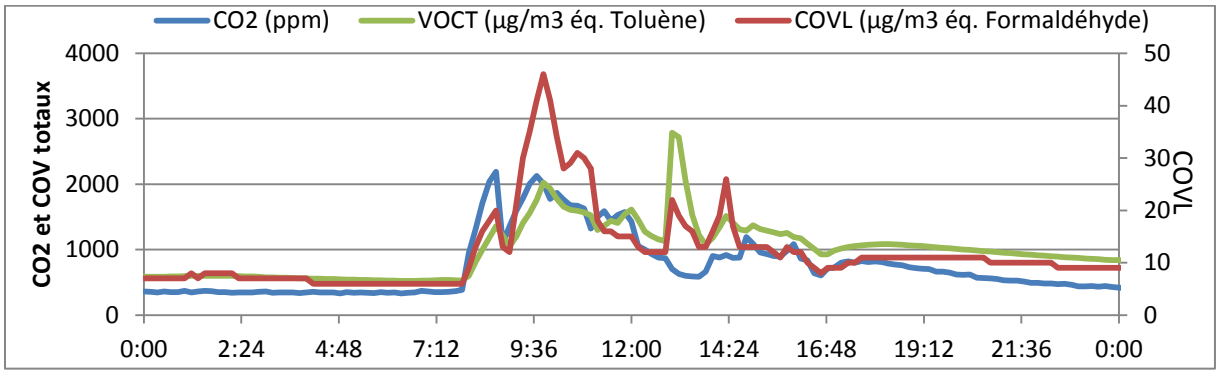


FIGURE 40 : EVOLUTION DES CONCENTRATIONS DE CO_2 (EN PPM), COV TOTAUX ET COV LEGERS (EN µG/M^3) DANS LA SALLE N°39 DU COLLEGE OLYMPIQUE LE LUNDI 24 FEVRIER 2014

3.4 Conclusions

Les concentrations des polluants réglementés dans la surveillance des établissements scolaires, formaldéhyde et benzène, sont peu dépendantes de l'occupation des salles. Le formaldéhyde a tendance à s'accumuler un peu plus dans les salles inoccupées, qui sont probablement moins aérées. En revanche, les analyses montrent que dans cet établissement, **certains composés spécifiques sont plus présents dans les salles occupées en lien avec les usages de la salle**.

4. Conclusions

Ce nouveau volet concernant la qualité de l'air intérieur dans les collèges est la continuité de la démarche entreprise par le CG38 depuis de nombreuses années. Il participe ainsi à l'amélioration des connaissances dans les établissements dont il a la gestion.

- En 2013, l'amélioration des connaissances et l'évolution des technologies de mesures ont permis une analyse plus fine de la qualité de l'air intérieur dans un premier établissement, ayant montré les années précédentes des résultats non satisfaisants. **Les mesures effectuées ont montré l'utilité de la démarche afin d'identifier la dynamique des concentrations de polluants, et mieux connaitre les facteurs dégradant la qualité de l'air intérieur**. Les constats ont permis de procéder à la mise en place d'actions d'amélioration. Compte tenu de la courte durée de l'expérimentation, seules des actions portant sur l'aération ont été testées.

Avec une consigne d'aération systématique aux intercours, une baisse d'environ 30% des concentrations de composés organiques volatils pendant la période de présence des élèves a été relevée. Toutefois, l'indice de confinement est toujours de 4 sur 5, montrant l'insuffisance de cette mesure dans cet établissement**.**

Bien que la mise en œuvre de cette expérimentation montre une réelle prise de conscience de la problématique au sein du collège, des modifications plus importantes sont indispensables dans cet établissement pour améliorer la qualité de l'air intérieur, tout en conservant un confort minimal.

- Dans deux autres collèges de conception différente, l'influence de l'occupation a pu être évaluée par la comparaison de la qualité de l'air intérieur entre des salles occupées et inoccupées.

Dans les environnements clos, les déterminants de la qualité de l'air intérieur sont complexes et sont soumis aux caractéristiques d'origine ou aux évolutions successives du bâtiment, aux activités ou encore à l'échange avec l'environnement extérieur…

Les résultats des deux collèges montrent que les concentrations des polluants réglementés, benzène et formaldéhyde, sont peu dépendantes de l'occupation de la salle. Dans le cas du collège récent, l'occupation entraine des concentrations moins élevées de formaldéhyde du fait que la ventilation est plus importante dans les salles occupées et limite donc l'accumulation des polluants émis par les matériaux et le mobilier.

Les mesures réalisées ont mis également en évidence pour les particules fines PM2,5 l'importance de l'apport extérieur et de la remise en suspension des particules en présence des occupants.

L'analyse des COV montre une évolution plus complexe car les sources potentielles de ces polluants sont plus vastes. **Dans les deux établissements, le suivi en continu montre que les concentrations augmentent pendant l'occupation pour redescendre pendant la période d'inoccupation**. Cette augmentation est probablement liée en partie à l'augmentation de la température en présence des élèves mais également à l'usage de la salle. Dans le cas du collège Olympique, l'influence des activités de ménage est probable sur certains composés organiques volatils. Il est donc nécessaire de bien aérer pendant les opérations de nettoyage sachant que cet établissement n'est pas équipé de ventilation mécanique.

Les mesures réalisées montrent une nouvelle fois l'importance de la maitrise de la ventilation pour une bonne qualité de l'air intérieur. En effet, l'aération ponctuelle par ouverture de fenêtres limite les niveaux de pollution mais reste insuffisante dans les collèges.

L'influence de l'occupation sur les polluants réglementés est faible. En revanche, la présence d'autres composés est bien en relation avec l'usage des salles. Les mesures rappellent la nécessité d'une bonne aération pendant les opérations de nettoyage.

Annexes

ANNEXE 1 : Résultats des mesures de Composés organiques volatils réalisées avec le canister dans le collège Champoulant (moyenne des deux campagnes)

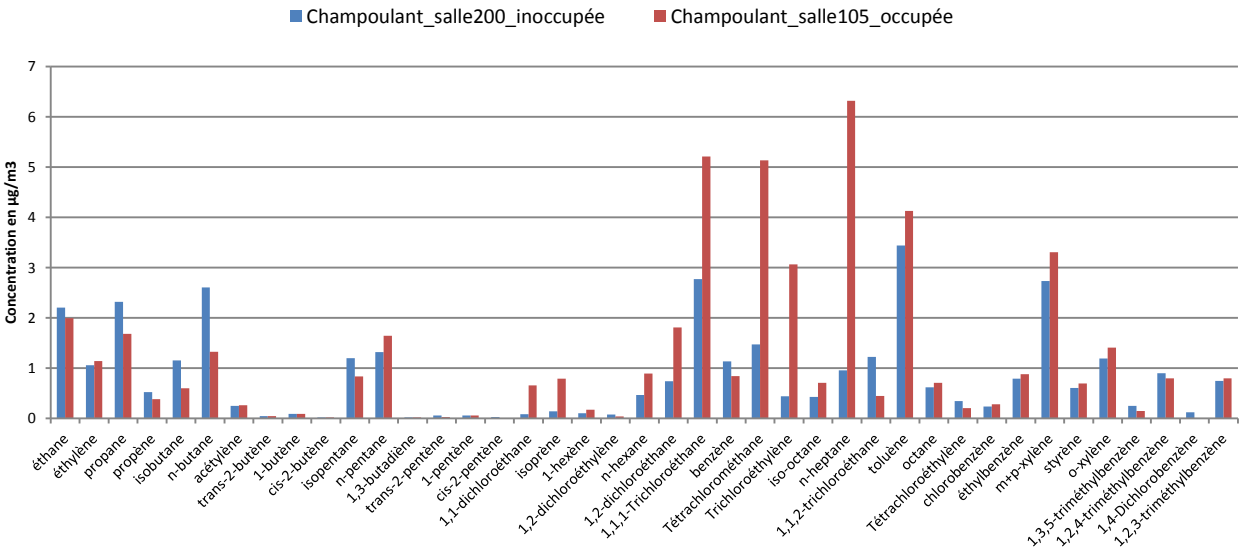


Table des illustrations

FIGURE 1 – FORMALDEHYDE - ETUDE 2009 8
FIGURE 2 - MESURES DE CO_2 - ETUDE 2009 8
FIGURE 3 - BALISE FIREFLIES® 9
FIGURE 4 - ECHELLE ICONE 9
FIGURE 5- SALLE H10 11
FIGURE 6 – SALLE G10 11
FIGURE 7 - ACCUMULATION JOURNALIERE DU CO2 - SALLE H10 11
FIGURE 8 - ANALYSE DU CO_2 – HEBDOMADAIRE – SALLE H10 12
FIGURE 9 - INDICATEURS DE CONFINEMENT 12
FIGURE 10 - PROPORTIONS CO2 1700 PPM 12
FIGURE 11 - EVOLUTION HEBDOMADAIRE DES COV_L – SALLE H10 13
FIGURE 12 – CYCLE HEBDOMADAIRE DES COV_T - SALLE H10 13
FIGURE 13 - EVOLUTION HEBDOMADAIRE DES COV_T 14
FIGURE 14 COMPARAISON DE L'EVOLUTION DU CO_2 AVEC OU SANS ACTION D'AMELIORATION 15
FIGURE 15 COMPARAISON DE L'EVOLUTION DES COV_{LEGERS} AVEC OU SANS ACTION D'AMELIORATION 15
FIGURE 16 COMPARAISON DE L'EVOLUTION DES COV_{TOTAUX} AVEC OU SANS ACTION D'AMELIORATION 15
FIGURE 17 : EVOLUTION DE LA TEMPERATURE ET DE L'HYGROMETRIE ACTION 1 16
FIGURE 18 : EVOLUTION DU CO2 - ACTION 2 17
FIGURE 19 : EVOLUTION DES COV TOTAUX - ACTION 2 17
FIGURE 20 : EVOLUTION DES COV LEGERS ACTION 2 17
FIGURE 21 : EVOLUTION TEMPERATURE ET HYGROMETRIE ACTION 2 18
FIGURE 22:PDR, APPAREIL DE MESURE DES PM2,5 19
FIGURE 23: CANISTER 19
FIGURE 24 : TUBE A DIFFUSION PASSIVE (RADIELLO©) 19
FIGURE 25:EVOLUTION DU TAUX DE CO_2 (EN PPM) DANS LES OCCUPEES ET INOCCUPEES 21
FIGURE 26 : CONCENTRATIONS MOYENNES EN ALDEHYDES (EN µG/M3) SUR LES DEUX PERIODES DE MESURE DANS LES DIFFERENTES SALLES OCCUPEES ET INOCCUPEES DU COLLEGE CHAMPOULANT 22
FIGURE 27 : CONCENTRATION EN BTEX (EN µG/M3) DANS LES DIFFERENTES SALLES OCCUPEES ET INOCCUPEES 22
FIGURE 28 : EVOLUTION DE LA CONCENTRATION DES COV TOTAUX (µG/M3 EN EQUIVALENT TOLUENE) DANS LA SALLE 105 DU COLLEGE CHAMPOULANT 23
FIGURE 29 : EVOLUTION DE LA CONCENTRATION DES COV LEGERS (EN µG/M3 D'EQUIVALENT FORMALDEHYDE) DANS LA SALLE 105 DU COLLEGE CHAMPOULANT 24
FIGURE 30 : CONCENTRATION EN PARTICULES FINES PM2,5 (µG/M3) DANS UNE SALLE INOCCUPEE ET OCCUPEE DU COLLEGE CHAMPOULANT LORS DE LA 1ERE CAMPAGNE 24
FIGURE 31 : CONCENTRATION EN PARTICULES FINES PM2,5 (µG/M^3) DANS UNE SALLE INOCCUPEE ET OCCUPEE DU COLLEGE CHAMPOULANT LORS DE LA 2E ME CAMPAGNE 25
FIGURE 32:CONCENTRATION EN CO_2 (EN PPM) DANS DES SALLES OCCUPEES ET INOCCUPEES 27
FIGURE 33 CONCENTRATIONS EN TOLUENE LORS DES DEUX CAMPAGNES DE MESURE 27
FIGURE 34:CONCENTRATIONS MOYENNES SUR LES DEUX CAMPAGNES EN BTEX (EN µG/M^3) DANS DES SALLES DU COLLEGE OLYMPIQUE 28
FIGURE 35:CONCENTRATIONS MOYENNES SUR LES DEUX CAMPAGNES EN ALDEHYDES (EN µG/M3) DANS DES SALLES DU COLLEGE OLYMPIQUE 28
FIGURE 36 : COMPARAISON DES CONCENTRATIONS DE COV (EN µG/M^3) ENTRE UNE SALLE OCCUPEE ET UNE INOCCUPEE EN PERIODE CHAUDE (OCTOBRE 2013) 29
FIGURE 37 : COMPARAISON DES CONCENTRATIONS DE COV (EN µG/M^3) ENTRE UNE SALLE OCCUPEE ET UNE INOCCUPEE LORS DE LA 2E CAMPAGNE 29
FIGURE 38 : EVOLUTION DES CONCENTRATIONS EN PARTICULES FINES (EN µG/M3) DANS UNE SALLE VIDE ET UNE SALLE OCCUPEE DU COLLEGE OLYMPIQUE 30
FIGURE 39 : EVOLUTION DES CONCENTRATIONS DE CO_2 (EN PPM), COV TOTAUX ET COV LEGERS (EN µG/M^3) DANS LA SALLE N°39 DU COLLEGE OLYMPIQUE 30
FIGURE 40 EVOLUTION DES CONCENTRATIONS DE CO_2 (EN PPM), COV TOTAUX ET COV LEGERS (EN µG/M^3) DANS LA SALLE N°39 DU COLLEGE OLYMPIQUE LE LUNDI 24 FEVRIER 2014 31