

Evaluation de la qualité de l'air intérieur Collège Alain - Maromme

Suite à la rénovation d'une partie du collège selon la démarche Haute Qualité
Environnementale

2013-2014



Avertissement

Air Normand est l'association agréée de surveillance de la qualité de l'air en Haute-Normandie. Elle diffuse des informations sur les problématiques liées à la qualité de l'air dans le respect du cadre légal et réglementaire en vigueur et selon les règles suivantes :

La diffusion des informations vers le grand public est gratuite. Air Normand est libre de leur diffusion selon les modalités de son choix : document papier, communiqué, résumé dans ses publications, mise en ligne sur son site internet (www.airnormand.fr), ... Les documents ne sont pas systématiquement rediffusés en cas de modification ultérieure.

Lorsque des informations sous quelque forme que ce soit (éléments rédactionnels, graphiques, cartes, illustrations, photographies...) sont susceptibles de relever du droit d'auteur elles demeurent la propriété intellectuelle exclusive de l'association. Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle de ces informations faite sans l'autorisation écrite d'Air Normand est illicite et constituerait un acte de contrefaçon sanctionné par les articles L.335-2 et suivants du Code de la Propriété Intellectuelle.

Pour le cas où le présent document aurait été établi pour partie sur la base de données et d'informations fournies à Air Normand par des tiers, l'utilisation de ces données et informations ne saurait valoir validation par Air Normand de leur exactitude. La responsabilité d'Air Normand ne pourra donc être engagée si les données et informations qui lui ont été communiquées sont incomplètes ou erronées, quelles qu'en soient les répercussions.

Air Normand ne peut en aucune façon être tenue responsable des interprétations, travaux intellectuels et publications diverses de toutes natures, quels qu'en soient les supports, résultant directement ou indirectement de ses travaux et publications.

Les recommandations éventuellement produites par Air Normand conservent en toute circonstance un caractère indicatif et non exhaustif. De ce fait, pour le cas où ces recommandations seraient utilisées pour prendre une décision, la responsabilité d'Air Normand ne pourrait en aucun cas se substituer à celle du décideur.

Toute utilisation totale ou partielle de ce document, avec l'autorisation contractualisée d'Air Normand, doit indiquer les références du document et l'endroit où ce document peut être consulté.

Rapport n° 1180-010

Le 4 février 2016,

La rédactrice,
Fiona PELLETIER

Le responsable du pôle « *campagnes de mesure et exploitation des données* »,
Sébastien LE MEUR

Air Normand – 3, Place de la Pomme d'Or - 76000 ROUEN

Tél. : 02 35 07 94 30 - mail : contact@airnormand.fr

www.airnormand.fr

Résumé

Dans le cadre du Plan Régional Santé Environnement II (PRSE II) et de son Programme de Surveillance de la Qualité de l'Air (PSQA 2010-2015), Air Normand développe des actions de sensibilisation sur le thème de la Qualité de l'Air Intérieur (QAI).

En 2013, le Conseil Général de Seine-Maritime (CG76) a entrepris la rénovation d'une partie du collège Alain à Maromme. Cette rénovation a été réalisée selon une démarche de Haute Qualité Environnementale (HQE). Cette démarche implique notamment de se préoccuper de la qualité de l'air intérieur.

A l'occasion de ces travaux de rénovation, une convention d'étude a été signée entre le CG76 et Air Normand. Les objectifs de l'étude sont :

- d'évaluer l'impact des matériaux choisis sur la QAI de l'aile rénovée du collège,
- et d'en tirer des enseignements pour valider ou pour améliorer le choix des matériaux (associés au système de ventilation) pour de futures constructions ou rénovation.

Les résultats de cette étude serviront alors à diffuser les bonnes pratiques et sensibiliser les différents publics sur le thème de la QAI.

Pour atteindre ces objectifs, plusieurs campagnes de mesures ont été réalisées :

- une première campagne à réception du bâtiment,
- une seconde campagne après installation du mobilier,
- et enfin, une dernière campagne après 6 mois d'occupation du bâtiment, en présence des occupants.

Le présent rapport présente les résultats de ces campagnes de mesures.

- Le confinement des différentes pièces investiguées est très faible. Ainsi, le système de ventilation permet de limiter très efficacement le phénomène de confinement.
- Même si les matériaux de construction, de finition et d'ameublement ont été choisis selon les critères de la démarche HQE, les émissions des matériaux neufs ne sont pas nulles. Cependant, on constate que les émissions diminuent rapidement au cours de l'année scolaire. Cette diminution s'explique d'une part, par le relargage classique des matériaux neufs, et également par l'efficacité de la ventilation double flux qui permet d'évacuer les polluants vers l'extérieur. Les polluants sont aussi liés à la présence humaine et aux activités humaines.
- Dans une des salles investiguées (la salle de musique), les concentrations en formaldéhyde mesurées à réception sont particulièrement élevées : les sources de formaldéhyde pourraient être un (ou des) matériau(x) de construction ou de finition (notamment le mur recouvert d'un panneau acoustique en panneaux de bois). Les concentrations diminuent au cours de l'année pour finalement atteindre des valeurs plus classiques des environnements intérieurs lors de la dernière campagne de mesures.

SOMMAIRE

1. Sigles, symboles et abréviations	4
2. Introduction	5
3. Eléments nécessaires à la compréhension du document	5
3.1. Définitions	5
3.2. Contexte	5
3.3. Approche choisie	8
3.4. Matériel et modèles	10
3.5. Méthode	12
3.6. Origine des données	13
3.7. Limites	14
4. Déroulement	14
5. Résultats	15
5.1. Résultats bruts	15
5.2. Résultats transformés	15
6. Interprétation des résultats et discussion	23
7. Conclusion et recommandations	27
8. Pages complémentaires	31
8.1. Annexes	31
8.2. Bibliographie	43

1. Sigles, symboles et abréviations

AASQA : Association Agréée de Surveillance de la Qualité de l'air

ANSES : Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail

CG 76 : Conseil Général de Seine-Maritime

CNL : Campagne Nationale Logements

CO₂ : Dioxyde de carbone

COV : Composés Organiques Volatils

ERP : Etablissement Recevant du Public

HQE : Haute Qualité Environnementale

µg/m³ : microgramme par mètre cube

µm : micromètre

NO₂ : Dioxyde d'azote

O₃ : Ozone

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

OQAI : Observatoire de la Qualité de l'Air Intérieur

PM_{2.5} : Particules inférieures à 2,5µm mesurées en masse

PREBAT : Programme de Recherche et d'expérimentation sur l'Energie dans les Bâtiments

PRSE : Plan Régional Santé Environnement

PSQA : Programme de Surveillance de la Qualité de l'Air

QAI : Qualité de l'Air Intérieur

RSDT : Règlement Sanitaire Départemental Type

VGAI : Valeur Guide pour l'Air Intérieur

VMC : Ventilation Mécanique Contrôlée

2. Introduction

Début 2013, une aile du collège Alain à Maromme a fait l'objet de travaux de rénovation. Dans le cadre de ces travaux, une réflexion a été engagée entre le maître d'ouvrage (CG 76) et le maître d'œuvre (entreprise Quille construction) afin de privilégier des matériaux de construction et d'ameublement ayant un impact moindre sur la qualité de l'air intérieur (QAI) et installer une ventilation performante à la fois en terme d'efficacité énergétique et pour garantir un bon renouvellement de l'air.

A cette occasion et dans le cadre d'une convention avec le CG76, Air Normand a réalisé une série de mesures relatives à la QAI dans l'aile rénovée du collège Alain.

Les objectifs de ces mesures sont :

- D'évaluer l'impact des matériaux de construction et d'ameublement sur la qualité de l'air intérieur du collège au cours du temps,
- D'effectuer un retour d'expérience sur les choix effectués,
- De diffuser les bonnes pratiques en matière de choix de matériaux, de mobilier et sur la ventilation.

Ce rapport est destiné au CG 76 ainsi qu'aux personnes fréquentant le collège Alain. Il est ensuite rendu disponible sur le site www.airnormand.fr pour tout public intéressé.

3. Eléments nécessaires à la compréhension du document

3.1. Définitions

Valeur-limite définie dans le décret n° 2015-1926 : valeur au-delà de laquelle des investigations complémentaires doivent être menées et pour laquelle le préfet de département du lieu d'implantation de l'établissement doit être informé. [1]

Valeur-guide pour l'air intérieur (VGAI) définie dans le décret n° 2011-1727 : Valeurs fixées dans le but d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs sur la santé humaine, à atteindre dans la mesure du possible, dans un délai donné. [2]

3.2. Contexte

La problématique "Bâtiment – Santé" a émergé dans les années 70, alors que les politiques d'économie d'énergie recommandaient une isolation plus importante des bâtiments. Depuis, la qualité de l'air intérieur a fait l'objet d'une attention particulière de la communauté scientifique. Les effets sur la santé qui lui sont associés sont en relation avec le temps passé dans les environnements intérieurs : logement, transports, lieux de travail ou de vie scolaire, espaces clos de loisirs ... [3]

Les sources d'émissions de substances polluantes sont nombreuses dans les bâtiments : matériaux de construction et d'ameublement, systèmes de chauffage, produits d'entretien (cf. Annexe 1)... Or, une mauvaise qualité de l'air intérieur peut favoriser l'émergence de symptômes tels que : maux de tête, fatigue, irritations de la peau et des muqueuses, allergies et asthme. [4]

Pour répondre aux exigences des réglementations thermiques qui se sont succédées ces dernières années, les bâtiments sont de plus en plus étanches à l'air, dans une logique d'économie d'énergie. Or, plus le bâtiment est étanche, plus le phénomène d'accumulation des polluants à l'intérieur des bâtiments est important. D'où l'importance d'une ventilation efficace dans les bâtiments.

En effet, la ventilation et l'aération des bâtiments permettent de limiter le phénomène de confinement et d'améliorer l'élimination des polluants.

Les matériaux de construction, de finition et d'ameublement ont un impact non négligeable sur la QAI. En effet, certains matériaux (par exemple : colles, solvants, peintures) peuvent émettre des polluants particuliers, gazeux ou biologiques (Composés Organiques Volatils, fibres et particules fines, acariens, etc.) [5]

Les émissions de polluants gazeux sont plus importantes lors de la mise en place de matériaux neufs. Ces émissions ont ensuite tendance à diminuer dans le temps, plus ou moins rapidement. [6]

Pour réduire au minimum les impacts du bâti sur la QAI certains maîtres d'ouvrage font le choix de réaliser des bâtiments selon la démarche HQE. La démarche HQE vise à améliorer la qualité environnementale des bâtiments neufs ou existants au travers de 14 cibles. Pour chaque cible, le maître d'ouvrage se fixe un niveau de performance et fait des choix pour l'atteindre.

Eco-construction	Eco-gestion	Confort	Santé
<ul style="list-style-type: none"> • Relation des bâtiments avec le environnement immédiat • Choix intégré des procédés et produits de construction • Chantier à faibles nuisances 	<ul style="list-style-type: none"> • Gestion de l'énergie • Gestion de l'eau <ul style="list-style-type: none"> • Gestion des déchets d'activités • Gestion de l'entretien et de la maintenance 	<ul style="list-style-type: none"> • Confort hygrothermique • Confort acoustique • Confort visuel • Confort olfactif 	<ul style="list-style-type: none"> • Qualité sanitaire des espaces • Qualité sanitaire de l'air • Qualité sanitaire de l'eau

Un certain nombre d'études de la QAI ont déjà été réalisées dans des collèges (dont des collèges HQE) en Haute-Normandie ou dans d'autres régions [7] [8] [9] [10]. Les résultats de ces études ont montrés que :

- les performances du système de ventilation et les habitudes d'aération ont une influence non négligeable sur la QAI,
- la qualité de l'air extérieur peut avoir une influence sur la qualité de l'air intérieur (selon l'étanchéité à l'air du bâtiment et la position des prises d'air neuf du système de ventilation),
- les concentrations en polluants gazeux sont, la plupart du temps, plus élevées à l'intérieur des bâtiments qu'à l'extérieur (ceci peut-être lié soit à une source de pollution supplémentaire à l'intérieur du bâtiment, soit à un phénomène d'accumulation de ces polluants dans le bâtiment),
- les matériaux de construction, de finition et d'ameublement neufs (ainsi que les livres et magasins neufs) ont un impact sur la QAI et cet impact diminue, plus ou moins rapidement, dans le temps.

Caractéristiques du collège Alain

Lors de la rénovation d'une aile du collège Alain à Maromme cette problématique de QAI a été prise en compte par le maître d'ouvrage (CG76) et le maître d'œuvre (Entreprise Quille Construction). Ainsi, les matériaux de construction, de finition et d'ameublement ont été choisis avec pour objectif d'impacter le moins possible la QAI. De plus, une attention particulière a été portée au système de ventilation. Cette approche correspond aux cibles 2 et 13 de la démarche HQE :

- cible 2 : choix intégré des procédés et produits de construction,
- cible 13 : qualité sanitaire de l'air.

Le collège Alain est situé sur la commune de Maromme, dans un environnement urbain. L'autoroute A150 et une départementale à fort trafic se situent à moins d'un kilomètre du collège. Un petit parking est situé juste devant le collège. Une plate-forme de compostage et une chaufferie biomasse sont situées à environ 1 km du collège. (cf. Figure 1).

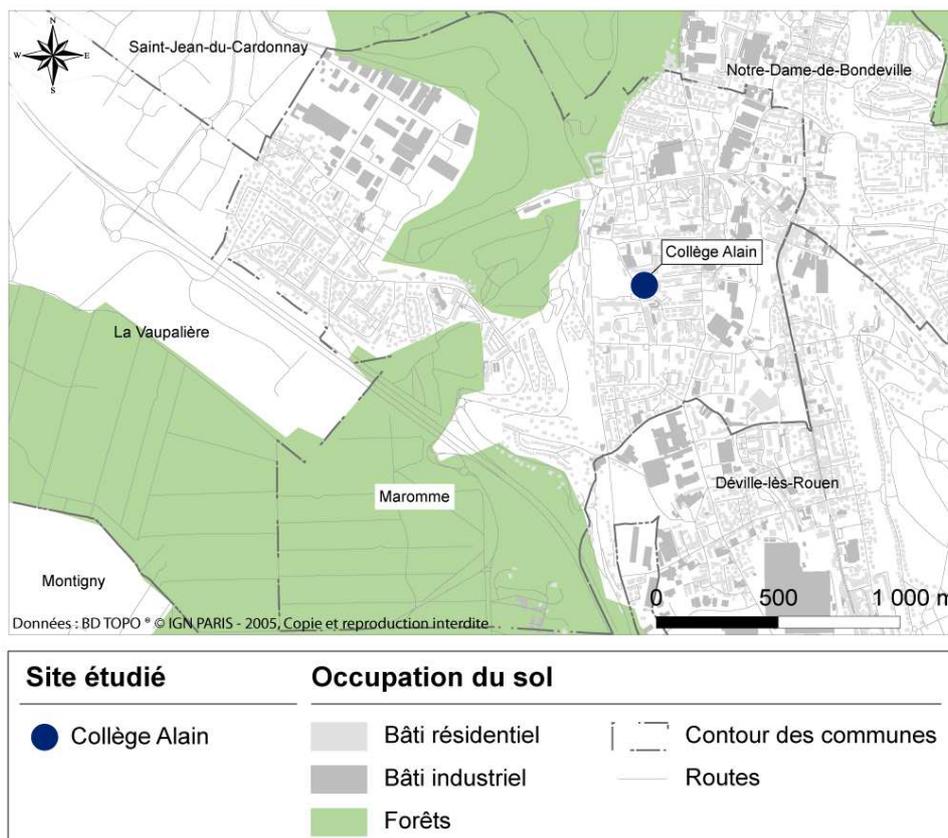


Figure 1 : localisation du collège Alain à Maromme

L'aile rénovée a été réceptionnée mi-juin 2013. Le mobilier a été livré et installé mi-août 2013. Le bâtiment a été occupé à partir de la rentrée des classes de septembre 2013.

Le collège Alain est équipé d'une ventilation mécanique contrôlée (VMC) double flux. Les débits d'air prévus par la maîtrise d'ouvrage ($600 \text{ m}^3/\text{h}$) sont supérieurs aux débits minimaux réglementaires du Règlement Sanitaire Départemental (RSD) [13]. En effet, selon l'article 64 du RSD : le débit d'air neuf à introduire dans les locaux d'enseignement des collèges est de : $15 \text{ m}^3/\text{h}/\text{occupant}$ (soit $450 \text{ m}^3/\text{h}$ pour une classe de 30 élèves). Les débits ont été contrôlés à réception après une courte période de réglage.

Après une période d'occupation du bâtiment, les débits d'air ont été à nouveau vérifiés par l'entreprise Cofely (en mars 2014). Les débits mesurés vont de $425 \text{ m}^3/\text{h}$ à $588 \text{ m}^3/\text{h}$ suivant les salles investiguées. Les résultats obtenus sont du même ordre de grandeur que le débit réglementaire, voir supérieurs dans certaines salles de classe.

Les matériaux de construction, de finition ainsi que les éléments de mobilier neuf ont été choisis selon plusieurs critères environnementaux, dont l'impact sur la QAI faisait partie.

Dans le cas de la rénovation d'une aile du collège Alain à Maromme, nous pouvons faire les hypothèses suivantes :

Les matériaux de construction, de finition et d'ameublement, ont été choisis (dans la mesure du possible) pour avoir un impact moindre sur la QAI.

- Il est donc vraisemblable que l'impact des matériaux neufs lors de leur mise en place sera plus faible que pour des matériaux classiques.
- Il est également possible que la diminution des émissions polluantes dans le temps soit plus rapide que pour des matériaux classiques.

Par ailleurs, le type de ventilation et ses performances ont été choisis dans le but d'améliorer la QAI et le confort des occupants.

- La ventilation mise en place devrait donc accélérer le phénomène de décroissance des émissions polluantes des matériaux neufs.
- Elle devrait également limiter le phénomène d'accumulation des polluants à l'intérieur des bâtiments (concentrations en polluants plus faibles que dans des établissements où la ventilation est moins performante).
- Enfin il est vraisemblable qu'elle pourra limiter le phénomène de confinement observé dans certains établissements où la ventilation est peu performante.



Figure 2 : Entrée du collège Alain à Maromme

3.3. Approche choisie

La rénovation de l'aile du collège ayant été réalisée selon la démarche de HQE, l'investigation de la QAI a été menée selon un protocole harmonisé établi en 2009 dans le cadre du PREBAT¹. Ainsi, Air Normand a réalisé des mesures :

- De polluants gazeux qui peuvent être liés à l'environnement, aux matériaux de construction et d'ameublement, aux phénomènes de combustion, aux produits d'entretien et aux désodorisants (cf. Tableau 1),
- d'un indicateur principalement lié à la circulation automobile : le dioxyde d'azote (NO₂),
- de particules en suspension (PM 2.5) (liées au chauffage, au trafic, à l'industrie),

¹ Programme national de Recherche et d'Expérimentation sur l'Energie dans les Bâtiments

- de paramètres de confort : confinement, concentration en dioxyde de carbone (CO₂), température et humidité relative.

Depuis 2012, un nouvel étiquetage des produits de construction et de revêtement est entré en vigueur. Cet étiquetage caractérise les matériaux selon leurs émissions de polluants volatils suivant une échelle allant de A+ (niveau d'émission peu élevé) à C (niveau d'émission élevé). Le calcul de la classe d'émission associée à chaque matériau est basé sur les émissions de dix composés organiques volatils (COV) ainsi que les COV Totaux [11]. Les dix COV en question font partie de la liste des paramètres mesurés dans le cadre de cette étude.

La loi n° 2010-788 du 12 juillet 2010 [12] a prévu l'obligation de surveiller la qualité de l'air intérieur dans certains établissements recevant du public (ERP)². Cette obligation devra être satisfaite pour les établissements d'enseignement du second degré avant le 1^{er} janvier 2020. Les substances polluantes qui doivent être surveillées dans le cadre de cette réglementation sont : le formaldéhyde, le benzène et le dioxyde de carbone. Ces trois polluants font partie de la liste des paramètres mesurés dans le cadre de cette étude, ce qui permettra de préparer la mise en place du dispositif réglementaire. Ces résultats permettront également d'avoir un premier ordre d'idée quant au positionnement de la QAI du collège Alain au regard des valeurs seuils définies par cette réglementation.

Les paramètres mesurés sont synthétisés dans le Tableau 1 ci-dessous.

Polluants gazeux		Polluant particulaire	Autres paramètres
Composés Organiques Volatils (COV) :			
Benzène Toluène Ethylbenzène o/m/p-xylènes styrène 1,2,4-triméthylbenzène 1,4-dichlorobenzène Trichloroéthylène Tétrachloroéthylène n-décane α-pinène limonène 1-méthoxy-2-propanol 2-butoxyéthanol n-hexane 2-butoxy-éthyl acétate 1-méthoxy-2-propyl acétate n-undécane naphthalène	Aldéhydes : Formaldéhyde Acétaldéhyde Hexanal Propanal Butanal Benzaldéhyde Isopentanal Pentanal	Dioxyde d'azote (NO ₂) Particules en suspension dont le diamètre est compris entre 0.1 et 2,5 µm (PM 2.5)	Température Humidité relative Dioxyde de carbone (CO ₂) Indice de confinement (ICONE)

Tableau 1 : synthèse des paramètres retenus pour les campagnes de mesures

² Dispositif réglementaire simplifié en septembre 2015 : l'obligation de surveillance est obligatoire seulement si les établissements n'ont pas mis en place un plan d'action pour l'amélioration de la qualité de l'air intérieur.

Les résultats des différentes mesures des polluants gazeux et particulaires réalisées au sein du collège ont été comparés à des valeurs de référence lorsqu'elles existent. A chaque fois les campagnes de mesures se sont déroulées sur 4,5 jours, par conséquent les comparaisons aux valeurs de longue durée sont données à titre indicatif.

Les valeurs des décrets n° 2015-1926 [1] et n° 2011-1727 [2] relatif à la surveillance réglementaire de la QAI dans les ERP pour le formaldéhyde, le benzène et l'indice de confinement.

Formaldéhyde :

- Valeur-guide pour l'air intérieur (VGAI) à atteindre en 2015 : $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (pour une exposition longue durée),
- VGAI à atteindre en 2023 : $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (pour une exposition longue durée),
 - Valeur-limite : $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Benzène :

- VGAI à atteindre en 2013 : $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (pour une exposition longue durée),
- VGAI à atteindre en 2016 : $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (pour une exposition longue durée),
 - Valeur-limite : $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Indice de confinement :

Valeur-limite : 5

Les valeurs de référence qui existent pour les autres composés sont rassemblées dans l'0.

Les résultats des concentrations en CO_2 seront comparés aux valeurs de référence du Règlement Sanitaire Départemental (RSD). [13] Selon l'article 64 du RSD : dans les conditions habituelles d'occupation, la teneur en CO_2 ne doit pas dépasser 1300 ppm (dans les locaux où il est interdit de fumer).

Les résultats ont aussi été comparés à des valeurs obtenues lors d'autres campagnes de mesures. Les études sélectionnées pour effectuer cette comparaison sont :

- L'étude réalisée par Air Normand au collège HQE Fernand Léger de Petit-Quevilly en 2010 [7],
- L'étude réalisée par l'ASPA (AASQA d'Alsace) dans un collège neuf en 2009 (6 mois après réception) puis en 2010 (18 mois après réception) [9] [10],
- L'étude réalisée par Air Rhône-Alpes dans 8 collèges de l'Isère pendant l'année scolaire 2008-2009 (3 campagnes de mesures réparties dans l'année scolaire) [8].

Ces 8 collèges isérois sont répartis dans différents environnements (urbain, péri-urbain, en proche zone industrielle ou proche d'une zone à fort trafic). Sept collèges sont de construction classique et un collège est neuf et conçu selon la démarche HQE.

Ces 10 collèges permettent de comparer les résultats de la présente étude à un échantillonnage varié d'établissements qu'ils soient neufs ou plus anciens, HQE ou non.

3.4. Matériel et modèles

Pour chaque paramètre, le matériel de prélèvement et de mesure est présenté dans le Tableau 2 ainsi que la méthode d'analyse utilisée.

Paramètres mesurés	Appareillage	Principe d'analyse
Composés Organiques Volatils (COV) et aldéhydes	Echantillonneur passif Radiello® 	HPLC puis détection UV (aldéhydes) Chromatographie gazeuse puis détection par spectrométrie de masse (autres composés)
Dioxyde d'azote (NO₂)	Echantillonneur passif Passam 	Dosage colorimétrique
Particules en suspension (PM 2.5)	 pDR 1500 à l'intérieur	Suivi indicatif de la concentration massique des particules comprises entre 0,1 et 2,5µm par mesure optique en continu
Température Humidité relative Dioxyde de carbone (CO₂)	Q-Trak 	Mesures en continu sur un pas de temps de 10 minutes (analyse et enregistrement)

Tableau 2 : descriptif du matériel utilisé pour les campagnes de mesures

En même temps que les campagnes de mesures, un planning d'occupation des différentes pièces investiguées a été complété par les enseignants du collège. Ce planning d'occupation précise le nombre de personnes présentes dans la pièce par tranche de 30 minutes. Le personnel a également complété, pour chaque campagne et pour chaque pièce, un questionnaire d'activités. On y retrouve des informations sur :

- les périodes/fréquences d'ouverture des portes et fenêtres,
- les différentes activités réalisées dans les locaux,
- les activités d'entretien,
- le fonctionnement du système de ventilation,

- les évènements particuliers qui pourraient avoir un impact sur la qualité de l'air intérieur.

Après exposition, les échantillonneurs passifs sont envoyés à des laboratoires spécialisés pour analyses.

Les analyses des aldéhydes et du dioxyde d'azote sont réalisées par le laboratoire de chimie d'AIRPARIF (Paris). Les aldéhydes sont analysés selon la norme NF ISO 16000-4 de février 2012 et le dioxyde d'azote selon la norme NF EN 16339 de septembre 2013. Les COV sont quant à eux analysés par la Fondazione Salvatore Maugeri (Italie) selon la norme NF ISO 16017-2 d'octobre 2003.

Les autres paramètres (PM 2.5, température, humidité relative et CO₂) sont évalués au moyen d'appareils de mesures automatiques. Les données enregistrées correspondent à des moyennes établies toutes les dix minutes.



Figure 3 : exemple d'installation des tubes passifs sur site (à l'intérieur à gauche, à l'extérieur à droite)

3.5. Méthode

Il a été choisi de réaliser 3 campagnes de mesures :

- A réception du bâtiment (avant l'installation du mobilier) pour observer l'impact des matériaux de construction sur la QAI,
- Après installation du mobilier (sans occupants) pour observer l'impact du mobilier sur la QAI,
- Après 6 mois d'occupation normale du bâtiment et en période d'occupation pour évaluer d'une part la décroissance des émissions dues aux matériaux de construction et d'ameublement et d'autre part l'influence des occupants, de leur usage du bâtiment et de leurs activités dans le bâtiment.

Pour chacune des campagnes, la période de mesures est de 4,5 jours (période d'occupation du collège sur la semaine).



Les résultats pour la campagne en occupation normale ont été obtenus en plusieurs étapes : En effet, les prélèvements de polluants gazeux (COV, Aldéhydes, NO₂) réalisés lors de la semaine initialement prévue pour les mesures en occupation normale du bâtiment n'ont finalement pas été analysés suite à un doute sur une éventuelle pollution des échantillonneurs passifs lors du transport. De ce fait une seconde série de mesures de ces polluants en occupation normale du bâtiment a été réalisée deux mois plus tard

Toutefois, suite à la réception des résultats de cette seconde série de mesures, certains d'entre eux ont dû être invalidés en raison d'une contamination des membranes de prélèvement (phénomène rare et inexpliqué). Une troisième série de mesure a donc été nécessaire pour obtenir des résultats valides. Les résultats de l'ensemble de ces séries de mesure en occupation normale du bâtiment seront présentés dans la suite de ce rapport sous la dénomination "campagne en occupation normale" afin de faciliter la lecture.

Sept salles de classe ont été investiguées, réparties entre le RDC, le premier et le deuxième étage de l'aile rénovée (cf. Figure 4). Ces sept salles ont été choisies pour représenter la diversité des activités réalisées dans cette aile du collège (salles de cours classiques, salles de sciences, salle informatique/technologie, salle d'arts plastiques, salle de musique). Ces sept salles ont également été choisies pour représenter la diversité des matériaux employés (par exemple : mobilier des salles de cours classique, paillasses des salles de sciences, matériel informatique, chaise avec tablette incorporée et panneaux acoustiques de la salle de musique).

Un point de mesure à l'extérieur a également été choisi dans la cour de récréation du collège (cf. Figure 4) pour pouvoir effectuer des comparaisons des concentrations de polluants entre l'intérieur et l'extérieur.

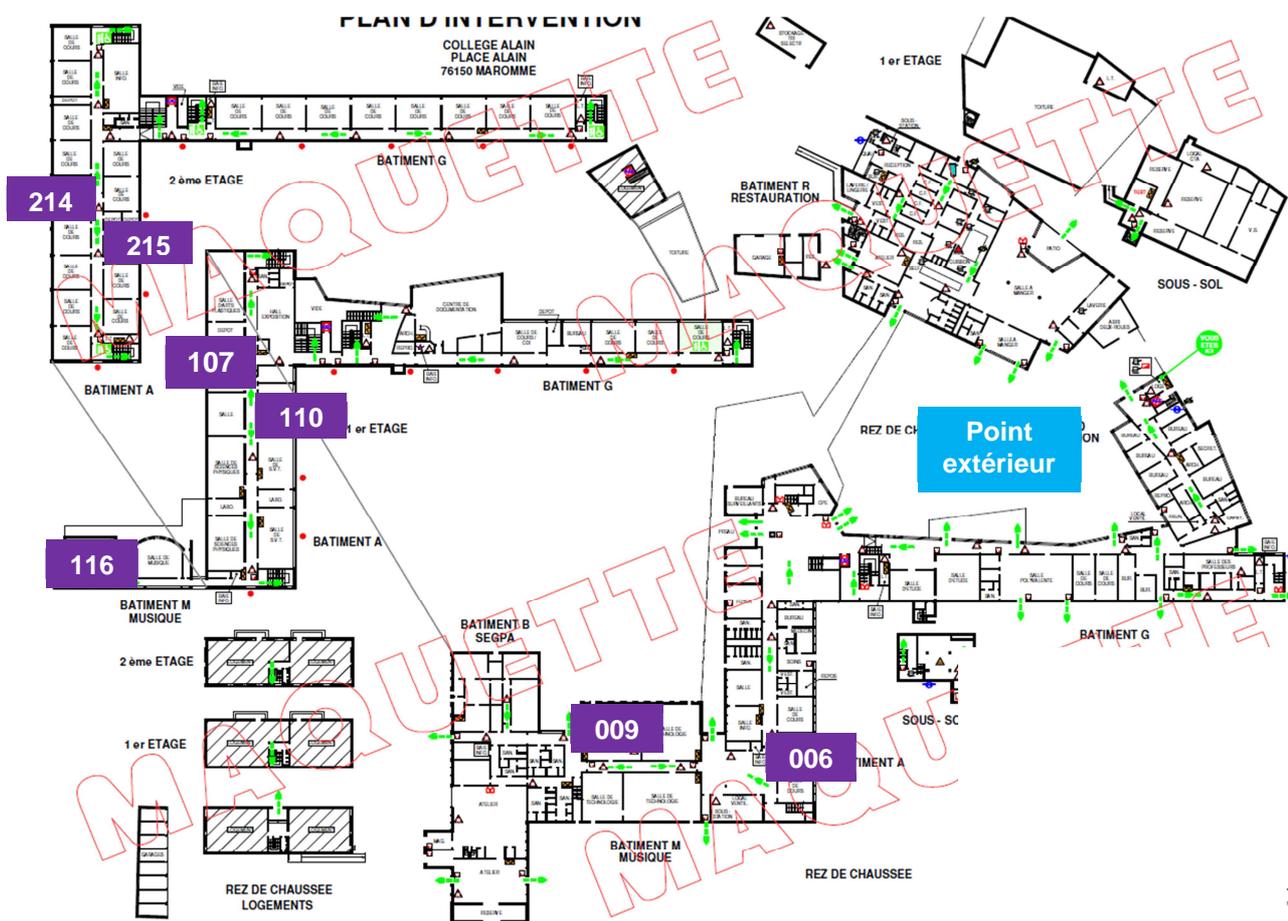


Figure 4 : Plan du collège et localisation des sites de mesure

3.6. Origine des données

Les données de polluants gazeux proviennent des analyses réalisées par les laboratoires d'Airparif et de la Fondation Maugeri.

Les données des particules en suspension à l'intérieur de l'établissement (PM 2.5) et des paramètres de confort (CO₂, température, humidité relative) sont directement extraites des appareils de mesures d'Air Normand.

Les données des PM 2.5 à l'extérieur sont issues de la station de mesure fixe d'Air Normand située à Petit Quevilly.

Les indices de confinement ICONNE sont calculés à partir des concentrations en CO₂ et des plannings d'occupation remplis par les enseignants des salles investiguées (selon la méthode détaillée en Annexe 5).

Les informations sur les activités pratiquées au cours des semaines de mesures et sur les habitudes d'aération ont été renseignées par les enseignants dans un "questionnaire d'activités".

Les valeurs de référence proviennent des décrets n° 2015-1926 [1] et n° 2011-1727 [2], de l'ANSES [14], de l'OMS [15] et du projet européen INDEX [16]. Les valeurs de comparaison proviennent des études réalisées par Air Normand au collège Fernand Léger de Petit Quevilly [7], par l'ASPA dans un collège neuf d'Alsace [9] [10] et par Air Rhône-Alpes dans 8 collèges isérois [8].

3.7. Limites

Les campagnes de mesures sont ponctuelles (4,5 jours), or les concentrations en polluants peuvent évoluer au cours d'une année (influence de la température, de l'humidité relative, du rayonnement solaire, des émissions de polluants extérieurs, des interactions entre différents polluants mais aussi des activités pratiquées dans les salles investiguées, des produits d'entretien et de l'aération/ventilation.).

Le nombre de paramètres mesurés est limité. Cette sélection découle d'un travail national basé sur des considérations sanitaires mais aussi liées à la faisabilité technique de la mesure ou de l'analyse. Néanmoins il existe de nombreux polluants potentiellement présents en air intérieur.

Les appareils de mesures des PM 2,5 utilisés pour cette étude ne sont pas considérés comme une méthode de référence en air intérieur. Les comparaisons à des valeurs de référence dans la suite du rapport ne sont données qu'à titre indicatif.

Enfin, les valeurs de références utilisées dans ce rapport sont susceptibles de modifications ultérieures du fait de l'évolution des connaissances.

4. Déroulement

Une visite de l'aile rénovée du collège Alain a été réalisée par Air Normand et le CG 76 en juin 2013. Cette visite a permis de définir les sept pièces à instrumenter.

Les dates des deux premières campagnes de mesures (à réception du bâtiment) ont été choisies en fonction de l'avancée des travaux et de la livraison du mobilier.

A chaque campagne de mesures, la pose et dépose du matériel a été effectuée par les opérateurs d'Air Normand. Lors des campagnes "en occupation normale du bâtiment", la pose et la dépose du matériel s'est faite, la plupart du temps, pendant les heures de cours, en présence des élèves et des enseignants.

Les paramètres de confort sont mesurés uniquement pendant la phase d'occupation du bâtiment.

Les dates des différentes campagnes de mesures sont rassemblées dans le Tableau 3 :

Type de campagne	Date de début	Date de fin	Paramètres validés
Campagne "à vide"	24/06/2013	28/06/2013	Polluants gazeux
Campagne "avec mobilier"	19/08/ 2013	23/08/2013	Polluants gazeux
Campagne "occupation normale" 1	13/01/2014	17/01/2014	Paramètres de confort (salles 006, 009, 107, 110, 215) & PM2.5
Campagne "occupation normale" 2	10/03/2014	14/03/2014	Paramètres de confort (salle 116, 214) & Aldéhydes et NO ₂
Campagne "en occupation normale" 3	16/06/2014	20/06/2014	COV

Tableau 3 : dates des différentes campagnes de mesures

A la fin de la période de mesure, les tubes passifs ont été retirés, conditionnés (les tubes de prélèvement des aldéhydes sont stockés au froid et à l'abri de la lumière) et envoyés aux laboratoires spécialisés pour analyses. Les autres données ont été extraites des appareils de mesures puis analysées. Au bout de quelques semaines, les laboratoires spécialisés ont transmis les résultats bruts à Air Normand, qui les a alors exploités.

5. Résultats

5.1. Résultats bruts

L'ensemble des résultats bruts sont disponibles sur demande auprès d'Air Normand (contact@airnormand.fr).

5.2. Résultats transformés

5.2.1. Paramètres de confort (température, humidité relative, CO₂)

Les résultats détaillés des paramètres de confort sont rassemblés dans l'Annexe 3.

Température

La température des différentes salles investiguées "en occupation normale" varie entre 18°C et 26°C. On observe une évolution de la température entre le jour et la nuit (de 1 à 5 °C de moins la nuit par rapport au jour).

Humidité relative

L'humidité relative des différentes salles investiguées "en occupation normale" varie entre 21 et 52%³. On observe que l'humidité extérieure n'a que peu d'influence sur l'humidité relative à l'intérieur du bâtiment. En effet, en moyenne, quand l'humidité extérieure augmente de 55%, l'humidité relative à l'intérieur du bâtiment n'augmente que de 10%.

³ Pour l'humidité relative, les bornes généralement admises comme satisfaisantes sont entre 20 et 70% (cf. Annexe 2).

CO₂

La concentration maximale est de 1248 ppm (salle 214). La moyenne des concentrations en CO₂ sur les différentes salles investiguées est de 705 ppm (en période d'occupation). L'évolution des concentrations en CO₂ est très bien corrélée avec les périodes d'occupation des pièces. En effet, lorsque les salles sont occupées, la concentration en CO₂ augmente. Puis, dès que les salles ne sont plus occupées, la concentration en CO₂ chute brusquement. Les concentrations sont globalement faibles, et aucun dépassement de la valeur de tolérance de 1300 ppm⁴ n'est observé.

Ci-dessous est représentée l'évolution des concentrations en CO₂ et l'occupation de la pièce au cours d'une semaine de mesures pour la salle 006 (les courbes pour les autres salles sont présentées dans l'Annexe 4).

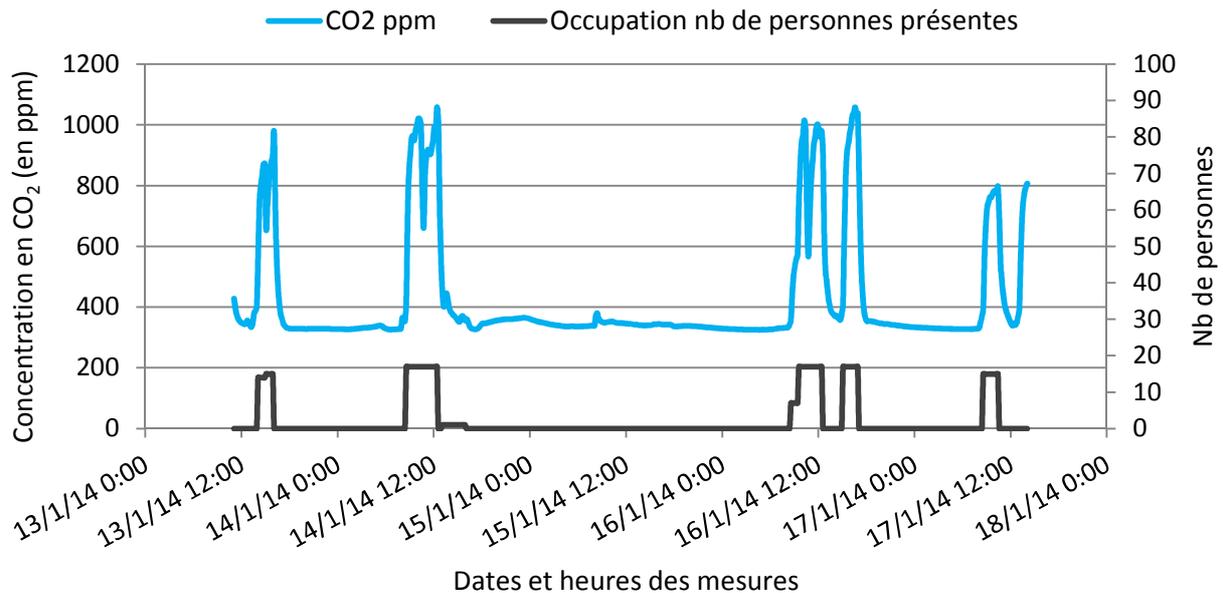


Figure 5 : évolution de la concentration en CO₂ et de l'occupation de la salle 006 au cours du temps

5.2.2. Indice de confinement

Pour les différentes pièces du collège, les indices de confinement calculés sont synthétisés dans le tableau suivant (la méthode de calcul de l'indice de confinement est décrite en Annexe 5).

Campagne "en occupation normale"	Salle 006	Salle 009	Salle 107	Salle 110	Salle 116	Salle 214	Salle 215	"Valeur limite" ⁵
Indice ICONE	0	-	1	0	0	1	0	5

Tableau 4 : synthèse des indices ICONE

L'indice de confinement dans les salles de classe varie entre 0 (confinement nul) et 1 (confinement faible)⁶. L'indice de confinement est homogène entre les différentes salles et très inférieur à la valeur limite de 5.

⁴ Valeur de tolérance du RSD dans les locaux où il est interdit de fumer [13].

⁵ D'après le décret n° 2015-1926 [1] : valeur au-delà de laquelle des investigations complémentaires doivent être menées et pour laquelle le préfet de département du lieu d'implantation de l'établissement doit être informé.

⁶ Le calcul de l'indice de confinement dans la salle 009 n'a pu être réalisé car la salle était toujours inoccupée pendant les campagnes de mesures.

La salle 009 est restée inoccupée pendant la campagne de mesures, l'indice ICONE ne peut donc pas être calculé.

Les résultats détaillés des mesures de dioxyde de carbone qui ont servi au calcul de l'indice de confinement sont présentés en Annexe 5.

5.2.3. Polluants gazeux

Les résultats détaillés des campagnes de mesures "à vide", "avec mobilier" et "en occupation normale" sont présentés dans l'Annexe 6.

Benzène

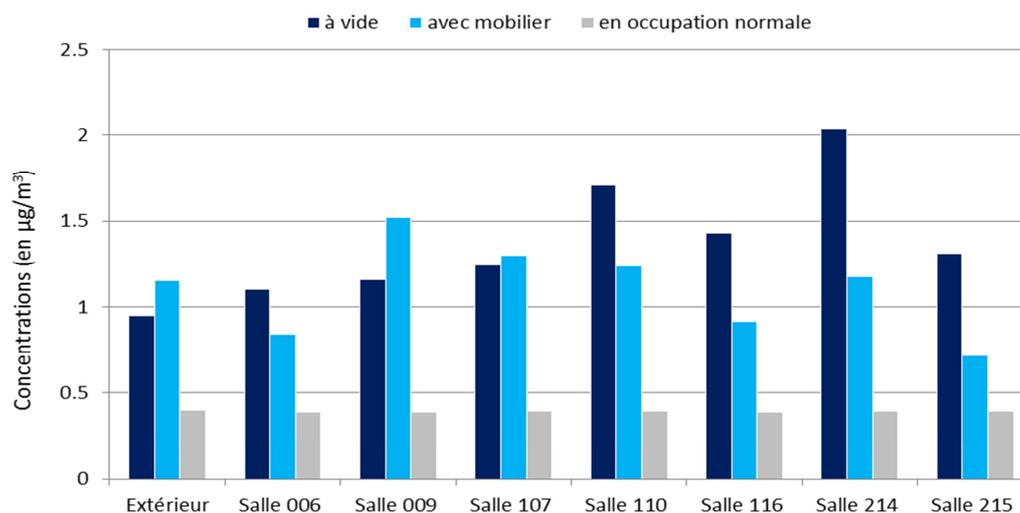


Figure 6 : évolution des concentrations en benzène au collège au cours des trois campagnes de mesures

Les concentrations en benzène à l'extérieur du bâtiment sont du même ordre de grandeur que les concentrations mesurées à l'intérieur du bâtiment.

Toutes les concentrations sont inférieures de la valeur-limite réglementaire de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$. Lors de la campagne "en occupation normale", les concentrations sont inférieures aux VGAI de 2013 ($5\mu\text{g}/\text{m}^3$) et de 2016 ($2\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Concentration en benzène ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Médiane	Maximum	Minimum
Collège Alain "à vide"	1.3	2.0	1.1
Collège Alain "avec mobilier"	1.2	1.5	0.7
Collège Alain "en occupation normale"	0.4	0.4	0.4
Collège HQE Fernand Léger	0.8	0.9	0.8
Collège alsacien 2009 (réception + 6 mois)	3.0	3.7	2.8
Collège alsacien 2010 (réception + 18 mois)	0.8	0.9	0.7
Collège isérois HQE neuf	1.9	2.6	1.1
7 autres collèges isérois classiques	1.1	1.6	0.5

Tableau 5 : comparaison des concentrations en benzène entre différents collèges

Les concentrations en benzène mesurées au collège Alain lors des différentes campagnes de mesures sont inférieures à la concentration médiane du collège alsacien neuf de construction classique (6 mois après réception) et du même ordre de grandeur que les concentrations médianes observées dans les autres collèges choisis à titre de comparaison.

Styrène

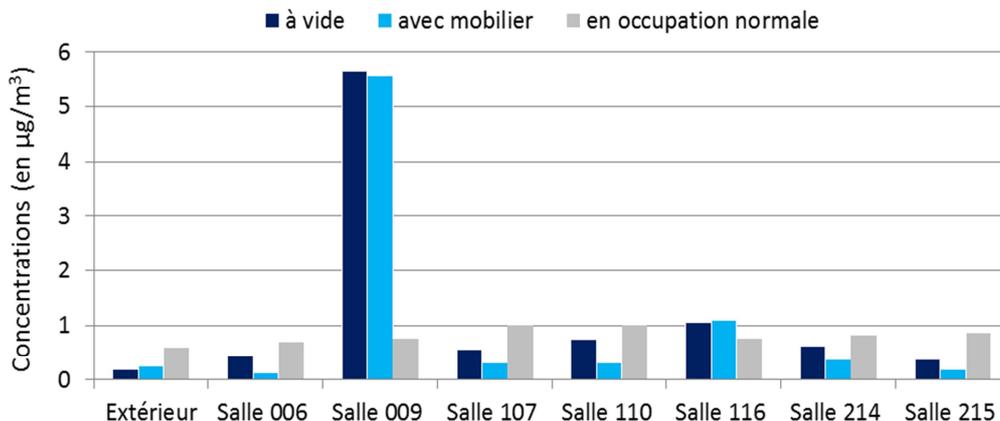


Figure 7 : évolution des concentrations en styrène au collège au cours des trois campagnes de mesures

Les concentrations en styrène sont faibles et du même ordre de grandeur que les concentrations extérieures, sauf dans la salle n° 009 (salle de techno). Dans cette salle, les concentrations en styrène, lors des deux premières campagnes ("à vide" et "avec mobilier"), sont 5 à 10 fois plus élevées que dans les autres salles. Néanmoins elles restent largement inférieures à la valeur recommandée par le projet européen INDEX ($250\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Ethers de glycol (1-méthoxy-2-propanol, 2-butoxyéthanol)

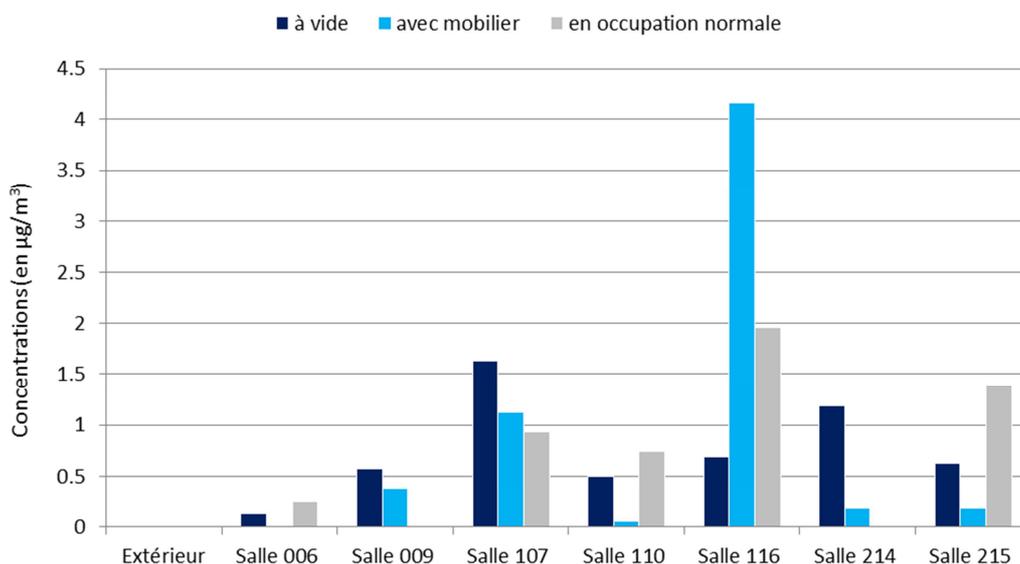


Figure 8 : évolution des concentrations en 1-méthoxy-2-propanol au collège au cours des trois campagnes de mesures

Les concentrations extérieures de 1-méthoxy-2-propanol sont toutes inférieures au seuil de quantification. Les concentrations en 1-méthoxy-2-propanol sont faibles pendant les trois campagnes de mesures dans la plupart des salles investiguées. Dans la salle 116 (salle de musique) une concentration plus élevée lors de la phase "avec mobilier" que lors des deux autres phases de

mesures est cependant observée. Cette concentration est 4 à 40 fois plus élevée que dans les autres pièces investiguées à la même période.

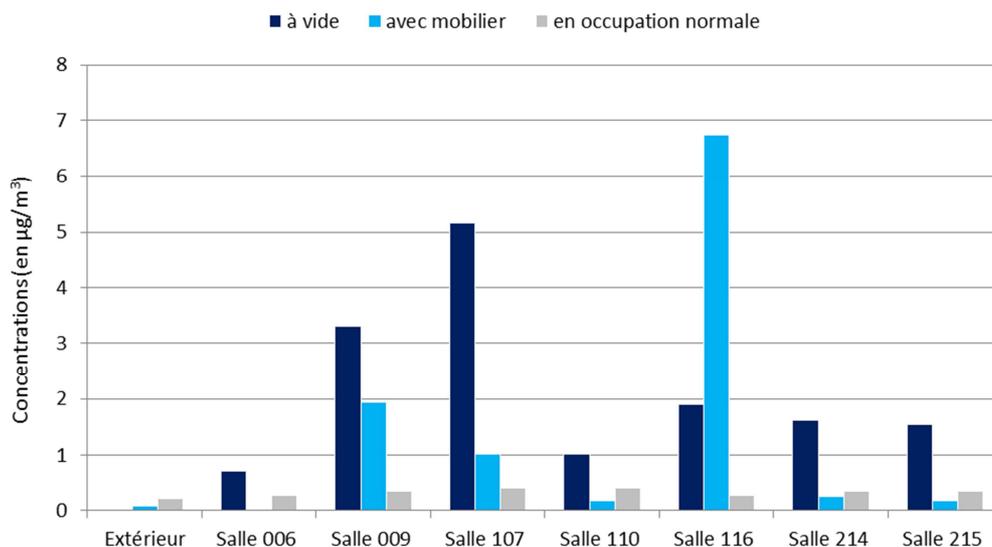


Figure 9 : évolution des concentrations en 2-butoxyéthanol au collège au cours des trois campagnes de mesures

Les concentrations extérieures en 2-butoxyéthanol sont proches de la limite de quantification. Les concentrations à l'intérieur du bâtiment sont plus élevées (d'un facteur 2 à 10, selon les salles) lors de la première campagne "à vide" que lors des campagnes suivantes. Cette évolution est observée dans toutes les salles sauf la salle 116 (salle de musique). Dans cette salle, la concentration maximale en 2-butoxyéthanol est mesurée lors de la phase "avec mobilier" (même constat que pour le 1-méthoxy-2-propanol). Cette concentration est 3 à 70 fois plus élevée que dans les autres pièces investiguées à la même période.

Terpènes (*α-pinène, limonène*)

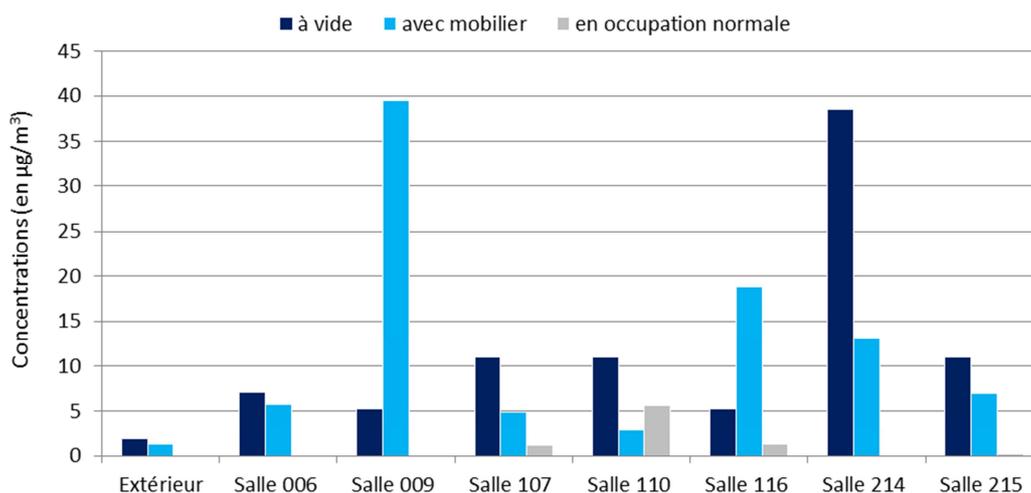


Figure 10 : évolution des concentrations en alpha-pinène au collège au cours des trois campagnes de mesures

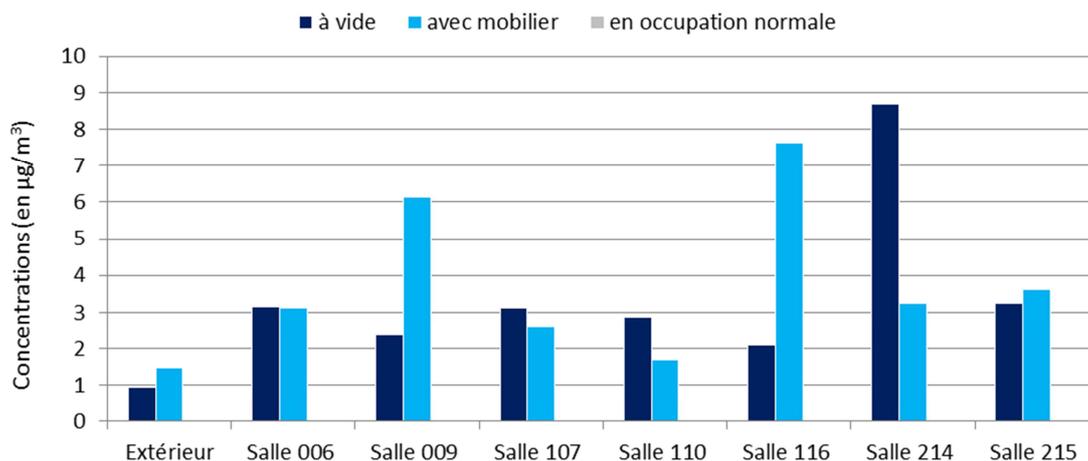


Figure 11 : évolution des concentrations en limonène au collège au cours des trois campagnes de mesures

Les concentrations en terpènes à l'intérieur du bâtiment sont plus élevées qu'à l'extérieur. Les concentrations en α -pinène et limonène sont plus faibles lors de la dernière campagne "en occupation normale" que lors des deux campagnes précédentes (pour le limonène, les concentrations sont même toutes inférieures au seuil de quantification lors de cette dernière phase de mesure). Cette évolution est observée dans toutes les salles sauf les salles 009 (salle de technologie), 116 (salle de musique) et 214 (salle de cours).

Dans les salles 009 et 116 : des concentrations en α -pinène et limonène plus élevées sont observées lors de la campagne "avec mobilier" que lors des deux autres campagnes. Les concentrations dans ces deux salles sont également plus élevées que dans les autres pièces investiguées sur la même période.

Dans la salle 214 : des concentrations en α -pinène et limonène plus élevées sont constatées lors de la campagne "à vide" que lors des deux autres campagnes. Ces concentrations sont également plus élevées que dans toutes les autres pièces investiguées sur la même période.

Les concentrations en α -pinène et limonène restent néanmoins largement inférieures aux recommandations du projet européen INDEX ($450\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Formaldéhyde

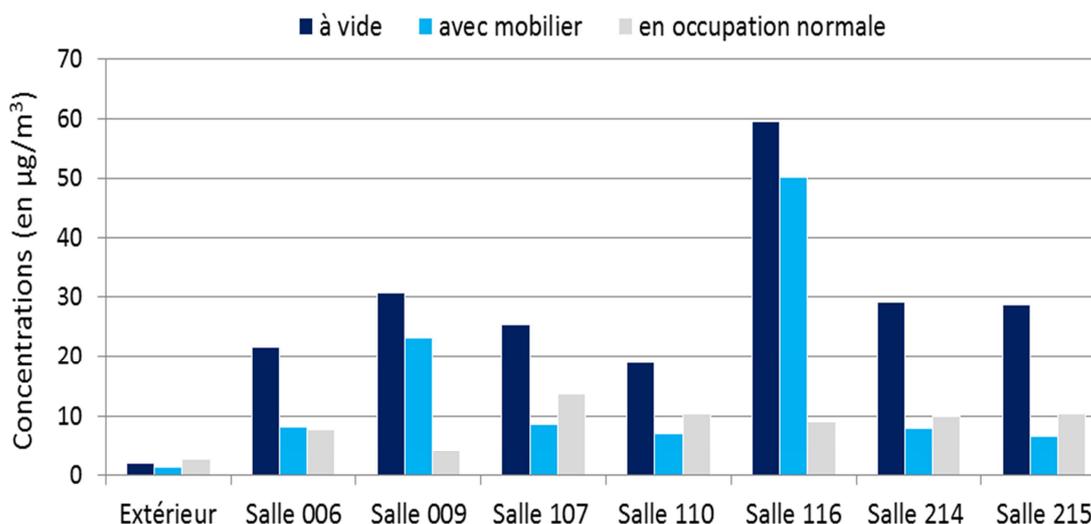


Figure 12 : évolution des concentrations en formaldéhyde au collège au cours des trois campagnes de mesures

Les concentrations en formaldéhyde à l'intérieur du bâtiment sont plus élevées qu'à l'extérieur. Une diminution des concentrations en formaldéhyde est observée entre la campagne "à vide" et la campagne "avec mobilier". Dans les salles 006, 107, 110, 214 et 215, la diminution moyenne est de 68%. Dans les salles 009 et 116, la diminution moyenne est moins importante : de l'ordre de 20%. Entre les campagnes "avec mobilier" et "en occupation normale", les concentrations en formaldéhyde sont globalement stables (dans les salles 006, 107, 110, 214 et 215). Dans les salles 009 et 116, on observe une diminution des concentrations de 82%.

Toutes les concentrations en formaldéhyde sont en-dessous de la valeur-limite réglementaire de $100\mu\text{g}/\text{m}^3$. Lors de la campagne "en occupation normale", les concentrations dans l'ensemble des pièces investiguées sont inférieures à la VGAI de 2015 ($30\mu\text{g}/\text{m}^3$). Par contre, dans 3 pièces sur 7, les concentrations sont légèrement supérieures à la VGAI de 2023 ($10\mu\text{g}/\text{m}^3$). La concentration maximale observée "en occupation normale" est de $13.8\mu\text{g}/\text{m}^3$ dans la salle 107.

Dans la salle 116 (salle de musique), la concentration en formaldéhyde observée lors de la campagne "à vide" est supérieure (de 57% en moyenne) aux concentrations mesurées dans les autres pièces à la même période. La concentration en formaldéhyde observée lors de la campagne "avec mobilier" est supérieure (de 80% en moyenne) aux concentrations mesurées dans les autres pièces à la même période.

Concentration en formaldéhyde ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Médiane	Maximum	Minimum
Collège Alain "à vide"	28.8	59.5	19.0
Collège Alain "avec mobilier"	8.2	50.2	6.6
Collège Alain "en occupation normale"	10.0	13.8	4.3
Collège HQE Fernand Léger	8.1	9.2	5.9
Collège alsacien 2009 (réception + 6 mois)	12.4	16.9	5.8
Collège alsacien 2010 (réception + 18 mois)	4.2	12.1	3.3
Collège isérois HQE neuf	22.1	53.7	13.5
7 autres collèges isérois classiques	15.6	53.7	3.6

Tableau 6 : comparaison des concentrations en formaldéhyde entre différents collèges

Les concentrations mesurées lors de la campagne de mesures "à vide" au collège Alain sont du même ordre de grandeur que les concentrations mesurées dans le collège HQE neuf isérois et supérieures aux autres collèges choisis à titre de comparaison.

Les concentrations médianes observées lors des campagnes "avec mobilier" et "en occupation normale" sont du même ordre de grandeur que la concentration médiane du collège alsacien en 2009 (6 mois après réception) et supérieures à la concentration médiane de ce collège en 2010 (18 mois après réception).

Les concentrations médianes observées lors des campagnes "avec mobilier" et "en occupation normale" sont du même ordre de grandeur que la valeur médiane du collège HQE Fernand Léger de Petit Quevilly et sont légèrement inférieures à la valeur médiane des 7 collèges isérois classiques.

Autres aldéhydes

Les concentrations en propanal, butanal, pentanal et hexanal diminuent globalement entre la première campagne « à vide » et la dernière campagne "en occupation normale".

Les concentrations en pentanal et hexanal lors de la première campagne "à vide" sont plus importantes dans la salle 214 que dans toutes les autres pièces investiguées à la même période (de 53% pour le pentanal et de 60% pour l'hexanal en moyenne).

Pour l'ensemble des aldéhydes, les concentrations à l'extérieur sont faibles (voire inférieures aux limites de quantification). Les concentrations mesurées à l'intérieur du bâtiment sont toujours supérieures aux concentrations mesurées à l'extérieur.

5.2.4. NO₂

Pour le NO₂, aucune mesure n'a été réalisée à réception du bâtiment car les émissions des engins de chantier présents sur le site sont susceptibles de fausser les mesures. Ainsi, sur la Figure 13 ci-dessous, sont présentés uniquement les résultats de la campagne "en occupation normale".

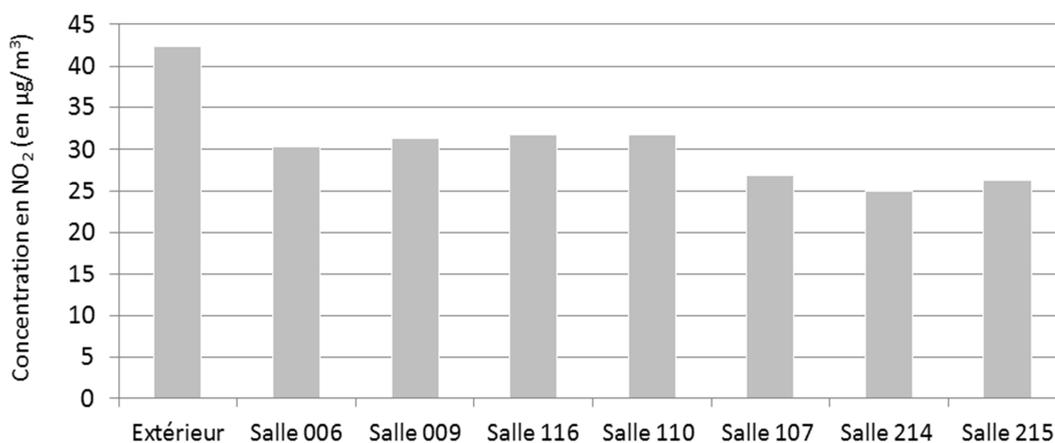


Figure 13 : concentrations en NO₂ au collège (campagne "en occupation normale")

Les concentrations en NO₂ à l'intérieur du bâtiment sont inférieures à la concentration mesurée à l'extérieur du bâtiment.

Les concentrations en NO₂ sont globalement homogènes entre les différentes pièces investiguées. Les concentrations observées à l'extérieur et à l'intérieur sont supérieures à la valeur recommandée par l'ANSES en moyenne annuelle (20µg/m³) [14]. Cependant, ces comparaisons sont indicatives car les données présentées ici sont des valeurs moyennes sur 4,5 jours uniquement.

5.2.5. Les particules fines - PM2.5

Dans le Figure 14 ci-dessous, sont présentés les résultats des mesures de PM 2.5 à l'intérieur du bâtiment (salles 107 et 214) et à l'extérieur (station de mesure d'Air Normand de Petit-Quevilly⁷).

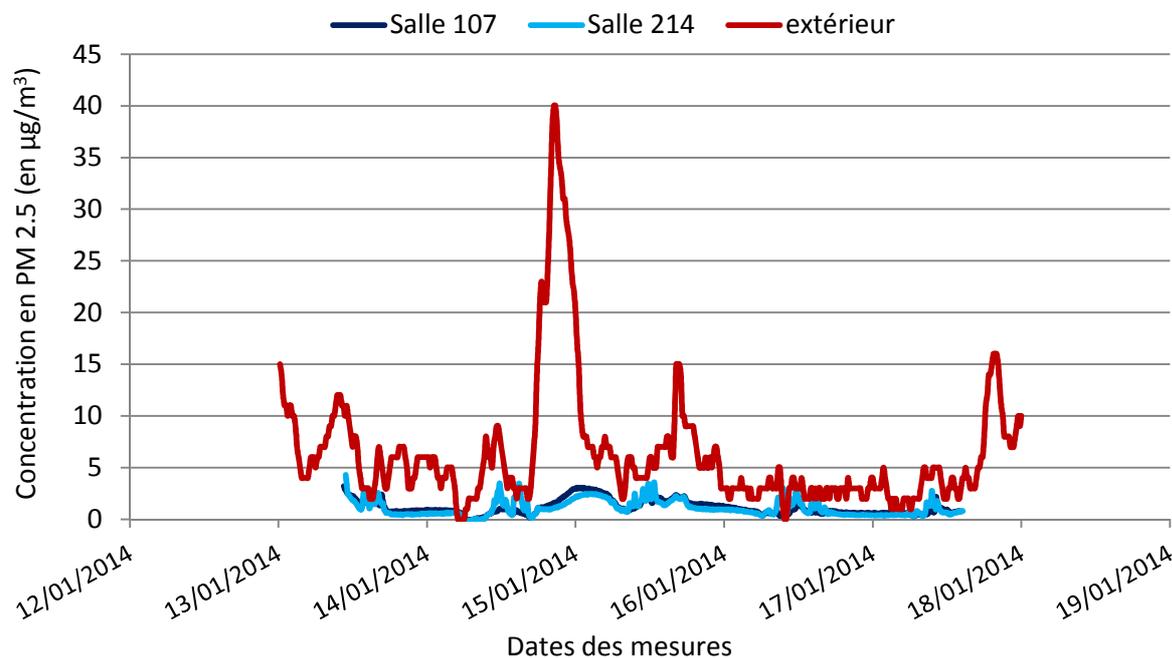


Figure 14 : évolution des concentrations en PM 0.1-2.5 au cours du temps

Les concentrations en PM 2.5 mesurées à l'intérieur du bâtiment sont nettement plus faibles qu'à l'extérieur⁸. Les concentrations sont homogènes entre les deux salles de classe investiguées et l'évolution des concentrations dans le temps est également similaire. La concentration moyenne observée à l'intérieur est de $1.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et la concentration maximale est de $4.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$. A l'extérieur, la concentration moyenne est de $6.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et la concentration maximale est de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

A l'extérieur, la concentration en PM 2.5 dépasse ponctuellement la recommandation de l'OMS qui est de $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne sur 24 heures [15] contrairement à ce que l'on observe en air intérieur.

6. Interprétation des résultats et discussion

Confinement

Les courbes d'évolution de la concentration en CO₂ (Figure 5 et Annexe 4) montrent que la concentration en CO₂ augmente lorsque les pièces sont occupées puis qu'elle chute brusquement lorsque les occupants quittent les salles. De plus, les concentrations en CO₂ sont globalement faibles, et ne dépassent jamais la valeur de tolérance de 1300 ppm du RSD. Enfin, l'indice de confinement dans les différentes pièces investiguées est faible ou nul. Ces constats laissent penser que le système de ventilation limite efficacement le phénomène de confinement pendant les périodes d'occupation. De même, il permet de diminuer rapidement la concentration en CO₂ dès que les salles ne sont plus occupées.

⁷ La station d'Air Normand de Petit-Quevilly (allée Paul Gauguin) est une station de type "urbaine" qui représente l'air respiré par la majorité des habitants d'une agglomération. Ce type de station "urbaine" est placée en ville, hors de l'influence immédiate et directe d'une voie de circulation ou d'une installation industrielle.

⁸ La comparaison des mesures de PM2.5 entre l'intérieur et l'extérieur du bâtiment est donnée à titre indicatif. En effet, les appareils utilisés en intérieur et en extérieur ne sont pas basés sur la même technologie de mesure.

Polluants liés à des sources de pollution extérieures (cf. sources en Annexe 1)

- Les concentrations en benzène sont inférieures à la valeur-limite [1] et aux VGAI réglementaires [2]. Les concentrations observées à l'intérieur du bâtiment sont du même ordre de grandeur que celles observées à l'extérieur ce qui semble indiquer que les sources majoritaires de benzène se trouvent à l'extérieur du bâtiment (trafic routier, industries).
- Les concentrations en NO₂ mesurées à l'intérieur du bâtiment sont inférieures à la concentration observée à l'extérieur ce qui suggère que les sources majoritaires de NO₂ se trouvent à l'extérieur du bâtiment (trafic routier). Par ailleurs le système de ventilation permet sans doute de diminuer les concentrations en intérieur.
- Les concentrations en PM 2.5 mesurées à l'intérieur du bâtiment sont très inférieures à celles observées à l'extérieur (station "urbaine" d'Air Normand à Petit-Quevilly). Encore une fois les sources majoritaires de PM 2.5 se trouvent à l'extérieur du bâtiment (trafic routier, industries, chauffage). Le système de ventilation permet visiblement de diminuer les concentrations de particules fines (PM 2.5) en intérieur (par dilution et/ou piégeage dans le filtre d'entrée ou dans les conduits).

Polluants gazeux liés à des sources de pollution intérieures (cf. sources en Annexe 1)

Pour l'ensemble des polluants gazeux qui présentent des concentrations lors de la campagne "à vide" plus élevées que lors des deux autres campagnes "avec mobilier" et "en occupation normale" (et des concentrations à l'extérieur très faibles voire en-dessous des limites de quantification), on peut supposer que :

- les sources se trouvent majoritairement à l'intérieur du bâtiment,
- les sources peuvent être un (ou des) matériau(x) de construction ou de finition,
- le système de ventilation en cours de réglage à la réception du bâtiment contribue en partie à l'accumulation des polluants à l'intérieur du bâtiment lors de cette première campagne.

Le formaldéhyde est un des polluants concernés par le dispositif de surveillance réglementaire de la QAI dans les ERP [1]. Les concentrations en formaldéhyde sont inférieures à la valeur-limite réglementaire et à la VGAI de 2015. Dans 3 pièces investiguées sur 7, la concentration en formaldéhyde est légèrement supérieure à la VGAI de 2023. Le fait que les concentrations observées à l'intérieur du bâtiment sont supérieures aux concentrations observées à l'extérieur suggère que les sources majoritaires de formaldéhyde se trouvent à l'intérieur du bâtiment (matériaux de construction, de finition, d'ameublement, livres et magazines neufs, produits d'entretien). De plus, les concentrations en formaldéhyde diminuent, plus ou moins rapidement, entre la première campagne "à vide" et les campagnes suivantes "avec mobilier" et "en occupation normale". On peut supposer que les sources principales de formaldéhyde dans cette étude sont des matériaux de construction et/ou de finition utilisés dans toutes les pièces investiguées. La comparaison des résultats de cette étude à ceux d'autres études réalisées dans d'autres collèges (HQE ou non, neufs ou plus anciens), laisse penser que :

- Les matériaux choisis au collège Alain émettent du formaldéhyde à réception (autant que dans le collège HQE neuf isérois)
- Plusieurs mois après la mise en œuvre, les concentrations ont fortement diminuée et sont plus faibles que dans des collèges classiques. Ceci peut s'expliquer d'une part par les matériaux eux-mêmes (relargage rapide du formaldéhyde et émissions résiduelles faibles) et d'autre part par les performances du système de ventilation (dilution efficace des polluants spécifiques de l'air intérieur).

Au regard de l'ensemble des résultats, on peut noter quelques situations particulières dans les salles 009, 116 et 214, détaillées dans les paragraphes suivants.

- Salle 009 (salle de technologie) :



Figure 15 : salle de technologie 009 (à gauche "à vide" et à droite "avec mobilier")

Dans cette salle, les concentrations de certains polluants (α -pinène, butanal, hexanal, limonène) sont plus élevées lors de la campagne "avec mobilier" que lors des autres campagnes ("à vide" et "en occupation normale"). Elles sont également plus élevées que dans toutes les autres pièces investiguées sur la même période (sauf salle 116). Les sources principales répertoriées de ces polluants sont les matériaux (colles, peintures, matières plastiques, produits de traitement du bois, bois brut) et les produits d'entretien (Annexe 1). Dans le cas de la salle de technologie, les sources potentielles de polluants sont soit le mobilier/matériel (spécifique de cette salle) soit des produits d'entretien utilisés lors de mise en place du mobilier. Au vu des informations disponibles, les sources n'ont pas pu être clairement identifiées.

Les concentrations en styrène dans cette salle sont également 5 à 10 fois plus élevées que dans les autres salles lors des deux premières campagnes ("à vide" et "avec mobilier"). Les sources usuelles de styrène sont les matériaux (matières plastiques, matériaux isolants, peintures, cires, vernis, nettoyants métaux) et les processus de combustion. Etant donné que la concentration lors de la phase "avec mobilier" est équivalente à la concentration lors de la phase "à vide" il est vraisemblable que :

- soit les émissions de styrène dues à un (ou des) matériaux de construction n'ont pas diminué entre les deux premières campagnes de mesures (mauvaise dilution du polluant, ventilation en cours de réglage ou bien relargage très important au cours des premiers mois après la mise en œuvre),
- soit qu'un (ou des) élément(s) de mobilier (spécifique à cette salle de technologie) est également source de styrène.

Au vu des informations disponibles, les sources n'ont pas pu être clairement identifiées.

- Salle 116 (salle de musique) :



Figure 16 : salle de musique 116 (à gauche "à vide" et à droite "avec mobilier")

Dans cette salle les concentrations en formaldéhyde⁹ à réception ("à vide" et "avec mobilier") sont plus élevées (de 57% lors de la campagne "à vide" et de 80% lors de la campagne "avec mobilier") que dans toutes les autres salles investiguées aux mêmes périodes. Les sources habituelles de formaldéhyde sont les matériaux de construction, de finition et d'ameublement, les livres et magazines neufs et les produits d'entretien. Dans le cas de la salle de musique, la source de formaldéhyde semble donc être liée à un ou plusieurs matériaux de construction ou de finition spécifiques à cette salle.

Par ailleurs, la diminution de la concentration en formaldéhyde entre les deux premières campagnes à réception est faible (de 20% seulement alors que la diminution est de 68% en moyenne dans les autres salles). Ce constat nous amène à penser que :

- soit les émissions de formaldéhyde dues à un (ou des) matériau(x) de construction ont peu diminuées entre les deux premières campagnes de mesures (mauvaise dilution du polluant, ventilation en cours de réglage ou bien relargage de formaldéhyde très important au cours des premiers mois après la mise en œuvre),
- soit un (ou des) élément(s) de mobilier (spécifique à cette salle de musique) est également source de formaldéhyde.

On peut noter que dans cette salle de musique une grande surface murale est recouverte d'un panneau acoustique en panneaux de bois. Ce type de matériau ne se retrouve dans aucune des autres salles investiguées. Cette grande surface de panneaux de bois pourrait être à l'origine de la concentration en formaldéhyde plus élevée dans cette salle de musique que dans les autres salles lors de la campagne "à vide". On peut noter également que dans cette salle de musique, le mobilier (chaise avec tablette intégrée en panneaux de bois) est différent des autres salles investiguées. Ce mobilier spécifique pourrait contribuer en partie à la concentration en formaldéhyde plus élevée dans cette salle que dans les autres salles lors de la campagne "avec mobilier".

En outre dans cette salle, les concentrations de certains polluants (2-butoxyéthanol, 1-méthoxy-2-propanol, α -pinène, butanal, hexanal, limonène) sont plus élevées lors de la campagne "avec mobilier" que lors des autres campagnes ("à vide" et "en occupation normale"). Elles sont également plus élevées que dans toutes les autres pièces investiguées sur la même période (sauf salle 009). Les sources habituelles de ces polluants sont les matériaux (colles, peintures, vernis, matières plastiques,

⁹ Le formaldéhyde est un des polluants concernés par le dispositif de surveillance réglementaire de la QAI dans les ERP [1].

produits de traitement du bois, bois brut) et les produits d'entretien. Dans la salle de musique, les sources de polluants semblent donc être liées soit au mobilier (spécifique de cette salle) soit aux produits d'entretien utilisés lors de mise en place du mobilier. Au vu des informations disponibles, les sources n'ont pas pu être clairement identifiées.

- Salle 214 (salle de cours) :

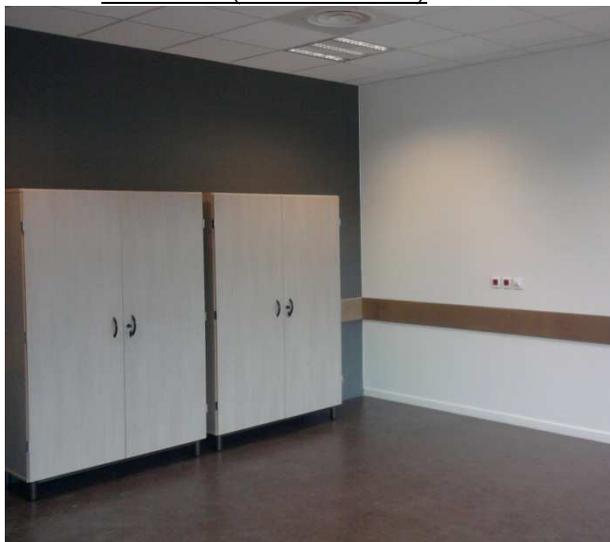


Figure 17 : salle de cours 214
(Lors de la campagne "à vide")

Dans cette salle, les concentrations de certains polluants (α -pinène, hexanal, limonène, pentanal) sont plus élevées que dans les autres pièces investiguées lors de la campagne "à vide". Les sources habituelles de ces polluants sont les matériaux (colles, peintures, produits de traitement du bois, panneaux de particules, bois brut) et les produits d'entretien ce qui laisse penser que les sources de polluants sont : soit un matériau de construction (spécifique de cette salle de cours) soit des produits d'entretien utilisés pendant la campagne "à vide" ou juste avant la campagne de mesures. On peut noter que dans cette salle, lors de la campagne "à vide" deux armoires en panneaux de bois avaient déjà été installées (alors que toutes les autres salles investiguées étaient entièrement vides). Ces deux éléments de mobilier pourraient donc être la source des polluants observés dans cette salle lors de la campagne "à vide".

Les résultats pour la plupart¹⁰ des polluants chimiques mesurés dans les différentes salles du collège restent en dessous des valeurs de référence existantes. A noter cependant, que pour certains polluants il n'existe à l'heure actuelle aucune valeur de référence.

7. Conclusion et recommandations

Les résultats présentés dans ce rapport se basent sur la réalisation de plusieurs campagnes (2013-2014) dans l'aile rénovée du collège Alain à Maromme (une campagne "à vide", une campagne "avec mobilier" et une campagne "en occupation normale" du bâtiment). Cette rénovation et le choix des matériaux de construction, de finition et d'ameublement ont été réalisés selon la démarche HQE pour notamment garantir une qualité de l'air intérieur ayant le moins d'impact sur la santé et le confort des occupants. Les mesures concernent d'une part, les paramètres de confort (température, humidité relative, CO₂, confinement) et d'autre part, des polluants gazeux et particulaires (COV, aldéhydes, NO₂, PM 0.1-2.5).

Les principales conclusions sont les suivantes :

¹⁰ Sauf pour le formaldéhyde lors de la campagne "en occupation normale 2" : dans 3 pièces investiguées sur 7, la concentration en formaldéhyde est légèrement supérieure à la VGAI de 2023.

- *Impact du système de ventilation sur le confinement :*

Les indices de confinement et les concentrations en CO₂ des différentes pièces investiguées sont très faibles. Ainsi, le système de ventilation et les débits d'air appliqués (supérieurs au débit réglementaire du RSD : 450 m³/h pour 30 personnes) permettent de limiter très efficacement le phénomène de confinement. Par conséquent, le phénomène d'accumulation des polluants à l'intérieur des bâtiments est également limité.

- *Emissions des matériaux neufs :*

Pour un certain nombre de polluants gazeux spécifiques de l'air intérieur¹¹, les concentrations lors de la campagne "à vide" sont plus élevées que lors des deux autres campagnes "avec mobilier" et "en occupation normale". Ces polluants sont probablement liés aux émissions des matériaux de construction ou de finition neufs. Ainsi, même si les matériaux ont été choisis selon les critères de la démarche HQE, les émissions des matériaux neufs ne sont pas nulles.

- *Emissions du mobilier neuf :*

Pour certains polluants gazeux spécifiques de l'air intérieur¹¹, les concentrations observées lors de la campagne "avec mobilier" sont plus élevées que lors des deux autres campagnes "à vide" et "en occupation normale". Ces polluants sont probablement liés aux émissions des éléments de mobilier neufs. Ainsi, même si le mobilier a été choisi selon les critères de la démarche HQE, les émissions du mobilier neuf ne sont pas nulles.

- *Diminution des émissions dans le temps :*

La diminution des concentrations dans le temps peut s'expliquer par le fait que les matériaux relarguent plus quand ils sont neufs, puis les émissions diminuent, plus ou moins rapidement, dans le temps. L'efficacité du système de ventilation peut aussi permettre d'atteindre des valeurs résiduelles faibles de polluants. Lors des premiers mois la ventilation était en cours de réglage (débits globalement plus faibles qu'en période d'occupation normale du bâtiment), ce qui peut expliquer en partie, que les concentrations pendant la campagne « avec mobilier » ne soient pas aussi faibles que 6 mois plus tard (« en occupation »). Ainsi, le choix des matériaux et du mobilier selon les critères de la démarche HQE combiné à une ventilation performante permet de limiter efficacement la présence de polluants dans l'air dès la réception du bâtiment et a fortiori 9 à 12 mois après celle-ci.

- *Impact de l'air extérieur :*

Les concentrations en benzène, NO₂ et PM 2.5 mesurées à l'intérieur du bâtiment sont inférieures aux concentrations observées à l'extérieur ce qui suggère que les sources majoritaires se trouvent à l'extérieur du bâtiment (notamment trafic routier). Par ailleurs le système de ventilation permet sans doute de diminuer les concentrations en intérieur (par dilution et/ou piégeage au niveau du filtre d'entrée ou dans les conduits).

- *Cas particuliers :*

Dans la salle de technologie 009, dans la salle de cours 216 et dans la salle de musique 116, des concentrations plus importantes que dans les autres salles ont été mesurées pour certains polluants à réception (« à vide » et/ou « avec mobilier »). Bien que l'origine de ces concentrations n'ait pas pu être clairement identifiée, il semble qu'elles soient liées soit à un matériau de construction ou de finition spécifique utilisé dans ces salles (par exemple les panneaux acoustiques pour la salle de musique) et/ou à un éléments de mobilier (par exemple paillasses dans la salle de technologie, chaises avec tablettes intégrées dans la salle de musique...) Neuf à douze mois après la réception du

¹¹ Concentrations à l'extérieur très faibles voire inférieures aux limites de quantification, donc sources majoritaires à l'intérieur du bâtiment.

bâtiment, les concentrations mesurées dans l'ensemble des pièces investiguées ne présentent plus de différences majeures.

- *Comparaison aux valeurs réglementaires dans les ERP :*

Le collège Alain est un établissement d'enseignement du second degré qui doit mettre en œuvre le dispositif de surveillance réglementaire avant le 1^{er} janvier 2020. Les paramètres pris en compte par cette surveillance sont : le benzène, le formaldéhyde et le confinement. Les résultats de la campagne de mesures "en occupation normale" du bâtiment peuvent être comparés à titre indicatif aux valeurs-limites et aux VGAI de la réglementation. En effet, la campagne de mesures "en occupation normale" a été réalisée dans les mêmes conditions que ce qui est défini dans la réglementation (mais à une seule saison au lieu de deux). Ainsi, on peut noter qu'aucune valeur-limite n'est dépassée. Par ailleurs, les résultats pour le benzène sont inférieurs aux VGAI de 2013 et 2016. Les résultats pour le formaldéhyde sont quant à eux inférieurs à la VGAI de 2015 mais légèrement supérieurs à la VGAI de 2023 dans 3 classes sur les 7 investiguées.

Diffusion des bonnes pratiques et retour d'expérience :

Cette campagne de mesure n'est pas une campagne réglementaire. Néanmoins elle a été réalisée en suivant la réglementation. Au regard des résultats obtenus, la qualité de l'air intérieur du collège Alain satisfait aux valeurs-limites¹² actuellement en vigueur. Cependant, les VGAI qui seront à respecter dans les années à venir seront plus faibles (évolution prévue par la réglementation pour le benzène et le formaldéhyde).

Le nombre limité d'études de la QAI dans des collèges ne permet pas de conclure sur les émissions de polluants gazeux des matériaux et du mobilier choisis selon la démarche HQE sur le long terme. Cependant, pour le formaldéhyde, il semblerait que, plusieurs mois après la mise en œuvre, les émissions soient plus faibles au collège Alain que dans d'autres collèges classiques (non HQE). La réalisation d'autres études de ce type permettrait d'affiner ce constat.

Le système de ventilation et les débits appliqués (au moins 450 m³/h pour 30 occupants) semblent limiter efficacement le phénomène de confinement et le phénomène d'accumulation des polluants à l'intérieur des bâtiments.

- ➔ La maintenance, l'entretien et la vérification régulière du bon fonctionnement du système de ventilation est indispensable pour garantir ses performances dans le temps. Le contrôle journalier des paramètres de fonctionnement sur l'écran de visualisation devrait faire partie des tâches routinières des agents techniques du collège.

Les matériaux et le mobilier neufs relarguent un certain nombre de polluants gazeux notamment dans les premiers mois après leur mise en œuvre. Même si les matériaux ont été choisis selon la démarche HQE, ce phénomène de relargage est tout de même observé lors de cette étude.

- ➔ Une sur-ventilation du bâtiment à réception et de nouveau après installation du mobilier permettrait de diluer plus rapidement les polluants gazeux émis par les matériaux neufs et de limiter alors l'exposition des occupants des bâtiments.

Les matériaux qui présentent les plus grandes surfaces exposées à l'air sont ceux qui, proportionnellement, ont le plus d'impact sur la QAI. Par exemple, dans cette étude, dans la salle de musique, une grande partie du mur est recouverte de panneaux de bois acoustiques. Ce sont ces panneaux qui semblent être à l'origine des concentrations importantes en formaldéhyde observées lors des campagnes à réception ("à vide" et "avec mobilier").

- ➔ Lors du choix des matériaux de construction et de finition, il est conseillé de porter une attention particulière aux matériaux recouvrant les plus grandes surfaces (sol, murs, plafonds).
- ➔ Les émissions de polluants gazeux de matériaux neufs ont tendance à diminuer dans le temps. Cependant, en cas de travaux ou de renouvellement du mobilier, il sera intéressant d'intégrer au cahier des charges des paramètres de qualité de l'air intérieur pour continuer à garantir la santé des occupants du bâtiment.

¹² Valeurs au-delà de laquelle des investigations complémentaires doivent être menées et pour laquelle le préfet de département du lieu d'implantation de l'établissement doit être informé.

8. Pages complémentaires

8.1. Annexes

Liste des annexes :

Annexe 1 : Sources potentielles

Annexe 2 : Humidité relative et indice de confinement

Annexe 3 : Données des paramètres de confort (température, humidité relative et concentrations en CO₂)

Annexe 4 : Résultats des mesures de CO₂ et périodes d'occupation

Annexe 5 : Formule et calculs de l'indice de confinement

Annexe 6 : Résultats bruts des polluants gazeux

Annexe 7: Valeurs de référence

Annexe 1 : Sources potentielles

- Les sources potentielles de COV.

Composés	Sources potentielles
benzène	Carburants, fumée de cigarette, produits de bricolage, d'ameublement, de construction et de décoration, encens, désodorisants liquides
toluène	Peintures, vernis, colles, encres, moquettes, tapis, calfatage siliconé, vapeurs d'essence, produits d'entretien
éthylbenzène	Carburants, cires
m/p/o- xylènes	Peintures, vernis, colles, insecticides
styrène	Matières plastiques, matériaux isolants, combustion (trafic routier, fumée de tabac, encens, incinérateurs), cires et vernis, peintures, adhésifs, nettoyeurs métaux
1,2,4-triméthylbenzène	Solvants pétroliers, carburants, goudrons, vernis
n-décane	White spirit, colles pour sol, cires, vernis à bois, moquettes, tapis, huile pour parquet
n-undécane	White spirit, colles pour sol, cires, vernis à bois, nettoyeurs sol, huile pour parquet
trichloroéthylène	Peintures, vernis, colles, dégraissants métaux
tétrachloroéthylène	Nettoyage à sec, moquettes, tapis
1,4-dichlorobenzène	Antimites, désodorisants, blocs WC, taupicides
α-pinène	Désodorisants, parfums d'intérieur, produits d'entretien, bois, cire
limonène	Bois, désodorisants, parfum d'intérieur, cires, nettoyeurs sol
n-hexane	Solvants et produits pétroliers
1-méthoxy-2-propanol	Laques, peintures, vernis, savons, cosmétiques
1-méthoxy-2-propyl acétate	Peintures, vernis, laques, encres d'imprimerie, colles, produits d'entretien, dégraissants métaux
2-butoxyéthanol	Peintures, vernis, fongicides, herbicides, traitement du bois, calfatage siliconé
2-butoxyéthyl acétate	Peintures, vernis, laques, produits d'entretien, dégraissants métaux, encres d'imprimerie, colorants textiles et cuir
naphtalène	Résines, peintures, agents de tannage du cuir et de traitement du bois, insecticides, antimites, pneumatiques, asphalte, combustion incomplète, fumée de cigarette, trafic routier

- Les sources potentielles d'aldéhydes.

Composés	Sources potentielles
Formaldéhyde	Photochimie, réaction ozone/terpènes, peintures et colles en phase aqueuse, produits de construction et de décoration avec colles ou liants urée-formol, livres et magazines neufs, textiles, photocopieurs, imprimantes laser, désinfectants et produits de nettoyage
acétaldéhyde	Combustion du bois, fumée de tabac, photocopieurs, imprimantes laser, panneaux de bois brut, panneaux de particules, peintures, maturation des fruits, réaction ozone/terpènes
propanal	Fumée de tabac
butanal	Photocopieurs, imprimantes à tambours, combustion, matières plastiques
benzaldéhyde	Peintures en phase solvant, photocopieurs, imprimantes laser, parquet traité
isopentanal	Parquets traités, panneaux de particules
pentanal	Livres et magazines neufs, panneaux de particules, peintures à phase solvant
hexanal	Panneaux de particules, émissions des livres et magazines neufs, peintures en phase solvant, produits de traitement du bois (phase aqueuse), panneaux de bois brut

- Les sources potentielles de dioxyde d'azote.

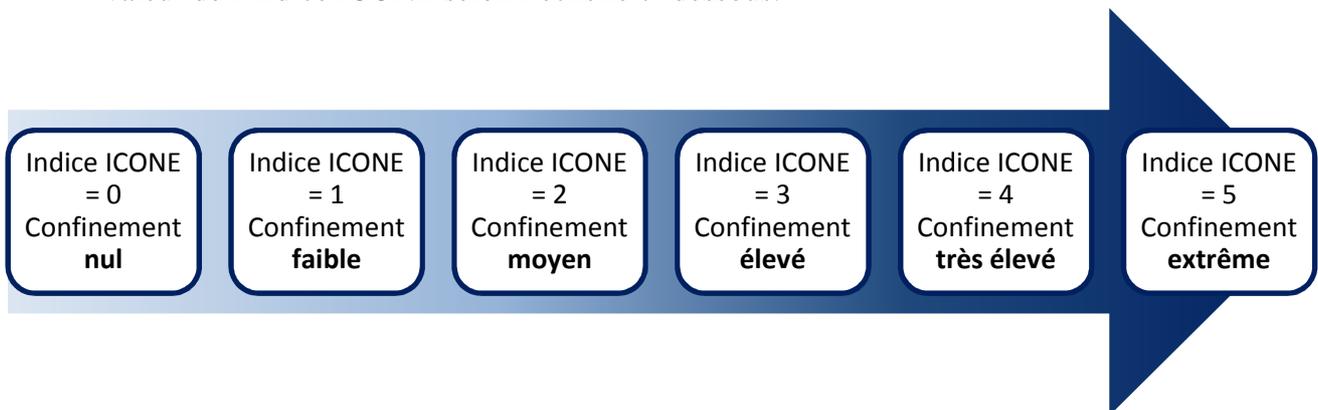
Composé	Sources potentielles
Dioxyde d'azote	Processus de combustion (cuisson, chauffage, fumée de cigarettes, encens, trafic routier)

- Les sources potentielles de particules fines (PM 0.1-2.5).

Composé	Sources potentielles
Particules fines (PM 0.1-2.5)	Fumée de tabac, appareils de chauffage, trafic automobile, chaufferies au bois, activités industrielles

Annexe 2 : Humidité relative et indice de confinement

- L'humidité relative a un faible impact sur la sensation thermique et sur la perception de la qualité de l'air dans les locaux à occupation sédentaire [5]. Toutefois les humidités intérieures durablement élevées peuvent être la cause de proliférations microbiennes et fongiques (humidité > 70%), et une humidité très basse (< 15-20%) peut entraîner un dessèchement et/ou une irritation des yeux et des voies respiratoires [5].
- L'indice de confinement (ICONE), établi par le Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB), exprime le confinement de l'air. Il est calculé à partir des mesures en dioxyde de carbone lorsque des personnes sont présentes dans la pièce. Cet indice est utilisé dans le cadre de la réglementation relative à la surveillance de la qualité de l'air intérieur dans certains établissements recevant du public [1]. L'état du confinement est évalué grâce à la valeur de l'indice ICONE selon l'échelle ci-dessous.



Annexe 3 : Données des paramètres de confort (température, humidité relative et concentrations en CO₂)

L'ensemble des résultats bruts concernant la température pour la campagne "en occupation normale" sont rassemblés dans le tableau suivant :

Dates	Température (en °C)	Moyenne	Maximum	Minimum	Moyenne en période d'occupation
13-17/01/14	006	19.3	22.3	17.9	20.9
	009	23.6	26.2	22.6	/
	107	21.6	24.6	20.9	23.6
	110	21.3	24.4	20.4	22.2
	215	22.2	25.2	20.9	23.4
	Extérieur	7.1	9.8	3.0	/
10-14/03/14	116	21.7	23.4	20.9	22.1
	214	22.1	25.6	20.1	22.8
	Extérieur	10.1	18.8	2.8	/

L'ensemble des résultats bruts concernant l'humidité relative pour la campagne "en occupation normale" sont rassemblés dans le tableau suivant :

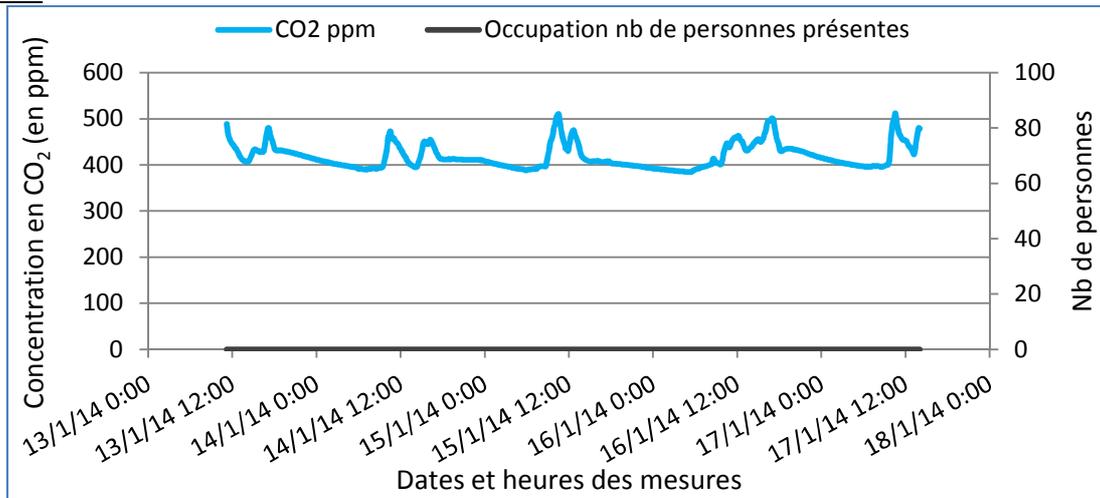
Dates	Humidité relative (en %)	Moyenne	Maximum	Minimum	Moyenne en période d'occupation
13-17/01/14	006	40.8	52.4	27.8	39.8
	009	31.7	38.8	21.5	/
	107	35.0	41.4	25.2	31.8
	110	34.8	45.8	23.4	32.4
	215	33.8	41.4	23.9	34.7
	Extérieur	87.7	98.0	64.0	/
10-14/03/14	116	32.9	41.0	26.1	32.5
	214	33.9	44.6	22.7	34.2
	Extérieur	71.9	96.0	33.0	/

L'ensemble des résultats bruts concernant le CO₂ pour la campagne "en occupation normale" sont rassemblés dans le tableau suivant :

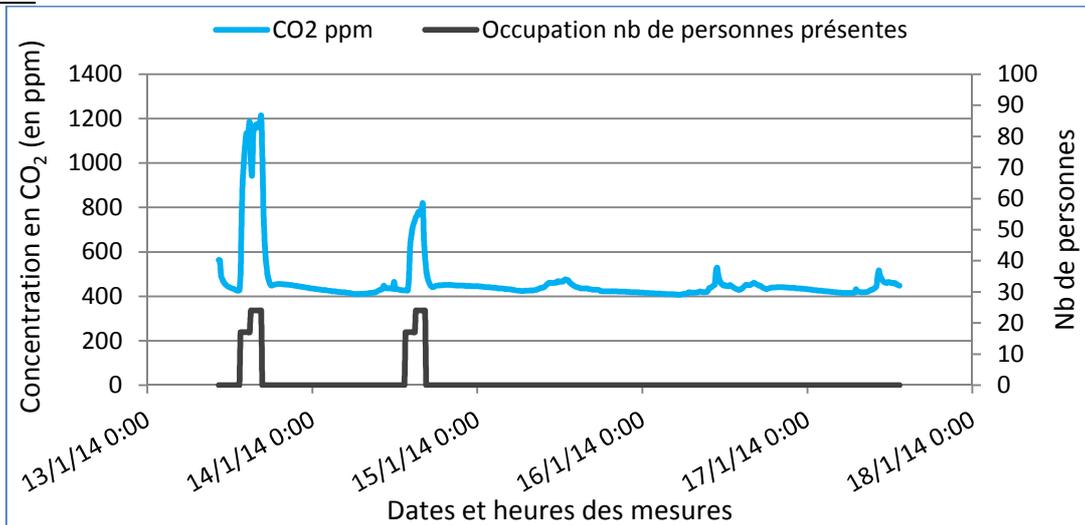
Dates	CO ₂ (en ppm)	Moyenne	Maximum	Minimum	Moyenne en période d'occupation
13-17/01/14	006	424.2	1058	325	749.2
	009	418.3	512	385	/
	107	464.8	1212	407	868.0
	110	455.5	971	398	602.0
	215	395.9	1080	310	640.8
10-14/03/14	116	467.1	938	408	641.2
	214	429.1	1248	305	728.8

Annexe 4 : Résultats des mesures de CO₂ et périodes d'occupation

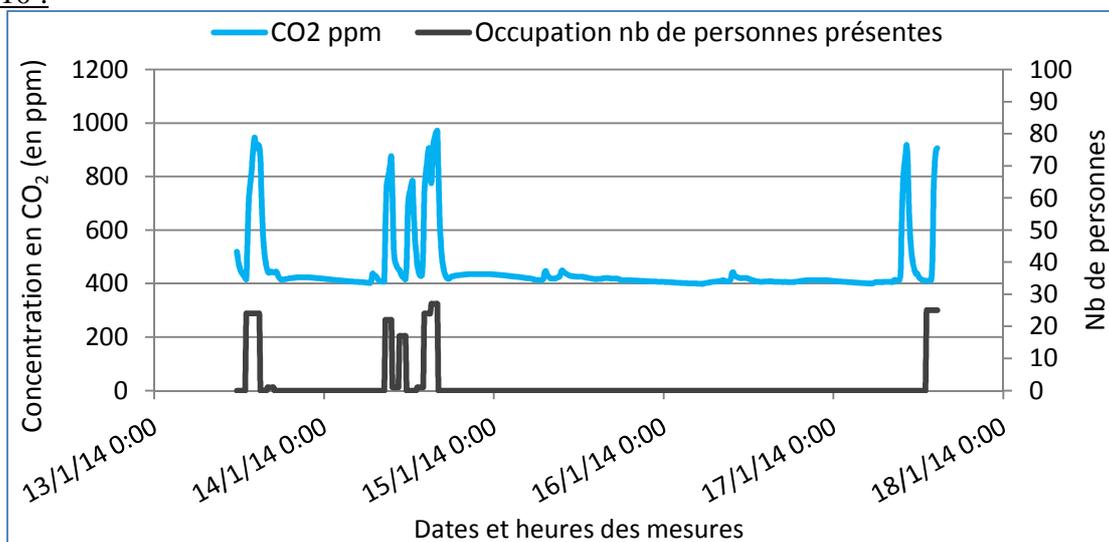
Salle 009 :



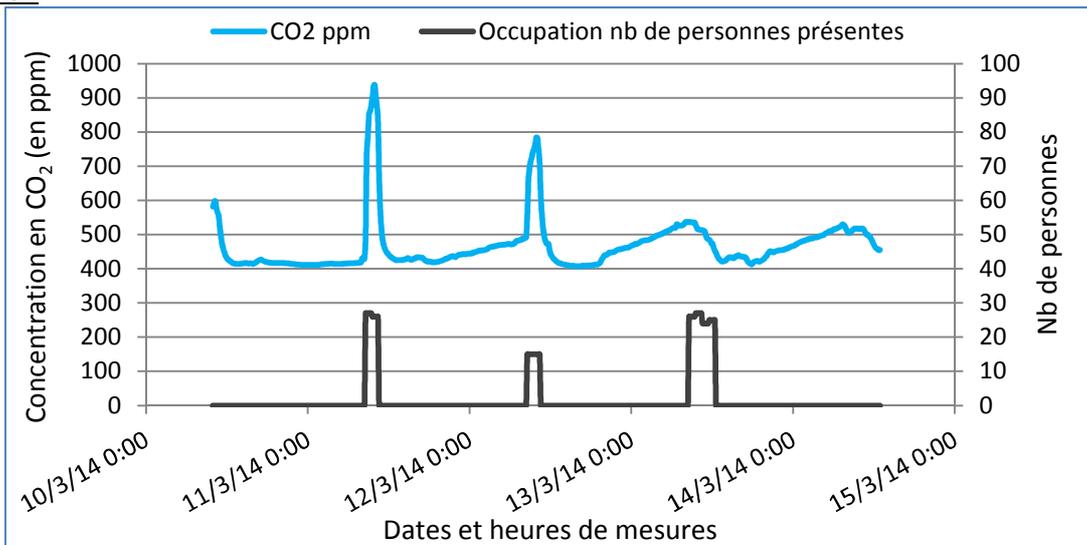
Salle 107 :



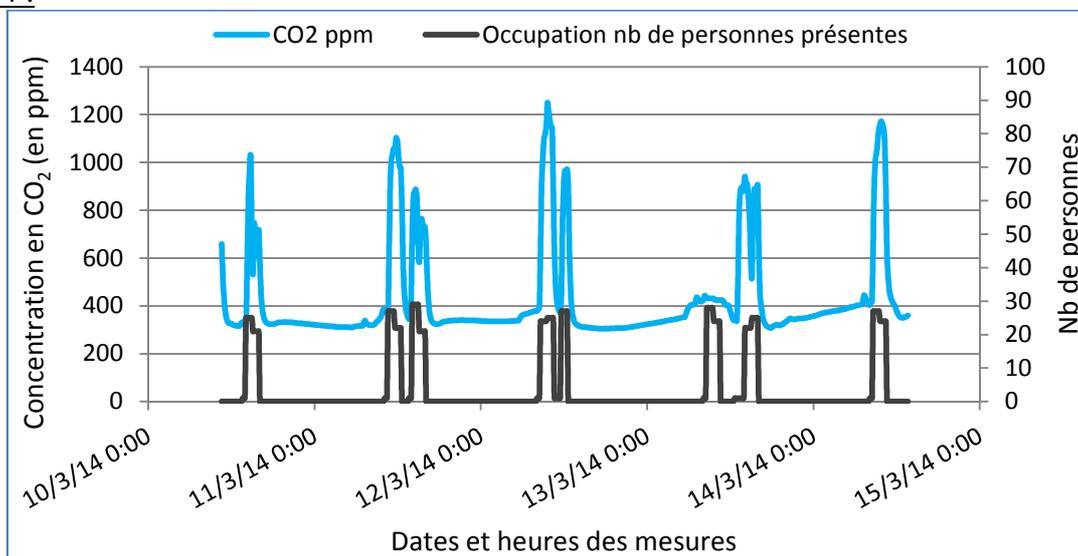
Salle 110 :



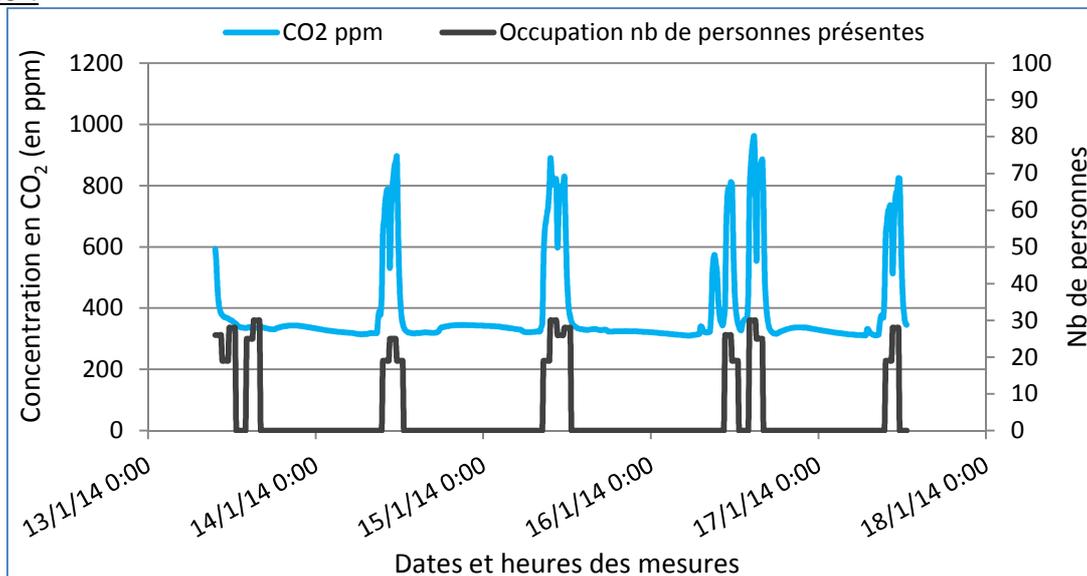
Salle 116 :



Salle 214 :



Salle 215 :



Annexe 5 : Formule et calculs de l'indice de confinement

Formule de calcul de l'indice de confinement :

$$I = [2.5/\log_{10}(2)].\log_{10} (1 + f_1 + 3f_2)$$

Avec : f_1 : proportion de valeurs comprises entre 1 000 et 1 700 ppm

f_2 : proportion de valeurs supérieures à 1 700 ppm

L'indice de confinement des différentes pièces est calculé sur les plages de présence des enfants (au moins 50% de l'effectif) dans les différentes pièces.

Le détail des calculs des indices de confinement des différentes pièces du collège Alain pour les campagnes "en occupation normale" sont présentés dans le tableau suivant :

Campagne "en occupation normale" (13-17/01/14)	f_1	f_2	Indice ICONE
006	11/78	0/78	0
009	<i>salle inoccupée</i>		
107	15/37	0/37	1
110	0/48	0/48	0
215	3/119	0/119	0

Campagne "en occupation normale" (10-14/03/2014)	f_1	f_2	Indice ICONE
116	0/48	0/48	0
214	26/90	0/90	1

Annexe 6 : Résultats bruts des polluants gazeux

L'ensemble des résultats bruts concernant les polluants gazeux pour la campagne "à vide" sont rassemblés dans le tableau suivant :

Concentrations ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	006	009	107	110	116	214	215	Extérieur
benzène	1.1	1.2	1.2	1.7	1.4	2.0	1.3	1.0
toluène	1.7	2.1	2.2	3.0	2.0	3.4	2.0	1.9
éthylbenzène	0.5	1.1	1.4	0.9	1.8	1.4	0.8	0.3
m/p/o-xylènes	3.0	3.5	7.0	4.6	7.3	7.7	4.9	2.0
styrène	0.4	5.7	0.6	0.7	1.1	0.6	0.4	0.2
1,2,4-triméthylbenzène	0.8	2.2	1.6	1.0	1.5	1.7	1.4	0.7
n-décane	3.9	2.4	9.2	7.3	6.5	9.3	8.1	1.6
n-undécane	5.2	6.0	7.2	7.6	6.1	6.8	8.9	4.9
trichloroéthylène	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
tétrachloroéthylène	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
1,4-dichlorobenzène	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.1	0.1	<0.1
α-pinène	7.1	5.3	11.0	10.9	5.2	38.4	10.9	1.9
limonène	3.2	2.4	3.1	2.9	2.1	8.7	3.3	1.0
1-méthoxy-2-propanol	0.1	0.6	1.6	0.5	0.7	1.2	0.6	<0.1
1-méthoxy-2-propyl acétate	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
2-butoxyéthanol	0.7	3.3	5.2	1.0	1.9	1.6	1.5	<0.1
2-butoxyéthyl acétate	<0.3	0.3	0.3	<0.3	<0.3	0.4	0.4	<0.3
naphtalène	2.2	2.5	2.9	3.0	2.8	2.9	3.1	2.4
formaldéhyde	21.7	30.8	25.3	19.0	59.5	29.1	28.8	2.0
acétaldéhyde	5.0	3.0	10.2	7.9	6.7	13.2	11.6	1.3
propanal	8.9	1.5	18.1	3.0	13.6	18.6	22.4	0.6
butanal	6.7	5.7	8.1	7.5	7.2	11.1	10.8	1.4
benzaldéhyde	0.5	0.5	0.8	0.5	0.6	0.8	0.7	0.1
isopentanal	0.8	0.4	1.9	1.2	0.9	2.5	1.6	0.1
pentanal	2.3	2.7	5.0	5.7	3.7	8.8	5.6	0.4
hexanal	11.6	8.8	21.2	24.3	17.2	47.3	31.4	<LQ

L'ensemble des résultats bruts concernant les polluants gazeux pour la campagne "avec mobilier" sont rassemblés dans le tableau suivant :

Concentrations ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	006	009	107	110	116	214	215	Extérieur
benzène	0.8	1.5	1.3	1.2	0.9	1.2	0.7	1.2
toluène	3.0	4.3	3.2	3.2	3.9	3.0	3.1	3.2
éthylbenzène	0.5	1.4	0.6	0.5	1.0	0.6	0.5	0.5

m/p/o-xylènes	1.9	3.4	2.4	2.1	3.9	2.2	2.0	1.8
styrène	0.1	5.6	0.3	0.3	1.1	0.4	0.2	0.3
1,2,4-triméthylbenzène	0.5	2.6	0.7	0.7	1.3	0.8	0.8	0.6
n-décane	1.5	1.8	2.8	1.7	7.3	3.1	2.1	1.1
n-undécane	1.5	6.2	3.0	3.0	4.0	7.8	2.9	3.4
trichloroéthylène	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
tétrachloroéthylène	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
1,4-dichlorobenzène	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
α -pinène	5.7	39.5	4.9	2.9	18.9	13.0	7.0	1.3
limonène	3.1	6.2	2.6	1.7	7.6	3.2	3.6	1.5
1-méthoxy-2-propanol	<0.1	0.4	1.1	0.1	4.2	0.2	0.2	<0.1
1-méthoxy-2-propyl acétate	<0.1	0.9	nq	0.5	nq	nq	0.6	0.2
2-butoxyéthanol	<0.1	1.9	1.0	0.2	6.7	0.3	0.2	0.1
2-butoxyéthyl acétate	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	0.4	<0.3	<0.3	<0.3
naphtalène	0.2	0.7	0.4	0.4	0.4	0.5	0.4	0.5
formaldéhyde	8.2	23.3	8.6	7.0	50.2	7.9	6.6	1.2
acétaldéhyde	2.3	3.5	3.6	2.5	7.2	3.9	2.9	1.5
propanal	2.6	1.8	4.7	1.1	13.4	3.9	3.2	0.7
butanal	4.9	8.6	5.5	4.4	8.8	5.6	5.0	3.0
benzaldéhyde	0.2	0.5	0.3	0.2	0.6	0.3	0.2	0.2
isopentanal	0.4	0.7	0.6	0.3	1.4	0.7	0.5	0.2
pentanal	0.9	2.5	1.6	1.1	3.8	1.9	1.3	0.3
hexanal	4.5	10.1	6.0	3.2	20.2	8.9	5.7	<LQ

L'ensemble des résultats bruts concernant les polluants gazeux pour la campagne "en occupation normale" sont rassemblés dans le tableau suivant :

Concentrations ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	006	009	107	110	116	214	215	Extérieur
NO ₂	30.2	30.9	26.9	31.6	31.6	24.6	26.1	43.7
benzène	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
toluène	0.9	1.0	0.9	1.4	1.0	0.8	0.9	0.7
éthylbenzène	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
m/p/o-xylènes	1.0	1.1	1.4	1.4	1.0	1.1	1.2	0.8
styrène	0.7	0.8	1.0	1.0	0.8	0.8	0.9	0.6
1,2,4-triméthylbenzène	3.9	2.6	5.0	3.4	5.8	3.7	5.1	2.2
n-décane	9.6	13.0	13.5	7.0	4.5	5.5	14.1	0.5
n-undécane	1.1	1.2	1.2	1.2	1.3	1.2	1.3	0.9
trichloroéthylène	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
tétrachloroéthylène	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2	0.1
1,4-dichlorobenzène	0.5	0.8	0.5	0.5	0.6	0.5	0.5	0.4

α-pinène	0.1	<0.1	1.2	5.6	1.3	<0.1	0.2	<0.1
limonène	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
1-méthoxy-2-propanol	0.3	<0.1	0.9	0.7	2.0	<0.1	1.4	<0.1
1-méthoxy-2-propyl acétate	2.5	2.7	3.6	2.8	1.7	1.9	3.8	0.3
2-butoxyéthanol	0.3	0.3	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.2
2-butoxyéthyl acétate	<0.3	<0.3	0.4	<0.3	0.4	<0.3	<0.3	<0.3
naphtalène	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1
n-hexane	0.2	0.3	0.4	0.5	0.3	0.5	0.3	0.2
formaldéhyde	7.6	4.3	13.8	10.5	9.1	10.0	10.4	2.6
acétaldéhyde	4.1	2.6	6.6	4.6	2.8	6.9	7.6	1.8
propanal	4.1	1.0	7.7	1.9	2.2	7.3	8.6	0.5
butanal	3.3	2.7	5.4	6.2	1.9	6.1	6.1	0.7
benzaldéhyde	0.2	0.2	0.3	0.3	0.1	0.3	0.3	0.1
isopentanal	0.9	0.4	0.9	0.7	0.5	1.2	1.2	0.2
pentanal	1.4	0.5	2.4	1.7	0.8	2.8	2.7	0.3
hexanal	6.8	1.9	11.4	7.1	2.7	14.0	13.7	<LQ

Annexe 7 : Valeurs de référence

Polluants	VGAI (OMS)	VGAI (ANSES)	INDEX	Décret n°2011-1727	
Benzène	-	10 µg/m ³ (exposition supérieure à 1 an)	-	5 µg/m ³ (à atteindre en 2013)	2 µg/m ³ (à atteindre en 2016)
toluène	-	-	300 µg/m ³	-	-
xylènes	-	-	200 µg/m ³	-	-
styrène	-	-	250 µg/m ³	-	-
naphtalène	10 µg/m ³ (moyenne annuelle)	10 µg/m ³ (exposition supérieure à 1 an)	10 µg/m ³	-	-
tétrachloroéthylène	250 µg/m ³ (exposition sur 1 an)	250 µg/m ³ (exposition supérieure à 1 an)	-	-	-
α-pinène	-	-	450 µg/m ³	-	-
limonène	-	-	450 µg/m ³	-	-
formaldéhyde	100 µg/m ³	10 µg/m ³ (exposition supérieure à 1 an)	-	30 µg/m ³ (à atteindre en 2015)	10 µg/m ³ (à atteindre en 2023)
acétaldéhyde	-	-	200 µg/m ³	-	-
NO₂	40 µg/m ³ (valeur moyenne annuelle)	20 µg/m ³ (exposition supérieure à 1 an)	40 µg/m ³ (exposition vie entière)	-	-
Particules fines (PM 2.5)	25 µg/m ³ (en moyenne sur 24h) 10 µg/m ³ (exposition vie entière)	-	-	-	-

8.2. Bibliographie

- [1] Décret n° 2015-1926 du 30 décembre 2015 modifiant le décret n°2012-14 du 5 janvier 2012 relatif à l'évaluation des moyens d'aération et à la mesure des polluants effectués au titre de la surveillance de la qualité de l'air intérieur de certains établissements recevant du public [en ligne]. Journal officiel, n° 0001 du 1^{er} janvier 2016, texte n°8. Disponible sur : <http://www.legifrance.gouv.fr/eli/decret/2015/12/30/DEVP1415078D/jo> (consulté le 29.01.2016).
- [2] Décret n° 2011-1727 du 2 décembre 2011 relatif aux valeurs guides pour l'air intérieur pour le formaldéhyde et le benzène [en ligne]. Journal officiel, n° 0281 du 4 décembre 2011, p. 20529. Disponible sur : <http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000024909119&dateTexte=&categorieLien=id> (consulté le 29.01.2016).
- [3] BRIAND E. Guide de gestion de la qualité de l'air intérieur dans les établissements recevant du public. Paris, France : Direction générale de la santé, août 2010, 78 p. Disponible sur : <http://www.sante.gouv.fr/IMG/pdf/guid0910.pdf> (consulté le 29.01.2016).
- [4] Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie et Ministère des Affaires sociales et de la Santé. La surveillance de la qualité de l'air intérieur dans les lieux accueillant des enfants [en ligne]. SG/DICOM/DIE, 2012, 16 p. Disponible sur : http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Brochure_Qualite-air-ecoles_2018-2023.pdf (consulté le 29.01.2016)
- [5] DEOUX Suzanne. Bâtir pour la santé des enfants. Andorra : Medieco Editions, 2010, 689 p. ISBN 978-99220-1-770
- [6] COEUDEVEZ C-S., IZARD M. Mesure de la qualité de l'air sur des chantiers de rénovation de logements [en ligne]. Défis bâtiment - santé 2013. Communication personnelle.
- [7] LE MEUR S. Evaluation de la qualité de l'air à l'intérieur du collège Fernand Léger de Petit-Quevilly du 17 au 26 février 2010 [en ligne]. Air Normand, 2010, 20 p. Disponible sur : www.airnormand.fr (consulté le 29.01.2016).
- [8] Ascoparg, Sup 'AIR. 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 [en ligne]. Décembre 2009, 49 p. Disponible sur : http://www.air-rhonealpes.fr/site/article/voir/toutes_nos_publications (consulté le 29.01.2016).
- [9] ASPA. Campagne de mesures de la qualité de l'air intérieur dans les locaux du collège d'Heiligenstein [en ligne]. Janvier 2009, 24p. Disponible sur : <http://www.atmo-alsace.net/site/Reportair-95.html?idRubrique=7> (consulté le 29.01.2016).
- [10] ASPA. Campagne de mesures de la qualité de l'air intérieur dans les locaux du collège d'Heiligenstein [en ligne]. Mars 2010, 25p. Disponible sur : <http://www.atmo-alsace.net/site/Reportair-95.html?idRubrique=7> (consulté le 29.01.2016).
- [11] AIR NORMAND. L'Air Normand n° 66 [en ligne]. Août 2012, 6 p. Disponible sur : www.airnormand.fr (consulté le 29.01.2016)
- [12] Loi n° 2010-788 du 12 juillet 2010 portant engagement national pour l'environnement [en ligne]. Journal officiel, n° 0160 du 13 juillet 2010, p. 12905. Disponible sur : http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?jsgessionid=07AD184DEAC5017AF2374360AAA6F116.tpdjo04v_2?cidTexte=JORFTEXT000022470434&categorieLien=id (consulté le 29.01.2016)
- [13] Circulaire du 20 janvier 1983 relative à la révision du règlement sanitaire départemental type. Journal officiel du 25 février 1983.
- [14] Agence Nationale de Sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail. Proposition de valeurs guides de qualité de l'air intérieur, le dioxyde d'azote [en ligne]. ANSES éditions, mars 2013, 150p. Disponible sur :

<https://www.anses.fr/fr/documents/AIR2011sa0021Ra.pdf> (consulté le 29.01.2016).

[15] Organisation Mondiale pour la santé. Qualité de l'air ambiant (extérieur) et santé [en ligne]. Aide-mémoire n°313, mars 2014. Disponible sur : <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/fr/> (consulté le 29.01.2016).

[16] European Commission, Joint Research Centre, Institute for Health and Consumer Protection, Physical and Chemical Exposure Unit, Ispra. The INDEX project: Critical Appraisal of Setting and Implementation of Indoor Exposure Limits in the European Union [en ligne]. Janvier 2005, 337 p. Disponible sur : http://ec.europa.eu/health/ph_projects/2002/pollution/fp_pollution_2002_frep_02.pdf (consulté le 29.01.2016).