EXPERTISES

AMÉLIORER LA QUALITÉ DE L'AIR DANS LES CRÈCHES, LES MATERNELLES ET LES ÉCOLES ÉLEMENTAIRES DE LA ROCHELLE

Projet IMPACTAIR

Décembre 2016

N° de contrat : *1462C0023*
Étude réalisée pour le compte de l'ADEME par : *Commune de la Rochelle*

Appel à projet : AACT-AIR Edition 2014 (Aide à l'action des collectivités territoriales en faveur de la qualité de l'air)

Coordination technique ADEME : *BOUALLALA Souad* **– Direction\Service :** *VANVES DVTD SEQA*

ADEME
Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie

RAPPORT D'ÉTUDE

En partenariat avec :

AVEC LE SOUTIEN FINANCIER DE :

- Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie
- La ligue contre le cancer

REMERCIEMENTS

- Patrice BLONDEAU (Université de La Rochelle)
- Souad BOUALLALA (ADEME)
- Fabrice CAÏNI (Atmo Poitou-Charentes)
- Stéphane Le CALVÉ (Institut de Chimie Pour l'Energie l'Environnement et la Santé)
- Béatrice CORMERAIS (Ville de La Rochelle)
- Emilie DURAND (Ville de La Rochelle)
- Stéphanette ENGLARO (In'Air Solutions)
- Guillaume FAUVEL (Ville de La Rochelle)
- Jean-Claude GARINEAUD (Ville de La Rochelle)
- Anne-Laure LEGENDRE (Ville de La Rochelle)
- Mathieu LORIOU (Ville de La Rochelle)
- Vladislav NAVEL (Atmo Poitou-Charentes)
- Jérôme NICOLLE (Université de La Rochelle – Tipee)
- Guillaume VIVION (Ville de La Rochelle)
- Marie-Françoise ROY (Ville de La Rochelle)
- Claire TROQUET (In'Air Solutions)

CITATION DE CE RAPPORT

ADEME - Legendre A-L., Cormerais B., Caïni F., Navel V., Durand E., Vivion G., Troquet C., Fauvel G. 2016. Améliorer la qualité de l'air dans les crèches, les maternelles et les écoles élémentaires de la Rochelle – Rapport, 156 pages

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite selon le Code de la propriété intellectuelle (art. L 122-4) et constitue une contrefaçon réprimée par le Code pénal. Seules sont autorisées (art. 122-5) les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé de copiste et non destinées à une utilisation collective, ainsi que les analyses et courtes citations justifiées par la caractère critique, pédagogique ou d'information de l'œuvre à laquelle elles sont incorporées, sous réserve, toutefois, du respect des dispositions des articles L 122-10 à L 122-12 du même Code, relatives à la reproduction par reprographie.

TABLE DES MATIÈRES

Résumé 6
1. Contexte et objectifs du projet 8
1.1 La qualité de l'air intérieur : des études expérimentales aux actions 8
1.2 Contexte local et environnemental 9
1.3 Objectifs de recherche et phases du projet 10
2. Revue de littérature 11
SECTION 1 ..... **12**
Phases I et II du projet IMPACTAIR (Surveillance de la qualité de l'air dans les écoles élémentaires, maternelles et crèches et exploration des déterminants de la qualité de l'air intérieur) 12
1. Méthode 13
1.1 Mesures de la qualité de l'air intérieur 13
1.2 Exploration des déterminants de la QAI : collecte de données 14
1.2.1 Les sources d'émissions extérieures 15
1.2.2 Les paramètres physiques qui peuvent influencer les émissions 15
1.2.3 Potentiel d'aération 17
1.2.4 Sources de polluants intérieurs 18
1.2.5 Activités et comportements 22
1.3 Méthodologie d'analyse statistique et d'analyse en Composantes Principales (ACP) 22
2. Résultats des mesures de surveillance et croisements de données 23
2.1 Analyse descriptive et statistique 23
2.1.1 Benzène 24
2.1.2 Formaldéhyde 27
2.1.3 Indice de confinement 33
2.2 Proposition d'analyse des résultats sur le plan des inégalités sociales 33
2.3 Analyse en Composantes Principales 36
2.3.1 Variables utilisées et lecture graphique des résultats 36
2.3.2 Analyse des corrélations 37
2.3.3 Conclusions 38
2.4 Analyses croisées à deux ou trois variables 39
2.4.1 Formaldéhyde, CO2 et confinement 39
2.4.2 Période de mesures, hygrométrie et formaldéhyde 41
2.4.3 Formaldéhyde et configuration des ouvrants 43
2.5 Conclusion et perspectives 45
3. Exploitation des résultats et communication auprès des établissements 47
SECTION 2 49

Phase III et IV du projet IMPACTAIR (Mesures en dynamique et pistes d'améliorations) 49
1-Objectifs 50
2. Méthode 50
2.1 Avant-propos sur les mesures en continu et hypothèses de départ 50
2.2 Le choix des pièces à instrumenter 51
2.3 Moyens déployés pour les mesures 52
2.3.1 ATMO Poitou-Charentes 53
2.3.2 IN AIR SOLUTIONS 54
2.3.3 Récapitulatif des moyens utilisés à l'occasion des mesures en continu 56
2.3.4 Mise en œuvre technique et installation des appareils de mesure 57
2.3.5 Chauffage dans les établissements 58
2.4 Déroulé des mesures 58
2.4.1 Calendrier 58
2.4.2 Mesures automatiques et mesures passives 59
2.4.3 Protocoles d'aération 61
2.4.4 Observations pendant les semaines de mesures 62
3. Description des scénarios de pratiques d'aération 62
3.1 Méthodologie 62
3.2 Résultats concernant l'analyse des durées d'aération 64
3.3 Influence de l'aération sur le confort 66
3.4 Résultats concernant l'enquête et l'analyse qualitative 66
3.4.1 Eléments favorisant l'aération 66
3.4.2 Freins à l'aération 67
3.4.3 Retour sur les consignes du guide OQAI 68
3.4.4 Autres commentaires issus des entretiens 68
3.5 Conclusions concernant les pratiques d'aération 69
4. Exploitation des mesures dynamiques 69
4.1 Caractérisation des niveaux de fond : part liée au bâti et au mobilier 70
4.1.1 Bilan des concentrations de formaldéhyde 70
4.1.2 Bilan des concentrations de dioxyde de carbone : CO_2 76
4.2 Influence des pratiques d'aération sur les niveaux de pollution intérieure 79
4.2.1 Influence des pratiques d'aération sur les concentrations en formaldéhyde 79
4.3 Influence des paramètres physiques sur les concentrations de formaldéhyde 87
4.3.1 Influence de l'humidité relative 87
4.3.2 Influence de la température 88
4.3.3 Influence de l'humidité absolue 89

4.3.4 Influence des pratiques d'aération sur les concentrations en CO_2 91
4.4 Bilan des mesures de composés organiques volatils 101
4.4.1 Cas du benzène 101
4.4.2 Cas du propane / i-butane / n-butane 102
4.4.3 cas du n-octane 104
4.4.4 Cas de l'Ethybenzène/ M+P Xylènes / O-Xylène 106
4.4.5 Cas de l'isoprène 109
4.4.6 Cas de l'hexane 111
4.5 mesures de formaldéhyde dans la maternelle Le Prieuré 111
SECTION 3 ..... **113**
Phase IV du projet IMPACTAIR (Conclusions et pistes d'action pour améliorer la qualité de l'air intérieur dans les écoles et les crèches et conclusions du projet) 113
1. Conclusions du projet 114
1.1 Principaux enseignements 114
1.2 Limites scientifiques et non scientifiques du projet 116
1.3 Pistes possibles pour de nouveaux travaux de recherche et expérimentations 117
2. Reproductibilité de la démarche 118
3. Vers l'élaboration d'un plan d'action pour améliorer la qualité de l'air intérieur dans les écoles et les crèches de la Ville 118
4. Les premières pistes d'actions que nous avons identifiées pourraient s'organiser autour de trois grands axes : 119
5. Références bibliographiques 121
6. Sigles et acronymes 123
7. ANNEXES 124

Résumé

Le projet IMPACTAIR vise à améliorer la qualité de l'air intérieur dans les crèches, les maternelles et les écoles élémentaires de la ville de La Rochelle. Le projet repose sur des mesures de qualité de l'air et une recherche des facteurs d'amélioration que la collectivité pourrait envisager (le projet de recherche s'est concentré tout particulièrement sur les pratiques d'aération). Sur le plan méthodologique, nous avons réalisé des mesures passives (prévues dans le cadre de la surveillance et complétées pour les besoins du projet) et des mesures en continu dans deux salles de classes. Par ailleurs la démarche a bénéficié de l'étude INCITAIR conduite en parallèle par le LaSIE et la plateforme Tipee de l'Université de La Rochelle et dont l'objectif était de hiérarchiser les sources d'émission de formaldéhyde dans les bâtiments scolaires et de faciliter la prise en compte de critères QAI dans les marchés publics. Le projet IMPACTAIR s'articule autour de quatre phases principales :

- **PHASE I : Mesures de surveillance de la qualité de l'air et collecte de données**

Des mesures de surveillance de la qualité de l'air dans les maternelles et crèches de la ville étaient programmés avant le démarrage du projet IMPACTAIR. Des mesures complémentaires ont été réalisées dans les écoles élémentaires afin de constituer un échantillon plus large de données. Aucune situation proche des valeurs limites réglementaires pour le formaldéhyde ou le benzène n'a été observée. Nous observons des disparités entre établissements, avec quelques situations préoccupantes pour le formaldéhyde (>30µg/m^3) et une très grande majorité de situations avec des valeurs moyennes comprises entre la valeur cible en vigueur en 2023 (10µg/m^3) et la valeur guide (30µg/m^3). Les résultats de ces mesures ont été communiqués auprès des établissements concernés. En parallèle des mesures de surveillance, des visites des établissements ont été conduites et une grille d'analyse de déterminants de la qualité de l'air a été remplie pour chacune des pièces concernées par ces mesures de surveillance.

- **PHASE II : Interprétation des résultats de mesures de surveillance**

Nous avons ensuite recherché l'existence de liens statistiques entre ces déterminants de la QAI et les mesures de surveillance. Nous nous sommes appuyés sur une méthodologie d'analyse statistique simple et multivariée (ATMO Poitou-Charentes). Nous avons observé des corrélations entre concentrations élevées en formaldéhyde et taux d'humidité important et taux de renouvellement d'air faible, ce qui corrobore les connaissances déjà établies par ailleurs. Des niveaux très satisfaisants en formaldéhyde ont été observés dans deux établissements rénovés récemment. Les résultats les moins favorables apparaissent dans les établissements appartenant à la géographie prioritaire de la Politique de la Ville.

- **PHASE III : Mesures en continu**

Un partenariat avec In'Air Solutions a permis la réalisation d'analyses de formaldéhyde en continu dans deux salles de classes d'élémentaire pendant cinq semaines et une semaine dans une maternelle. L'objectif était d'étudier plus finement la contribution respective des matériaux de construction, du mobilier, des activités, et des pratiques d'aération dans les résultats de qualité de l'air. D'autres mesures de polluants (COV) ont été réalisées par ATMO dans les deux salles de classe d'élémentaire. Plusieurs scénarios d'aération ont été testés afin d'évaluer leur impact sur la dynamique des polluants. Les principaux contributeurs de formaldéhyde sont le bâti dans une très large proportion puis le mobilier (résultats en phase avec les conclusions du projet INCITAIR). L'ouverture des fenêtres participe à la nette diminution du formaldéhyde et du CO2, mais le projet révèle que l'effet est de courte durée. L'étude confirme que l'utilisation d'un indicateur lumineux s'avère un outil intéressant pour encourager l'aération des salles de classe.

- **PHASE IV : Recommandations et plan d'action**

L'étude expérimentale apporte de nombreuses connaissances que la Ville peut mobiliser pour améliorer la QAI dans ces établissements. Les résultats des études INCITAIR et IMPACTAIR permettent de construire un plan d'action sur la QAI. Ce dernier s'appuiera sur une approche transversale à la fois sur les sources de polluants, les paramètres physiques qui influencent leur dynamique et les comportements des occupants (dont l'aération). Un guide de bonnes pratiques à destination du personnel des établissements a été réalisé, comprenant notamment un volet sensibilisation aux enjeux de la QAI et des conseils pour l'aération des locaux.

Abstract

The IMPACTAIR project aims to improve indoor air quality in municipal nurseries, kindergarten and primary schools. The project uses indoor air measures and focuses its research on improvement factors. Testing natural and mechanical ventilation recommendation was an important area of the field study but the project also investigates other opportunities to work with the municipality services and competences. From a methodological perspective, we realized passive measures and continuous measures. IMPACTAIR also benefits from the complementarity of the INCITAIR project conducted by LaSIE and the Tipee platform from La Rochelle University. INCITAIR aims to prioritize the sources of formaldehyde in school buildings, and then to define, for the most significant sources, objective evidence that can be used in public contracts to select materials, equipment or school stationery with low impact on indoor air quality. IMPACTAIR was organised in four main stages:

- **Step I : Indoor air monitoring and Collecting data**

The city of La Rochelle has conducted indoor air measures in nurseries and kindergarten based on regulation requirements. To facilitate statistical interpretations of the results, we complemented with new measures in elementary schools. The measures did not reveal any extreme situation approaching the regulatory limits of 100µg/m^3 for the formaldehyde or 10µg/m^3 for the benzene. However, regarding the formaldehyde, we observe some disparities between schools and some preoccupying cases (values above 30µg/m^3) and there is a majority of schools with measures comprised between 10µg/m^3 and 30µg/m^3. The results have been communicated to the different schools and nurseries. While conducting the indoor air monitoring phase, we visited all the buildings and collected datas relating to different indoor air determinants.

- **Step II : Interpretation and communication of the results**

We then searched for statistical links between those determinants and indoor air measures. We based our analysis on simple and multivariate statistical methodologies. One of the main conclusions that emerged is the relationship between high concentrations in formaldehyde and high levels of humidity and low air renewal rates, as already highlighted in the literature. Some very good formaldehyde results have been registered in recently renovated buildings. The least favorable results occur in schools located in poor urban areas.

- **Step III : Mesures en continu**

A partnership with In'Air Solutions was established to implement continuous measures of formaldehyde in two classrooms of primary schools during five weeks and one kindergarten classroom during one week. The objective was to investigate the respective contribution of building materials, furniture, activities and ventilation practices. Formaldehyde measures have been completed with COV measures realised by ATMO Poitou-Charentes in the two primary school classrooms. Several scenarios of ventilation have been tested to assess their impact on pollutants dynamics. The study confirms that building materials is the first and major contributor in formaldehyde followed by furniture. Opening windows leads to rapid diminution in formaldehyde and CO2 but we also noted that the effects do not last long. The study confirms the relevance of using luminous indicators to intice ventilation good practice.

- **Step IV : Recommendations and action plan**

Based on all the data and knowledge collected in previous stages and with the contributions of INCITAIR project, step IV consisted in identifying and formulating recommendations to improve air quality. These results have enabled to explore the possibilities to implement improvement actions. The action plan will be based on a cross-sector approach in order to have an influence both on pollution sources, physical parameters that have an influence on their dynamics as well as good practices in place occupation. The project will produce a Guide of good Practice, directed to building's users with a focus on ventilation.

1. Contexte et objectifs du projet

1.1 La qualité de l'air intérieur : des études expérimentales aux actions

Les effets sur la santé de la pollution atmosphérique sont désormais largement connus et documentés. Selon l'étude Aphekom (2008-2011) pilotée par l'InVS (Institut de veille sanitaire), cette pollution a un très fort impact sanitaire évalué en termes de mortalité d'hospitalisations. D'après la même étude, elle est responsable chaque année de plusieurs milliers de morts prématurées en France, la proximité des grands axes de circulation étant un phénomène aggravant.

Depuis une quinzaine d'années les préoccupations concernant les impacts sur la santé d'une mauvaise qualité de l'air se sont étendues aux espaces intérieurs où de nombreux polluants peuvent être trouvés à des concentrations très élevées. Le coût des effets d'une mauvaise qualité de l'air intérieur en France, calculés selon les indicateurs globaux de détriment sanitaires utilisés par l'OMS, sont aujourd'hui estimés entre 12,8 et 38,4 milliards d'euros par an (Janunten et al, 2011). Une étude récente montre par ailleurs l'impact sanitaire associé à l'exposition au formaldéhyde dans les environnements intérieurs (Greillet, Frraize-Frontier, Perouel, Bayeux, Bodin, Boulanger, 2016). Cette étude indique notamment que selon les scenarii d'expositions, le risque de développer un cancer du nasopharynx semble très faible mais que le risque de développer et accentuer l'asthme chez les enfants âgés de 0 à 18 ans devrait être pris en considération.

En parallèle de ces études d'impacts sanitaires, d'autres démarches expérimentales visent à caractériser l'exposition aux polluants de l'air intérieur. C'est l'une des missions de l'Observatoire de la Qualité de l'Air Intérieur (OQAI) créé en 2001 pour mieux comprendre les origines et les dangers de la pollution de l'air étudiée dans différents lieux de vie, logements, bureaux ou encore crèches et établissements scolaires.

En ce qui concerne les établissements recevant de jeunes enfants, l'OQAI a mis en œuvre une campagne pilote de surveillance entre 2009 et 2011 dans 310 écoles élémentaires, maternelles et crèches dans l'ensemble des régions de France. Cette étude a mis en évidence une majorité de concentrations en formaldéhyde comprises entre 0 et 50 µg/m3, mais avec des résultats assez contrastés. Hors période de chauffage, les concentrations oscillent entre 3,7 µg/m3 et 86,3 µg/m3 et seuls 10% des mesures sont inférieures à 9,9 µg/m3, la valeur cible proposée par l'ANSES pour une exposition à long terme (Ramalho et. al, 2015). Cette variabilité nous interpelle et nous interroge sur les facteurs explicatifs prépondérants et les leviers d'amélioration possibles.

Des matériaux de construction au mobilier, des activités aux comportements des occupants, en passant par les apports extérieurs, les sources de pollution de l'air intérieur sont nombreuses. Par ailleurs, la complexité du sujet qualité de l'air intérieur est accentuée par la multiplicité des substances que l'on peut rencontrer dans les différents espaces intérieurs. Les émissions dans l'air dépendent également d'autres facteurs tels que l'humidité, la température ou la perméabilité à l'air du bâti et/ou de réactions secondaires liées à l'ensemble de ces paramètres.

De manière classique en santé environnementale, les études toxicologiques et épidémiologiques se concentrent généralement sur des relations simples portant sur un polluant, une situation d'exposition ou un type d'effet sanitaire. Dans la réalité, il existe de nombreux composants dans l'air donnant lieu à une multitude d'interactions, une multitude de situations d'exposition à explorer au regard de la multiplicité des parcours individuels, et enfin une multitude d'effets possibles sur la santé.

Dans cette complexité, comment se repérer ? Sur quels facteurs une collectivité peut-elle avoir une influence et quels leviers d'actions doit-elle privilégier ? Le projet IMPACTAIR s'inscrit dans ce contexte, à l'interface entre données scientifiques (études exploratoires, données toxicologiques, études épidémiologiques, etc.) et action publique (réglementation, gestion des risques, actions de prévention et de promotion de la santé, etc.). Le projet propose d'approfondir les connaissances sur les déterminants de la qualité de l'air intérieur et l'exposition aux polluants dans les écoles élémentaires, maternelles et crèches dans le contexte Rochelais. In fine, l'ambition est de rechercher des pistes d'amélioration de la qualité de l'air intérieur dans ces établissements.

1.2 Contexte local et environnemental

La ville de La Rochelle a choisi depuis de nombreuses années d'impulser une politique dynamique favorable à la santé et à l'environnement. Outre les obligations réglementaires en matière de police sanitaire du Maire, la municipalité a souhaité engager des actions concrètes dans les domaines de l'action sociale, de la promotion de la santé et du développement durable.

La prise en compte de la qualité de l'air extérieur existe depuis longtemps dans la politique locale. Le lancement des vélos jaunes en libre-service dès 1976 et l'apparition des premiers véhicules électriques dans la ville en 1986 en sont des exemples bien connus. Mais depuis ces initiatives, l'engagement de la ville s'est étendu à d'autres projets structurants comme par exemple la démarche Citergie qui permet de croiser les enjeux énergétiques et de pollution atmosphérique.

Avec la montée des préoccupations pour la santé liées à une mauvaise qualité de l'air intérieur, la Ville s'est progressivement saisie de cette thématique. L'agglomération rochelaise a participé à la campagne pilote menée par les ministères de l'Environnement et du Développement Durable, de l'Education et de la Santé dans les écoles et les crèches en 2011. Les mesures réalisées dans une école élémentaire (Claude Nicolas) et une crèche de l'agglomération (Aytré) ont permis d'exposer la problématique de la qualité de l'air aux élus municipaux en juin 2011.

Malgré les modifications liées à l'obligation de surveillance périodique de la qualité de l'air dans les ERP (Décret n° 2012-14 du 5 Janvier 2012), la Ville de La Rochelle a engagé des mesures de surveillance dès 2013 dans quelques crèches et écoles puis réalisé une campagne complète dans les écoles maternelles et les crèches dans le courant de l'année scolaire 2014-2015. Pour le projet IMPACTAIR, des mesures complémentaires ont été réalisées dans les écoles élémentaires. Au total, la ville dispose de données de mesures de formaldéhyde, de benzène et de confinement pour 97 pièces sur deux périodes de mesures (chauffage et hors chauffage) : 21 classes d'écoles élémentaires, 47 classes, dortoirs ou salles d'activités d'écoles maternelle et 29 salles d'activités ou dortoirs de crèches.

Dans le projet IMPACTAIR, les objectifs scientifiques d'exploration des déterminants de la qualité de l'air intérieur entrent en résonnance avec les objectifs sanitaires d'amélioration de la qualité de l'air et les objectifs d'accompagnement des politiques publiques. L'ambition initiale du projet était donc de contribuer à cette problématique de santé publique, en recherchant des leviers d'amélioration de la qualité de l'air dans ces établissements dits sensibles. Les facteurs de reproductibilité de la démarche seront explorés pour faciliter le même type de dynamique dans d'autres collectivités.

1.3 Objectifs de recherche et phases du projet

Au démarrage de la mission, le projet prévoyait d'organiser le travail en 5 phases :

- Une phase de connaissance des bâtiments et des déterminants de la qualité de l'air en vue d'une classification selon une échelle de risque
- Une phase de connaissance des activités dans les établissements pouvant grever la qualité de l'air
- Une phase de mesure in situ pour valider la phase de classification des bâtiments
- Une phase d'exploitation des données pour réaliser un guide de recommandations centrées sur les pratiques d'aération
- Une phase d'accompagnement des équipes éducatives à l'application des bonnes pratiques

Dans les premiers mois de la mission, les échanges au sein du comité technique du projet, avec le soutien méthodologique du laboratoire des Sciences de l'Ingénieur pour l'Environnement (LaSIE) de l'Université de La Rochelle ont permis de préciser certains éléments d'approche. Il a alors été proposé de s'appuyer plus largement sur les résultats de la surveillance de la qualité de l'air lancée par la Ville dans les maternelles et crèches et d'utiliser ces données comme point de départ de l'étude sur les déterminants de la qualité de l'air.

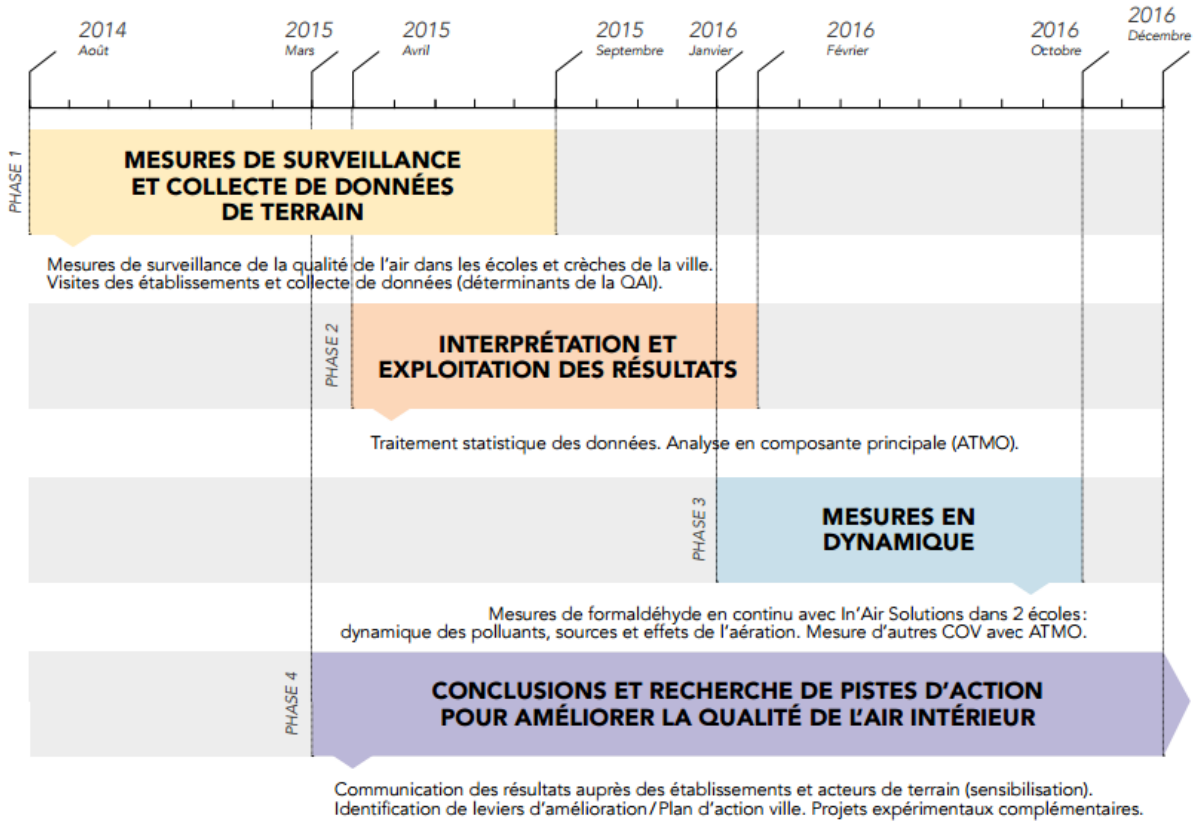


Figure 1 : Déroulé du projet IMPACTAIR

Les objectifs du projet restent inchangés mais la méthodologie de travail a été revisitée et **les actions redéployées autour de quatre phases principales** :

- Une phase de collecte de données : données de surveillance de la qualité de l'air et déterminants de la qualité de l'air collectés auprès des services de la Ville et observés directement dans les salles de classes
- Une phase d'exploitation des résultats de la surveillance et une étude de corrélation avec les déterminants de la qualité de l'air
- Une phase expérimentale de mesures en continu de polluants (formaldéhyde et COV) afin d'explorer l'influence de certaines hypothèses et déterminants de la QAI et de tester des scenarii d'aération
- Une phase de construction de pistes de recommandations pour améliorer la qualité de l'air, à structurer sous la forme d'un plan d'action QAI correspondant aux différents domaines de compétences de la collectivité, et un guide de bonnes pratiques et d'aération

2. Revue de littérature

Même si le projet ne visait pas directement la réalisation d'une revue bibliographique approfondie, des recherches ont été effectuées au fil de l'eau. Les thématiques et mots clés suivants ont été recherchés :

- Déterminants de la qualité de l'air intérieur
- Typologie des bâtiments scolaires
- Surveillance et études transversales sur la qualité de l'air intérieur
- Données de toxicologie et épidémiologie
- Pratiques d'aération et influence sur la qualité de l'air intérieur
- Guides sur la qualité de l'air intérieur
- Pratiques et activités dans les écoles et les crèches

Les sources principales consultées sont les suivantes :

- Sites de l'OQAI, de l'INERIS, du CSTB et du Ministère en charge de l'écologie
- Bulletins du réseau RSEIN, Recherche Santé Environnement Intérieur
- Publications des Agences Agréées pour la Surveillance de la Qualité de l'Air (AASQA)
- Sites étrangers : Environmental Protection Agency (EPA), Indoor Air Quality Association

SECTION 1

Phases I et II du Projet IMPACTAIR

Surveillance de la qualité de l'air dans les écoles élémentaires, maternelles et crèches, et exploration des déterminants de la qualité de l'air intérieur

1. Méthode

1.1 Mesures de la qualité de l'air intérieur

La loi du 12 juillet 2010 portant engagement national pour l'environnement a placé la surveillance périodique de la qualité de l'air intérieur dans certains établissements recevant du public (ERP) comme une priorité d'action. En vue de l'entrée en vigueur de cette mesure, une campagne pilote avait été lancée sur la période 2009-2011 pour tester un dispositif de surveillance de la QAI. Malgré un assouplissement des obligations réglementaires de surveillance annoncé fin 2014, la Ville de La Rochelle a entrepris la mise en œuvre des mesures de QAI dans les établissements scolaires et les crèches de la ville :

- **Sur l'année scolaire 2010-2011** dans le cadre de la campagne pilote pour tester le dispositif de surveillance : 1 école élémentaire (Claude Nicolas) instrumentée par ATMO Poitou-Charentes
- **En 2013** dans le cadre d'une étude réalisée en partenariat avec le laboratoire pharmaceutique GSK spécialisé dans les maladies respiratoires : 2 crèches de l'agglomération dont une sur La Rochelle (crèche Méli-mélo) et une école maternelle (Le Prieuré) instrumentées par ATMO Poitou-Charentes
- **En 2013** à l'occasion d'une accréditation COFRAC pour la surveillance de la qualité de l'air : une maternelle de la ville (Laleu) instrumentée par ATMO Poitou-Charentes
- **En 2013-2014** la crèche du Bois des Protestants, instrumentée par ATMO Poitou-Charentes (période hors chauffe réalisée juste après la réouverture après travaux).
- **Sur l'année scolaire 2014-2015** dans le cadre de la surveillance réglementaire : 19 maternelles et 13 crèches instrumentées par l'APAVE
- **En mars 2015** dans le cadre du projet IMPACTAIR : mesures complémentaires dans 21 classes d'élémentaires instrumentées par ATMO Poitou-Charentes

A noter : Toutes les mesures ont été réalisées sous accréditation Cofrac, excepté les mesures de 2015 dans les écoles élémentaires. Pour ces dernières, une seule pièce par établissement a été instrumentée et elle a été choisie de manière aléatoire.

	Organisme en charge des mesures	Nombre d'établissements	Nombre de pièces instrumentées
Crèches	ATMO Poitou-Charentes	2	3
	APAVE	12	26
	Total Crèches	**14**	**29**
Maternelles	ATMO Poitou-Charentes	2	3
	APAVE	19	44
	Total Maternelles	**21**	**47**
Elémentaires	ATMO Poitou-Charentes	21	21
	Total élémentaires	**21**	**21**
Total données disponibles		**56**	**97**

Tableau 1 : Recensement des données de mesures de surveillance utilisées dans IMPACTAIR

Pour chacune de ces pièces instrumentées, nous disposons des données suivantes :

- **Concentrations en Formaldéhyde** : moyenne de la semaine pour les deux périodes de mesures, hors période de chauffage et en situation de chauffage
- **Concentrations en Benzène en intérieur et en extérieur**: moyenne de la semaine pour les deux périodes de mesures, hors période de chauffage et en situation de chauffage ;
- **Indice Icone** : calculé à partir des concentrations en CO2 mesuré pendant la période de chauffage uniquement

1.2 Exploration des déterminants de la QAI : collecte de données

Les données collectées s'appuient sur les connaissances actuelles des déterminants de la qualité de l'air intérieur et en particulier les facteurs pouvant influencer les concentrations dans l'air de formaldéhyde, benzène et CO2. Pour chacune des données collectées, nous apportons les références bibliographiques ou hypothèses sur lesquelles nous nous sommes appuyés. Les données explorées ont été organisées selon les cinq catégories suivantes :

1. Les sources de polluants extérieurs
2. Les paramètres physiques qui peuvent influencer les émissions intérieures
3. Les sources d'émissions intérieures liées au bâti et mobilier
4. Le potentiel d'aération de la pièce et le chauffage
5. Les sources liées aux activités et aux comportements des usagers

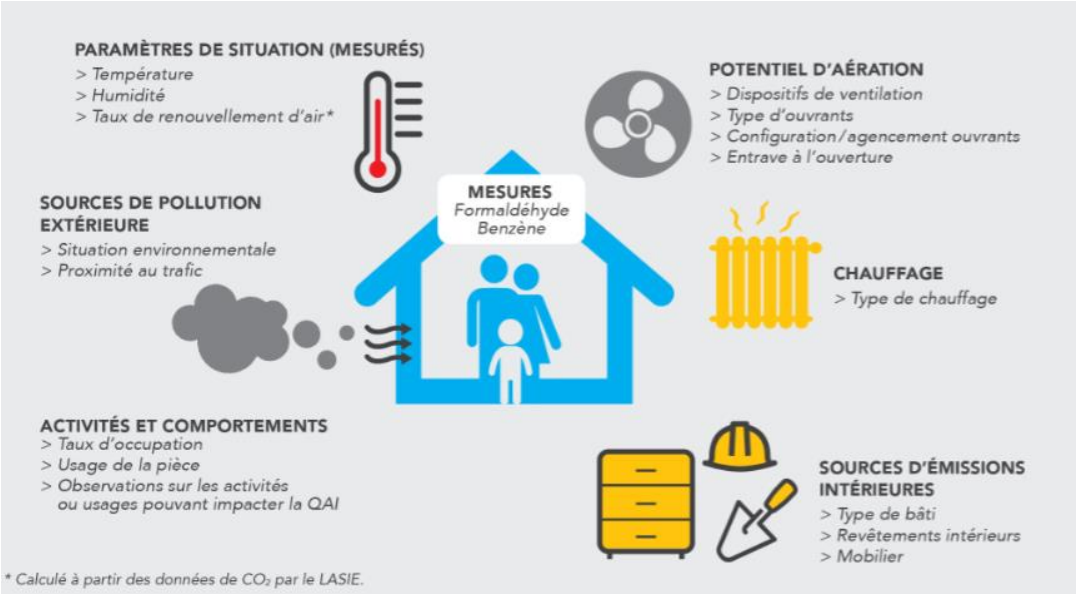


Figure 2 : Schéma récapitulatif des déterminants étudiés dans IMPACTAIR

Pour collecter les informations correspondantes, plusieurs sources ont été mobilisées :

- **Données recherchées auprès des services de la Ville et partenaires du projet** :
  - Service Cartographie, Service Santé Publique, Communauté d'agglomération de La Rochelle, ATMO Poitou-Charentes : cartes de situation des établissements, plan de prévention du bruit dans l'environnement (PPBE), cartographie du bruit de la communauté d'agglomération de La Rochelle, données de pollution atmosphérique
  - Service des écoles, directeurs d'établissements, concierges des écoles, archives de la ville : année et type de construction, travaux importants, plans des établissements, usage de la pièce, effectifs des classes et crèches
  - Service de gestion technique du patrimoine bâti : données sur les installations de chauffage et ventilation
  - Service de la commande publique de la Ville et Service Petite Enfance : mobilier et fournitures

- **Données observées sur le terrain** : des visites d'établissements ont été réalisées entre mars et juin 2015, en privilégiant les visites en dehors de la présence des enfants pour ne pas perturber la classe ou les activités. Pour chaque pièce instrumentée, les observations ont porté sur :
    - Configuration de la pièce
    - Orientation de la pièce, configuration des ouvrants, facilité d'ouverture, encombrement, protections solaires
    - Observation du système de ventilation le cas échéant
    - Revêtements sols, murs, plafond : type, état, présence de moisissures
    - Mobilier et matériel pédagogique : état, quantité (approche qualitative)

1.2.1 Les sources d'émissions extérieures

De nombreuses publications démontrent l'influence de pollutions extérieures et notamment la pollution liée au trafic routier, sur les concentrations en polluants relevées dans l'air intérieur. Notons par exemple les travaux de l'Ineris et du Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air (Chiappini, 2010). Le guide pratique pour une meilleure qualité de l'air dans les lieux accueillant des enfants, publié par le Ministère de l'écologie, du Développement durable et de l'Energie invite également à établir un diagnostic de la situation environnementale de l'établissement afin de recenser les sources potentielles de pollution. Nous avons donc pris en compte les éléments suivants :

- La situation géographique et environnementale de l'établissement a été étudiée en utilisant l'outil cartographique de la ville et en recherchant la proximité à des installations classées pour la protection de l'environnement ou à des voies de circulation importantes.
- Une typologie a été proposée pour décrire la situation environnementale de l'établissement, essentiellement sur le plan de l'exposition au trafic routier tant sur le plan des polluants atmosphériques que pour les nuisances sonores qu'il peut générer. La cartographie du plan de prévention du bruit dans l'environnement (PPBE) a été utilisée comme proxi de l'intensité du trafic routier : lorsque l'établissement se trouvait à proximité immédiate d'un secteur affecté ou dans une zone avec des niveaux sonores LDEN (24h) >75 dB(A), l'établissement était marqué dans la catégorie « voie fréquentée ». 5 profils ont été proposés : centre-ville, centre-ville voie fréquentée, zone périurbaine calme, zone périurbaine voie fréquentée, zone portuaire

Ces données ont été utilisées pour faire un état des lieux des établissements situés dans des zones à risque sur le plan de la qualité de l'air. En revanche aucun de ces paramètres n'a finalement été retenu dans le cadre de l'analyse croisée, en raison de problèmes de comparabilité des mesures de Benzène réalisés par les deux organismes APAVE et ATMO Poitou-Charentes (voir 3.2)

1.2.2 Les paramètres physiques qui peuvent influencer les émissions

La chaleur et l'humidité ont une influence directe sur les émissions de formaldéhyde par l'intermédiaire de phénomènes physico-chimiques tels que l'hydrolyse des colles à base d'urée formol. Plusieurs études ont démontré que l'augmentation de l'humidité ou de la température contribuait à une augmentation dans les facteurs d'émissions de formaldéhyde (Srinandini, 2011). Une autre étude récente a également démontré l'influence combinée de la

température et de l'hygrométrie sur les émissions de formaldéhyde d'un panneau en bois aggloméré (Weihui et al. 2016).
Les paramètres intérieurs et extérieurs qui influencent la température et l'humidité sont donc des facteurs importants de la qualité de l'air intérieur. Les phénomènes de tirage thermique ou l'influence du vent sur un bâtiment participent également à la circulation de l'air et donc à la dispersion des polluants. Le projet INCITAIR porté par le LaSIE/Tipee de l'Université de La Rochelle a déjà montré que les taux de renouvellement d'air que l'on cherche à calculer pour approcher la perméabilité à l'air du bâti sont fortement dépendants des conditions climatiques et de l'orientation du bâtiment (Blondeau, Nicolle, 2015). Tous ces paramètres interagissent de manière complexe et ne peuvent à eux seuls expliquer les concentrations en polluants dans l'air. Néanmoins, nous avons collecté certains de ces paramètres pour les soumettre à une analyse croisée avec les résultats de concentrations en formaldéhyde :

- ⇨ **Influence des conditions météorologiques** : capturée par les périodes de mesures. Nous avons donné un code aux différentes semaines de mesures réalisées

Code période de mesures	Semaine de mesures hors chauffage	Semaine de mesures en période de chauffage
0	Mesures diverses en 2010, 2011 et 2013 (voir plus haut)	Mesures diverses en 2010, 2011 et 2013 (voir plus haut)
1	22-26 septembre 2014	2-6 février 2015
2	8-12 juin 2015	24-28 novembre 2014
3	29 septembre au 3 octobre 2014	9-13 février 2015
4	6-10 octobre 2014	9-13 mars 2015
5	7-11 septembre 2014	16-20 mars 2015
6	14-18 septembre 2014	23-27 mars 2015
7		30 mars 3 avril 2015
8	27 au 31 juillet 2015	

Tableau 2 : Semaines de mesures de surveillance de la QAI

- ⇨ **Orientation de la façade vitrée principale de la pièce** : Nord/Sud/Est/Ouest

- ⇨ **Température moyenne** : exprimée en °C. Calculée à partir des données de températures collectées pendant une semaine lors de la phase de chauffage

- ⇨ **Ecart-type de température** : exprimé en %. Calculé à partir des données de températures collectées pendant une semaine lors de la phase de chauffage

- ⇨ **Taux d'humidité moyen** : exprimé en %. Calculé à partir des données d'hygrométrie collectées pendant une semaine lors de la phase de chauffage

- ⇨ **Ecart-type d'hygrométrie** : exprimé en %. Calculé à partir des données d'hygrométrie collectées pendant une semaine lors de la phase de chauffage

- ⇨ **Taux de renouvellement d'air (TRA)** : exprimé en vol.h^{-1}. Le TRA a été calculé pour chaque pièce instrumentée à partir des données de la teneur CO2 mesurées en période de chauffage et qui correspondent aux périodes d'absence des occupants (nuit). La méthodologie de calcul de cet indicateur a été proposée par le LaSIE et fait intervenir l'utilisation d'une courbe de régression et un calcul logarithmique. Cette variable correspond à une évaluation théorique de la perméabilité à l'air du bâti (voir Annexe 1).

- ⇨ **Présence d'un système de chauffage par le sol** : Oui/Non

1.2.3 Potentiel d'aération

Les publications sur la QAI font régulièrement référence à l'importance de bien aérer et ventiler les pièces, tant pour évacuer les polluants que pour renouveler l'air. Une étude récente réalisée dans des écoles en France a montré l'influence de l'aération sur la qualité de l'air intérieur (COV, PM, CO2) en fonction de la source de polluants et des activités pratiquées lorsque les sources étaient internes (Canha et. al., 2015). L'Anses souligne dans un avis les effets possibles sur la santé d'une accumulation du CO2 dans l'air intérieur (Anses, 2013).

S'appuyant sur les principes d'observation mis en avant dans différents guides (notamment le guide pratique pour une meilleure qualité de l'air dans les lieux accueillant des enfants), une inspection des dispositifs d'aération, de ventilation, état d'empoussièrement et de fonctionnement du système de ventilation mécanique lorsqu'il y en avait un, a été réalisée dans chaque pièce instrumentée. Enfin, à titre d'information, la manœuvrabilité des ouvrants, l'entrave à l'ouverture ou les freins à l'aération liés au bruit extérieur ou d'autres paramètres (sécurité des enfants) ont été notés en vue d'apporter des recommandations personnalisées aux usagers.

Pour l'analyse croisée, deux critères concernant l'aération ont été retenus et synthétisés :

- **La stratégie d'aération de la pièce** : aération classique par ouverture des fenêtres ou aération classique avec système de ventilation mécanique

Notons que la majorité des établissements rochelais ne sont pas équipés de dispositif de ventilation mécanique à l'exception de quelques crèches et cas particuliers pour les écoles élémentaires et maternelles. L'école élémentaire équipée a fait l'objet d'une rénovation complète comprenant l'installation d'un dispositif de ventilation mécanique générale au bâtiment. Aucune maternelle n'est équipée de ventilation mécanique à l'exception d'un dortoir instrumenté. Les crèches sont installées dans des bâtiments parfois plus récents ce qui explique aussi les différences dans les dispositifs d'aération.

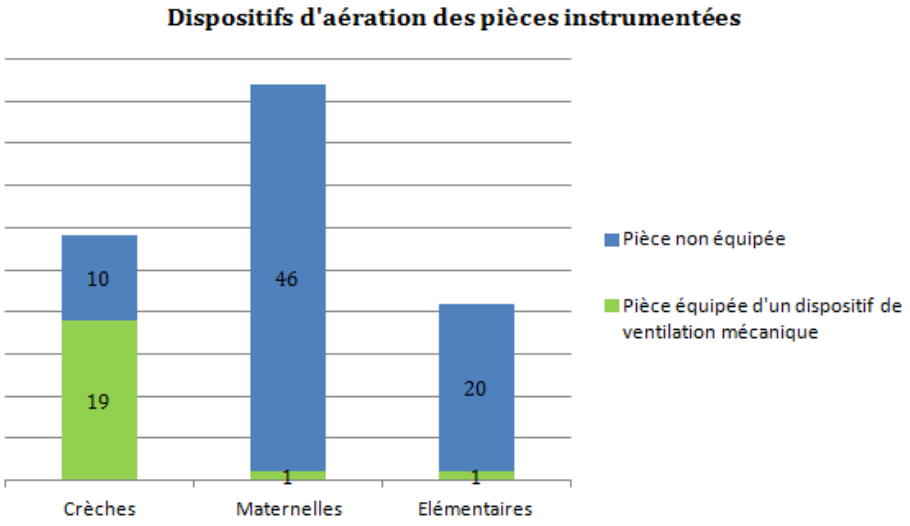


Figure 3 : Données de ventilation / aération par type d'établissement à La Rochelle

- **La configuration de la pièce pour l'aération** : Les visites dans les établissements de la ville ont permis de souligner les différences de configuration des pièces vis-à-vis des couloirs et fenêtres. L'hypothèse sous-jacente était d'étudier les corrélations entre la typologie d'agencement des pièces d'une part et l'indice de confinement et le taux de renouvellement d'air d'autre part. Les typologies proposées s'appuient sur l'observation des pièces et les plans des établissements.

  ⇨ 6 typologies différentes ont été définies :

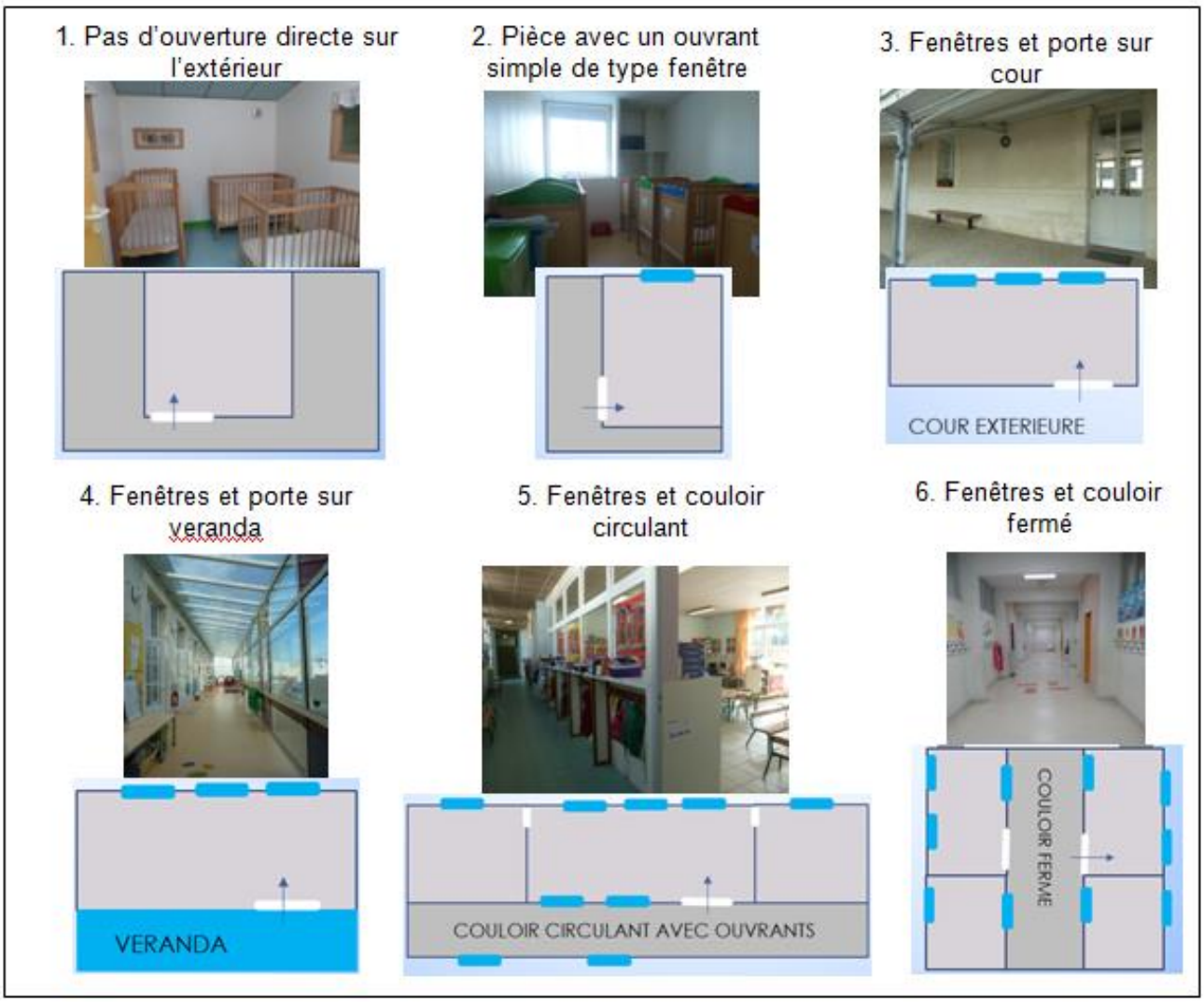


Figure 4 : Configuration de la pièce vis-à-vis de l'aération (typologie)

1.2.4 Sources de polluants intérieurs

- **Enveloppe bâtie** : Pour chaque établissement, l'année de construction, le type de construction, les travaux de rénovation (réhabilitations, travaux d'isolation, changement de revêtements, peintures récentes), les plans du bâtiment, ont été recherchés. Le Service des écoles de la Ville dispose de certaines de ces informations. En complément, les diagnostics amiante[1] ont également été consultés.

[1] Les diagnostics amiante ont simplement été consultés à titre indicatif, pour une vision générale de la situation de l'établissement, y compris ses contraintes techniques. L'utilisation de colles amiante peut-

Face à la multitude de ces données, nous avons fait des choix. Nous proposons une année de référence pour le bâti pour chaque pièce instrumentée. La logique retenue est la suivante :

- ⇨ **Année de référence du bâti** : cette variable correspond à l'année de pose de la première pierre si aucune transformation majeure n'est intervenue pouvant impacter la qualité de l'air intérieur. Parmi les travaux et transformations, nous avons fait le choix d'exclure ceux concernant les toitures, enduits de façades et menuiseries. En revanche nous avons cherché à retenir les travaux pouvant impacter positivement ou négativement les sources de polluants : pour chaque pièce nous avons donc pris pour année de référence, l'année des derniers travaux importants (réaménagement complet des classes, changement des sols et du plafond). Dans certains cas, les pièces n'ont fait l'objet que de travaux simples n'impactant que certains postes isolés tels que les menuiseries et les peintures des murs. Ces travaux n'ont pas été retenus. L'arbitrage relève du jugement d'experts en s'appuyant sur les données disponibles. La synthèse de ces informations est présentée en annexe 2.

- **Revêtements intérieurs** : dans chaque pièce, les revêtements intérieurs ont été observés. Les murs n'ont pas été retenus comme paramètre discriminant pour l'analyse croisée du fait d'une trop faible variabilité des phénotypes : dans plus de 95% des cas étudiés, les murs étaient parés d'une fibre de verre peinte, et dans 5% des cas un plâtre peint.

  - ⇨ Pour le sol, 4 catégories ont été retenues : carrelage, parquet, dalles vinyliques armées de fibres amiante ou colle amiante, sol collé plus récent PVC linoléum ou caoutchouc

Carrelage	Parquet	Dalles vinyliques / sol colle amiante	Sol PVC lino caoutchouc plus récent

Figure 5 : type revêtements de sols

  - ⇨ Pour le plafond 4 catégories ont été retenues : plafond suspendu récent, plafond suspendu ancien, béton projeté, plafond-plâtre

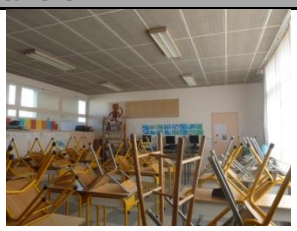
Plafond suspendu récent	Plafond suspendu ancien	Béton projeté	Plafond-plâtre
			

Figure 6 : type de revêtements plafonds

être un indicateur d'une certaine période de construction avec l'utilisation de matériaux, revêtements et colles avec des taux d'émissions supérieurs aux normes plus récentes.

À titre d'observation, l'état des revêtements a été noté, en particulier la présence d'humidité, de moisissures et d'infiltrations sur les murs et les plafonds.

- **Mobilier** : des études indiquent l'influence du mobilier sur les concentrations en formaldéhyde (Donatello, Moons, Wolf, 2015). Sachant que la densité de mobilier dans les salles de classes est parfois très forte, nous avons cherché à observer les différences de situations entre établissements. A chaque visite et pour chaque pièce, le mobilier et le matériel présents dans la pièce ont été observés. Après la première visite et s'appuyant sur les photographies, nous avons proposé de caractériser les différentes densités observées. Le mobilier étant très différent entre une classe de maternelle, une élémentaire ou une crèche, des ajustements ont été réalisés (voir échelle plus bas). L'évaluation de la densité est une appréciation visuelle et qualitative et donc une approximation. Par ailleurs, il convient de souligner que cette densité ne peut pas capturer la diversité de mobilier et donc les variations possibles dans les taux d'émissions de formaldéhyde de chaque type de meuble. Nous avons donc simplement retenu un gradient pour exprimer la densité de mobilier observée dans la pièce, ajustée en fonction du type d'établissement :

    - ⇨ **Densité de mobilier** : densité faible (1), densité moyenne à forte (2), densité forte à très forte (3)

	1	2	3
Crèche			X **Pas de pièce dans cette catégorie**
Maternelle			
Elémentaire	X Pas de classe dans cette catégorie		

Figure 7 : Caractérisation densité de mobilier

1.2.5 Activités et comportements

Dans les premières phases du projet IMPACTAIR, nous avons volontairement concentré l'étude sur des paramètres physiques liés au bâti, au mobilier et à l'environnement. Ces variables contribuent de manière « passive » à la qualité de l'air intérieur en participant au potentiel émissif ou à la concentration/évacuation des polluants. L'action humaine par l'intermédiaire de ses usages, activités et comportements d'aération constitue le versant « actif » de la qualité de l'air intérieur. Des études sur les pratiques de nettoyage des locaux indiquent par exemple que les choix de produits d'entretien peuvent avoir une influence très forte sur les émissions de polluants dans l'air (Wei, 2015). Ces paramètres, n'ont pas été capturés lors des visites de terrain, mais constituent un volet important de la seconde phase du projet IMPACTAIR.

Dans cette première phase nous avons pris en compte les paramètres suivants :

- **Densité d'occupation** : A titre expérimental, nous avons cherché à caractériser la densité d'occupation de la pièce, avec l'objectif d'étudier sa contribution au confinement. Les Services des écoles, de la Petite Enfance et les directeurs d'établissements ont fourni les informations concernant les effectifs dans les pièces (enfants et adultes). Les surfaces et volumes des pièces ont été récupérés ou mesurés lors des visites.

L'OQAI retient 3 catégories de taux d'occupation dans les salles de classes, calculé en fonction des m3 par personne

Taux d'occupation	Fort	Moyen	Faible
m^3 par personne	Moins de 5	Entre 5 et 7	Plus de 7

Figure 8: Catégories de taux d'occupation des salles de classe (Guide d'aération dans les écoles de l'OQAI, 2013)

⇨ Nous avons donc calculé le ratio volume d'air / personne : la variable utilisée dans cette étude est exprimée en m^3/personne

1.3 Méthodologie d'analyse statistique et d'analyse en Composantes Principales (ACP)

Une analyse statistique des résultats de mesures de la qualité de l'air a été réalisée, en opérant des croisements à deux ou trois variables.

Compte tenu de la complexité des variables étudiées dans ce système avec de multiples dimensions qui interagissent entre elles, il a été suggéré de réaliser une Analyse en Composantes Principales (ACP). L'ACP a pour but de « résumer » la variabilité d'un ensemble de variables sur un nombre de composantes le plus petit possible, en déformant le moins possible la réalité. Autrement dit, l'ACP permet de redistribuer la variabilité de cet ensemble sur des nouvelles variables (des variables virtuelles, sans existence réelle) de telle sorte que la première variable (composante) contient un maximum de la variabilité de l'ensemble, que la deuxième contienne un maximum de la variabilité restante etc.
Une fois ces nouvelles variables obtenues, il est possible de calculer la corrélation de chacune des variables de l'ensemble initial avec les nouvelles composantes. Plus une variable est

corrélée à une composante, plus sa variabilité est incluse dans cette composante. Il est possible de représenter graphiquement ces corrélations.

Pour le projet IMPACTAIR, l'ACP s'est appuyée sur les données numériques suivantes :

- Concentrations de formaldéhyde pendant la période de chauffe,
- Concentrations de formaldéhyde pendant la période « hors-chauffe »,
- Taux de variation de formaldéhyde entre les deux périodes (défini comme le rapport de la différence par la moyenne),
- Indice de confinement,
- Température moyenne pendant la période de chauffe,
- Ecart-type de la température pendant la période de chauffe,
- Moyenne hygrométrique pendant la période de chauffe,
- Ecart-type de l'hygrométrie pendant la période de chauffe,
- Calcul du taux de renouvellement d'air moyen (période de chauffe),
- Volume d'air par personne.

2. Résultats des mesures de surveillance et croisements de données

2.1 Analyse descriptive et statistique

L'ensemble des campagnes de mesures de surveillance de la qualité de l'air conduites dans les crèches, maternelles et écoles élémentaires de la Ville depuis 2013 ont été compilées dans une base de données. La concentration des polluants chimiques pouvant varier fortement d'une saison à l'autre, la qualité de l'air a été mesurée sur deux périodes différentes. Ainsi l'échantillon de données comporte :

- 97 mesures de concentrations de benzène hors période de chauffage et 97 en période de chauffage
- 97 mesures de concentrations de formaldéhyde hors période de chauffage et 97 en période de chauffage
- 97 mesures du confinement de l'air

Ces résultats de mesures sont comparés à des valeurs de références telles que définies dans les textes réglementaires. La loi du 1er août 2008 relative à la responsabilité environnementale oblige à définir des « valeurs-guides pour l'air intérieur » (VGAI). Les VGAI définies par l'ANSES pour le benzène et le formaldéhyde correspondent à des cibles sanitaires à atteindre à long terme pour protéger la santé des personnes. Elles sont fondées exclusivement sur des critères sanitaires, à l'exclusion de faisabilité économique et de toutes considérations métrologiques.

Polluant	Valeur limite (valeur d'action rapide	Valeur repère (valeur de gestion à long terme)	Valeur cible (valeur de gestion à long terme)
Benzène	**10 µg/m^3**	**5 µg/m^3** pour une exposition de longue durée à compter du 1er janvier 2013	**2 µg/m^3** pour une exposition de longue durée à compter du 1er janvier 2016
Formaldéhyde	**100 µg/m^3**	**30 µg/m^3** pour une exposition de longue durée à partir du 1er janvier 2015	**10 µg/m^3** pour une exposition de longue durée à compter du 1er janvier 2023
CO_2 (indice de confinement)	**5**	-	-

Tableau 3 : Valeurs de gestion de la qualité de l'air intérieur

2.1.1 Benzène

- **La moyenne des concentrations en benzène** sur les deux périodes de mesures a été calculée pour l'ensemble de l'échantillon des 97 pièces[2]. Au regard des valeurs de gestion de la QAI, 100% de ces valeurs retenues sont inférieures à la valeur cible de 2µg/m^3 qui constitue la VGAI la plus exigeante au regard de ce polluant. Les teneurs enregistrées témoignent donc d'une bonne qualité de l'air vis-à-vis de ce polluant mais il convient de garder à l'esprit que le benzène est une substance classée cancérogène par le Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC) et que l'objectif doit toujours être de réduire les concentrations à un niveau le plus faible possible.

Concentration moyenne en benzène (µg/m^3)	Proportion d'établissements Campagne pilote	Proportion d'établissements La Rochelle
0 à 2	43%	100%
2 à 5	56%	0%
5 à 10	1%	0%
> 10	0,5%	0%

Tableau 4 : Concentrations mesurées en benzène : comparaison des résultats de la campagne pilote de surveillance de la QAI dans les écoles et crèches en France (2009-2011) et les campagnes de La Rochelle (2013-2015)

- En plus des moyennes sur les deux périodes, une analyse plus détaillée des résultats a été conduite. Plusieurs commentaires peuvent être apportés :

  - Les teneurs en benzène mesurées durant la phase hivernale (médiane = 1,1) sont globalement plus élevées que la phase estivale (médiane = 0,4) à l'exception de quelques cas isolés où la tendance est inversée
  - Les concentrations mesurées en extérieur ne sont pas systématiquement supérieures aux teneurs mesurées dans les pièces. A l'exception d'un cas isolé de chaufferie installée en sous-sol d'un bâtiment, aucune source majeure de benzène n'a pu être identifiée dans les établissements et l'hypothèse de sources extérieures avec une accumulation des polluants à l'intérieur des bâtiments semble la plus plausible.
  - Une dizaine d'établissements présentent des teneurs en période hivernale proches ou supérieures à 2µg/m^3. Ces établissements sont situés à proximité de voies de circulation ou parking très fréquentés.
  - Il convient de souligner que des différences importantes ont été repérées entre les concentrations mesurées par l'APAVE et celles mesurées lors des campagnes ATMO Poitou-Charentes. Par ailleurs, en période estivale, les mesures réalisées par l'APAVE sont très proches des limites de quantification. Elles sont aussi quasiment toujours inférieures à celles d'ATMO dans un ordre de grandeur de 1µg/m^3 sur chaque période, à l'exception de quelques cas isolés d'établissements situés en bordure de routes à forte circulation ou d'une source possible d'émissions telle qu'une chaufferie. Des investigations ont été menées pour vérifier la comparabilité des résultats en s'appuyant sur le détail des protocoles, caractéristiques métrologiques et méthodes de calcul. Aucune raison claire n'a pu être identifiée pour expliquer ces différences, en dehors de l'existence de facteurs

[2] Conformément à la réglementation sur la QAI, les moyennes des concentrations sont comparées aux valeurs guides de référence (Décret n°2011-1727 du 2 décembre 2011 relatif aux valeurs-guides pour l'air intérieur pour le formaldéhyde et le benzène

d'incertitude (métrologiques, capteurs, mais aussi météo) pouvant varier de 20 à 60%. Sur des résultats de l'ordre du µg/m^3, les variations observées peuvent-être considérables. Par conséquent, il a été décidé d'exclure le benzène de toute analyse croisée sur l'ensemble de l'échantillon et de n'exploiter ces résultats qu'avec une extrême précaution pour une lecture à l'échelle de l'établissement ou pour des comparaisons intra-organismes (panel de résultats APAVE d'une part et ATMO d'autre part pour des périodes de mesures similaires).

- Remarque : Il nous semble ici essentiel d'exprimer nos interrogations concernant la fiabilité des résultats de surveillance compte tenu des facteurs d'incertitude qui sont apparus. Les campagnes de surveillance représentent un coût important pour une collectivité et ces difficultés à comparer des valeurs qui s'appuient pourtant sur des protocoles et un système d'accréditations bien établis, nous poussent donc à émettre des réserves sur le sens des résultats et l'intérêt d'étendre les mesures de manière systématique à d'autres établissements.

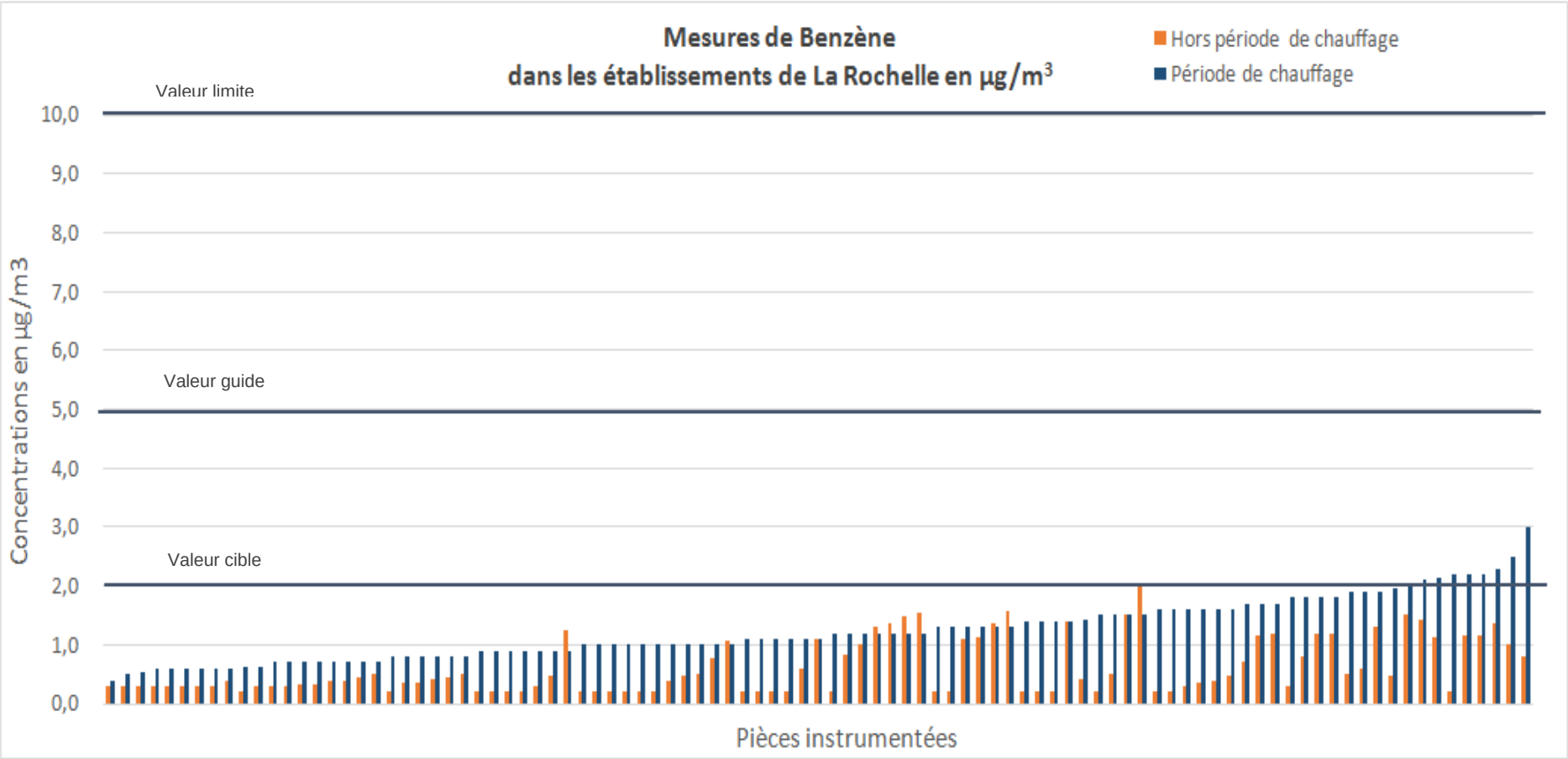


Figure 9 : Teneurs en benzène mesurées dans les crèches, maternelles et écoles élémentaires de La Rochelle (mesures ATMO et APAVE)

2.1.2 Formaldéhyde

- **Résultats globaux**

Les teneurs en formaldéhyde mesurées dans les établissements de La Rochelle sont comparables aux résultats de la campagne pilote nationale. 86% des pièces instrumentées présentent des concentrations moyennes sur les deux périodes inférieures à la valeur guide actuelle de 30 µg/m^3. La proportion de pièces avec des concentrations moyennes comprises entre 30 et 50 µg/m^3 est légèrement plus importante à La Rochelle, de l'ordre de 13 %. La situation est moins favorable dans 1% des cas avec des concentrations supérieures à 50 µg/m^3

Concentration moyenne en formaldéhyde (µg/m^3)	Proportion d'établissements Campagne pilote	Proportion d'établissements La Rochelle
0 à 30	89%	86%
30 à 50	9%	13%
50 à 100	2%	1%
> à 100	0%	0%

Tableau 5 : Concentrations mesurées en formaldéhyde : comparaison des résultats de la campagne pilote de surveillance de la QAI dans les écoles et crèches en France (2009-2011) et les campagnes de La Rochelle (2013-2015)

- **Comparaison entre les deux périodes de mesures**

La comparaison des mesures de formaldéhyde entre les deux périodes donne les résultats suivants :

	Hors période de chauffage	Période de chauffage
Nombre de pièces mesurées	97	97
Min	8,7	4,2
Médiane	23,4	15,8
Max	55,4	48,9
Moyenne	24,6	18,4
Ecart-type	10,1	9,4
80ème percentile	33,4	23
% inférieur à 10µg/m3	1%	14%
% entre 10 et 30 µg/m3	73%	74%
% supérieur à 30 µg/m3	26%	11%

Tableau 6 : Tableau comparatif des résultats de formaldéhyde entre les deux périodes de mesures

On observe que les teneurs enregistrées sont plus importantes en période estivale qu'en période hivernale : la médiane en période estivale est de 23,4 µg/m3 contre 15,8 µg/m3 en période hivernale. Ce résultat correspond aux tendances mises en avant dans la littérature.

En période de chauffage 14% des mesures sont inférieures à la valeur cible de 10µg/m3 contre seulement 1% en période estivale. En période estivale, on retrouve également une plus forte proportion de concentrations élevées avec 26% de mesures supérieures à la valeur guide contre 11% en période de chauffage.

Le 80ème percentile signifie que 20% des valeurs mesurées en période estivale sont supérieures à 33,4µg/m^3 et supérieures à 23µg/m^3 en période de chauffage.

- **Analyse par type d'établissement**

L'analyse des résultats par type d'établissements fait apparaître des résultats contrastés et globalement plus favorables dans les crèches que dans les écoles élémentaires et les maternelles. Ainsi les médianes des concentrations pour les trois types d'établissements sont les suivantes :

Médianes des concentrations	Hors période de chauffage	Période de chauffage
Crèches	15,1	16,6
Maternelles	25,3	15,3
Ecoles élémentaires	23,8	21,8

Tableau 7 : Médianes des concentrations par type d'établissement

On observe que dans les crèches, la tendance mise en avant au paragraphe précédent sur les concentrations plus élevées en période estivale qu'en période de chauffage n'est pas vérifiée : les médianes calculées sur les deux périodes sont du même ordre et même légèrement supérieures en période de chauffage. Dans les écoles élémentaires, l'écart entre les deux périodes n'est pas aussi marqué que dans les maternelles.

- **Résultats de formaldéhyde rapportés aux VGAI**

Pour chaque typologie d'établissements, les résultats ont ensuite été rapportés aux VGAI. Les profils de résultats diffèrent pour chaque catégorie, avec une variation en termes de médiane, mais aussi en termes de distribution des résultats par rapport aux seuils et VGAI.

  - Période de chauffage : les crèches et les maternelles présentent un profil similaire en termes de médianes et de concentrations minimum et maximum. La médiane dans les écoles élémentaires est plus forte que dans les crèches et les maternelles. Par ailleurs dans les crèches et les élémentaires on observe une proportion plus importante de concentrations supérieures à 30µg/m^3.
  - Hors période de chauffage : comme évoqué plus haut, les médianes dans les maternelles et les élémentaires sont moins favorables en période estivale. Elle est légèrement meilleure dans les crèches en période estivale qu'en période hivernale. Dans les crèches seulement 10% des résultats sont supérieurs à 30 µg/m^3 contre plus de 30% dans les maternelles et les élémentaires.

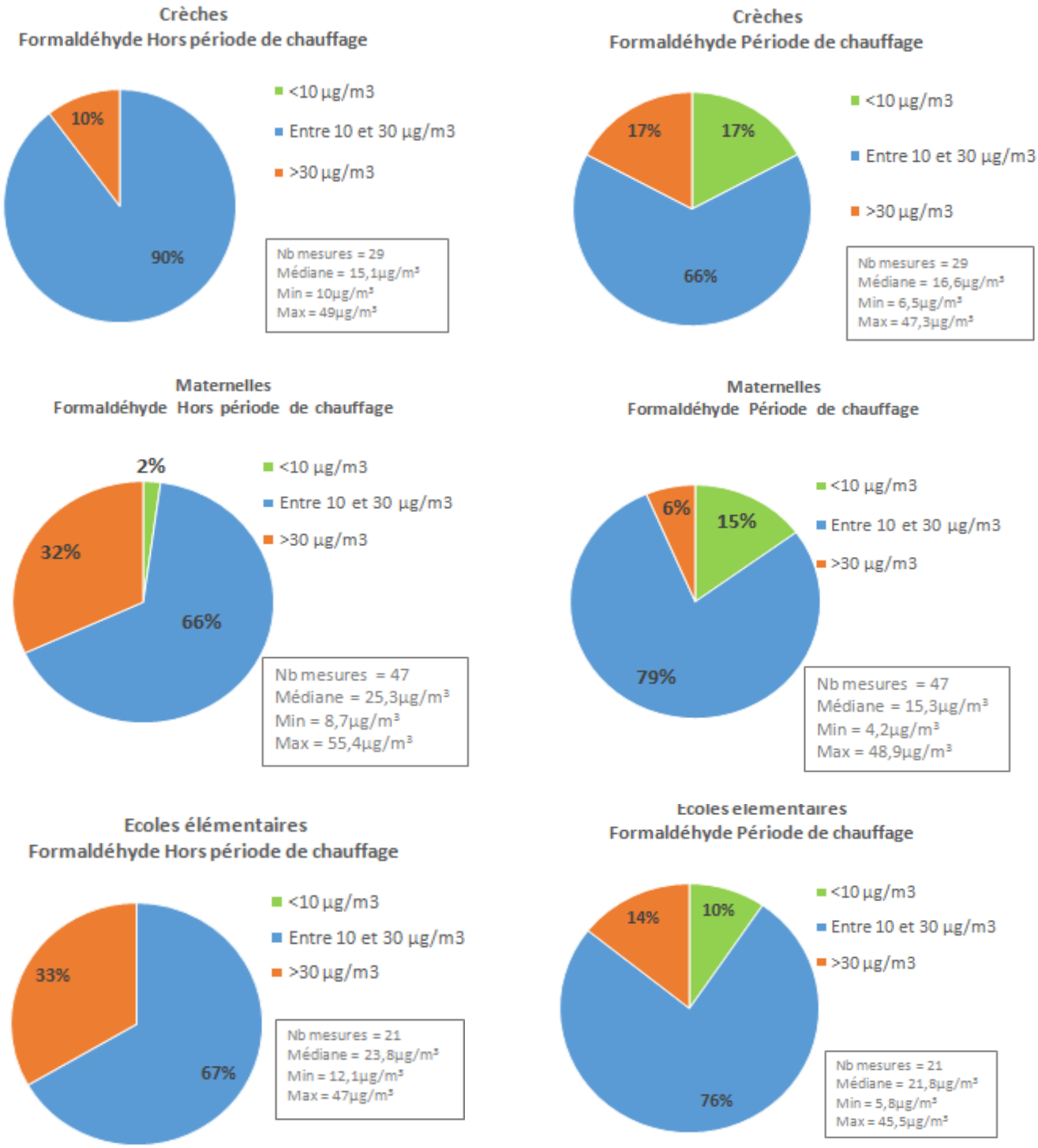
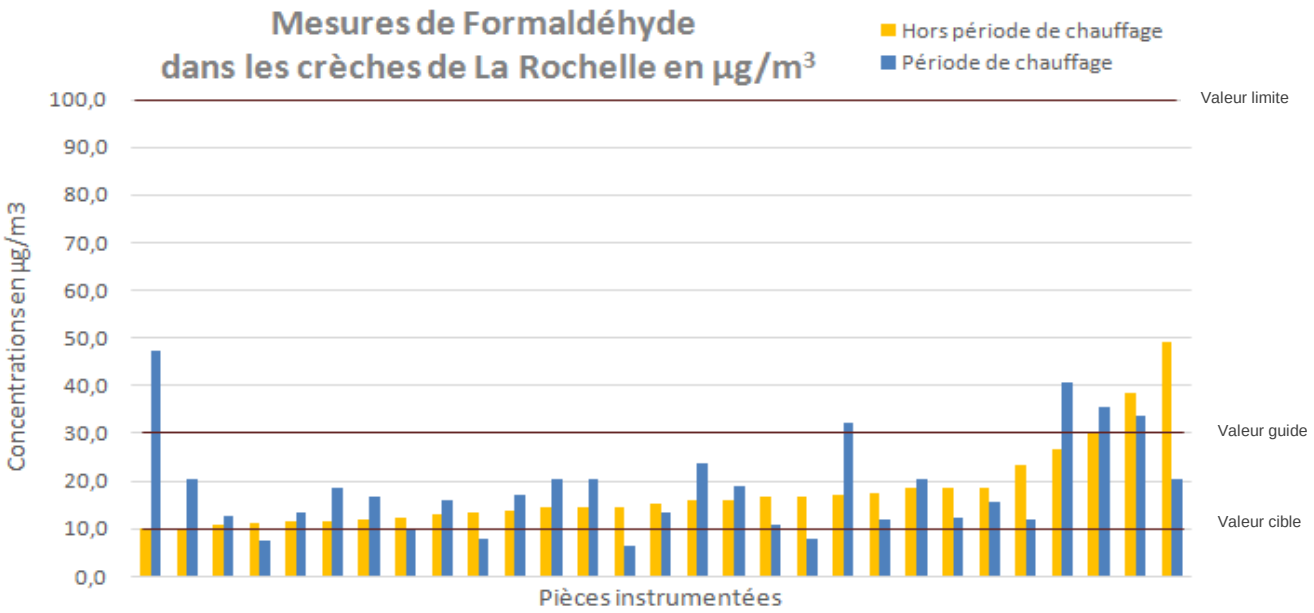


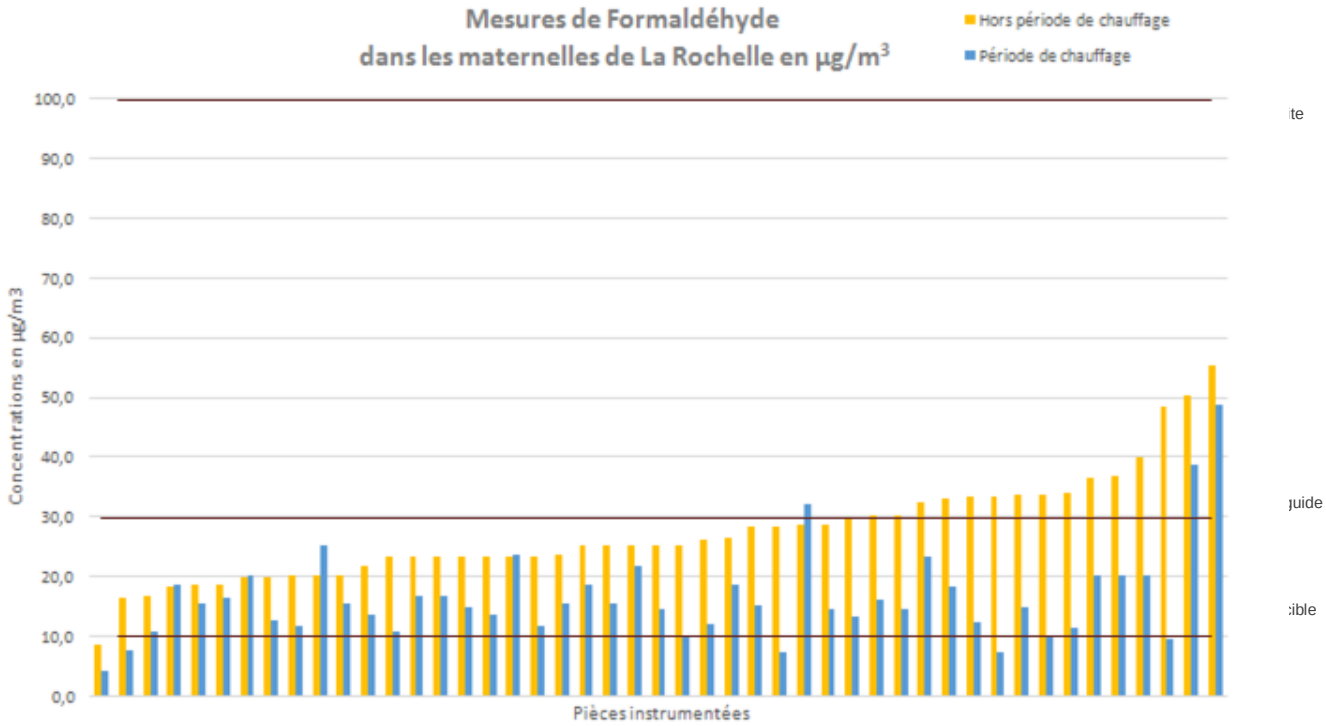
Figure 10 : Comparaison des résultats en Formaldéhyde dans les crèches, maternelles et élémentaires : repères sur les deux périodes de mesures par rapport aux VGAI

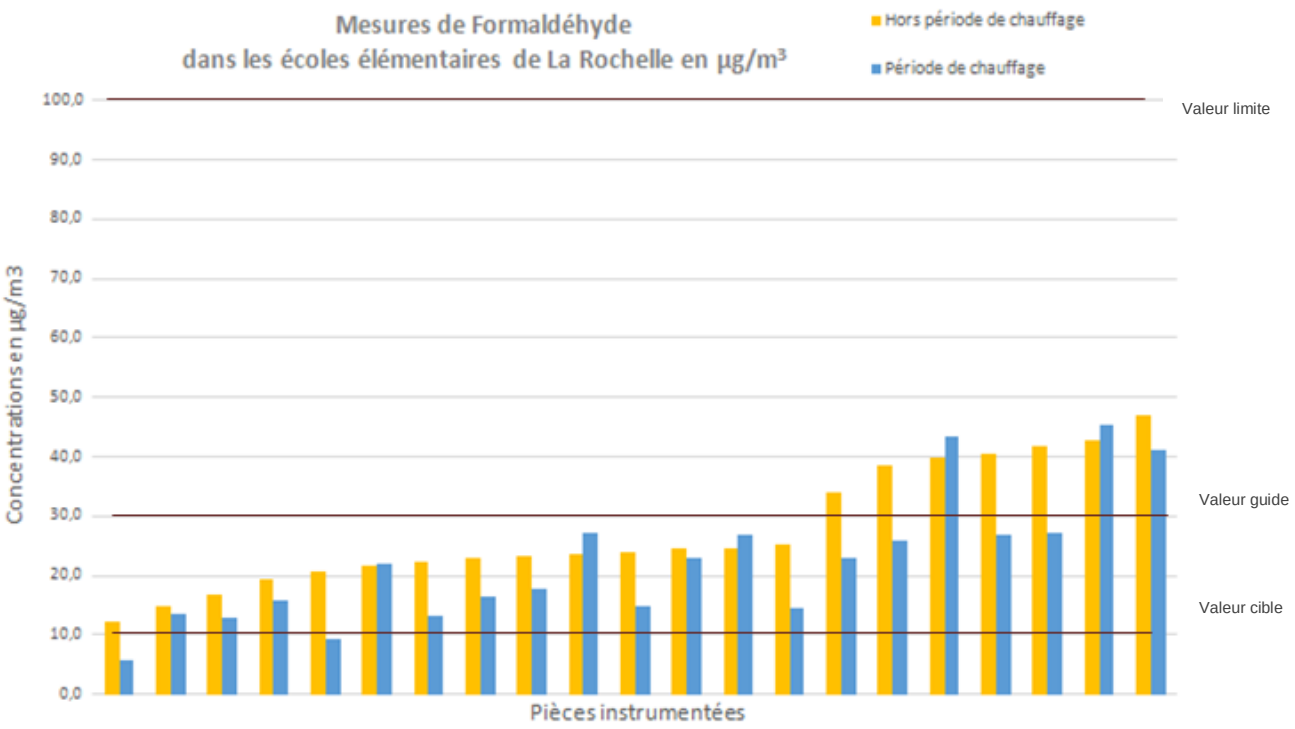
- **Résultats de formaldéhyde par pièces**

Une observation des résultats par pièces pour les trois catégories d'établissements permet de souligner l'existence de disparités entre établissements.

Figure 11 : Mesures de formaldéhyde Chauffe/hors Chauffe dans les pièces instrumentées à La Rochelle. Lecture par type d'établissements







- **Résultats par groupes scolaires**

Les regroupements par groupes scolaires font apparaître quelques établissements avec des résultats assez homogènes entre toutes les pièces (teneurs élevées ou basses), ce qui peut conduire à l'hypothèse d'une source commune liée au bâti. Cependant, cette tendance n'est pas vérifiée pour tous les établissements, et on observe des différences parfois importantes entre les pièces d'un même groupe. A noter que les travaux de réhabilitations n'ont pas nécessairement été réalisés dans toutes les pièces en même temps et avec les mêmes matériaux. Par conséquent, aucune conclusion ne peut être apportée pour ces établissements à ce stade de l'analyse.

La figure ci-dessous présente les résultats de mesures sur les deux périodes réunies par groupe scolaires. Les pièces sont identifiées par un code constitué des éléments suivants :

- Numéro patrimoine (groupe scolaire)
- Lettre E pour élémentaire M pour maternelle
- Numéro de groupe représentatif (réglementation mesures QAI)
- Numéro pièce instrumentée

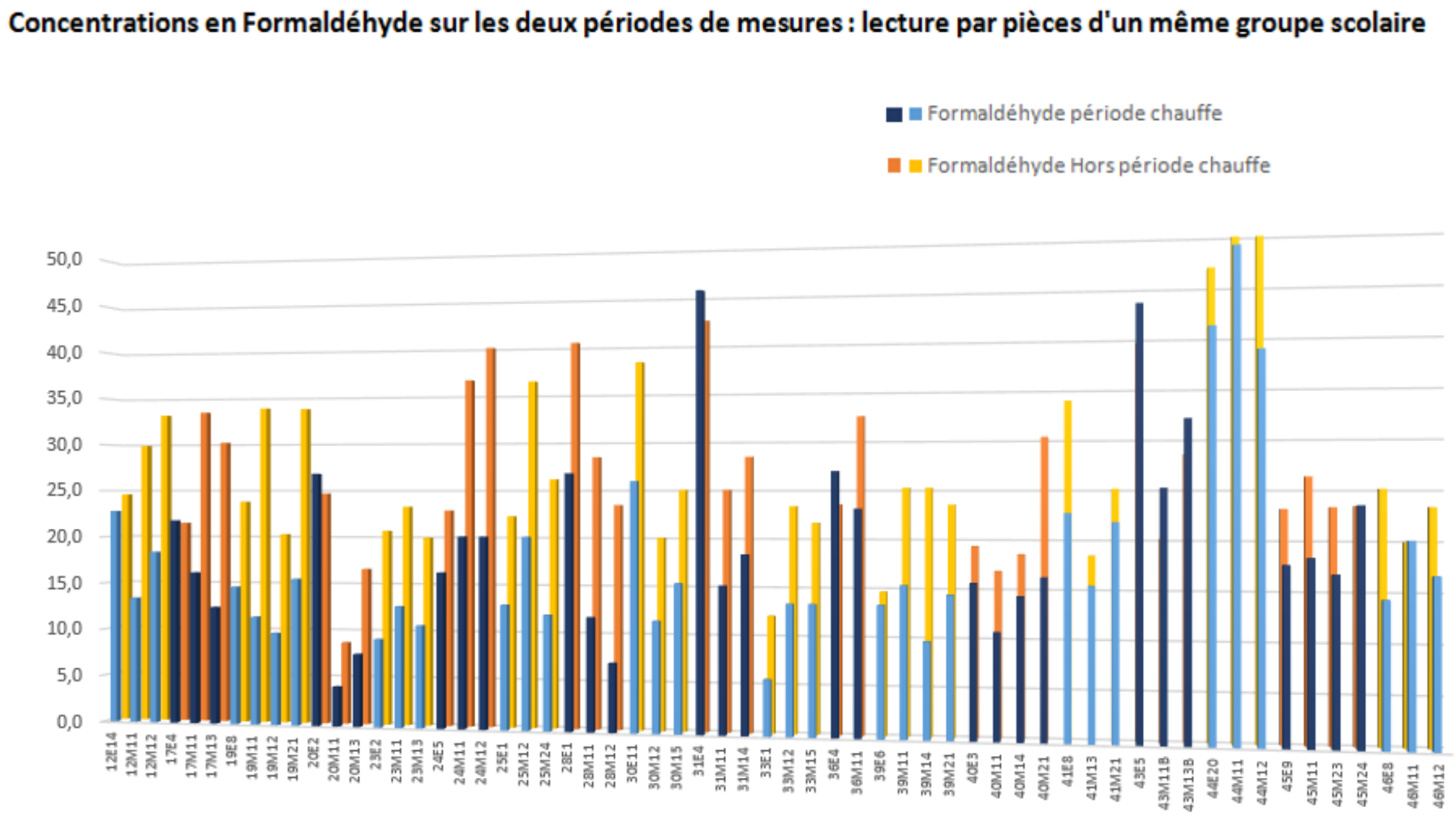
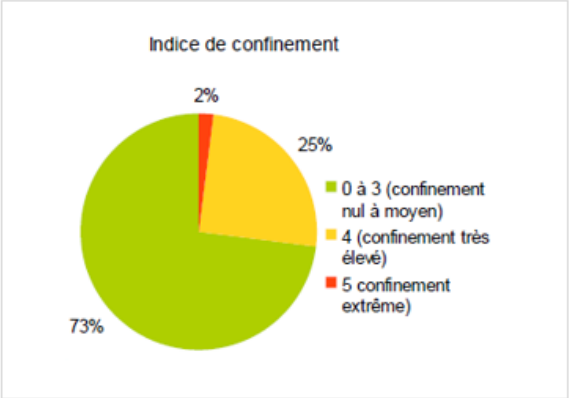


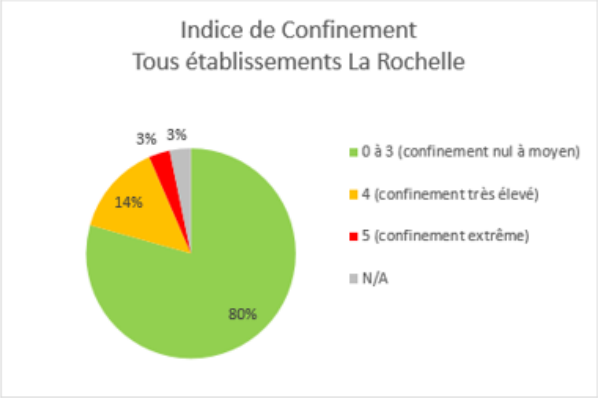
Figure 12 : Résultats formaldéhyde par groupes scolaires

2.1.3 Indice de confinement

- Les résultats pour l'indice de confinement dans les pièces instrumentées à La Rochelle sont comparables à ceux relevés lors de la campagne pilote nationale



Campagne Pilote 2009-2011



Données compilées La Rochelle
(Campagne 2014-2015 et mesures exploratoires depuis 2013)

Figure 13 : Comparaison Indice de Confinement à La Rochelle et Campagne Pilote 2009-2011

- Une lecture plus fine des résultats pour le confinement fait apparaître des situations relativement contrastées. Les situations de confinement élevé ou extrême semblent avoir été relevées plutôt dans les cas suivants :
  - les crèches où les opportunités d'aération sont moins évidentes (dortoirs)
  - les écoles élémentaires et maternelles ayant fait l'objet de travaux d'isolation

  Une analyse approfondie serait nécessaire pour identifier les facteurs explicatifs de ces résultats (étanchéité à l'air du bâti, pratiques d'aération, etc.) mais les mesures soulignent la disparité des situations au sein du parc de bâtiments.

2.2 Proposition d'analyse des résultats sur le plan des inégalités sociales

L'appel à projets AACT-AIR mené par l'ADEME a pour objectif d'aider les collectivités territoriales et locales à mettre en œuvre des actions d'amélioration de la qualité de l'air extérieur et intérieur. L'édition 2014 précise que ces actions doivent être efficaces mais également socialement équitables. Cette orientation a également été renforcée avec l'édition 2015 qui propose de porter **« une attention toute particulière sur […] l'équité sociale de ces actions »**[3]**.**

Lauréate de l'édition AACT-AIR 2014 et soucieuse de réduire les inégalités sociales sur son territoire, la Ville de La Rochelle a proposé de rechercher les possibilités d'inscrire cette ambition dans le projet.

Dans ce contexte, il a été proposé de croiser les résultats de la surveillance de la qualité de l'air avec des critères sociaux pertinents. Les réflexions ont conduit à repérer les zones urbaines sensibles (ZUS) ainsi que les zones d'éducation prioritaires (ZEP) devenues réseau d'éducation prioritaire (REP) et de repérer les établissements appartenant à une ou plusieurs de ces zones ou listes. Nous avons ensuite mis un critère « vigilance situation ZUS ou éducation prioritaire » pour chaque établissement.

[3] ADEME, 2015, AACT-AIR Aide à l'action des collectivités territoriales et locales en faveur de l'air, Edition 2015

Suite aux croisements entre ce critère et les concentrations en formaldéhyde, on peut faire les commentaires suivants :

- 41 pièces instrumentées se situent dans des établissements relevant de la politique de géographie ou d'éducation prioritaire (groupe1), 56 pièces instrumentées sont situées dans des établissements en dehors de ces zones prioritaires (groupe 2)

- La médiane des concentrations en formaldéhyde est de 21,8 µg/m^3 pour le groupe 1 et 19,4 µg/m^3 pour le groupe 2

- Une plus forte proportion d'établissements du groupe 1 présente des concentrations supérieures à 30 µg/m^3 (27% contre seulement 5% dans le groupe 2). Les effectifs des deux groupes ne sont pas identiques, mais il semble néanmoins qu'un nombre important des situations les plus défavorables aient été relevées dans des établissements appartenant au groupe 1. Les recherches ont permis d'identifier en particulier sept établissements dans ce groupe avec des concentrations relativement élevées, supérieures à 30µg/m^3. Dans le groupe 2, les concentrations maximales sont moins fortes, à l'exception de 5 pièces réparties dans 3 établissements différents qui présentent des concentrations proches ou supérieures à 30 µg/m^3

- Dans le même temps, des résultats proches ou inférieurs à 10 µg/m^3 ont également été relevés dans plusieurs établissements à la fois dans le groupe 1 et dans le groupe 2. On notera que les établissements concernés par ces valeurs encourageantes ont été entièrement rénovés avec des ambitions sur le plan environnemental avec un suivi des exigences Haute Qualité Environnementale (HQE©) ou une attention particulière portée aux matériaux et revêtements utilisés. Par exemple, les valeurs les plus basses toutes pièces et tous établissements confondus correspondent aux pièces d'une école maternelle entièrement rénovée suite à la tempête Xynthia survenue en 2010 (groupe 1).

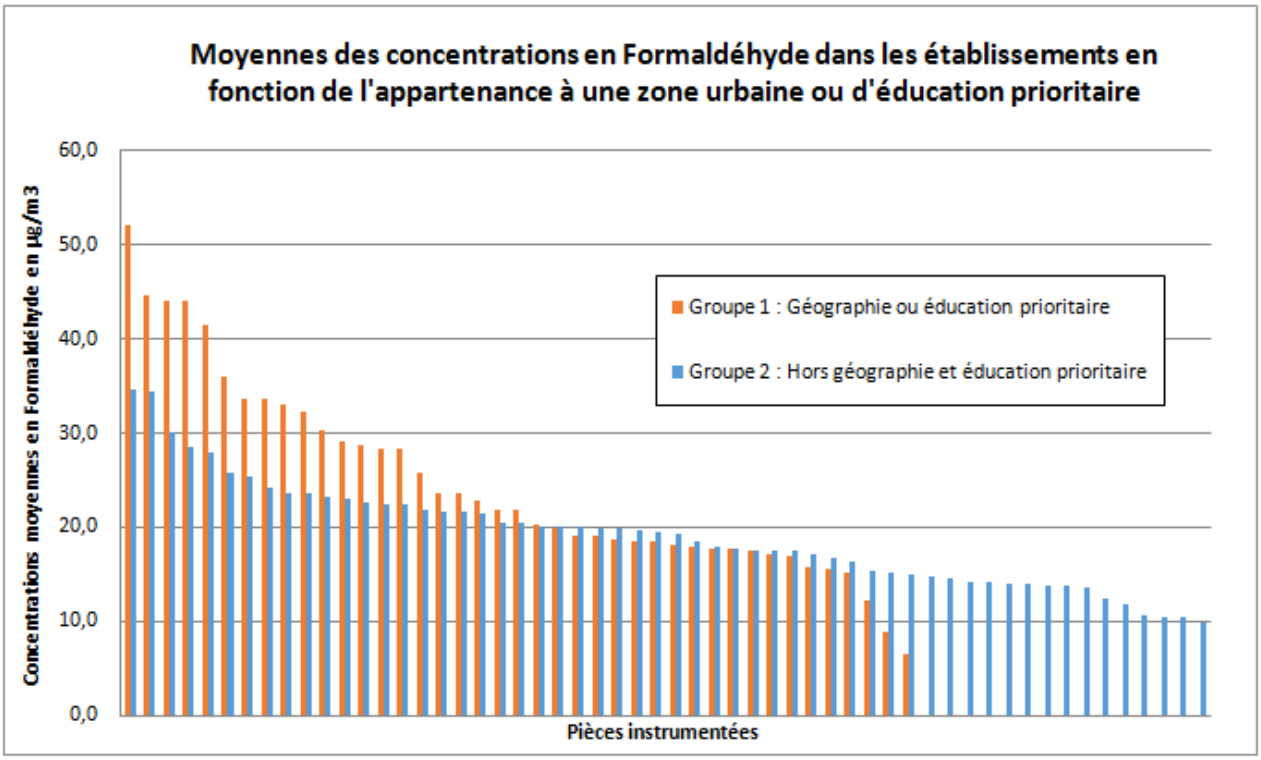
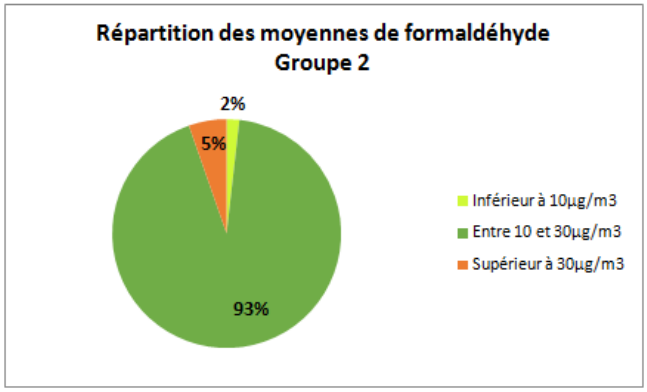


Figure 14 : Résultats mesures de formaldéhyde selon l'appartenance à une zone urbaine sensible ou établissement d'éducation prioritaire



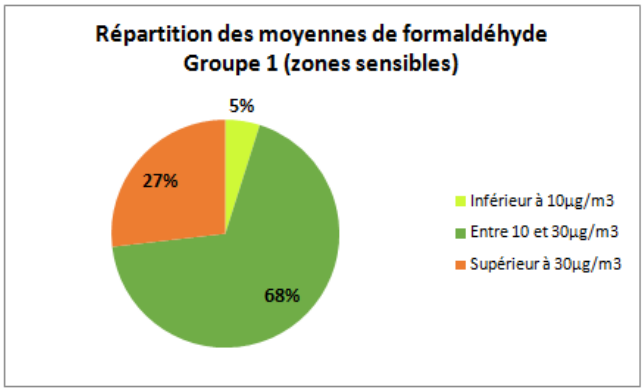


Figure 15 : Résultats mesures de formaldéhyde selon l'appartenance à une zone urbaine sensible ou établissement d'éducation prioritaire

Nous ne sommes pas parvenus à identifier de dénominateurs communs aux établissements du groupe 1 pouvant constituer une explication plausible aux résultats moins favorables. Des investigations complémentaires devraient être conduite mais nous faisons toutefois l'observation que les établissements concernés sont des bâtiments construits dans les années 1970. Même si la plus grande prudence doit être observée, ces résultats donnent des pistes d'orientation pour les actions de la collectivité :

- En termes d'efficacité et d'équité sociale, il nous semble pertinent de conduire des actions en priorité sur ces établissements du groupe 1 dont les valeurs moyennes en formaldéhyde sont proches ou supérieures à 30µg/m3
- Il conviendra néanmoins de porter une attention aux établissements du groupe 2 qui présentent des concentrations autour de 30µg/m3
- Des résultats très encourageants inférieurs à la valeur cible de 10µg/m3 en moyenne ont été observés dans des établissements où des travaux de rénovation importants ont été conduits. Il semble pertinent de rechercher dans les critères retenus pour les travaux, les facteurs éventuels qui pourraient avoir joué dans ces résultats positifs.

Les établissements du groupe 1 où des concentrations de formaldéhyde plus élevées ont été repérées sont situés dans deux secteurs de la Ville, les quartiers de Mireuil et Villeneuve. Bien qu'une source extérieure soit peu probablement à l'origine de concentrations élevées en air intérieur, nous avons réalisé des mesures complémentaires en période de chauffage pour écarter l'hypothèse d'une contribution liée à des installations de type chaufferie dans ces secteurs. Les mesures intérieures/extérieures réalisées pendant les vacances de Noël 2015 permettent de tirer les conclusions suivantes :

- ➔ ces mesures confirment que les concentrations de formaldéhyde sont importantes dans ces établissements, et les proportions semblent similaires
- ➔ des taux assez préoccupants sont observés à Lavoisier et à la crèche Pôle du Lac
- ➔ ces concentrations ne peuvent pas être liées à une activité car elles ont été réalisées pendant les vacances scolaires
- ➔ ces mesures permettent d'exclure l'existence d'une source extérieure
- ➔ ces résultats orientent vers l'hypothèse d'un niveau de fond, a priori lié plutôt au bâti et aux matériaux de construction

Etablissements	*Mesure de vérification décembre 2015*	*Période de chauffage*	*Hors chauffage*
Villeneuve - Ecole Barthelemy Profit (CM1-CM2) Villeneuve - Ecole Barthelemy Profit Extérieur	**20,22** 1,43	**22,8**	**34**
Villeneuve – Ecole Lavoisier (classe 1 MS-GS) Villeneuve – Ecole Lavoisier Extérieur	**52,30** 1,71	**48,9**	**55,4**
Villeneuve – Ecole Condorcet (classe 3 GS) Villeneuve – Ecole Condorcet Extérieur	**40,54** 1,38	**32,1**	**28,6**
Villeneuve – Crèche Pôle du Lac (salle d'activité) Villeneuve – Crèche Pôle du Lac Extérieur	**61,87** 1,28	**35,6**	**30,4**
Mireuil – Crèche des Petits Futés (salle d'activité) Mireuil – Crèche des Petits Futés Extérieur	**39,48** 1,87	**40,5**	**26,8**

Figure 16 : Vérification des concentrations en formaldéhyde intérieur/extérieur dans certains établissements de Mireuil et de Villeneuve-les-Salines

2.3 Analyse en Composantes Principales

2.3.1 Variables utilisées et lecture graphique des résultats

Selon la méthodologie et les variables présentés dans la section 1.3 de ce rapport, une analyse en composantes principales a été menée.

Le graphique de la page suivante représente les corrélations des variables initiales avec les deux premières composantes d'une ACP réalisée sur l'ensemble.

La première composante est représentée sur l'axe des abscisses (x), la deuxième sur l'axe des ordonnées (y). Les pourcentages indiqués dans les marges renseignent sur la part de la variabilité totale absorbée par la composante en question. Cette information ne sera pas utile pour la suite.

Dans ce graphique, les coordonnées de chaque variable initiale correspondent à la corrélation de cette variable avec les deux premières composantes de l'ACP. Par exemple le formaldéhyde en période de chauffe a une corrélation de 0,69 avec la première composante et de 0,63 avec la deuxième ; ses coordonnées dans le graphique sont donc (0,69 ; 0,63). Les quelques éléments suivants permettent de lire le graphique :

- Plus une variable est proche du cercle unité (cercle tracé sur le graphique), plus sa variabilité est expliquée par les composantes utilisées pour les axes.
- Plus une variable est proche du centre du graphique, moins sa variabilité est expliquée par les composantes utilisées pour les axes, et moins il est possible de tirer des informations sur cette variable.
- Deux variables fortement corrélées entre elles apparaîtront proches l'une de l'autre sur le graphique.
- Deux variables fortement anti-corrélées entre elles apparaîtront à l'opposé l'une de l'autre sur le graphique.
- Deux variables sans liens (dont la corrélation s'approche de zéro) apparaîtront perpendiculairement sur le graphique.

2.3.2 Analyse des corrélations

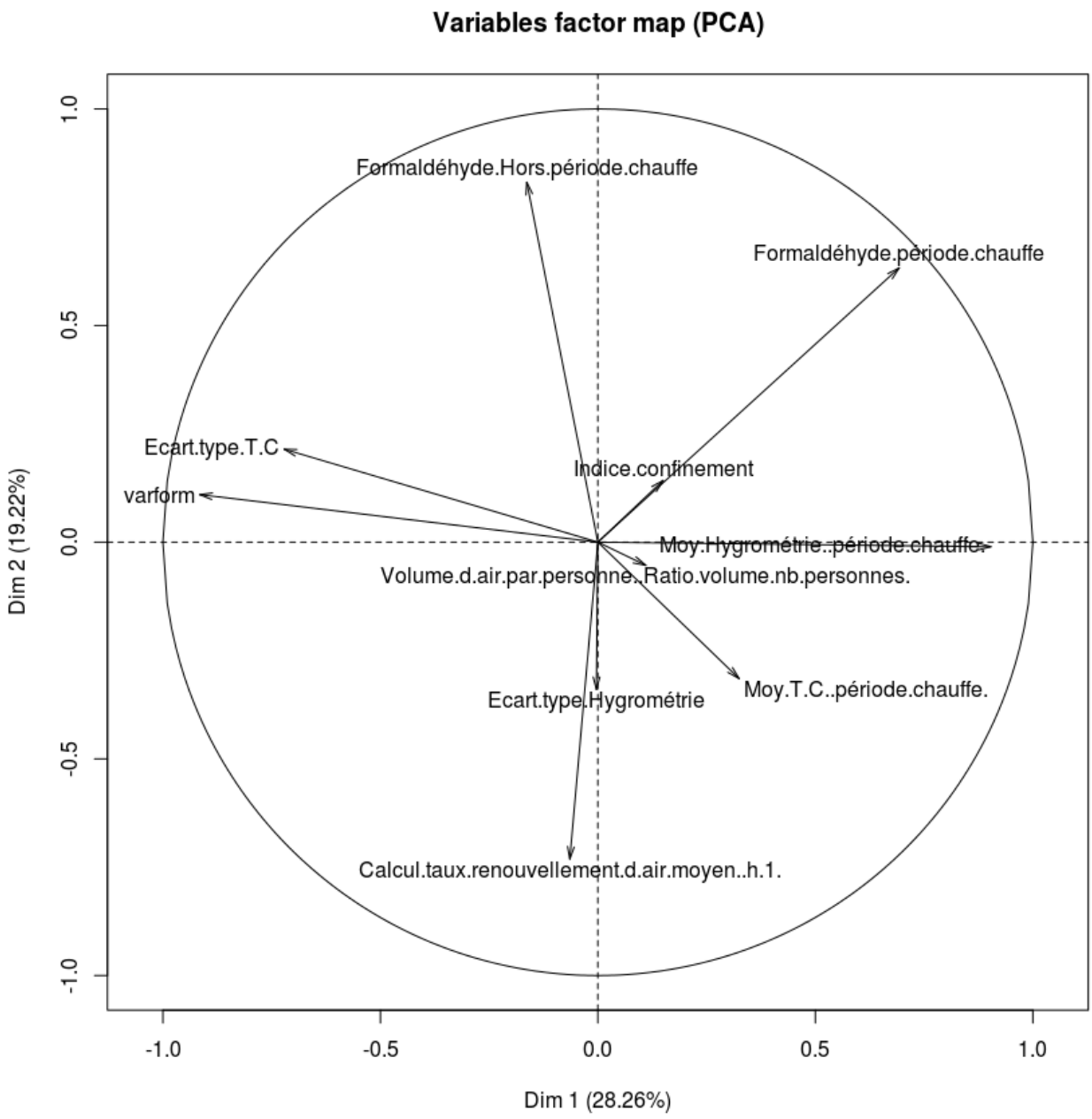


Figure 17 : Représentation Graphique Analyse en Composantes Principales

Sur la base de ces éléments, il est possible de faire les observations suivantes :

- Les concentrations de formaldéhyde en période de chauffe et hors période de chauffe sont bien expliquées par les deux premières composantes de l'ACP (proche du cercle unité). Il s'agit des deux variables à expliquer, par conséquent les autres composantes de l'ACP n'apporteront pas d'information supplémentaire sur ces deux variables. Il est donc possible de se limiter (dans un premier temps) à l'étude des deux premières composantes de l'ACP, indépendamment de la variabilité absorbée par ces composantes.

- La concentration en formaldéhyde hors période de chauffe et le taux de renouvellement d'air moyen sont fortement anti-corrélés : plus le taux de renouvellement d'air est important et plus la concentration en formaldéhyde (hors chauffe) est faible.

- Les deux variables précédentes sont pratiquement entièrement portées par la deuxième composante et ne sont corrélées à aucune autre variable (à part en partie avec la concentration de formaldéhyde en période de chauffe).

- L'écart-type de température et l'hygrométrie moyenne pendant la période de chauffe sont fortement anti-corrélées : plus l'hygrométrie est importante et plus les variations en température sont importantes. Cette information peut être révélatrice d'une mauvaise isolation des pièces vis-à-vis de l'extérieur ou – les mesures n'ayant pas eu lieu simultanément dans toutes les salles – ces deux informations peuvent être ici redondantes et être un indicateur des conditions atmosphériques extérieures.

- Les deux variables précédentes sont pratiquement entièrement portées par la première composante de l'ACP.

- La concentration de formaldéhyde pendant la période de chauffe est portée par la première bissectrice. Elle est donc expliquée à proportion identique par la première et la deuxième composante. Autrement dit pendant la période de chauffe, plus l'hygrométrie en moyenne est importante (ou l'écart en température), plus la concentration en formaldéhyde est importante ; et plus le taux de renouvellement d'air moyen est important et plus la concentration en formaldéhyde est faible.

2.3.3 Conclusions

Les observations précédentes peuvent s'exprimer de la manière suivante : les concentrations en formaldéhyde (période de chauffe et hors période de chauffe) sont bien expliquées en se limitant aux deux premières composantes de l'ACP (1).

La première composante porte la variabilité de l'hygrométrie moyenne (5) et de l'écart-type de température pendant la période de chauffe ; la deuxième composante, celle du renouvellement d'air moyen (3).

La concentration en formaldéhyde hors période de chauffe est à priori bien expliquée par le taux de renouvellement d'air moyen (2). Celle en période de chauffe est également expliquée par ce taux, mais en partie seulement. Il faut ajouter à cela l'hygrométrie moyenne pour en capter toute la variabilité (4 et 6).

Il semblerait donc qu'à partir seulement de l'hygrométrie moyenne (et/ou de l'écart-type des températures) et du taux moyen de renouvellement d'air, il soit possible d'évaluer les niveaux de formaldéhyde, en période de chauffe ou non. Afin de confirmer ces observations, il serait intéressant de disposer de mesures d'hygrométrie (et de températures) sur des campagnes réalisées hors période de chauffe et de calculer systématiquement l'indicateur « taux moyen de renouvellement d'air ».

2.4 Analyses croisées à deux ou trois variables

S'appuyant sur les connaissances issues d'études sur la QAI ainsi que des tendances apparues dans l'ACP, nous avons réalisé des croisements supplémentaires en utilisant deux ou trois variables.

2.4.1 Formaldéhyde, CO2 et confinement

Une étude dans des logements et des salles de classes a montré une corrélation entre les concentrations en formaldéhyde et le dioxyde de carbone (Ramalho, 2015).

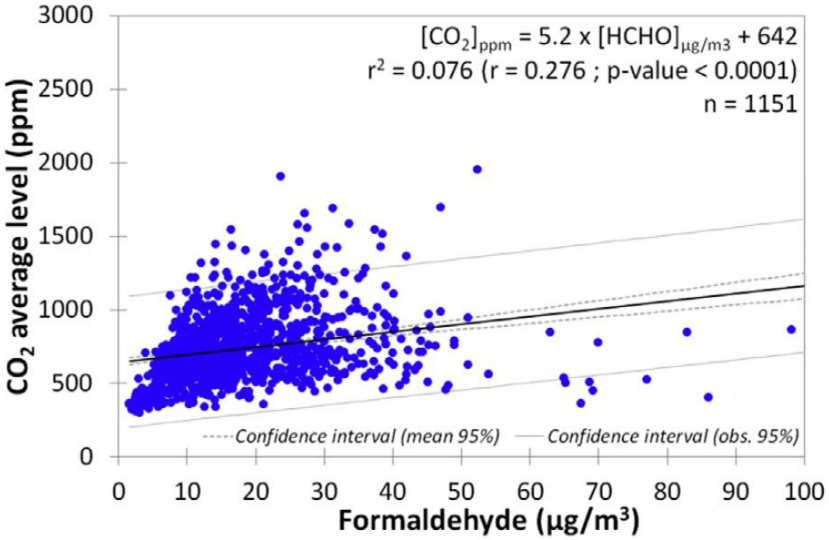


Figure 18 : Association entre CO2 et formaldéhyde dans les salles de classes (période de chauffage et hors période de chauffage), Campagne Pilote nationale

Le même type de corrélation apparaît pour les résultats à La Rochelle. Les données utilisées sont celles de la période de chauffage dans les crèches et les maternelles.

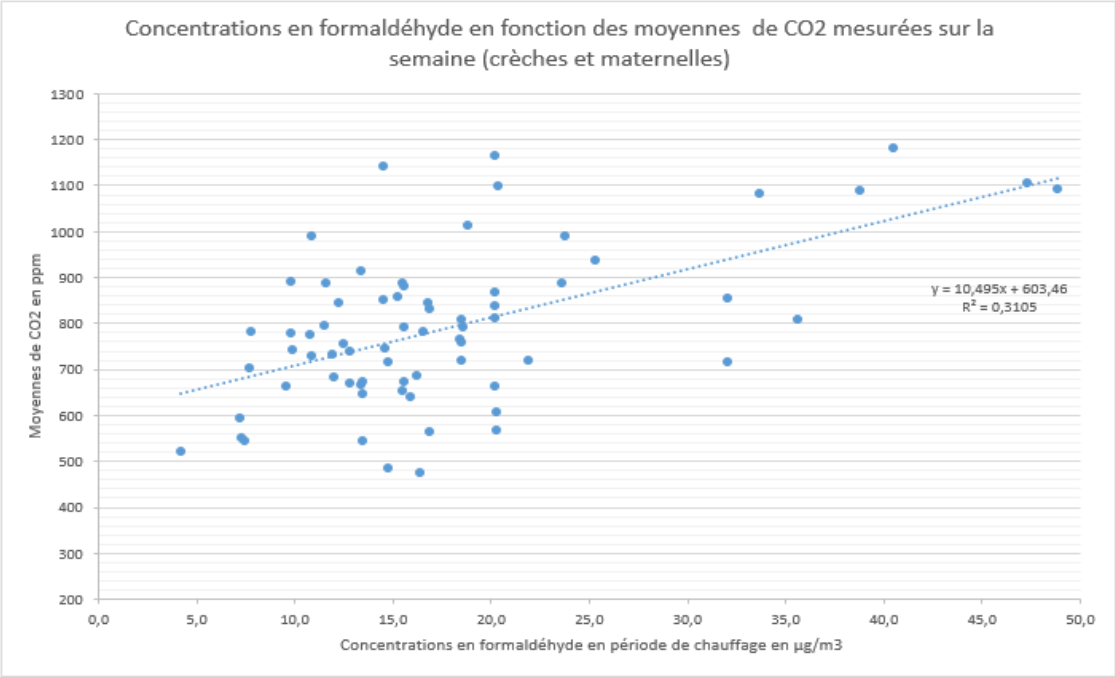


Figure 19 : Association formaldéhyde CO2 dans les salles de classes à La Rochelle (période de chauffage, pour les maternelles et les crèches uniquement)

En complément, nous avons également cherché si les fortes concentrations en formaldéhyde étaient associées à un indice de confinement élevé. Si l'ACP n'a pas mis en avant de relation forte entre ces deux variables, il semble néanmoins intéressant de faire une lecture « cas par cas ». Sur la figure ci-dessous, on observe que les concentrations élevées en formaldéhyde coïncident avec des niveaux de confinement assez élevés. Bien entendu, le confinement ne permet pas de prédire le taux de formaldéhyde, puisque l'on a par exemple des situations de confinement extrême (5) avec des concentrations en formaldéhyde moyennes, autour de 20. On peut néanmoins en déduire qu'une situation de confinement important peut contribuer à l'accumulation de formaldéhyde dans une pièce, à condition qu'une source importante soit présente.

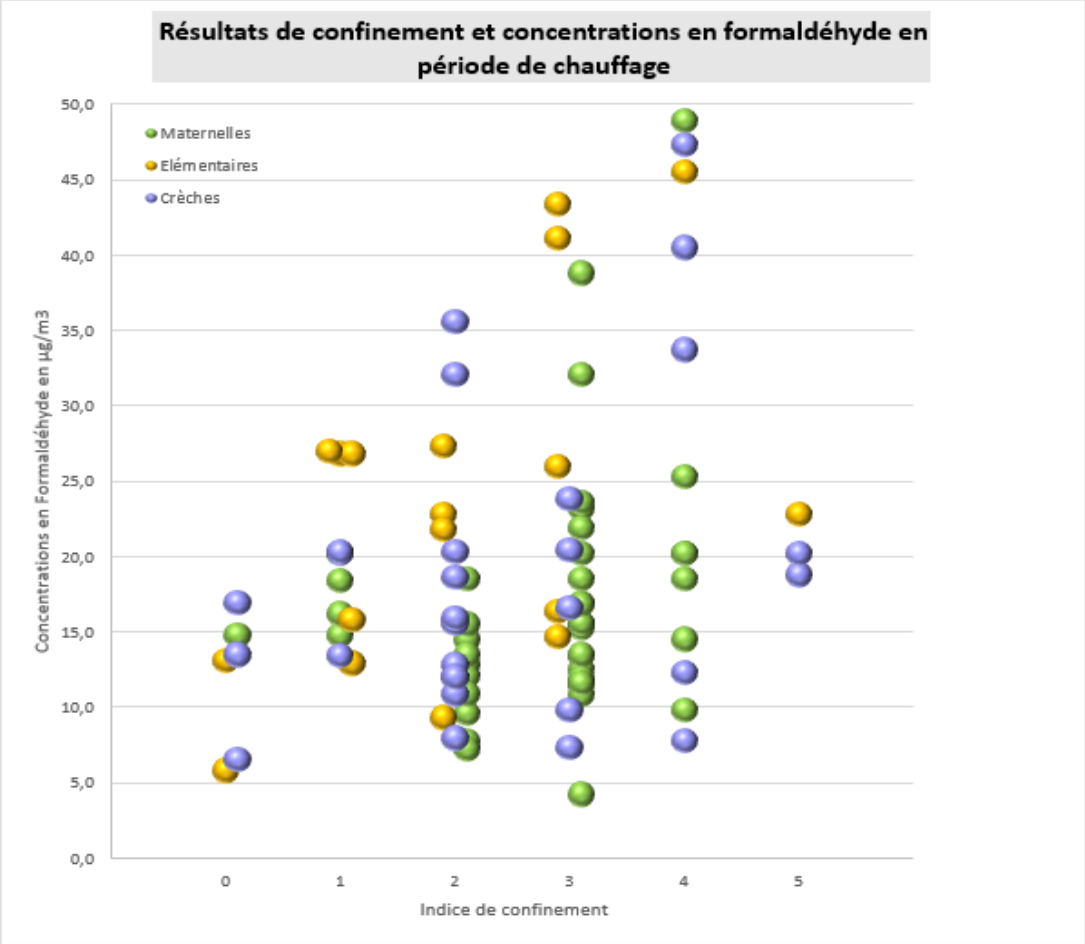


Figure 20 : Concentrations en formaldéhyde et indice de confinement

2.4.2 Période de mesures, hygrométrie et formaldéhyde

Les données de littérature sur le formaldéhyde indiquent que l'hygrométrie a une influence importante sur les émissions de formaldéhyde et l'ACP semble confirmer que la variable hygrométrie est fortement corrélée aux concentrations en formaldéhyde.

Nous avons mis en perspective :

- les semaines de mesures avec les niveaux d'hygrométrie en période de chauffage (figure 21)
- les concentrations en formaldéhyde en fonction des semaines de mesures en période de chauffage (figure 22)
- les concentrations en formaldéhyde en fonction des niveaux d'hygrométrie en période de chauffage (figure 23)
- les concentrations en formaldéhyde en fonction des semaines de mesures hors période de chauffage (figure 24)

Il apparaît que la semaine de mesures influence fortement les taux d'hygrométrie enregistrés dans les pièces (dispersion très homogène des points sur la figure 21). Ensuite, ces semaines de mesures semblent avoir une influence sur les résultats moyen en formaldéhyde, mais sur chaque semaine, il y a une forte variabilité des résultats. La figure 23 illustre la corrélation entre concentrations en formaldéhyde et taux d'humidité. Si une source de formaldéhyde est présente dans la pièce, il semble donc que l'hygrométrie soit un déterminant important dans les concentrations de polluants mesurées. La figure 24 illustre également l'existence de profils de résultats différents en fonction de la semaine de mesures.

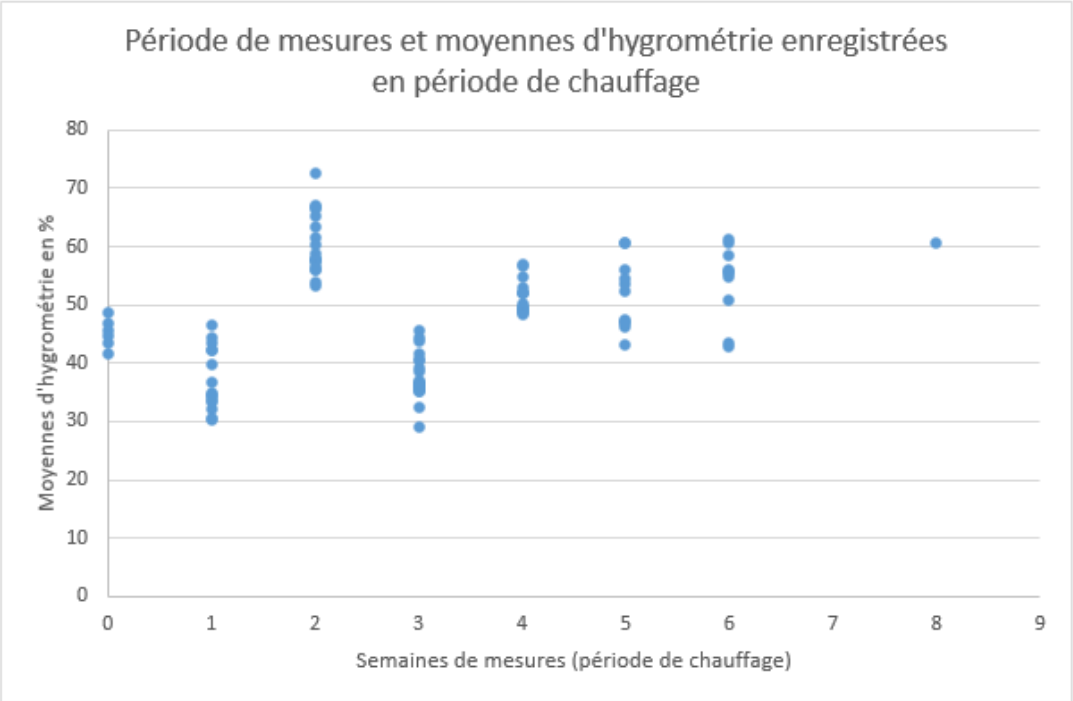


Figure 21 : semaines de mesures et niveaux d'hygrométrie en période de chauffage

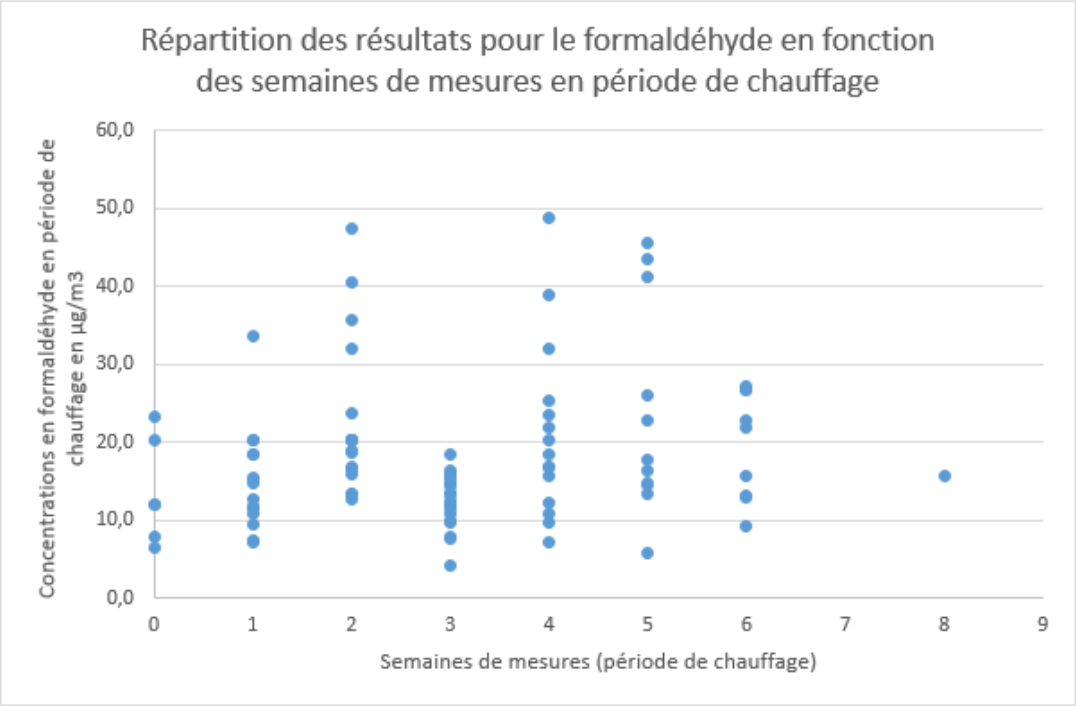


Figure 22 : les concentrations en formaldéhyde en fonction des semaines de mesures en période de chauffage

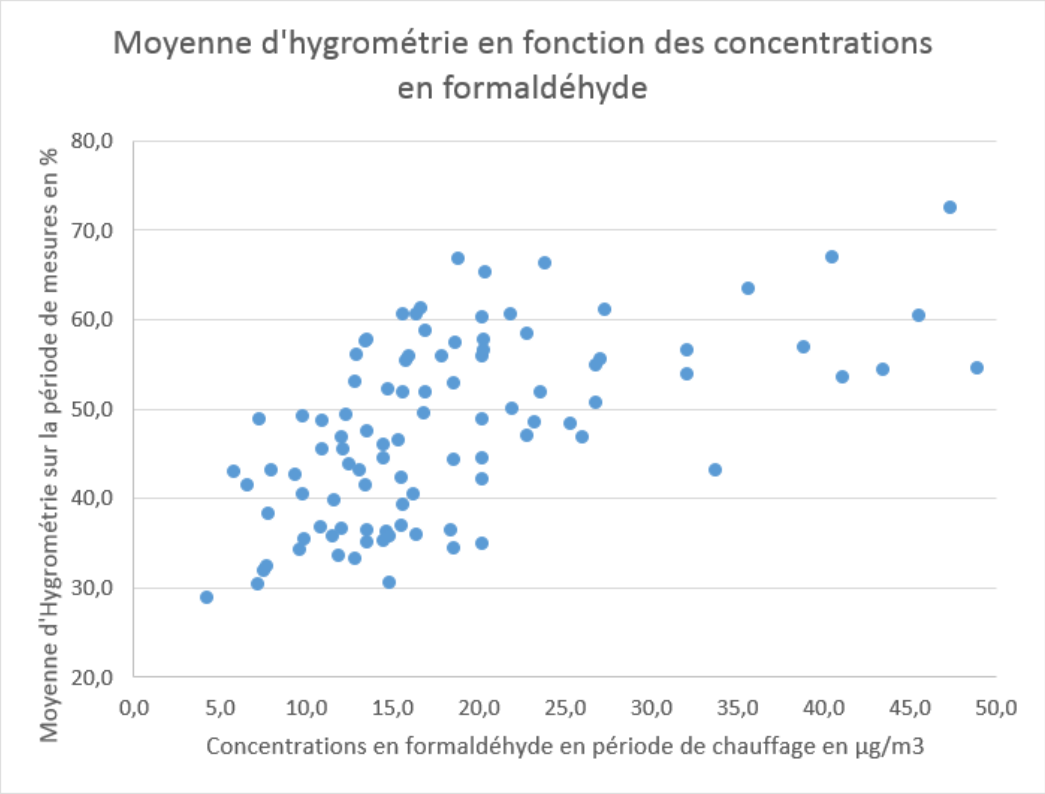


Figure 23 : Concentrations en formaldéhyde et niveaux d'hygrométrie en période de chauffage

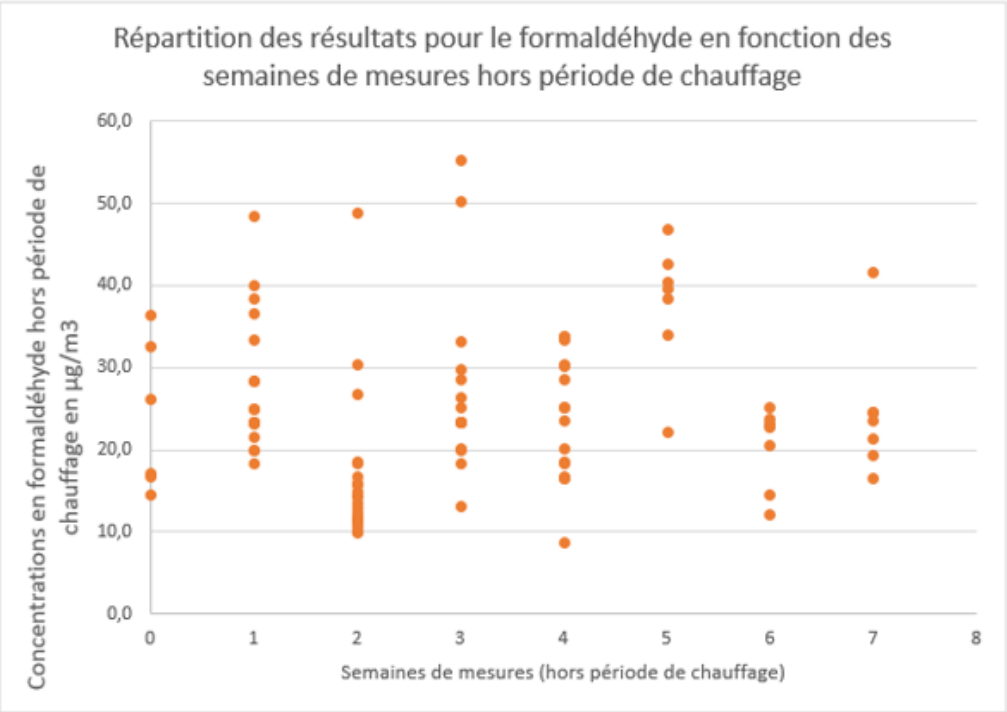


Figure 24 : concentrations en formaldéhyde en fonction des semaines de mesures hors période de chauffage

2.4.3 Formaldéhyde et configuration des ouvrants

Suivant une approche expérimentale, il a été proposé d'utiliser une variable pour décrire la configuration de la pièce vis-à-vis des ouvrants et d'étudier la corrélation avec les résultats de mesures de la qualité de l'air. La typologie proposée donne six catégories (cf. schéma page 18) :

- Pièce avec fenêtres et donnant sur un couloir central fermé
- Pièce avec fenêtres et donnant sur un couloir circulant, configuration la plus répandue dans les écoles élémentaires et maternelles
- Pièce avec fenêtres et donnant sur un couloir aménagé sous une véranda
- Pièce avec fenêtres et porte donnant directement sur la cour de l'école ou un espace de jeu extérieur pour les crèches
- Pièce simple avec fenêtres
- Pièce aveugle, sans ouverture directe sur l'extérieur

Le croisement de cette variable avec les concentrations en formaldéhyde en période de chauffage et le niveau de confinement est présenté dans la figure 25. Selon cette typologie, il semble que la catégorie « pièce donnant sur un couloir central fermé » donne des résultats moins favorables en termes de concentrations en formaldéhyde. Néanmoins la typologie d'ouverture ne renseigne pas sur la source de formaldéhyde mais nous avons fait l'hypothèse qu'elle pouvait influencer la dispersion des polluants. Dans cette figure, la taille des points représente le niveau de confinement. On observe que les points les plus gros, donc les situations les moins favorables vis-à-vis du confinement, se retrouvent plutôt pour les catégories « pièces avec un couloir central fermé », « pièces avec une fenêtre simple », et « pièce aveugle ». Il convient de souligner qu'il existe de nombreux facteurs confondants : la

configuration de la pièce vis-à-vis des ouvrants ne donne aucune information sur la perméabilité à l'air du bâti, l'étanchéité des ouvrants, la présence d'un système de ventilation mécanique ou encore les pratiques d'aération des usagers. Il convient donc d'utiliser ces données avec une extrême prudence. Enfin, notons que les pièces avec un couloir central fermé se trouvent dans des bâtiments de typologie similaire, construits dans les années 1970 avec ossature en béton. Il est donc difficile de conclure sur l'influence de la variable « configuration vis-à-vis des ouvrants » sur le confinement ou sur le formaldéhyde sans faire référence à d'autres paramètres liés au bâti et aux comportements des usagers.

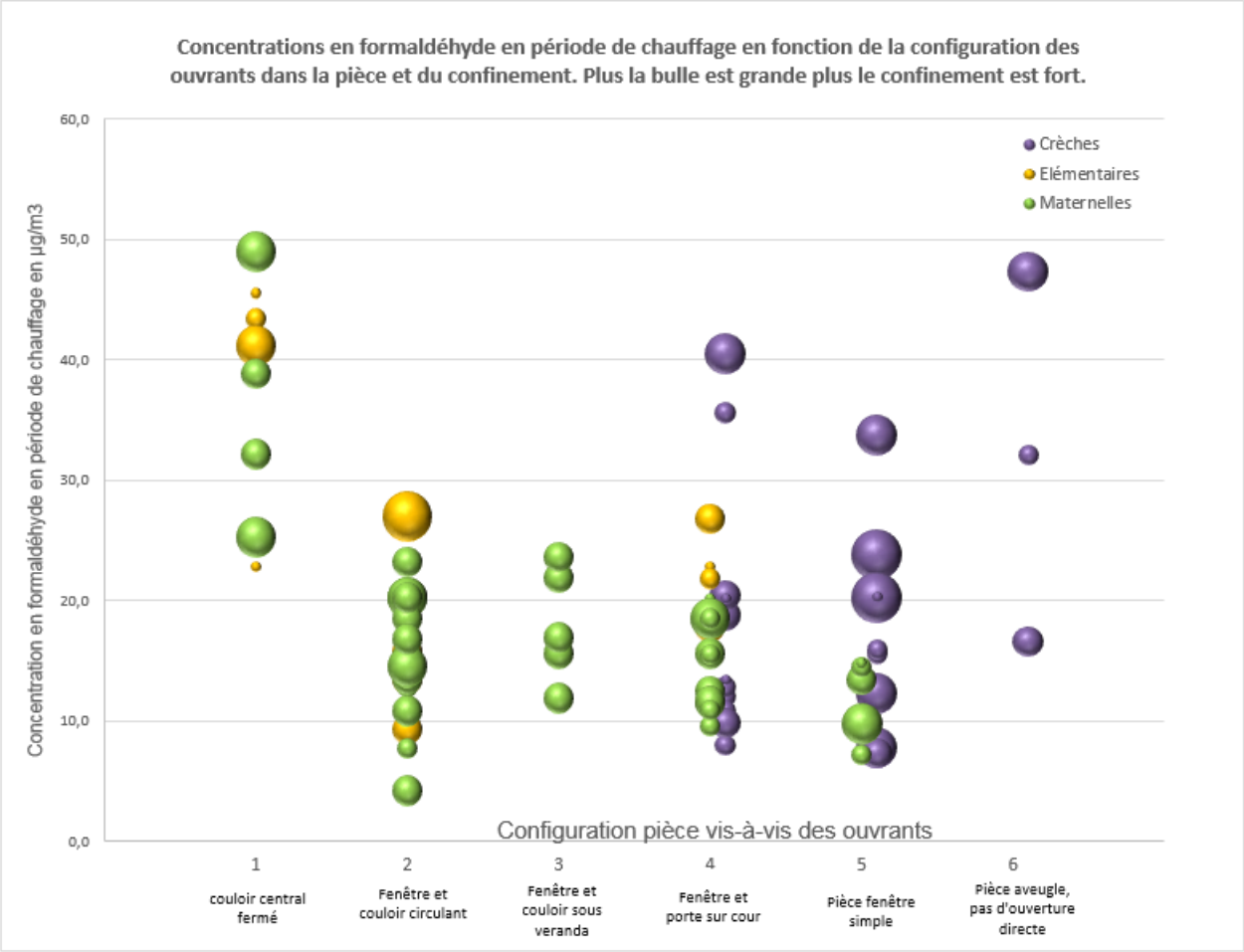


Figure 25 : Concentrations en formaldéhyde et confinement en période de chauffage en fonction de la typologie d'ouverture de la pièce

Le même type de croisement a été effectué pour les résultats hors période de chauffage (figure 26). La répartition des résultats semble suivre la même tendance que pour la période de chauffage. Comme évoqué dans la section 2.1.2, les médianes des concentrations en formaldéhyde sont plus hautes en période estivale qu'en période de chauffage, ce qui correspond à la tendance généralement observée. Dans les crèches, en revanche, les résultats présentent plutôt la tendance inverse avec des concentrations plus favorables en été qu'en hiver. Il n'apparaît aucune tendance forte, en dehors des « pièces avec un couloir central fermé » et des « pièces avec un couloir aménagé sous véranda » pour lesquelles les valeurs les plus faibles sont autour de 20µg/m^3 minimum contre des valeurs autour de 10 dans les autres catégories. Une dispersion moins facilitée des polluants avec la configuration en couloir fermé et une accumulation de chaleur qui influence les émissions de formaldéhyde avec la véranda peuvent être des pistes d'explication possibles, sous l'hypothèse de conditions météorologiques similaires (données non disponibles à cette échelle).

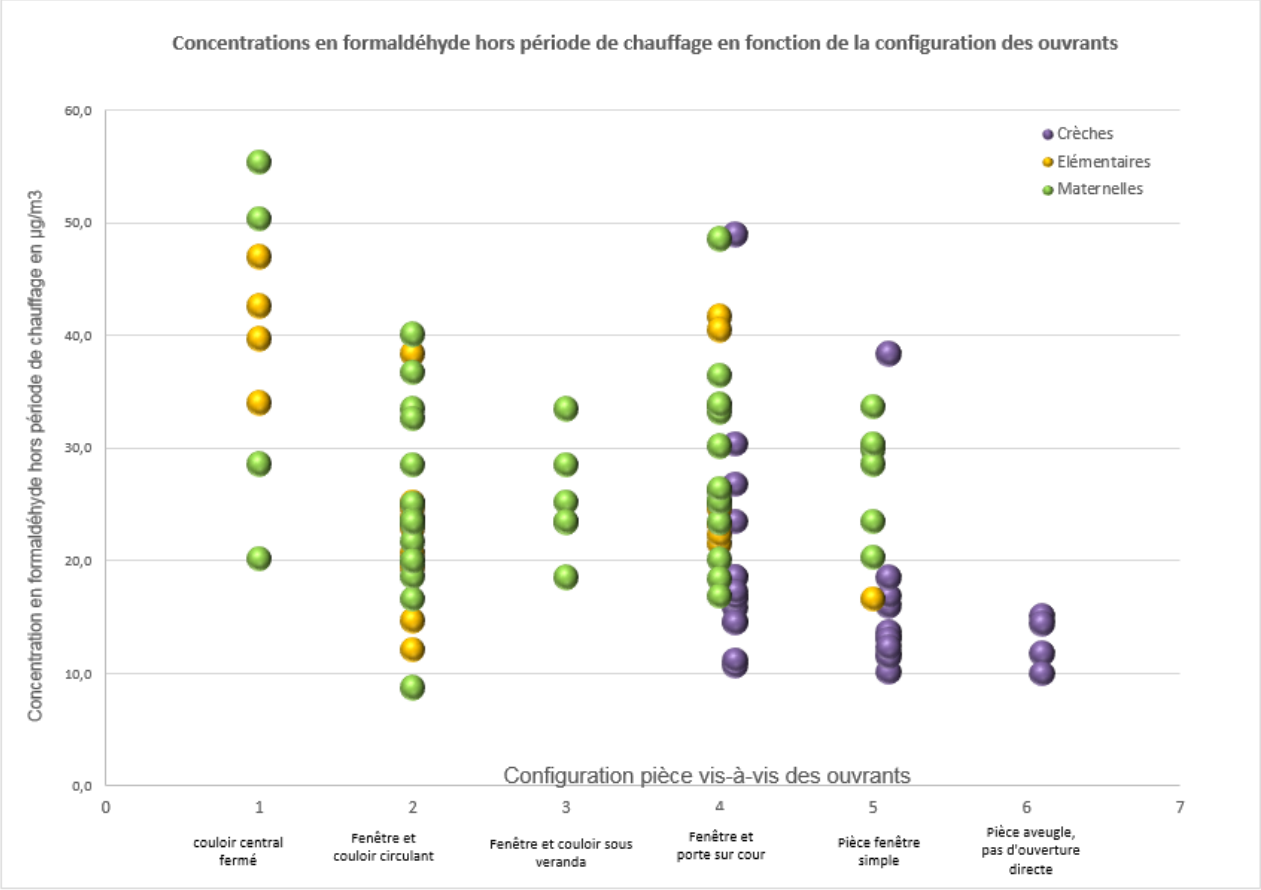


Figure 26 : Concentrations en formaldéhyde hors période de chauffage en fonction de la typologie d'ouverture de la pièce

2.5 Conclusion et perspectives

La première phase du projet IMPACTAIR a apporté de nombreuses informations qui ont déjà été partagées avec les différents services de la municipalité dans le but de rechercher des leviers d'amélioration. Parmi les résultats de cette première phase nous retenons les points suivants :

- Il existe de fortes disparités en termes d'exposition à des polluants de l'air intérieur à l'échelle de La Rochelle
- Les crèches, installées pour la plupart dans des bâtiments plus récents présentent globalement une situation plus favorable concernant le formaldéhyde
- Les bâtiments ayant fait l'objet d'une rénovation importante avec des efforts dans le choix de matériaux à faible émissions de COV présentent des résultats inférieurs aux valeurs cibles
- Il semble que les situations les plus préoccupantes vis-à-vis du formaldéhyde se trouvent dans les établissements des quartiers ou secteurs prioritaires. A ce jour, nous n'avons pas pu isoler de dénominateur commun pour ces situations en dehors d'une hypothèse sur la période de construction (années 1970). Nous suggérons que d'autres villes recherchent si elles observent le même type de tendance dans leur base de mesures (zone d'éducation prioritaire). D'autres recherches de facteurs explicatifs pourraient également être entreprises (influence des matériaux, ou des travaux de rénovation, etc.). Dans un souci de réduction des inégalités sociales de santé, ces

informations pourraient être portées à la connaissance des décideurs publics comme un facteur complémentaire d'aide à la décision sur des travaux éventuels.

- L'analyse par groupe scolaire semble indiquer des écarts entre ces groupes. Dans certains cas, les résultats homogènes entre toutes les salles de classes d'un même établissement donnent à penser qu'il existe un niveau de pollution de fond liée au bâti. En revanche, nous avons également observé des disparités dans les résultats au sein d'un même établissement, soulignant la complexité de la QAI et ses multiples déterminants tant au niveau des sources que des facteurs physico-chimiques pouvant interagir avec les sources.
- L'ACP et les croisements de résultats semblent indiquer une corrélation importante entre les concentrations en formaldéhyde et le taux d'humidité d'une part et le taux de renouvellement d'air d'autre part. En plus d'une action directe sur les sources de polluants, une amélioration de la régulation de ces deux paramètres semblent donc une piste intéressante à explorer, en lien avec les services techniques de gestion des bâtiments.

La collecte et la compilation des données collectées lors de la première phase du projet ont demandé un travail considérable. Pourtant, à l'exception de quelques associations et tendances intéressantes, le croisement des résultats n'a pas permis d'apporter de conclusions claires sur tous les déterminants étudiés. Il nous semble important de rapporter un certain nombre de limites auxquelles nous avons été confrontés lors de cette expérimentation :

- Tout d'abord, il semble inefficace d'adopter une approche trop détaillée pour le recensement des situations dans les établissements. En effet, le niveau d'information qu'il serait nécessaire d'obtenir pour réaliser une analyse fine n'est pas accessible facilement (exemple : détail des matériaux de construction, matériaux constitutifs du mobilier, année de leur acquisition, etc.).

- Les variables portant sur la densité de mobilier et les usages de la pièce ne semblent pas avoir une influence prépondérante dans les résultats de la QAI. Néanmoins, la deuxième phase d'IMPACTAIR faisant intervenir des mesures en continu selon différents scénarios d'aménagement et d'usages de la pièce devrait apporter des informations complémentaires

- Au départ du projet, nous souhaitions réaliser une classification des bâtiments en fonction de leur potentiel d'aération et leur potentiel d'émission de polluants dans un but de gestion des bâtiments et d'amélioration de la qualité de l'air. Cette classification semble compliquée, notamment en raison de la multiplicité des variables pouvant influencer les émissions et les concentrations dans l'air des polluants.

- Nous soumettons également des interrogations concernant la valeur des résultats de surveillance de la QAI. En effet, il semble que l'hygrométrie ait une influence prépondérante dans les émissions de formaldéhyde, or ce taux dépend des conditions météorologiques. Par ailleurs, nous avons eu des difficultés concernant la comparaison des résultats de mesures entre données ATMO et APAVE, notamment pour les données de benzène. Il nous semble donc important d'interroger la valeur métrologique et sanitaire des mesures réalisées sur une semaine dans une salle de classe, et si ces données peuvent suffire à classer les bâtiments selon leur niveau de risque. Toutefois, les mesures complémentaires réalisées à Villeneuve-les-Salines et à Mireuil en l'absence d'activités témoignent de concentrations en formaldéhyde dans des proportions similaires. Ces données semblent indiquer l'existence d'un niveau de pollution de fond et donc de la pertinence de travailler en priorité dans les établissements présentant les situations les moins favorables.

A ce stade, le projet IMPACTAIR a déjà permis de réunir différents services et acteurs autour de la question de la QAI, que l'on a proposé d'élargir aux enjeux de bâtiments sains et durables pour une plus grande cohérence. La richesse des résultats et les connexions déjà établies avec les agents municipaux et les acteurs de terrain permettent d'entrevoir des pistes pour un plan d'action qui pourra être développé lors de la seconde phase.

Par ailleurs, la démarche conduite par la Ville a été hautement instructive et il nous semble que le travail de croisement pourrait être repris par des collectivités et éventuellement poursuivi en privilégiant des déterminants non explorés dans le cadre de cette étude, ou pour lesquelles les données récoltées ne sont pas suffisamment précises. Nous pensons par exemple à l'influence de la présence de colles contenant de l'amiante sur les concentrations en formaldéhyde. En effet, dans le cas de La Rochelle, nous avons relevé que les concentrations en formaldéhyde les plus élevées se situent dans la majorité des cas dans des établissements construits dans les années 1970, avec des dalles PVC et colle amiante. Il s'agit d'une hypothèse que nous trouvons intéressant d'explorer, conjointement avec d'autres paramètres liés au bâti et caractéristiques de ces périodes de construction.

3. Exploitation des résultats et communication auprès des établissements

La réglementation prévoit un affichage des résultats de surveillance de la qualité de l'air intérieur (article 8 de l'Arrêté du 1er juin 2016 relatif aux modalité de surveillance de la QAI dans certains ERP). Dans ce document, pour chacune des pièces instrumentées sont présentés :

- les moyennes des concentrations en benzène et en formaldéhyde
- l'indice de confinement

Cet affichage est une représentation simplifiée des données synthétisées dans le rapport final remis par les organismes de surveillance de la qualité de l'air.

Dans le cadre du projet IMPACTAIR, nous avons souhaité nous appuyer sur l'opportunité des mesures de surveillance pour communiquer auprès des établissements et les impliquer dans des actions d'amélioration de la QAI. Il a été considéré que les deux documents remis par les organismes de surveillance (rapport final et affichage) n'étaient pas adaptés à ces objectifs de communication et de sensibilisation. Le document d'affichage vise avant tout à définir la conformité des résultats de surveillance aux niveaux de références. Il est moins adapté pour des messages pédagogiques et de sensibilisation à la QAI.

Nous avons donc développé un modèle de fiches pour communiquer auprès des directeurs de crèches, maternelles et écoles élémentaires. Les fiches ont ensuite été personnalisées pour chacun des établissements. Le document contient les éléments suivants :

- un texte introductif présentant les objectifs du projet IMPACTAIR et les actions mises en œuvre par la Ville sur la QAI
- les résultats de la surveillance spécifiques à l'établissement : nous avons fait le choix de faire apparaître les concentrations en formaldéhyde et en benzène sur les deux périodes, sur un graphique comportant les niveaux de référence et valeurs guides. Il nous a semblé important de montrer qu'il pouvait exister des variations importantes dans les teneurs mesurées dans une pièce à des périodes différentes. Une interprétation personnalisée des résultats a été rédigée pour chaque établissement, en s'appuyant sur les rapports APAVE ou ATMO Poitou-Charentes mais aussi sur les situations observées dans les établissements.
- le document comprend ensuite des explications pour chaque polluant ou indicateur avec des précisions sur ses sources et origines et les effets possibles sur la santé.

- Enfin, la fiche de synthèse présente des pistes d'amélioration que la collectivité pourrait mettre en œuvre et des conseils assez généraux pour les usagers des établissements. L'intention est d'une part de sensibiliser et de responsabiliser les acteurs et d'autre part de montrer que la municipalité s'engage également à trouver des leviers d'amélioration.

Un exemple de fiche est présenté en Annexe 3.

SECTION 2

Phase III et IV du projet IMPACTAIR

Mesures en dynamique
et pistes d'amélioration

1-Objectifs

La troisième phase du projet IMPACTAIR porte sur la réalisation de mesures en dynamique dans des salles de classe. Les objectifs poursuivis sont les suivants :

- mesurer les contributions respectives du bâti, du mobilier et des activités sur les concentrations en polluants

- confirmer ou infirmer les niveaux relevés dans les mêmes pièces lors des mesures avec des tubes passifs et formuler des hypothèses d'explication et des pistes d'amélioration

- explorer et tester différents scénarios d'aération afin de :
  - → étudier l'influence de l'aération sur les concentrations de polluants et le CO_2,
  - → tester la faisabilité des recommandations sur l'aération des classes énoncées dans le guide de l'OQAI,
  - → imaginer d'autres consignes d'aération.

L'ensemble des résultats des phases 1 à 3 du projet IMPACTAIR doivent permettre d'identifier des leviers d'action de la Ville pour améliorer la qualité de l'air intérieur. Parmi ces actions, les résultats doivent permettre d'appuyer la réalisation d'une brochure de sensibilisation comprenant des recommandations et pistes de bonnes pratiques sur la QAI à destination des usagers des salles de classe.

Les mesures en dynamique réalisées pourront enrichir les bases de données existantes sur la qualité de l'air, en particulier sur la recherche sur les sources, les appareils et méthodes de mesures, le comportement des polluants et du CO_2, et l'exposition des enfants.

Méthode

2.1 Avant-propos sur les mesures en continu et hypothèses de départ

L'intérêt des mesures en continu par rapport à des mesures avec des tubes passifs est d'observer la dynamique des polluants sur un pas de temps resserré et de faciliter la recherche de facteurs explicatifs aux variations dans les concentrations.

L'hypothèse centrale de la démarche s'appuie sur les conclusions du projet INCITAIR qui met en avant la contribution prépondérante du bâti sur les émissions de formaldéhyde par rapport à d'autres catégories telles que le mobilier et les activités dans une salle de classe.

Le principe central de cette phase de mesures en continu a donc été de mesurer les concentrations en polluants dans les classes vides de meubles, puis meublées, puis occupées sans consigne d'aération puis occupées avec des consignes d'aération différentes.

Les mesures en continu ont été réalisées dans deux salles de classes sur plusieurs semaines, du lundi au lundi pour observer le comportement dynamique des polluants, en faisant varier plusieurs paramètres (mobilier, activités, aération). L'activité, l'occupation et les pratiques diffèrent au cours d'une même journée et d'un jour sur l'autre ce qui justifie l'observation sur plusieurs semaines.

Nous avons fait l'hypothèse que les résultats seraient plus homogènes sur cinq semaines consécutives que sur plusieurs périodes étalées dans l'année. Nous avons également choisi

de réaliser les mesures en période de chauffe car c'est la période où le confinement est empiriquement le plus important.

Nous avons fait le choix de nous concentrer sur les polluants et paramètres habituellement mesurés dans l'air intérieur :

- Polluants faisant l'objet de recommandations sanitaires : formaldéhyde et benzène ;
- Autres polluants : aldéhydes (acétaldéhyde, acroléine, benzaldéhyde, butanal, hexanal, isopentanal, pentanal, propanal) et COV (toluène, ethylbenzene, mp-xylène, o-xylène) ;
- Dioxyde de carbone (CO_2) ;
- Température et humidité.

Nous n'avons pas fait de mesures de particules, de l'ozone, des acariens ou des moisissures.

2.2 Le choix des pièces à instrumenter

Un des objectifs des mesures en continu était de tester les recommandations du guide de l'OQAI sur l'aération dans les écoles. Il a été décidé de conduire les mesures dans deux écoles élémentaires pour favoriser les comparaisons. Une classe de grande section maternelle a été incluse dans l'étude en complément dans le but de comparer l'impact des activités pédagogiques a priori quelque peu différentes en maternelle.

Les pièces pressenties pour les mesures en continu ont été choisies parmi les établissements instrumentés lors de la campagne de mesures et présentant des niveaux élevés voire très élevés en termes de formaldéhyde et de confinement. Un établissement devant être fermé à la rentrée 2016 a été écarté de la liste des candidats potentiels.

Des visites sur site ont été réalisées pour les écoles présélectionnées :

- les écoles élémentaires Condorcet, Lavoisier, Grandes Varennes ;
- les écoles maternelles Lavoisier, Loti et Prieuré.

L'école élémentaire Condorcet et la maternelle Pierre Loti ont été écartées pour des raisons de faisabilité technique et de logistique : manque de place pour installer le camion ATMO, pas de lieu approprié pour installer le matériel de mesures dans l'école.

Concernant la maternelle Lavoisier, malgré des niveaux de polluants très élevés, l'hypothèse était que son profil serait proche de celui de l'élémentaire et qu'il serait donc plus intéressant de diversifier les groupes scolaires.

Les écoles finalement retenues sur la base de ces critères (intérêt scientifique, enjeux en termes de qualité de l'air, contraintes techniques) sont les écoles élémentaires Lavoisier et Grandes Varennes et la maternelle Le Prieuré.

Ecole Lavoisier

Ecole Les Grandes Varennes

Ecole Prieuré

Le compte-rendu des arbitrages sur le choix des établissements pour la phase de mesures en continu est présenté en annexe 4.

Les deux écoles élémentaires sélectionnées présentent des profils similaires en termes de typologie de bâti (construction béton des années 1970) et d'ameublement (majorité de meubles de plus de 10 ans). Des différences sont à noter sur les taux d'occupation des deux pièces pressenties et les pratiques d'aération (habitudes d'aération par porte ou fenêtres, gêne due à la manœuvrabilité des fenêtres, aux occultants ou à la proximité d'une voie passante aux Grandes Varennes). Les caractéristiques des deux établissements sont décrites en annexe 5.

2.3 Moyens déployés pour les mesures

Pour la réalisation des phases de mesures en continu, différents dispositifs ont été employés. Les appareils de mesures ont été installés directement dans le bâtiment (IN AIR Solutions) ou dans un laboratoire mobile stationné devant la salle de classe (ATMO Poitou-Charentes).

2.3.1 ATMO Poitou-Charentes

L'école LAVOISIER a été retenue pour l'évaluation des mesures de composés organiques volatils en continu.

Cette évaluation s'est appuyée sur des mesures en continu de formaldéhyde et de composés organiques volatils (COV). Les mesures des composés organiques volatils ont été réalisées par deux analyseurs. Le module AirmoVOC C2-C6 permet l'analyse des COV légers (C2 à C6). Le module AirmoVOC C6-C10, quant à lui, permet l'étude des COV lourds (C6 à C10).

Illustration 5 : photographie du AirmoVOC C2-C6

Les COV analysés sont énumérés dans le tableau suivant.

Composés analyses par l'AirmoVOC (C2-C6)	Composés analysés par l'AirmoVOC (C6-C12)
éthane	benzène
éthène	iso-octane
propane	n-heptane
propène	toluène
isobutane	n-octane
n-butane	éthylbenzène
acétylène	m-xylène
trans-2-butène	p-xylène
1-butène	o-xylène
cis-2-butène	1,3,5 triméthylbenzène
isopentane	1,2,4 triméthylbenzène
n-pentane	1,2,3 triméthylbenzène
1-3-butadiène	
1-pentène	
trans-2-pentène	
cis-2-pentène	
n-hexane	
isoprène	
1-hexène	

Tableau 8 : Liste des COV mesurés pendant la phase de mesures en continu

L'échantillon d'air est aspiré à travers une cartouche de prélèvement disposée dans un barillet qui permet un échantillonnage sur plus de 65% du temps. Après désorption des composés contenus sur l'adsorbant de la cartouche et reconcentration à température ambiante dans le piège de focalisation, les COV sont injectés dans une colonne capillaire qui assure la séparation chromatographique des composés visés. La mesure quantitative est effectuée par un détecteur à ionisation de flamme (FID).

Les conditions d'utilisation de ces appareils nécessitent une ambiance climatisée. De plus

compte tenu des consignes de sécurité imposées dans un établissement recevant des enfants en bas-âge, il a été convenu d'installer ces appareils dans le laboratoire mobile d'ATMO Poitou-Charentes. La ligne de prélèvement (tube téflon) permet l'aspiration de l'air du centre de la salle jusqu'au site d'analyse.

Afin de limiter les problèmes de condensation dans la ligne échantillon celle-ci a été isolée. Cette opération n'a cependant pas été totalement efficace. Des pertes de données dues à l'humidité sont à dénombrer lors de la campagne de mesures.

Le point de prélèvement se situe au centre de la pièce à une distance d'environ 50cm du plafond.

2.3.2 IN AIR SOLUTIONS

La section suivante est extraite du rapport d'In Air Solutions, *Matériel et Méthodes La Rochelle* (In'Air Solutions, 2016).

Les différentes techniques d'analyse utilisées dans chaque école sont décrites ci-dessous.

- **Micro-analyseur de BTEX**

Le microanalyseur de BTEX possède des limites de détection de l'ordre de la ppb pour les différentes espèces. Ce dispositif analytique a été décrit en détail dans une publication récente (Nasreddine et al., 2016).

Cet instrument analytique fonctionne selon trois étapes : i) l'échantillonnage, ii) la séparation et iii) la détection. Au cours de l'étape d'échantillonnage, une boucle d'échantillonnage est remplie avec l'échantillon d'air en utilisant une mini-pompe à air. Dans le même temps, le gaz vecteur est injecté en continu dans la colonne capillaire à l'aide d'un régulateur de pression placé en entrée de la colonne. Une fois l'étape d'échantillonnage effectuée, la vanne d'injection bascule en mode injection, le gaz vecteur circulant alors à travers la boucle d'échantillonnage pour injecter le contenu de la boucle d'injection dans la colonne capillaire où les espèces vont être séparées. Enfin, les composés sont quantifiés au moyen d'un mini-détecteur à photo-ionisation (PID). Le système d'analyse est autonome, entièrement contrôlé par un logiciel embarqué qui assure l'acquisition en temps réel des chromatogrammes, l'intégration automatique des pics de BTEX et le calcul de la concentration. L'instrument fonctionne en mode isotherme, la température est prédéfinie avant toute étape d'analyse et aucune rampe de température n'est nécessaire. Le gaz vecteur utilisé au cours de la campagne de terrain était de l'azote. Ces conditions expérimentales ont fourni une séparation complète des BTEX en 10 minutes. Des séquences ont été programmées afin que l'instrument fonctionne en continu. Selon les écoles, 3 ou 4 calibrations ont été effectuées au cours de la campagne de mesures afin de vérifier l'absence de dérive.

- **Formaldéhyde**

<u>Méthode de référence ISO 16000-3 basée sur le piégeage du formaldéhyde sur une cartouche de DNPH</u>

La méthode de référence ISO 16000-3 pour la détection du formaldéhyde est basée sur un échantillonnage actif sur des cartouches de 2,4-dinitrophénylhydrazine (DNPH) (Waters, Sep-Pak), suivi par l'analyse en chromatographie en phase liquide à haute performance avec une détection UV (HPLC-UV) (ISO, Indoor Air-Partie 3, 2001, ASTM international, 2009). Cette méthode permet de quantifier tous les aldéhydes présents dans l'air ambiant. Les échantillonnages d'air ont été réalisés avec des dispositifs de prélèvement automatique, à savoir les mallettes de prélèvement DNPH MP4V_1 MP4V_2 et MP4V_3, composés de

régulateur de débit massique, d'une pompe à gaz et de 4 électrovannes et fonctionnant soit à 350 soit à 700 ml.min-1 pour des temps respectifs de prélèvement de 5 et 10 heures. Une fois l'échantillonnage réalisé, les cartouches de DNPH ont été éluées avec un volume variant entre 2 et 3 mL d'acétonitrile (Sigma Aldrich, 99,8%). 20 µl de la solution d'hydrazones résultante a ensuite été injectée et analysée par HPLC / UV où les hydrazones sont été séparées sur une colonne C18 non polaire et détectée à 360 nm (Salthammer et al., 2010 ; Marchand et al., 2008). Les concentrations des différents aldéhydes ont été déterminées en utilisant un étalonnage externe. Cette méthode d'analyse différée au laboratoire ne permet pas l'obtention des résultats en temps réel. Elle est très consommatrice de temps, nécessite un équipement encombrant et coûteux.

Le micro-analyseur de formaldéhyde basé sur un dispositif microfluidique

La méthode d'analyse, récemment développée dans le laboratoire d'In Air Solutions, pour quantifier le formaldéhyde gazeux a été détaillé dans des travaux précédents (Guglielmino et al., 2014) et est brièvement décrite ci-dessous. Cette méthode d'analyse est basée sur trois étapes fortement couplées les unes aux autres (Guglielmino et al., 2014 ; Guglielmino et al., 2015 ; Guglielmino et al., 2016) : 1) le piégeage du formaldéhyde gazeux dans une solution aqueuse ; 2) la réaction chimique entre le formaldéhyde et un agent dérivatif sélectif (Eisner et al., 1972) et 3) la détection par fluorescence du produit de réaction.

L'air est prélevé en continu à un débit constant de 20 mL.min-1, à l'aide d'un ensemble constitué d'un régulateur de débit massique et une mini-pompe à air, puis injecté dans un capillaire. Dans le même temps, le réactif liquide est injecté en continu dans le capillaire à l'aide d'une pompe péristaltique à travers un micro-T-spécifique (Guglielmino et al., 2014).

Les travaux précédents ont montré que l'établissement d'un flux annulaire permettait l'obtention d'un rendement de piégeage du formaldéhyde gazeux de 100%. La solution aqueuse contenant à la fois le réactif liquide et le formaldéhyde est alors chauffé à 65 ° C, permettant une conversion totale du formaldéhyde en moins de 3 minutes. Enfin, le signal de fluorescence du produit de réaction est recueilli sur un photomultiplicateur, est amplifié et moyenné sur deux secondes.

Dans ces conditions, la méthode analytique a une résolution temporelle de deux secondes et un temps de réponse de 10 minutes. La limite de détection est d'environ 1 µg.m-3 (rapport S/B = 3) (Guglielmino et al., 2014). Avec 100 ml de réactif liquide, son autonomie atteint 98 heures, i.e. 4,1 jours. L'instrument mesure 45 cm de long, 33 cm de large et 15 cm de haut. Il pèse 4 kg, avec les deux bouteilles de réactif et poubelle. Ce système analytique est autonome, entièrement contrôlé par un logiciel développé spécifiquement qui assure les analyses en temps réel et le calcul de la concentration.

Enfin, son faible poids et sa petite taille, sa faible consommation en réactifs assurent un haut niveau de portabilité et d'autonomie pour l'utilisateur. Selon les écoles, 2 ou 3 calibrations ont été effectuées au cours de la campagne de mesures afin de vérifier l'absence de dérive.

2.3.3 Récapitulatif des moyens utilisés à l'occasion des mesures en continu

Le tableau suivant donne un récapitulatif des moyens utilisés dans cette étude

	Grandes Varennes	Lavoisier	Prieuré
ATMO Poitou Charentes		Analyseur de COV C2-C6	
		Analyseur de COV C6-C12	
	Tubes passifs : COV, aldéhydes	Tubes passifs: COV, aldéhydes	
	Qtrak : CO_2, température, humidité relative	Qtrak: CO_2, température, humidité relative	
IN AIR SOLUTIONS	microanalyseur de formaldéhyde (prototype In Air Solutions)	microanalyseur de formaldéhyde (prototype In Air Solutions)	
	Mallette de prélèvement (cartouches DNPH) In Air Solutions MP4V3	Mallette de prélèvement (cartouches DNPH) In Air Solutions MP4V1 et V2	Mallette de prélèvement (cartouches DNPH) In Air Solutions MP4V1
	Microanalyseur de BTEX (prototype laboratoire)	Microanalyseur de BTEX (prototype laboratoire)	
	Microanalyseur de BTEX : prototype A industriel	Microanalyseur de BTEX : prototype A industriel	Microanalyseur de BTEX : prototype A industriel
			Qtrak: CO2, température, humidité relative
Service Santé Publique Ville de La Rochelle	Analyseur Nemo (Ethera) : formaldéhyde, COV, CO_2, température, humidité relative, pression		
	Indicateur lumineux de confinement SoundAir	Indicateur lumineux de confinement SoundAir	

Tableau 9 : Récapitulatif des moyens utilisés lors des mesures en continu

La ville de La Rochelle a souhaité profiter de la campagne de mesures IMPACTAIR pour évaluer l'analyseur de formaldéhyde Nemo commercialisé par Ethera. Ces mesures ne seront pas traitées dans ce rapport. L'objectif de la ville de La Rochelle est de disposer d'outil simple à mettre en œuvre pour faire des évaluations quantitatives des concentrations en formaldéhyde dans des salles de classes.

2.3.4 Mise en œuvre technique et installation des appareils de mesure

Pour l'installation des appareils de mesures dans les pièces instrumentées, les conditions suivantes ont été recherchées :

- Pour les appareils d'In Air Solutions :
    - Hors de portée des élèves
    - Si possible, dans un lieu sécurisé par une clé
    - Présence de prises électriques et d'un port Ethernet
    - Pouvoir percer des trous pour faire passer les lignes de prélèvement
    - Prévoir des colliers de fixation au plafond pour les lignes de prélèvements
    - Pas de gêne aux activités normales de la classe/de l'école
- Pour le camion ATMO :
    - Ne pas garer le camion devant les sorties de secours
    - prévoir des barrières de protection autour du camion
    - proximité immédiate de la classe : longueur limitée de la ligne de prélèvement
    - possibilité de percer dans les menuiseries
    - présence d'un électricien pour le raccordement
- Pour les tubes passifs (ATMO) et l'appareil Nemo (Direction Santé Publique)
    - si possible, prévoir une fixation au plafond au centre de la classe pour limiter la proximité avec les matériaux émissifs et se capter le plus justement possible l'exposition des élèves
    - hors de portée des élèves
- Pour l'appareil SoundAir (Direction Santé Publique)
    - visible par l'enseignant et/ou toute la classe pour le SoundAir
    - proximité d'une prise électrique

Les contraintes des mesures dans les classes vides de meubles ont été bien acceptées des directeurs d'écoles et enseignants concernés à partir du moment où il a été précisé dès le départ que toutes les opérations de manutentions étaient réalisées par les services municipaux et l'engagement a été pris de tout remettre en place à l'identique y compris tout ce qui était fixé aux murs.

La mise en œuvre des mesures en continu sur les cinq semaines dans les deux écoles élémentaires a supposé une préparation, une organisation et une logistique importantes. Nous soulignons l'importance d'un échange préalable avec le personnel des établissements concernés, à la fois pour favoriser le bon fonctionnement de l'expérimentation et pour contribuer à la sensibilisation autour des enjeux de la qualité de l'air intérieur qui ne peuvent pas être abordés comme une thématique purement scientifique et technique.

L'organisation logistique des mesures et l'emplacement des appareils dans les pièces instrumentés sont présentés en annexe 6.

2.3.5 Chauffage dans les établissements

Pour des raisons de comparabilité des mesures sur les cinq semaines d'instrumentation (dont deux pendant les vacances scolaires), le chauffage a été assuré dans les pièces instrumentées. Dans le cas de l'école Lavoisier, l'école était chauffée du fait de la présence du centre de loisirs dans les locaux pendant toutes les vacances. Pour les Grandes Varennes, le chauffage central a été maintenu et un chauffage électrique d'appoint en parallèle a été utilisé du 15/02 au 19/02, puis un chauffage électrique seul du 19/02 au 29/02. La demande de chauffer l'école pendant les vacances a été refusée par le service chauffage de la mairie pour des questions de coûts financier et énergétique. Un test de chauffage a été effectué le vendredi 26/02 toute la journée.

Une différence d'impact sur les émissions de polluants selon le système de chauffage utilisé (central ou d'appoint) est possible mais n'a pu être déterminée.

2.4 Déroulé des mesures

2.4.1 Calendrier

S1 : Classe vide de meuble (Lavoisier)

S2 : Classe avec meuble sans activité (Lavoisier)

Les mesures en dynamique ont été réalisées sur cinq semaines consécutives.

La première semaine dans les salles vides de meubles pour mesurer la contribution du bâti dans les émissions de polluants.

La deuxième semaine avec mobilier et décoration pour mesurer la contribution de ces derniers dans les concentrations de polluants.

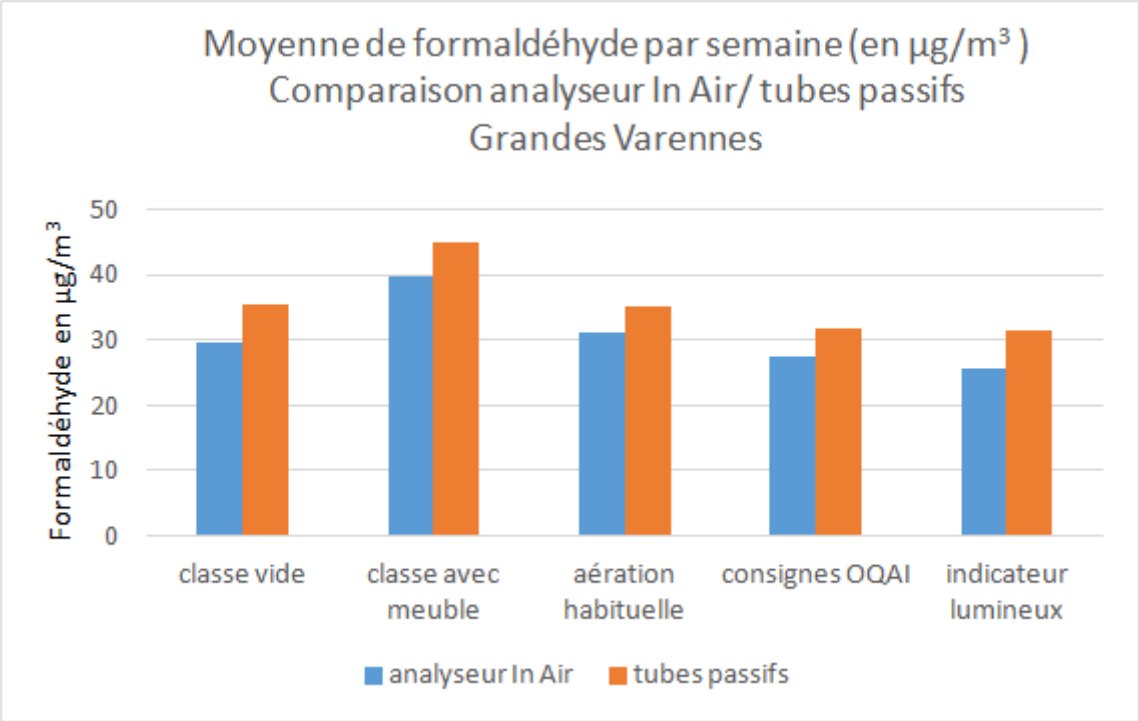
Les trois semaines suivantes, les pièces ont retrouvé leurs occupants et différentes pratiques d'aération ont été testées avec l'objectif d'évaluer l'influence de ces dernières sur la dynamique des polluants mesurés.

Période		CM2 Grandes Varennes	CE1-CE2 Lavoisier	Grande section Prieuré
S1	15-21 février	Classe vide de meuble		
S2	22-28 février	Classe meublée sans activité		
S3	29 février-6 mars	Pratiques d'aération habituelles		
S4	7-13 mars	Indicateur lumineux de confinement	Consignes spécifiques d'aération	Pratiques d'aération habituelles
S5	14-20 mars	Consignes spécifiques d'aération	Indicateur lumineux de confinement	

Tableau 10 : Calendrier des mesures en continu

2.4.2 Mesures automatiques et mesures passives

Les mesures par échantillonneurs passifs ont été utilisées pour la validation des mesures en continu et ne feront pas l'objet d'une exploitation spécifique. Les tests présentent une bonne corrélation entre les résultats réalisés dans le cadre des mesures en continu et celles réalisées par échantillonneurs passifs. Les résultats comparatifs et les tests de corrélation sont présentés dans les graphiques suivants :



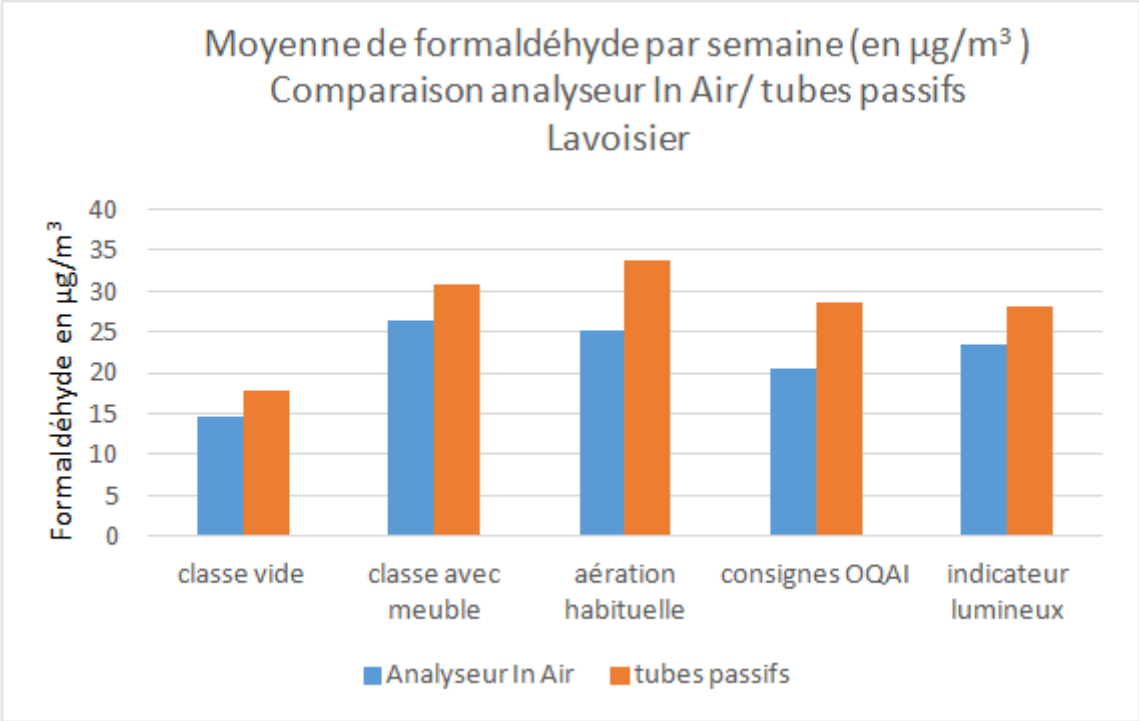


Figure 27 : Comparaison des mesures par échantillonneur passif et mesures en continu

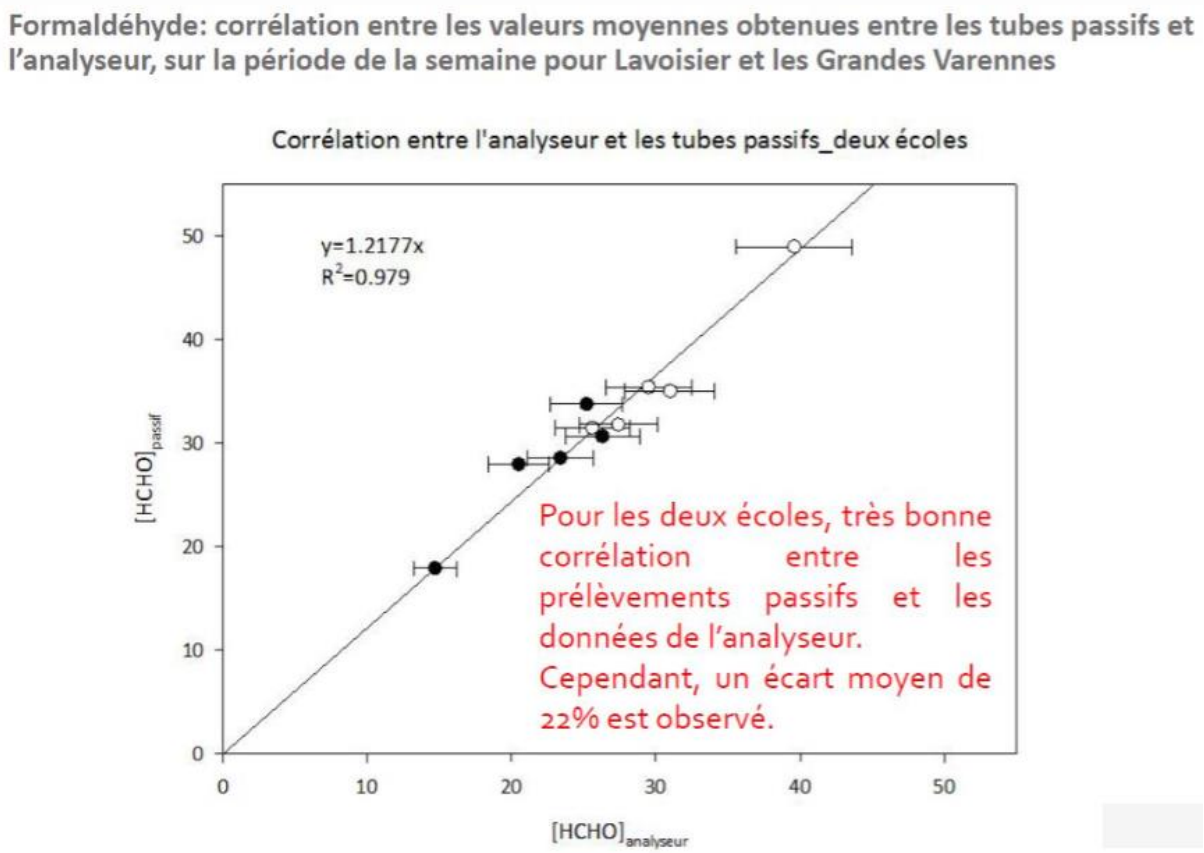


Figure 28 : Test de corrélation entre l'analyseur et les tubes passifs réalisé par In'Air Solutions

2.4.3 Protocoles d'aération

Le projet de référentiel de l'OQAI (Riberon J. et al., 2013) sur les pratiques d'aération a servi de point de départ pour définir des scénarios d'aération par ouverture des fenêtres dans les salles instrumentées. Selon la classification des pièces définies dans ce référentiel, les deux pièces instrumentées présentent un bâti étanche et une occupation faible (voir détails en annexe 7). Pour cette catégorie de pièces, le scenario d'aération correspondant est le scenario intermédiaire. Il a été légèrement adapté compte tenu des nouveaux rythmes scolaires des écoles et de leurs horaires spécifiques.

Dans les deux salles d'élémentaires, les scénarios ont donc été définis comme suit :

- Une semaine sans consigne comme semaine témoin pour mesurer l'influence des pratiques habituelles en matière d'aération sur les polluants intérieurs
- Une semaine en appliquant des consignes spécifiques d'aération adaptées du référentiel de l'OQAI. Pour chacune des classes, un planning détaillé des consignes et des temps d'aération sur la semaine a été préparé. Les plannings des deux classes sont présentés en annexe 8.
- Une semaine en utilisant l'indicateur lumineux de confinement pour aérer la pièce. La définition des seuils pour l'indicateur lumineux est présentée en annexe 9.

Remarques importantes :

Il est important de souligner les limites rencontrées dans l'exercice de définition des actions d'aération. Nous avons proposé des plannings d'aération sur la semaine, mais nous n'avons pas donné de consignes particulières sur la manière d'aérer (nombre de fenêtres ouvertes,

avec la porte ou non, ouverture en grand ou non, etc.). L'interprétation variable qui a pu être faite est également amplifiée par les différences d'activités, d'horaires et d'agents d'une journée à l'autre. Nous avons également perçu des difficultés et des incohérences entre les durées importantes d'aération pendant les temps de classe et les temps d'aération pendant les récréations.

Une section entière de ce rapport est consacrée à un retour sur expérience de pratiques d'aération, avantages et freins à leur mise en œuvre.

2.4.4 Observations pendant les semaines de mesures

Chaque classe a rempli une grille d'observation par jour pendant les trois semaines de cours :

- A l'école Lavoisier dans la classe de CE1-CE2, les grilles d'observation ont été remplies par le personnel d'entretien et l'enseignant
- A l'école des Grandes Varennes dans la classe de CM2, une élève a été chargée d'aérer et de renseigner les grilles d'observations pendant la classe. Le personnel d'entretien et le concierge étaient chargés d'aérer et renseigner les grilles avant et après la classe

La grille d'observation utilisée pour cette expérimentation est présentée en annexe 10.

Description des scénarios de pratiques d'aération

3.1 Méthodologie

Ce chapitre vise à décrire les pratiques d'aération dans les deux salles de classe où trois scénarios ont été testés :

	École Lavoisier	École Grandes Varennes
Aération normale sans consigne	S3	S3
Aération avec les consignes d'aération	S4	S5
Aération sur la base d'un indicateur lumineux	S5	S4

Tableau 11 : Scénarios d'aération testés dans les deux salles de classes

Un seul indicateur lumineux étant disponible, les mesures n'ont pas pu être réalisées simultanément (en S5 à Lavoisier et en S4 aux Grandes Varennes).

Avant d'étudier plus en détail le comportement des polluants en fonction des différents scénarios, il convient de faire une description de ces pratiques d'aération.

Lors des trois semaines de mesures en période d'occupation dans les écoles élémentaires, des grilles d'observation ont été remplies par les élèves ou les enseignants. Elles ont permis de faire une analyse chiffrée des durées d'aération en distinguant les semaines de mesures et les types d'ouvertures pratiquées.

Une analyse qualitative de l'expérimentation a également été conduite. Elle s'appuie sur des entretiens semi-directifs conduits avec des agents des deux écoles élémentaires (directeurs, enseignants, agents techniques, concierges et ATSEM). L'entretien comprenait deux volets :

- Une partie retour d'expérience sur les 5 semaines de mesures en vue d'évaluer la reproductibilité du protocole
- Une partie sur les représentations individuelles autour de la question de la qualité de l'air intérieur, l'exposition au polluant, et les pratiques d'aération

Le taux de présence est le pourcentage de temps pendant lequel des enfants sont présents dans la salle de classe (classe pleine ou groupe de manière indifférenciée). Dans le cadre de cette étude ce taux est important pour s'assurer que les trois semaines de mesures seront comparables entre elles, ainsi qu'entre les deux écoles. L'aération est forcément liée au taux de présence. Dans ce type d'établissement, si personne n'est dans la salle, les fenêtres et portes sont généralement closes. Le tableau suivant donne les taux de présence dans les deux classes pour les 3 scénarios.

Taux de présence	École Lavoisier	École Grandes Varennes
Avec Mobilier, avec activités et sans consigne d'aération	14,3 %	16,7 %
Avec Mobilier, avec activités et avec consignes d'aération	12,7 %	14,9 %
Avec Mobilier, avec activités et avec indicateur lumineux	14,3 %	13,9 %

Tableau 12 : Taux de présence dans les deux classes selon les 3 scénarios

Pour les deux salles de classe et dans les trois scénarios d'aération le taux de présence des élèves est équivalent.

Les durées totales d'aération selon le type d'ouverture ont été calculées pour les trois semaines en fonction de la stratégie d'aération mise en œuvre (Durand, 2015). Les calculs s'appuient sur les grilles d'observation remplies par les occupants. Nous soulignons ici le caractère expérimental de cette approche avec les limites que représentent les données déclaratives du personnel ayant rempli les grilles (exactitude des horaires, temps d'ouverture, oublis, etc.)

3.2 Résultats concernant l'analyse des durées d'aération

Le tableau suivant représente le taux d'ouverture moyen sur la semaine d'au moins une fenêtre. Les deux classes comportent chacune deux portes et quatre fenêtres.

Taux d'ouverture des fenêtres (au moins une fenêtre)	École Lavoisier		École Grands Varennes	
	Total	En présence des occupants	Total	En présence des occupants
Sans consigne d'aération	2,4 %	5,6 %	1,9 %	7,7 %
Avec consignes d'aération	12,1 %	46,9 %	15 %	28,6 %
Avec indicateur lumineux	16,7 %	76,2 %	11,2 %	62 %

Tableau 13 : Taux d'ouverture des fenêtres (au moins une fenêtre) en rapport au temps de présence des enfants sur l'ensemble de la semaine

Pour l'école Lavoisier, le taux d'ouverture d'une fenêtre est, par rapport à l'aération sans consigne :

- 9 fois plus important avec les consignes d'aération,
- 15 fois plus important avec l'indicateur lumineux.

Et pour l'école des Grandes Varennes :

- 4 fois plus important avec les consignes d'aération,
- 9 fois plus important avec l'indicateur lumineux.

L'incidence des trois scénarios d'aération est particulièrement significative sur cet indicateur.

Cet indicateur représente le taux moyen d'ouverture d'au moins une porte pour les trois semaines concernées.

Taux d'ouverture des portes (au moins une porte)	École Lavoisier		École Grandes Varennes	
	Total	En présence des enfants	Total	En présence des enfants
Sans consigne d'aération	22 %	29,9 %	22,6 %	50 %
Avec consignes d'aération	17,1 %	11,7 %	14,4 %	22,1 %
Avec indicateur lumineux	20,2 %	24,5 %	26,6 %	54 %

Tableau 14 : Taux moyen d'ouverture d'au moins une porte au cours des trois semaines de mesures en présence des enfants

- **Situation de référence ou semaine « Sans consigne d'aération »**

Dans la classe de CE1-CE2 à l'école Lavoisier, « l'aération habituelle montre des ouvertures de portes et de fenêtres de manière marginale : ainsi, en moyenne, les fenêtres ont été ouvertes environ 16 minutes par demi-journée de cours, la porte environ 6 minutes.

Dans la classe de CM2 aux Grandes Varennes, la situation de départ lors de la semaine « d'aération habituelle» montre une absence totale d'aération par ouverture des fenêtres. En revanche, la porte est généralement laissée ouverte l'équivalent de 40 minutes en moyenne par demi-journée de cours

- **Influence des consignes d'aération spécifiques**

Dans les deux salles de classes, les consignes spécifiques tirées des recommandations de l'OQAI permettent d'augmenter de manière substantielle le temps d'aération par ouverture des fenêtres. Dans les deux établissements et au cours des 2 semaines où des scénarios d'aération ont été testés, l'aération a été davantage pratiquée via l'ouverture des fenêtres seules que par l'ouverture de la porte ou des deux types d'ouvrant en simultané. Afin de déterminer la faisabilité des consignes de l'OQAI, un calcul du respect des consignes lors de la campagne des mesures en continu a été réalisé, sur la base d'une comparaison entre les consignes données et les déclarations faites dans les grilles d'observation remplies par les occupants.

Dans la classe de CE1-CE2 à Lavoisier, les consignes ont globalement été mieux respectées qu'aux Grandes Varennes[4]. Les consignes d'aération pendant les heures de cours ont été suivies partiellement avec des temps d'aération variables d'une journée à l'autre. Dans la classe de CM2 aux Grandes Varennes, les créneaux d'aération indiqués n'ont jamais été suivis le matin et après la classe, à aucun moment de la semaine. Sur les autres créneaux, les temps et consignes d'aération ont été mieux suivi en particulier l'après-midi pendant les périodes de classe. L'aération après la classe et le matin semble avoir posé le plus de difficultés. Toutefois, au regard des mesures en dynamiques des polluants et des conclusions évoquées dans la section précédente, il semble que ces temps d'aération ne soient pas décisifs au regard de l'amélioration de l'exposition des enfants à des polluants.

- **Influence de l'indicateur lumineux de confinement**

On observe que la présence de l'indicateur lumineux de confinement augmente de manière très significative la durée d'aération par la porte et/ou les fenêtres. Son utilisation conduit à des temps d'aération bien supérieurs à ceux obtenus avec les consignes d'aération spécifiques. Cette tendance déjà mise en avant dans la littérature sur la qualité de l'air intérieure (Dassonville C et al, 2013 ; Geelen LMJ et al, 2008) se confirme donc dans ce projet : l'indicateur lumineux constitue un moyen très incitatif pour favoriser l'ouverture des fenêtres.

[4] Pour rappel, la classe de Lavoisier a reçu l'indicateur lumineux après la semaine de consignes. Aux Grandes Varennes, c'était l'inverse. Il ne semble pas que l'indicateur lumineux ait induit un biais dans les pratiques d'aération. Les enseignants nous ont rapporté avoir trouvé très contraignantes les consignes d'aération.

3.3 Influence de l'aération sur le confort

La mise en place des scénarios d'aération peut aussi impacter d'autres paramètres physiques notamment la température. Nous savons que le confort thermique peut être un frein à l'aération. Le tableau suivant donne des informations pour la température extérieur/intérieur et l'humidité lors des trois semaines. Nous constatons que les pratiques d'aération n'ont pas fait chuter de manière significative les températures relevées à l'intérieur de la classe. Notons toutefois que les températures extérieures n'étaient pas excessivement basses pendant les semaines de mesures.

Lavoisier	Température extérieure		Température intérieure		Humidité relative	
	Total	En présence des enfants	Total	En présence des enfants	Total	En présence des enfants
Sans consigne d'aération	8,0 °C	8,7 °C	19,8 °C	20,6 °C	53,6 %	55,9 %
Avec consignes d'aération	7,9 °C	8,2 °C	20,0 °C	20,5 °C	48,8 %	50,6 %
Avec indicateur lumineux	8,8 °C	10,3 °C	21,2 °C	21,4 °C	44,2 %	44,4 %

Grandes Varennes	Température extérieure		Température intérieure		Humidité relative	
	Total	En présence des enfants	Total	En présence des enfants	Total	En présence des enfants
Sans consigne d'aération	8,0 °C	8,7 °C	18,2 °C	21,0 °C	59,0 %	57,8 %
Avec consignes d'aération	8,8 °C	10,7 °C	17,6 °C	20,1 °C	53,3 %	53,6 %
Avec indicateur lumineux	7,9 °C	8,4 °C	17,1 °C	19,4 °C	55,5 %	51,3 %

Tableau 15 : Températures et humidité dans les deux écoles durant les 3 semaines de mesures

3.4 Résultats concernant l'enquête et l'analyse qualitative

Les entretiens conduits auprès du personnel des écoles (2 concierges, 2 directeurs, 2 enseignants, 1 agent technique) ont permis de mettre en évidence les éléments moteurs et les freins à l'aération des salles de classe.

3.4.1 Eléments favorisant l'aération

Les éléments moteurs pour l'aération des classes que nous avons repérés dans cette étude :

- La sensibilisation aux enjeux de la qualité de l'air intérieur constitue un facteur important pour les personnes ayant participé à l'enquête, ces derniers témoignant ne pas avoir connaissance des impacts potentiels sur la santé ou sur l'attention des

enfants d'une mauvaise qualité de l'air intérieur et d'une aération insuffisante des locaux.

- L'indicateur lumineux est certainement l'outil le plus efficace pour inciter à l'aération des locaux, il permet en effet à l'enseignant de se concentrer sur son activité et de procéder à l'ouverture des ouvrants en fonction du rappel lumineux.

- Les odeurs et la chaleur sont également des paramètres incitatifs conduisant à l'ouverture des fenêtres même si l'amélioration de la QAI n'est pas visée directement.

3.4.2 Freins à l'aération

Les freins à l'aération des classes que nous avons relevés dans cette étude :

- Les entretiens mettent avant tout en évidence la question de la répartition des tâches entre le personnel enseignant et le personnel municipal en charge de l'entretien des locaux. D'un côté il y a la perception que les enjeux de qualité de l'air ne sont pas une problématique prioritaire pour les écoles où les équipes pédagogiques sont déjà fortement mobilisées et que l'aération de la classe ne fait pas partie de leur mission qui doit rester éducative. De l'autre côté, la Ville a mis en place un protocole pour l'entretien des locaux comprenant des consignes d'aération que les agents d'entretien ou ATSEM suivent et appliquent au cours des opérations de ménages. Pour ces derniers, le levier principal pour améliorer l'aération serait de donner des consignes en journée en direction de l'enseignant. En dehors des créneaux de ménage, il n'y a pas de protocole d'aération des salles de classes. Pour d'autres directeurs, l'implication doit être partagée par les différents personnels de l'établissement.

- Le second frein identifié est lié à la perception que la qualité de l'air intérieur est un sujet non prioritaire pour une école. Les entretiens mais aussi les rencontres réalisées dans les établissements lors de la première phase d'IMPACTAIR ont mis en évidence l'impression que le sujet qualité de l'air intérieur ne doit pas passer avant des enjeux pédagogiques, d'équipements, de rénovation ou d'entretien des locaux jugés parfois insatisfaisants. Dans l'enquête nationale descriptive sur les écoles et les crèches et leurs pratiques d'aération menée par l'OQAi et le cabinet Sépia Santé auprès de 280 personnels de crèches et enseignants d'écoles maternelles, les nuisances thermiques et sonores constituent une priorité. Dans le cas de La Rochelle, les entretiens et rencontres réalisés mettent en évidence le déficit d'information sur la QAI et le peu d'inquiétude exprimée à cet égard.

- Nous observons également la perception que les questions de QAI concernent plutôt le foyer que le lieu de travail. Les personnes interrogées ont parfois connaissance des polluants de l'air intérieur et de leurs sources mais souvent elles évoquent spontanément leur inquiétude autour des questions d'amiante ou des sources de pollution extérieure (« si on ouvre au-delà de 20 minutes, est-ce qu'on ne fait pas rentrer la pollution ? »). Les effets sur la santé ont été peu évoqués lors des entretiens mais soulèvent toutefois des questions sur l'action des pouvoirs publics « si toutefois l'air n'était pas bon, qu'est-ce que vous (la mairie) faites ?

- Même s'il y a une forme de désintéressement pour ces enjeux, les personnes interrogées ont également exprimé ne pas se sentir bien informées sur cette thématique jugée souvent trop technique. Cette observation rejoint la perception que nous avions eue lors de nos premières visites dans les établissements au moment des mesures avec les tubes passifs : l'installation d'appareils de mesure suscite des questionnements et marque symboliquement une barrière entre l'univers scientifique

et technique, et le vécu réel, les perceptions et les connaissances personnelles sur la qualité de l'air intérieur et ses enjeux. Dans les entretiens, ressort également le sentiment qu'il est difficile de percevoir une pollution invisible et de se sentir concerné. A cet égard, l'utilisation de l'indicateur lumineux permet justement de mettre en évidence cette « pollution » et a conduit à une prise de conscience des enseignants sur le confinement de l'air.

- Parmi les freins à l'aération figurent également des considérations techniques concernant les types d'ouvrants : dans certains cas les fenêtres sont difficiles à manœuvrer, ou posent des problèmes de sécurité (prise au vent, risque de défenestration) et les membres du personnel craignent que leur responsabilité soit engagées en cas de problème lors de l'ouverture en grand en présence des enfants. Les rideaux empêchent parfois l'ouverture des fenêtres et la circulation de l'air quand des stores extérieurs seraient plus adaptés.

- Pour la classe de CM2 aux Grandes Varennes, les nuisances sonores liées à la circulation automobile constituent un autre frein majeur à l'aération. Ce point rejoint également la question de l'apport de la pollution extérieure au moment de l'aération.

3.4.3 Retour sur les consignes du guide OQAI

Retour spécifique sur les consignes d'aération définies à partir du guide de l'OQAI (Riberon et al., 2013) détaillées en annexe 8 de ce rapport :

- Il convient d'observer que les horaires d'aération demandés dans les fiches ne correspondaient pas toujours aux habitudes d'aération déjà en place. Les horaires stricts ont également apporté une complexité additionnelle « il aurait fallu laisser une marge »
- Les participants à l'expérimentation témoignent des difficultés à suivre des consignes lorsqu'ils sont pris dans les activités de l'école d'où certains oublis car il existe d'autres priorités.
- Dans les classes on observe également un tassement dans les pratiques d'aération en fin de semaine, peut-être dues à une lassitude, un essoufflement dans le suivi des consignes perçue comme contraignantes et nécessitant de garder un œil sur l'heure en permanence.

3.4.4 Autres commentaires issus des entretiens

Suite à ces semaines de mesures et aux échanges sur les enjeux de la QAI, les personnes interrogées ont formulé des pistes d'amélioration. Nous proposons de les garder à l'esprit pour la suite du travail et l'élaboration du plan d'action QAI de la Ville de La Rochelle.

- Installer des ventilations mécaniques et des grilles d'aération qui permettraient également plus d'autonomie sur le sujet aération qui peut être une contrainte dans le planning d'activité déjà chargé d'une journée
- Changer les menuiseries et installer des stores extérieurs
- Impliquer les élèves dans l'aération de la classe
- Sensibiliser les équipes aux enjeux de la qualité de l'air intérieur
- Formaliser des consignes d'aération (temps de classe, récréation, pause méridienne)

3.5 Conclusions concernant les pratiques d'aération

L'exploitation des mesures en continu et des grilles d'observation indiquent que l'aération habituellement pratiquée dans les écoles instrumentées est marginale et insuffisante pour un renouvellement d'air satisfaisant au regard des recommandations de santé publique.

La seconde conclusion importante de cette expérimentation est liée à l'applicabilité des consignes d'aération de l'OQAI telles que nous les avons utilisées dans cette étude. Le protocole d'aération proposé aux classes a été perçu comme trop contraignant et parfois inadapté aux situations réelles de vie de la classe. Les temps d'aération prolongés et répétés ont été perçus comme une gêne aux activités habituelles, du fait des nombreux freins identifiés précédemment.

L'utilisation d'un indicateur lumineux pour favoriser le changement des pratiques semble le meilleur allié pour une meilleure aération des salles de classe.

L'expérimentation révèle également des insuffisances en matière d'information et de sensibilisation aux enjeux de la QAI à ses effets sur la santé et sur l'apprentissage des élèves. La sensibilisation des parents semble également une piste importante à explorer.

Si le personnel rencontré reste réceptif à jouer son rôle dans des actions d'amélioration de la qualité de l'air, il sera certainement essentiel de bien redéfinir le rôle des différentes équipes pédagogiques et personnel d'entretien notamment ; mais aussi de montrer que des actions sont également engagées par la Ville au niveau du patrimoine bâti.

Exploitation des mesures dynamiques

Ce chapitre donne une exploitation des mesures dynamiques réalisées dans le cadre de cette mission. Cette exploitation n'est bien évidemment pas exhaustive, le volume de données et de pistes d'étude étant très vaste.

Toutes les données collectées, exceptées celles correspondant à la classe de maternelle, ont été structurées dans une table unique de pas de temps de 10 min, cette base de données contient :

- les mesures : de formaldéhyde, benzène, dioxyde de carbone, humidité et température
- les données d'activités : présence d'élèves, activités réalisées, ménage ...
- les données d'aération : nombre de fenêtre et porte ouverte, …..

La base de données brutes sera transmise à l'ADEME.

L'exploitation des mesures dynamiques se décline en plusieurs phases :

- **Caractérisation des niveaux de fond : part liée au bâti et au mobilier :** Cette phase porte sur les données recueillies lors des deux premières semaines de la campagne de mesures. Pendant les vacances scolaires, il n'y avait donc aucune activité dans les classes. En semaine S1, les deux classes était vides de mobilier, les mesures sont donc représentatives des niveaux de pollution directement liées au "bâti". En semaine S2, le mobilier a été remis dans les deux classes. Les mesures sont représentatives des niveaux de pollution liées "bâti + mobilier". La différence entre les semaines S1 et S2 sera indicative de la contribution liée au "mobilier". Cette phase porte sur les concentrations de formaldéhyde, benzène et composés organiques volatils En l'absence de présence humaine les mesures de CO_2 présentent peu d'intérêt, les mesures permettront d'identifier le niveau de fond en CO_2.

- **Caractérisation des effets des scénarios d'aération sur les concentrations en polluant dans la salle de classe :** Cette partie de l'exploitation visera à comparer les mesures des semaines d'aération normale, avec application de consignes d'aération et avec l'utilisation de l'indicateur lumineux avec le niveau de fond de la classe préalablement définit.

4.1 Caractérisation des niveaux de fond : part liée au bâti et au mobilier

Cette caractérisation portera donc sur les deux premières semaines de mesures :

- semaine S1 du lundi 15 au dimanche 21 février : salle vide de meuble sans activité ni aération *(salle vide de meuble)*
- semaine S2 du lundi 22 au dimanche 28 février : salle avec le mobilier sans activité ni aération *(salle meublée sans activité)*

L'exploitation portera essentiellement sur le formaldéhyde, le dioxyde de carbone et certains composés organiques spécifiques.

4.1.1 Bilan des concentrations de formaldéhyde

Le tableau suivant donne les statistiques générales pour les concentrations de formaldéhydes pour les deux salles de classe et les deux semaines

	Classe Lavoisier		**Classe Grandes Varennes**	
En µg/m³	Semaine 1	Semaine 2	Semaine 1	Semaine 2
	Vide de meubles	*Salle meublée sans activité*	*Vide de meubles*	*Salle meublée sans activité*
Moyenne	14.7	27.2	29.5	40.7
Valeur min	*7.1*	*11.2*	*3.5*	*12.2*
Valeur max	*20.0*	*34.6*	*45.0*	*57.2*
Médiane	15.0	27.8	29.7	41.1
Centile 10%	11.6	17.5	25.8	30.2
Centile 90%	17.9	31.8	34.8	47.1
Écart-type	2.4	5.3	5	7.1

Tableau 16 : Statistiques générales des concentrations en formaldéhyde dans les deux classes (semaines 1 et 2)

La contribution liée au bâti est approchée à partir des mesures de la semaine S1 (bâti uniquement). Ainsi la contribution induite par le bâti est :

- de 14.7 µg/m³ pour la classe de Lavoisier,
- de 29.5 µg/m³ pour la classe des Grandes Varennes.

On constate une différence importante entre les deux bâtiments. Si les deux bâtiments sont des constructions des années 70, ces écoles ne sont toutefois pas des constructions totalement identiques (l'école de Lavoisier a été construite en 1974 alors que l'école des Grandes Varennes est plus ancienne et date de 1965). Si les mesures ont été réalisées simultanément dans les deux écoles, l'influence de certains paramètres physiques, l'humidité notamment, n'est cependant pas à exclure à ce stade de l'analyse.

La contribution du mobilier peut être déterminée par la différence de la concentration moyenne de la semaine S2 (bâti + meubles) et la moyenne de la semaine S1 (bâti uniquement)

Ainsi la contribution induite par le mobilier est :

- de 12.5 µg/m^3 pour la classe de Lavoisier,
- de 11.2 µg/m^3 pour la classe des Grandes Varennes.

Les deux salles sont assez similaires en termes de volume, de nature et de densité de mobilier, il n'est donc pas étonnant que les contributions liées au mobilier soient équivalentes dans les deux cas.

La figure suivante donne une représentation de la contribution du bâti et du mobilier dans la concentration moyenne de formaldéhyde ainsi :

- pour la classe de Lavoisier : 54 % du formaldéhyde proviendrait du bâti et 46 % du mobilier,
- pour la classe des Grandes Varennes : 72 % du formaldéhyde proviendrait du bâti et 28 % du mobilier.

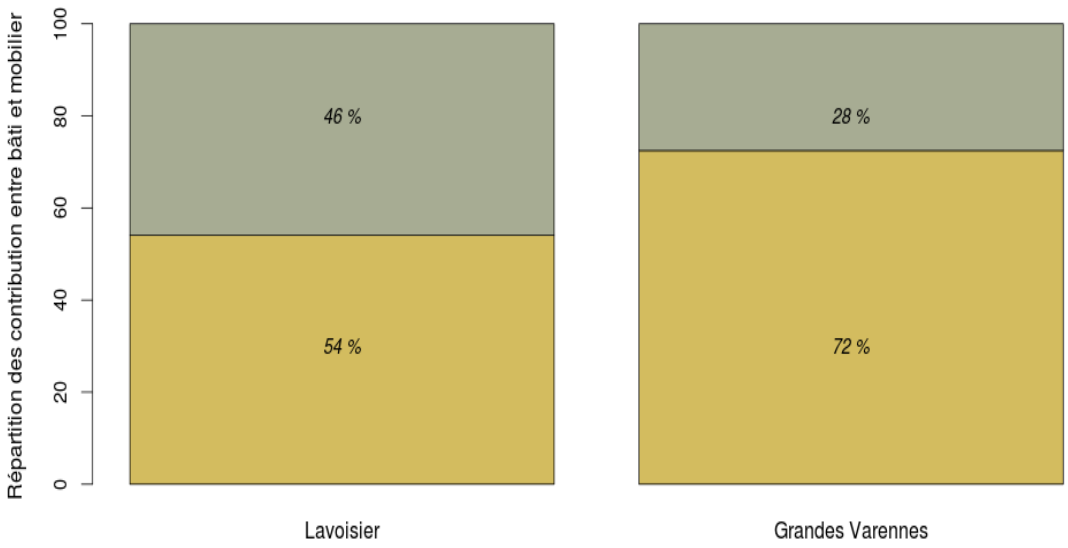


Figure 29 : Concentration moyenne en formaldéhyde pour les deux salles de classes pendant les deux premières semaines

Les proportions entre bâti et mobilier sont dans un ordre de grandeur cohérent avec les résultats du projet INCITAIR.

La figure 30 donne l'évolution horaire des concentrations sur les semaines 1 et 2 pour les deux classes investiguées.

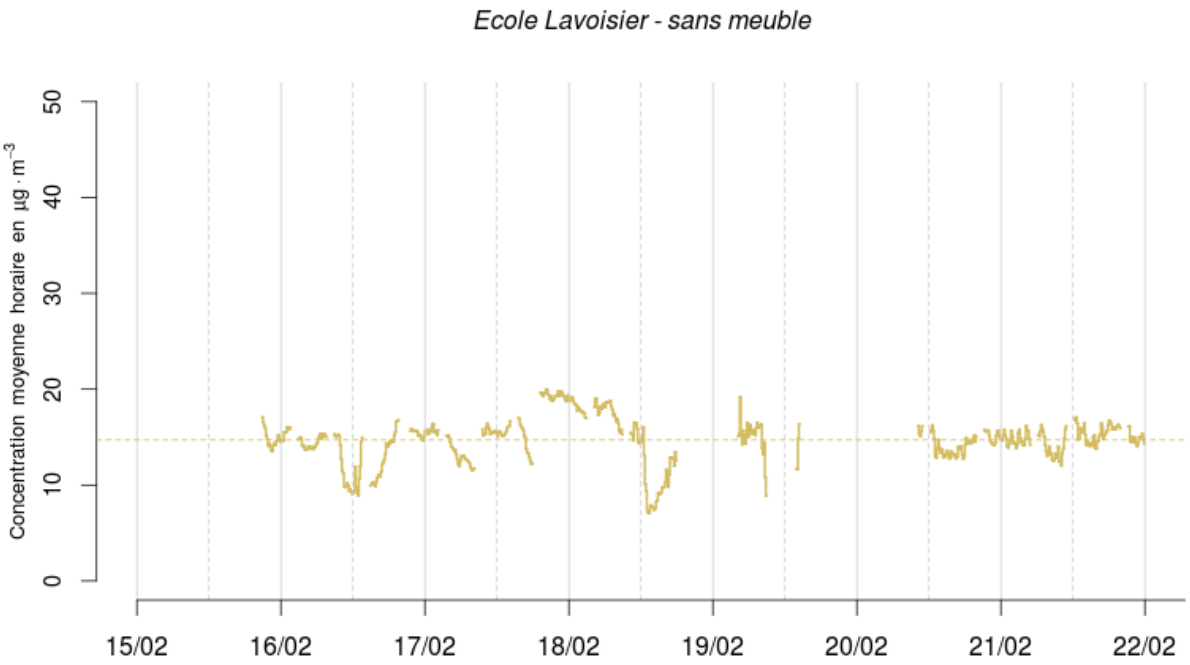
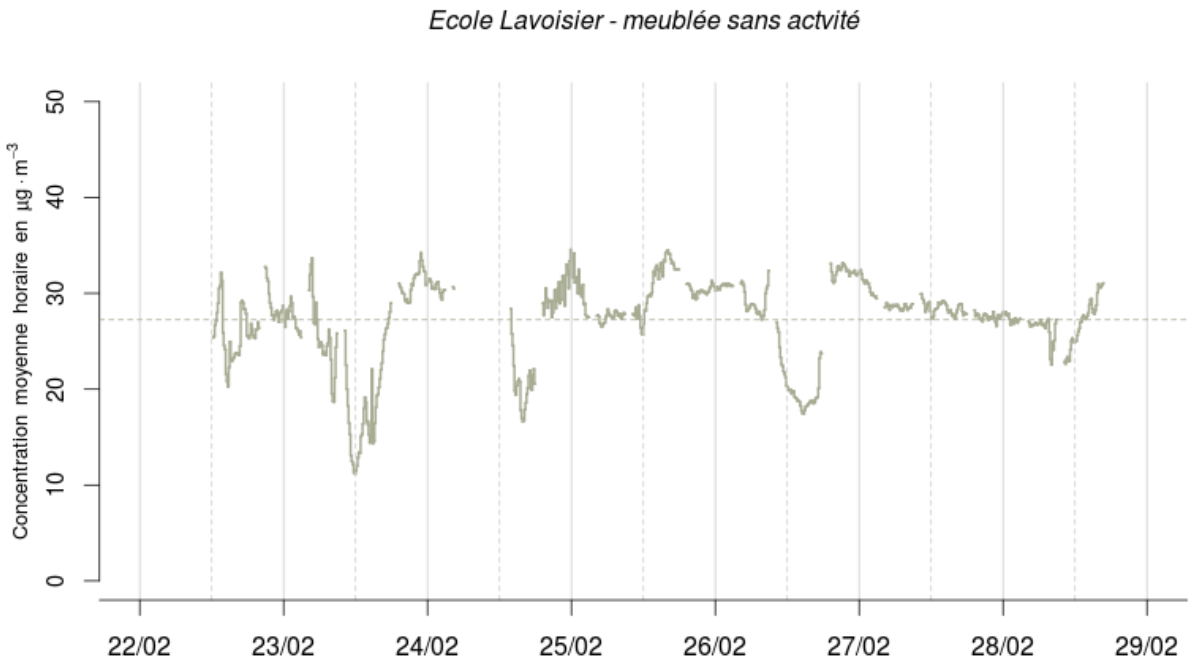


Figure 30 : Evolution des concentrations en formaldéhyde dans les salles de classe



Commentaires complémentaires :

Durant ces deux semaines aucune activité n'a lieu dans les salles investiguées. Les mesures mettent en évidence des brusques variations.

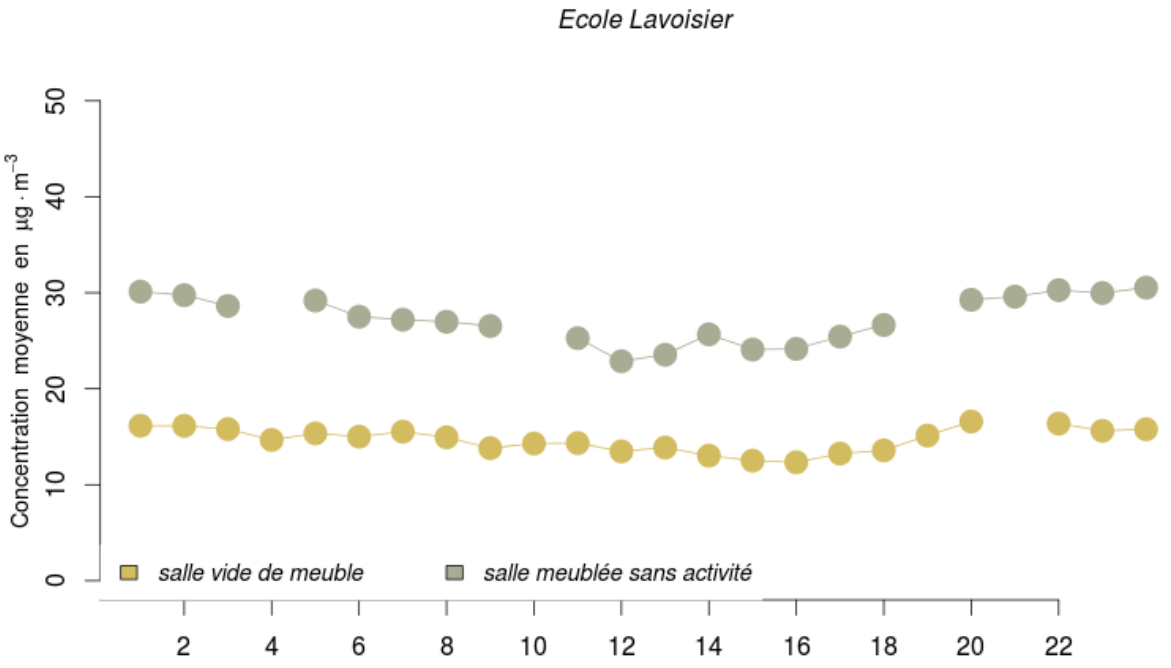
Pour la classe de l'école des Grandes Varennes une baisse importante des concentrations est constatée le jeudi 18/02 (semaine 1) en début d'après-midi et le jeudi 25/02 (semaine 2) en début d'après-midi. Ces deux baisses semblent assez similaires et leur concordance peut indiquer une origine extérieure à la salle de classe elle-même (activité dans une autre partie de l'établissement par exemple).

Les résultats de mesures dans la classe de l'école "Lavoisier" montrent aussi des variations de concentrations de formaldéhyde. Ces variations sont plus marquées lorsque la pièce est meublée.

Les figures 31 et 32 présentent les profils journaliers (en haut) et hebdomadaires (en bas) des mesures de formaldéhyde dans les deux salles de classe. Le profil journalier peut mettre en évidence, quand il existe, un comportement diurne dans les concentrations.

Le profil hebdomadaire de la classe de l'école des Grandes Varennes" montre en semaine 2 une augmentation significative le vendredi, notons que les mesures ne sont pas disponibles pour le vendredi matin ce qui explique peut-être cette augmentation. Aucun comportement inhabituel n'est mis en évidence.

Le profil journalier de la classe de l'école de Lavoisier ne montre aucun comportement spécifique. Sur une journée type, les concentrations sont stables au cours de la journée. L'écart entre S1 et S2 est lui aussi identique toutes les heures de la journée. Pour la classe de l'école "Grandes Varennes" les profils des semaines S1 et S2 sont plus variables, la variabilité plus importante des concentrations de formaldéhyde avait déjà été perçue sur l'évolution horaire. Pour ces deux semaines on constate une légère diminution des concentrations en fin de matinée et dans l'après-midi.



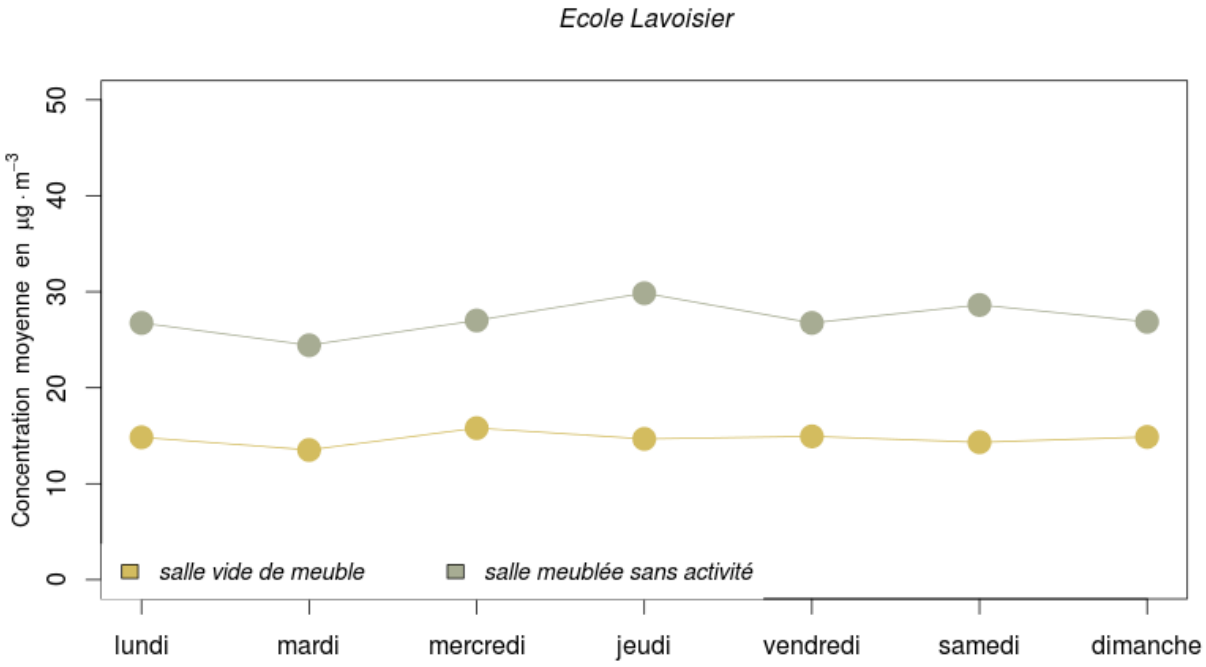


Figure 31 : profils journaliers (en haut) et hebdomadaires (en bas) des mesures de formaldéhyde Ecole Lavoisier

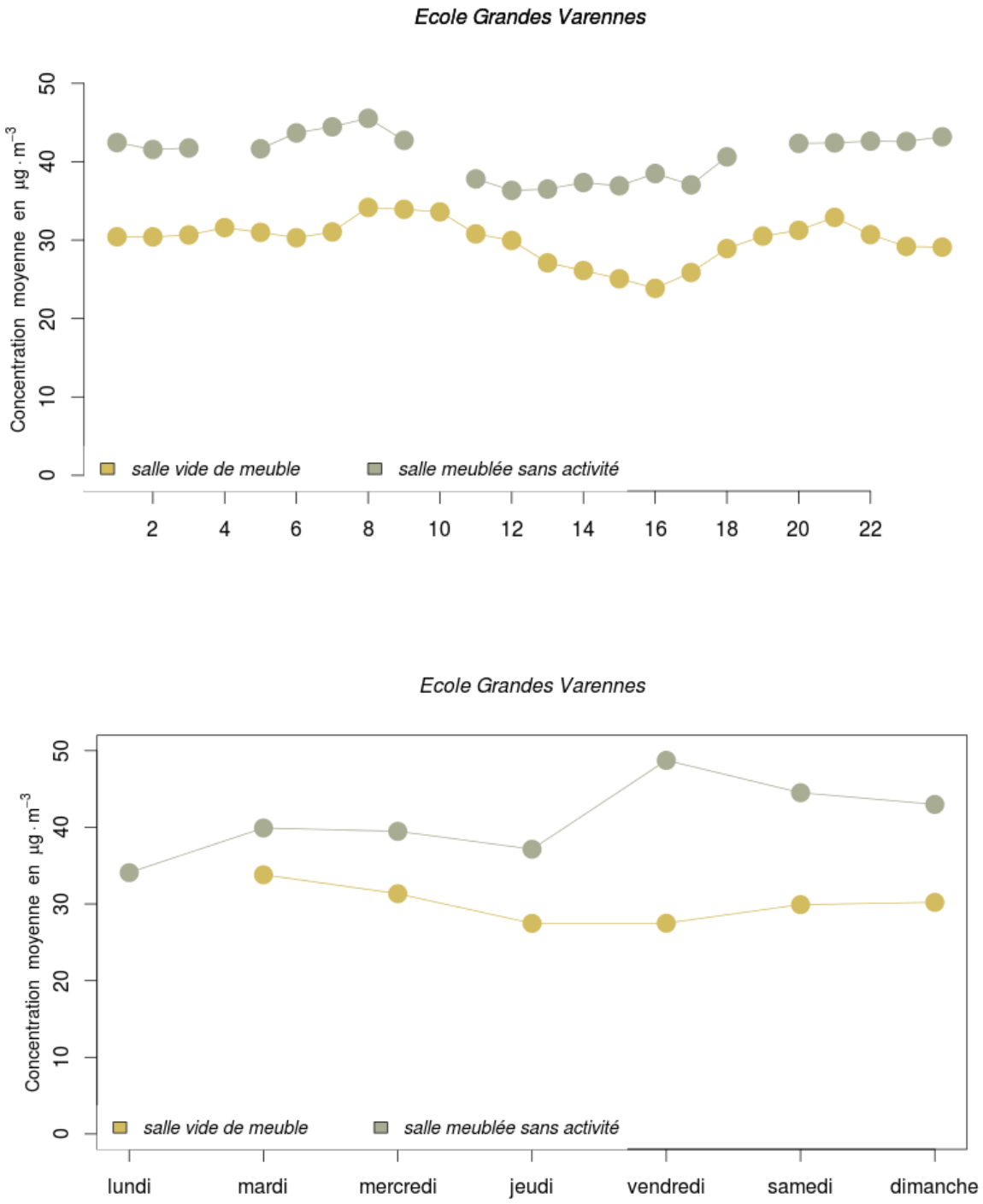


Figure 32 : Profils journaliers (en haut) et hebdomadaires (en bas) des mesures de formaldéhyde (Grandes Varennes)

4.1.2 Bilan des concentrations de dioxyde de carbone : CO_2

Dans une salle de classe, la présence de CO_2 est liée au taux d'occupation (nombre d'enfants et durée de présence) et au renouvellement d'air (ouverture ou fermeture des fenêtres). Durant les semaines S1 et S2, aucune présence et aucune aération n'a eu lieu excepté pour vider les classes et remettre le mobilier ainsi que quelques interventions ponctuelles sur les lignes de prélèvement.

Notons que le lundi matin de la semaine S1 :

- A l'école Lavoisier, le matériel a été installé,
- A l'école Grandes Varennes, la salle de classe a été vidée et le matériel a été installé

En semaine 2, le lundi matin a été consacré au réaménagement des deux salles avec leur mobilier d'origine.

Le tableau suivant donne les indicateurs statistiques qui serviront de référence par la suite.

CO_2	Classe Lavoisier		Classe Grandes Varennes	
En ppm	Semaine 1 *Vide de meubles*	Semaine 2 *Salle meublée sans activité*	Semaine 1 *Vide de meubles*	Semaine 2 *Salle meublée sans activité*
Moyenne	*460*	*418*	*576*	*443*
Valeur min	*371*	*335*	*469*	*326*
Valeur max	*661*	*958*	*912*	*434*
mediane	*472*	*392*	*567*	*435*
Centile 10%	*383*	*344*	*476*	*373*
Centile 90%	*505*	*521*	*707*	*530*
Écart-type	*46.7*	*89.4*	*88.1*	*89.7*

Tableau 17 : Statistiques générales des mesures de CO2 dans les deux classes (semaines 1 et 2)

Le niveau de CO_2 moyen retrouvé en semaine S2 servira de niveau de référence par la suite :

- 481 ppm pour la classe de l'école Lavoisier,
- 443 ppm pour la classe de l'école Grandes Varennes.

- **Pour l'école Lavoisier**

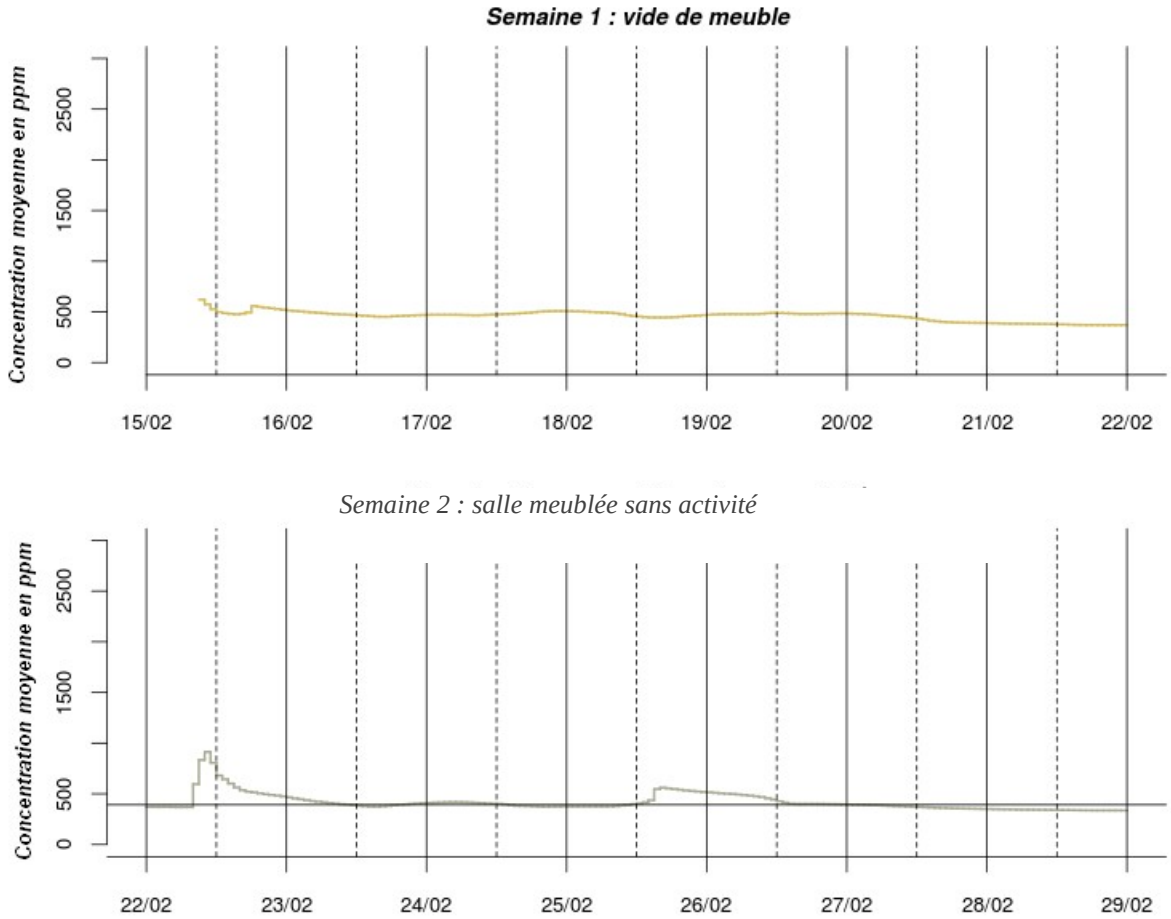


Figure 33 : Mesures de CO2 semaines 1 et 2 à Lavoisier

L'augmentation du 22 février au matin est due à la présence du personnel pour la remise en place du mobilier.
La légère augmentation constatée le 25 février est vraisemblablement due à l'intervention technique par le personnel en charge des mesures dans la salle de classe.

- **Pour l'école Grandes Varennes**

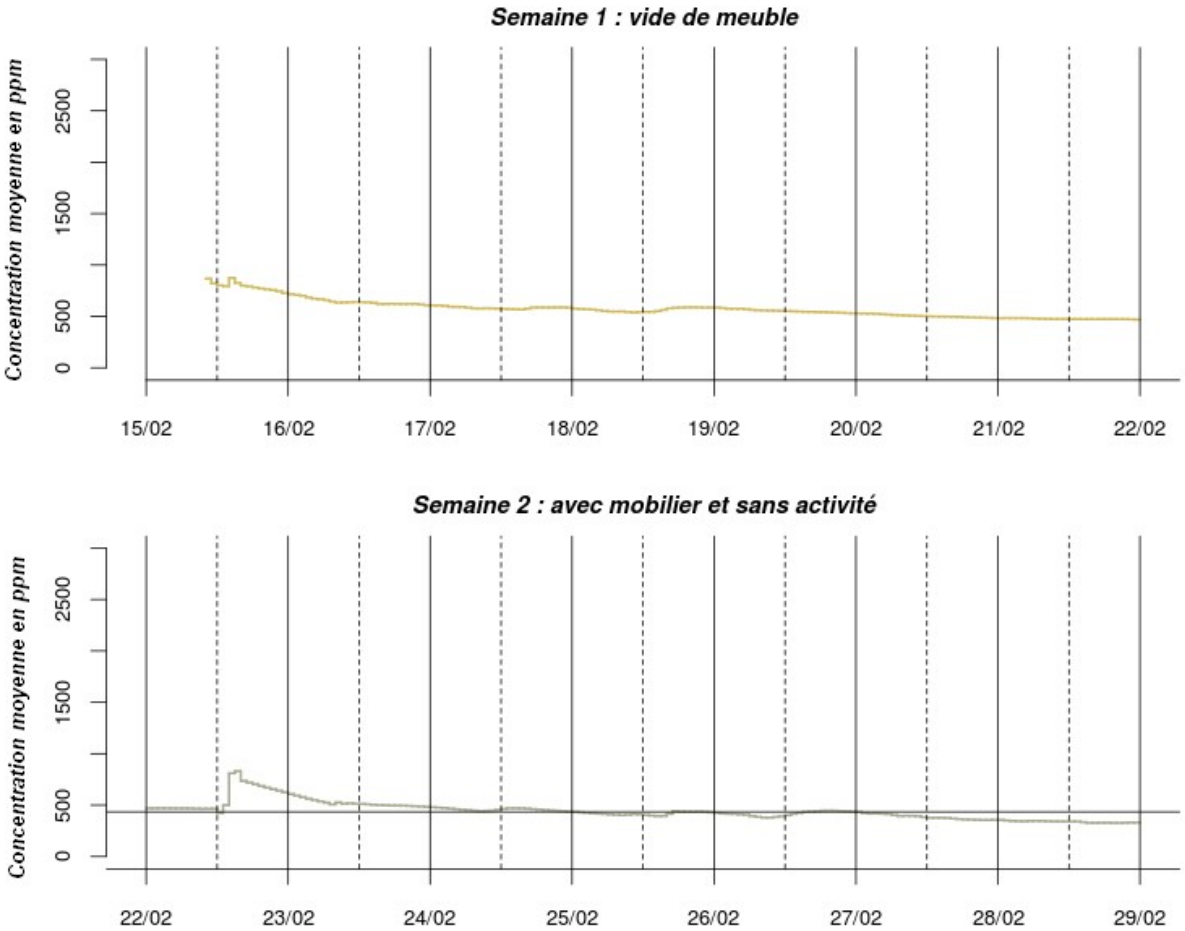


Figure 34 : Mesures de CO2 semaines 1 et 2 aux Grandes Varennes

L'augmentation du 22 février en début d'après-midi est due à la présence du personnel pour la remise en place du mobilier.

4.2 Influence des pratiques d'aération sur les niveaux de pollution intérieure

Ce chapitre décrit à présent l'influence des 3 scénarios d'aération sur concentrations en formaldéhyde et dioxyde de carbone dans l'air intérieur. Les niveaux de concentrations seront comparés à ceux obtenus lors des semaines S1 et S2.

Dans ce chapitre, les résultats seront déclinés sur la semaine complète, c'est-à-dire du lundi au dimanche et sur la période de présence des enfants. Ces concentrations de polluants en présence des enfants représenteront donc leur niveau d'exposition réel à la pollution.

Réglementairement, la surveillance de la qualité de l'air dans les écoles est réalisée avec des échantillonneurs passifs exposés du lundi au vendredi. Ce moyen de mesures intègre la concentration moyenne sur toute la période d'échantillonnage, c'est-à-dire pendant la présence des enfants mais aussi lorsque la salle est inoccupée. Il est largement reconnu que la mesure par échantillonneur passif biaise la représentation de l'exposition réelle. La comparaison entre les moyennes « semaine complète » et « en présence des enfants » donnera une première quantification de ce biais.

4.2.1 Influence des pratiques d'aération sur les concentrations en formaldéhyde

Les 2 premières semaines de mesures ont donc permis de quantifier les niveaux de fond dus aux deux bâtiments. En l'absence d'occupation et donc d'aération, le niveau moyen de formaldéhyde attendu est de :

- 27.2 µg/m^3 pour la classe de Lavoisier,
- 40,7 µg/m^3 pour la classe Grandes Varennes

Ces moyennes sont calculées sur deux périodes différentes :

- du lundi au dimanche : cette moyenne se rapproche de ce qui est habituellement mesuré par échantillonnage passifs
- uniquement sur la période de présence des enfants : cette moyenne se rapproche donc de l'exposition réelle des enfants sur une semaine type.

Concentrations moyennes de formaldéhyde *en µg/m^3*	Ecole Lavoisier		Ecole Grands Varennes	
	du lundi au dimanche	En présence des enfants	du lundi au dimanche	En présence des enfants
Niveau de fond du bâtiment	27.2		40,7	
Sans consigne d'aération	25.2	21.9	31.1	30.8
Avec consignes d'aération	21.5	15.4	27.2	22.7
Avec indicateur lumineux	23.2	16.7	25.7	17.2

Tableau 18 : Concentrations moyennes de formaldéhyde sur les 3 semaines d'occupation en comparaison du niveau de fond du bâtiment

Pour les deux salles et dans les trois scénarios d'aération, les concentrations de formaldéhyde sont inférieures au niveau de référence de la classe, mesuré lors de la semaine « classe meublée sans activité ». On observe une baisse des concentrations de formaldéhyde avec l'augmentation de l'aération. Notons que l'écart entre les concentrations en présence des enfants entre les semaines "Avec consignes d'aération" et "avec indicateur lumineux" de l'école Lavoisier (respectivement 15.4 µg/m^3 et 16.7 µg/m^3) est peu significatif compte-tenu des incertitudes analytiques.

Les concentrations de formaldéhyde sont globalement plus faibles si l'on considère la période réduite à la présence des enfants, ceci est à relier avec un taux plus fort d'aération quand les enfants sont en classe. L'arrivée d'air extérieur tend à faire baisser les concentrations de formaldéhyde, une fois les fenêtres fermées, les émissions liées au bâti et au mobilier s'accumulent dans la pièce pour atteindre le niveau de fond.

Cette étude confirme le lien bien connu entre le niveau de formaldéhyde et l'aération, elle permet cependant de donner des premiers éléments de quantification.

Les figures suivantes donnent les concentrations moyennes observées sur les trois périodes : sans consigne aération, avec consignes aération, avec indicateur lumineux.

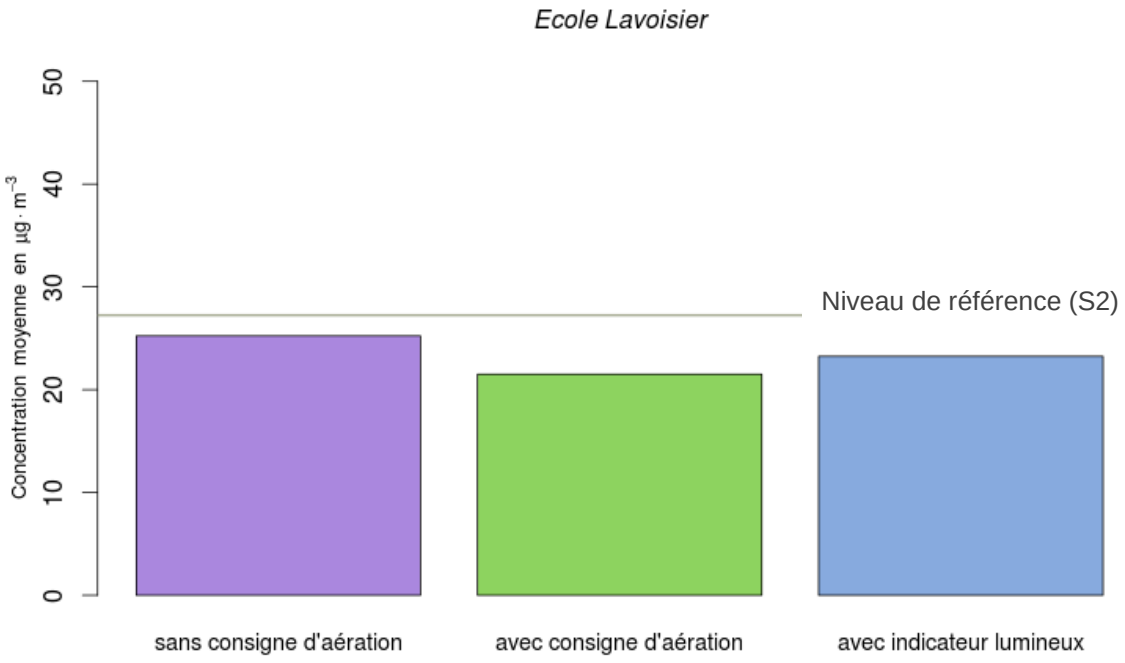


Figure 35 : Concentrations moyennes hebdomadaires en formaldéhyde à l'école Lavoisier

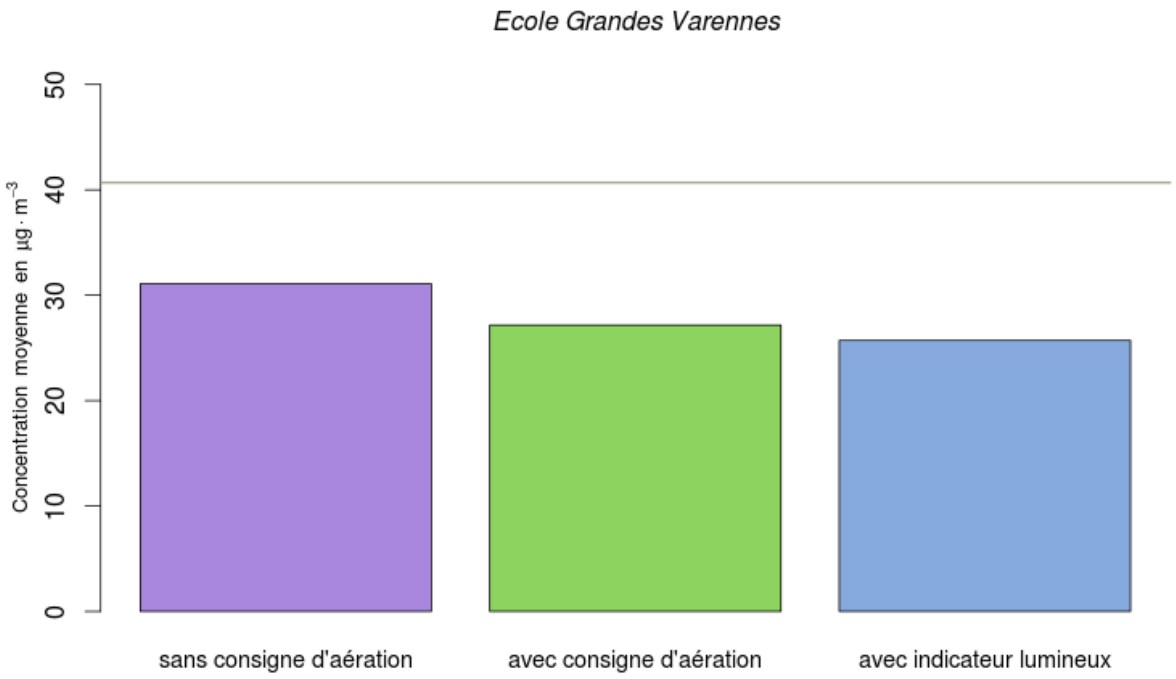


Figure 36 : Concentrations moyennes hebdomadaires en formaldéhyde à l'école des Grandes Varennes

Remarques :

L'absence de consigne d'aération ne signifie pas l'absence d'aération, ne serait-ce que par les mouvements dans la classe et dans les couloirs qui peuvent influencer la circulation de l'air dans le bâtiment. Lors de cette semaine, l'instituteur appliquait ses pratiques habituelles d'aération. A l'école Lavoisier, les fenêtres ont été ouvertes pendant 5,6% du temps et 7.7% du temps aux Grandes Varennes. Il faut ajouter à ces taux, les ouvertures régulières de porte liées aux entrées et sortie de la classe. Si ces taux d'aération peuvent paraître faibles ils permettent toutefois un abaissement de l'exposition des enfants au formaldéhyde de 20 à 25%.

Avec les consignes d'aération, le taux d'ouverture de fenêtre augmente très significativement 46.9% pour l'école Lavoisier et 28.6 % pour les Grandes Varennes. L'abaissement de l'exposition au formaldéhyde est de près de 45% dans les deux écoles.

L'indicateur lumineux permet une vigilance accrue sur le confinement et donc permet d'augmenter encore le taux d'aération 76.2 % et 62 % respectivement pour Lavoisier et Grandes Varennes. Pour l'école Lavoisier l'augmentation de l'aération par rapport à la semaine "Avec consignes d'aération" est peu significative, on note même une moindre efficacité avec 39% d'abaissement de l'exposition. Pour l'école Grandes Varennes, l'indicateur lumineux permet encore de baisser l'exposition au formaldéhyde avec une baisse de 58% par rapport au niveau de fond.

Les baisses des concentrations de polluants calculées pour les trois scénarios par rapport à la semaine de référence S2 « avec mobilier et sans activité » sont représentées sur la figure suivante

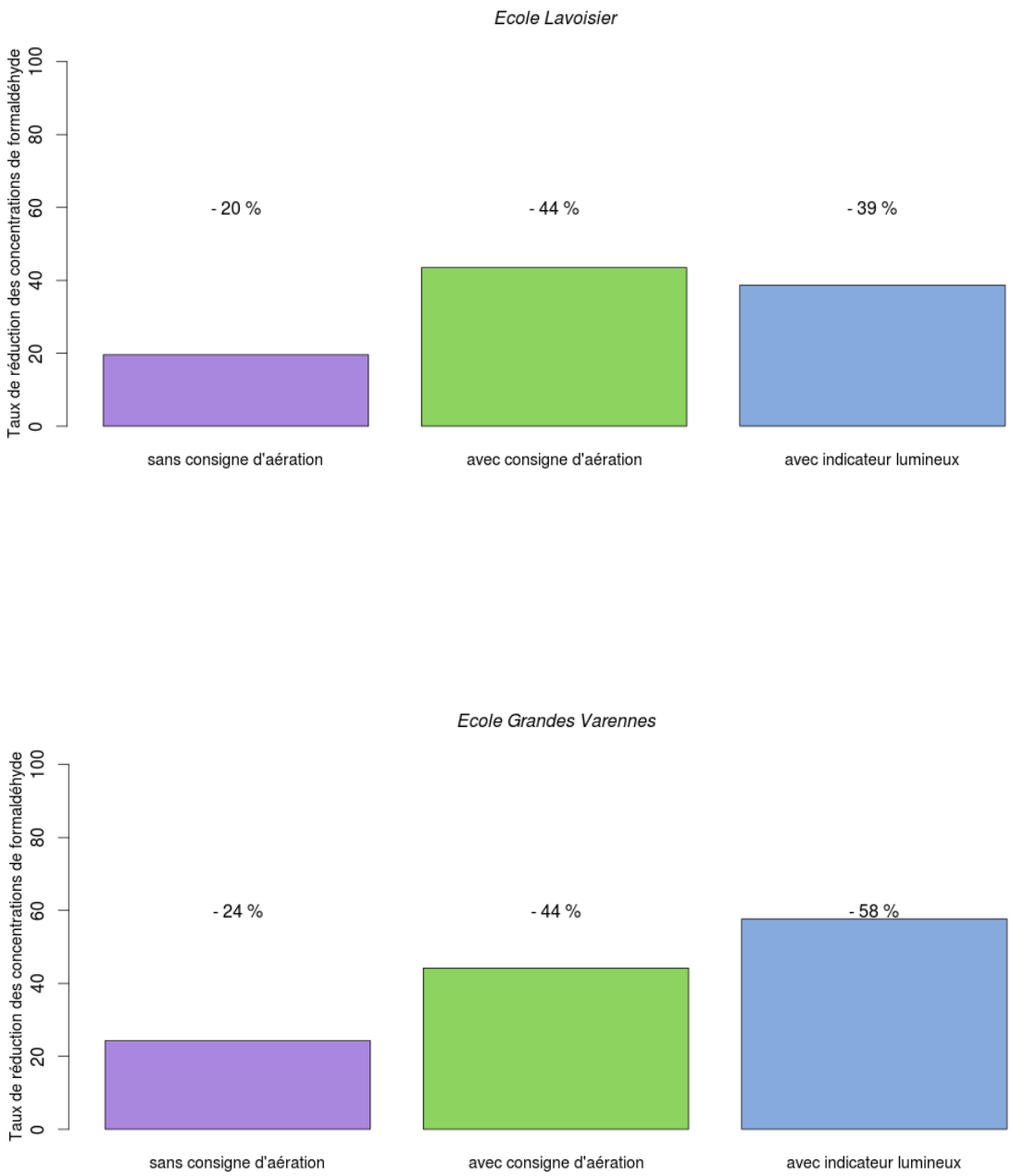


Figure 37 : Taux de réduction des concentrations de formaldéhyde selon les trois scénarios d'aération

Les baisses observées dans les deux écoles conduisent à une hypothèse sur l'existence d'un seuil minimal de formaldéhyde propre à la salle de classe, un niveau de fond correspondant à un équilibre entre entrée d'air et émissions par le bâti et le mobilier.

L'air extérieur ne contenant que très peu de formaldéhyde, plus le volume d'air extérieur arrivant dans la pièce est important, plus les concentrations de formaldéhyde devraient baisser.

Les deux classes comportent 2 portes et 4 fenêtres, une variable d'aération a été établie en comptabilisant sur chaque pas de temps de 10 min le nombre d'ouvrants ouverts (portes ou fenêtres indépendamment), cette notation varie donc de :

- 0 aucun ouvrant est ouvert
- 6 tous les ouvrants sont ouverts (2 portes + 4 fenêtres)

Plus le nombre d'ouvrants ouverts est important et plus l'aération devrait être efficace en favorisant notamment les courants d'air dans la pièce.
Les trois semaines "Sans consigne d'aération", "Avec consignes d'aération" et "Avec indicateur lumineux" sont prises en compte. Le tableau ci-dessous donne l'occurrence dans chacun des cas.

Aération	Lavoisier	Grandes Varennes
0 *aucune ouverture*	4315 pas de temps	4295 pas de temps
1	526 pas de temps	523 pas de temps
2	136 pas de temps	171 pas de temps
3	50 pas de temps	45 pas de temps
4	4 pas de temps	1 pas de temps
5	9 pas de temps	5 pas de temps
6	0 pas de temps	0 pas de temps

Tableau 19 : variable d'aération et occurrence d'ouverture

La limite de représentativité est atteinte pour 3 ouvrants ouverts simultanément. Les mesures au-dessus de 3 ouvrants ouverts sont trop peu nombreuses pour être représentatives d'une situation moyenne.

Les figures ci-dessous donnent pour les deux classes, la concentration moyenne en formaldéhyde selon le nombre d'ouvrants ouverts (variable aération)

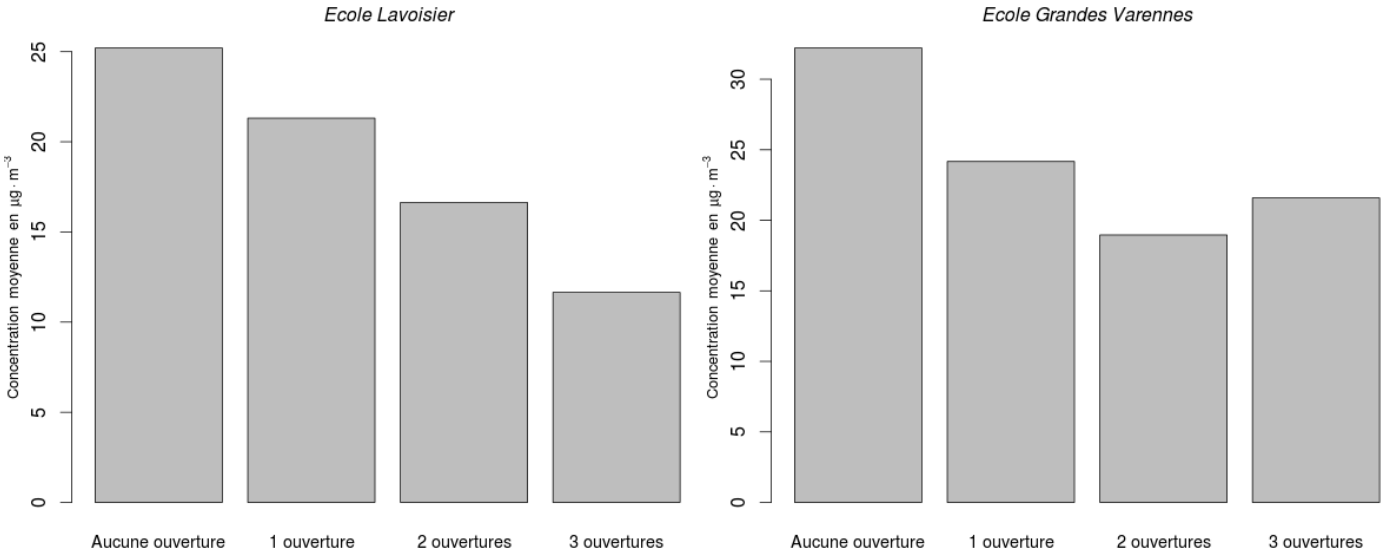


Figure 38 : Concentration moyenne en formaldéhyde selon le nombre d'ouvrants ouverts

En l'absence d'ouverture (variable aération = 0), la concentration moyenne de formaldéhyde dans les deux classes se rapproche du niveau de fond bâti + mobilier de la semaine 2. Une baisse continue du formaldéhyde est ensuite constatée pour 1 et 2 ouvertures.

Si cette baisse se poursuit avec une aération à trois ouvertures dans l'école Lavoisier, une légère augmentation des concentrations de formaldéhyde est visible pour l'école Grandes Varennes.

Avec trois ouvertures simultanées, les concentrations de formaldéhyde baissent de près de 55% à Lavoisier. Ce niveau d'aération peut cependant avoir des incidences en terme de ressenti (notamment par l'entrée d'air froid en hiver).

Les figures 39 et 40 représentant les évolutions temporelles des concentrations de formaldéhyde. Sans surprise, elles montrent que les décroissances de formaldéhyde sont liées aux ouvertures de fenêtres (les barres grises représentent les périodes d'ouverture de fenêtres, plus ces barres sont hautes et plus le nombre d'ouvrants ouverts est important).

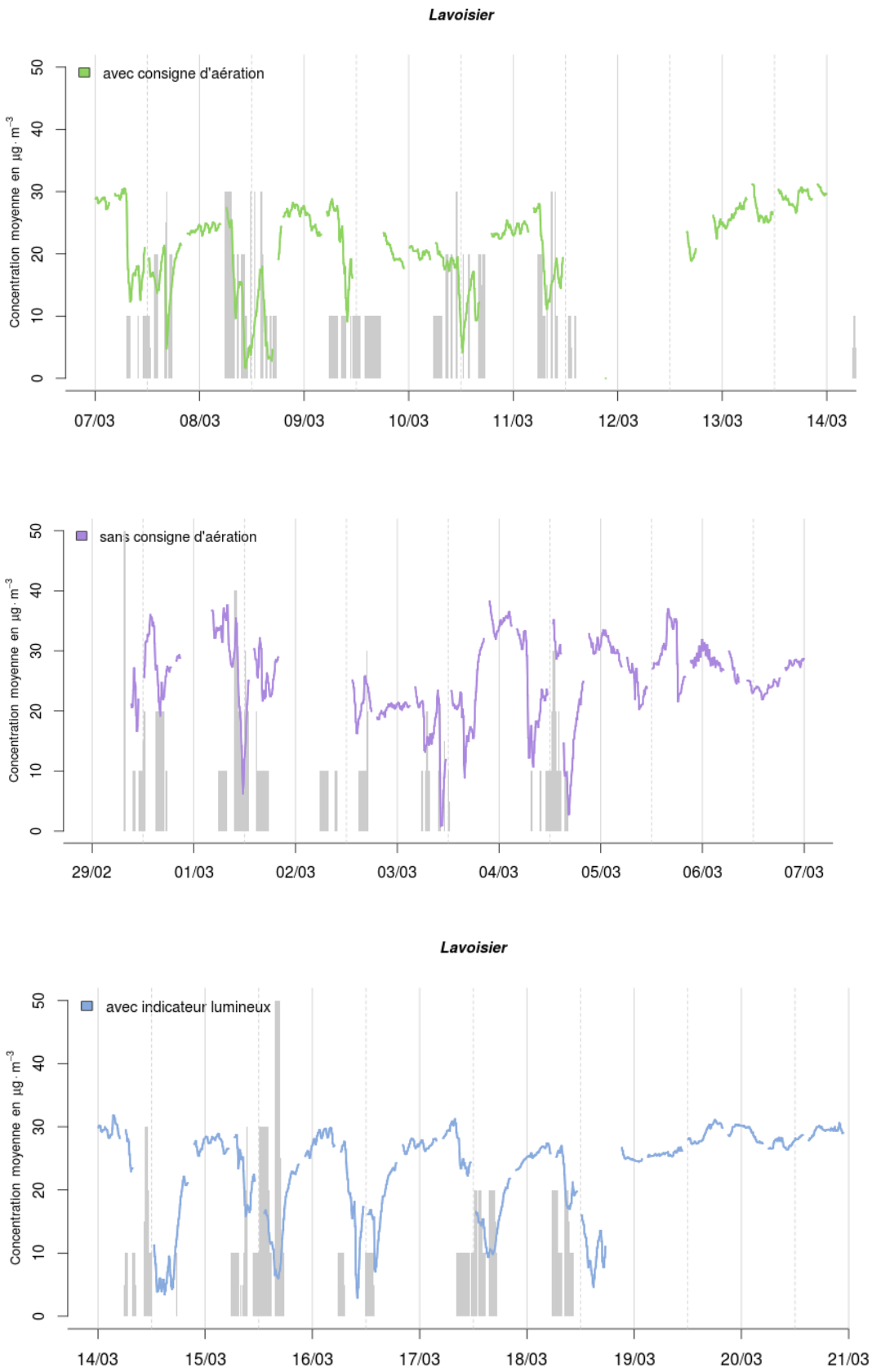


Figure 39 : Evolutions temporelles des concentrations en formaldéhyde à Lavoisier

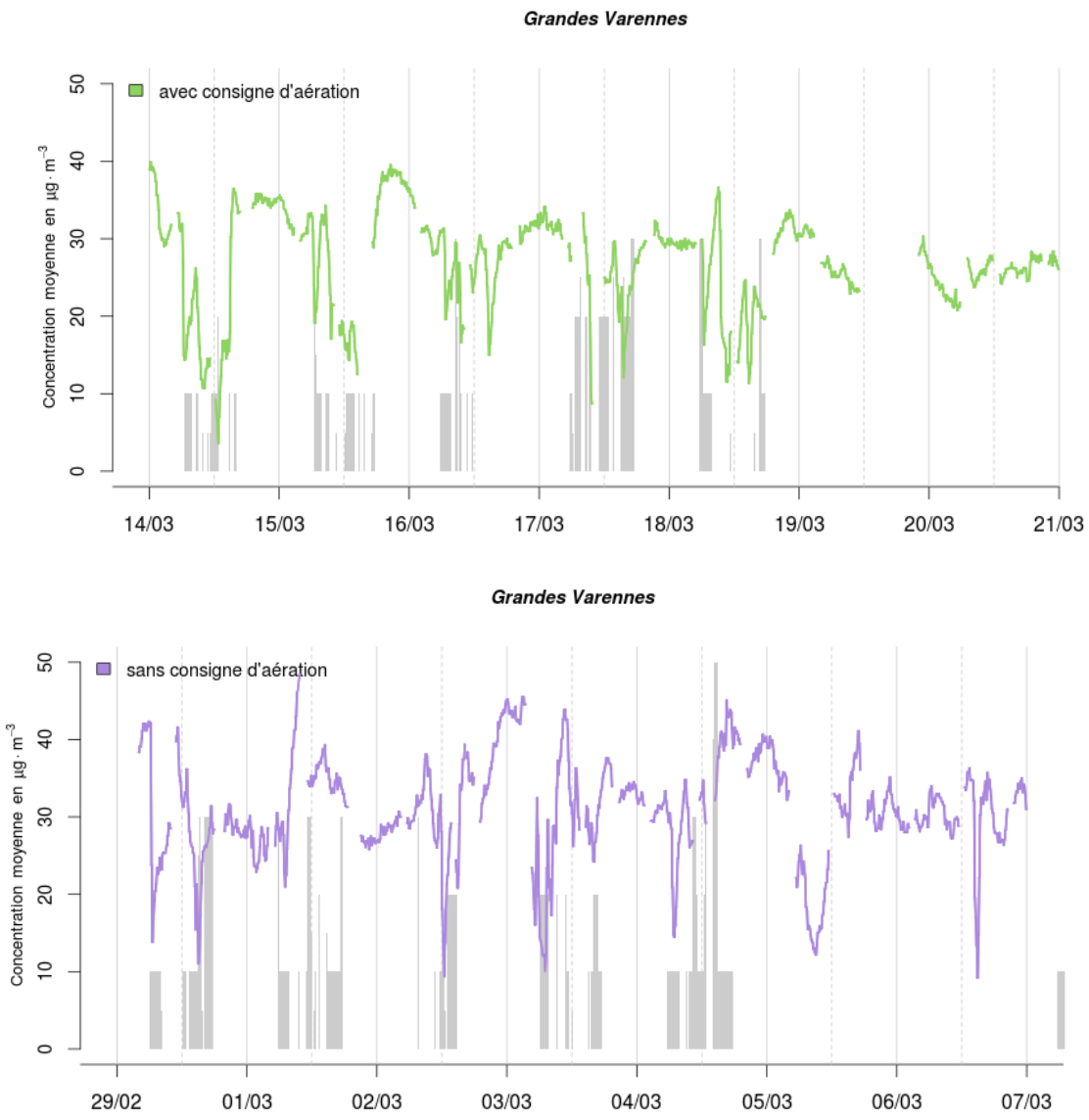


Figure 40 : Evolutions temporelles des concentrations en formaldéhyde aux Grandes Varennes

4.3 Influence des paramètres physiques sur les concentrations de formaldéhyde

L'influence de l'humidité sur les 0concentrations de formaldéhyde est largement documentée, cette influence a pu d'ailleurs être mise en évidence sur la première partie de cette étude avec les mesures par échantillonneurs passifs. L'humidité active des réactions d'hydrolyse des matériaux conduisant à l'émission de formaldéhyde, ceci a largement été démontré dans des chambres d'essais.
Dans ce paragraphe, il s'agit à présent de vérifier si un lien statistique peut être mis en évidence sur les paramètres suivants : température, humidité et humidité relative

4.3.1 Influence de l'humidité relative

Le tableau suivant donne l'humidité relative moyenne pour les deux classes et sur les différentes périodes.

Humidité relative	Toutes périodes confondues	salle vide de meuble	salle meublée sans activité	sans consigne d'aération	avec consignes d'aération	avec indicateur lumineux
Lavoisier	49.9 %	49.9 %	53.1 %	53.6 %	48.8 %	44.4 %
Grandes Varennes	57.3 %	57.6 %	59.1 %	59 %	55.3 %	55.5 %

Tableau 20 : Humidité relative moyenne dans les deux salles de classe

La classe Grandes Varennes indique une humidité relative plus importante que la classe Lavoisier. Le graphique suivant représente les concentrations de formaldéhyde en fonction de l'humidité relative.

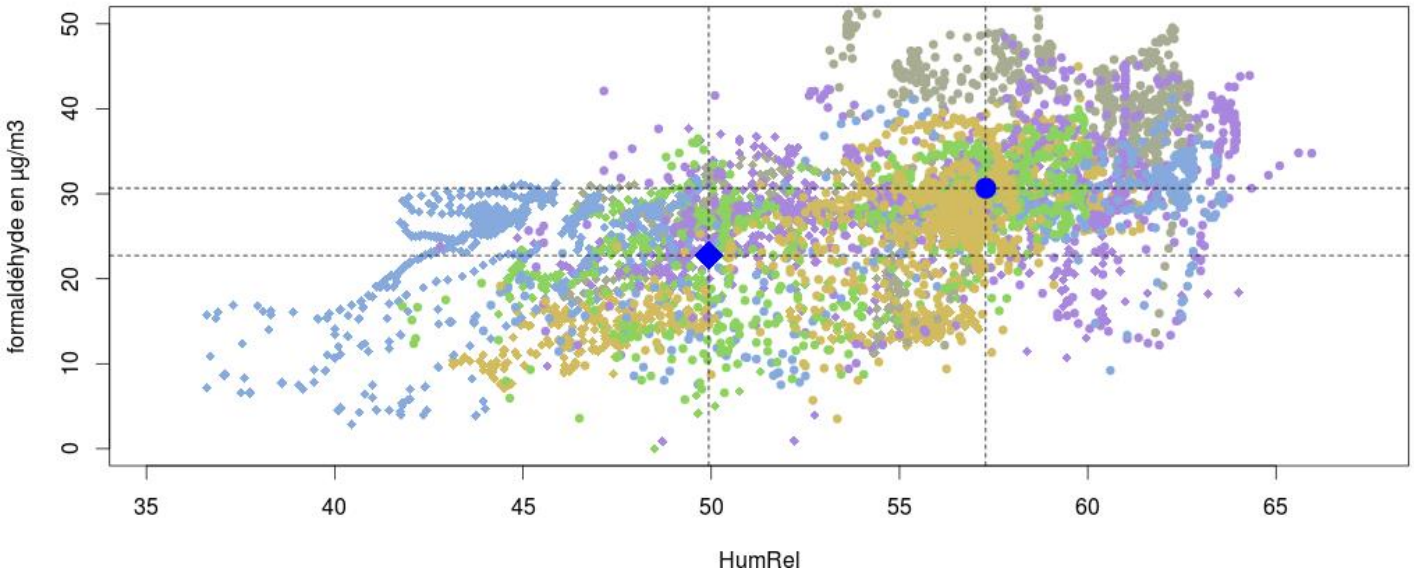


Figure 41 : Concentrations de formaldéhyde en fonction de l'humidité relative

Avec un coefficient de corrélation de 0.5, la figure 38 montre le lien entre l'humidité relative et les concentrations de formaldéhyde.

4.3.2 Influence de la température

Le tableau suivant donne la température moyenne pour les deux classes et sur les différentes périodes.

Température en °C	Toutes périodes confondues	salle vide de meuble	salle meublée sans activité	sans consigne d'aération	avec consigne d'aération	avec indicateur lumineux
Lavoisier	20	19.1	19.6	19.8	20	21.2
Grandes Varennes	18.2	18.8	19.4	18.2	17.6	17.1

Tableau 21 : Température moyenne dans les deux salles de classes

La température moyenne est plus faible dans la classe des Grandes Varennes que dans la classe de Lavoisier.
Le graphique suivant représente les concentrations de formaldéhyde en fonction de la température.

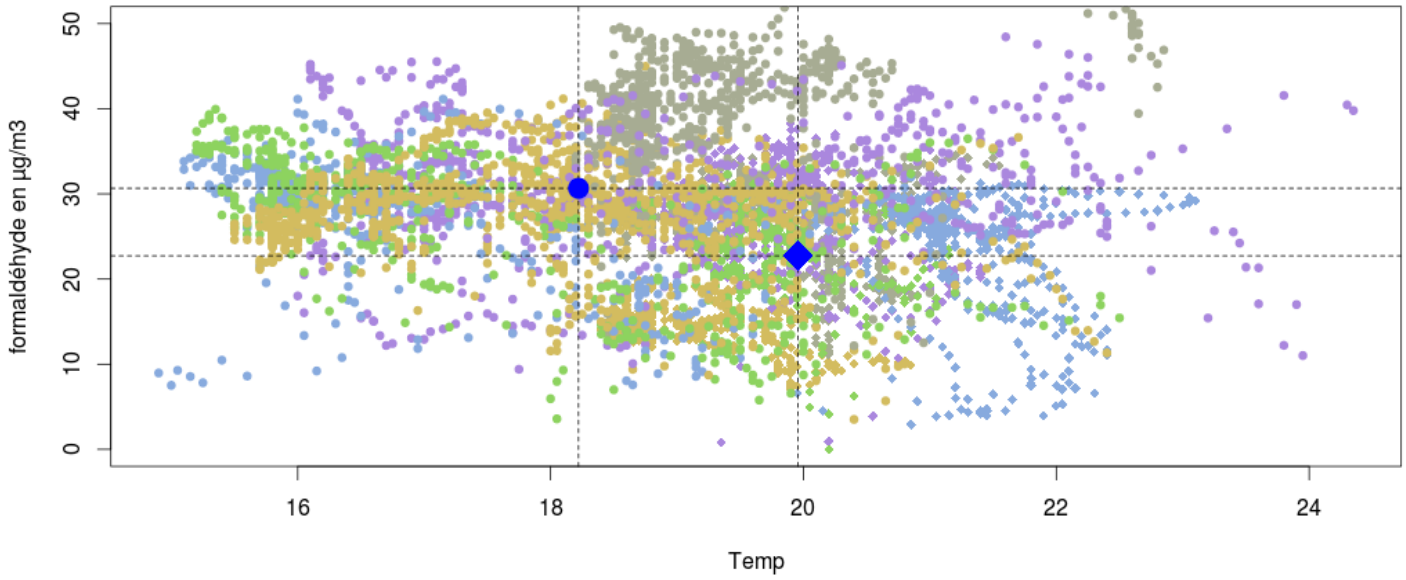


Figure 42 : Concentrations de formaldéhyde en fonction de la température

Avec un coefficient de corrélation de -0.21, le lien entre la température et les concentrations de formaldéhydes est peu significatif.

4.3.3 Influence de l'humidité absolue

L'humidité absolue d'une masse d'air représente la quantité en grammes de vapeur d'eau [g vapeur/kg air sec] présente dans un volume d'air sec donné (1m3) et sa valeur reste constante même si la température de l'air varie en restant supérieure à la température du point de rosée. L'humidité absolue est calculée à partir de l'humidité relative, de la température et de la pression atmosphérique. Le tableau suivant donne l'humidité absolue moyenne pour les deux classes et sur les différentes périodes.

Humidité absolue	Toutes périodes confondues	salle vide de meuble	salle meublée sans activité	sans consigne d'aération	avec consignes d'aération	avec indicateur lumineux
Lavoisier	0.0097	0.0096	0.0104	0.0105	0.0095	0.0086
Grandes Varennes	0.0112	0.0112	0.0116	0.0116	0.0108	0.0108

Tableau 22 : Humidité absolue moyenne pour les deux salles de classe

La classe des Grandes Varennes indique une humidité absolue plus importante que la classe de Lavoisier d'environ 15 %. Le graphique suivant représente les concentrations de formaldéhyde en fonction de l'humidité absolue.
Cette figure indique qu'il existe un lien entre l'humidité absolue et les concentrations de formaldéhyde. Le coefficient de corrélation est de 0.56.

La corrélation est peu différente de celle calculée avec l'humidité relative (0.54). Nous retiendrons toutefois l'humidité absolue pour la suite car elle permet d'intégrer la température. Le nuage de point indique que d'autres paramètres que l'humidité absolue influent sur les concentrations de formaldéhyde. L'ouverture des fenêtres avec l'entrée d'air « propre » est sans doute un facteur très influent.

Afin d'identifier plus clairement le lien entre les concentrations de formaldéhyde et l'humidité absolue, la figure suivante donne les résultats par classe d'humidité distinctement dans les deux classes

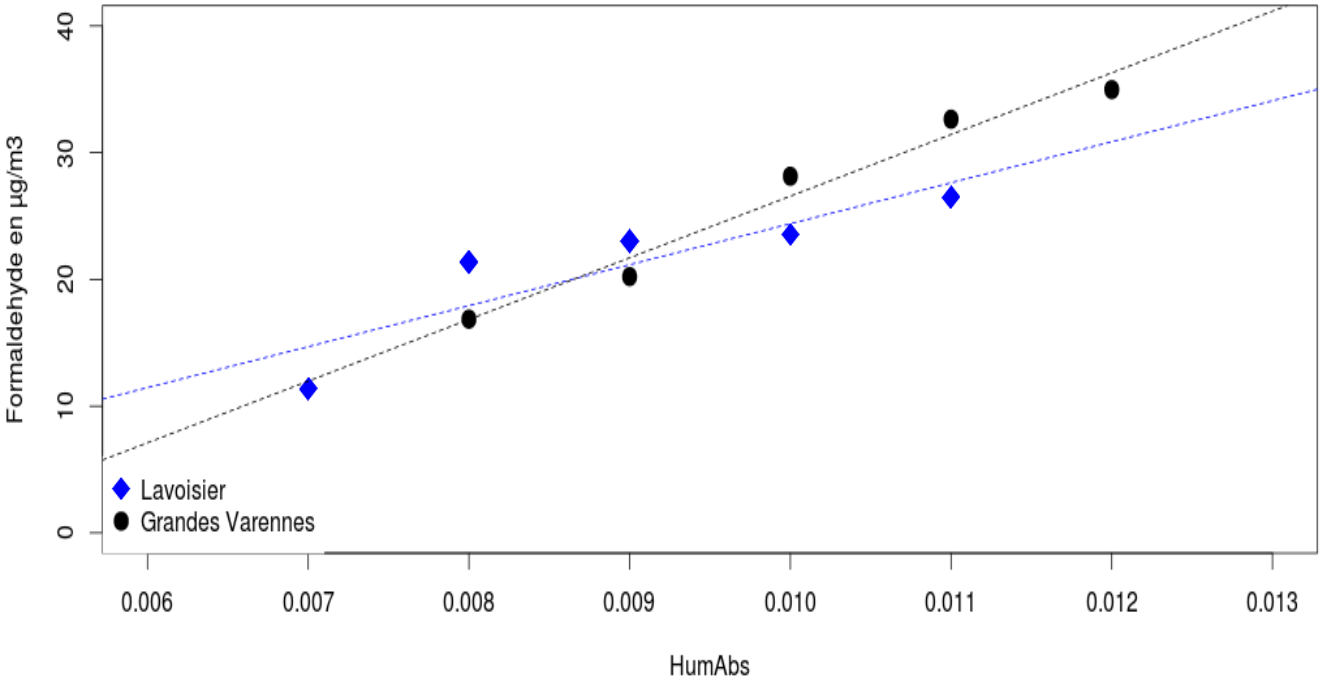


Figure 43 : Concentrations en formaldéhyde en fonction des classes d'humidité

Nous avons retenu un minimum de 40 valeurs par classes

Conclusions :

La figure ci-dessus confirme l'existence d'une corrélation étroite entre humidité absolue et formaldéhyde. Ce lien déjà connu d'autres études scientifiques a également été observé lors de la première phase du projet au cours des mesures par échantillonneurs.

Jusqu'à présent, nous avons observé des concentrations plus importantes de formaldéhyde à l'école des Grandes Varennes par rapport à Lavoisier. Par ailleurs L'humidité absolue relevée aux Grandes Varennes est plus importante d'environ 10% par rapport à Lavoisier. Même s'il ne peut y avoir d'émission de formaldéhyde sans une source, il semble que l'humidité soit le principal paramètre d'influence sur les concentrations relevées. Cette hypothèse nécessiterait d'être confortée par des expérimentations in situ complémentaires. **Si cela se confirme, la maîtrise de l'humidité dans une salle de classe pourrait s'avérer très efficace dans le contrôle des réactions d'hydrolyse et donc dans la baisse de l'exposition au formaldéhyde.**

4.3.4 Influence des pratiques d'aération sur les concentrations en CO_2

Dans le cadre de la surveillance de la qualité de l'air, l'indice ICONE permet de caractériser le niveau de confinement. Pour le calcul de l'indice, seules les valeurs de concentrations de dioxyde de carbone mesurées pendant la présence des enfants dans la salle, en occupation normale, sont prises en compte. Est donc exclue : toute période où les enfants sont absents et toute période où l'occupation n'est pas normale.

Les valeurs de dioxyde de carbone correspondant aux périodes retenues sont ensuite partitionnées en trois classes selon leur niveau :

- nombre de valeurs inférieures ou égales à 1000 ppm (n0)
- nombre de valeurs comprises entre 1000 et 1700 ppm inclus (n1)
- nombre de valeurs supérieures à 1700 ppm (n2)

L'indice de confinement ICONE est alors calculé suivant la formule :

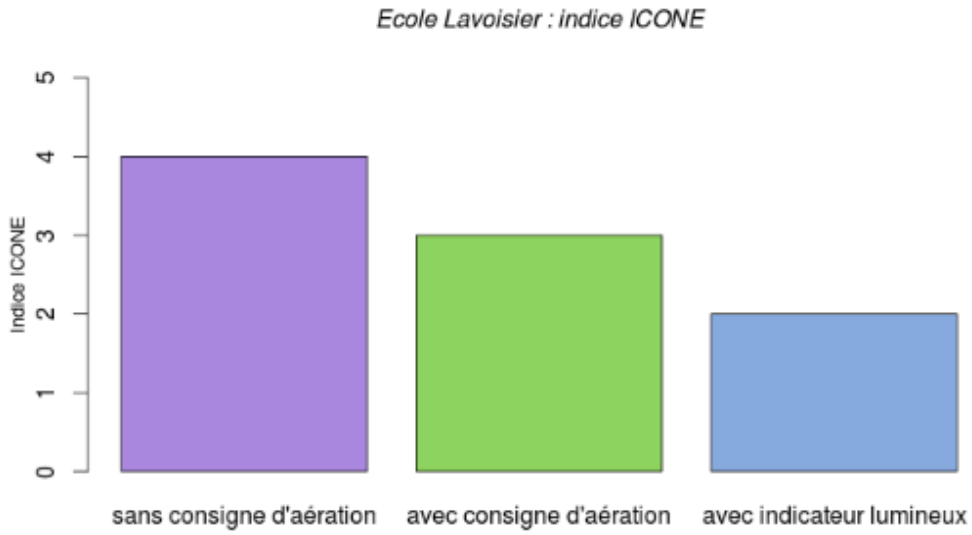
$$ICONE = \left(\frac{2,5}{\log_{10}(2)}\right)\log_{10}(1 + f_1 + 3f_2)$$

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

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

Valeur brute de l'indice de confinement	Valeur retenue de l'indice de confinement
ICONE < 0,5	**0**
0,5 ≤ ICONE < 1,5	**1**
1,5 ≤ ICONE < 2,5	**2**
2,5 ≤ ICONE < 3,5	**3**
3,5 ≤ ICONE < 4,5	**4**
ICONE ≥ 4,5	**5**

L'indice de confinement est calculé pour chaque salle instrumentée et exprimé avec une précision égale à 1 (c'est-à-dire arrondi avec 0 chiffre après la virgule) selon la règle suivante : Les figures suivantes donnent la valeur de l'indice ICONE dans les deux classes pour les trois configurations.



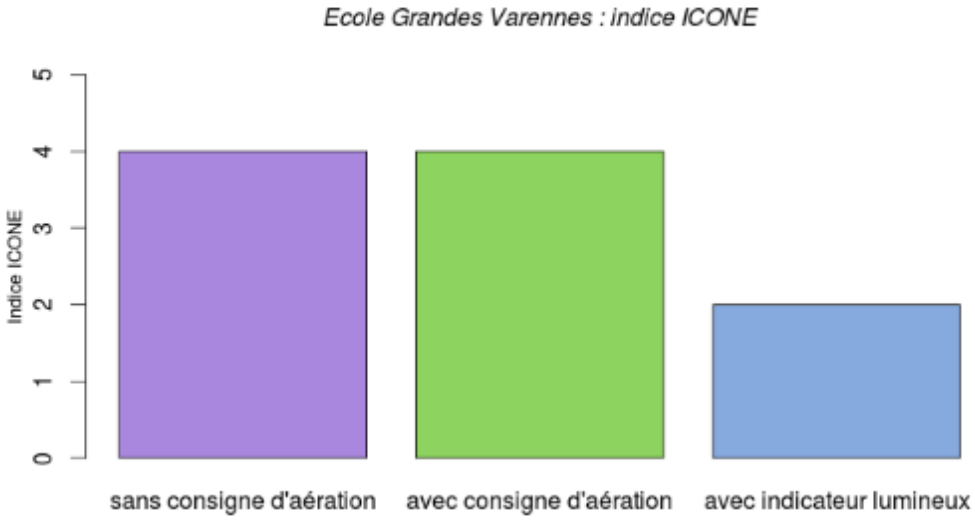


Figure 44 : Indice Icone calculé selon les différents scénarios d'aération

En usage normal, donc sans consigne d'aération, l'indice ICONE s'élève à 4 dans les deux classes. Cet indice est qualifié de "très élevé". L'application de consignes d'aération a une influence quantifiable sur l'indice ICONE uniquement dans la salle de classe de l'école Lavoisier (indice 3 qualifié "élevé"). Avec l'indicateur lumineux, on abaisse dans les deux salles l'indice ICONE à une valeur de 2, niveau qualifié de "moyen".
L'utilisation d'un l'indicateur lumineux est donc très efficace sur l'indice ICONE.
Contrairement au formaldéhyde dont les émissions sont présentes en permanence, les émissions de CO_2 sont dues à la présence humaine dans la salle de classe.

La seconde semaine de mesures (bâti+ mobilier) a permis de déterminer le niveau de fond qui est équivalent au niveau de CO_2 retrouvé en air extérieur.

- 481 ppm pour la classe de l'école Lavoisier,
- 443 ppm pour la classe de l'école Grandes Varennes.

Les figures de la page suivante donnent les concentrations moyennes observées sur les trois périodes.

- Sans consigne aération,
- Avec consignes aération,
- Avec indicateur lumineux.

Ces moyennes sont calculées sur deux périodes :

- du lundi au dimanche,
- et uniquement sur la période de présence des enfants : cette moyenne se rapproche de l'exposition réelle des enfants sur une semaine type.

Ces premiers résultats illustrent bien l'efficacité de l'aération sur les concentrations en CO_2 notamment en période de présence des enfants, quand l'aération est la plus importante.

Si le scénario avec l'indicateur lumineux apparaît comme le plus efficace vis à vis de la diminution de l'exposition au CO_2, les concentrations dans la salle de classe en présence des enfants sont encore deux à trois fois supérieures au niveau de fond.

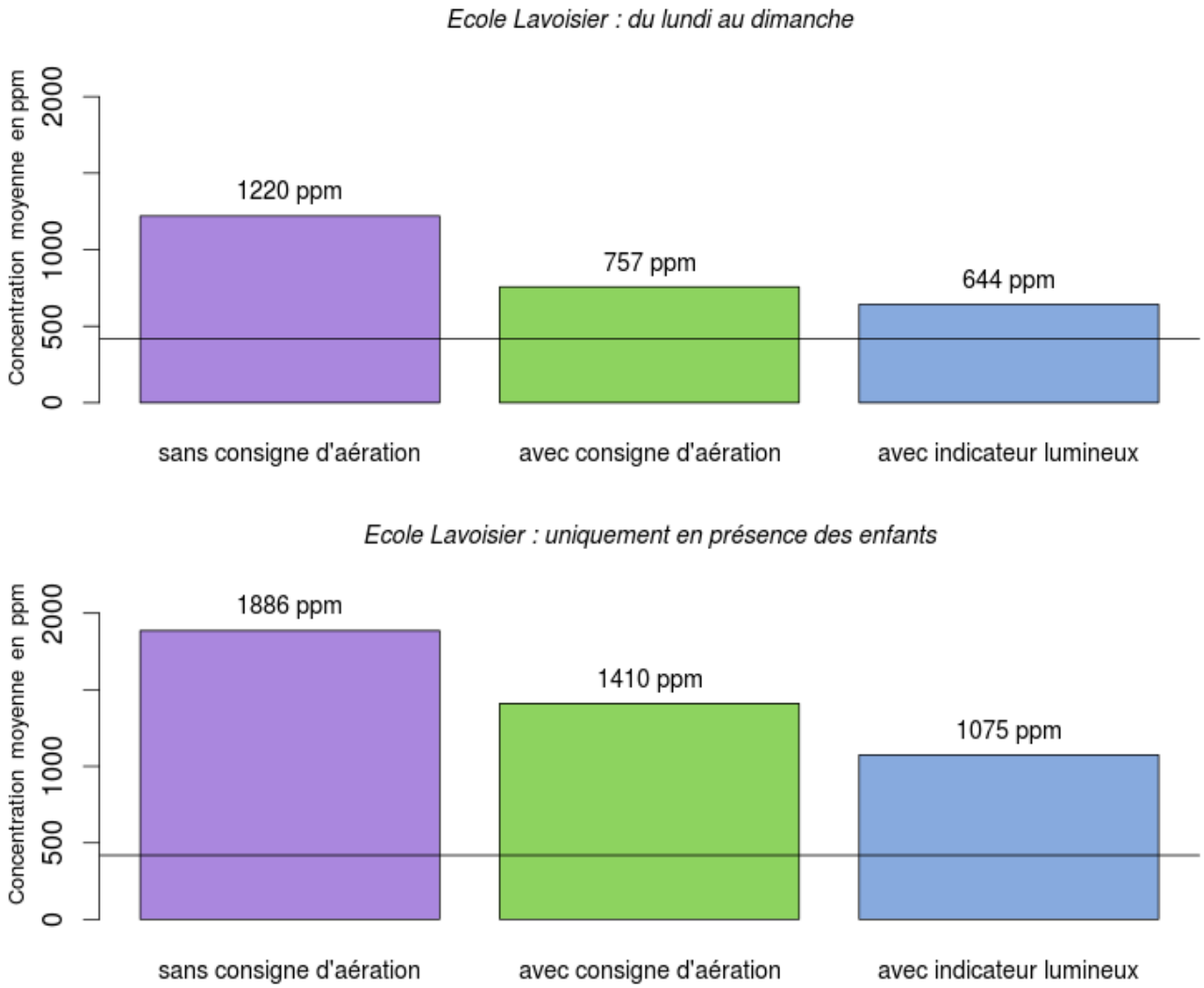


Figure 45 : Concentrations de CO2 selon les trois scénarios d'aération (moyenne semaine et en présence des enfants) à Lavoisier

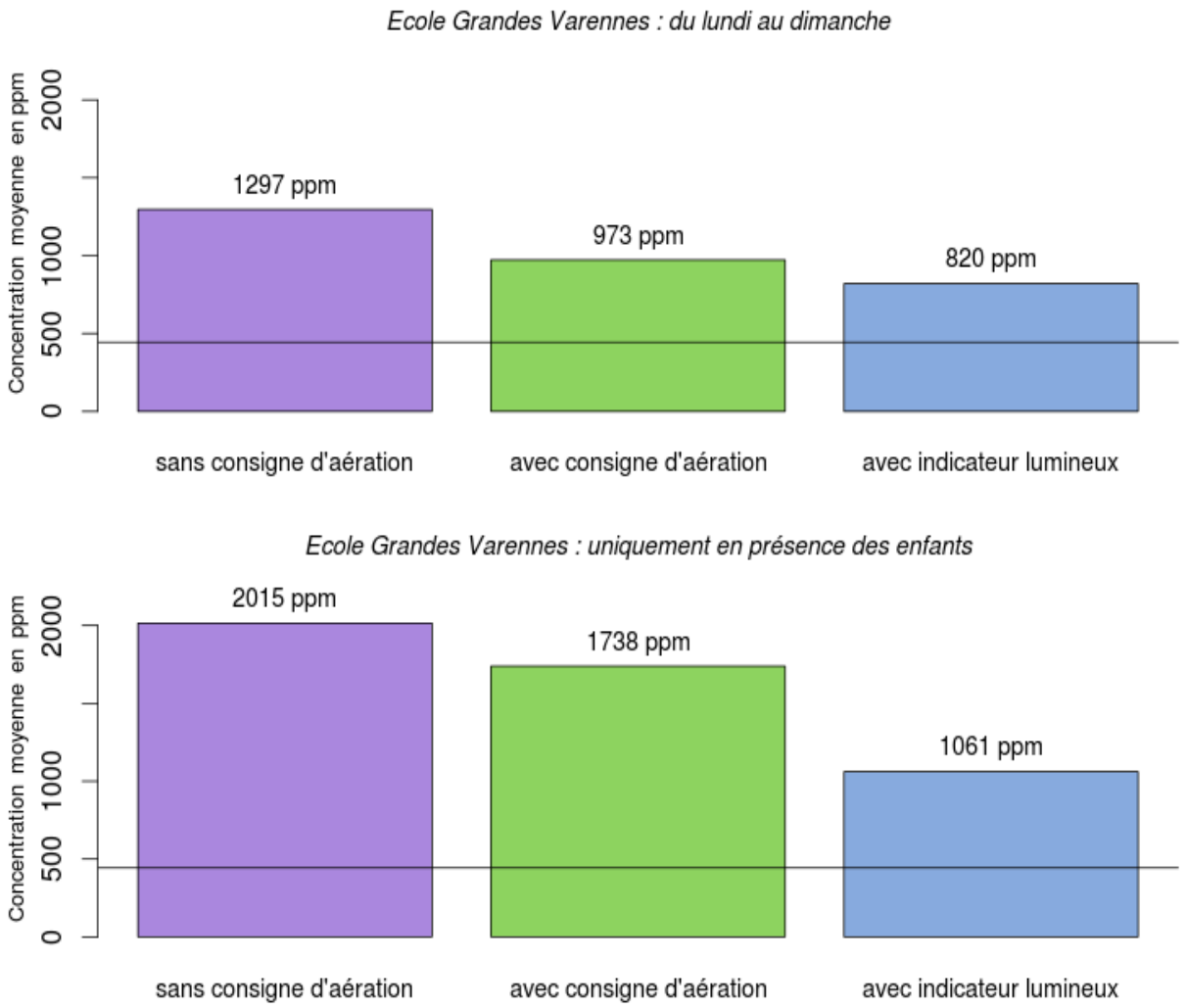


Figure 46 : Concentrations de CO2 selon les trois scénarios d'aération (moyenne semaine et en présence des enfants) aux Grandes Varennes

Les graphiques de la figure 47 présentent l'efficacité des différents scénarios d'aération. Les consignes d'aération permettent un abaissement de la concentration moyenne en CO2 de 14 à 25% par rapport à une situation d'aération normale. Le scénario avec utilisation de l'indicateur lumineux est beaucoup plus efficace avec une baisse de 43 à 47% par rapport à une situation normale.

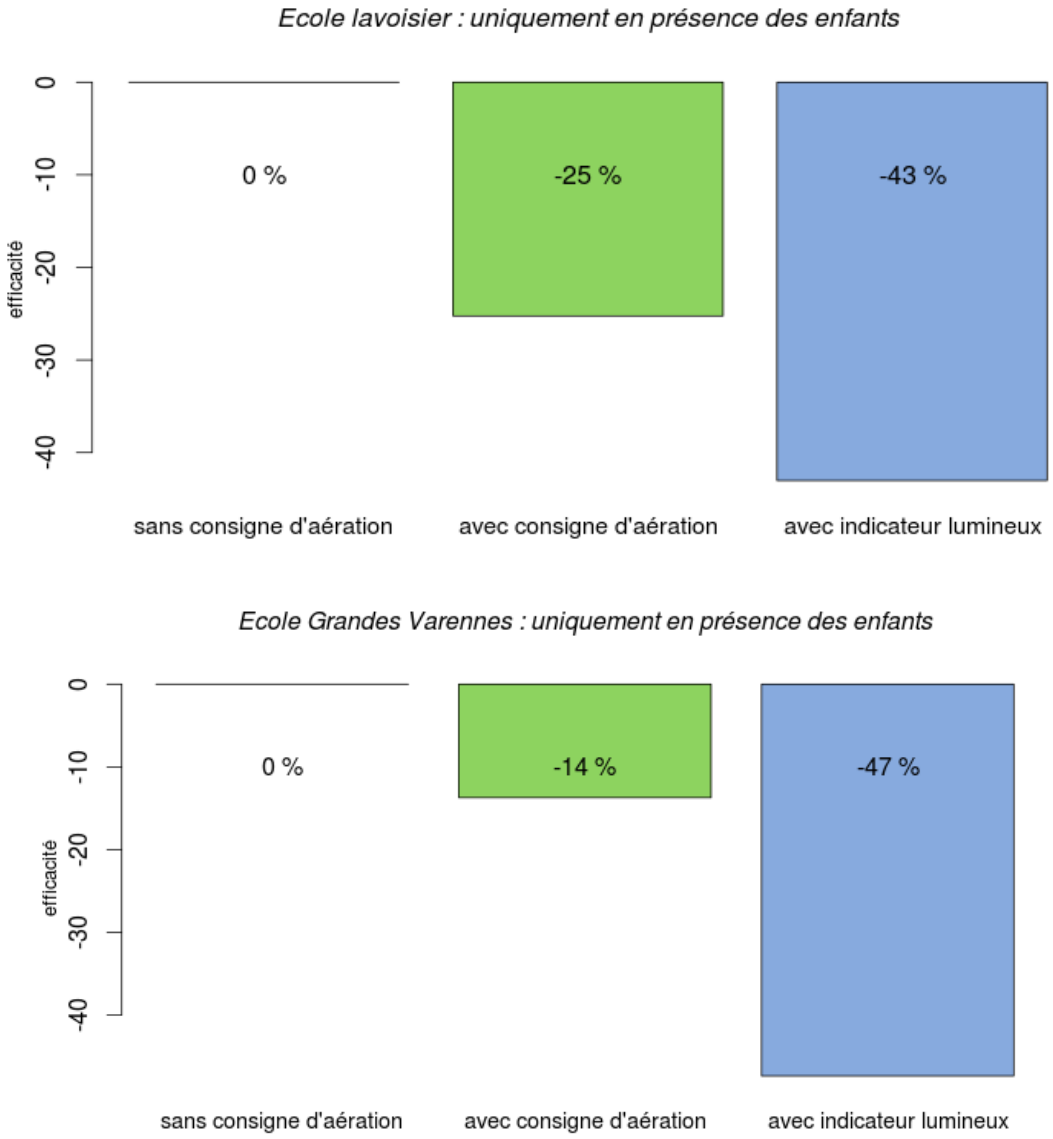


Figure 47 : Influence des scénarios d'aération sur les concentrations en CO2 (calculé sur la moyenne en présence de CO2)

Les figures 48 et 49 montrent l'évolution des concentrations de CO2 dans les deux salles de classes et en fonction des différents scénarios d'aération. Nous observons sur ces graphiques que l'aération conduit clairement à écrêter les concentrations de CO_2 dans l'air ce qui conduit à une diminution de l'indice ICONE.

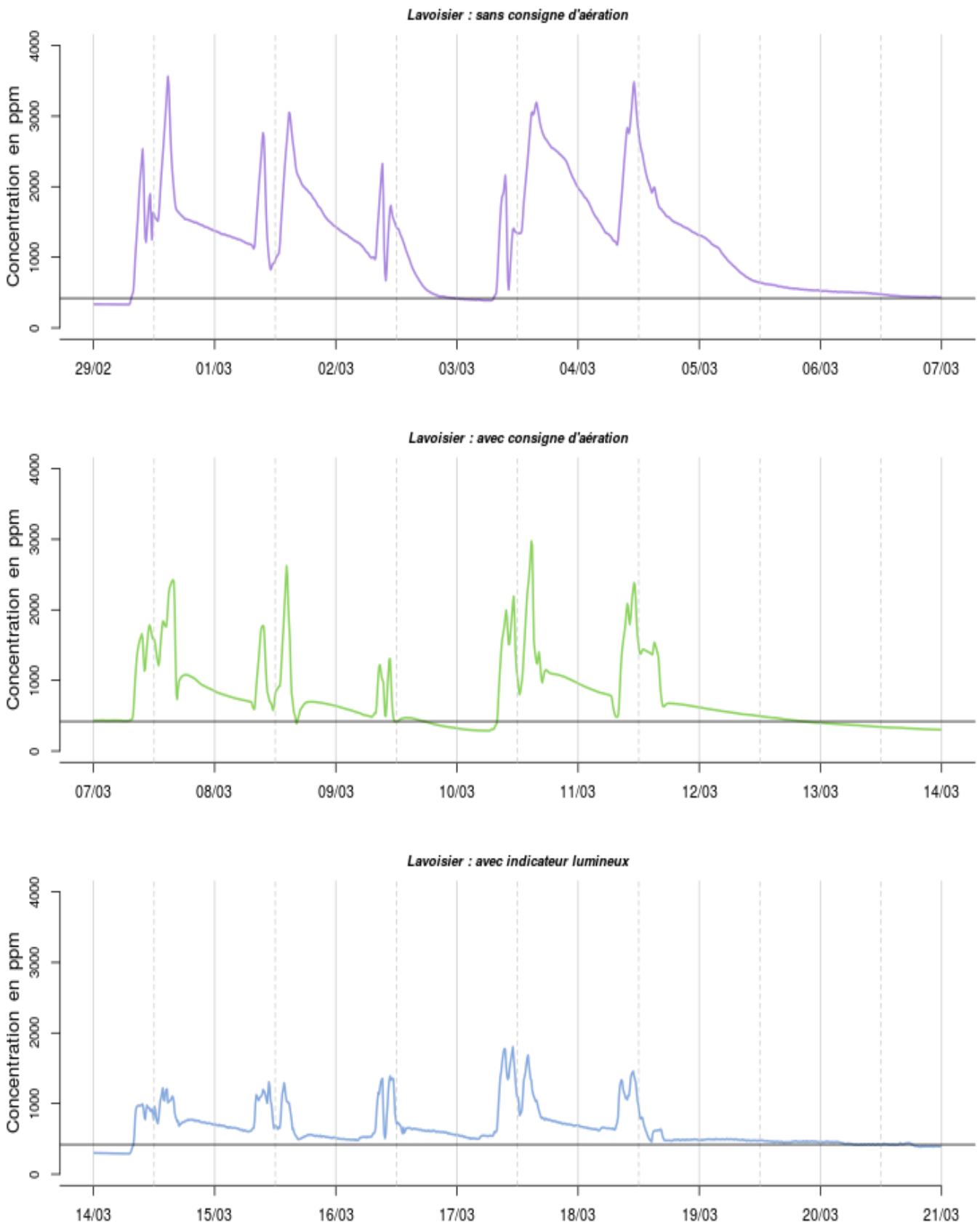


Figure 48 : Evolution des concentrations en CO2 selon les différents scénarios d'aération à Lavoisier

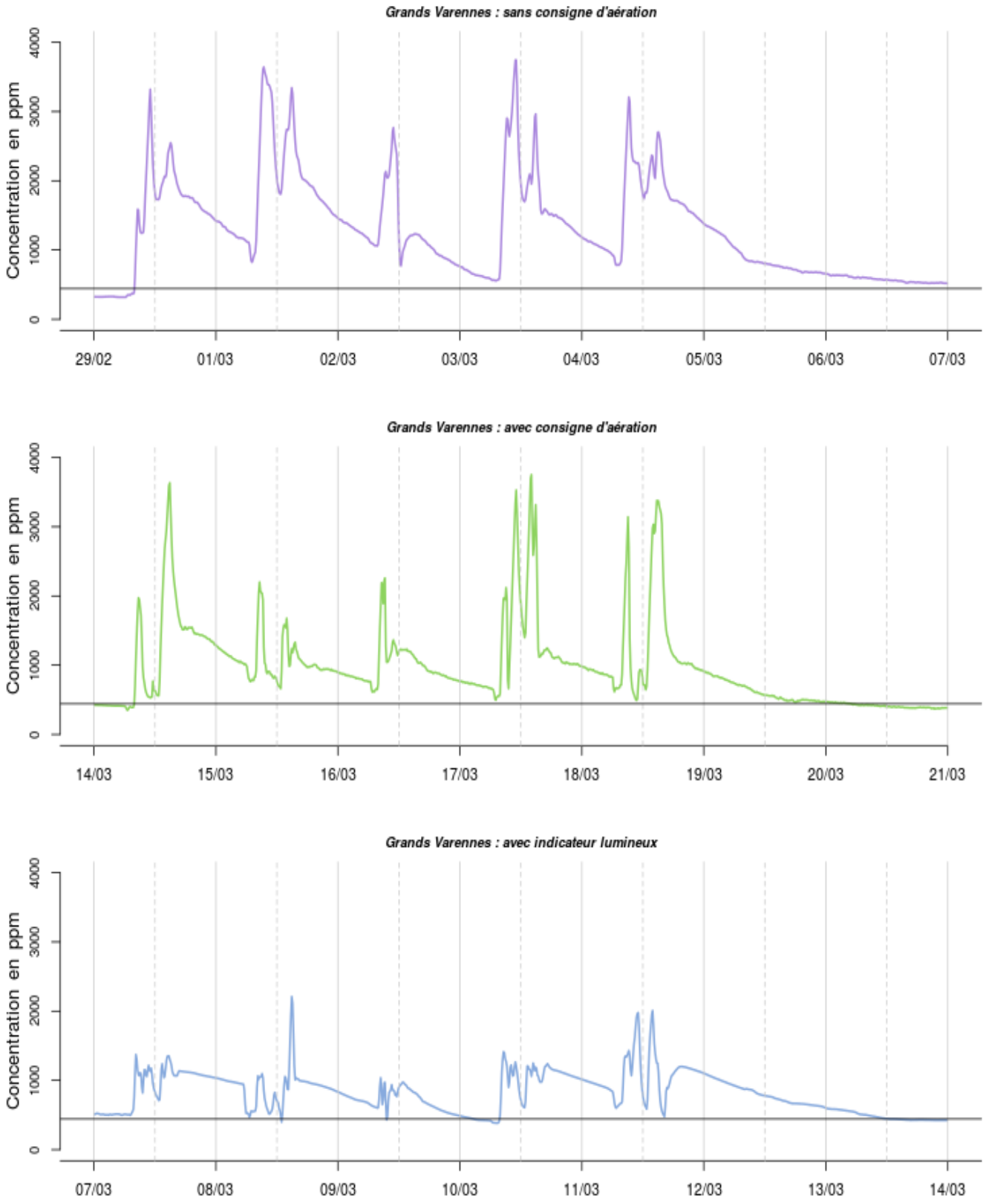


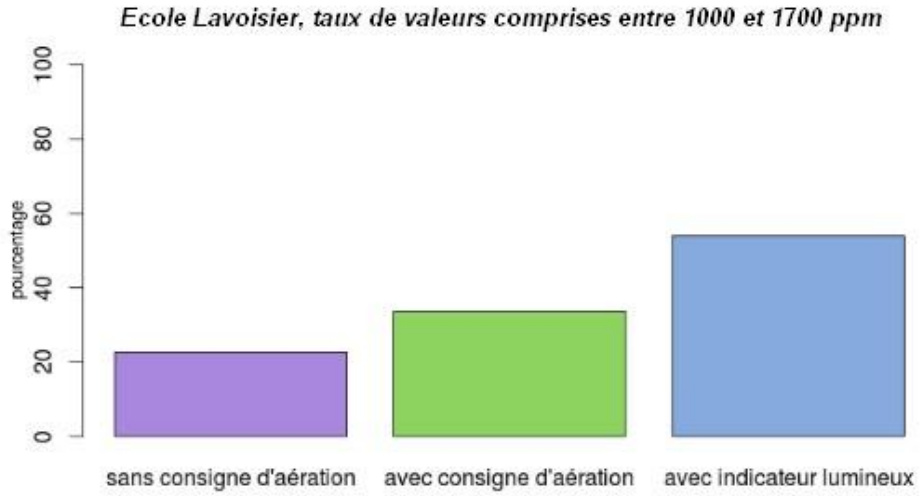
Figure 49 : Evolution des concentrations en CO2 selon les différents scénarios d'aération aux Grandes Varennes

Dans les figures 50 et 51, nous avons représenté le pourcentage des valeurs de CO2, en présence des enfants

- comprises entre [1000 ppm-1700 ppm
- et supérieure à 1700 ppm

Les seuils 1000 et 1700 ppmsont les deux seuils de calcul de l'indice ICONE.

Pour la classe de l'école Lavoisier



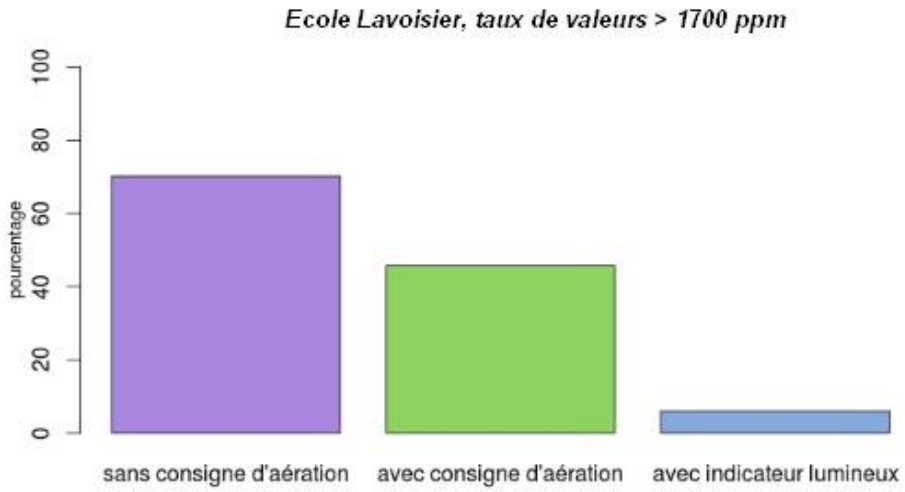
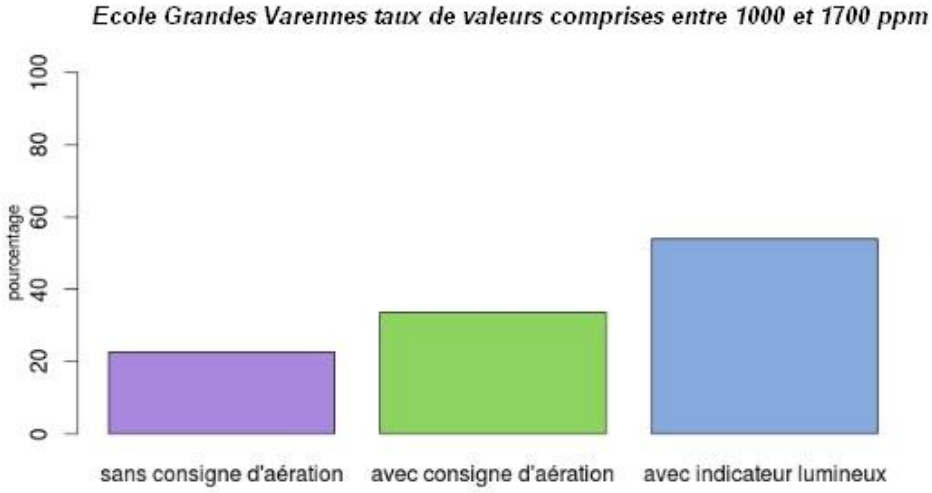


Figure 50 : Pourcentage des valeurs entre 1000 et 1700 ppm et supérieures à 1700 ppm selon les trois scénarios d'aération à Lavoisier

Pour la classe de l'école Grandes Varennes



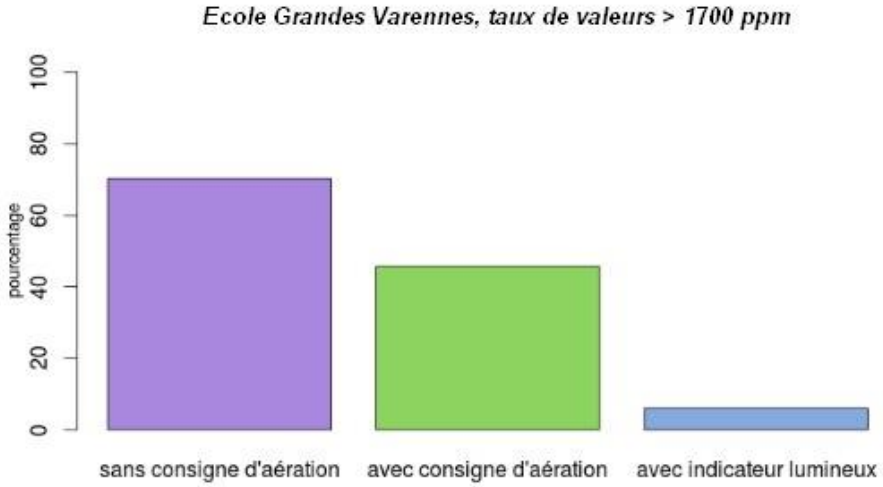


Figure 51 : Pourcentage des valeurs entre 1000 et 1700 ppm et supérieures à 1700 ppm selon les trois scénarios d'aération aux Grandes Varennes

Selon les figures 50 et 51 ci-dessus, plus le niveau d'aération est important (la semaine où l'indicateur lumineux a été utilisé) plus le nombre de valeur fortes (> 1700 ppm) diminue. Avec l'indicateur lumineux, environ 5% des concentrations de CO2 mesurées en présence des élèves sont supérieures à 1700 ppm, contre 55 à 60% en aération normale.

4.4 Bilan des mesures de composés organiques volatils

La classe de l'école Lavoisier a été équipée durant 5 semaines d'appareils de mesures permettant la mesures en continu de 31 composés organiques volatils.

Parmi ces 31 composés, l'examen des chromatogrammes a permis d'identifier une liste de COV présentant des particularités.

C2-C6 : propane, i-butane, n-butane, isoprene, inconnu4

C6-C12 : hexane, benzène, n-heptane, n-octane, éthylbenzène, mp-xylènes, o-xylene, nonane, inconnu1, inconnu2, inconnu3

Les composés organiques inconnus sont des polluants inconnus dans le gaz étalon, qui n'ont pas pu être identifiés à partir de leur temps de rétention. De plus, des problèmes techniques sur le C2-C6 (humidité dans la ligne échantillon) ont conduit à la perte de données sur les semaines (S1, S2, S3)

- semaine S1 : 25% de données disponibles,
- semaine S2 : 40% de données disponibles,
- semaine S3 : 0 %.

4.4.1 Cas du benzène

Le benzène est un composé réglementé dans les ERP. La figure suivante donne l'évolution des concentrations de benzène pendant les cinq semaines de mesures.

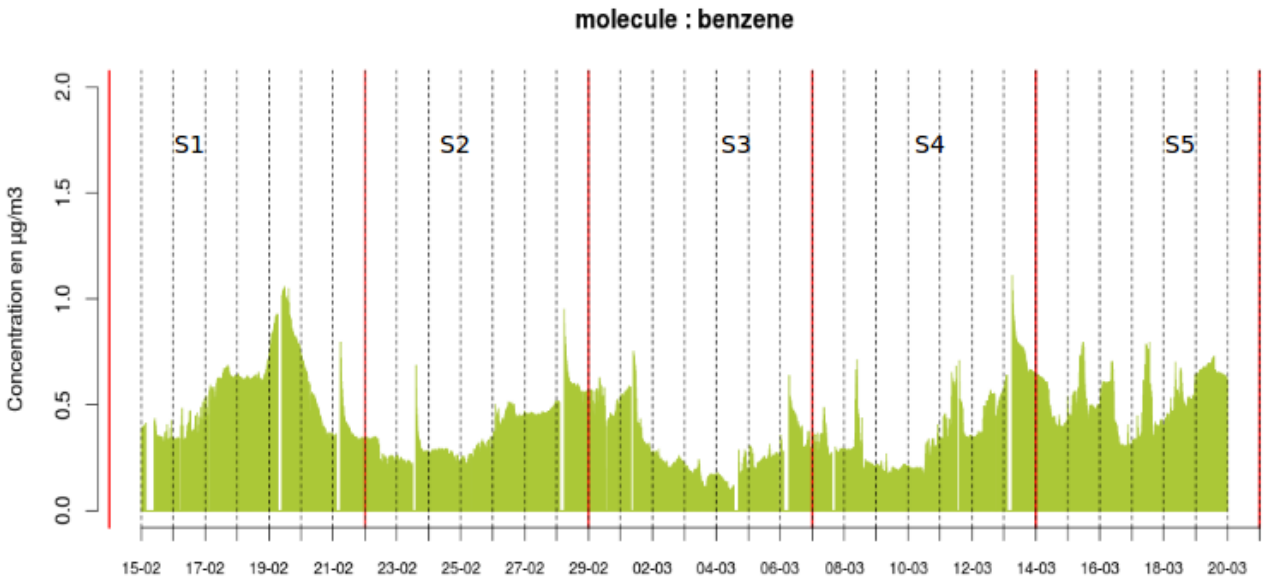


Figure 52 : Evolution des concentrations de benzène pendant les cinq semaines de mesures

Avec au maximum 1µg/m^3, les concentrations de benzène sont très faibles durant la campagne de mesures. La période la plus polluée en benzène correspond à la semaine S1, c'est à dire la

semaine pendant laquelle la classe avait été vidée de son mobilier. Compte tenu de la nature de ce polluant, l'existence d'une source intérieure de benzène peut être exclue.

4.4.2 Cas du propane / i-butane / n-butane

Ces mesures sont issues de l'analyseur de COV C2-C6 qui a connu des périodes de dysfonctionnement, ainsi seules les semaines S4 et S5 présentent un taux de représentativité pouvant être exploité.

Comme le montrent les figures de la page suivante, ces trois molécules présentent un comportement très similaire. Afin de synthétiser ces mesures, la figure ci-dessous donne le profil journalier en I-butane pour les semaines S4 et S5 pour le lundi, mardi, mercredi, jeudi et vendredi.

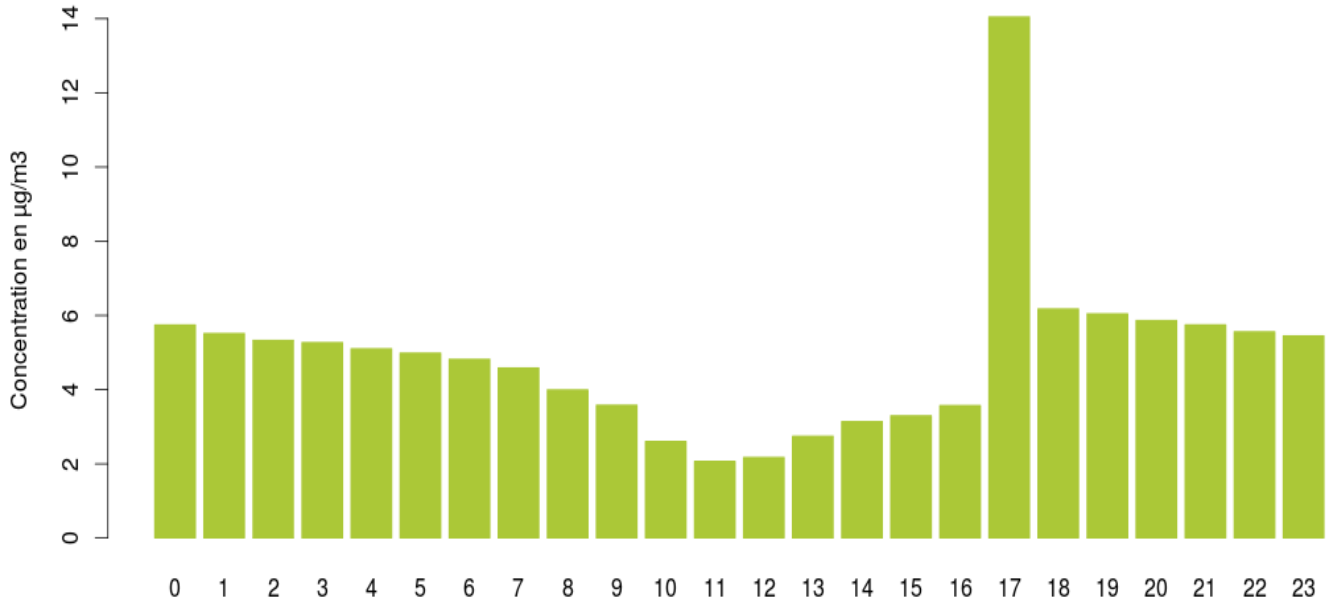


Figure 53 : Profil journalier en I-butane pour les semaines 4 et 5

Un constat identique avait été réalisé en 2008 dans une crèche municipale (crèche des Minimes). L'utilisation de produits d'entretien avait été identifiée comme source probable.

L'entretien de la classe a lieu en fin d'après-midi, et conduit vraisemblablement à ce pic. Les concentrations décroissent ensuite lentement du fait de la perméabilité importante du bâtiment. A 8h, avec l'arrivée des élèves et l'ouverture des portes et fenêtres (semaine avec consignes d'aération et avec indicateur lumineux), les concentrations décroissent plus rapidement.

L'augmentation perçue en début d'après-midi, est en fait uniquement perçue les mercredis. Ce profil est calculé en moyenne sur les jours de la semaine et donc intègre la particularité du mercredi avec une fin des cours à 12h.

Les évolutions journalières de la figure 54 sur la page suivante montrent que la persistance dans l'air de ces molécules est très différente d'un jour à l'autre.

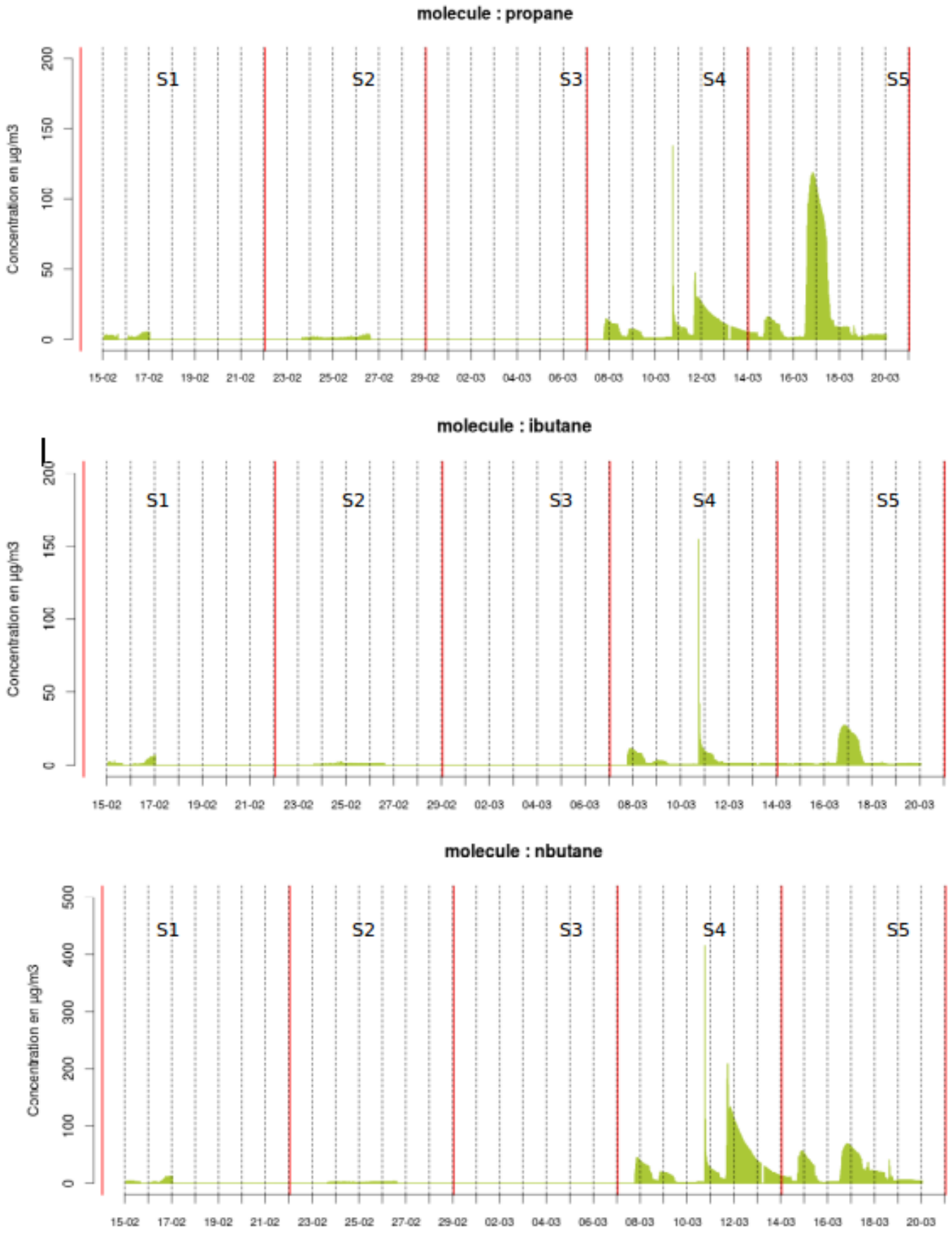


Figure 54 : Profils journaliers du propane, i-butane, n-butane

4.4.3 cas du n-octane

Comme le montre la figure 55, l'évolution temporelle des concentrations de n-octane, indique un lien évident avec la présence des enfants :

- lors des semaines S1 "vide de meuble" et S2 "avec mobilier mais sans activité" : les concentrations sont constantes avec une valeur de l'ordre de 5 µg/m^3.
- Lors des semaines S3 "sans consigne d'aération", semaine S4 "avec consignes aération" et semaine S5 "avec indicateur lumineux" : les concentrations de n-octane montrent des variations brutales caractéristiques de la présence d'une source.

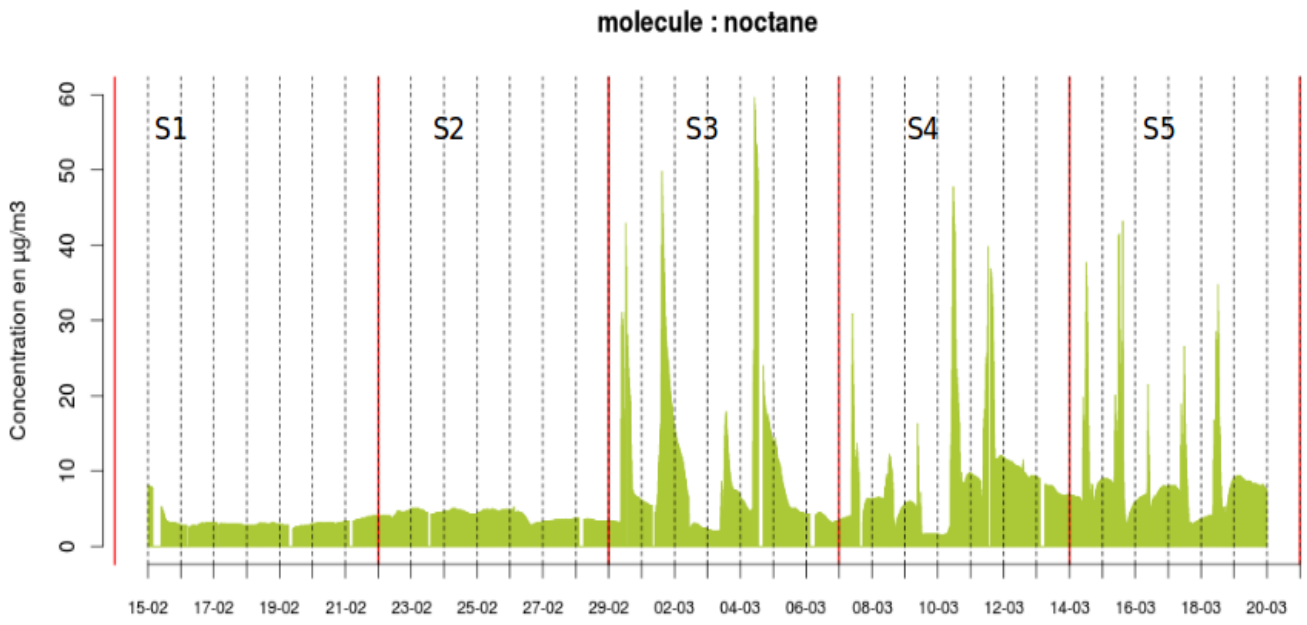


Figure 55 : Evolution des concentrations de n-octane

La figure suivante décline le profil journalier pour le n-octane sur les cinq semaines de mesures. La présence de n-octane concomitante avec la présence des enfants n'est pas expliquée à ce stade de l'exploitation.

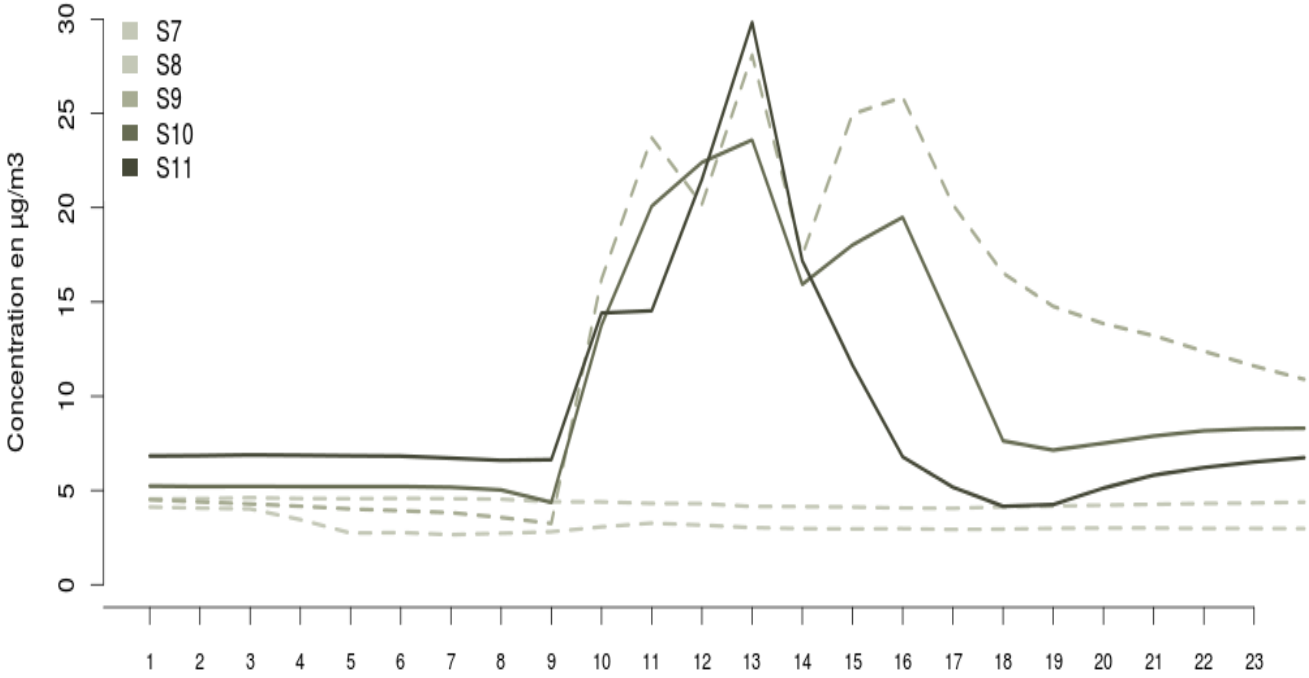


Figure 56 : Profil journalier du n-octane sur les 5 semaines de mesures

4.4.4 Cas de l'Ethybenzène/ M+P Xylènes / O-Xylène

Comme le montre les figures de la page suivante, ces trois molécules présentent un comportement très similaire. Deux périodes en semaine S3 et S5 montrent des variations importantes Ethybenzène, M+P Xylènes et O-Xylène dans l'air.

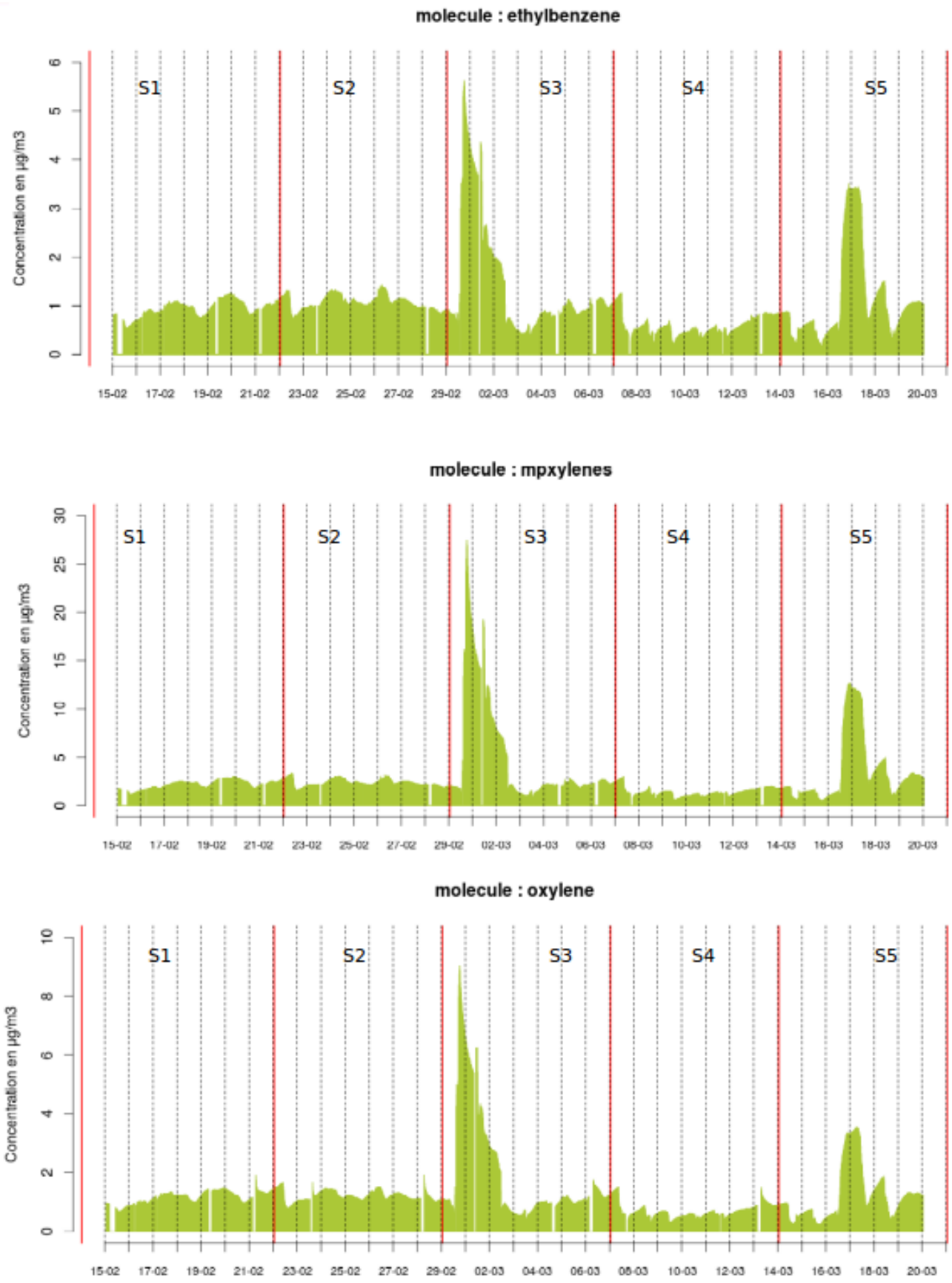
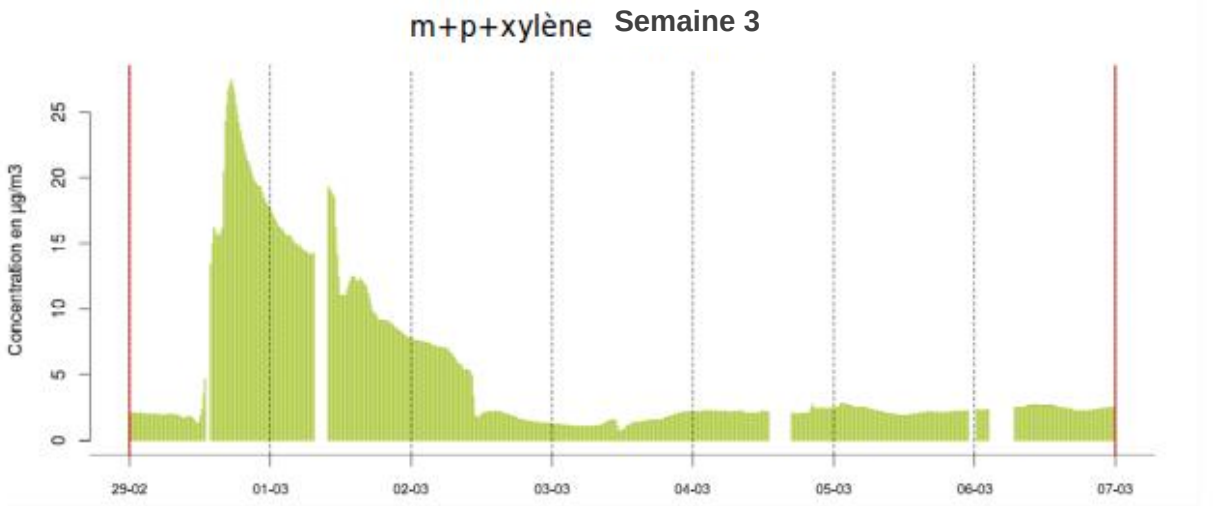


Figure 57 : profils de concentration de l'éthhylbenzène, oxylene et mp-xylèness

Nous observons des pics de concentrations pour ces différentes molécules le 29 février et le 16 mars. La figure 54 ci-dessous est un zoom sur ces pics pour les mpxylènes. La semaine 3, on observe une augmentation le lundi 29/02 à partir de 14h jusqu'à 16h30 puis une seconde le mardi 01/03 à 9h45. La semaine 5, l'augmentation a lieu le mercredi 17/03 à partir de 13h. Compte tenu de l'heure, les activités dans la classe ne peuvent pas être la cause de cette augmentation.



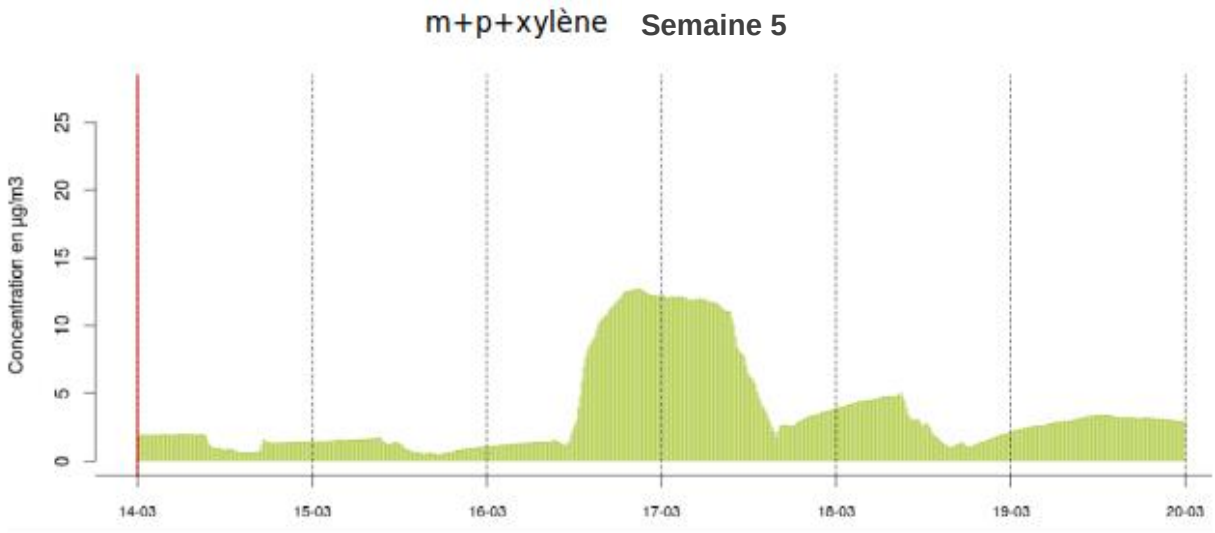


Figure 58 : Profil du m+p+xylène les semaines 3 et 5

4.4.5 Cas de l'isoprène

Les mesures d'isoprène sont issues de l'analyseur de COV C2-C6 qui a connu des périodes de dysfonctionnement. Ainsi seules les semaines S4 et S5 présentent un taux de représentativité suffisant pour être exploitées.

Lors des semaines S4 "avec consignes d'aération" et semaine S5 "avec indicateur lumineux" : les concentrations d'isoprène montrent des variations brutales caractéristiques de la présence d'une source. Les figures de la page suivante zooment sur les semaines S4 et S5.

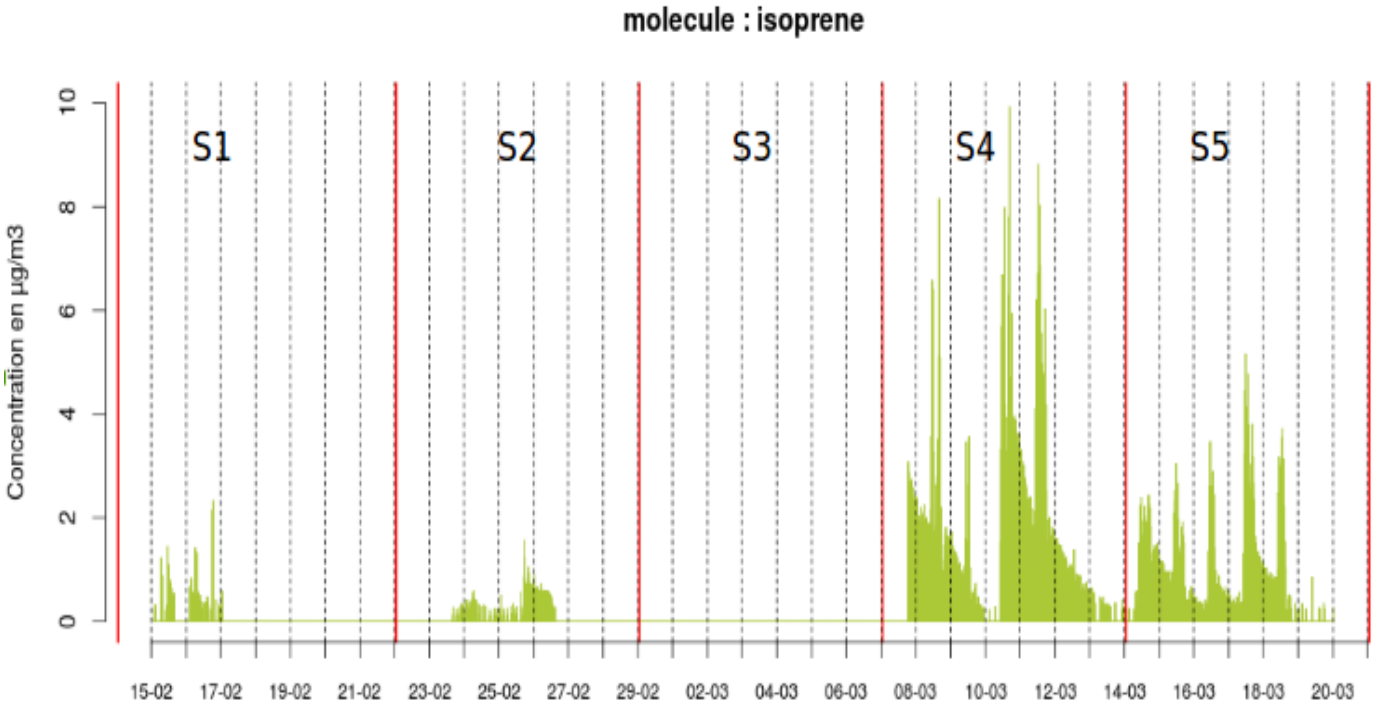


Figure 59 : Evolution des concentrations d'Isoprene

- Semaine S4 “avec mobilier et consignes d’aération”

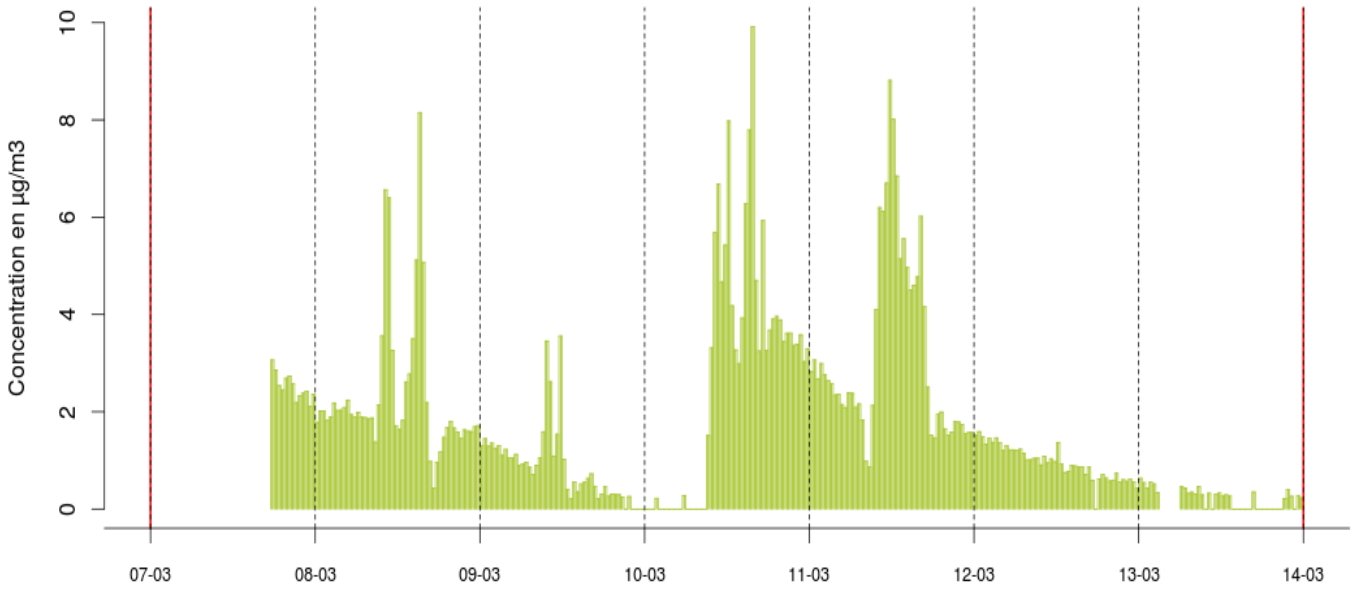


Figure 60 : Evolution de concentration d'isoprène semaine avec mobilier et consignes d’aération

- Semaine S5 “avec mobilier et indicateur lumineux”

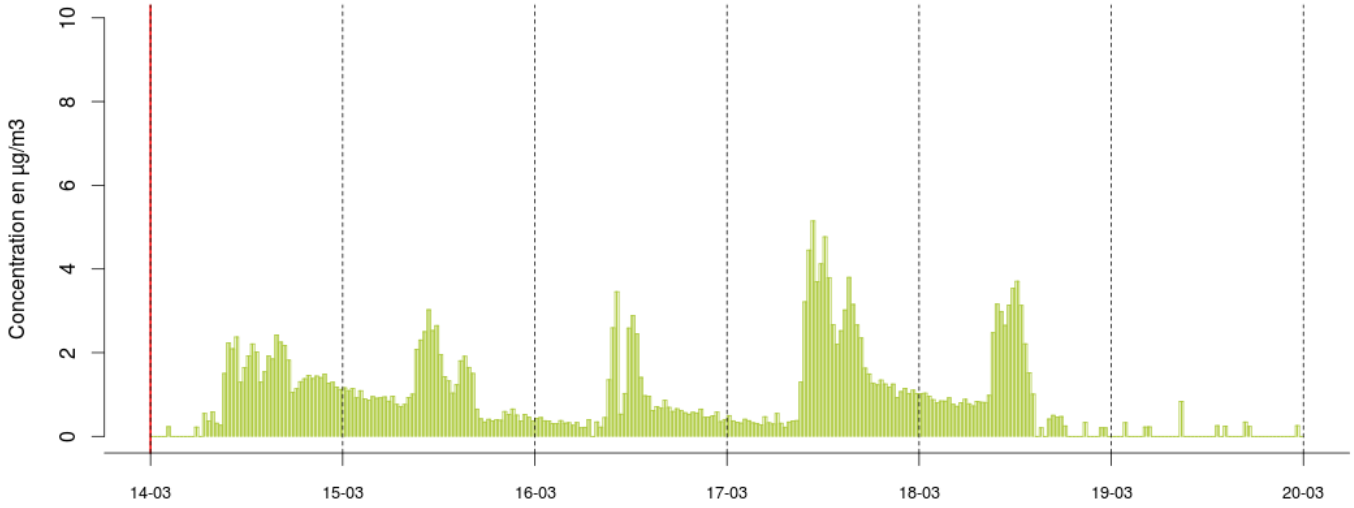


Figure 61 : Evolution de concentration d'isoprène semaine 4

En semaine S5, les pics sont moins importants et moins persistants. Cette évolution positive pourrait être à relier aux effets bénéfiques de l’utilisation de l’indicateur lumineux sur les pratiques d’aération.

4.4.6 Cas de l'hexane

Deux périodes, en semaines S2 et S4, montrent des variations importantes d'hexane dans l'air.

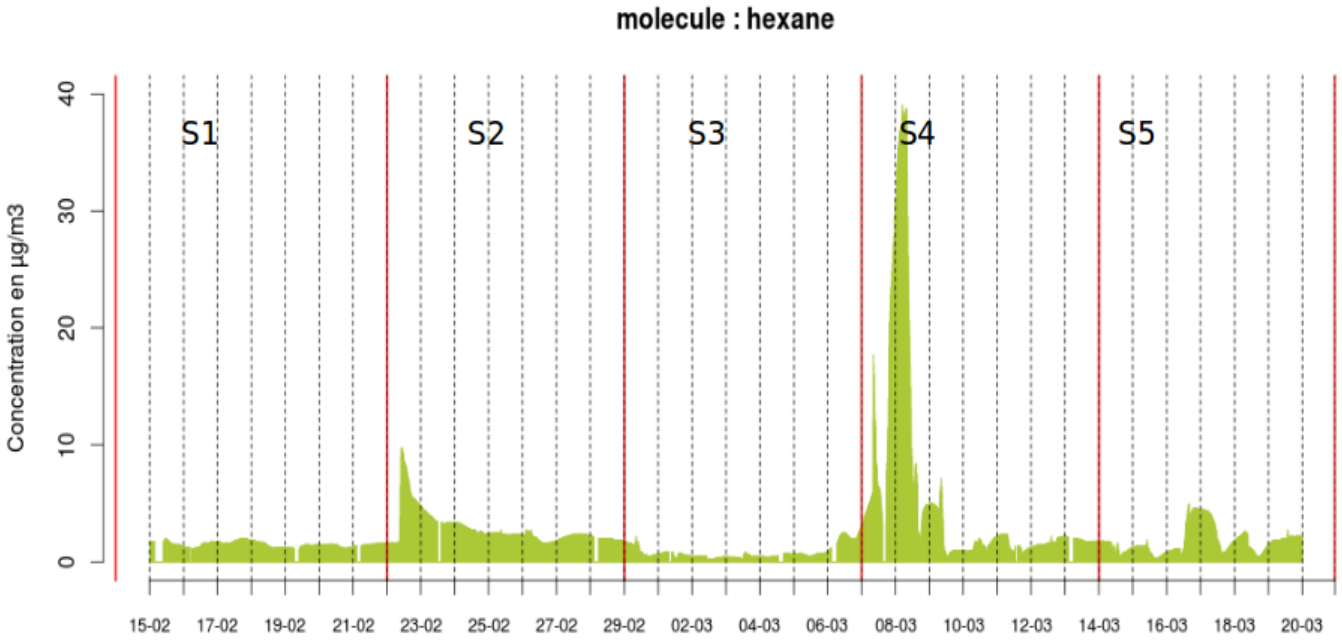


Figure 62 : Evolution des concentrations en hexane

Le pic du 23 février (semaine S2) est observé lorsqu'à lieu la remise en place du mobilier, la salle est ensuite fermée pour toute la semaine, ce qui peut expliquer la lente décroissance observée jusqu'au lundi 29/02 avec le retour des élèves et donc de l'aération.

Le pic du 8 mars (semaine S4) est plus étonnant, en réalité les concentrations augmentent même à partir du dimanche 6 mars. Bien que les mesures semblent valides, un dysfonctionnement non identifié de l'analyseur de COV ne peut être à exclure.

4.5 mesures de formaldéhyde dans la maternelle Le Prieuré

Pour rappel les mesures dans la classe de maternelle ont été réalisées à partir du vendredi 4 jusqu'au lundi 14 mars 2016, pendant une semaine de cours, avec les conditions d'aération habituelles.

La courbe suivante représente les évolutions temporelles des concentrations de formaldéhyde pendant une semaine type du samedi au dimanche suivant.

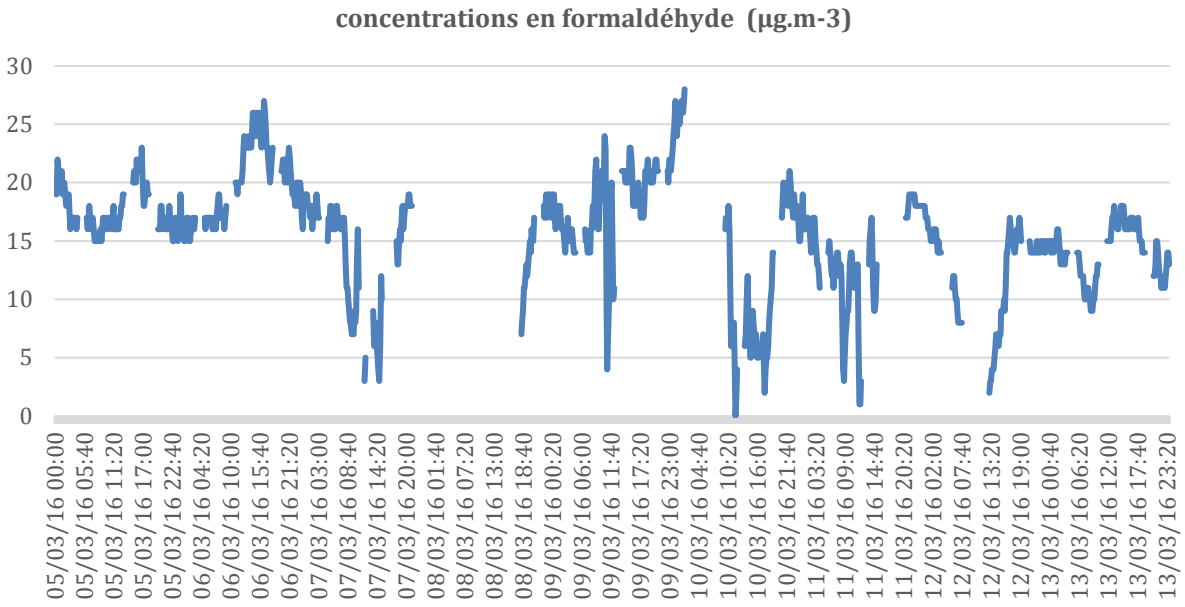


Figure 63 : Evolution des concentrations de formaldéhyde dans la classe du Prieuré

Comme pour les Grandes Varennes et Lavoisier, les variations de concentrations varient au fil de la semaine. Les chutes importantes correspondent généralement à des ouvertures de portes ou fenêtres. La valeur moyenne mesurée pour cette semaine est de l'ordre de 15µg/m3 et la valeur maximale est à peine supérieure à 30µg/m3.

Les produits utilisés par les enfants pendant la semaine ont été essentiellement des feutres et de la peinture.

Les mesures n'ont pas permis de mettre en évidence l'impact de ces activités sur les concentrations de formaldéhyde.

SECTION 3

Phase IV du projet IMPACTAIR

Conclusions et pistes d'action pour améliorer la qualité de l'air intérieur dans les écoles et les crèches et conclusions du projet

1.Conclusions du projet IMPACTAIR

1.1 Principaux enseignements

Les travaux conduits dans le cadre du projet IIMPACTAIR ont apporté de nombreuses informations tant sur le plan scientifique que sur le plan de la gestion de la QAI pour la Ville de La Rochelle.

La première étape avec les mesures de qualité de l'air intérieur a permis de disposer d'un panorama sur le parc d'établissements accueillant de jeunes enfants :

- Aucune situation alarmante n'a été mise en évidence. Néanmoins très peu de salles de classes présentent des résultats conformes à la valeur cible pour le formaldéhyde ce qui indique que des progrès seraient encore nécessaires dans une perspective de prévention de la santé à long terme.

- On retient également la situation contrastée des mesures de polluants entre les différents établissements et la difficulté à identifier des facteurs explicatifs pour ces différences. Pour les bâtiments les plus récents et ceux rénovés avec une attention particulière portée sur les matériaux et la qualité de l'air intérieur, les résultats de mesures sont plutôt positifs ce qui pourrait encourager la Ville à poursuivre ce genre d'approche dans les réhabilitations et constructions neuves.

- Les niveaux de formaldéhyde les plus préoccupants retrouvés plutôt dans les établissements classés en REP ou en zone urbaine sensible devraient interpeller plus particulièrement la Ville, dans un souci de réduction des inégalités sociales de santé. L'hypothèse principale pouvant expliquer ces différences est liée au bâti et aux matériaux utilisés (en cohérence avec les conclusions apportées par INCITAIR) : les situations les plus préoccupantes sont souvent associées à des bâtiments construits dans les années 1970, qui présentent par ailleurs les situations de vétusté les plus importants du parc de bâtiments scolaires.

- Nous retenons enfin l'importance capitale de communiquer sur le sujet tant sur le plan des résultats de mesures que nous avons pris la peine de transmettre à chaque établissement que sur le plan de la sensibilisation aux enjeux de la qualité de l'air largement méconnu du public cible de l'étude. Les échanges avec les différents agents des établissements nous indiquent qu'une approche purement scientifique et technique du sujet (associée à l'instrumentation des pièces) est inefficace car elle ne permet pas de capturer les informations d'ordre social et humain et qui constituent pourtant des facteurs importants de ce sujet qualité de l'air intérieur.

Le projet a également conduit à la collecte de données sur le bâti et les établissements avec l'hypothèse de départ d'aboutir à la classification des bâtiments selon un risque sur la QAI.

- Tout d'abord, il nous semble essentiel de rappeler le caractère complexe du sujet qualité de l'air intérieur qu'une approche trop simpliste et déterministe ne peut pas permettre de capturer. Ainsi la recherche des déterminants de la QAI par l'observation des salles de classe et la collecte de données sur les établissements a eu des effets limités sur le plan de l'analyse des résultats. Ainsi, il nous semble compliqué et peu efficace de chercher a posteriori l'origine d'un matériau ou du mobilier dans une pièce puisqu'il reste difficile d'isoler les déterminants du fait des interactions et dynamiques complexes de la qualité de l'air intérieur.

- Nous retenons néanmoins que l'humidité et le renouvellement de l'air constituent des paramètres prépondérants sur la dynamique des polluants dans l'air. Bien entendu, sans source de pollution, ces paramètres ont peu d'influence et nous retenons par ailleurs que l'action la plus efficace contre la pollution de l'air demeure d'éviter les sources.

- Pour une Ville comme la Rochelle, ces résultats sont importants puisqu'ils indiquent plusieurs voies d'actions possibles. Sur le long terme, les constructions neuves et les réhabilitations peuvent permettre de mieux prendre en compte ces enjeux et d'agir en amont sur les sources de polluants de l'air intérieur. Sur le moyen terme, des interventions sur les flux d'air (agencement des pièces, prises d'air dans les menuiseries, ventilation mécanique, qualité et disposition des ouvrants) et l'incitation à la régulation de l'humidité semblent des pistes intéressantes à explorer. Sur le court terme, l'incitation à une meilleure aération des locaux permettrait d'agir sur la régulation de l'humidité et l'évacuation des polluants. C'est aussi l'action la plus performante sur un rapport coût/efficacité.

- Ces observations renforcent enfin l'idée d'adopter une approche coordonnée avec tous les services de la Ville potentiellement concernés par les paramètres qui influencent la qualité de l'air intérieur, en particulier : les services techniques d'aménagement et construction pour travailler sur les réhabilitations et les constructions neuves ; le service en charge de la gestion technique des bâtiments de la ville pour tout ce qui concerne le chauffage, la ventilation et les réflexions sur la régulation de l'humidité et l'aération ; le service en charge de la commande publique pour les achats de mobilier et de matériel pédagogique ; le service des écoles qui coordonne les équipes en charge de l'entretien et du ménage dans les écoles et qui sont susceptibles de faire le lien avec les directeurs et enseignants ; de la même façon le service petite enfance pourrait être associé aux réflexions concernant les crèches et les structures d'accueil des tout petits.

La troisième phase du projet avec les mesures en dynamique a également apporté de nombreux enseignements :

- L'aération habituellement pratiquée dans les écoles instrumentées est marginale et insuffisante.

- Les principaux contributeurs de formaldéhyde sont le bâti dans une très large proportion puis le mobilier (informations rejoignant les conclusions du projet INCITAIR).

- En cohérence avec les connaissances actuelles sur le sujet et la première phase du projet IMPACTAIR, les résultats des mesures en continu ont montré que l'hygrométrie est un facteur important dans la dynamique des émissions de formaldéhyde.

- Les temps d'aération par ouverture des fenêtres sont plus importants avec consignes d'aération et encore plus fortement avec l'indicateur lumineux.

- L'ouverture des fenêtres participe à la nette diminution du formaldéhyde et du CO2 avec un effet rapide mais de courte durée. Dix minutes d'ouverture avant la classe permettent de diminuer de 60 % la concentration en formaldéhyde (30 à 10µg/m3) mais les taux remontent rapidement après fermeture des fenêtres. L'aération/ventilation en présence des enfants est donc à privilégier pour maintenir des concentrations faibles en situation d'exposition des occupants.

- Le protocole d'aération proposé aux classes (guide OQAI : une demi-heure d'aération avant la classe, en présence des enfants, à la récréation et après la classe) a été perçu comme trop contraignant et parfois inadapté aux situations réelles de vie de la classe. L'utilisation d'un indicateur lumineux pour favoriser le changement des pratiques s'avère un outil intéressant pour favoriser l'aération des salles de classe.

- L'information et la sensibilisation aux enjeux de la Qualité de l'Air Intérieur, à ses effets sur la santé et sur l'apprentissage des élèves sont insuffisantes. Un travail auprès des parents des équipes pédagogique et du personnel d'entretien est donc à engager. Il nous semble important de montrer en parallèle les actions envisagées par la Ville au niveau du patrimoine bâti.

1.2 Limites scientifiques et non scientifiques du projet

Dans le cadre de ce projet de recherche-action, nous avons été confrontés à différentes difficultés ou limites que ce soit dans la réalisation des mesures de polluants ou dans l'interprétation des résultats. Ces aspects font partie du retour d'expérience qu'il nous semble important de porter à connaissance d'autres organismes travaillant sur la qualité de l'air intérieur ou d'autres collectivités qui souhaiteraient mettre en place des actions sur ce sujet.

Parmi les limites que nous avons identifiées, certaines nous permettent de soulever les questions suivantes :

- La réalisation de mesures de la qualité de l'air intérieur par deux organismes différents a donné lieu à des questionnements sur la comparabilité de ces données. Les concentrations en benzène observées dans les salles de classe étaient généralement très faibles (presque toujours inférieures à la valeur guide), mais des écarts fréquents de l'ordre d'un microgramme par mètre cube nous ont interpellés. Malgré les accréditations des deux organismes et le respect des protocoles sur les mesures de QAI, il nous a été signalé que de nombreuses incertitudes pouvaient exister et que la comparaison des résultats entre organismes et entre semaines n'était pas exempte d'incertitudes. Qu'elles soient métrologiques, liées au système, au calcul ou aux conditions météorologiques le jour des mesures, ces incertitudes peuvent faire varier les résultats jusqu'à 40%. Bien qu'elles aient apporté l'immense bénéfice d'offrir un panorama complet pour le parc de bâtiments de La Rochelle, les mesures que nous avons réalisées et comparées entre elles comportent donc des incertitudes. Il nous semble légitime d'interroger la pertinence de réaliser des mesures systématiques dans les établissements au regard des coûts engagés pour une collectivité.

- Les mesures en dynamique pendant la 1ère semaine de mesures ne permettent pas de différencier la contribution du sol, des murs ou du plafond dans la contribution du bâti. De la même façon, la 2ème semaine ne permet pas de distinguer la contribution des différents

éléments du mobilier, des éléments de décoration et du matériel scolaire (livres, cahiers,….)

- Les mesures en dynamique du formaldéhyde sont très fines alors que les données concernant les temps d'ouverture des ouvrants, le nombre d'ouvrants mobilisés, les activités réalisées pendant les mesures présentent beaucoup d'incertitudes, ce qui limite l'interprétation concernant l'évolution de ce polluant. La réalisation de ce type de mesures nécessite à notre avis la présence d'un observateur pendant les mesures.

- Les concentrations mesurées en présence des enfants sont toutes inférieures au niveau de référence (classe meublée sans occupants). Par conséquent, les mesures avec occupants, n'ont pas permis de mettre de distinguer l'apport des activités des autres contributeurs.

- L'application des consignes d'aération a permis d'observer une diminution des concentrations en formaldéhyde et CO2 dans l'air intérieur. Cependant, l'aspect contraignant de ces consignes a nettement été mis en avant par les occupants. On peut donc douter de l'application de ces consignes sur le long terme et de la reproductibilité de cette expérimentation conduite dans des circonstances bien particulières (accompagnement fort, durée du test limitée à 5 jours…) d'autant plus que les bénéfices apportés ne sont pas immédiatement visibles.

1.3 Pistes possibles pour de nouveaux travaux de recherche et expérimentations

L'étude IMPACTAIR nous a permis d'identifier des zones d'incertitudes qui pourraient faire l'objet de nouvelles expérimentations. Voici quelques pistes que nous avons identifiées, et pour lesquelles nous n'avons pas cherché s'il existait des projets ou publications :

- Nos travaux n'ayant pas permis d'évaluer finement les contributions des différents matériaux de constructions et les différents éléments de mobilier et de décoration, il est possible que des études plus fines soient utiles dans ce domaine.

- In'Air Solutions a proposé d'autres formes de mesures en continu dans l'optique de chercher les meilleurs scénarios pour diminuer l'exposition des enfants et du personnel dans les classes. Ainsi il est proposé de réaliser des mesures avec de nouveaux scénarios d'aération en comparant par exemple sur deux semaines consécutives l'impact sur les concentrations en formaldéhyde et le CO2 avec une aération 1) pendant 1h chaque matin 2) avec 3 ouvertures de 20 min réparties dans la journée (conditions : mêmes fenêtres, mêmes nombres de fenêtres ouverture, même d'ouverture, mêmes conditions climatiques)

- L'étude a rappelé que les préoccupations importantes en matière de performance énergétique peuvent être un frein aux bonnes pratiques d'aération. Il nous semble intéressant d'explorer l'impact de l'aération sur l'efficacité énergétique et le confort des occupants.

- Les tendances mises en évidence à La Rochelle concernant les résultats plus préoccupants dans les écoles des zones urbaines sensibles nous ont particulièrement interpellés. Une exploitation statistique des mesures de surveillance en fonction de la géographie prioritaire

pourrait être réalisée par d'autres villes afin de tester cette tendance dans d'autres contextes. L'analyse devra bien entendu veiller à prendre en compte les facteurs confondants tels que les rénovations du bâti.

2.Reproductibilité de la démarche

Dans une optique de reproductibilité de la démarche IMPACTAIR, nous proposons de partager quelques appréciations de la conduite du projet, les facteurs de succès et les points de discussion :

- Portage politique : importance d'associer les élus en amont du projet, en particulier pour porter une démarche en transversalité
- Approche transversale : placer l'enjeu QAI plus largement dans le contexte du développement durable et d'apporter un renforcement mutuel aux différentes thématiques (énergie, confort, impact environnemental, etc.)
- Recherche d'un équilibre entre données scientifiques ou techniques et données de vécu pour le public concerné : le volet social et humain est indissociable du volet technique (comportements à l'aération, communication des résultats et sensibilisation aux enjeux de QAI, prise en compte du facteur anxiogène des sujets santé-environnement etc.)
- Mesures de QAI et classification des bâtiments : notre expérience démontre qu'une classification des bâtiments selon un risque QAI n'est pas pertinent et qu'il vaut mieux s'appuyer sur les données connues sur les sources et facteurs d'émissions des polluants. Les mesures de QAI donnent un panorama général de la situation, mais ne constituent pas nécessairement une étape obligatoire pour démarrer des actions d'amélioration.
- Favoriser l'adhésion aux enjeux : encourager une meilleure aération des locaux constitue une approche indispensable à court terme, mais la collectivité doit montrer un engagement fort à moyen et long terme dans ses domaines de responsabilité (constructions, rénovations, entretien, commande publique, etc.)
- Multi-exposition : l'utilisation d'indicateurs tels que le formaldéhyde, le benzène le CO2 ou les COV ne doit pas faire perdre de vue que la réalité de la QAI est celle de la multi-exposition et qu'une amélioration sur un critère ne doit pas se faire au détriment d'autres paramètres

Le mode projet nous semble un format adapté pour initier une dynamique au sein de la municipalité, pour porter le sujet QAI à connaissance des acteurs, qu'ils soient élus, techniciens ou acteurs des établissements. Les enseignements scientifiques du projet IMPACTAIR (et INCITAIR) constituent un socle de données complémentaires à la littérature sur la QAI et permettent d'imaginer des actions prioritaires dans ce domaine (voir réflexions sur le plan d'actions).

Un document de retour d'expérience a été édité, il est présenté en annexe 11.

3.Vers l'élaboration d'un plan d'action pour améliorer la qualité de l'air intérieur dans les écoles et les crèches de la Ville

Les projets IMPACTAIR et INCITAIR, conduits en parallèle, ont apporté de nombreuses connaissances que la Ville peut mobiliser pour améliorer la Qualité de l'Air Intérieur dans ses établissements recevant de jeunes enfants. Nous retenons en particulier l'impossibilité de dissocier les paramètres qui influencent la QAI, tous étant en interaction dans un système complexe.

Il nous semble donc essentiel de promouvoir une action transversale et complémentaire à la fois sur les sources de polluants, les paramètres physiques qui influencent leur dynamique, et les comportements des occupants (dont l'aération).

La réalisation du projet IMPACTAIR a permis d'impulser une dynamique au sein de la municipalité et d'évoquer les enjeux de la qualité de l'air intérieur avec différents services. Afin de poursuivre les efforts déjà engagés depuis quelques années sur ce sujet, il nous semble intéressant de s'appuyer sur les connaissances recueillies et la dynamique partenariale instaurée avant et pendant le projet.

Des actions d'amélioration ont déjà été amorcées au cours de ce projet, par exemple : introduction des critères QAI dans les marchés publics, les travaux de rénovation et de construction, préconisation sur l'installation et l'entretien des systèmes de ventilation, actions de conseil pour le désencombrement des ouvrants dans les salles de classe, communication et sensibilisation des acteurs dans les établissements, etc.

Alors que le projet IMPACTAIR arrive à son terme, la Ville entend poursuivre et structurer son engagement dans un plan d'action sur la Qualité de l'air. Il s'agit des premières pistes d'actions que nous proposerons de partager et de structurer avec l'ensemble des parties concernées, acteurs, services mais aussi les élus.

Les pistes d'actions que nous proposons de développer reposent sur quatre grands principes et hypothèses :

- Les principes de la promotion de la santé et la Charte d'Ottawa comme cadre général pour penser les actions d'améliorations
- La nécessité d'adopter une approche transversale pour travailler sur l'ensemble des déterminants de la QAI et les intégrer dans une vision plus large des bâtiments sains et durables
- L'importance de replacer les occupants au cœur de la démarche et de les considérer non pas seulement comme des « personnes exposées » ou des « usagers des bâtiments publics » mais aussi avant tout comme des êtres humains qui appréhendent leur espace et les sujets différemment, avec des contraintes ou des perceptions propres
- Le sens de la valeur de justice environnementale comme principe pour guider les actions et réduire les inégalités sociales de santé. Puisque l'étude a montré une vulnérabilité accrue des établissements situés dans les quartiers relevant de la Politique de la Ville, l'ensemble des actions imaginées devraient pouvoir porter en priorité sur ces établissements « plus fragiles ».

4. Les premières pistes d'actions que nous avons identifiées pourraient s'organiser autour de trois grands axes :

- **AXE 1 : Favoriser le développement de politiques publiques favorables à la santé**

- Promouvoir l'appropriation par les décideurs (élus et techniciens) du sujet QAI : sensibilisation aux enjeux de la QAI, communication sur la démarche et plaidoyer
- S'appuyer sur des dispositifs existants pour intégrer la QAI (CITERGIE, Ecolo-crèche, référentiel environnemental pour les projets d'aménagement et de construction) et saisir l'opportunité de développer

une certaine exemplarité au regard de la QAI dans le cadre du projet de rénovation de l'Arsenal / Cité Municipale
- Inscrire la QAI dans une optique plus large des bâtiments sains et durables et favoriser une approche transversale des enjeux santé, environnement et développement durable

- **AXE 2 : Développer des environnements de vie favorables à la santé**

Thème 1 : Agir sur les sources de pollution

- Prendre en compte la QAI dans les écoles et les crèches dans les réflexions engagées sur la problématique liée à la pollution atmosphérique
- Intégrer la QAI dans les travaux de construction et de rénovation dès la conception des travaux d'aménagement et de rénovation (penser aux sources dans les matériaux, au mode d'aération, ventilation, étanchéité à l'air du bâti, etc.)
- Prendre en compte la QAI dans les marchés publics : utilisation de l'outil développé dans le cadre d'INCITAIR, intégrer des critères QAI dans des marchés de construction et de rénovation

Thème 2 : Agir sur les facteurs favorisant les émissions de polluants et l'exposition

- Diffuser les consignes d'aération des locaux et promouvoir leur appropriation par les usagers, en prenant en compte les facteurs identifiés comme limitant l'aération
- Prendre en compte la QAI dans les pratiques de gestion et d'entretien des bâtiments : protocoles d'entretien et de nettoyage des bâtiments et des systèmes de ventilation mécanique, lutte contre l'humidité, détermination de délais suffisants entre fin de travaux ou installation de mobilier neuf et réintégration des occupants…
- Poursuivre des mesures ponctuelles de QAI (en interne ou par prestation) pour maintenir la vigilance et suivre l'évolution des niveaux de polluants dans les établissements

- **AXE 3 : Favoriser les comportements individuels favorables à la santé et une appropriation individuelle et collective des enjeux de la QAI**

- Développer et diffuser des supports de sensibilisation sur les enjeux de qualité de l'air intérieur (brochure de bonne pratique, support de présentation écoles, poster, mise à disposition d'un indicateur lumineux, etc.)
- Construire une stratégie de communication en direction du grand public (site web, brochure pour les parents d'élèves, ….)
- Engager une concertation et une collaboration avec les équipes pédagogiques et l'Education Nationale et la Santé Scolaire
- Développer le partage d'expériences dans les réseaux d'acteurs impliqués sur la QAI (Réseau Villes-Santé OMS, ADEME, ARS, Ligue contre le Cancer, Universités…)

Références bibliographiques

ANSES, Concentrations de CO2 dans l'air intérieur et effets sur la santé, Avis de l'ANSES, juillet 2013

ASTM International, 2009, Test Method for Determination of Formaldehyde and Other Carbonyl Compounds in Air (Active Sampler Methodology).

Blondeau P, Nicolle J, Projet INCITAIR – Rapport intermédiaire. ADEME. 55 pages, 2015

Canha N., Mandin C., Ramalho O., Wyart G., Ribéron J., Dassonville C., Hänninen O., Almeida S.M., Derbez M., Assessment of ventilation and indoor air polluants in nursery and elementary schools in France, Indoor Air, 2015, doi : 10.1111/ina.12222

Chiappini L. Surveillance du Benzène : état des lieux des niveaux de benzène en air intérieur, Ineris et du Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air, 2010

Dassonville C, Mandin C, Riberon J, Wyart G, Ramalho O, Kirchner S, Indicateur lumineux du confinement de l'air intérieur : suivi expérimental dans 70 salles de classe, 2013, Pollution atmosphérique, N° 218

Geelen LMJ et al. Comparing the effectiveness of interventions to improve ventilation behavior in primary schools. Indoor air, 2008, 18: 216-424

Donatello S., Moons H., Wolf O., Revision of Green Public Procurement Criteria for furniture, Technical Report 3.0, Working document for written consultation, 2015

Durand E., Faisabilité de l'aération manuelle dans les classes d'écoles maternelles et élémentaires : enquête quantitative et qualitative dans deux établissements de La Rochelle, Université Parais Saclay, Master 2 Mention Santé Publique, juillet 2016,

Eisner U., Kuthan J., 1972, The chemistry of dihydropyridines, Chem. Rev., 72, 1–42.

Greillet C., Fraize-Frontier S., Perouel G., Bayeux T., Bodin L., Boulanger G., Estimation de l'impact sanitaire associé à l'exposition au formaldéhyde dans les environnements intérieurs. Environ Risque Santé 2016 ; 15 : 58-61 ; Doi : 10.1684/ers.2015.0827

Guglielmino M., 2014, Développement d'une nouvelle méthode analytique du formaldéhyde dans l'air basée sur un dispositif microfluidique, Phd, Strasbourg University.

Guglielmino M., Allouch A., Serra C., Le Calve S., 2016, Development of microfluidic analytical method for on-line gaseous formaldehyde detection, soumis dans Sensors and Actuactors B

Guglielmino M., Bernhardt P., Trocquet C., Serra C., Le Calve S., 2016, Upgraded microfluidic analytical method based on temperature controlled annular flow for on-line gaseous formaldehyde detection, soumis dans *RSC advances ou Lab on a chip*

In'Air Solutions, Matériel et Méthodes, La Rochelle, 2016

Marchand C., Le Calvé S., Mirabel P., N. Glasser, A. Casset, N. Schneider, et al., 2008, Concentrations and determinants of gaseous aldehydes in 162 homes in Strasbourg (France), *Atmos. Environ.* 42, 505–516.

Ministère de l'écologie, du Développement durable et de l'Energie, Guide pratique pour une meilleure qualité de l'air dans les lieux accueillant des enfants, Elaboré avec l'appuis de l'INERIS, 2015

Ministère de l'égalité des territoires et du logement et Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie, Guide « Construire sain » à l'usage des maîtres d'ouvrage et maîtres d'œuvre pour la construction et la rénovation, 2013

Nasreddine, R., Person, V., Serra, C.A. and Le Calvé, S. (2016) Development of a novel portable miniaturized GC for near real-time low level detection of BTEX, *Sens. Actuators B Chem.*, 224, 159–169.

Ramalho O. et al. Association of carbon dioxide with indoor air pollutants and exceedance of health guideline values. Building and Environment, 93 :115-124, 2015

Riberon J., Berthineau B., Derbez M., Mandin C., Kirchner S., Ramalho O., Guide d'éaration par ouverture des fenêtres dans les écoles, Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, Observatoire de la qualité de l'air intérieur, Juillet 2013, DSC-Santé 2013-063R

Salthammer T., Mentese S., Marutzky R., 2010, Formaldehyde in the indoor environment, *Chem*. Rev. 110, 2536–2572.

Srinandini P., Maddalena R.L, Russel M.L., Apte M.G, Effect of temperature and humidity on formaldehyde emissions in temporary housing units, Journal of the Air & Waste Management Association, 61 : 6, 689-695, 2011. DOI : 10.3155/1047-3289.61.6.689

Wei W., Boumier J., Wyart G., Ramalho O., Mandin C., Cleaning practices and cleaning products in nurseries and schools : to what extent can they impact indoor air quality? Indoor Air, 2015, doi : 10.1111/ina.12236

Weihui L., Mengqiang L. Xudong Y. The combined effects of temperature and humidity on initial emittable formaldehyde concentration of a medium density fiberboard, Building and Environement 98: 80-88, 2016

Sigles et acronymes

ACP	Analyse en Composantes Principales
ADEME	Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie
CIRC	Centre International de Recherche sur le Cancer
COV	Composés organiques volatils
CSTB	Centre Scientifique et Technique du Bâtiment
OQAI	Observatoire de la Qualité de l'Air Intérieur
QAI	Qualité de l'air Intérieur
TRA	Taux de renouvellement d'air
VGAI	Valeurs guide Qualité d'Air Intérieur

ANNEXES

ANNEXE 1 : Evaluation du taux de renouvellement d'air moyen sur une semaine en période d'inoccupation des salles de classe

ANNEXE 2 : Tableau récapitulatif année de référence du bâti

ANNEXE 3 : Fiches de synthèse à destination des établissements concernés par la surveillance de la QAI

ANNEXE 4 : Grille de sélection des établissements pour les mesures en continu

ANNEXE 5 : Comparabilité des deux écoles élémentaires sélectionnées pour la phase de mesures en continu

ANNEXE 6 : Organisation logistique des mesures en continu

ANNEXE 7 : Grilles d'analyse OQAI pour la définition des scenarii d'aération

ANNEXE 8 : Consignes d'aération dans les deux classes selon les recommandations de l'OQAI

ANNEXE 9 : Définition des seuils pour l'indicateur lumineux de confinement

ANNEXE 10 : Exemple de grille d'observation aération de la classe à remplir par l'enseignant

ANNEXE 11 : Document de retour d'expérience

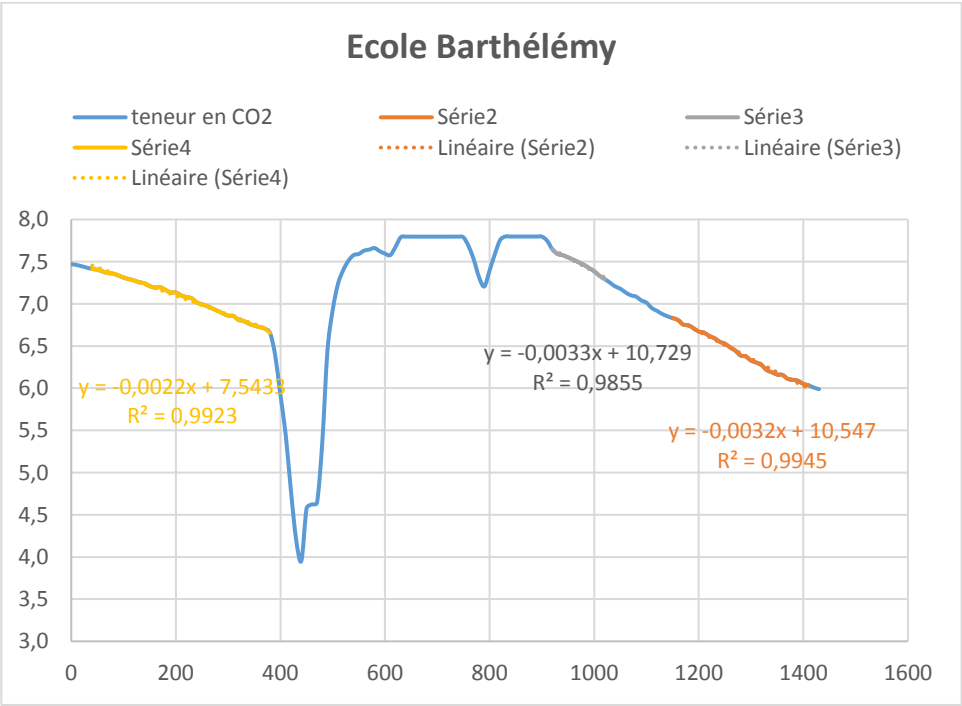
ANNEXE 1 : Évaluation du taux de renouvellement d'air moyen sur une semaine en période d'inoccupation des salles de classe.

L'évaluation du taux de renouvellement d'air a été déterminé selon la méthodologie décrite dans la publication de Persily (ref Evaluating building IAQ and ventilation rate with indoor carbon dioxide) et faisant référence à la norme ASTM E741 (ASTM, 1995). Le test décrit, consiste à mesurer la décroissance d'un gaz traceur afin de rendre compte du taux de renouvellement d'air dans une pièce.

Dans le cas de la surveillance de la teneur en CO_2 dans les écoles, un enregistrement sur 5 jours de la teneur en est réalisé de manière continue. Il s'agit donc d'utiliser les valeurs enregistrées sur cette période afin de déterminer le taux de décroissance du CO_2 dans les salles de classe. A partir de cette décroissance, il est possible de calculer un taux de renouvellement d'air moyen dans les conditions particulières de la prise de mesure de la teneur en CO_2 dans l'air.

Ainsi, la décroissance a été déterminée à partir du moment où aucune source (personnels ou élèves) de CO_2 n'est présente dans la salle instrumentée et également où aucune perturbation liée à une ouverture de portes ou de fenêtres n'est possible.

Le taux de renouvellement ainsi déterminé rendra compte de la perméabilité du bâti liée aux conditions environnementales extérieures. A noter donc que pour une perméabilité du bâti constante, la variation du taux de renouvellement d'air sera liée aux effets des variations de pressions entre l'intérieur et l'extérieur du bâtiment créant le débit d'air dans la pièce.
Le taux de renouvellement d'air correspondant est obtenu à partir des pentes des droites de régression linéaire sur la période déterminée à partir du graphique comme obtenu ci-dessous. Le taux de renouvellement d'air moyen déterminé dans l'école Barthélémy est donc de 0,0029 min^{-1} soit un renouvellement de 0,174 h^{-1} (volume de la pièce par heure).



ln (C_i-C_0)

Figure 64 : Représentation de la teneur en CO_2 dans une salle de classe sur 1 semaine de mesure et expression de droites linéaires sur certaines périodes de décroissance de la teneur.

ANNEXE 2 : Tableau récapitulatif année de référence du bâti

Nom établissement	Code pièce instrumentée	Désignation pièce	Année de construction (1ere pierre)	Explications sur les travaux	prise en compte travaux rénovation	conclusion date retenue : première pierre ou dernière rénovation importante
REAUMUR Elementaire	10E1	CP/CE1	1900	Pas de travaux importants sur le bâti mais une suite de travaux de rénovation, toitures , enduits de façades , et remplacement des menuiseries en 2013. A priori pas d'impact sur les sources	non	1900
VALIN Elementaire	12E14	CM1	1900	Pas de travaux importants sur le bâti mais une suite de travaux de rénovation, toitures , enduits de façades , et remplacement des menuiseries. A priori pas d'impact sur les sources	non	1900
REY Maternelle	12M11	Grande section	1900	Rénovation complète en 1992	oui	1992
REY Maternelle	12M12	Petite section	1900	Rénovation complète en 1992	oui	1992
ARCERE Maternelle	15M12	Petite section et dortoir	1900	Rénovation complète en 1983	oui	1983
ARCERE Maternelle	15M14	Classe Grande section	1900	Rénovation complète en 1983	oui	1983
MASSIOU Elementaire	16E3	CP	1900	Pas de travaux importants sur le bâti mais une suite de travaux de rénovation, toitures , enduits de façades , et remplacement des menuiseries. A priori pas d'impact sur les sources	non	1900
LA GENETTE Maternelle	17M11	Petite/moyenne section dortoir	1892	Rénovation compléte de l'école et aménagement d'une galerie en 1989	oui	1989
LA GENETTE Maternelle	17M13	Moyenne/grande section	1892	Rénovation complète de l'école + désamiantage changement sol et plafond 2013 et 2014 Sol Pvc remplacer par garrelage et faux -plafond existant remplacer par plafond en laine minérale	oui	2013

LA GENETTE Elementaire	18E4	CM1	1892	Rénovation compléte de l'école en 2005	oui	2005
PALISSY Bernard Elementaire	19E8	CE2	1955	Pas de travaux signficatifs	non	1955
PALISSY Bernard Maternelle	19M11	Moyenne/grande section	1955	Classe 5, réfectoire et nouveau dortoir construits en 2008	oui	2008
PALISSY Bernard Maternelle	19M12	Dortoir 2	1955	Classe 5, réfectoire et nouveau dortoir construits en 2008	oui	2008
PALISSY Bernard Maternelle	19M21	Classe 1 MGS	1955	Pas de travaux signficatifs	non	1955
DESCARTES A JOUER Lieu accueil enfants-parents	20C011	Salle d'activité milieu	1955	désamiantage dans le couloir pas de travaux sur l'isolation mais installation faux plafond et cloisons dinette et sol en 2007	oui	2007
DESCARTES Elementaire	20E2	CM1	1955	Pas de travaux signficatifs	non	1955
DESCARTES Maternelle	20M11	Dortoir A (près WC)	1955	rénovation importante en 2000 suite à tempête du 27/12/1999 puis en 2010 suite à tempête Xynthia	oui	2010
DESCARTES Maternelle	20M13	Petite/moyenne section	1955	rénovation importante en 2000 suite à tempête du 27/12/1999 puis en 2010 suite à tempête Xynthia	oui	2010
PETITS PRINCES Halte Garderie	239C11	Activités RDC	1930	prise en gestion de cette structure en 2013 pas d'info mais à priori pas de travaux importants		1930
PETITS PRINCES Halte Garderie	239C12	Activités R+1	1930	prise en gestion de cette structure en 2013 pas d'info mais à priori pas de travaux importants	non	1930
BERTHELOT Elementaire	23E2	CE1	1955	Travaux de maintenance réguliers, menuiseries en 1985	non	1955
BERTHELOT Maternelle	23M11	Grande section	1955	puis rénovation des sols et création d'un sanitaire et ascenseur en 2011	oui	2011
BERTHELOT Maternelle	23M13	Dortoir	1955	Pas de travaux signficatifs	non	1955
PETIT A PETIT Crèche Associative St Eloi	246C11	Salle activités près entrée	1988	prise en gestion en 2013 Travaux réaménagement pièces adjacentes en 2010 mais pas sur salle activités et dortoirs. Par contre lino changé dans la salle commune et dans les dortoirs en même temps en 2010	oui	2010

PETIT A PETIT Crèche Associative St Eloi	246C21	Dortoir milieu	1988	prise en gestion en 2013 Travaux réaménagement pièces adjacentes en 2010 mais pas sur salle activités et dortoirs. Par contre lino changé dans la salle commune et dans les dortoirs en même temps en 2010	oui	2010
PETIT A PETIT Crèche Associative St Eloi	246C31	Dortoir à gauche	1988	prise en gestion en 2013 Travaux réaménagement pièces adjacentes en 2010 mais pas sur salle activités et dortoirs. Par contre lino changé dans la salle commune et dans les dortoirs en même temps en 2010	oui	2010
LOTI Pierre Elementaire	24E5	CP	1936	pas de travaux importants sauf menuiseries en 1983 et façades en 2011	non	1936
LOTI Pierre Maternelle	24M11	Moyenne/grande section	1936	rénovation complète en 2002	oui	2002
LOTI Pierre Maternelle	24M12	Dortoir	1936	rénovation complète en 2002	oui	2002
LALEU Elementaire	25E1	CE2	1890	rénovation complète en 2002	oui	2002
LALEU Maternelle	25M12	Petite et Moyenne section	1890	Rénovation complète en 1991	oui	1991
LALEU Maternelle	25M24	Grande section	1890	Rénovation complète en 1991	oui	1991
FARANDOLE Crèche Associative	274C11	Dortoir 1 grand	1979	travaux dans une autre unité de la crèche puis rénovation en 2015 après mesures QAI	non	1979
FARANDOLE Crèche Associative	274C11	salle d'activités grands	1979	travaux modificatifs en 2014 impact possible	oui	2014
FARANDOLE Crèche Associative	274C12	salle d'activités bébé	1979	travaux modificatifs en 2014 impact possible	oui	2014
PETITS FUTES Mireuil Crèche Associative	281C11	Grande salle activités	1978	prise en gestion en 2013 pas d'historique de travaux, a priori rien de significatif sur le gros œuvre, simplement changement de sol et installation d'une grande piscine à balles autour de 1988	oui	1988
PETITS FUTES Mireuil Crèche Associative	281C21	Dortoir droite n°2	1978	prise en gestion en 2013 pas d'historique de travaux	non	1978

NICOLAS Claude Elementaire	28E1	CP	1901	rénovation façade et menuiseres en 2006/2007	non	1901
NICOLAS Claude Maternelle	28M11	Grande section	1901	Rénovation complète de la maternelle en 1992, classes et galerie, impact possible important	oui	1992
NICOLAS Claude Maternelle	28M12	Dortoir	1901	Rénovation complète de la maternelle en 1992, classes et galerie, impact possible important	oui	1992
LA PALLICE Crèche municipale	29C11	Dortoir bébé unité 1	2007	pas de travaux significatifs	non	2007
LA PALLICE Crèche municipale	29C12	Salle activités grands Unité 2	2007	pas de travaux significatifs	non	2007
GUILLET Louis Elementaire	30E11	CE2-CM1	1966	pas de travaux significatifs	non	1966
GUILLET Louis Maternelle	30M12	Grande section	1966	pas de travaux significatifs	non	1966
GUILLET Louis Maternelle	30M15	TPS et dortoir	1966	pas de travaux significatifs	non	1966
GRANDES VARENNES Elementaire	31E4	CM2	1965	changement des menuiseries, et réfection des façades en 2013	non	1965
LES GRANDES VARENNES Maternelle	31M11	Petite Section /TPS	1965	changement des menuiseries, et réfection des façades en 2013	non	1965
LES GRANDES VARENNES Maternelle	31M14	Grande section	1965	changement des menuiseries, et réfection des façades en 2013	non	1965
LA PASSERELLE Crèche Municipale	320C11	Salle d'activités crèche familiale	2000	pas d'historique car prise en gestion en 2013 Pas de travaux majeurs depuis, juste sur les peintures	non	2000
LA PASSERELLE Crèche Municipale	320C21	Dortoir crèche familiale	2000	pas d'historique car prise en gestion en 2013 Pas de travaux majeurs depuis, juste sur les peintures	non	2000
BALANDE Gaston Maternelle	32M11	TPS et dortoir	1970	pas de travaux -fermeture en juillet 2016	non	1970
BALANDE Gaston Maternelle	32M14	Peite section	1970	pas de travaux -fermeture en juillet 2016	non	1970
BALANDE Gaston Maternelle	32M21	Salle de jeux des grands	1970	aménagement de la salle de jeux en 1986 pas de travaux -fermeture en juillet 2016	oui	1986

BALANDE Gaston Maternelle	32M25	Grande section	1970	pas de travaux -fermeture en juillet 2016	oui	1986
BART Jean Elementaire	33E1	CP	1967	rénovation complète de 2008/2009 Seule la structure béton a été conservée	oui	2009
BART Jean Maternelle	33M12	Dortoir	1967	pas de travaux significatifs	non	1967
BART Jean Maternelle	33M15	Moyenne/grande section	1967	pas de travaux significatifs	non	1967
SUCETTE GALIPETTE Halte Garderie	356C11	Salle d'activité	1996	aucun travaux depuis l'ouverture -étude sur la fermeture en cours	non	1996
SUCETTE GALIPETTE Halte Garderie	356C21	Grand dortoir	1996	aucun travaux depuis l'ouverture -étude sur la fermeture en cours	non	1996
LE PRIEURE Elementaire	36E4	CM1	1954	pas de travaux significatifs	non	1954
LE PRIEURE Maternelle	36M11	Moyenne/grande section	1954	Réaménagement complet en 1997/1998	oui	1997
BOIS DES PROTESTANTS Crèche municipale	38C11	activités section 1	1975	Rénovation complète en 2013 ouverture septembre 2013	oui	2013
BOIS DES PROTESTANTS Crèche municipale	38C12	activités section 2	1975	Rénovation complète en 2013 ouverture septembre 2013	oui	2013
MINIMES Crèche Municipale	391C11	Salle d'activité bébé	2004	pas de travaux significatifs	non	2004
MINIMES Crèche Municipale	391C12	Dortoir des grands	2004	pas de travaux significatifs	non	2004
MINIMES Crèche Municipale	391C21	Salle d'activité des moyens grands	2004	pas de travaux significatifs	non	2004
BEAUREGARD Elementaire	39E6	CP	1954	pas de travaux significatifs	non	1954
BEAUREGARD Maternelle	39M11	Grande section	1954	pas de travaux significatifs, 1994 remplacement des menuiseries	non	1954
BEAUREGARD Maternelle	39M14	Moyenne section	1954	pas de travaux significatifs, 1994 remplacement des menuiseries	non	1954
BEAUREGARD Maternelle	39M21	Bibliothèque	1954	pas de travaux significatifs, 1994 remplacement des menuiseries	non	1954

DOUMER Paul Elementaire	40E3	CP	1936	pas de travaux significatifs	non	1936
DOUMER Paul Maternelle	40M11	Classe PS	1936	pas de travaux significatifs	non	1936
DOUMER Paul Maternelle	40M14	Classe MGS	1936	pas de travaux significatifs	non	1936
DOUMER Paul Maternelle	40M21	Bibliothèque	1936	pas de travaux significatifs	non	1936
PROFIT Barthelemy Elementaire	41E8	CM2	1975	pas de travaux significatifs	non	1975
PROFIT Barthelemy Maternelle	41M13	Moyenne/grande section	1975	pas de travaux significatifs	non	1975
PROFIT Barthelemy Maternelle	41M21	Moyenne/grande section	1975	pas de travaux significatifs	non	1975
PETIT NAVIRE Crèche associative	425C11	Dortoir 3	2008	pas de travaux significatifs	non	2008
PETIT NAVIRE Crèche associative	425C12	Atelier peinture	2008	pas de travaux significatifs	non	2008
PETIT NAVIRE Crèche associative	425C21	Salle d'activités	2008	pas de travaux significatifs	non	2008
Pôle du Lac Crèche VLS	42C11	Salle activité	1970	rénovation totale en 2007ouverture avril 2008	oui	2007
MINICLUB Halte Garderie Tasdon	430C11	Salle d'activité	2007	pas de travaux significatifs	non	2007
MINICLUB Halte Garderie Tasdon	430C21	dortoir	2007	pas de travaux significatifs	non	2007
CONDORCET Elementaire	43E5	CE1	1973	Remplacement des menuiseries en 2007, autrement pas de travaux significatifs	non	1973
CONDORCET Maternelle	43M11 B	Grande section	1973	Remplacement des menuiseries en 2007, autrement pas de travaux significatifs	non	1973
CONDORCET Maternelle	43M13 B	Moyenne/grande section	1973	Remplacement des menuiseries en 2007, autrement pas de travaux significatifs	non	1973
LAVOISIER Elementaire	44E20	CE1-CE2	1974	remplacement menuiseries extérieures en 2000, autrement pas de travaux significatifs	non	1974
LAVOISIER Maternelle	44M11	Classe1 PMS	1974	remplacement menuiseries extérieures en 2000,	non	1974

				autrement pas de travaux significatifs		
LAVOISIER Maternelle	44M12	Classe2 MGS	1974	remplacement menuiseries extérieures en 2000, autrement pas de travaux significatifs	non	1974
BOUCHET Elementaire	45E9	CP	1900	remplacement menuiseries, autrement pas de travaux significatifs	non	1900
BOUCHET Maternelle	45M11	classe1PS et dortoir	1900	rénovation compète en 1996 impact possible	oui	1996
BOUCHET Maternelle	45M23	Classe3 MGS	1900	rénovation compète en 1996 impact possible	oui	1996
BOUCHET Maternelle	45M24	Classe 4 MGS	1900	rénovation compète en 1996 impact possible	oui	1996
BONGRAINE Elementaire	46E8	CM2	1974	pas de travaux significatifs	non	1974
BONGRAINE Maternelle	46M11	Moyenne/grande section	1974	pas de travaux significatifs	non	1974
BONGRAINE Maternelle	46M12	Grande section	1974	pas de travaux significatifs	non	1974
MELI MELO Crèche Associative	88C11	Grande salle	1998	pas de travaux significatifs mais pas d'historique car prise en gestion en 2013	non	1998

ANNEXE 3 : Fiches de synthèse à destination des établissements concernés par la surveillance de la QAI (4 pages)

NOTE D'INFORMATION SUR LA QUALITE DE L'AIR INTERIEUR (QAI)

Crèche associative de Mireuil Les Petits Futés

Nous passons beaucoup de temps dans des lieux fermés (logement, moyens de transport, lieu de travail/école...). L'air que nous y respirons n'est pas toujours de bonne qualité.

La pollution de l'air intérieur jusqu'alors moins connue que la pollution atmosphérique fait l'objet d'un cadre réglementaire destiné à surveiller, prévenir et réduire les risques pour la santé des occupants. La loi Grenelle 2 a rendu obligatoire la surveillance de la qualité de l'air intérieur (QAI) dans certains établissements recevant du public sensible notamment dans les crèches et les écoles. Malgré le report à 2018 de l'obligation de cette surveillance, la Ville de la Rochelle a décidé d'agir sur cette thématique et de contrôler la qualité de l'air dans ses établissements recevant de jeunes enfants.

La municipalité a donc initié un projet intitulé IMPACT'AIR avec le soutien financier de l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME) et la Ligue contre le Cancer. La démarche doit permettre à la Ville de mieux connaître la situation actuelle dans les crèches et les écoles et fournir des informations pour conduire des actions d'amélioration de la qualité de l'air dans ces établissements.

Les résultats de mesures de QAI et de diagnostic pour votre établissement vous sont présentés dans cette note. Son objectif est de vous informer mais aussi de sensibiliser vos équipes aux enjeux de la qualité de l'air intérieur (QAI).

Remarque : Les données communiquées correspondent aux prélèvements réalisés dans votre établissement sur deux périodes d'une semaine. Ces résultats offrent donc une vision de la situation à un moment donné, dans une pièce, avec sa configuration, son mobilier, ses occupants et ses activités propres. Il convient donc de rester prudent sur les conclusions. Ces résultats peuvent ne pas refléter la situation réelle moyenne d'exposition aux différents polluants de l'air. Néanmoins, cette étude contribue à améliorer les connaissances et apporte également des clés à la Ville pour définir des axes d'amélioration pour la santé et le bien-être des occupants.

Pour tous renseignements complémentaires sur le sujet, contactez Anne-Laure LEGENDRE ou Béatrice CORMERAIS à la direction Santé Publique de la Ville de La Rochelle,

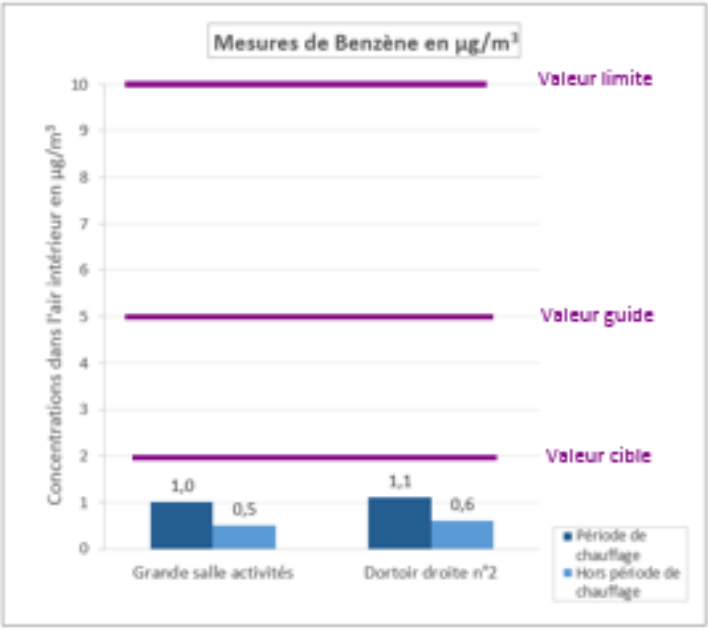
*tel. **05.46.51.51.42** ou sante.publique@ville-larochelle.fr*

Résultats de la campagne de mesures

Deux séries de prélèvements de polluants dans l'air intérieur ont été réalisées pour le **formaldéhyde, le benzène et le dioxyde de carbone**. Ces trois indicateurs sont considérés comme des paramètres traceurs révélateurs de la QAI.

Mesures réalisées par : APAVE Nord-Ouest.

Périodes : du **24 au 28 novembre 2014** (chauffage) et du **8 au 12 juin 2015** (hors chauffage)

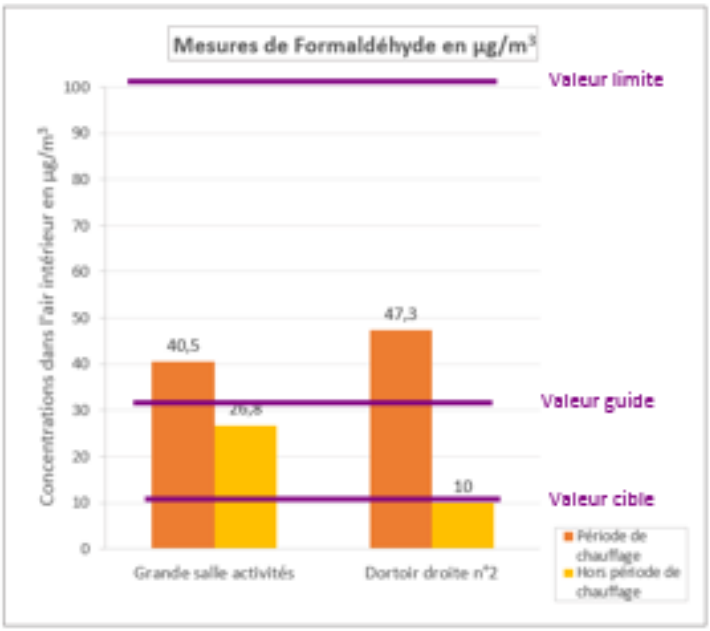


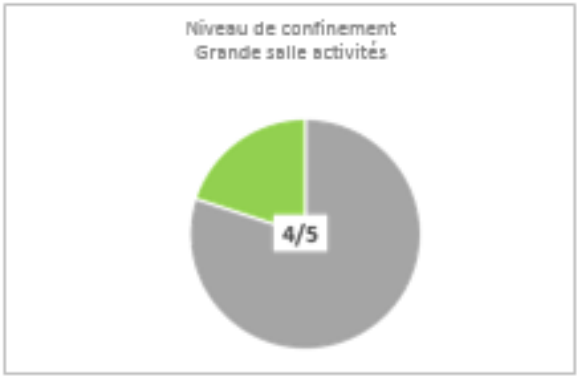
Pour la gestion de la QAI, on utilise différents niveaux de concentration de polluants dans l'air intérieur des établissements. Ces niveaux sont utilisés comme seuils d'actions pour éviter ou réduire les effets nocifs sur la santé humaine ou comme objectif à atteindre pour préserver la santé.

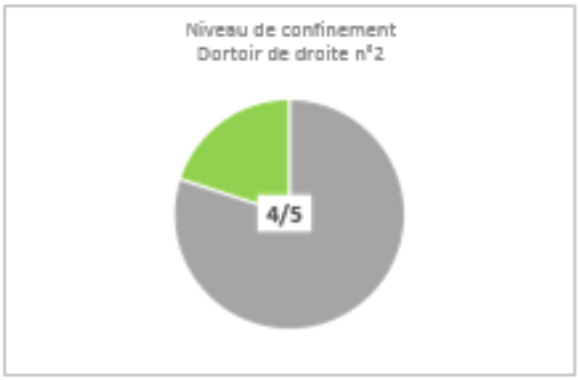
Valeur limite : valeur réglementaire retenue comme seuil d'action rapide pour ramener les teneurs ambiantes en dessous de la valeur guide.

Valeur guide : valeur repère de qualité de l'air en dessous de laquelle aucune action corrective n'est imposée. La Ville utilise cette valeur comme repère pour engager des actions en priorité dans les pièces et établissements présentant des mesures proches ou au-dessus de ce niveau repère.

Valeur cible : valeur à atteindre en 2016 pour le benzène et en 2023 pour le formaldéhyde. Toute teneur inférieure ou égale témoigne d'une très bonne qualité de l'air vis-à-vis du polluant et n'implique aucune action si ce n'est de veiller à ce que cette situation ne se dégrade pas.







LE BENZENE

Le **benzène** est une substance issue des processus de combustion.
Le secteur résidentiel et les transports en sont les principaux contributeurs. La fumée de tabac est une source majeure de benzène dans les environnements intérieurs et certains produits de bricolage et d'entretien peuvent également en émettre.

Le **benzène** est une substance irritante. Inhalée, cette substance peut entraîner des céphalées, nausées, vomissements. Le Centre international de la recherche sur le cancer (CIRC) considère qu'il existe des indices avérés de cancérogénicité chez l'homme

Interprétation des résultats dans l'établissement

Comme pour l'ensemble des établissements contrôlés à La Rochelle, aucune pièce ne présente de concentration supérieure à la valeur limite impliquant des investigations complémentaires (10 µg/m³), pour chacune des séries de prélèvement.

Les mesures sont inférieures à la valeur cible (2 µg/m³) en regard d'une exposition à long-terme.

Des teneurs inférieures ou égales à 2 µg/m³ témoignent d'une bonne qualité de l'air vis-à-vis de ce polluant mais il convient de garder à l'esprit que le benzène est un cancérogène sans seuil d'innocuité et que l'objectif doit toujours être de réduire les concentrations à un niveau aussi bas que possible.

Enfin, les mesures complémentaires ont révélé des concentrations extérieures équivalentes aux concentrations intérieures, ce qui signifie dans ce cas que l'environnement extérieur est la source majoritaire de benzène.

LE FORMALDEHYDE

Le **Formaldéhyde** est une substance retrouvée principalement dans les environnements intérieurs car les sources y sont multiples. Les produits de construction, de décoration, et d'ameublement en sont des sources potentielles. L'entretien des locaux, l'utilisation de désodorisants ou parfums d'ambiance et les activités pédagogiques peuvent également contribuer aux émissions de formaldéhyde dans une pièce. Enfin, la chaleur et l'humidité ambiante provoquent des réactions chimiques avec différentes substances qui peuvent générer des émissions en continu.

Le **Formaldéhyde** est une substance irritante pour le nez et les voies respiratoires, le formaldéhyde est classé depuis 2004 comme substance cancérogène avérée pour l'homme par le Centre international de recherche sur le cancer (CIRC).

Interprétation des résultats dans l'établissement

Comme pour l'ensemble des établissements contrôlés à La Rochelle, aucune pièce ne présente de concentration supérieure à la valeur limite impliquant des investigations complémentaires (100 µg/m³).

Les résultats sont disparates selon les pièces instrumentées :
Hors période de chauffage, les mesures dans le dortoir sont bonnes, de l'ordre de 10 µg/m3, qui constitue un objectif à atteindre pour préserver la santé.
Dans la salle d'activités, la concentration relevée hors période de chauffage est moins favorable, entre la valeur guide et la valeur cible.
En période de chauffage, les niveaux relevés dans les deux pièces sont supérieurs à la valeur guide.
On considère que des marges de manœuvre sont possibles pour ramener cette concentration autour de la valeur cible de 10 µg/m³.

L'INDICE DE CONFINEMENT

Le niveau de **confinement de l'air** dont la concentration en **dioxyde de carbone (CO_2)** constitue un bon indicateur, dépend du taux d'occupation (respiration) et des conditions de renouvellement d'air de la pièce. Celles-ci dépendent de la perméabilité à l'air de la pièce, de la présence éventuelle d'un système de ventilation et des ouvertures de fenêtres (aération).

Le CO_2 est sans effet notable sur la santé. Toutefois, un taux élevé de CO_2 peut entraîner une diminution des capacités scolaires des enfants. Par ailleurs, un indice de confinement élevé traduit un renouvellement insuffisant de l'air qui favorise à son tour une accumulation de polluants et d'humidité dans la pièce avec des effets possibles sur la santé.

Interprétation des résultats dans l'établissement

L'indice de confinement relevé dans chacune des pièces, indique un renouvellement d'air insuffisant.

Le dortoir instrumenté est sans ouvrant et sans dispositif de ventilation mécanique.

Il convient donc d'être vigilant sur les points suivants :

Veiller à ce que l'utilisation des pièces soit conforme au taux d'occupation prévu. De plus en l'absence de dispositif spécifique de ventilation, il est souhaitable d'améliorer les conditions d'aération de ces pièces en procédant à des ouvertures plus fréquentes des fenêtres durant la période d'occupation.

Pistes d'amélioration

La Ville de la Rochelle s'engage à porter des actions pour réduire les émissions de polluants à la source :

- La municipalité porte déjà des actions sur la réduction des polluants atmosphériques en réfléchissant par exemple aux modes de circulation dans la ville ;
- Des actions sont mises en place en concertation avec différents services de la ville en profitant notamment des travaux de rénovation ou de changement d'ameublement pour optimiser la conception des bâtiments vis-à-vis de la QAI, choisir les matériaux les moins émissifs et ainsi favoriser l'évolution progressive de la situation vers les valeurs cibles qui constituent un objectif sur le plan de la prévention de la santé ;
- La Ville poursuit son engagement pour faire évoluer les protocoles d'entretien des locaux et limiter l'impact des produits utilisés;
- Enfin, les services de la ville se mobilisent pour travailler de concert et identifier des leviers d'actions permettant d'améliorer la QAI ainsi que la qualité environnementale et sanitaire des bâtiments municipaux en général.

Usagers et occupants des locaux, que pouvez-vous faire ?

- A la crèche comme dans tous les locaux fermés, l'aération des pièces est un moyen incontournable pour évacuer les polluants. Aérer et/ou ventiler régulièrement la pièce permet de renouveler l'air et d'évacuer les polluants piégés dans la classe ;
- En période hivernale, on a tendance à moins ouvrir les fenêtres. Il convient malgré tout d'aérer régulièrement. Remarque : confort thermique et renouvellement d'air ne sont pas nécessairement incompatibles ! Une dizaine de minutes d'aération en grand suffisent à renouveler l'air sans déperditions de chaleur trop importantes ;
- Il est recommandé d'aérer systématiquement la pièce le matin avant l'arrivée des petits, puis régulièrement au cours de la journée afin de renouveler l'air. Enfin il est conseillé de toujours aérer après les opérations de nettoyage ;
- L'aération permet également de limiter les phénomènes de condensation et l'humidité qui peuvent contribuer au développement de moisissures et aux émissions de composés organiques volatils tels que le formaldéhyde ;
- En cas de fort ensoleillement, utiliser les rideaux ou protection solaire et aérer les pièces ;
- Veiller enfin à ce que l'utilisation de la pièce soit conforme à l'usage et au taux d'occupation prévus.

ANNEXE 4 : Grille de sélection des établissements pour les mesures en continu

	Etablissements envisagés			Etablissements non envisagés
Etablissements sélectionnés		**Etablissements Exclus**		**Quelles informations auraient pu être capturées ?**
Elémentaire Grandes Varennes	**Intérêt** : niveaux élevés, besoin d'explications plus fines, plus facile de voir des évolutions **Limites** : travaux prévu cet été dans la classe Recommandations à faire à l'occasion des travaux + recommandations pour toute l'école	**Elémentaire Condorcet**	**Faisabilité :** contraintes techniques **limites** : pas d'exploration plus fine des sources de pollution	Comment se comporte un bâti vide ou inoccupé qui présente de bons résultats de QAI ?
Elémentaire Lavoisier	**Intérêt** : niveaux élevés, besoin d'explications plus fines, plus facile de voir des évolutions **Limite** : classe peu nombreuse : est-ce représentatif de l'occupation d'une classe ? + L'école va peut-être fermer => quel intérêt de l'avoir tant investiguée ? => on cherche les sources c'est extrapolable à d'autres bâtiments, aide à la décision de garder ouverte ou de fermer l'école.	**Elémentaire Pierre Loti**	**Faisabilité :** contraintes techniques **limites** : pas d'exploration plus fine des sources de pollution	
Maternelle Prieuré	**Intérêt** : possibilité d'installer le camion dans la cour (plus valable par la suite). Sensibilisation des acteurs. **Limite** : niveaux de pollution et de confinement peu importants et bonne aération déjà pratiquée : peu de marge de manœuvre	**Maternelle Lavoisier**	**Faisabilité :** bonne **Intérêt :** moins intéressant si élémentaire Lavoisier sélectionnée, les sources liées au bâti risquent d'être similaires	

ANNEXE 5 : Comparabilité des deux écoles élémentaires sélectionnées pour la phase de mesures en continu

	GRANDES VARENNES	LAVOISIER	comparabilité
Bâti	1965 nouvelle génération, béton poteaux poutre et façades préfabriquées	1974 nouvelle génération, béton poteaux poutre et façades préfabriquées	similaire
Configuration	Fenêtres et couloir central fermé	Fenêtres et couloir central fermé	similaire
Revêtement sol	dalles vinyle ancien	dalles vinyle ancien	Similaire
Revêtement murs	fibre de verre peinte + moquette	fibre de verre peinte	Un peu différent
Revêtement plafond	suspendu dalles autres	plâtre	Différents
Environnement / voirie	Voie de circulation très passante, feu rouge, très gênant	Rue peu passante, peu de dérangement	Différents
Exposition	ouest	ouest	similaires
Occultants	Rideaux intérieurs	Stores extérieurs	différents
Mesnuiseries état	Récente double PVC	Récente double PVC	similaire
Mesnuiseries Type	Oscillo-battante	Oscillo-battante	Similiaire
Mesnuiseries taille	Fenêtres de taille « normale » mais plus hautes	Fenêtres très larges mais plus basses	Un peu différentes
Entrées d'air	2 fenêtres sur 4 Porte détalonnée	Aucune Porte détalonnée	Un peu différent
TRA phase 2	0.068 peu perméable	0.060 peu perméable	similaire
mobilier	Panneaux liège 4 ordinateurs fixes + 1 portable + 1 retroprojecteur	Panneaux liège 4 ordinateurs fixes	Similaire Un peu différent
meubles	anciens	anciens	Similaires
Volume	187 m3	198 m3	Similaires
effectif	25 élèves	16 élèves	Differents
Taux d'occupation	Faible 7.19m3/pers	Très faible 11.65m3/pers	Similaire s// guide OQAI Différents // influence sur niveaux
Classement REP	REP+	REP	Similaires
Aération habituelle	Porte très régulièrement Fenêtre en été	Porte occasionnellement Fenêtre occasionnellement	Un peu différent
Intervention pédagogique IREPS/Petits débrouillards	Après les mesures	pendant les mesures à Lavoisier : S4 et S5 (après la semaine d'aération habituelle)	Différents ?
activités	Peu d'activités polluantes	Peu d'activités polluantes	similaires

ANNEXE 6 : Organisation logistique des mesures

Organisation et déménagements dans les salles instrumentées

		Déménagement	Installation appareils	Remarques / interférences / biais
Semaine 1	Lavoisier	Vendredi 12/02	Mercredi 10/02 après-midi (ATMO) Lundi 15/02 matin (IAS)	Panneaux en liège + support métallique des tablettes informatique
	Grandes Varennes	Lundi 15/02 8h30-10h30	Lundi 15/02 après-midi	Panneaux liège + tablette informatique + support rétroprojecteur
Semaine 2	Lavoisier	Lundi 22/02 9h-13h	Lundi 22/02 matin	jeudi 25/02: rebranchement de l'informatique
	Grandes Varennes	Lundi 22/02 14h-16h45	Lundi 22/02 après-midi	Mardi : ménage + rebranchement de l'informatique Du mardi 23/02 10h au jeudi 25/02 13h: peinture

Avant déménagement et instrumentation des salles de classe, la Ville s'est engagée à remettre en place le mobilier et la décoration dans la même configuration :

- Etiquetage des tables et plans de classe pour la disposition des tables (casiers des élèves non vidés)
- Photos des panneaux muraux en vue de la réinstallation
- Sollicitation du service manutention, électriciens et concierges du service Ecoles
- Sollicitation du service informatique pour désinstallation et réinstallation et branchement des équipements

Emplacement des prélèvements pour les différents appareils de mesures

	Qtrak ATMO	Nemo DIRECTION SANTÉ PUBLIQUE	Prises de prélèvement In Air	Indicateur lumineux de confinement SoundAir
Grandes Varennes S1-2	Sur un escabeau entre la fenêtre et la porte d'entrée	Position centrale sur le support du rétroprojecteur 1.70m	Au fond de la classe au plafond, proche Qtrak	-
Grandes Varennes S3-4-5	Sur l'armoire dans le courant d'air entre la fenêtre et la porte d'entrée	Position centrale proche des élèves sur le support du rétroprojecteur 1.70m	idem	S4 : Proche Qtrak et IAS, accroché au mur du fond de la classe. Courant d'air relatif : protégé par l'armoire.
Lavoisier S1-2	Escabeau dans un coin plutôt confiné proche bureau de l'enseignante	-	Au-dessus du bureau de l'enseignant au plafond, proche du Qtrak	-
Lavoisier S3-4-5	Sur l'armoire dans un coin plutôt confiné proche du bureau de l'enseignante	-	idem	S5 : proche du Qtrak, accroché au mur près du bureau de l'enseignante, endroit plutôt confiné
Prieuré	(IAS) posé sur un meuble, à droite de la porte intérieure (couloir), proche des prises de prélèvement	-	Au plafond, proche de la porte du couloir, près du coin arts plastiques	-

ANNEXE 7 : Grilles d'analyse OQAI pour la définition des scenarii d'aération

Indice d'étanchéité

	LAVOISIER			GRANDES VARENNES		
PROFIL	**Etanche**	**Moyennement étanche**	**peu étanche**	**Etanche**	**Moyennement étanche**	**Peu étanche**
Procédé de construction	X	X		X	X	
menuiseries	X			X		
joints	X			X		
Jeu sous porte	?	?	?	?	?	?
Défauts d'étanchéité	?	?	?	?	?	?
Orifices d'entrée d'air	x				x	
TOTAL	**4/6**	**2/6**	**0/6**	**3/6**	**2/6**	**0/6**

Taux d'occupation

ETABLISSEMENT	**LAVOISIER**	**GRANDES VARENNES**
Nombre d'élèves dans la classe	16	25
Volume de la pièce (m3)	198	187
Ratio Volume/personne	12,4 > 7	7,48
PROFIL taux d'occupation	**Taux faible**	**Taux faible**

ANNEXE 8 : Consignes d'aération dans les deux classes selon les recommandations de l'OQAI

PERIODE	Avant classe	1e période du matin	Récréation	2e période du matin	Pause déjeuner	3e période du matin	Après classe	Porte ouverte le soir
DUREE	30 min (40 min le lundi)	30 min	30 min	30 min	30-45 min	30 min	30 min	Laissée ouverte

Scenario d'aération pour le profil intermédiaire selon les recommandations de l'OQAI

Au regard de l'organisation, de l'emploi du temps et des activités de chacune des deux écoles, les consignes ont été ajustées. Pour chacune des classes, nous présentons les consignes qui ont été transmises aux équipes de chaque établissement.

- Consignes d'aération spécifiques pour l'Ecole Lavoisier, classe de CE1-CE2 du lundi 7 au vendredi 11 mars 2016
- Consignes d'aération spécifiques pour l'Ecole des Grandes varennes du lundi 12 au vendredi 18 mars 2016

LAVOISIER	LUNDI 7 MARS	Temps d'aération	Durée	Qui ?
MATIN	Avant la classe	7h50 à 8h30	40 min	Anthony Péchereau
	1e période	9h30 à 10h	30 min	Laurie Couillaud
	récréation	10h35 à 11h05	30 min	Laurie Couillaud
	2e période	11h40 à 12h10	30 min	Laurie Couillaud
MIDI	Pause déjeuner	12h45 à 13h30	30-45 min	Anthony Péchereau Françoise Chalard ou Laurie Couillaud
APRES-MIDI	3e période	14h30 à 15h	30 min	Laurie Couillaud
	Fin des cours / autre activité	15h45 à 16h15	30 min	Animateur ou Laurie Couillaud
	Entretien des locaux	Pendant le ménage	Toute la durée	Cosette Muckensturm
		Après le ménage	15-30 min	Cosette Muckensturm
	Soir	Laisser la porte ouverte	Toute la nuit	Cosette Muckensturm
LAVOISIER	**MARDI 8 MARS**	**Temps d'aération**	**Durée**	**Qui ?**
MATIN	Avant la classe	8h à 8h30	30 min	Anthony Péchereau
	1e période	9h30 à 10h	30 min	Laurie Couillaud
	récréation	10h35 à 11h05	30 min	Laurie Couillaud
	2e période	11h40 à 12h10	30 min	Laurie Couillaud
MIDI	Pause déjeuner	12h45 à 13h30	30-45 min	Anthony Péchereau ou Françoise Chalard ou Laurie Couillaud
APRES-MIDI	3e période	14h30 à 15h	30 min	Laurie Couillaud
	Fin des cours / autre activité	15h45 à 16h15	30 min	Animateur ou Laurie Couillaud
	Entretien des locaux	Pendant le ménage	Toute la durée	Cosette Muckensturm
		Après le ménage	15-30 min	Cosette Muckensturm
	Soir	Laisser la porte ouverte	Toute la nuit	Cosette Muckensturm
LAVOISIER	**MERCREDI 9 MARS**	**Temps d'aération**	**Durée**	**Qui ?**
MATIN	Avant la classe	8h à 8h30	30 min	Anthony Péchereau
	1e période	9h30 à 10h	30 min	Laurie Couillaud
	récréation	10h10 à 10h40	30 min	Laurie Couillaud
	2e période	11h30 à 12h	30 min	Laurie Couillaud
APRES-MIDI	Entretien des locaux	Pendant le ménage	Toute la durée	Cosette Muckensturm
		Après le ménage	15-30 min	Cosette Muckensturm
	Soir	Laisser la porte ouverte	Toute la nuit	Cosette Muckensturm
LAVOISIER	**JEUDI 10 MARS**	**Temps d'aération**	**Durée**	**Qui ?**
MATIN	Avant la classe	8h à 8h30	30 min	Anthony Péchereau
	1e période	9h30 à 10h	30 min	Laurie Couillaud
	récréation	10h35 à 11h05	30 min	Laurie Couillaud
	2e période	11h40 à 12h10	30 min	Laurie Couillaud
MIDI	Pause déjeuner	12h45 à 13h30	30-45 min	Anthony Péchereau ou Françoise Chalard ou Laurie Couillaud
APRES-MIDI	3e période	14h30 à 15h	30 min	Laurie Couillaud
	Fin des cours / autre activité	15h45 à 16h15	30 min	Animateur ou Laurie Couillaud
	Entretien des locaux	Pendant le ménage	Toute la durée	Cosette Muckensturm
		Après le ménage	15-30 min	Cosette Muckensturm
	Soir	Laisser la porte ouverte	Toute la nuit	Cosette Muckensturm
LAVOISIER	**VENDREDI 11 MARS**	Temps d'aération	Durée	Qui ?
MATIN	Avant la classe	8h à 8h30	30 min	Anthony Péchereau
	1e période	9h30 à 10h	30 min	Laurie Couillaud
	récréation	10h35 à 11h05	30 min	Laurie Couillaud
	2e période	11h40 à 12h10	30 min	Laurie Couillaud
MIDI	Pause déjeuner	12h45 à 13h30	30-45 min	Anthony Péchereau ou Françoise Chalard ou Laurie Couillaud
APRES-MIDI	3e période	14h30 à 15h	30 min	Laurie Couillaud
	Fin des cours / autre activité	15h45 à 16h15	30 min	Animateur ou Laurie Couillaud
	Entretien des locaux	Pendant le ménage	Toute la durée	Cosette Muckensturm
		Après le ménage	15-30 min	Cosette Muckensturm
	Soir	Laisser la porte ouverte	Tout le weekend	Cosette Muckensturm

GRANDES VARENNES	LUNDI 14	Temps d'aération	durée	Qui ?
MATIN	Entretien des locaux	Pendant le ménage	Toute la durée	Agent d'entretien
		Après le ménage	15-30 min	agent d'entretien
	Avant la classe	7h50 à 8h30	40 min	Alain Jard
	1e période	9h30 à 10h	30 min	Professeur/élèves
	récréation	10h10 à 10h40	30 min	Professeur/élèves
	2e période	11h00 à 12h00	30 min	Professeur/élèves
MIDI	Pause déjeuner	12h45 à 13h30	30-45 min	Alain Jard ou Lysiane
APRES-MIDI	3e période	14h30 à 15h	30 min	Professeur/élèves
	Fin des cours / autre activité	15h45 à 16h15	30 min	Professeur
		Et/ou dès que la classe est vide	30 min	Alain Jard
		Laisser la porte ouverte	Toute la nuit	Alain Jard
GRANDES VARENNES	**MARDI 15**	**Temps d'aération**	**durée**	**Qui ?**
MATIN	Entretien des locaux	Pendant le ménage	Toute la durée	Agent d'entretien
		Après le ménage	15-30 min	agent d'entretien
	Avant la classe	8h00 à 8h30	30 min	Alain Jard
	1e période	9h30 à 10h	30 min	Professeur/élèves
	récréation	10h10 à 10h40	30 min	Professeur/élèves
	2e période	11h00 à 12h00	30 min	Professeur/élèves
MIDI	Pause déjeuner	12h45 à 13h30	30-45 min	Alain Jard ou Lysiane
APRES-MIDI	3e période	14h30 à 15h	30 min	Professeur/élèves
	Fin des cours / autre activité	15h45 à 16h15	30 min	Professeur ou animateur ou Alain Jard
		Et/ou dès que la classe est vide	30 min	Alain Jard
		Laisser la porte ouverte	Toute la nuit	Alain Jard
GRANDES VARENNES	**MERCREDI 16**	**Temps d'aération**	**durée**	**Qui ?**
MATIN	Entretien des locaux	Pendant le ménage	Toute la durée	Agent d'entretien
		Après le ménage	15-30 min	agent d'entretien ou Alain Jard
	Avant la classe	8h à 8h30	30 min	Alain Jard
	1e période	9h30 à 10h	30 min	Professeur/élèves
	récréation	10h10 à 10h40	30 min	Professeur/élèves
	2e période	11h30 à 12h	30 min	Professeur/élèves ou animateur soutien
MIDI	Fin des cours / autre activité	Dès que la classe est vide	30 min	Alain Jard
APRES-MIDI	Entretien des locaux	Pendant le ménage	Toute la durée	Agent d'entretien
		Après le ménage	15-30 min	Agent d'entretien ou Alain Jard ou Lysiane
		Laisser la porte ouverte	Toute la nuit	Alain Jard
GRANDES VARENNES	**JEUDI 17**	**Temps d'aération**	**durée**	**Qui ?**
MATIN	Entretien des locaux	Pendant le ménage	Toute la durée	Agent d'entretien
		Après le ménage	15-30 min	Agent d'entretien ou Alain Jard
	Avant la classe	8h00 à 8h30	30 min	Alain Jard
	1e période	9h30 à 10h	30 min	Professeur/élèves
	récréation	10h10 à 10h40	30 min	Professeur/élèves
	2e période	11h00 à 12h00	30 min	Professeur/élèves
MIDI	Pause déjeuner	12h45 à 13h30	30-45 min	Alain Jard ou Lysiane
APRES-MIDI	3e période	14h30 à 15h	30 min	Professeur/élèves
	Fin des cours / autre activité	15h45 à 16h15	30 min	Professeur ou animateur ou Alain Jard
		Et/ou dès que la classe est vide	30 min	Alain Jard
		Laisser la porte ouverte	Toute la nuit	Alain Jard
GRANDES VARENNES	**VENDREDI 18**	**Temps d'aération**	**durée**	**Qui ?**
MATIN	Entretien des locaux	Pendant le ménage	Toute la durée	Agent d'entretien
		Après le ménage	15-30 min	agent d'entretien
	Avant la classe	8h00 à 8h30	30 min	Alain Jard
	1e période	9h30 à 10h	30 min	Professeur/élèves
	récréation	10h10 à 10h40	30 min	Professeur/élèves
	2e période	11h00 à 12h00	30 min	Professeur/élèves
MIDI	Pause déjeuner	12h45 à 13h30	30-45 min	Alain Jard
APRES-MIDI	3e période	14h30 à 15h	30 min	Professeur/élèves
	Fin des cours / autre activité	15h45 à 16h15	30 min	Professeur ou animateur
		Et/ou dès que la classe est vide	30 min	Alain Jard
		Laisser la porte ouverte	Tout le weekend	Alain Jard

ANNEXE 9 : Définition des seuils pour l'indicateur lumineux de confinement

Les seuils pour les indices de confinement ont été définis en s'appuyant sur les concentrations en CO2 mesurées dans les pièces à l'occasion des mesures de la première phase du projet (confinement important à Lavoisier et moins fort à Grandes Varennes).

Proposition de seuil pour l'indice de confinement :
Vert : < 800/900/1000ppm
Orange : 1000ppm<IC<1700ppm
Rouge: >1400/1500/1700ppm

Seuil de passage au vert = 80% seuil de passage au rouge

Valeurs seuil	80%	Seuil supérieur
	800	1000
	960	1200
	1040	1300
	1120	1400

ANNEXE 10 : Exemple de grille d'observation aération de la classe à remplir par l'enseignant

école XXXXXX
classe CE1-CE2
Mme XXXXXX

VENDREDI 18 MARS 2016

PROJET IMPACTAIR
semaine 5/5

AERATION SUIVANT UN INDICATEUR LUMINEUX

		OUVERTURE									ACTIVITES				ENTREES ET SORTIES de la classe + nombre de personnes présentes
		PORTES			FENETRES				MODE D'OUVERTURE DES FENETRES	CAUSES DE NON-OUVERTURE (pluie, froid, bruit, enfant malade, oubli, inutile, manque de temps...)	MATIERES	UTILISATION DE			
PERIODE	HEURE	1	2	3	1	2	3	4	basculé, en grand...			colle	feutres	peinture	
avant classe	8h30														
MATIN 1e PERIODE	8h45														
	9h														
	9h15														
	9h30														
	9h45														
	10h														
	10h15														
	10h30														

VENDREDI 18 MARS		OUVERTURE									ACTIVITES				ENTREES ET SORTIES de la classe + nombre de personnes présentes
		PORTES			FENETRES				MODE D'OUVERTURE DES FENETRES	CAUSES DE NON-OUVERTURE (pluie, froid, bruit, enfant malade, oubli, inutile, manque de temps...)	MATIERES	UTILISATION DE			
PERIODE	HEURE	1	2	3	1	2	3	4	basculé, en grand...			colle	feutres	peinture	
RECRE	10h35														
	10h55														

MATIN 2e PERIODE	11h														
	11h15														
	11h30														
	11h45														
PAUSE MERIDIENNE	12h														
	12h15														
	12h30														
	12h45														
	13h														
	13h15														
	13h30														

VENDREDI 18 MARS		OUVERTURE									ACTIVITES				ENTREES ET SORTIES de la classe + nombre de personnes présentes
		PORTES			FENETRES				MODE D'OUVERTURE DES FENETRES	CAUSES DE NON-OUVERTURE (pluie, froid, bruit, enfant malade, oubli, inutile, manque de temps...)	MATIERES	UTILISATION DE			
PERIODE	HEURE	1	2	3	1	2	3	4	basculé, en grand...			colle	feutres	peinture	

PERIODE DE L'APRES-MIDI	13h45														
	14h														
	14h15														
	14h30														
	14h45														
	15h														
	15h15														
	15h30														
APRES CLASSE	15h45														
	16h														

COMMENTAIRES SUR LA JOURNEE (degré d'attention des élèves, autres difficultés liées aux mesures...)

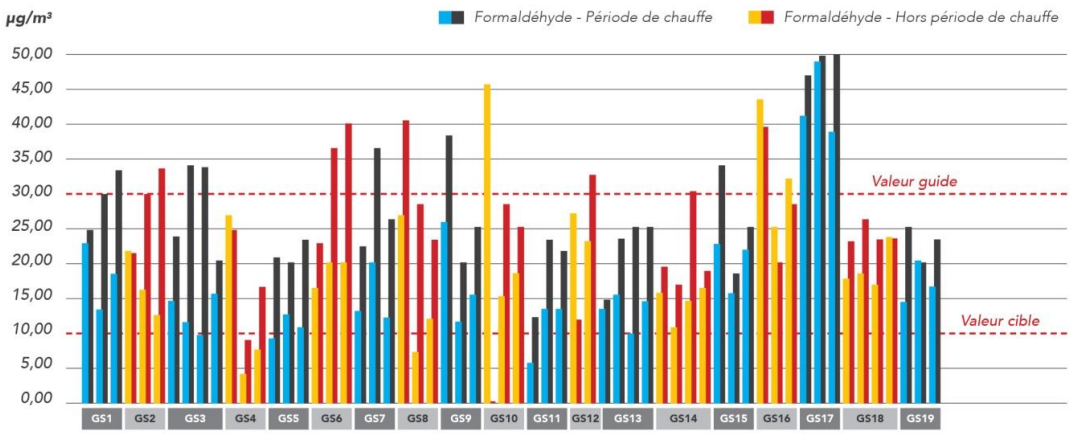
Annexe 11 : Document de retour d'expérience de l'étude IMPACTAIR

PHASE 1 MESURES DE SURVEILLANCE DE LA QAI

Entre septembre 2014 et septembre 2015, des mesures de surveillance de la qualité de l'air intérieur ont été réalisées dans 56 établissements de la Ville, dans 97 pièces différentes.
Ces mesures ont été réalisées par échantillonneurs passifs, dans les conditions prévues par le décret du 2 décembre 2011 relatif à la surveillance de la QAI dans certains ERP.

À NOTER :
Le parc immobilier scolaire rochelais est constitué majoritairement de bâtiments anciens, non équipés de dispositifs de ventilation mécanique. Les crèches les plus récentes sont généralement équipées de VMC.

Concentrations en formaldéhyde sur les deux périodes de mesures
Lecture des résultats par pièces d'un même groupe scolaire (GS)



RÉSULTATS DES MESURES DE SURVEILLANCE :

Benzène : pas de situation préoccupante à La Rochelle mais quelques cas à surveiller (à proximité d'axes de circulation importante).

Indice de confinement : des situations contrastées et des problèmes de confinement plus fréquents dans les crèches que dans les écoles.

Formaldéhyde : Aucune situation extrême (pas de dépassement ou de résultats proche de 100 µg/m³) Mais une situation préoccupante en termes d'atteintes des objectifs à long terme : une majorité de cas entre la valeur cible (10 µg/m³) et la valeur guide (30 µg/m³). Des résultats globalement plus positifs dans les crèches. Des disparités importantes entre établissements, mais aussi entre les pièces d'un même établissement.

Les résultats de mesures de QAI ont été communiqués à l'ensemble des établissements concernés. Une fiche de résultats, ainsi qu'un document de sensibilisation sur la QAI ont été diffusés dans chaque école et crèche. La démarche projet et les résultats ont également été communiqués à l'occasion de réunions collectives entre établissements.

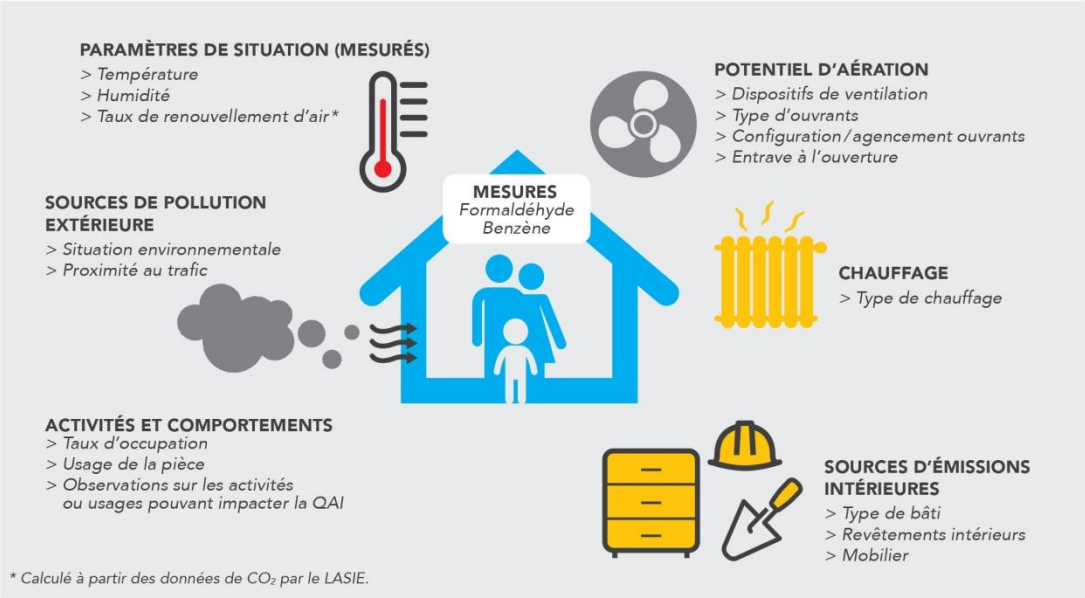
PHASE 2 COLLECTE DE DONNÉES ET ANALYSES STATISTIQUES DES MESURES PASSIVES

L'objectif de cette phase était de rechercher les éventuelles corrélations entre les mesures de polluants dans les classes et les déterminants de la qualité de l'air collectés dans ces mêmes pièces.

Nous avons réalisé une analyse statistique simple à deux ou trois variables ainsi qu'une analyse en composante principale avec le soutien méthodologique de ATMO Poitou-Charentes (technique utilisée lorsque plusieurs variables doivent être étudiées de manière concomitante).

POUR CHAQUE PIÈCE INSTRUMENTÉE, DE NOMBREUSES DONNÉES ONT ÉTÉ COLLECTÉES ET COMPILÉES

Déterminants de la QAI collectés pour tous les établissements



ENSEIGNEMENTS APPORTÉS PAR LE TRAITEMENT STATISTIQUE

L'objectif de classification des établissements selon leur potentiel émissif tel qu'imaginé au démarrage du projet n'a pas été retenu : aucune corrélation entre caractéristiques des pièces instrumentées (profil de pièces) et niveaux de formaldéhyde mesurés n'a pu être établie malgré la multiplicité des variables étudiées.

Les concentrations élevées de formaldéhyde sont liées à un taux d'humidité important et un taux de renouvellement d'air faible.

Des niveaux très satisfaisants en formaldéhyde ont été observés dans deux établissements rénovés récemment avec une attention particulière portée sur le choix de matériaux et la ventilation.

Les résultats les moins favorables apparaissent dans les établissements situés en zone d'éducation prioritaire. Aucune caractéristique particulière du bâti ou source extérieure n'a été identifiée (mesures complémentaires de vérification).

PHASE 3 MESURES EN DYNAMIQUE

Un partenariat avec In'Air Solutions a permis la réalisation d'analyses de formaldéhyde en continu dans deux salles de classe pendant cinq semaines. Cette technique innovante de mesures des polluants permet de connaître précisément l'évolution des concentrations au cours de la journée, quand les tubes passifs (méthode réglementaire utilisée en phase 1) ne donnent que des moyennes sur la semaine.

OBJECTIFS DE CES MESURES :

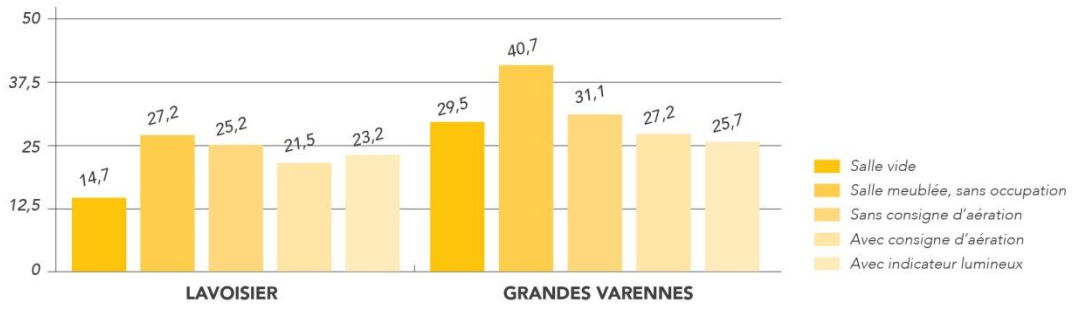
- Observer les contributions du bâti, du mobilier et des activités sur les concentrations en polluants.
- Tester différents scénarios d'aération. Étudier l'influence de l'aération sur les concentrations de polluants et le CO_2 (utilisation d'un indicateur lumineux de confinement, et consignes d'aération).

Lors des trois semaines de mesures en période d'occupation dans les écoles élémentaires, des grilles d'observation ont été remplies par les élèves ou les enseignants. Elles ont permis de connaître les durées et les types d'ouvertures pratiqués. Une analyse qualitative de l'expérimentation a également été conduite. Elle s'appuie sur des entretiens semi-directifs conduits avec des agents des deux écoles élémentaires (directeurs, enseignants, agents techniques, concierges et ATSEM).

Calendrier des mesures en continu

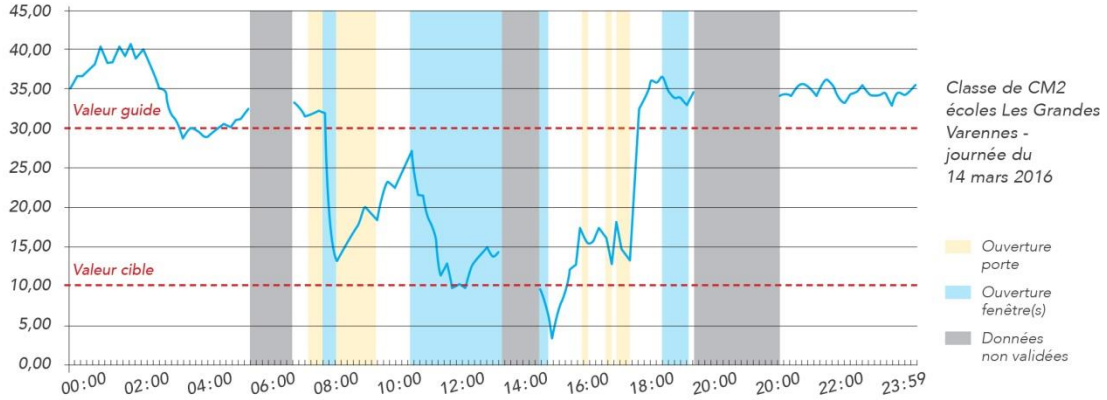
	PÉRIODE	CM2 GRANDES VARENNES	CE1-CE2 LAVOISIER
S1	15-21 février	Classe vide	
S2	22-28 février	Classe avec mobilier et décoration	
S3	29 février - 6 mars	Pratiques d'aération habituelles	
S4	7-13 mars	Indicateur lumineux de confinement	Consignes spécifiques d'aération
S5	14-20 mars	Consignes spécifiques d'aération	Indicateur lumineux de confinement

Concentrations en formaldéhyde



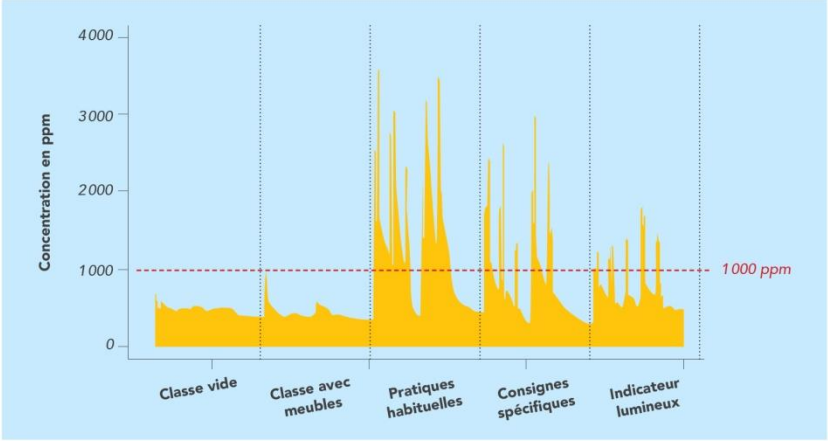
UN ENJEU DE SANTÉ QUI N'EN A PAS L'AIR

Influence de l'aération sur la concentration de Formaldéhyde dans l'air intérieur



Influence des consignes et de l'indicateur sur le niveau de CO_2 dans la classe

Exemple de l'école Lavoisier



CONCLUSIONS DES MESURES EN DYNAMIQUE ET ANALYSE QUALITATIVE :

- L'aération habituelle est insuffisante pour un renouvellement d'air sanitaire satisfaisant.
- Le bâti et le mobilier sont les principaux contributeurs de formaldéhyde dans l'air (idem conclusions d'INCITAIR).
- L'hygrométrie et la perméabilité à l'air du bâti sont des facteurs importants dans la dynamique des émissions de formaldéhyde.
- L'ouverture des fenêtres participe à la nette diminution du formaldéhyde et du CO_2 avec un effet rapide mais de courte durée. L'aération régulière en présence des enfants est donc à privilégier.
- Le protocole d'aération proposé aux classes (guide OQAI* : une demi-heure d'aération avant la classe, en présence des enfants, à la récréation et après la classe) a été perçu comme trop contraignant et parfois inadapté aux situations réelles de vie de la classe.
- L'utilisation d'un indicateur lumineux favorise l'aération des salles de classe.
- L'information et la sensibilisation aux enjeux de la QAI sont insuffisantes. Un travail de sensibilisation doit être engagé. Il doit s'accompagner d'un engagement de la Ville pour améliorer l'environnement d'accueil au sein de son patrimoine bâti.

** Ribéron et al. 2016. Aération des écoles par ouverture des fenêtres, État des connaissances et propositions de stratégies d'aération pour une meilleure qualité de l'air intérieur des salles de classe. Rapport CSTB-OQAI/2015-013, Mars 2016, 46 pages.*

PHASE 4

CONCLUSIONS ET PISTES D'ACTIONS POUR AMÉLIORER LA QUALITÉ DE L'AIR INTÉRIEUR

Les projets IMPACTAIR et INCITAIR, conduits en parallèle, ont apporté de nombreuses connaissances que la Ville peut mobiliser pour améliorer la Qualité de l'Air Intérieur dans ses établissements recevant de jeunes enfants. Nous retenons en particulier l'impossibilité de dissocier les paramètres qui influencent la QAI.

Il nous semble donc essentiel de promouvoir une action transversale et complémentaire à la fois sur les sources de polluants, les paramètres physiques qui influencent leur dynamique, et les comportements des occupants (dont l'aération).

Des actions d'amélioration ont déjà été amorcées au cours de ce projet, par exemple : introduction des critères QAI dans les marchés publics, les travaux de rénovation et de construction, les préconisations sur l'installation et l'entretien des systèmes de ventilation, l'action sur le désencombrement des ouvrants, la communication et la sensibilisation des acteurs dans les établissements, etc.

Alors que le projet IMPACTAIR arrive à son terme, la Ville entend poursuivre et structurer son engagement dans un plan d'actions sur la QAI, croisant également avec d'autres enjeux des bâtiments sains et durables.
Ce plan d'action sera donc à construire, à mener et à faire évoluer en collaboration avec de nombreux acteurs locaux et nationaux.

QUELQUES FACTEURS DE RÉUSSITE ET PERSPECTIVES DU PROJET

- **Assurer un portage politique fort du sujet :** associer les élus en amont du projet, en particulier pour porter une démarche en transversalité.
- **Placer l'enjeu QAI plus largement dans le contexte du développement durable** et l'intégrer systématiquement aux différentes thématiques (énergie, confort, impact environnemental, etc.).
- **Privilégier un équilibre entre les données scientifiques et le vécu du public concerné :** prendre en compte les freins à l'aération, sensibiliser aux enjeux de QAI, reconnaître l'aspect anxiogène des sujets santé/environnement…
- **S'appuyer sur des mesures de QAI et/ou quelques principes simples :** les mesures donnent un panorama de la QAI mais ne sont pas indispensables pour démarrer des actions (par exemple recommandations sur l'aération ou sur les pratiques d'achat).
- **Favoriser l'adhésion aux enjeux :** encourager une meilleure aération des locaux à court terme tout en montrant un engagement fort à moyen et long terme de la collectivité dans ses domaines de responsabilité (constructions, rénovations, entretien, commande publique, etc.).

LE RAPPORT COMPLET SERA DISPONIBLE DÉBUT 2017 SUR LE SITE DE L'ADEME.

Contact : *Direction Santé Publique Et Accessibilité*
Ville de La Rochelle - 05 46 51 51 42
ville-larochelle.fr / sante.publique@ville-larochelle.fr

Nous remercions l'ensemble des partenaires :

Tableaux

Tableau 1 : Recensement des données de mesures de surveillance utilisées dans IMPACTAIR 13
Tableau 2 : Semaines de mesures de surveillance de la QAI 16
Tableau 3 : Valeurs de gestion de la qualité de l'air intérieur 23
Tableau 4 : Concentrations mesurées en benzène : comparaison des résultats de la campagne pilote de surveillance de la QAI dans les écoles et crèches en France (2009-2011) et les campagnes de La Rochelle (2013-2015) 24
Tableau 5 : Concentrations mesurées en formaldéhyde : comparaison des résultats de la campagne pilote de surveillance de la QAI dans les écoles et crèches en France (2009-2011) et les campagnes de La Rochelle (2013-2015) 27
Tableau 6 : Tableau comparatif des résultats de formaldéhyde entre les deux périodes de mesures 27
Tableau 7 : Médianes des concentrations par type d'établissement 28
Tableau 8 : Liste des COV mesurés pendant la phase de mesures en continu 53
Tableau 9 : Récapitulatif des moyens utilisés lors des mesures en continu 56
Tableau 10 : Calendrier des mesures en continu 59
Tableau 11 : Scénarios d'aération testés dans les deux salles de classes 62
Tableau 12 : Taux de présence dans les deux classes selon les 3 scénarios 63
Tableau 13 : Taux d'ouverture des fenêtres (au moins une fenêtre) en rapport au temps de présence des enfants sur l'ensemble de la semaine 64
Tableau 14 : Taux moyen d'ouverture d'au moins une porte au cours des trois semaines de mesures en présence des enfants 64
Tableau 15 : Températures et humidité dans les deux écoles durant les 3 semaines de mesures 66
Tableau 16 : Statistiques générales des concentrations en formaldéhyde dans les deux classes (semaines 1 et 2) 70
Tableau 17 : Statistiques générales des mesures de CO2 dans les deux classes (semaines 1 et 2) 76
Tableau 18 : Concentrations moyennes de formaldéhyde sur les 3 semaines d'occupation en comparaison du niveau de fond du bâtiment 79
Tableau 19 : variable d'aération et occurrence d'ouverture 83
Tableau 20 : Humidité relative moyenne dans les deux salles de classe 87
Tableau 21 : Température moyenne dans les deux salles de classes 88
Tableau 22 : Humidité absolue moyenne pour les deux salles de classe 89

Figures

Figure 1 : Déroulé du projet IMPACTAIR 10
Figure 2 : Schéma récapitulatif des déterminants étudiés dans IMPACTAIR 14
Figure 3 : Données de ventilation / aération par type d'établissement à La Rochelle…… ……17
Figure 4 : Configuration de la pièce vis-à-vis de l'aération (typologie) 18
Figure 5 : type revêtements de sols 19
Figure 6 : type de revêtements plafonds 19
Figure 7 : Caractérisation densité de mobilier 21
Figure 8: Catégories de taux d'occupation des salles de classe (Guide d'aération dans les écoles de l'OQAI, 2013) 22
Figure 9 : Teneurs en benzène mesurées dans les crèches, maternelles et écoles élémentaires de La Rochelle (mesures ATMO et APAVE) 26

Figure 10 : Comparaison des résultats en Formaldéhyde dans les crèches, maternelles et élémentaires : reprères sur les deux périodes de mesures par rapport aux VGAI 29
Figure 11 : Mesures de formaldéhyde Chauffe/hors Chauffe dans les pièces instrumentées à La Rochelle. Lecture par type d'établissements 30
Figure 12 : Résultats formaldéhyde par groupes scolaires 32
Figure 13 : Comparaison Indice de Confinement à La Rochelle et Campagne Pilote 2009-2011 33
Figure 14 : Résultats mesures de formaldéhyde selon l'appartenance à une zone urbaine sensible ou établissement d'éducation prioritaire 34
Figure 15 : Résultats mesures de formaldéhyde selon l'appartenance à une zone urbaine sensible ou établissement d'éducation prioritaire 35
Figure 16 : Vérification des concentrations en formaldéhyde intérieur/extérieur dans certains établissements de Mireuil et de Villeneuve-les-Salines 36
Figure 17 : Représentation Graphique Analyse en Composantes Principales 37
Figure 18 : Association entre CO_2 et formaldéhyde dans les salles de classes (période de chauffage et hors période de chauffage), Campagne Pilote nationale 39
Figure 19 : Association formaldéhyde CO_2 dans les salles de classes à La Rochelle (période de chauffage, pour les maternelles et les crèches uniquement) 39
Figure 20 : Concentrations en formaldéhyde et indice de confinement 40
Figure 21 : semaines de mesures et niveaux d'hygrométrie en période de chauffage 41
Figure 22 : les concentrations en formaldéhyde en fonction des semaines de mesures en période de chauffage . 42
Figure 23 : Concentrations en formaldéhyde et niveaux d'hygrométrie en période de chauffage 42
Figure 24 : concentrations en formaldéhyde en fonction des semaines de mesures hors période de chauffage 43
Figure 25 : Concentrations en formaldéhyde et confinement en période de chauffage en fonction de la typologie d'ouverture de la pièce 44
Figure 26 : Concentrations en formaldéhyde hors période de chauffage en fonction de la typologie d'ouverture de la pièce 45
Figure 27 : Comparaison des mesures par échantillonneur passif et mesures en continu 60
Figure 28 : Test de corrélation entre l'analyseur et les tubes passifs réalisé par In'Air Solutions 61
Figure 29 : Concentration moyenne en formaldéhyde pour les deux salles de classes pendant les deux premières semaines 71
Figure 30 : Evolution des concentrations en formaldéhyde dans les salles de classe 72
Figure 31 : profils journaliers (en haut) et hebdomadaires (en bas) des mesures de formaldéhyde Ecole Lavoisier 74
Figure 32 : Profils journaliers (en haut) et hebdomadaires (en bas) des mesures de formaldéhyde (Grandes Varennes) 75
Figure 33 : Mesures de CO_2 semaines 1 et 2 à Lavoisier 77
Figure 34 : Mesures de CO_2 semaines 1 et 2 aux Grandes Varennes 78
Figure 35 : Concentration moyenne en formaldéhyde à Lavoisier 80
Figure 36 : Concentration moyenne en formaldéhyde en présence des enfants Ecole des Grandes Varennes 81
Figure 37 : Taux de réduction des concentrations de formaldéhyde selon les trois scénarios d'aération 82
Figure 38 : Concentration moyenne en formaldéhyde selon le nombre d'ouvrants ouverts 84
Figure 39 : Evolutions temporelles des concentrations en formaldéhyde à Lavoisier 85
Figure 40 : Evolutions temporelles des concentrations en formaldéhyde aux Grandes Varennes 86
Figure 41 : Concentrations de formaldéhyde en fonction de l'humidité relative 87
Figure 42 : Concentrations de formaldéhyde en fonction de la température 88
Figure 43 : Concentrations en formaldéhyde en fonction des classes d'humidité 90

Figure 44 : Indice Icone calculé selon les différents scénarios d'aération 92
Figure 45 : Concentrations de CO2 selon les trois scénarios d'aération (moyenne semaine et en présence des enfants) à Lavoisier 94
Figure 46 : Concentrations de CO2 selon les trois scénarios d'aération (moyenne semaine et en présence des enfants) aux Grandes Varennes 95
Figure 47 : Influence des scénarios d'aération sur les concentrations en CO2 (calculé sur la moyenne en présence de CO2) 96
Figure 48 : Evolution des concentrations en CO2 selon les différents scénarios d'aération à Lavoisier 97
Figure 49 : Evolution des concentrations en CO2 selon les différents scénarios d'aération aux Grandes Varennes 98
Figure 50 : Pourcentage des valeurs entre 1000 et 1700 ppm et supérieures à 1700 ppm selon les trois scénarios d'aération à Lavoisier 99
Figure 51 : Pourcentage des valeurs entre 1000 et 1700 ppm et supérieures à 1700 ppm selon les trois scénarios d'aération aux Grandes Varennes 100
Figure 52 : Evolution des concentrations de benzène pendant les cinq semaines de mesures 101
Figure 53 : Profil journalier en I-butane pour les semaines 4 et 5 102
Figure 54 : Profils journaliers du propane, i-butane, n-butane 103
Figure 55 : Evolution des concentrations de n-octane 104
Figure 56 : Profil journalier du n-octane sur les 5 semaines de mesures 105
Figure 57 : profils de concentration de l'éthhylbenzène, oxylene et mp-xylèness 107
Figure 58 : Profil du m+p+xylène les semaines 3 et 5 108
Figure 59 : Evolution des concentrations d'Isoprene 109
Figure 60 : Evolution de concentration d'isoprène semaine avec mobilier et consignes d'aération 110
Figure 61 : Evolution de concentration d'isoprène semaine 4 110
Figure 62 : Evolution des concentrations en hexane 111
Figure 63 : Evolution des concentrations de formaldéhyde dans la classe du Prieuré 112
Figure 64 : Représentation de la teneur en CO_2 dans une salle de classe sur 1 semaine de mesure et expression de droites linéaires sur certaines périodes de décroissance de la teneur. 125

L'ADEME EN BREF

L'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME) participe à la mise en œuvre des politiques publiques dans les domaines de l'environnement, de l'énergie et du développement durable. Elle met ses capacités d'expertise et de conseil à disposition des entreprises, des collectivités locales, des pouvoirs publics et du grand public, afin de leur permettre de progresser dans leur démarche environnementale. L'Agence aide en outre au financement de projets, de la recherche à la mise en œuvre et ce, dans les domaines suivants : la gestion des déchets, la préservation des sols, l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables, la qualité de l'air et la lutte contre le bruit.

L'ADEME est un établissement public sous la tutelle conjointe du ministère de l'Ecologie, du Développement durable et de l'Energie, et du ministère de l'Éducation nationale, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche.

ADEME
Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT, DE L'ÉNERGIE ET DE LA MER

MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE, DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE

ADEME
20, avenue du Grésillé
BP 90406 | 49004 Angers Cedex 01

www.ademe.fr