

Evaluation de la qualité de l'air intérieur Ecole élémentaire Bourg Le Comte - Bernay

Novembre 2014



Avertissement

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

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

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

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

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

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

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

Rapport n° 1180-09-3

Le 8 juin 2015,

La rédactrice ,
Fiona PELLETIER

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

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

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

www.airnormand.fr

Résumé

Dans le cadre du Plan Régional Santé Environnement II (PRSE II), l'Agence Régionale de Santé (ARS) et Air Normand ont signé une convention d'étude. Celle-ci porte notamment sur la prévention et la sensibilisation aux risques sanitaires liés à la qualité de l'air intérieur (QAI) dans les établissements recevant du public (ERP).

La ville de Bernay a souhaité bénéficier de l'intervention d'Air Normand et de l'ARS du fait de la présence de moisissures dans certaines salles de classes de l'école élémentaire Bourg Le Comte. Air Normand, en collaboration avec les services de la ville de Bernay a réalisé une campagne de mesures de la QAI dans plusieurs salles de cette école élémentaire. Au vu de la problématique, les mesures ont porté d'une part sur des indicateurs de confort (en particulier le confinement de l'air) et d'autre part sur l'évaluation de la contamination fongique. De plus, dans le cadre du dispositif réglementaire de surveillance de la QAI dans les ERP, des mesures de polluants gazeux ont également été réalisées.

Les principaux résultats de cette campagne de mesure sont les suivants :

- Les débits d'air mesurés dans les salles investiguées sont inférieurs aux débits minimaux réglementaires du Règlement Sanitaire Départemental Type (RSDT) au regard du nombre d'enfants accueillis dans ces pièces.
- Les salles n° 9 et 10 présentent un confinement élevé à très élevé (indice ICONNE de 3 à 4). Les salles n°2 et 6 présentent, elles, un confinement moyen (indice ICONNE = 2). Dans tous les cas, les indices de confinement ne dépassent pas la valeur-limite de 5 (décret n°2012-14) au-delà de laquelle des actions de recherche des causes sont à entreprendre rapidement. Néanmoins, dans le cas d'un indice 4, il est nécessaire de vérifier que l'occupation des pièces est conforme au taux d'occupation prévu. Lorsque les salles sont équipées d'un dispositif spécifique de ventilation, il est souhaitable de faire intervenir un spécialiste pour procéder à une inspection de l'installation. Il est également souhaitable d'améliorer les conditions d'aération de ces salles en procédant à des ouvertures plus fréquente des fenêtres pendant les périodes d'occupation. Les concentrations en CO₂ sont par ailleurs supérieures à la valeur de référence du RSDT pendant 47 à 66% du temps d'occupation.
- Concernant les polluants gazeux pris en compte par la surveillance réglementaire, à savoir le benzène et le formaldéhyde, on peut noter qu'aucune valeur-limite n'est dépassée. Les résultats pour le benzène sont inférieurs aux Valeurs-Guides en Air Intérieur (VGAI). Les résultats pour le formaldéhyde sont inférieurs à la VGAI de 2015 mais légèrement supérieurs à la VGAI à atteindre en 2023.
- Les moisissures isolées sur les murs des deux salles de classe de l'école Bourg Le Comte sont des moisissures typiques des environnements intérieurs présentant des problèmes d'humidité. Parmi les moisissures présentes, la plupart ont une potentialité allergisante et certaines peuvent produire, dans certaines conditions, des mycotoxines irritantes pour les muqueuses.

SOMMAIRE

1. Sigles, symboles et abréviations	4
2. Introduction	5
3. Eléments nécessaires à la compréhension du document	5
3.1. Définitions	5
3.2. Contexte	6
3.3. Approche choisie	7
3.4. Matériel et modèles	9
3.5. Méthode	10
3.6. Origine des données	11
3.7. Limites	12
4. Déroulement	12
5. Résultats	12
5.1. Résultats bruts	12
5.2. Résultats transformés	12
5.2.1. Paramètres de confort et évaluation du système de ventilation	13
5.2.2. Polluants gazeux	19
5.2.3. Contamination fongique	24
6. Interprétation des résultats et discussion	26
7. Conclusion et recommandations	30
8. Pages complémentaires	32
8.1. Annexes	32
8.2. Bibliographie	38

1. Sigles, symboles et abréviations

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

ARS : Agence Régionale de Santé

CO₂ : Dioxyde de carbone

CSTB : Centre Scientifique et Technique du Bâtiment

ERP : Etablissement Recevant du Public

ICONE : Indice de Confinement

LHVP : Laboratoire d'Hygiène de la Ville de Paris

µg/m³ : microgramme par mètre cube

m³/h : mètre cube par heure

ppm : partie par million

PRSE : Plan Régional Santé Environnement

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

QAI : Qualité de l'Air Intérieur

RSDT : Règlement Sanitaire Départemental Type

VGAI : Valeur-Guide en Air Intérieur

VMC : Ventilation Mécanique Contrôlée

2. Introduction

Les services de la Ville de Bernay ont constaté la présence de moisissures dans certaines salles de classe de l'école élémentaire Bourg Le Comte. Suite à ce signalement, Air Normand a réalisé une campagne de mesure dans plusieurs salles de cette école. Les objectifs de ces mesures sont d'évaluer le niveau de confinement des différentes salles de l'école et de déterminer le niveau de contamination fongique. Pour appréhender de manière globale la qualité de l'air intérieur (QAI) dans cet établissement scolaire, des mesures de polluants gazeux ont également été réalisées. Cette campagne s'inscrit dans le cadre d'un partenariat avec l'ARS dont le but est de prévenir les risques sanitaires liés à la QAI et développer la sensibilisation et l'information de différents publics sur ce thème.

Le présent rapport expose et analyse les résultats de cette campagne de mesure. Il est destiné à la Ville de Bernay ainsi qu'aux personnes fréquentant l'école Bourg Le Comte. Il est ensuite rendu disponible sur le site www.airnormand.fr pour tout public intéressé.

3. Eléments nécessaires à la compréhension du document

3.1. Définitions

Valeur-limite définie dans le décret n° 2012-14 [1] : valeur au-delà de laquelle des investigations complémentaires doivent être menées et pour laquelle le préfet de département du lieu d'implantation de l'établissement doit être informé.

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

Humidité relative :

L'humidité relative correspond au rapport de la pression partielle de la vapeur d'eau contenue dans l'air sur la pression de vapeur saturante (ou tension de vapeur) à la même température. Elle est donc une mesure du rapport entre le contenu en vapeur d'eau de l'air et sa capacité maximale à en contenir dans ces conditions. L'humidité relative a un faible impact sur la sensation thermique et sur la perception de la qualité de l'air dans les locaux à occupation sédentaire. Toutefois les humidités intérieures durablement élevées peuvent être la cause de proliférations microbiennes et fongiques (humidité > 70%), et une humidité très basse (< 15-20%) peut entraîner un dessèchement et/ou une irritation des yeux et des voies respiratoires. [3]

Indice de confinement ICONNE :

L'indice de confinement (ICONNE), établi par le Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB), exprime le confinement de l'air. Il est calculé à partir des mesures en dioxyde de carbone (CO₂) lorsque des personnes sont présentes dans la pièce. Cet indice est utilisé dans le cadre de la réglementation relative à la surveillance de la qualité de l'air intérieur dans certains établissements recevant du public (décret n°2011-1728 [4]).

Formule de calcul de l'indice de confinement :

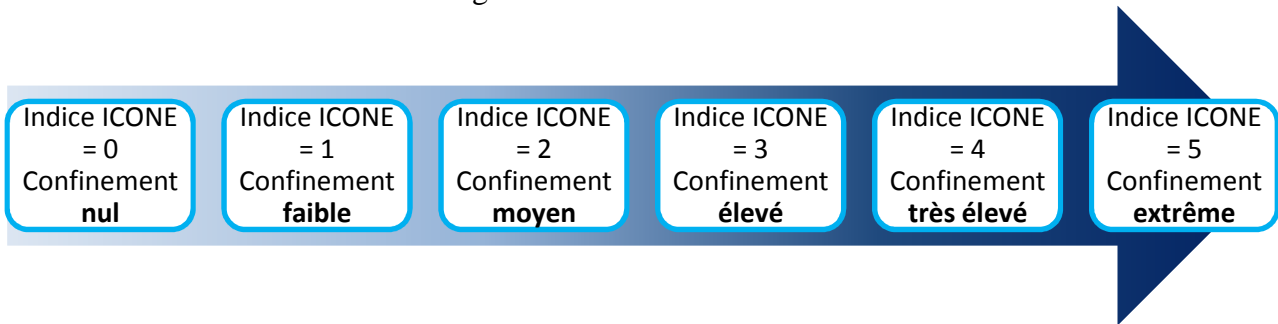
$$I = [2.5/\log_{10}(2)].\log_{10}(1 + f_1 + 3f_2)$$

Avec :

- f₁ : proportion de valeurs comprises entre 1 000 et 1 700 ppm
- f₂ : proportion de valeurs supérieures à 1 700 ppm

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

L'état du confinement est évalué grâce à la valeur de l'indice ICONE selon l'échelle ci-dessous.



Levure : champignon unicellulaire apte à provoquer la fermentation des matières organiques animales ou végétales.

Mycélium : partie végétative des champignons ou de certaines bactéries filamenteuses.

Mycotoxines : toxines produites par diverses espèces de champignons microscopiques telles que les moisissures (*Aspergillus* sp., *Fusarium* sp., *Stachybotrys* sp., *Penicillium* sp., etc.)

Moisissures fréquemment rencontrées en environnements intérieurs humides et leurs effets pathogènes (données du Laboratoire d'Hygiène de la Ville de Paris - LHVP) :

Le tableau ci-dessous est extrait d'un document du Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France sur les "contamination fongiques en milieux intérieurs" [5]. Il présente les potentiels effets sur la santé des moisissures isolées dans les environnements intérieurs.

NOM	Effet infectieux	Effet allergisant	Alvéolite	Effet toxique
<i>Acremonium</i>	-	x	-	-
<i>Alternaria alternata</i>	-	x	-	-
<i>Aspergillus flavus</i>	x	x	-	x
<i>Aspergillus fumigatus</i>	x	x	X	x
<i>Aspergillus niger</i>	x	-	-	-
<i>Aspergillus versicolor</i>	-	x	X	x
<i>Aureobasidium*</i>	-	x	-	-
<i>Chaetomium</i>	-	x	-	-
<i>Cladosporium sphaerospermum*</i>	-	x	-	-
<i>Epicoccum</i>	-	x	-	-
<i>Fusarium</i>	x	x	X	-
<i>Mucorales</i>	x	x	X	x
<i>Penicillium</i> sp	-	x	X	-
<i>Stachybotrys chartarum</i>	-	x	-	x
<i>Trichoderma</i>	-	x	-	x
<i>Trichothecium</i>	-	x	-	-

3.2. Contexte

La problématique "Bâtiment – Santé" a émergé dans les années 70, alors que les politiques d'économie d'énergie recommandaient une isolation plus importante des bâtiments. Depuis, la qualité de l'air intérieur a fait l'objet d'une attention particulière de la communauté scientifique. Les effets sur la santé qui lui sont associés sont en relation avec le temps passé dans les environnements intérieurs : logements, transports, lieux de travail ou de vie scolaire, espaces clos de loisirs, etc. [6]

Les sources d'émissions de substances polluantes sont nombreuses dans les bâtiments : matériaux de construction et d'ameublement, systèmes de chauffage, produits d'entretien, etc. Or, une mauvaise qualité de l'air intérieur peut favoriser l'émergence de symptômes tels que : maux de tête, fatigue, irritation de la peau et des muqueuses, allergies et asthme. [7]

Dans le cadre de son Programme de Surveillance de la Qualité de l'Air (PSQA 2010-2015), Air Normand développe depuis plusieurs années des actions d'études, de sensibilisation et d'information sur le thème de la qualité de l'air intérieur.

De son côté l'ARS, dans le cadre du second Plan Régional Santé Environnement II (PRSE II), s'est fixée comme objectifs de renforcer la lutte contre l'habitat dégradé, de prévenir les risques sanitaires liés à la qualité de l'air intérieur et de développer la sensibilisation et l'information des professionnels du bâtiment sur ce thème.

C'est dans ce contexte qu'Air Normand et l'ARS ont signé une convention de travail portant sur deux grandes actions :

- développer la surveillance de la qualité de l'air intérieur dans les lieux clos ouverts au public ;
- développer les campagnes de sensibilisation des gestionnaires d'établissements et du public à la qualité de l'air intérieur.

La campagne de mesure décrite dans le présent rapport s'inscrit dans le cadre de cette convention.

D'autres études de la QAI ont déjà été réalisées dans des crèches et des écoles en Normandie et au niveau national¹ [7] [8]. Les résultats de ces études ont montré que :

- les performances du système de ventilation et les habitudes d'aération ont une influence non négligeable sur la QAI,
- 1% des crèches, 10% des écoles maternelles et 25% des écoles élémentaires présentent un confinement très élevé ou extrême,
- en période hivernale le confinement tend à être plus important qu'en période estivale,
- la présence d'une ventilation mécanique contrôlée (VMC) a un impact sur l'indice de confinement ICONNE (diminution d'un point d'indice avec la VMC) et sur la concentration en CO₂ (diminution de la concentration de 18% dans les crèches et écoles maternelles et de 8% dans les écoles élémentaires). [9]
- la qualité de l'air extérieur peut avoir une influence sur la qualité de l'air intérieur (selon l'étanchéité à l'air du bâtiment et la position des prises d'air neuf du système de ventilation),
- les concentrations de certains polluants sont plus élevées à l'intérieur des bâtiments qu'à l'extérieur (ceci peut-être lié soit à une source de pollution supplémentaire à l'intérieur du bâtiment, soit à un phénomène d'accumulation de ces polluants dans le bâtiment),
- les matériaux de construction, de finition et d'ameublement neufs (ainsi que les livres et magazines neufs) ont un impact sur la QAI et cet impact diminue, plus ou moins rapidement, dans le temps.

3.3. Approche choisie

Suite au signalement des services de la Ville de Bernay et après visite sur site, il a été choisi des réaliser des mesures de :

- Température,
- Humidité relative,
- Concentration en CO₂ et calcul de l'indice de confinement,
- Débit d'extraction d'air,

¹ Campagne nationale pilote dans 160 écoles et crèches (2009-2011).

- Dioxyde d'azote (NO₂),
- Aldéhydes (formaldéhyde, acétaldéhyde, propanal, butanal, benzaldéhyde, isopentanal, pentanal, hexanal),
- Composés Organiques Volatils (COV) (Benzène, toluène, éthylbenzène, o/m/p-xylènes, styrène, 1,2,4-triméthylbenzène, naphthalène, 1,4-dichlorobenzène, trichloroéthylène, tétrachloroéthylène, n-décane, n-undécane, α-pinène, limonène, 1-méthoxy-2-propanol, 1-méthoxy-2-propyl acétate, 2-butoxyéthanol, 2-butoxy-éthyl acétate, n-hexane).

Les sources potentielles de polluants gazeux sont présentées dans l'Annexe 1.

Air Normand a également réalisé des prélèvements de surface pour l'analyse de la contamination fongique.

Les résultats des différents paramètres ont été comparés à des valeurs de référence quand elles existent.

Les valeurs des décrets n° 2012-14 [1] et n° 2011-1727 [2] relatif à la surveillance réglementaire de la QAI dans les ERP pour le formaldéhyde, le benzène et l'indice de confinement.

Formaldéhyde :

- VGAI à atteindre en 2015 : 30 µg/m³ (pour une exposition longue durée),
- VGAI à atteindre en 2023 : 10 µg/m³ (pour une exposition longue durée),
 - Valeur-limite : 100 µg/m³.

Benzène :

- VGAI à atteindre en 2013 : 5 µg/m³ (pour une exposition longue durée),
- VGAI à atteindre en 2016 : 2 µg/m³ (pour une exposition longue durée),
 - Valeur-limite : 10 µg/m³.

Valeur-limite pour le confinement :
indice ICONE = 5

Les valeurs de référence du Règlement Sanitaire Départemental Type (RSDT) [10] pour les concentrations en CO₂ et les débits d'air :

Dans les conditions habituelles d'occupation, la teneur de l'atmosphère en CO₂ ne doit pas dépasser 1000 ppm (avec une valeur de tolérance de **1300 ppm** dans les locaux où il est interdit de fumer).

Selon l'article 64 du RSDT : le débit normal d'air neuf à introduire dans les locaux d'enseignement est de : **15 m³/h/occupant**.

Les recommandations de l'ANSES (Agence Nationale de Sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail) pour NO₂ en air extérieur [11]:


20 µg/m³ pour une exposition supérieure à 1 an.

Les résultats ont aussi été comparés à des valeurs obtenues lors de la campagne nationale pilote dans 300 écoles et crèches (2009-2011) [7] [8] [9] [12] [13].

Concernant la contamination fongique, les conclusions et recommandations indiquées dans la suite de ce rapport sont tirées du rapport du Laboratoire d'Hygiène de la Ville de Paris (LHVP) qui a réalisé les analyses et dont l'un des services est spécialisé dans le domaine des moisissures.

3.4. Matériel et modèles

Pour chaque paramètre, le matériel de prélèvement et de mesure est présenté dans le Tableau 1 ainsi que la méthode d'analyse utilisée.

Paramètres mesurés	Appareillage	Principe
Température Humidité relative Dioxyde de carbone (CO₂)	<p>Q-Trak</p> 	<p>Mesures en continu sur un pas de temps de 10 minutes (analyse et enregistrement des données)</p>
Contamination fongique	<p>Ecouvillons et scotch test</p> 	<p>Prélèvements de surface puis analyses en laboratoire (LHVP)</p>
Débits d'extraction d'air	<p>Swemaflow 233</p> 	<p>Mesure instantanée et lecture en direct des débits en m³/h (méthode au fil chaud)</p>

Polluants chimiques (NO₂, aldéhydes et COV)	Echantillonneurs passifs	HPLC puis détection UV (aldéhydes) Chromatographie gazeuse puis détection par spectrométrie de masse (COV) Dosage colorimétrique (NO ₂)
		

Tableau 1 : matériel utilisé pour la campagne de mesures

En même temps que les campagnes de mesures, un planning d'occupation des quatre pièces investiguées a été complété par les enseignants de l'école. Ce planning d'occupation précise le nombre de personnes présentes dans la pièce par période de 30 minutes.

Après prélèvements, les écouvillons et scotch test sont conditionnés et envoyés au LHVP. Les écouvillons sont déchargés sur la surface d'un milieu gélosé au malt plus chloramphénicol ainsi que sur milieu DG18. Les colonies fongiques sont identifiées après 7 jours d'incubation à 25°C après isolement. Pour les échantillons récupérés sur scotch test, une goutte de bleu de lactophénol est déposée entre la lame et le ruban adhésif puis la lamelle est disposée sur la lame pour permettre l'observation au microscope optique des éléments fongiques colorés. Ces analyses sont effectuées par le LHVP selon la norme NF ISO 16000-21 « Air intérieur – Partie 21 : Détection et dénombrement des moisissures – Echantillonnage à partir de matériaux » du 1^{er} février 2014).

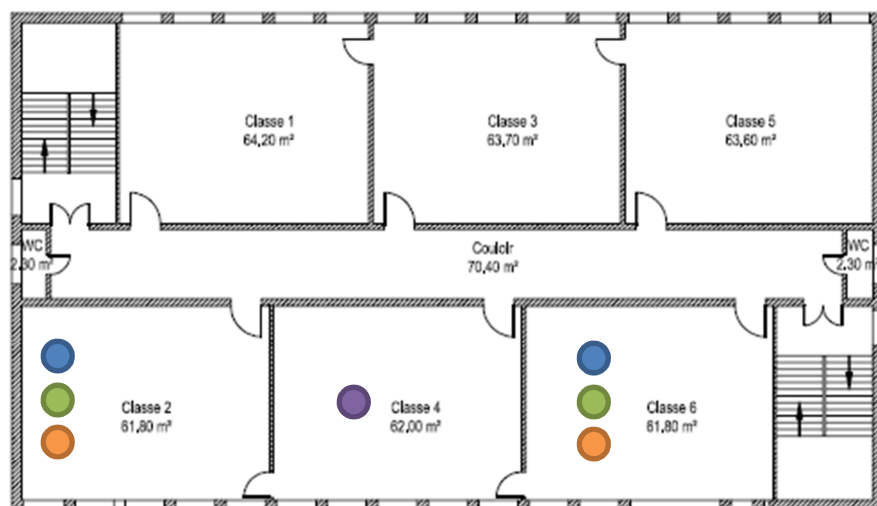
Après exposition, les échantillonneurs passifs sont envoyés à des laboratoires spécialisés pour analyse. Les analyses des aldéhydes et du dioxyde d'azote sont réalisées par le laboratoire de chimie d'AIRPARIF (Paris). Les aldéhydes sont analysés selon la norme NF ISO 16000-4 de février 2012 et le dioxyde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

Les autres paramètres (température, humidité relative et CO₂) sont évalués au moyen d'appareils de mesures automatiques. Les données enregistrées correspondent à des moyennes établies toutes les dix minutes. La mesure des débits d'air se fait de manière instantanée lors de l'application de l'appareil de mesure sur les bouches de ventilation.

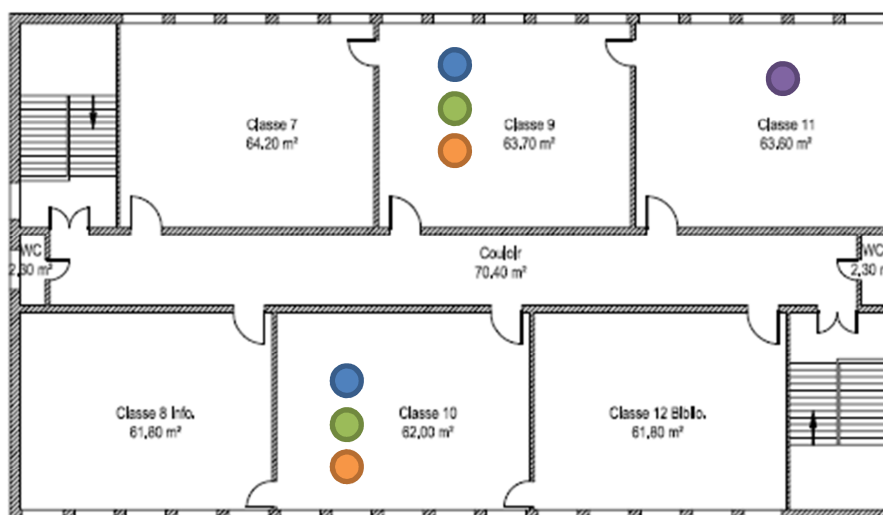
3.5. Méthode

Air Normand en collaboration avec l'ARS et la Ville de Bernay a choisi de réaliser une campagne de mesures dans quatre salles de classes (cf. Figure 1) : les salles n° 2, 6, 9 et 10. Ces quatre salles ont été choisies car elles sont occupées toute la semaine de manière normale et elles sont réparties entre les différents étages et exposition du bâtiment. La période de mesures est de 4.5 jours (période d'occupation de l'école).

Les prélèvements de surface pour la détermination de contamination fongique ont quant à eux été effectués dans les deux salles qui présentaient les plus grandes surfaces contaminées (n°4 et 11). Ces deux salles ne sont utilisées que de façon ponctuelle.



1er étage



2ème étage





- | | | | |
|---|-------------------------------|---|-----------------------------|
|  | Mesures composés gazeux |  | Mesures des débits d'air |
|  | Mesures paramètres de confort |  | Prélèvements de moisissures |

Figure 1 : localisation des sites de mesures à l'école Bourg Le Comte

3.6. Origine des données

Les données de contamination fongique proviennent des analyses réalisées par le LHVP.

Les données des paramètres de confort (CO₂, température, humidité relative, débit de ventilation) sont directement extraites des appareils de mesures.

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

Les indices de confinement ICONNE sont calculés à partir des concentrations en CO₂ et des planning d'occupation remplis par les enseignants des salles investiguées.

Les données de température et d'humidité relative extérieures proviennent de la station météorologique d'Air Normand située à Grand Quevilly.

Les valeurs de référence proviennent des décrets n° 2012-14 [1] et n°2011-1727 [2], du RSDT [10], de l'ANSES [11] et du projet européen INDEX [14]. Les valeurs de comparaison proviennent de la campagne nationale pilote dans 300 écoles et crèches [7] [8] [12] [13] [9], d'une étude réalisée par Air Normand à la crèche du Centre Hospitalier Universitaire de Rouen² en 2012-2013 [15] ainsi que de la campagne nationale réalisée dans 600 logements français en 2003-2005 [16]

3.7. Limites

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

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

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

4. Déroulement

En avril 2014, Air Normand a reçu un signalement des services de la Ville de Bernay concernant la présence de moisissures sur les murs de certaines salles de l'école Bourg Le Comte. Suite à ce signalement, Air Normand et les services de la ville de Bernay ont effectué une visite de l'école Bourg Le Comte le 4 juin 2014. Lors de cette première visite sur site, des prélèvements de surface ont été réalisés dans les salles n°4 et 11 qui présentaient les plus grandes surfaces de contamination fongique. Les prélèvements de surface ont été immédiatement conditionnés et envoyés au LHVP pour analyses. Au bout de quelques semaines, le LHVP a transmis les résultats des analyses des prélèvements de surface à Air Normand (ainsi qu'un protocole de décontamination des moisissures en Annexe 2).

La campagne de mesures complète de la QAI dans les salles n°2, 6, 9 et 10 a eu lieu sur 4,5 jours du lundi 17 au vendredi 21 novembre 2014 (période d'occupation normale du bâtiment). La pose et la dépose du matériel de mesures ont été effectuées par l'opérateur d'Air Normand.

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

5. Résultats

5.1. Résultats bruts

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

5.2. Résultats transformés

² Crèche de 2009, construite selon la démarche Haute Qualité Environnementale (HQE) et équipée d'une Ventilation Mécanique Contrôlée double flux par extraction avec balayage.

5.2.1. Paramètres de confort et évaluation du système de ventilation

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

Température

Sur la Figure 2 est représentée l'évolution de la température au cours du temps dans les quatre salles de classe investiguées ainsi que l'évolution de la température extérieure³ sur la même période.

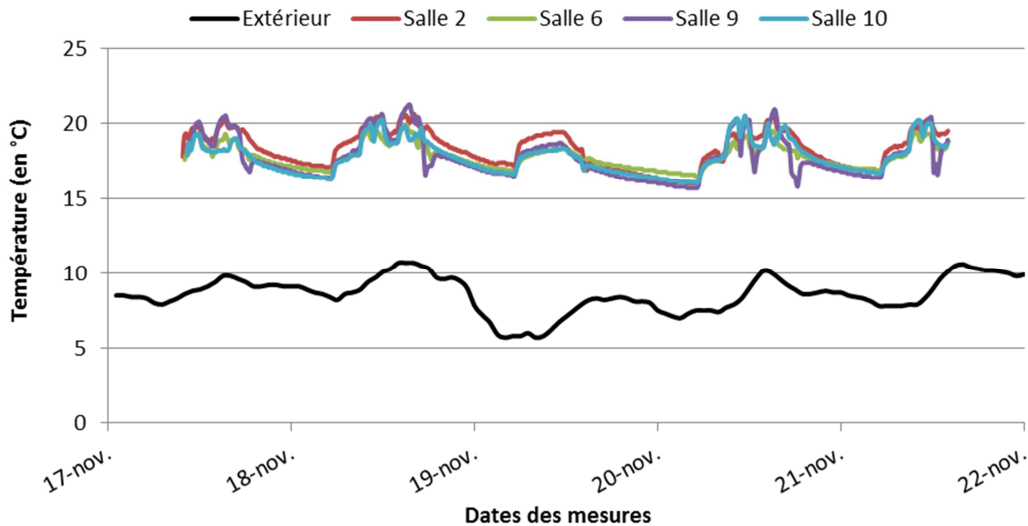


Figure 2 : évolution de la température au cours de la semaine de mesure

La température est homogène entre les quatre salles investiguées. Elle varie entre 15,7°C et 21,2°C. On observe une évolution de la température entre le jour et la nuit (diminution de 2 à 4 °C la nuit par rapport au jour). Cette évolution est globalement identique entre les différentes salles investiguées.

Humidité relative

Sur la Figure 3 est représentée l'évolution de l'humidité relative au cours du temps dans les quatre salles de classe investiguées ainsi que l'évolution de l'humidité relative extérieure³ sur la même période.

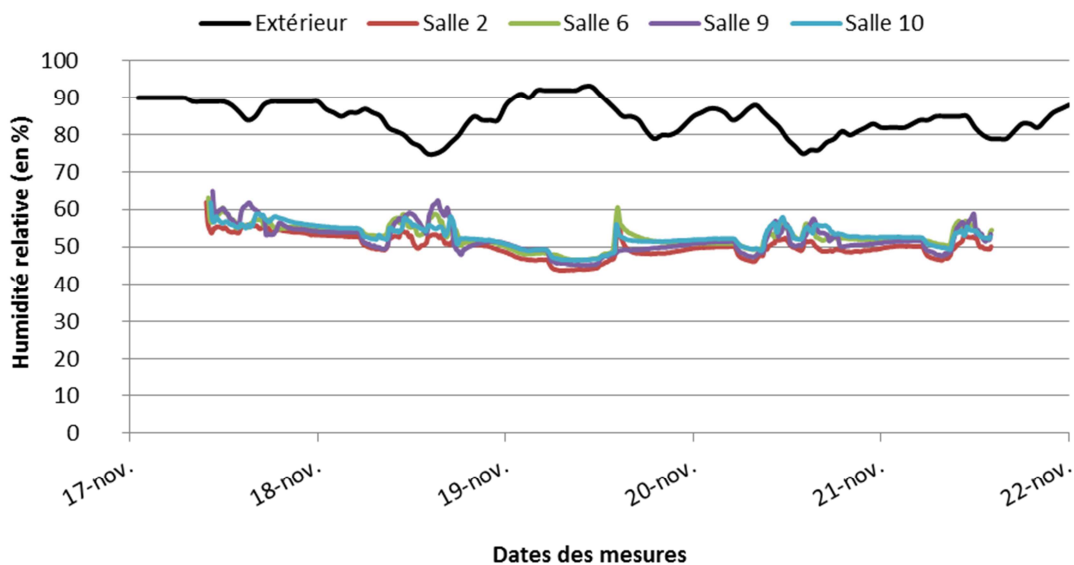


Figure 3 : évolution de l'humidité relative au cours de la semaine de mesure

³ Données de la station météo d'Air Normand de Grand Quevilly.

L'humidité relative évolue de la même manière dans les différentes salles investiguées : elle fluctue entre 43.7% et 65%. Les bornes généralement admises comme satisfaisantes pour l'humidité relative sont entre 20 et 70% (cf. partie 3.1).

L'humidité relative est assez stable lorsque que l'école est inoccupée alors qu'elle fluctue beaucoup plus en période de fréquentation des salles de classes. L'humidité relative augmente de 10% en moyenne pendant les périodes d'occupation des différents salles de classe investiguées.

Débits d'extraction d'air et évaluation du système de ventilation

Les valeurs des débits d'extraction d'air dans les différentes pièces investiguées sont rassemblées dans le Tableau 2.

Débits d'extraction d'air (en m ³ /h)	Côté porte	Côté tableau	Total	Débit minimal (RSDT)
Classe 2 (1^{er} étage)	27	38	65	
Classe 6 (1^{er} étage)	25.5	25	50.5	15 (par personne)
Classe 9 (2^{ème} étage)	26	24.5	50.5	
Classe 10 (2^{ème} étage)	25.5	27	52.5	

Tableau 2 : débits d'extraction d'air mesurés à l'école Bourg Le Comte

La ventilation de l'école élémentaire Bourg Le Comte est assurée par une VMC simple flux par extraction. D'après les prescriptions du RSDT [10], les débits d'extraction d'air mesurés correspondent au débit minimal permettant d'accueillir :

- 4 à 5 personnes dans la salle n°2,
- 3 à 4 personnes les trois autres salles investiguées,

Les entrées et sorties d'air ont été contrôlées visuellement lors de la campagne de mesure. Les grilles d'entrée d'air statiques sont situées au-dessus des fenêtres et sont en bon état (3 à 4 grilles par pièces). Les bouches d'extraction d'air sont situées en haut du mur opposé et sont en bon état (2 bouches par pièces). Chaque pièce investiguée comporte trois à quatre fenêtres facilement manœuvrable.

Dioxyde de carbone (CO₂)

L'évolution des concentrations en CO₂ ainsi que l'occupation des 4 salles de classe investiguées sont représentées sur les graphes des pages suivantes.

Classe n° 2 :

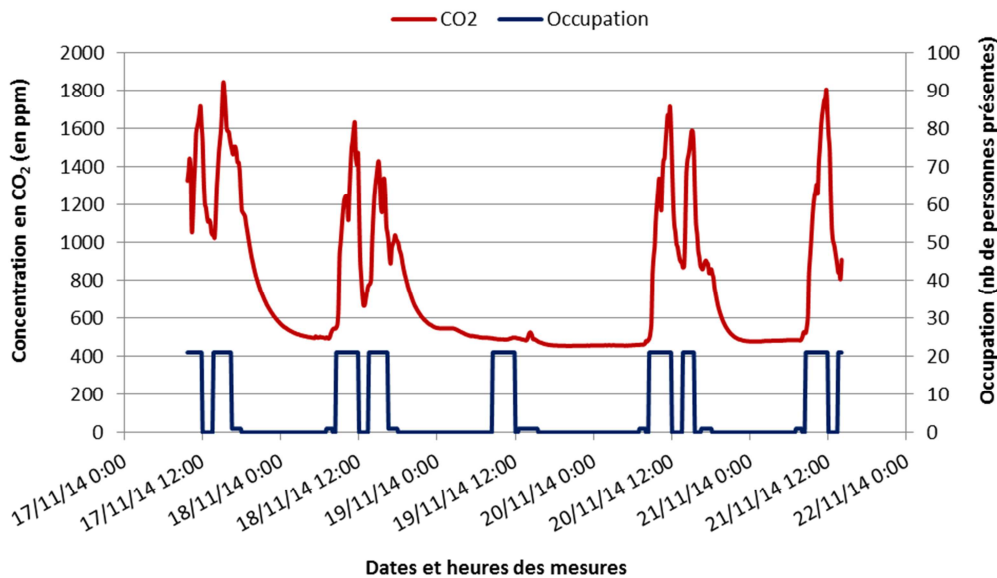


Figure 4 : évolution de la concentration en CO₂ dans la classe n° 2 et périodes d'occupation

On observe sur la Figure 4 que la concentration en CO₂ augmente dès que la salle est occupée, puis diminue dès qu'elle n'est plus occupée. Le mercredi 19 novembre, on n'observe pas d'augmentation de la concentration en CO₂ alors que la salle est censée être occupée le matin d'après le questionnaire rempli par l'enseignant.

La concentration moyenne en CO₂ pendant les périodes d'occupation⁴ est de 1167 ppm. La concentration maximale observée est de 1843 ppm.

Sur les périodes d'occupation⁴, on observe un dépassement de la valeur seuil du RSDT (1300 ppm) pendant 11,5 heures, soit 47 % de la période d'occupation.

Classe n° 6 :

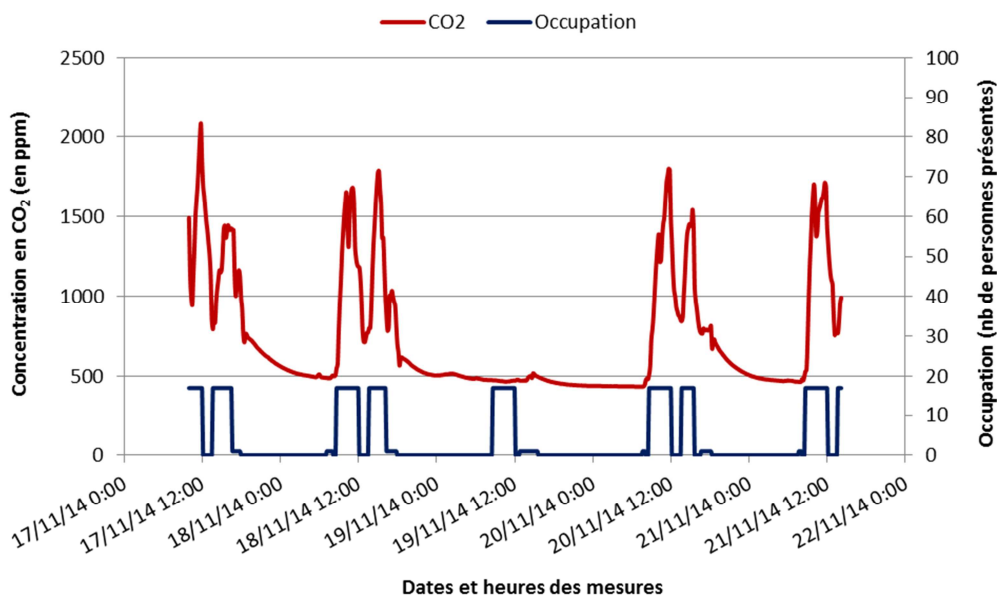


Figure 5 : évolution de la concentration en CO₂ dans la classe n° 6 et périodes d'occupation

⁴ Les périodes dites "d'occupation" sont les périodes pour lesquelles au moins 50% de l'effectif total de la salle concernée était présent.

Comme pour la classe n°1, on observe sur la Figure 5 que la concentration en CO₂ augmente dès que la salle est occupée, puis diminue dès qu'elle ne l'est plus. De même, il n'y a pas d'augmentation le mercredi 19 novembre alors que la salle est censée être occupée le matin.

La concentration moyenne en CO₂ pendant les périodes d'occupation est de 1184 ppm. La concentration maximale observée est de 2081 ppm.

Sur les périodes d'occupation, on observe un dépassement de la valeur seuil du RSDT (1300 ppm) pendant 12.2 heures, soit 50 % de la période d'occupation.

Classe 9 :

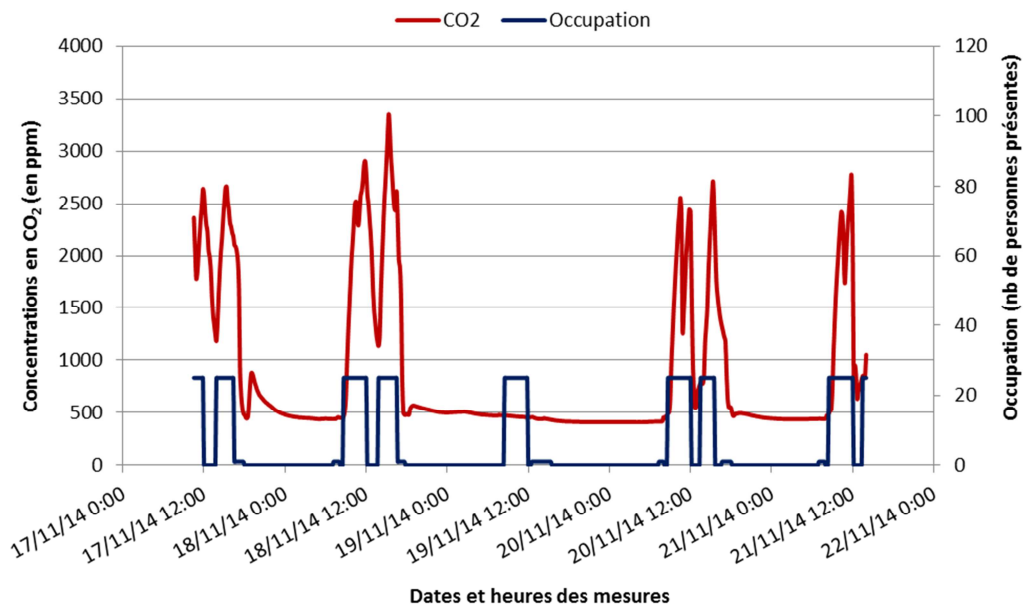


Figure 6 : évolution de la concentration en CO₂ dans la classe n° 9 et périodes d'occupation

Comme pour les classes n°1 et 3, on observe sur la Figure 6 que l'augmentation et la diminution des concentrations en CO₂ est liée à l'occupation de la classe. De même, il n'y a pas d'augmentation le mercredi 19 novembre alors que la salle est censée être occupée le matin.

La concentration moyenne en CO₂ pendant les périodes d'occupation est de 1725 ppm. La concentration maximale observée est de 3349 ppm.

Sur les périodes d'occupation, on observe un dépassement de la valeur seuil du RSDT (1300 ppm) pendant 16 heures, soit 66 % de la période d'occupation.

Classe 10 :

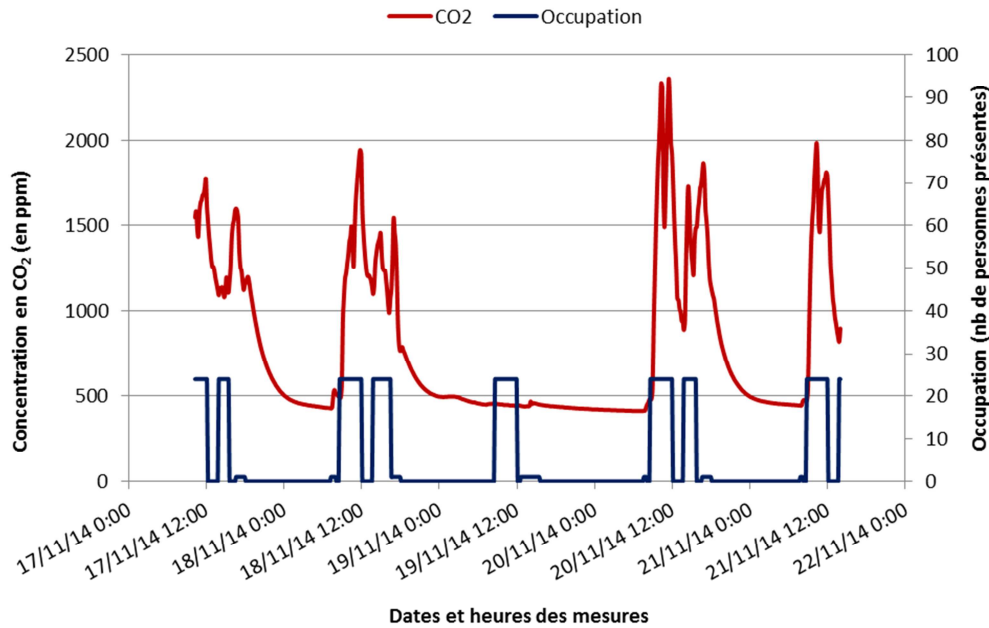


Figure 7 : évolution de la concentration en CO₂ dans la classe n° 10 et périodes d'occupation

On observe encore une fois sur la Figure 7 que la concentration en CO₂ augmente et diminue en fonction de l'occupation de la salle. Encore une fois le mercredi, la concentration n'augmente pas alors que la salle est censée être occupée le matin.

La concentration moyenne en CO₂ pendant les périodes d'occupation est de 1265 ppm. La concentration maximale observée est de 2362 ppm.

Sur les périodes d'occupation, on observe un dépassement de la valeur seuil du RSDT (1300 ppm) pendant 11.7 heures, soit 51 % de la période d'occupation.

La synthèse des résultats est présentée dans le Tableau 3.

Concentration en CO ₂ (ppm)	Moyenne (en occupation)	Maximum	Minimum
Classe 2 (1^{er} étage)	1167	1843	454
Classe 6 (1^{er} étage)	1184	2081	434
Classe 9 (2^{ème} étage)	1725	3349	409
Classe 10 (2^{ème} étage)	1265	2362	414

Concentration en CO ₂ (ppm)	Moyenne ⁵ (en occupation)	Maximum ⁶	Minimum ⁷
Campagne nationale (2009-2011) – écoles élémentaires	1300	4890	266

Tableau 3 : synthèse des concentrations en CO₂ à l'école Bourg Le Comte et comparaison aux résultats de la campagne nationale [12]

⁵ Médiane sur les 300 établissements de la campagne nationale, c'est-à-dire que 50% des établissements présentent des concentrations inférieures à cette valeur et 50% sont supérieurs à cette valeur.

⁶ Percentile 99% : c'est-à-dire que 1% des établissements présentent des concentrations supérieures à cette valeur.

⁷ Percentile 1% : c'est-à-dire que 1% des établissements présentent des concentrations inférieures à cette valeur.

Les résultats obtenus (en valeur moyenne) dans les salles n°2, 6 et 10 de l'école Bourg Le Comte sont du même ordre de grandeur que les résultats moyens obtenus dans d'autres écoles élémentaires à l'échelle nationale. La moyenne obtenue dans la salle n°9 est supérieure à la moyenne de la campagne nationale dans des écoles élémentaires.

Les concentrations maximales observées lors de la campagne nationale ne sont pas atteintes à l'école Bourg Le Comte.

Les résultats obtenus dans la salle n°9 de l'école sont les plus élevés.

Nota : les concentrations en CO₂ de l'école Bourg Le Comte sont issues d'une unique campagne de mesures réalisée en novembre 2014. Les concentrations en CO₂ présentés dans le Tableau 3 pour les campagnes comparatives sont issues des données de deux campagnes réalisées à deux périodes différentes de l'année (une campagne hivernale et une campagne estivale). Or les concentrations en CO₂ sont souvent plus élevées en période hivernale. Ainsi, les moyennes annuelles tendraient à être plus faibles que les valeurs issues de cette seule campagne hivernale.

Indice de confinement

Pour les différentes pièces de l'école, les indices de confinement calculés sont synthétisés dans le Tableau 4 (méthode de calcul de l'indice de confinement définit dans la partie 3.1).

Ecole Bourg Le Comte du 17 au 21 novembre 2014	Salle 2	Salle 6	Salle 9	Salle 10	"Valeur limite" ⁸
Indice ICONE	2	2	4	3	5

Tableau 4 : synthèse des indices de confinement de l'école Bourg Le Comte

L'indice de confinement dans les salles de classe varie entre 2 (confinement moyen) et 4 (confinement très élevé). L'indice de confinement est homogène entre les deux salles du 1^{er} étage d'une part et entre les deux du 2^{ème} étage d'autre part.

Dans le cadre de la réglementation [1], ce n'est que lorsqu'on atteint l'indice 5 que des actions de recherche des causes sont à entreprendre rapidement. Ici, les indices de confinement sont inférieurs à la valeur limite de 5.

Néanmoins en cas d'indice 4, il est conseillé de vérifier que l'occupation des pièces est conforme au taux d'occupation prévu. Lorsque les salles sont équipées d'un dispositif spécifique de ventilation, il est souhaitable de faire intervenir un spécialiste pour procéder à une inspection de l'installation. Il est également souhaitable d'améliorer les conditions d'aération de ces salles en procédant à des ouvertures plus fréquente des fenêtres pendant les périodes d'occupation. [13]

⁸ D'après le décret n° 2012-14 [1] : valeur au-delà de laquelle des investigations complémentaires doivent être menées et pour laquelle le préfet de département du lieu d'implantation de l'établissement doit être informé.

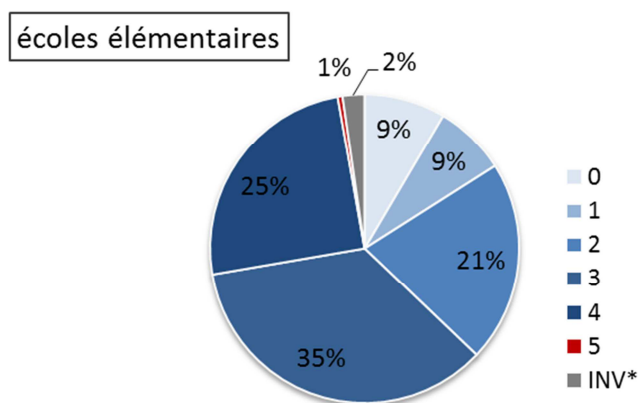


Figure 8 : répartition des indices de confinement à l'échelle nationale (campagne nationale 2009-2011) [8]

Les résultats obtenus dans les deux classes du 1^{er} étage (indice ICONE = 2) sont rencontrés dans 21% des écoles élémentaires de la campagne nationale. L'indice ICONE de 3 obtenu dans la salle n°10 se rencontre dans 35% des écoles élémentaires de la campagne nationale. L'indice ICONE de 4 obtenu dans la salle n°9 se rencontre dans 25% des écoles élémentaires.

Nota : les indices de confinement calculés à l'école Bourg Le Comte sont issus d'une unique campagne de mesures réalisée en novembre 2014. Les indices de confinement présentés dans la Figure 8 pour les campagnes comparatives sont issus des données de deux campagnes réalisées à deux périodes différentes de l'année (une campagne hivernale et une campagne estivale) et ne sont donc pas strictement comparables.

5.2.2. Polluants gazeux

Les résultats détaillés de l'ensemble des polluants gazeux sont présentés dans l'Annexe 4. Dans les paragraphes suivants les résultats des polluants réglementaires sont présentés ainsi que ceux dont les valeurs présentent un intérêt particulier en terme d'interprétation.

Polluants gazeux réglementés (benzène, formaldéhyde)

Benzène

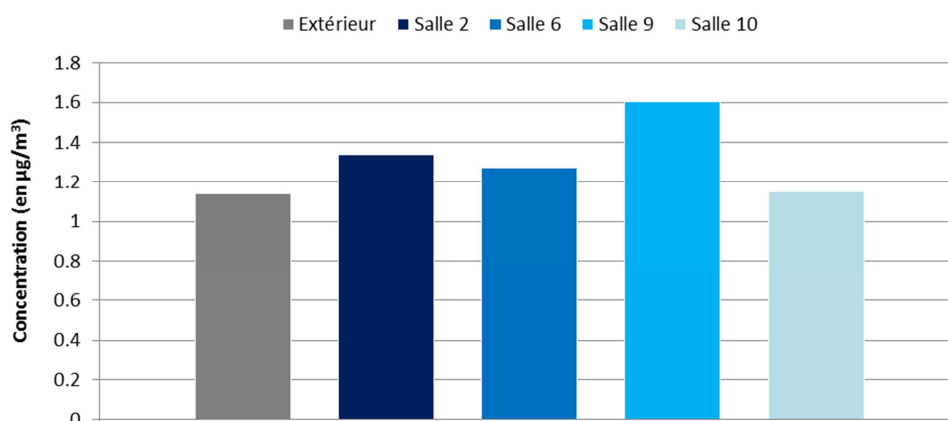


Figure 9 : concentrations en benzène mesurées à l'école Bourg Le Comte

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

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

Concentrations en benzène ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Médiane	Maximum	Minimum
Ecole Bourg Le Comte	1.3	1.6	1.2

Tableau 5 : synthèse des concentrations en benzène à l'école Bourg Le Comte

Concentration moyenne en benzène ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Répartition (%)
0 à 2	44,7
2 à 5	52,8
5 à 10	2,5
Supérieure à 10	0,0

Figure 10 : répartition des concentrations en benzène à l'échelle nationale (campagne écoles et crèches 2009-2011) [8]

Les résultats obtenus à l'école Bourg Le Comte sont rencontrés dans 44.7% des écoles et crèches de la campagne nationale.

Nota : les concentrations en benzène obtenues à l'école Bourg Le Comte sont issues d'une unique campagne de mesures réalisée en novembre 2014. Les concentrations en benzène présentées dans la Figure 10 sont issues de deux campagnes réalisées à deux périodes différentes de l'année (une campagne hivernale et une campagne estivale) et ne sont donc pas strictement comparables.

Formaldéhyde

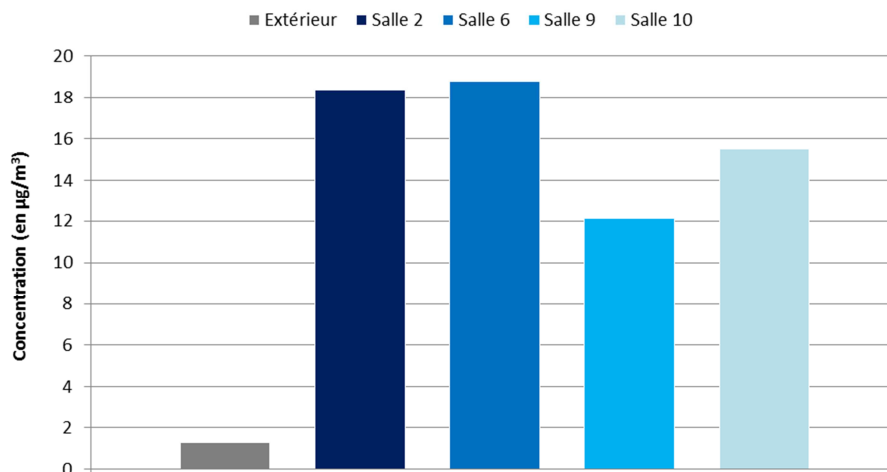


Figure 11 : concentrations en formaldéhyde mesurées à l'école Bourg Le Comte

Les concentrations en formaldéhyde à l'intérieur du bâtiment sont plus élevées (de 12 à 18 fois) qu'à l'extérieur.

Toutes les concentrations en formaldéhyde sont en-dessous de la valeur-limite réglementaire de $100\mu\text{g}/\text{m}^3$. Les concentrations dans l'ensemble des pièces investiguées sont inférieures à la VGAI de 2015 ($30\mu\text{g}/\text{m}^3$), mais supérieures à la VGAI de 2023 ($10\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Les concentrations sont globalement homogènes entre les quatre salles investiguées.

Concentrations en formaldéhyde ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Médiane	Maximum	Minimum
Ecole Bourg Le Comte	16.9	18.8	12.1

Tableau 6 : synthèse des concentrations en formaldéhyde à l'école Bourg Le Comte

Concentration moyenne en formaldéhyde ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Répartition (%)
0 à 30	89,4
30 à 50	8,8
50 à 100	1,8
Supérieure à 100	0,0

Figure 12 : répartition des concentrations en formaldéhyde à l'échelle nationale (campagne écoles et crèches 2009-2011) [8]

Les résultats obtenus à l'école Bourg Le Comte sont rencontrés dans 89.4% des écoles et crèches de la campagne nationale.

Nota : les concentrations en formaldéhyde obtenues à l'école Bourg Le Comte sont issues d'une unique campagne de mesures réalisée en novembre 2014. Les concentrations en formaldéhyde présentées dans la Figure 12 sont issues de deux campagnes réalisées à deux périodes différentes de l'année (une campagne hivernale et une campagne estivale) et ne sont donc pas strictement comparables. De plus, les concentrations en formaldéhyde sont généralement plus élevées en période estivale qu'en période hivernale.

Polluants gazeux présentant un intérêt particulier dans cette étude

1-méthoxy-2-propanol

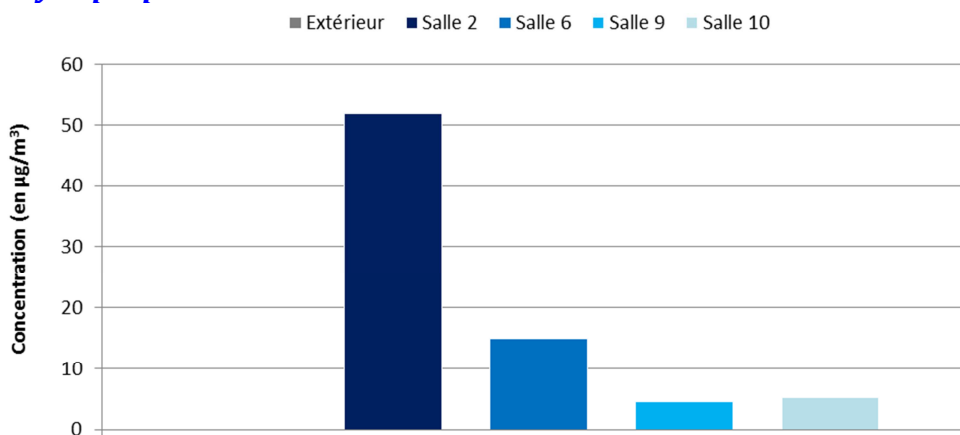


Figure 13 : concentrations en 1-méthoxy-2-propanol mesurées à l'école Bourg Le Comte

La concentration extérieure est inférieure au seuil de quantification. La concentration en 1-méthoxy-2-propanol est 5 fois plus élevée dans la salle n°2 que dans les trois autres salles investiguées.

	Concentrations ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Ecole Bourg Le Comte - Salle 2	51.9
Ecole Bourg Le Comte – Moyenne des salles 6, 9 et 10	8.2
Médiane crèche CHU de Rouen	1.4
Médiane campagne nationale dans 600 logements français	1.9

Tableau 7 : concentrations en 1-méthoxy-2-propanol et valeurs de comparaison

La concentration en 1-méthoxy-2-propanol⁹ mesurée dans la salle 2 est 27 fois plus élevée que la concentration médiane obtenue lors de la campagne nationale réalisée dans 600 logements français (2003-2005) [16] et 37 fois plus élevée que la concentration médiane obtenue dans la crèche du CHU de Rouen [15].

Dans les autres salles de l'école Bourg Le Comte les concentrations sont également supérieures aux concentrations médianes des campagnes à la crèche du CHU et "logements" mais en moindre proportion (4 à 6 fois plus élevées).

Ethers de glycol (2-butoxyéthanol, α -pinène et limonène)

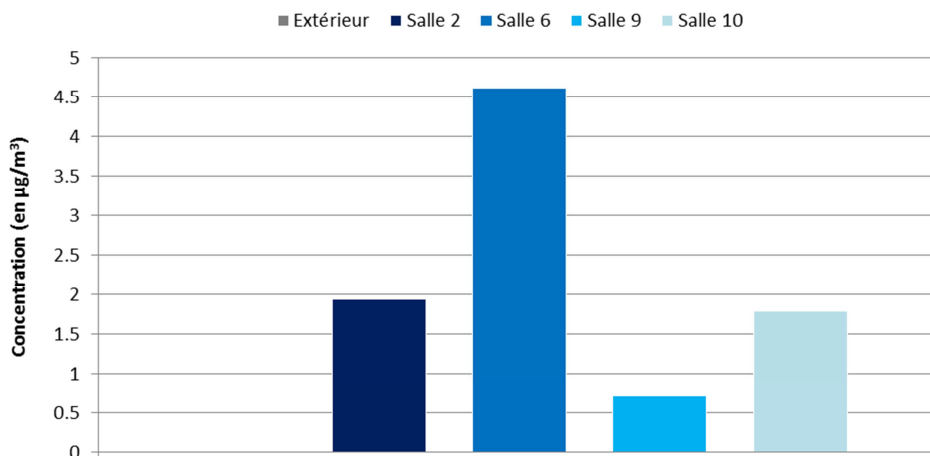


Figure 14 : concentrations en 2-butoxyéthanol à l'école Bourg Le Comte

La concentration extérieure pour le 2-butoxyéthanol est inférieure au seuil de quantification. La concentration maximale est relevée dans la salle n°6 (4 fois plus élevée quand dans les autres salles en moyenne).

	Concentrations (µg/m ³)
Ecole Bourg Le Comte - Salle 2	4.6
Ecole Bourg Le Comte – Moyenne des salles 6, 9 et 10	1.5
Médiane crèche CHU de Rouen	6.5
Médiane campagne nationale dans 600 logements français	1.6

Tableau 8 : concentration en 2-butoxyéthanol et valeurs de comparaison

La concentration en 2-butoxyéthanol⁹ mesurée dans la salle 2 est 3 fois plus élevée que la concentration médiane obtenue lors de la campagne nationale réalisée dans 600 logements français (2003-2005) [16] mais inférieure à la concentration médiane obtenue dans la crèche du CHU de Rouen [15].

Dans les autres salles de l'école Bourg Le Comte les concentrations sont du même ordre de grandeur que la concentration médiane de la campagne "logements" et largement inférieures à la concentration médiane de la crèche du CHU de Rouen.

⁹ Nota : les concentrations obtenues à l'école Bourg Le Comte sont issues d'une unique campagne de mesures réalisée en novembre 2014. Les concentrations des campagnes de comparaison sont issues de deux campagnes réalisées à deux périodes différentes de l'année (une campagne hivernale et une campagne estivale) et ne sont donc pas strictement comparables.

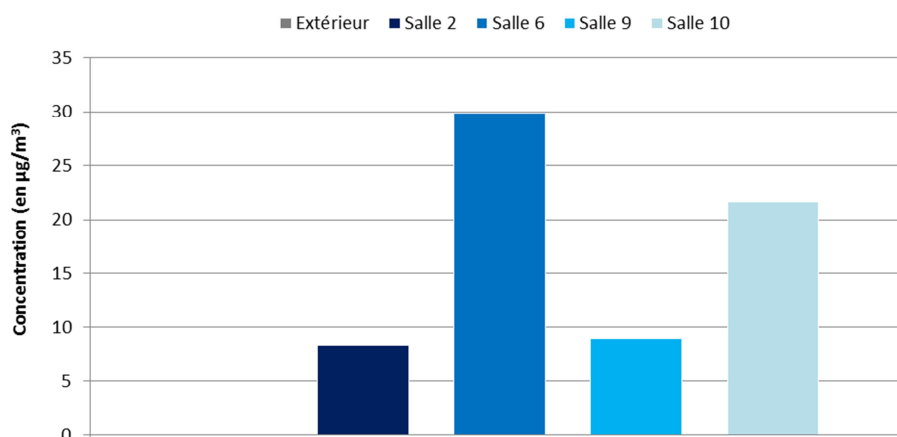


Figure 15 : concentrations en α -pinène à l'école Bourg Le Comte

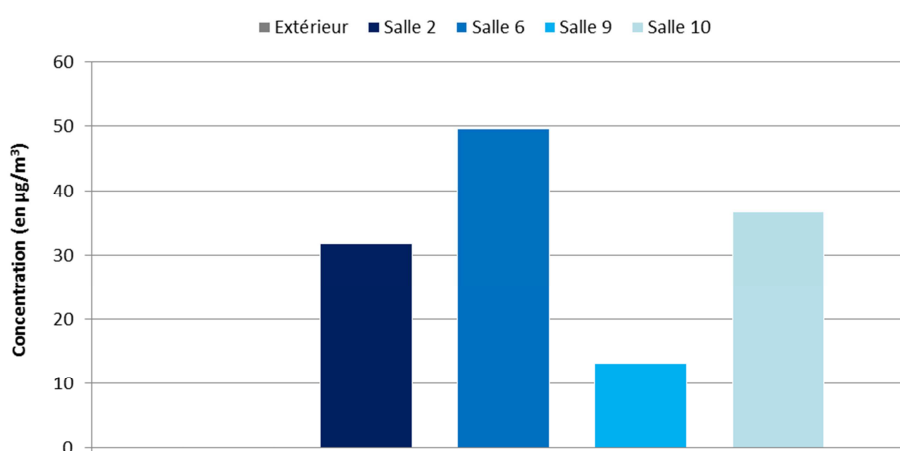


Figure 16 : concentrations en limonène à l'école Bourg Le Comte

Les concentrations extérieures pour le α -pinène et le limonène sont inférieures au seuils de quantification. Pour ces deux polluants gazeux, la concentration maximale est relevée dans la salle n°6. Les concentrations sont largement inférieures à la valeur seuil du projet européen INDEX qui est de $450 \mu\text{g}/\text{m}^3$ [14].

α -pinène	Concentrations ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Moyenne Ecole Bourg Le Comte	17.2
Médiane crèche CHU de Rouen	2.5

limonène	Concentrations ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Moyenne Ecole Bourg Le Comte	32.8
Médiane crèche CHU de Rouen	5.0

Tableau 9 : concentrations en α -pinène et limonène et valeurs de comparaison

Les concentrations en α -pinène⁹ et limonène⁹ à l'école Bourg Le Comte sont 7 fois supérieures aux concentrations médianes observées à la crèche du CHU de Rouen. [15]

n-hexane

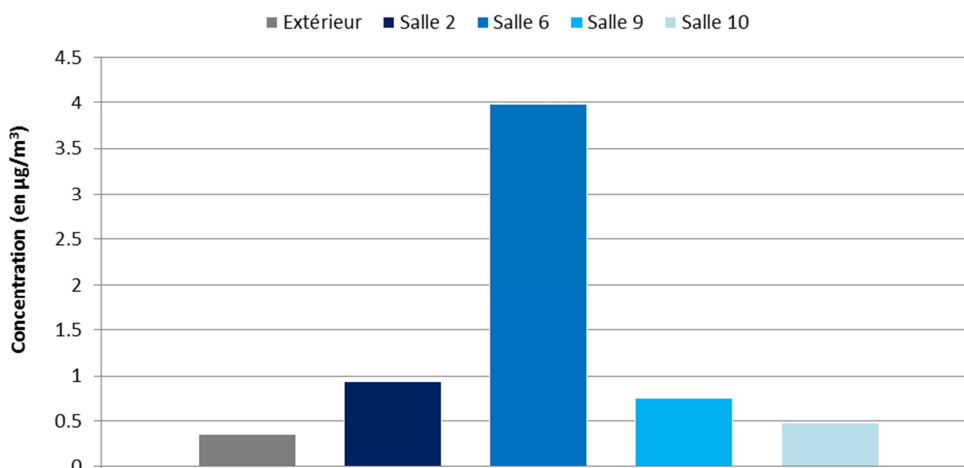


Figure 17 : concentrations en n-hexane à l'école Bourg Le Comte

La concentration extérieure en n-hexane est faible. La concentration maximale en air intérieur est relevée dans la salle n°6 (concentration 5 fois plus élevée que dans les autres salles en moyenne). Dans les trois autres salles, les concentrations sont homogènes.

Dioxyde d'azote (NO_2)

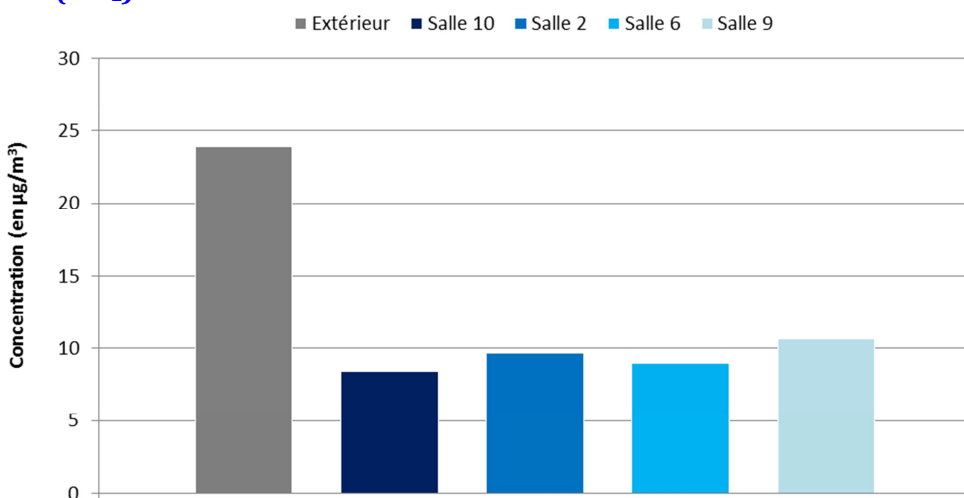


Figure 18 : concentrations en NO_2 mesurées à l'école Bourg Le Comte

Les concentrations en NO_2 à l'intérieur du bâtiment sont inférieures (de 60%) à la concentration mesurée à l'extérieur du bâtiment.

Les concentrations en NO_2 sont homogènes entre les différentes pièces investiguées. Les concentrations observées à l'extérieur sont supérieures à la valeur recommandée par l'ANSES en moyenne annuelle ($20\mu\text{g}/\text{m}^3$) [11] A l'intérieur, les concentrations sont inférieures à la valeur recommandée par l'ANSES. Cependant, cette comparaison est indicative car les données présentées ici sont des valeurs moyennes sur 4,5 jours uniquement.

5.2.3. Contamination fongique

Les prélèvements de moisissures ont été effectués à l'aide de scotch test et d'écouvillons dans les salles n° 4 (1^{er} étage) et 11 (2^{ème} étage). (cf. Figure 19)



Figure 19 : exemple de site de prélèvements de surface (salle n° 11)

Les résultats des analyses réalisées par le LHVP sont rassemblés dans le Tableau 10.

PIECE	TAILLE DE LA SURFACE CONTAMINEE (1)	TECHNIQUE	MILIEU DE CULTURE	IDENTIFICATIONS FONGIQUES (2)
Salle 4 (1er étage)	Petite	Ecouvillon	malt+chl	<i>Cladosporium sphaerospermum</i> ++++ <i>Penicillium</i> sp +
			DG18	<i>Cladosporium sphaerospermum</i> ++++ <i>Cladosporium cladosporioides</i> ++ <i>Penicillium</i> sp +
		Scotch test		<i>Cladosporium</i> sp ++++ <i>Alternaria</i> sp + Mycélium +
Salle 11 (2ème étage)	Petite	Ecouvillon	malt+chl	<i>Cladosporoides sphaerospermum</i> ++++ <i>Penicillium</i> sp +++ <i>Aspergillus versicolor</i> +
			DG18	<i>Cladosporoides sphaerospermum</i> ++++ <i>Aspergillus versicolor</i> + <i>Penicillium</i> sp + Levures +
		Scotch test		<i>Cladosporium</i> sp ++++ Mycélium ++++

(1) Surface contaminée :
Petite : < 1 m²
Moyenne : 1 à 10 m²
Grande : > 10 m²

(2) Quantité relative : échelle de + à ++++

Tableau 10 : synthèse des résultats du LHVP

Les surfaces contaminées sont petites (<1m²) et localisées. Les prélèvements de surface réalisés dans les deux salles de classe mettent en évidence une contamination fongique active sur les supports

échantillonnés. Au moment et dans les conditions d'échantillonnages, la flore identifiée est variée et dominée par *Cladosporium sphaerospermum*, *Penicillium* sp et *Cladosporium cladosporioides*. D'autres moisissures sont également mises en évidence en plus faible proportion : *Alternaria* sp dans la salle n°4 et *Aspergillus versicolor* dans la salle n°11. Du mycélium est observé dans les prélèvements des deux salles de classe.

6. Interprétation des résultats et discussion

Température

L'arrêté du 25 juillet 1977 fixe la limite supérieure de la température de chauffage à 22°C dans les locaux qui hébergent des enfants en bas âge [3]. La température moyenne sur les périodes d'occupation est de 19.3°C (température minimale = 15.7°C ; température maximale = 21.2°C).

La température est homogène entre les différentes salles de classe investiguées et un écart de température est observé entre le jour et la nuit (- 2 à - 4°C la nuit par rapport au jour). Nous pouvons supposer que ces variations de température pourraient être dues à la présence ou l'absence des occupants, à l'ensoleillement au travers des vitrages, ou à l'influence de la température extérieure.

Humidité relative

Le chauffage, la ventilation, mais aussi l'activité des occupants jouent un rôle sur l'humidité relative d'une pièce. Ainsi, on voit que l'humidité relative des salles investiguées augmente de l'ordre de 10% pendant les horaires d'occupation et diminue quand les salles ne sont plus occupées. Nous pouvons alors supposer que l'humidité relative à l'intérieur du bâtiment est liée à l'occupation des pièces.

L'humidité relative des différentes salles de classe investiguées reste comprise entre les bornes de 20 et 70% qui sont généralement admises comme satisfaisantes.

Système de ventilation

Les débits d'extraction d'air mesurés dans les différentes pièces de l'école (entre 50,5 et 65 m³/h) correspondent aux débits minimaux permettant d'accueillir de 3 à 5 personnes d'après le RSDT (15 m³/h.personne pour une salle d'enseignement) [10]. D'après le planning d'occupation, la salle n°2 accueille au maximum 21 personnes, la salle n°6, 17 personnes, la salle n°9, 25 personnes et la salle n°10, 24 personnes.

Donc, dans l'ensemble des pièces investiguées, le débit d'extraction d'air est inférieur au débit minimal réglementaire du RSDT au regard du nombre d'occupants.

CO₂

Les concentrations en CO₂ dépassent la valeur de référence du RSDT (1300 ppm) pendant 47 à 66% du temps d'occupation des différentes pièces investiguées.

Les différentes courbes de concentration en CO₂ montrent l'influence de l'occupation des pièces sur l'évolution des concentrations en CO₂ : en effet dès qu'une pièce est occupée, la concentration en CO₂ augmente. Puis quand l'occupation diminue, la concentration en CO₂ diminue à son tour plus ou moins rapidement selon les jours.

Sauf pour le mercredi 19 novembre au cours duquel, dans l'ensemble des salles investiguées, la concentration en CO₂ n'évolue pas au cours de la journée alors que ces salles sont occupées le matin, d'après les questionnaires d'occupation remplis par les enseignants. Au vu des informations disponibles, cette situation n'a pas pu être clairement expliquée.

La concentration observée en CO₂ à l'école Bourg Le Comte dans la salle n°9 est supérieure à la moyenne observée à l'échelle nationale dans des écoles élémentaires (campagne nationale 2009-2011). Dans les autres salles, les concentrations en CO₂ sont du même ordre de grandeur que la moyenne de la campagne nationale.

Plusieurs paramètres pourraient expliquer les concentrations en CO₂ mesurées dans la salle n°9 : le nombre d'occupants plus important que dans les autres salles investiguées¹⁰, les activités pratiquées, les habitudes d'aération, ou encore la configuration du bâti¹¹.

Le système d'aération (VMC simple flux et ouvertures manuelles des fenêtres) a une influence sur la concentration en CO₂ à l'intérieur des salles de classe. La ventilation de l'école Bourg Le Comte est de type mécanique comme dans 17% des écoles de la campagne nationale. Les résultats de la campagne nationale montrent que la présence d'une VMC a un impact sur l'indice ICONE (diminution d'un point d'indice ICONE avec la VMC) et sur la concentration en CO₂ (diminution de la concentration de 8% dans les écoles élémentaires). [9] Ainsi, on peut supposer qu'en l'absence de VMC les concentrations en CO₂ dans l'école seraient supérieures à celles observées lors de cette campagne de mesures.

Indice de confinement

De façon générale les différences entre les indices de confinement mesurés dans les établissements scolaires peuvent s'expliquer par différents paramètres, liés entre eux, dont le nombre d'occupants par pièce, les activités pratiquées, et les habitudes et moyens d'aération.

L'indice de confinement est de 2 (confinement moyen) dans les salles n°2 et n°6. L'indice est de 4 (confinement très élevé) dans la salle n°9 et 3 (confinement élevé) dans la salle n°10.

- Les indices de confinement sont plus élevés dans les salles n°9 et 10 que dans les salles n°2 et 6. Le nombre d'heures d'occupation des quatre salles est homogène¹² (24h en moyenne sur la semaine de mesures). Selon les questionnaires remplis par le personnel de l'école, la durée d'ouverture des fenêtres est homogène entre les quatre salles (ouverture de 15 à 20 minutes par jour). Par contre, le nombre d'occupants par pièce est plus important dans les salles n° 9 et 10 que dans les salles n°2 et 6, ce qui pourrait expliquer en partie la différence entre les indices de confinement.
- Entre les salles n°2 et 6, l'indice de confinement est identique alors que le nombre d'occupant est plus important dans la salle n°2 que dans la salle n°6. Cependant, le débit d'air extrait par la VMC est plus important dans la salle n°2 que dans la salle n°6 ce qui pourrait expliquer qu'il n'y ait pas de différence d'indice de confinement entre ces deux salles.
- L'indice de confinement est plus important dans la salle n°9 que la salle n°10 alors que le nombre d'occupant est relativement homogène. Les débits d'air extrait sont également homogènes. D'après les questionnaires remplis par le personnel de l'école, la porte donnant sur le couloir est ouverte en permanence dans la salle n°10 alors que ce n'est pas le cas dans la salle n°9. Cette différence dans les habitudes d'aération pourrait expliquer en partie la différence d'indice de confinement entre ces deux salles.
- Orientation des salles de classe: les quatre salles investiguées sont regroupées dans un seul bâtiment (type constructif homogène), mais elles ne sont pas orientées de la même façon. La salle n°9 est orientée à l'Est alors que les trois autres salles investiguées sont orientées à l'Ouest. Or, le vent peut avoir un effet sur l'efficacité de l'aération (via les grilles d'aération statique et les ouvertures de fenêtres). L'impact sera différent si la direction du vent est parallèle ou perpendiculaire aux grilles et aux fenêtres des salles de classe. Cette différence d'orientation des salles peut expliquer en partie les différences d'indice de confinement.

Les indices de confinement ne dépassent pas la valeur-limite de 5 (décret n°2012-14 [1]) au-delà de laquelle des actions de recherche des causes sont à entreprendre rapidement. Néanmoins, dans le cas

¹⁰ Nombre d'occupants maximal par salle de classe : 21 (salle 2), 17 (salle 6), 25 (salle 9), 24 (salle 10).

¹¹ Orientation des salles : Ouest pour les salles n°2, 6 et 10 ; Est pour la salle n°9.

¹² Nombre d'heures d'occupation des pièces : 25h (salle 2), 25h (salle 6), 24h (salle 9), 23 (salle 10).

d'un indice 4, il est nécessaire de vérifier que l'occupation des pièces est conforme au taux d'occupation prévu. Lorsque les salles sont équipées d'un dispositif spécifique de ventilation, il est souhaitable de faire intervenir un spécialiste pour procéder à une inspection de l'installation. Il est également souhaitable d'améliorer les conditions d'aération de ces salles en procédant à des ouvertures plus fréquentes des fenêtres pendant les périodes d'occupation. [13]

Il est toutefois important de garder à l'esprit que ces résultats proviennent d'une unique campagne de mesures réalisée en novembre 2014. Les concentrations en CO₂ et les indices de confinement sont généralement plus faibles lors des périodes estivales (où les périodes d'aération naturelle sont plus importantes pour des raisons de confort thermique).

Polluants gazeux réglementés

Pour le benzène, les concentrations en air extérieur sont du même ordre de grandeur que les concentrations mesurées à l'intérieur. Ainsi, les sources de pollution proviennent en grande partie de l'environnement extérieur (émissions automobiles notamment).

Les résultats sont inférieurs aux valeurs de référence actuelles (valeur-limite = 10µg/m³ et VGAI = 5µg/m³ en 2013) et à venir (2 µg/m³ en 2016).

Pour le formaldéhyde, les concentrations mesurées à l'intérieur sont nettement supérieures à la concentration mesurée à l'extérieur du bâtiment. Ainsi, les sources de pollution proviennent en grande partie de l'intérieur du bâtiment. Ce constat est classique car il y a peu de sources de formaldéhyde en air extérieur. Les sources potentielles de formaldéhyde sont : les matériaux de construction, de finition ou d'ameublement, les livres et magazines neufs ou encore les désinfectants et produits d'entretien.

Les concentrations en formaldéhyde restent en-dessous de la valeur-limite réglementaire de 100µg/m³. Cependant, les concentrations dans l'ensemble des pièces investiguées sont supérieures à la VGAI de 2023 (10µg/m³). Il est important de préciser que les concentrations en formaldéhyde ont tendance à augmenter avec la température ambiante ainsi, les concentrations mesurées pendant les périodes estivales sont en général plus élevées que pendant les périodes hivernales. Les émissions de formaldéhyde sont également plus importantes en présence de matériaux neufs puis elles diminuent, plus ou moins rapidement, au cours du temps. Ainsi, sans apport de matériel ou mobilier neuf, les concentrations auront tendance à diminuer. Une amélioration des conditions d'aération permettrait la dilution rapide du formaldéhyde émis à l'intérieur. En cas de travaux ou d'introduction de matériaux ou de mobiliers neufs dans l'école les émissions peuvent augmenter de nouveau.

Polluants gazeux présentant un intérêt particulier dans cette étude

La concentration en 1-méthoxy-2-propanol dans la salle n°2 est 5 fois plus importante que dans les autres salles investiguées. La concentration à l'extérieur est quant à elle inférieure à la limite de quantification. Ainsi, les sources de pollution proviennent en grande partie de l'intérieur du bâtiment et sont a priori plus présentes dans la salle n°2. Les sources potentielles de 1-méthoxy-2-propanol sont les laques et peintures, les vernis, les savons et les cosmétiques. Ce type de sources peuvent être liées à un matériel ou mobilier neuf dans cette salle ou alors à une activité spécifique pratiquée cette semaine-là dans la salle n°2. Selon les informations disponibles : aucune activité de peinture ou collage n'a été réalisée cette semaine-là et cette salle est équipée d'un point d'eau avec un porte savon (absent des autres salles investiguées). La présence du savon pourrait expliquer une partie des concentrations en 1-méthoxy-2-propanol mesurées.

La concentration en 2-butoxyéthanol est plus élevée dans la salle n°6 que dans les autres salles investiguées et la concentration à l'extérieur est, quant à elle, inférieure à la limite de quantification. Ainsi, les sources de pollution proviennent en grande partie de l'intérieur du bâtiment et sont a priori plus présentes dans la salle n°6. Les sources potentielles de 2-butoxyéthanol sont les peintures, vernis et

produits de traitement du bois ainsi que les herbicides et fongicides. A priori aucun meuble ou matériau neuf n'a été installé dans cette salle avant ou pendant la campagne de mesures. D'après le questionnaire d'activités rempli par le personnel de l'école, les activités scolaires (pouvant utiliser de la peinture ou du vernis) pratiquées dans les quatre salles sont homogènes. Au vu des informations disponibles, les sources de 2-butoxyéthanol n'ont pas pu être clairement identifiées.

Les concentrations en α -pinène et limonène sont plus élevées dans la salle n°6 que dans les trois autres salles investiguées. La concentration à l'extérieur est quant à elle inférieure à la limite de quantification. Ainsi, les sources de pollution proviennent en grande partie de l'intérieur du bâtiment et sont a priori plus présentes dans la salle n°6. Les sources potentielles en α -pinène et limonène sont les produits d'entretien, désodorisants et parfums d'intérieur. D'après les questionnaires d'activités remplis par le personnel de l'école, les activités de ménage dans les quatre pièces investiguées sont homogènes (produits utilisés identiques, fréquences identiques, ouverture des fenêtres pendant le ménage dans tous les cas). Au vu des informations disponibles, les sources de α -pinène et limonène n'ont pas pu être clairement identifiées.

La concentration en n-hexane est plus élevée dans la salle n°6 que dans les autres salles investiguées et la concentration à l'extérieur est quant à elle faible. Ainsi, les sources de pollution proviennent en grande partie de l'intérieur du bâtiment et sont a priori plus présentes dans la salle n°6. Les sources potentielles de n-hexane sont les solvants et les produits pétroliers. A priori aucun meuble ou matériau neuf n'a été installé dans cette salle avant ou pendant la campagne de mesures. Au vu des informations disponibles, les sources de n-hexane n'ont pas pu être clairement identifiées.

Les concentrations en NO₂ mesurées à l'intérieur du bâtiment sont nettement inférieures à la concentration observée à l'extérieur ce qui suggère que les sources majoritaires de NO₂ se trouvent à l'extérieur du bâtiment (trafic routier). Par ailleurs le système de ventilation permet sans doute de diminuer les concentrations en air intérieur.

Contamination fongique

Les surfaces contaminées sont petites et localisées. La présence de mycélium dans les prélèvements des deux salles de classe (n°4 et 11) indique une croissance active des moisissures sur les deux supports, en particulier dans la salle n°11 où il est isolé en abondance. Les moisissures isolées sur les murs des deux salles de classe de l'école Bourg Le Comte sont des moisissures typiques des environnements intérieurs présentant des problèmes d'humidité. Parmi les moisissures présentes, la plupart ont une potentialité allergisante (*Cladosporium sphaerospermum*, *Cladosporium cladosporioides*, *Penicillium* sp, *Alternaria* sp, *Aspergillus versicolor*) (cf. paragraphe 3.1). De plus, certaines d'entre elles sont capables, dans certaines conditions environnementales, de produire des mycotoxines. En effet, les spores d'*Aspergillus versicolor* sont toxiques et cette espèce serait responsable d'irritations des muqueuses du nez et de la gorge. (*Synthèse extraite des conclusions formulées dans le rapport du LHVP*)

Les développements fongiques sont dus à une humidité des supports. Nous pouvons avancer plusieurs hypothèses quant à l'origine de l'humidité.

Tout d'abord, la structure du bâti pourrait générer des ponts thermiques et donc la formation de condensation sur les parties froides des parois (plafonds, haut des murs, angles des murs). Les débits d'extraction d'air semblent insuffisants par rapport au nombre d'occupant des pièces. De même que les habitudes d'aération par ouverture des portes et fenêtres. L'association de ces différents facteurs pourrait expliquer l'humidité des supports ainsi que la formation et la croissance de moisissures sur les parois.

7. Conclusion et recommandations

Les résultats présentés dans ce rapport se basent sur la réalisation d'une campagne de mesures dans quatre salles de classe de l'école Bourg Le Comte en novembre 2014. Les mesures concernent le confinement et les paramètres de confort (concentration en CO₂, indice ICONE, température, humidité relative et débits d'extraction d'air), les polluants gazeux et la contamination fongique (moisissures).

Les principales conclusions sont les suivantes :

- Durant la semaine de mesure, l'humidité relative est restée comprise entre les bornes de 20 et 70% qui sont généralement admises comme satisfaisantes.
- Les débits d'air extrait mesurés dans les salles investiguées sont inférieurs aux débits minimaux réglementaires du RSDT (15 m³/h.personne) au regard du nombre d'enfants accueillis dans ces pièces.
- Les salles n° 9 et 10 présentent un confinement élevé à très élevé (indice ICONE de 3 à 4). Les salles n°2 et 6 présentent, elles, un confinement moyen (indice ICONE = 2). Dans tous les cas, les indices de confinement ne dépassent pas la valeur-limite de 5 (décret n°2012-14 [1]) au-delà de laquelle des actions de recherche des causes sont à entreprendre rapidement. Néanmoins, dans le cas d'un indice 4, il est nécessaire de vérifier que l'occupation des pièces est conforme au taux d'occupation prévu. Lorsque les salles sont équipées d'un dispositif spécifique de ventilation, il est souhaitable de faire intervenir un spécialiste pour procéder à une inspection de l'installation. Il est également souhaitable d'améliorer les conditions d'aération de ces salles en procédant à des ouvertures plus fréquentes des fenêtres pendant les périodes d'occupation. [13]
Il est toutefois important de garder à l'esprit que ces résultats proviennent d'une unique campagne de mesures réalisée en novembre 2014. Les concentrations en CO₂ et les indices de confinement peuvent être plus faibles lors des périodes estivales.
- Concernant les polluants gazeux pris en compte par la surveillance réglementaire, à savoir le benzène et le formaldéhyde, on peut noter qu'aucune valeur-limite n'est dépassée. Les résultats pour le benzène sont inférieurs aux VGAI de 2013 et 2016. Les résultats pour le formaldéhyde sont inférieurs à la VGAI de 2015 mais légèrement supérieurs à la VGAI de 2023. En règle générale, les concentrations en formaldéhyde diminuent dans le temps (diminution des émissions des matériaux). Cependant, en cas de travaux ou d'introduction de matériaux ou de mobiliers neufs dans l'école les émissions peuvent augmenter de nouveau.
- Concernant les autres polluants gazeux provenant de sources à l'intérieur du bâtiment, deux salles de classe se distinguent lors de cette campagne de mesures. La salle n°2 où la concentration en 1-méthoxy-2-propanol est importante et plus élevée que dans les autres salles investiguées. Et la salle n°6 où les concentrations en α -pinène, limonène, 2-butoxyéthanol et n-hexane sont plus élevées que dans les autres salles investiguées. Cependant, au vu des informations disponibles, les sources n'ont pas pu être clairement identifiées.
- Les prélèvements réalisés dans deux salles de classe dans lesquels des moisissures étaient visibles révèlent la présence de mycélium. Ce constat indique que les moisissures présentes sont en phase de croissance active. Par ailleurs, les moisissures isolées sur les murs des deux salles de classe de l'école Bourg Le Comte sont des moisissures typiques des environnements intérieurs présentant des problèmes d'humidité. Enfin, parmi les moisissures présentes, la plupart ont une potentialité allergisante et certaines peuvent produire, dans certaines conditions, des mycotoxines irritantes pour les muqueuses.

Le Laboratoire d'Hygiène de la Ville de Paris qui a réalisé les analyses de moisissures indique que « *les développements fongiques sont dus à une humidité des supports* ». Le laboratoire recommande « *qu'une recherche de l'origine de l'humidité soit entreprise et des mesures pour y remédier appliquées dans les meilleurs délais* » et signale « *qu'une amélioration de la ventilation contribuerait à l'élimination de l'humidité – mais aussi d'éventuels autres polluants intérieurs - et permettrait ainsi de limiter le développement des moisissures. Enfin, dans l'immédiat, afin de limiter l'exposition des occupants des locaux, les surfaces moisies des deux salles de classe doivent être soigneusement nettoyées (selon le protocole en Annexe 2). Lorsque cela n'est pas possible, les matériaux moisies doivent être retirés et éliminés, en particulier s'il s'agit de matériaux poreux.* »

8. Pages complémentaires

8.1. Annexes

Liste des annexes :

Annexe 1: Sources potentielles

Annexe 2: Lignes directrices applicables à l'élimination d'une contamination fongique en environnement intérieur et protocole de décontamination des moisissures (LHVP)

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

Annexe 4: Résultats bruts des polluants gazeux

Annexe 1 : Sources potentielles

Les sources potentielles de COV, d'aldéhydes et NO₂.

Composés	Sources potentielles
benzène	Carburants, fumée de cigarette, produits de bricolage, d'ameublement, de construction et de décoration, encens, désodorisants liquides
1-méthoxy-2-propanol	Laques, peintures, vernis, savons, cosmétiques
α-pinène	Désodorisants, parfums d'intérieur, produits d'entretien, bois, cire
limonène	Bois, désodorisants, parfums d'intérieur, cire, nettoyeurs sol
2-butoxyéthanol	Peintures, vernis, fongicides, herbicides, traitement du bois, calfatage siliconé
n-hexane	Solvants et produits pétroliers
Formaldéhyde	Photochimie, réaction ozone/terpènes, peintures et colles en phase aqueuse, produits de construction et de décoration avec colles ou liants urée-formol, livres et magazines neufs, textiles, photocopieurs, imprimantes laser, désinfectants et produits de nettoyage
Dioxyde d'azote	Processus de combustion (cuisson, chauffage, fumée de cigarettes, encens, trafic routier)

Annexe 2 : Lignes directrices applicables à l'élimination d'une contamination fongique en environnement intérieur et protocole de décontamination des moisissures (LHVP)



Lignes directrices applicables à l'élimination d'une contamination fongique en environnement intérieur

Qu'est-ce qu'une moisissure ?

Les moisissures sont des champignons microscopiques qui peuvent se développer sur les surfaces en milieu intérieur lorsque l'humidité est excessive. Leur élimination est alors nécessaire car, en plus de l'altération apparente des matériaux, elles peuvent avoir des effets délétères sur la santé, notamment la santé respiratoire.

Les moisissures sont des microorganismes vivants et autonomes constitués de mycélium (filaments) et de spores (organes de reproduction et de dispersion). Le mycélium s'incruste plus ou moins profondément dans l'épaisseur du matériau contaminé en fonction de la nature de celui-ci : le plâtre et le bois sont susceptibles d'être contaminés en profondeur, les traitements de surface n'auront alors qu'une efficacité provisoire. Les spores sont des particules de très petites tailles qui peuvent être véhiculées et contaminer d'autres matériaux.

Quels sont les objectifs des travaux d'élimination des moisissures ?

Le protocole d'élimination des moisissures a trois objectifs essentiels :

1- Protéger la santé des occupants.

Les actions d'élimination des moisissures étant susceptibles de remettre en suspension dans l'air une quantité importante d'éléments fongiques, il est important de tenir les occupants des locaux éloignés des zones à traiter, en particulier les personnes à risque (personnes âgées, enfants de moins de 12 mois, personnes greffées, immunodéprimées, malades respiratoires et allergiques chroniques...).

2- Protéger les personnes qui effectuent les travaux de décontamination.

Les travaux sont susceptibles d'exposer les personnes à de grandes quantités de spores. C'est pourquoi les travailleurs doivent utiliser les moyens de protection suivants :

- une tenue de travail spécifique et adaptée ;
- le port de lunettes de sécurité pour ne pas exposer les muqueuses oculaires ;
- le port d'une protection respiratoire aux caractéristiques de rétention particulaire au minimum de type FFP1 ;
- le port de gants adaptés (gants en latex, nitrile, cuir ou PVC selon les tâches et le risque associé) pour protéger les mains des produits chimiques éventuellement utilisés et des blessures lors de la manipulation des matériaux contaminés à éliminer.

Mise en garde : toute personne ressentant des troubles respiratoires doit cesser immédiatement tous travaux sur ou à proximité de surfaces contaminées.

3- Nettoyer les matériaux contaminés ou s'en débarrasser tout en empêchant le passage de moisissures des zones contaminées aux zones propres.

Avant le début des travaux, les zones contaminées devront être recouvertes d'une bâche en plastique scellée à l'aide de ruban adhésif, afin de contenir les éléments fongiques, ainsi que les débris et poussières contaminés.

Attention : avant d'entreprendre tous travaux d'élimination, une attention particulière doit être portée sur la présence éventuelle d'autres nuisances environnementales telles que l'amiante et le plomb. En cas de risque avéré, les travaux doivent être réalisés par un professionnel qualifié.

Comment éliminer efficacement les moisissures ?

Les mesures efficaces d'élimination des moisissures consistent à retirer en profondeur le mycélium, à le détruire efficacement et à éviter la dispersion des spores.

NETTOYER OU ELIMINER LES MATERIAUX CONTAMINES

matériaux <u>non poreux</u> (métaux, verre et plastiques durs...)	→	ils peuvent être nettoyés dans la majorité des cas
les matériaux <u>semi-poreux</u> (bois, béton...)	→	ils peuvent être nettoyés si leur structure est saine
les matériaux <u>poreux</u> (panneaux de gypse (placoplâtre), dalles de plafond, isolant...)	→	ils doivent être retirés et éliminés s'ils comportent plus qu'une petite surface contaminée.

Les cloisons en gypse doivent être nettoyées ou retirées sur au moins 15 cm autour de la contamination visible ou de la zone humide.

COMMENT NETTOYER ?

Le principe du nettoyage repose sur :

- ✓ l'application d'une solution détergente et le grattage de la surface
- ✓ éventuellement l'application, dans un deuxième temps, d'une solution désinfectante à activité fongicide (selon la norme EN 1275)

Les recommandations dépendent de l'étendue des zones contaminées à traiter :

<1 m², 1-10 m², > 10 m²

Si plusieurs pièces sont concernées,
commencer par la pièce présentant la contamination la moins étendue.

A ce jour, la recherche n'a pas mis en évidence de lien direct entre l'étendue de la contamination et la fréquence ou la gravité des problèmes de santé. Cependant, plus la surface de matériaux contaminés augmente, plus le potentiel d'exposition augmente et plus le besoin de limiter la dispersion des poussières et l'exposition des travailleurs lors de la décontamination est important. Les procédures de décontamination ont été définies à partir de la taille des zones impactées par la prolifération fongique aussi bien que par des considérations pratiques.

RESOUDRE LE PROBLEME D'HUMIDITE

L'humidité intérieure peut avoir plusieurs origines : fuites en façade ou en toiture, inondations, condensation, humidité relative importante.
Il peut être nécessaire de faire appel à un spécialiste du bâtiment afin d'identifier et de réparer les désordres liés au bâtiment.

Dans tous les cas, l'origine du problème d'accumulation d'eau doit être identifiée et corrigée afin de prévenir la réapparition des moisissures.

Sources :

- Lignes directrices applicables à l'évaluation et l'élimination d'une contamination fongique en environnement intérieur - Service d'hygiène de la ville de New York - 2008

- Contaminations fongiques en milieux intérieurs, diagnostic, effets sur la santé respiratoire, conduites à tenir - Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France : Septembre 2006 - <http://www.sante.gouv.fr/rapports-de-la-section-des-milieux-de-vie.html>



PROTOCOLE DE DECONTAMINATION DES MOISSURES

PETITES SURFACES

INFÉRIEURES A 1m²

Au moment du nettoyage, **tenir éloignés les occupants des locaux**, en particulier les personnes à risque (personnes âgées, enfants de moins de 12 mois, personnes greffées, immunodéprimées, malades respiratoires et allergiques chroniques...).

1. Se protéger avec un **masque de protection respiratoire** de type FFP1, porter des **gants** et des **lunettes de sécurité**.



2. Avant de commencer le nettoyage, recouvrir d'une **bâche plastique** fermée hermétiquement à l'aide de ruban adhésif les surfaces et objets non lavables (moquette, équipements électriques...).

3. **Humidifier légèrement** la surface moisie avec une **solution détergente**, puis **frotter** et **gratter** jusqu'à élimination totale des moisissures, en faisant attention à ne pas générer trop de poussières.



Ne pas trop mouiller la surface afin de ne pas retarder son séchage.

4. Appliquer éventuellement, dans un deuxième temps, **une solution désinfectante** à activité fongicide (selon la norme EN 1275).



Ne jamais mélanger l'eau de Javel avec des produits ammoniacés (certains détergents) ou acides (détartrants par exemple) en raison de dégagements toxiques.

5. **Retirer les matériaux poreux** (isolants, plâtre et dérivés) ne pouvant pas être nettoyés, les mettre dans un sac plastique fermé hermétiquement et les éliminer rapidement.



Veiller à prendre toutes dispositions pour que les matériaux moisies ne soient pas récupérés et donc réutilisés (mise en décharge).

6. Après nettoyage, **éliminer les bâches plastiques** ainsi que les **éponges, chiffons utilisés**.



7. Dépoussiérer la zone de travail avec un **aspirateur équipé d'un filtre HEPA** (Haute Efficacité pour Particules Aériennes).



8. **Aérer** la pièce

9. Bien **sécher les matériaux** décontaminés.



Surveiller régulièrement le support afin de vérifier l'absence de réapparition des moisissures.

Attention ! **Toute personne ressentant des troubles respiratoires doit immédiatement cesser tous travaux sur ou à proximité de surfaces contaminées.**

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

Les statistiques descriptives concernant la température pour la campagne à l'école Bourg Le Comte sont rassemblés dans le tableau suivant :

Température (en °C)	Moyenne	Maximum	Minimum	Moyenne en période d'occupation
Classe 2	18.3	20.6	16.0	19.6
Classe 6	17.8	19.9	16.5	18.8
Classe 9	17.8	21.2	15.7	19.6
Classe 10	17.8	20.5	16.0	19.1
Extérieur	8.6	10.7	5.7	/

Les statistiques descriptives concernant l'humidité relative pour la campagne à l'école Bourg Le Comte sont rassemblés dans le tableau suivant :

Humidité relative (en %)	Moyenne	Maximum	Minimum	Moyenne en période d'occupation
Classe 2	50.1	61.9	43.7	51.2
Classe 6	52.7	63.1	46.5	54.4
Classe 9	52.1	65.1	45.1	54.7
Classe 10	52.8	61.8	46.4	53.6
Extérieur	85	93	75	/

Les statistiques descriptives concernant la concentration en CO₂ pour la campagne à l'école Bourg Le Comte sont rassemblés dans le tableau suivant :

Concentration en CO ₂ (en ppm)	Moyenne	Maximum	Minimum	Moyenne en période d'occupation
Classe 2	757.6	1843	454	1167.0
Classe 6	733.8	2081	434	1184.4
Classe 9	872.5	3349	409	1725.2
Classe 10	790.2	2362	414	1265.2

Annexe 4 : Résultats bruts des polluants gazeux

L'ensemble des résultats bruts concernant les polluants gazeux prélevés du 17 au 21 novembre 2014 à l'école Bourg Le Comte sont rassemblés dans le tableau suivant (valeurs moyennes sur 4.5 jours) :

Concentrations ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Salle 2	Salle 6	Salle 9	Salle 10	Extérieur	Blanc de site
n-hexane	0.9	4.0	0.7	0.5	0.4	<0.1
benzène	1.3	1.3	1.6	1.2	1.1	<0.1
1-méthoxy-2-propanol	51.9	15.0	4.5	5.2	<0.1	<0.1
trichloroéthylène	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
toluène	2.5	2.4	2.4	2.1	2.3	<0.1
tétrachloroéthylène	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	<0.1
1-méthoxy-2-propyl acétate	0.9	0.3	nq	nq	<0.1	<0.1
éthylbenzène	0.6	0.6	1.1	0.7	0.4	<0.1
m/p/o-xylènes	2.0	2.1	3.5	2.5	1.3	<0.1
styrène	0.4	0.3	0.4	0.3	0.1	<0.1
2-butoxyéthanol	1.9	4.6	0.7	1.8	<0.1	<0.1
α-pinène	8.3	29.9	8.9	21.6	<0.1	<0.1
n-décane	2.4	2.4	3.1	3.0	1.3	<0.1
1,2,4-triméthylbenzène	0.8	0.8	3.2	2.1	0.4	<0.1
1,4-dichlorobenzène	0.1	<0.1	<0.1	0.1	<0.1	<0.1
limonène	31.9	49.5	13.1	36.7	0.1	<0.1
2-butoxyéthyl acétate	0.6	0.7	<0.3	0.4	<0.3	<0.3
n-undécane	2.7	3.2	5.6	3.5	1.1	<0.1
naphtalène	0.7	0.6	0.9	0.5	0.3	<0.1
formaldéhyde	18.4	18.8	12.1	15.5	1.3	0.02
acétaldéhyde	8.1	8.1	6.3	9.5	0.02	0.02
propanal	0.9	0.8	0.8	0.8	0.3	<LQ
butanal	3.3	3.0	3.6	3.4	0.6	<LQ
benzaldéhyde	0.3	0.3	0.2	0.3	<LQ	<LQ
isopentanal	0.5	0.5	0.4	0.5	0.2	<LQ
pentanal	1.0	0.9	0.8	1.0	0.2	<LQ
hexanal	4.7	4.4	4.1	5.2	<LQ	<LQ
NO₂	9.7	9.0	10.6	8.4	23.9	<LQ

<LQ : inférieur à la limite de quantification
nq : non quantifiable

8.2. Bibliographie

- [1] Décret n° 2012-14 du 5 janvier 2012 relatif à l'évaluation des moyens d'aération et à la mesure des polluants effectués au titre de la surveillance de la qualité de l'air intérieur de certains établissements recevant du public [en ligne]. Journal officiel, n° 0005 du 6 janvier 2012, p. 262. Disponible sur : www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000025105291&dateTexte=&categorieLien=id (consulté le 30.01.2015).
- [2] Décret n° 2011-1727 du 2 décembre 2011 relatif aux valeurs guides pour l'air intérieur pour le formaldéhyde et le benzène [en ligne]. Journal officiel, n° 0281 du 4 décembre 2011, p. 20529. Disponible sur : www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000024909119&dateTexte=&categorieLien=id (consulté le 30.01.2015).
- [3] DEOUX Suzanne. Bâtir pour la santé des enfants. Andorra : Medico Editions, 2010, 689 p. ISBN 978-99220-1-770
- [4] Décret n° 2011-1728 du 2 décembre 2011 relatif à la surveillance de la qualité de l'air intérieur dans certains établissements recevant du public [en ligne]. Journal officiel, n° 0281 du 4 décembre 2011, p. 20530. Disponible sur : www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000024909128&categorieLien=id (consulté le 30.01.2015).
- [5] Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France. Contaminations fongiques en milieux intérieurs, diagnostic, effets sur la santé respiratoire, conduites à tenir [en ligne]. Septembre 2006. Disponible sur : www.sante.gouv.fr/IMG/pdf/Contaminations_fongiques_en_milieux_interieurs.pdf (consulté le 30.01.2015)
- [6] BRIAND E. Guide de gestion de la qualité de l'air intérieur dans les établissements recevant du public. Paris, France : Direction générale de la santé, août 2010, 78 p. Disponible sur : www.sante.gouv.fr/IMG/pdf/guid0910.pdf (consulté le 30.01.2015).
- [7] Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie et Ministère des Affaires sociales et de la Santé. La surveillance de la qualité de l'air intérieur dans les lieux accueillant des enfants [en ligne]. SG/DICOM/DIE, 2012, 16 p. Disponible sur : http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Brochure_Qualite-air-ecoles_2018-2023.pdf (consulté le 30.01.2015).
- [8] MICHELOT N., MANDIN C., RAMALHO O., et al. Campagne pilote de surveillance de la qualité de l'air dans les écoles et crèches en France, résultats de la première phase. Pollution atmosphérique [en ligne]. Juillet-septembre 2011, n° 211, pp. 267-279. Disponible sur : www.scienceaction.asso.fr/userfiles/Article-air-interieur.pdf (consulté le 30.01.2015).
- [9] RAMALHO O., MANDIN C., RIBERON J., et al. Air stuffiness and air exchange rate in french schools and day-care centres [en ligne]. International journal of ventilation, septembre 2013, vol. 12, n°2, 175-180 pp. ISSN 1473-3315. Disponible sur : www.aivc.org/resource/air-stuffiness-and-air-exchange-rate-french-schools-and-day-care-centres (consulté le 08.01.2015).
- [10] Circulaire du 20 janvier 1983 relative à la révision du règlement sanitaire départemental type (RSDT) [en ligne]. Journal officiel du 25 février 1983. Disponible sur : <http://www.eure.gouv.fr/content/download/2511/16588/file/Acc%C3%A9der%20au%20R%C3%A8glement%20Sanitaire%20D%C3%A9partemental.pdf> (consulté le 07.04.2015).
- [11] Agence Nationale de Sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail. Proposition de valeurs guides de qualité de l'air intérieur, le dioxyde d'azote [en ligne]. ANSES éditions, mars 2013, 150p. Disponible sur : www.anses.fr/fr/documents/AIR2011sa0021Ra.pdf (consulté le 30.01.2015).
- [12] Campagne pilote de surveillance de la qualité de l'air intérieur, Phase 2, 2010-2011, données communiquées par le CSTB.
- [13] RIBERON J., RAMALHO O., MANDIN C., et al. Guide d'application pour la surveillance du confinement de l'air dans les établissements d'enseignement, d'accueil de la petite enfance et d'accueil de loisirs [en ligne]. Mai 2012, DESE/Santé n°2012-086R, 10p. Disponible sur : www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Protocole_surveillance_confinement_Mai12_finale.pdf (consulté le 08.01.2015).
- [14] European Commission, Joint Research Centre, Institute for Health and Consumer Protection, Physical and Chemical Exposure Unit, Ispra. The INDEX project : Critical Appraisal of Setting and Implementation of Indoor Exposure Limits in the European Union [en ligne]. Janvier 2005, 337 p. Disponible sur : http://ec.europa.eu/health/ph_projects/2002/pollution/fp_pollution_2002_frep_02.pdf (consulté le 26.01.2015).
- [15] PELLETIER F. LE MEUR S. Evaluation de la qualité de l'air intérieur – crèche du CHU de Rouen [en ligne]. Air Normand, décembre 2013, 48p. Disponible sur : www.airnormand.fr (consulté le 24.03.2015).
- [16] Observatoire de la qualité de l'air intérieur. Qualité de l'air intérieur, qualité de vie – 10 ans de recherche pour mieux respirer. CSTB éditions, août 2011, 208p. ISBN 978-2-86891-505-4.