

Evaluation de la qualité de l'air intérieur Écoles Pépinières Saint Julien - Rouen

Evaluation des paramètres de confort et de la contamination fongique
(phase 2)

Décembre 2015



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° 1180-009-6

Le 11 avril 2016,

La rédactrice,
Fiona PELLETIER

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

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

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

www.airnormand.fr

Résumé

Dans le cadre du second Plan Régional Santé Environnement (PRSE), 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.

Les parents d'élèves du groupe scolaire Pépinières Saint Julien ainsi que la ville de Rouen ont souhaité bénéficier de l'intervention d'Air Normand et de l'ARS du fait de la présence récurrente de moisissures dans certaines salles de classes du groupe scolaire. Air Normand, en collaboration avec l'ARS et les services de la ville de Rouen a réalisé une première campagne de mesures de la QAI en avril 2014 puis une seconde en décembre 2015. Entre ces deux dates, la ville de Rouen a procédé à des travaux de nettoyage, rénovation et isolation.

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.

Le présent rapport présente les résultats de l'étude de décembre 2015.

- Les 2 classes de l'école primaire qui ont été investiguées présentent un confinement très élevé (indice ICONÉ = 4). Les 2 classes de l'école maternelle présentent, elles, un confinement élevé à très élevé (indice ICONÉ de 3 à 4). 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. 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, si aucun système de ventilation mécanique n'existe.
- Des moisissures ont été prélevées derrière le faux-plafond dans une des salles de l'école élémentaire. Les prélèvements réalisés révèlent la présence de mycélium. Ce constat indique que les moisissures présentes ont une croissance active. Les moisissures isolées sont des moisissures typiques des environnements intérieurs présentant des problèmes d'humidité. Parmi les moisissures présentes, la plupart ont une potentialité allergisante. Et une des espèces de moisissure présente, l'*Aspergillus versicolor*, peut également produire des spores toxiques (qui peuvent provoquer des irritations des muqueuses du nez et de la gorge).
- Par rapport à 2014, le confinement des salles de classe investiguées est équivalent ou plus important. Seule une salle de classe de l'école élémentaire présente une concentration moyenne en CO₂ plus faible en 2015 qu'en 2014. Enfin, une seule salle de classe de l'école élémentaire présente en 2015 des traces visibles de contamination fongique (derrière le faux-plafond).

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	8
3.4. Matériel et modèles	8
3.5. Méthode	10
3.6. Origine des données	11
3.7. Limites	11
4. Déroulement	11
5. Résultats	11
5.1. Résultats bruts	11
5.2. Résultats transformés	11
5.2.1. Paramètres de confort	11
5.2.1.1. Température	12
5.2.1.2. Humidité relative	13
5.2.1.3. Dioxyde de carbone (CO ₂)	14
5.2.1.4. Indice de confinement	19
5.2.2. Contamination fongique	20
6. Interprétation des résultats et discussion	21
7. Conclusion et recommandations	25
8. Pages complémentaires	28
8.1. Annexes	28
8.2. Bibliographie	32

1. Sigles, symboles et abréviations

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

MEDDE : Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie

µg/m³ : microgramme par mètre cube

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

RSD : Règlement Sanitaire Départemental

VMC : Ventilation Mécanique Contrôlée

2. Introduction

Suite à une plainte des parents d'élèves des écoles maternelle et élémentaire Pépinières Saint Julien situées à Rouen (rive gauche), Air Normand a réalisé une première campagne de mesure de la QAI dans plusieurs salles de classe de ce groupe scolaire en avril 2014. Les résultats de cette première étude sont disponible sur le site www.airnormand.fr (rapport n°1180-009-2 publié le 20/01/2015). Les objectifs de ces mesures étaient d'évaluer le niveau de confinement des différentes salles des écoles et de déterminer l'importance de la contamination fongique. A la suite de cette première étude, la ville de Rouen a réalisé des travaux de nettoyage des surfaces contaminées, de renouvellement des grilles de ventilation, de rénovation (peintures) et d'isolation des plafonds dans certaines salles de classe. Une fois que ces différents travaux ont été terminés, une nouvelle campagne de mesures a été réalisée selon la même méthode, en décembre 2015 (en condition hivernale).

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 le thème de la QAI.

Ce document, destiné en premier lieu aux utilisateurs des écoles Pépinières Saint Julien, aux parents d'élèves et à la ville de Rouen, détaille les différents paramètres mesurés, les techniques de mesures utilisées et les résultats obtenus en décembre 2015.

Le rapport est ensuite rendu disponible sur le site www.airnormand.fr pour tout public intéressé.

3. Eléments nécessaires à la compréhension du document

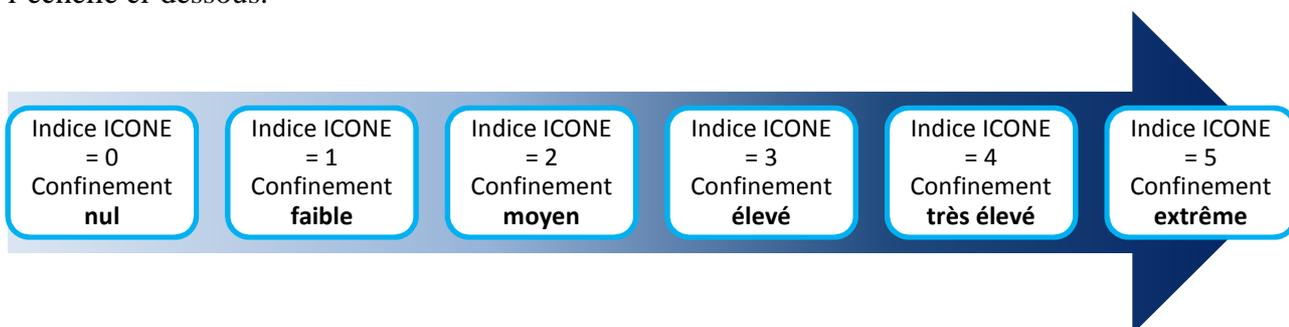
3.1. Définitions

Humidité relative :

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. [1]

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°2015-1000 [2]). L'état du confinement est évalué grâce à la valeur de l'indice ICONNE selon l'échelle ci-dessous.



Formule de calcul de l'indice de confinement :

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

Avec : f_1 : proportion de valeurs comprises entre 1 000 et 1 700 ppm
 f_2 : proportion de valeurs supérieures à 1 700 ppm

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

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

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

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" [3]. 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 sp*</i>	-	X	X	-
<i>Stachybotrys chartarum</i>	-	X	-	X
<i>Trichoderma</i>	-	X	-	X
<i>Trichothecium</i>	-	X	-	-

* Espèces ou genres fongiques identifiés dans la salle de classe.

3.2. Contexte

La problématique "Bâtiment – Santé" a émergé dans les années 70, alors que les politiques d'économie d'énergie recommandaient une isolation plus importante des bâtiments. Depuis, la qualité de l'air intérieur a fait l'objet d'une attention particulière de la communauté scientifique. Les effets sur la santé qui lui sont associés sont en relation avec le temps passé dans les environnements intérieurs : logement, transports, lieux de travail ou de vie scolaire, espaces clos de loisirs, etc. [4]

Les sources d'émissions de substances polluantes sont nombreuses dans les bâtiments : matériaux de construction et d'ameublement, systèmes de chauffage, produits d'entretien, présence et activités humaines, etc. Or, une mauvaise qualité de l'air intérieur peut favoriser l'émergence de symptômes tels que : maux de tête, fatigue, irritations de la peau et des muqueuses, allergies et asthme. [5]

Dans le cadre de son Programme de Surveillance de la Qualité de l'Air (PSQA), 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 (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 le thème de la qualité de l'air intérieur.

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 cette convention.

D'autres études de la QAI ont déjà été réalisées dans des crèches et des écoles en Normandie et au niveau national¹ [5] [6]. 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,
- les dortoirs sont souvent plus confinés que les autres types de pièces.

Suite à la plainte des parents d'élèves du groupe scolaire Pépinières Saint Julien situé sur la rive gauche de Rouen une première campagne de mesure a été réalisée en avril 2014. Les résultats étaient les suivants :

- Le confinement mesuré dans les deux salles de classe de l'école élémentaire est plus élevé que dans les deux salles de classe de l'école maternelle. Les indices de confinement ne dépassent pas la valeur limite définie dans le décret n°2015-1926 [7] et au-delà de laquelle des actions de recherche des causes sont à entreprendre rapidement. Néanmoins, dans les salles de l'école élémentaire où l'indice de confinement est très élevé, il est souhaitable d'améliorer les conditions d'aération de ces salles en procédant à des ouvertures plus fréquentes des fenêtres pendant les périodes d'occupation, si aucun système de ventilation mécanique n'existe [10].
- Les prélèvements de surface réalisés dans les deux salles de classe dans lesquels des moisissures étaient visibles révèlent la présence importante de mycélium. Ce constat indique que les moisissures présentes ont une croissance active. Par ailleurs, les moisissures isolées sur les murs de deux salles de classe des Pépinières Saint Julien sont des moisissures typiques des environnements intérieurs présentant des problèmes d'humidité. Enfin, parmi les moisissures présentes, la plupart ont une potentialité allergisante.

Depuis avril 2014, la ville de Rouen a procédé à des opérations de :

- nettoyage des surfaces contaminées,
- renouvellement des grilles d'aération statique,
- rénovation (peintures des murs des salles de classe),

¹ Campagne nationale pilote dans 300 écoles et crèches (2009-2011).

- isolation des plafonds de certaines salles (et pose de faux-plafonds) dont les deux salles investiguées dans l'école élémentaire.

Suite à ces travaux, Air Normand a réalisé une nouvelle campagne de mesures dans les mêmes salles qu'en 2014 mais dans des conditions hivernales cette fois-ci (où le phénomène de confinement tend à être plus important).

3.3. Approche choisie

Comme en 2014, il a été choisi des réaliser des mesures de :

- température,
- humidité relative,
- concentration en CO₂ et calcul de l'indice de confinement.

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.

La valeur du décret n° 2015-1926 [7] relatif à la surveillance réglementaire de la QAI dans les ERP pour l'indice de confinement :

Valeur-limite = 5

Les valeurs de référence du Règlement Sanitaire Départemental (RSD) [8] pour les concentrations en CO₂ :

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

Les résultats ont aussi été comparés à des valeurs obtenues lors de la campagne nationale pilote dans 300 écoles et crèches (2009-2011) [6].

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

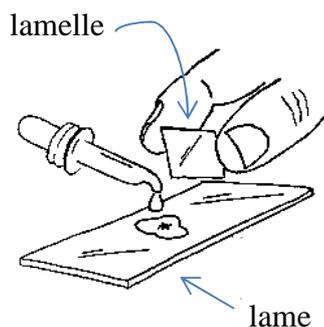
3.4. Matériel et modèles

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> 	Mesures en continu sur un pas de temps de 10 minutes (analyse et enregistrement des données)
Contamination fongique	<p>Ecouvillons et scotch test</p> 	Prélèvements de surface puis analyses en laboratoire (LHVP)

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 des écoles. 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).

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

3.5. Méthode

En décembre 2015, Air Normand a réalisé une nouvelle campagne de mesures dans les mêmes salles de classe qu'en 2014 pour pouvoir effectuer des comparaisons : deux classes de l'école maternelle (classes n° 1 et 3) et deux classes de l'école élémentaire (classes n° 4 et 6). Ces salles sont celles qui présentaient le plus de traces de contamination fongique sur les murs en 2014. La période de mesures est de 4.5 jours (période d'occupation de l'école).

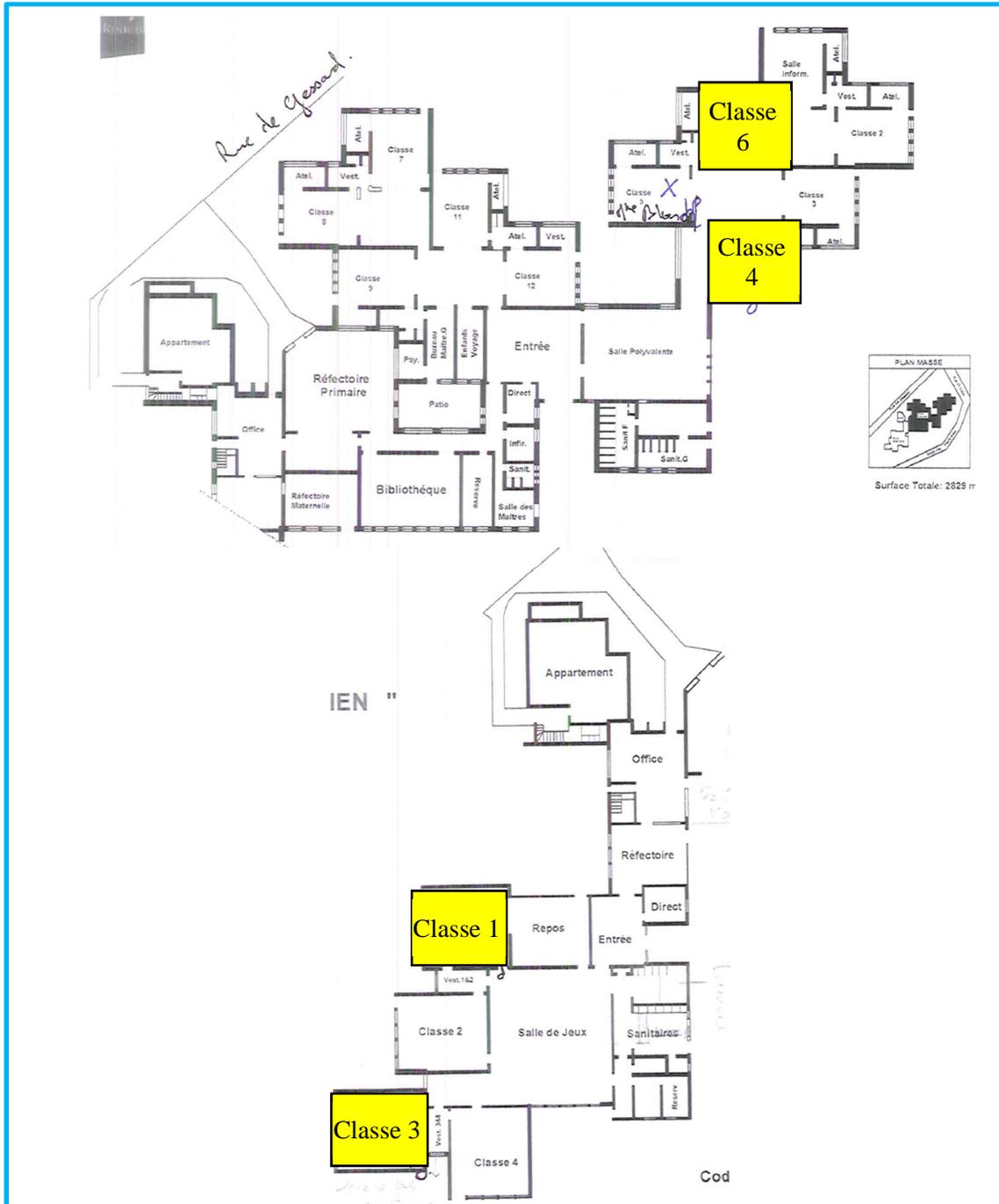


Figure 1 : localisation des sites de mesures aux écoles Pépinières Saint Julien

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) sont directement extraites des appareils de mesures.

Les indices de confinement ICONNE sont calculés à partir des concentrations en CO₂ et des plannings d'occupation remplis par les enseignants des salles investiguées (selon la méthode détaillée dans la partie 3.1).

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

Les valeurs de référence proviennent du décret n° 2015-1926 [7] et du RSD [8]. Les valeurs de comparaison proviennent de la campagne nationale pilote dans 300 écoles et crèches [6] [9].

3.7. Limites

La campagne de mesures est ponctuelle, or les concentrations en polluants (chimiques, physiques ou biologiques) peuvent évoluer au cours du temps. En particulier, les activités pratiquées dans une pièce, le nombre d'occupants et les habitudes d'aération peuvent avoir un impact sur la concentration en CO₂ et le confinement. Par exemple, pendant les périodes hivernales, les habitudes d'aération changent (tendance à diminuer les périodes d'ouvertures des fenêtres), le confinement peut alors augmenter.

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

4. Déroulement

En décembre 2013, Air Normand a reçu une plainte des parents d'élèves des écoles maternelle et élémentaire Pépinières Saint Julien. Suite à cette plainte, Air Normand a réalisé une première campagne de mesures (14 - 18 avril 2014). En 2014/2015 la ville de Rouen a procédé à un certains nombres d'opérations pour améliorer le renouvellement de l'air dans le bâtiment et limiter le phénomène de confinement. Suite à ces travaux, Air Normand a réalisé une nouvelle campagne de mesure dans les même pièces et en condition hivernale : **du lundi 14 au vendredi 18 décembre 2015**.

Les prélèvements de surface ont été effectués le vendredi 18 décembre 2015 puis envoyés au LHVP pour analyses. Les autres données ont été extraites des appareils de mesures puis analysées. 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 surfaces en Annexe 1).

5. Résultats

5.1. Résultats bruts

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

5.2. Résultats transformés

5.2.1. Paramètres de confort

Les résultats détaillés des paramètres de confort sont rassemblés dans l'Annexe 2.

5.2.1.1. 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 extérieure² sur la même période.

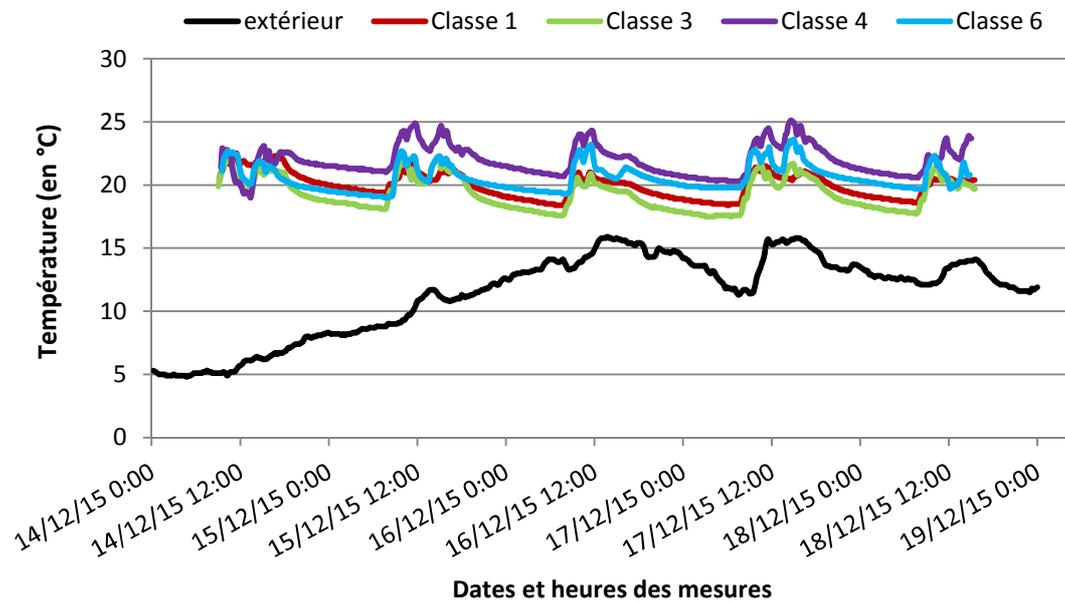


Figure 2 : évolution de la température au cours de la semaine de mesure

La température évolue globalement de la même manière dans les différentes salles investiguées.

Les températures les plus élevées sont observées dans la salle 4 et les plus faibles dans la salle 3. La température varie entre 17,6°C et 25,1°C dans les différentes salles investiguées.

La température est assez stable lorsque que l'école est inoccupée alors qu'elle fluctue beaucoup plus en période de fréquentation des salles de classes. La température augmente de 2 à 5°C en moyenne pendant les périodes d'occupation des différentes salles de classe investiguées.

² Données de la station de mesures d'Air Normand de Grand-Quevilly.

5.2.1.2. 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 extérieure² sur la même période.

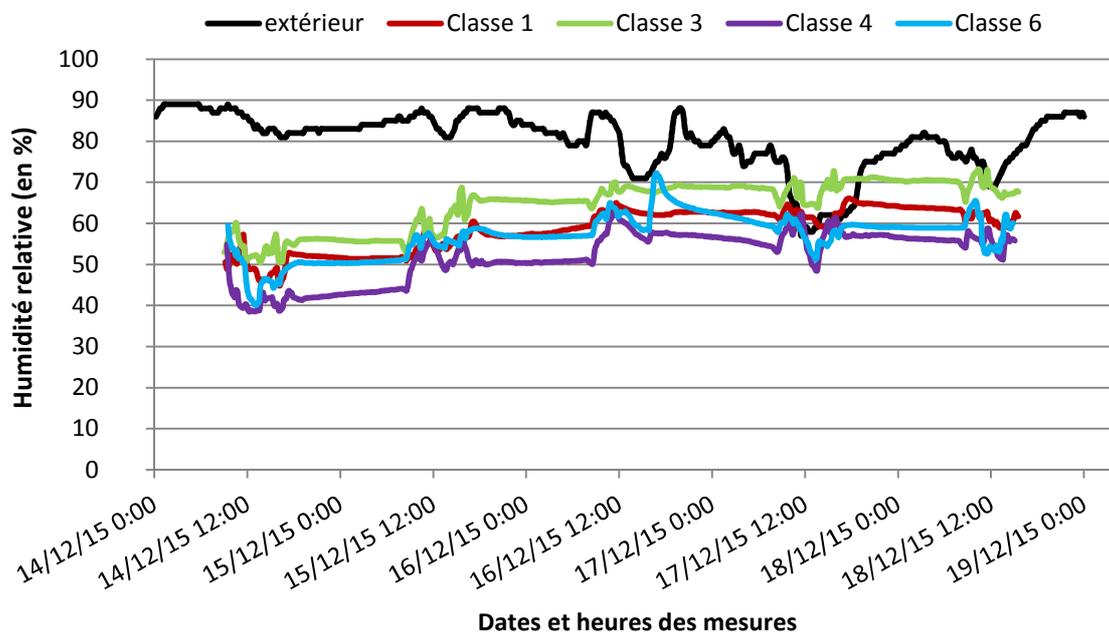


Figure 3 : évolution de l'humidité relative au cours de la semaine de mesure

L'humidité relative évolue globalement de la même manière dans les différentes salles investiguées. Elle 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 la plus importante est observée dans la salle 3 et la moins importante dans la salle 4. Elle augmente de 10% en moyenne pendant les périodes d'occupation des différentes salles de classe investiguées. Les bornes généralement admises comme satisfaisantes pour l'humidité relative sont entre 20 et 70% (cf. partie 3.1). Dans les différentes salles de classes investiguées, elle varie entre 38.6% et 73.2%.

5.2.1.3. Dioxyde de carbone (CO₂)

L'évolution des concentrations en CO₂ dans les 4 salles de classe investiguées est représentée sur les graphes des pages suivantes. Sur ces graphes sont également représentés l'occupation des différentes pièces (informations fournies par les enseignants).

Classe n° 1 :

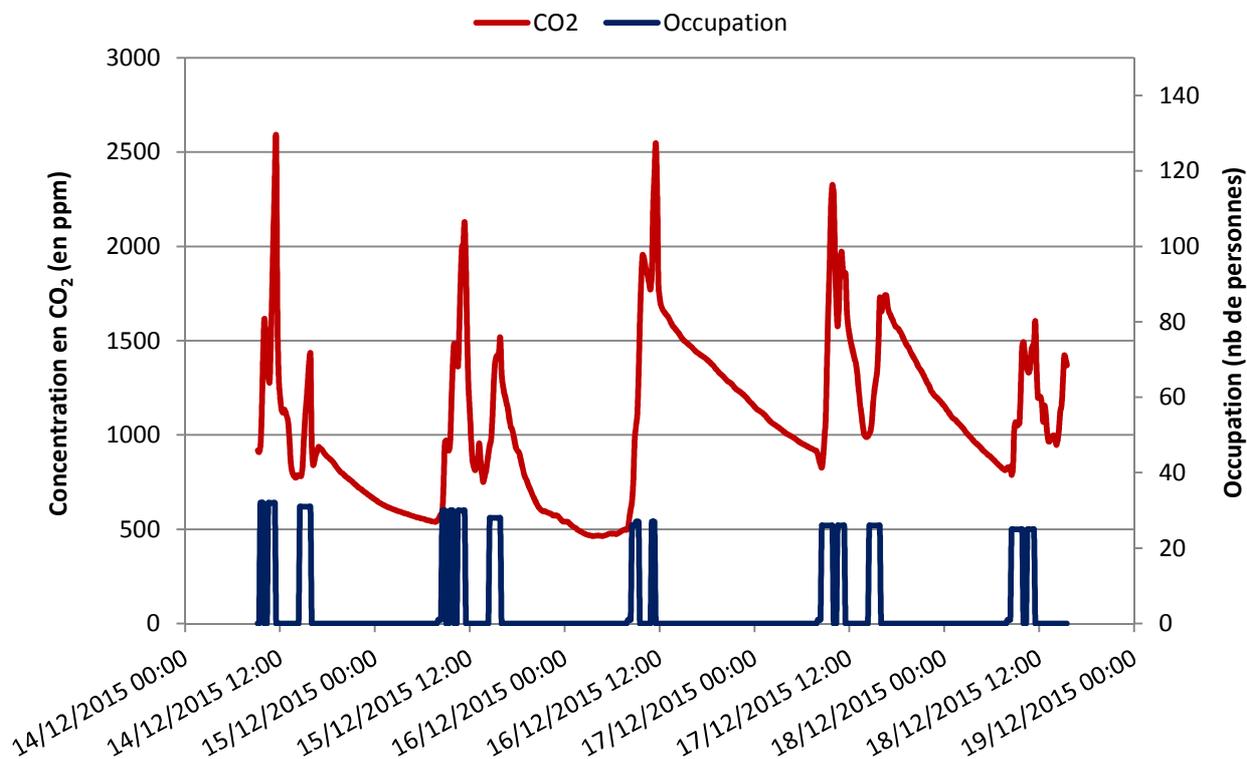


Figure 4 : évolution de la concentration en CO₂ dans la classe n° 1 et périodes d'occupation

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.

La concentration moyenne en CO₂ au cours de la semaine de mesures est de 1065 ppm. La concentration moyenne en CO₂ pendant les périodes d'occupation³ est de 1350 ppm. La concentration maximale observée est de 2570 ppm.

Sur les périodes d'occupation³, on observe un dépassement de la valeur seuil du RSD (1300 ppm) pendant 7,3 heures, soit 51 % de la période d'occupation.

³ Les périodes dites "d'occupation" sont les périodes pour lesquelles au moins 50% de l'effectif total de la salle concernée était présent.

Classe n° 3 :

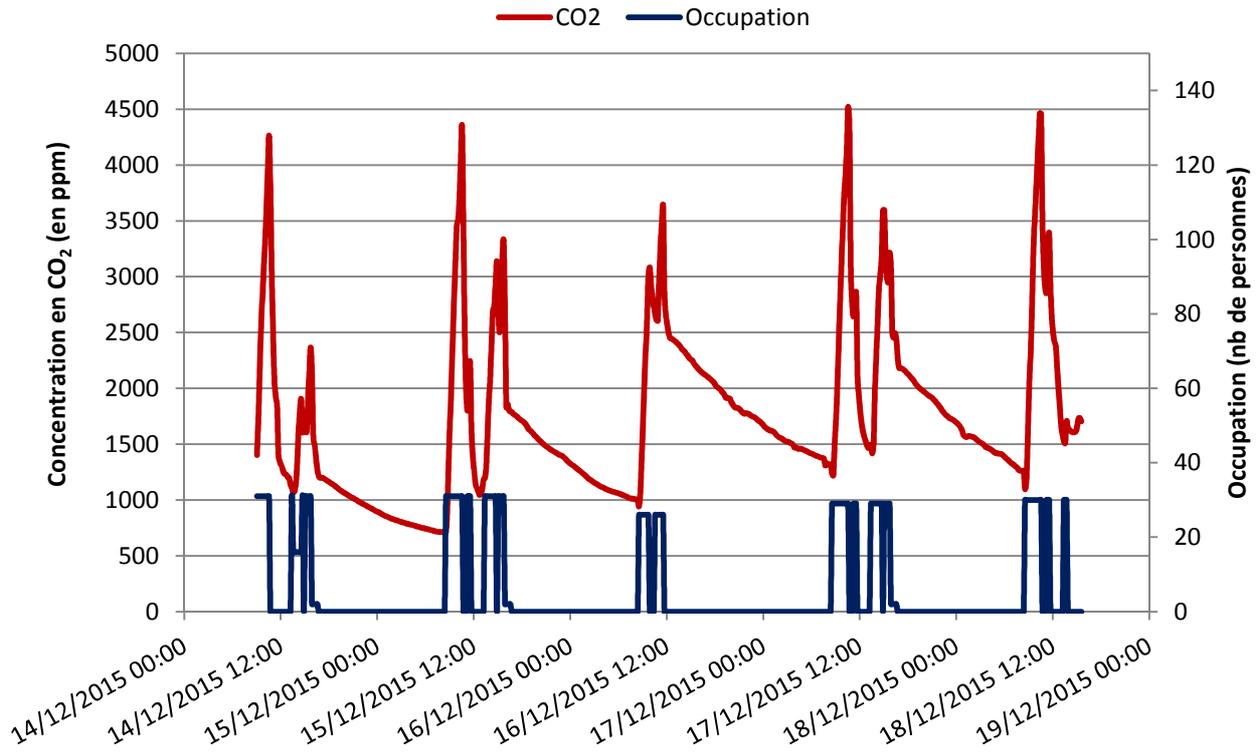


Figure 5 : évolution de la concentration en CO₂ dans la classe n° 3 et périodes d'occupation

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.

La concentration moyenne en CO₂ au cours de la semaine de mesures est de 1736 ppm. La concentration moyenne en CO₂ pendant les périodes d'occupation est de 2555 ppm. La concentration maximale observée est de 4520 ppm.

Sur les périodes d'occupation, on observe un dépassement de la valeur seuil du RSD (1300 ppm) pendant 17,3 heures, soit 88 % de la période d'occupation.

Classe 4 :

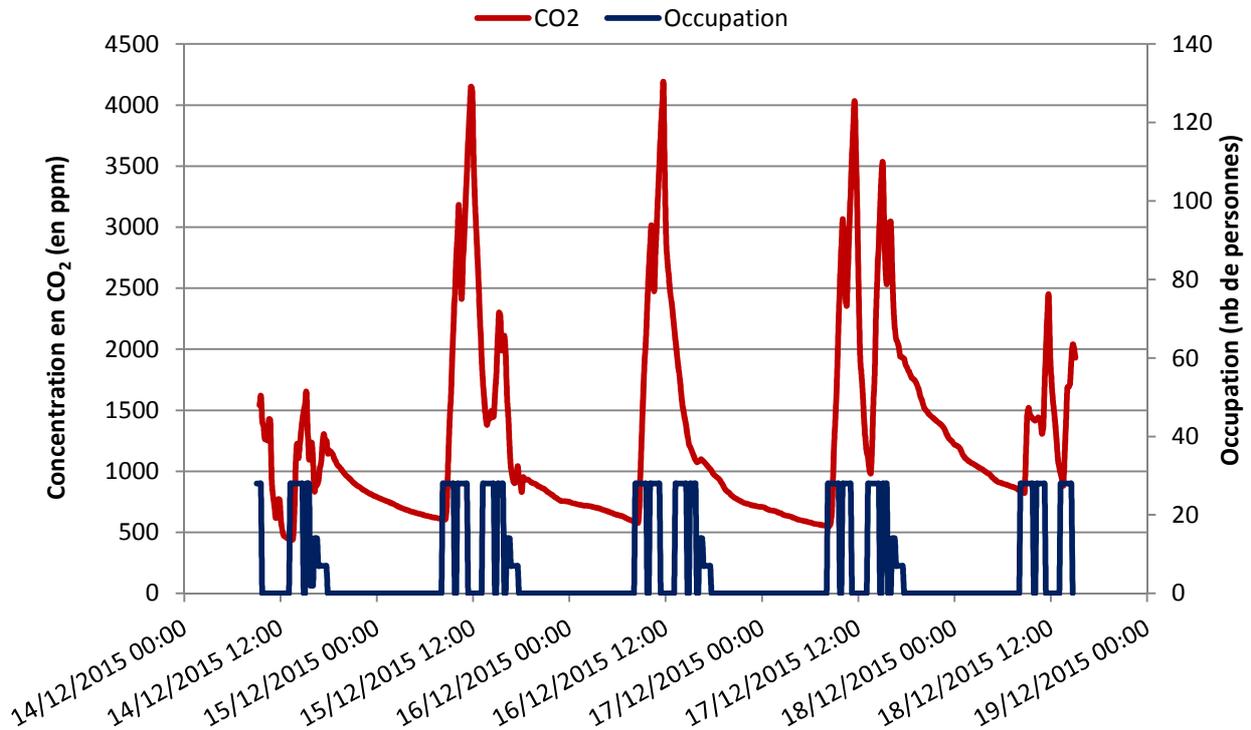


Figure 6 : évolution de la concentration en CO₂ dans la classe n° 4 et périodes d'occupation

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.

La concentration moyenne en CO₂ au cours de la semaine de mesures est de 1253 ppm. La concentration moyenne en CO₂ pendant les périodes d'occupation est de 1864 ppm. La concentration maximale observée est de 4169 ppm.

Sur les périodes d'occupation, on observe un dépassement de la valeur seuil du RSD (1300 ppm) pendant 17 heures, soit 76 % de la période d'occupation.

Classe 6 :

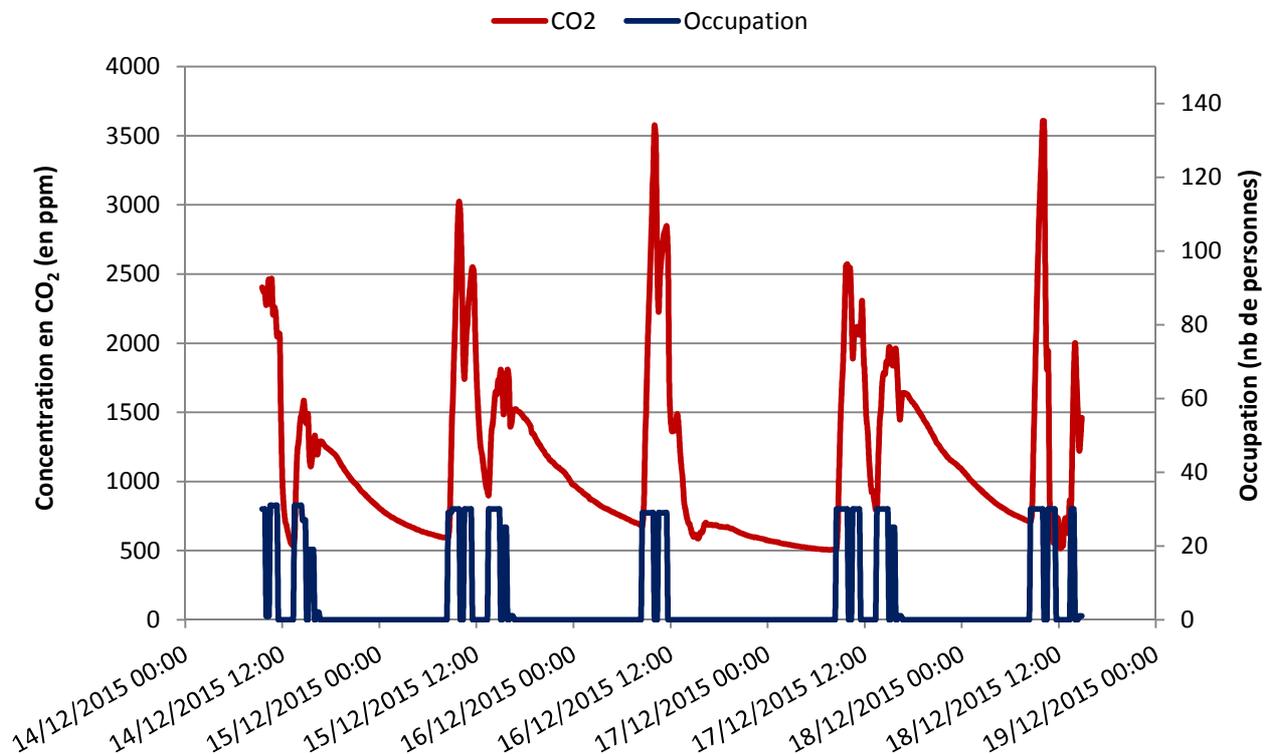


Figure 7 : évolution de la concentration en CO₂ dans la classe n° 6 et périodes d'occupation

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.

La concentration moyenne en CO₂ au cours de la semaine de mesures est de 1144 ppm. La concentration moyenne en CO₂ pendant les périodes d'occupation est de 1776 ppm. La concentration maximale observée est de 3608 ppm.

Sur les périodes d'occupation, on observe un dépassement de la valeur seuil du RSD (1300 ppm) pendant 13,5 heures, soit 73 % de la période d'occupation.

La synthèse des résultats est présentée dans le Tableau 4.

Concentration en CO ₂ (ppm)		Moyenne (en occupation)	Maximum	Minimum
Maternelle	Classe 1	1350	2570	464
	Classe 3	2555	4520	712
Elémentaire	Classe 4	1864	4169	437
	Classe 6	1776	3608	505

Tableau 2 : synthèse des résultats de CO₂ aux Pépinières Saint Julien en décembre 2015

Les résultats obtenus dans la salle 3 des Pépinières Saint Julien sont les plus élevés.

Dans le Tableau 3 sont rappelés les résultats de la campagne *d'avril 2014*.

Concentration en CO ₂ (ppm)		Moyenne (en occupation)	Maximum	Minimum
Maternelle	Classe 1	1206	2468	434
	Classe 3	1484	3294	310
Elémentaire	Classe 4	2325	4231	417
	Classe 6	1812	3962	456

Tableau 3 : rappel des résultats de CO₂ aux Pépinières Saint Julien en avril 2014

Les résultats obtenus dans la salle 4 des Pépinières Saint Julien étaient les plus élevés en avril 2014. Les concentrations moyennes ont augmentées entre avril 2014 et décembre 2015 dans les salles de maternelle. Dans la salle 4, la concentration moyenne en CO₂ a diminuée entre avril 2014 et décembre 2015. Dans la salle 6, la concentration moyenne en CO₂ est restée du même ordre de grandeur. Les concentrations maximales sont restées du même ordre de grandeur entre avril 2014 et décembre 2015, sauf dans la salle 3 où la concentration maximale a augmenté de 30%. Dans le Tableau 4 sont présentés pour comparaison les résultats de la campagne nationale pilote dans 160 écoles maternelle et élémentaire.

Concentration en CO ₂ (ppm)	Moyenne ⁴ (en occupation)	Maximum ⁵	Minimum ⁶
Campagne nationale - maternelle	944	3993	285
Campagne nationale - élémentaire	1300	4890	266

Tableau 4 : synthèse des concentrations en CO₂ aux Pépinières Saint Julien et comparaison aux résultats de la campagne pilote nationale (dans 160 établissements) [6]

Les résultats obtenus (en valeur moyenne) en décembre 2015 dans les salles de classes des Pépinières Saint Julien sont supérieurs aux résultats moyens obtenus dans d'autres écoles maternelles ou élémentaires à l'échelle nationale. Les concentrations maximales observées aux Pépinières Saint Julien en décembre 2015 sont du même ordre de grandeur que celles atteintes lors de la campagne nationale, que ce soit du côté maternelle ou du côté élémentaire.

Nota : les concentrations en CO₂ aux Pépinières Saint Julien sont issues d'une unique campagne de mesures réalisée en décembre 2015. Les concentrations en CO₂ présentés dans le Tableau 4 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 fortes en période hivernale.

⁴ Médiane sur les 160 établissements de la campagne pilote nationale (phase 2), c'est-à-dire que 50% des établissements présentent des concentrations inférieures à cette valeur et 50% sont supérieures à cette valeur.

⁵ Percentile 99% : c'est-à-dire que 1% des établissements présentent des concentrations supérieures à cette valeur.

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

5.2.1.4. Indice de confinement

Pour les différentes pièces de l'école, les indices de confinement calculés sont synthétisés dans le Tableau 5 (méthode de calcul de l'indice de confinement définit dans la partie 3.1). Les résultats détaillés des mesures de CO₂ qui ont servi au calcul de l'indice de confinement sont présentés en Annexe 3.

Indice ICONE	Maternelle		Elémentaire		"Valeur limite" ⁷
	Salle 1	Salle 3	Salle 4	Salle 6	
Du 14 au 18 décembre 2015	3	4	4	4	5
Du 14 au 18 avril 2014	2	3	4	4	

Tableau 5 : synthèse des indices de confinement aux Pépinières Saint Julien

L'indice de confinement dans les salles de classe varie entre 3 (confinement élevé) et 4 (confinement très élevé). L'indice de confinement est globalement homogène entre les différentes salles de classe (maternelle et élémentaire).

Dans le cadre de la réglementation [7], 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. 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, si aucun système de ventilation mécanique n'existe. [10]

Par rapport aux résultats obtenus en avril 2014, l'indice de confinement est resté stable dans les salles de l'école élémentaire. Par contre, dans les 2 salles de l'école maternelle, l'indice de confinement a augmenté d'un point.

Sur la Figure 8 est représentée la répartition des indices de confinement à l'échelle nationale.

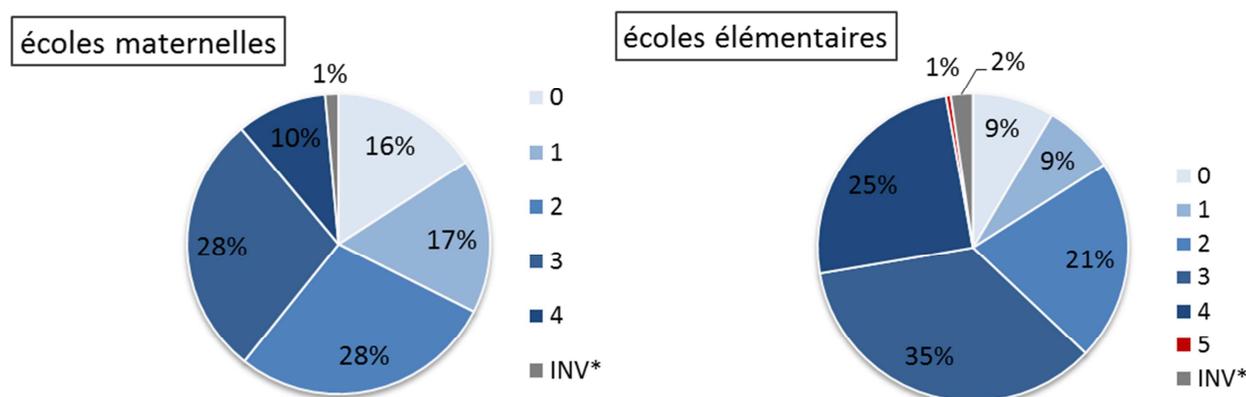


Figure 8 : Répartition des indices de confinement à l'échelle nationale (campagne pilote 2009-2011) [6]

⁷ D'après le décret n° 2015-1926 [7] : 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.

En décembre 2015, les résultats obtenus dans les deux classes de maternelle (indice ICONE = 3 dans la classe n° 1 et indice ICONE = 4 dans la classe n° 3) des Pépinières Saint Julien sont rencontrés dans 38% des écoles maternelles de la campagne nationale (28% d'indice 3 et 10% d'indice 4). Les résultats obtenus dans les deux classes de l'école élémentaire (indice ICONE = 4 dans les classes n° 4 et 6) sont rencontrés dans 25% des écoles élémentaires de la campagne nationale.

Nota : les indices de confinement calculés aux Pépinières Saint Julien sont issus d'une unique campagne de mesures réalisée en décembre 2015. 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. Contamination fongique

Un prélèvement de surface a été effectué à l'aide d'un scotch test et d'un écouvillon dans la salle n° 6 (école élémentaire) derrière le faux-plafond. (cf. Figure 9) Aucun autre développement de moisissures n'a été observé dans les autres salles investiguées.



Figure 9 : site de prélèvements de surface dans la salle n° 6
(à gauche : vue d'ensemble ; à droite : zoom derrière le faux-plafond)

Les résultats des analyses réalisées par le LHVP sont rassemblés dans le Tableau 6.

Pièce	Technique	Milieu de culture	Identifications fongiques (2)
Salle de classe n°6	Ecouvillon	M-CH	<i>Penicillium nalgiovense</i> ++++ <i>Ulocladium botrytis</i> ++++ <i>Ulocladium atrum</i> +++
	Ecouvillon	DG18	<i>Ulocladium atrum</i> ++++ <i>Penicillium spp</i> ++++ <i>Cladosporium sphaerospermum</i> +++ <i>Aspergillus versicolor</i> +++
	Ruban adhésif		<i>Ulocladium sp</i> ++++ <i>Cladosporium sp</i> + Mycélium ++ Autres : Acariens +

Tableau 6 : synthèse des résultats du LHVP
(2) quantité relative : échelle de + à ++++

Les prélèvements de surface réalisés dans la salle n° 6 mettent en évidence une contamination fongique active derrière le faux-plafond sur une petite surface. Au moment et dans les conditions d'échantillonnages, la flore identifiée est variée et dominée par de nombreux genres fongiques.

Ainsi, l'angle du mur est colonisé par *Ulocladium atrum* et *Ulocladium botrytis*, mais aussi par *Penicillium spp* (dont *P. nalgiovense*), *Cladosporium sphaerospermum* et *Aspergillus versicolor*.

Du mycélium est observé dans les prélèvements, ce qui indique une croissance active des moisissures sur le support.

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 [1]. La température moyenne sur les périodes d'occupation dans l'école est de 21.6°C⁸.

La température est globalement⁹ homogène entre les différentes salles de classe investiguées et une augmentation de la température est observée pendant les périodes d'occupation des salles de classe (+ 2°C à + 5°C quand les salles sont occupées). Ces variations de température sont dues à la présence ou l'absence des occupants. D'autres facteurs peuvent également avoir un impact sur la température à l'intérieur comme : l'ensoleillement au travers des vitrages, la température extérieure, la ventilation, etc.

→ Entre les résultats d'avril 2014 et décembre 2015, la température moyenne a diminué. Cette diminution est logique étant donné la différence de saison. Cependant, dans la salle 6, la diminution de température est moins importante (-0.4°C contre en moyenne -1.4°C dans les autres salles) alors que cette salle est la seule exposée au Nord. Le taux d'occupation de la pièce est resté similaire entre les deux campagnes de mesures. On peut supposer que l'isolation du plafond a joué un rôle sur la température moyenne de la pièce.

⁸ En avril 2014, la température moyenne sur les périodes d'occupation était de 21.7°C.

⁹ Température légèrement plus élevée dans la salle de classe n° 4, exposée au sud.

Humidité relative

Le chauffage, la ventilation, mais aussi la présence et les activités 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. Ces variations sont liées à l'occupation des pièces. Comme pour la température, d'autres facteurs peuvent également avoir un impact sur l'humidité relative à l'intérieur comme : l'ensoleillement au travers des vitrages, l'humidité relative extérieure, la ventilation, etc.

L'humidité relative est globalement¹⁰ homogène entre les différentes salles de classe investiguées. Elle varie entre 38.6% et 73.2%. Néanmoins, l'humidité relative de 3 salles de classe investiguées sur 4 reste comprise entre les bornes de 20 et 70% qui sont généralement admises comme satisfaisantes.

Dans la salle n°3, la borne supérieure de 70% est légèrement dépassée le dernier jour des mesures. Outre le fait que le confinement tend à être plus important l'hiver que l'été, l'exposition et la localisation de cette salle pourraient expliquer les résultats obtenus. En effet, la salle n°3 est isolée à l'extrémité Ouest du bâtiment de l'école maternelle et elle possède une façade vitrée orientée à l'Ouest. L'exposition et le positionnement des entrées d'air jouent sur la température à l'intérieur de la salle, ainsi la température moyenne de cette salle est la plus faible des 4 salles investiguées. Or, quand la température diminue, l'humidité relative augmente. Pour rappel, en avril 2014, cette salle présentait déjà la température la plus faible et l'humidité relative la plus importante.

→ Entre les résultats d'avril 2014 et décembre 2015, l'humidité relative moyenne a augmenté (entre 23.5% et 55.2% en 2014). Cette augmentation est logique étant donné la différence de saison. Cependant, l'augmentation est moins importante dans les salles de l'école élémentaire (+ 11%) que dans les salles de l'école maternelle (+ 19.5%). Cette différence n'est pas corrélée avec les évolutions des taux d'occupation des pièces. On peut supposer que l'isolation du plafond a joué un rôle sur l'humidité relative moyenne de la pièce.

CO₂

Les concentrations en CO₂ dépassent la valeur de référence du RSD (1300 ppm) pendant 51 à 88% 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. Certains jours, la diminution est très lente. En effet, après toute une nuit d'inoccupation, les concentrations en CO₂ sont toujours supérieures à la teneur en CO₂ de l'air ambiant (environ 400 ppm).

Les concentrations observées en CO₂ aux Pépinières Saint Julien sont supérieures aux moyennes observées à l'échelle nationale (campagne pilote 2009-2011).

Les paramètres pouvant expliquer ce type de situation souvent cités sont : la ventilation, les habitudes d'aération, l'encombrement des classes, la configuration du bâti, le taux d'occupation des pièces ou encore les activités pratiquées.

On note aussi que le système d'aération (bouche de ventilation statique et ouvertures manuelles des fenêtres) des Pépinières Saint Julien est de type naturelle, alors que 17% des écoles de la campagne pilote nationale sont équipées de ventilation mécanique contrôlée (VMC) dans tout ou partie des bâtiments. Les résultats de la campagne pilote montrent que la présence d'une VMC a un impact sur l'indice ICONE (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). [11]

Par rapport à la campagne d'avril 2014, les concentrations moyennes en CO₂ (en période d'occupation) des salles 1 et 6 sont restées relativement similaires. Par contre, dans la salle 3, la concentration moyenne en CO₂ a augmenté (de 1484 à 2555.2 ppm) et dans la salle 4 elle a diminué (de 2325.2 à 1863.7 ppm).

¹⁰ Humidité relative légèrement plus élevée dans la salle de classe n° 3 dont la façade vitrée est orientée vers l'ouest.

- **Salle 3** : le taux d'occupation est passé 10h à 19,7h entre avril 2014 et décembre 2015. De plus, en période hivernale, le confinement tend à être plus important. Ces deux paramètres peuvent expliquer l'augmentation de la concentration en CO₂ entre avril 2014 et décembre 2015.
- **Salle 4** : le taux d'occupation est passé de 16h à 22,3h entre avril 2014 et décembre 2015. En règle générale, en période hivernale, le confinement tend à être plus important. Ainsi, la diminution de la concentration moyenne en CO₂ pourrait s'expliquer par d'autres facteurs, notamment la ventilation et les habitudes d'aération des occupants.
- **Salles 1 et 6** : le taux d'occupation est resté quasiment identique entre avril 2014 et décembre 2015. En règle générale, en période hivernale, le confinement tend à être plus important car les occupants ouvrent moins les fenêtres. Dans cette situation, il semblerait que les occupants ont tout de même aéré suffisamment les salles¹¹, ce qui pourrait expliquer la stabilité des concentrations moyennes en CO₂ entre avril 2014 et décembre 2015.

Indice de confinement

Les indices de confinement obtenus sont homogènes entre les différentes salles de classe investiguées (entre 3 = élevé et 4 = très élevé).

De façon générale les différences entre les indices de confinement mesurés dans les établissements peuvent s'expliquer par différents paramètres liés entre eux, dont le taux d'occupation des pièces, les activités pratiquées, les habitudes et moyens d'aération et l'âge des bâtiments.

L'indice de confinement est plus faible dans la salle 1 (indice ICONÉ = 3) que dans les 3 autres salles de classe investiguées (indice ICONÉ = 4). Le nombre d'occupants¹² est relativement similaire entre les différentes salles de classe. Par contre, la salle 1 est la moins occupée cette semaine-là¹³. Ainsi, on peut supposer que le taux d'occupation explique en partie les indices de confinement plus élevés dans les salles 3, 4 et 6. D'autres facteurs peuvent expliquer cette différence, notamment les habitudes d'aération des occupants.

Par rapport à avril 2014, les indices de confinement des salles de l'école élémentaire sont restés identiques (ICONÉ = 4). Alors que les indices de confinement des salles de l'école maternelle ont augmentés d'un point d'indice (passant de 2 à 3 dans la salle 1 et de 3 à 4 dans la salle 3). Le nombre d'occupants est resté relativement similaire entre 2014 et 2015. Par contre le taux d'occupation a augmenté (passant de 12,7 à 14,5h d'occupation dans la salle 1 et de 10 à 19,7h d'occupation dans la salle 3). Ainsi, on peut supposer que le taux d'occupation explique en partie les indices de confinement plus élevés dans les salles 1 et 3 en décembre 2015. D'autres facteurs peuvent expliquer cette différence, notamment les habitudes d'aération des occupants. En effet, en période hivernale, le confinement tend à augmenter en lien avec des habitudes d'aération différentes : les occupants ouvrent souvent moins les fenêtres¹¹. On peut supposer que c'est l'association de ces différents facteurs qui explique l'augmentation de l'indice de confinement dans les salles de maternelle entre avril 2014 et décembre 2015.

- **Ouvrants intérieurs (portes)** : selon nos constatations (et comme en avril 2014), les ouvrants donnant sur l'intérieur (portes donnant sur les couloirs) sont ouverts plus fréquemment dans les salles de maternelle que dans l'école élémentaire. Or cette ouverture des portes peut améliorer l'aération des salles de classes, ce qui pourrait expliquer en partie la légère différence d'indice de confinement entre la partie maternelle et la partie élémentaire.

¹¹ Les 2 derniers jours des mesures, la température étant particulièrement douce pour la saison, les professeurs ont eu tendance à aérer plus fréquemment les salles de classe (notamment dans les salles de l'école élémentaire)

¹² Nombre d'occupants maximal par salle de classe : 32 (salle 1), 31 (salle 3), 28 (salle 4), 31 (salle 6).

¹³ Nombre d'heures d'occupation des pièces : 14,5h (salle 1), 19,7h (salle 3), 22,3h (salle 4), 18,5h (salle 6).

- Orientation des salles de classe : les deux écoles sont regroupées dans un seul bâtiment (type constructif homogène entre la maternelle et l'élémentaire), mais les quatre salles ne sont pas orientées de la même façon¹⁴. 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.
- Entretien des grilles de ventilation statique : lors de la visite du groupe scolaire par l'ARS, Air Normand et les services de la ville de Rouen en avril 2014, un manque d'entretien des grilles d'aération avait été relevé. Cette situation pouvait limiter de façon conséquente le renouvellement de l'air à l'intérieur du bâtiment et augmenter alors l'indice de confinement (et la concentration en CO₂). En décembre 2015, les grilles de ventilation statique¹⁵ (dans les murs ou les portes) sont neuves. Par contre les grilles d'entrée d'air (au-dessus des fenêtres) sont empoussiérées. Le renouvellement des grilles de ventilation statique n'a pas d'impact significatif sur les concentrations en CO₂ ou sur les indices de confinement observés en décembre 2015. Cependant, en période hivernale, le confinement tend à augmenter dans les bâtiments. Donc, on peut supposer que sans le renouvellement de ces grilles, le confinement aurait pu être encore plus important lors de la campagne de décembre 2015.
- Encombrement des salles de classe : en avril 2014, un encombrement des salles de classe avait été relevé. Cette situation pouvait limiter de façon conséquente la circulation de l'air à l'intérieur du bâtiment et augmenter alors l'indice de confinement (et la concentration en CO₂). En décembre 2015, un travail de désencombrement des salles de classe a été réalisé pendant certaines fenêtres restent encore peu ou pas accessibles.

Ces différents paramètres pourraient expliquer les différences d'indice de confinement (et de concentrations de CO₂) entre les différentes salles d'une part et entre la campagne d'avril 2014 et celle de décembre 2015.

Les indices de confinement ne dépassent pas la valeur limite de 5 (décret n°2015-1926 [7]) 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. 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, si aucun système de ventilation mécanique n'existe. [10]

Il est toutefois important de garder à l'esprit que ces résultats proviennent d'une unique campagne de mesures réalisée en décembre 2015. Les concentrations en CO₂ et les indices de confinement sont généralement plus élevés lors des périodes hivernales (où les périodes d'aération naturelle sont réduites pour des raisons de confort thermique).

Contamination fongique (synthèse des conclusions formulées dans le rapport du LHVP)

La présence importante de mycélium dans les prélèvements de surface de la salle n° 6 (derrière le faux-plafond) indique une croissance active des moisissures sur le support. Les moisissures isolées sur le mur de la salle 6 de l'école élémentaire sont des moisissures typiques des environnements intérieurs présentant des problèmes d'humidité. Parmi les moisissures présentes, la plupart ont une potentialité allergisante (*Cladosporium sphaerospermum*, *Ulocladium botrytis*, *Ulocladium atrum*, *Penicillium* spp). 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 (cf. paragraphe 3.1). Les développements fongiques sont dus à une humidité des supports.

¹⁴ Orientation des salles de classe : Ouest (salle 1 et 3), Sud (classe 4), Nord (classe 6)

¹⁵ Les grilles de ventilation statique sont situées : en haut des murs côté couloir et dans la partie inférieure des portes d'entrée des classes 4 et 6 (élémentaire) ; uniquement dans la partie inférieure des portes d'entrée des classes 1 et 3 (maternelle).

- Par rapport à l'étude de 2014, de nouvelles espèces fongiques sont apparues sur le support (*Penicillium* spp dont *P. nalgiovense*, *Ulocladium atrum*, *Aspergillus versicolor*). Une espèce est présente en quantité plus importante (*Ulocladium botrytis*) et une autre espèce est présente en quantité moins importante (*Cladosporium sphaerospermum*).
- Nous pouvons avancer plusieurs hypothèses quant à l'origine de l'humidité derrière le faux-plafond. Tout d'abord, un plénum a été créé (espace vide entre le plafond initial de la salle et le faux-plafond installé entre 2014 et 2015). Ce plénum ne permet pas de supprimer totalement les ponts thermiques et donc la formation de condensation sur les parties froides des parois (plafonds, haut des murs, angles des murs). De plus, l'encombrement du local de stockage annexé à la salle de classe ne permet pas d'ouvrir les fenêtres qui y sont présentes. L'empoussièrement des grilles d'aération au-dessus des fenêtres ne permet pas une bonne circulation de l'air à l'intérieur de la salle. L'association de ces différents facteurs pourrait expliquer l'humidité du support ainsi que la formation et la croissance de moisissures sur la paroi.
- Aucun autre développement de moisissures n'a été observé dans les autres salles investiguées. Selon nos constatations, la peinture des murs a été refaite entre 2014 et 2015 dans les 4 salles de classe investiguées. Par contre, une différence est observée entre la salle 4 et la salle 6 de l'école élémentaire qui ont toutes les deux fait l'objet de la pose d'un faux-plafond isolé. En effet, dans la salle 4, la peinture a été refaite au-delà du faux-plafond isolé alors que dans la salle 6, la nouvelle peinture s'arrête à la hauteur du faux-plafond isolé. Au-delà se retrouve la peinture initiale. D'après ces constatations et les informations complémentaires apportées par les services de la Ville de Rouen, le développement fongique analysé en avril 2014 a été efficacement nettoyé dans les 2 classes. De plus, la peinture appliquée dans les salles de classe est une peinture fongicide. Ainsi, l'absence de peinture fongicide au-delà du faux-plafond dans la salle de classe n° 6, associée à un manque de renouvellement de l'air et un phénomène de parois froides, pourrait expliquer la réapparition des moisissures dans cette salle entre 2014 et 2015.

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 des Pépinières Saint Julien en décembre 2015. Les résultats sont comparés à ceux de la précédente campagne qui a eu lieu en avril 2014. Les mesures concernent d'une part, le confinement (concentration en CO₂ et indice ICONE) et les paramètres de confort (température, humidité relative) et d'autre part la contamination fongique des surfaces.

Les principales conclusions sont les suivantes :

- L'évolution de la température et de l'humidité relative entre les campagnes d'avril 2014 et décembre 2015 semble indiquer que la pose de faux-plafond isolé dans les salles 4 et 6 (école élémentaire) a eu un impact sur ces paramètres.
- Durant la semaine de mesure, l'humidité relative est restée comprise entre les bornes de 20 et 70% qui sont généralement admises comme satisfaisantes, à l'exception de la salle 3 où la borne de 70% est légèrement dépassée le dernier jour des mesures. Ce dépassement pourrait être lié notamment à la localisation et l'exposition de cette pièce.
- Les 2 classes de l'école primaire qui ont été investiguées présentent un confinement très élevé (indice ICONE = 4). Les 2 classes de l'école maternelle présentent, elles, un confinement élevé à très élevé (indice ICONE de 3 à 4). Dans tous les cas, les indices de confinement ne dépassent pas la valeur limite de 5 (décret n°2015-1926 [7]) 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. 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, si aucun système de ventilation mécanique n'existe. [10]

Il est toutefois important de garder à l'esprit que ces résultats proviennent d'une unique campagne de mesures réalisée en décembre 2015. Les concentrations en CO₂ et les indices de confinement sont en général plus élevés en période hivernale qu'en période estivale.

- L'évolution des concentrations en CO₂ et de l'indice ICONNE entre avril 2014 et décembre 2015 semble indiquer que les habitudes d'aération et la ventilation ont permis de limiter l'augmentation de ces paramètres pour la période hivernale.
- Les prélèvements réalisés dans la salle 6 dans laquelle des moisissures étaient visibles derrière le faux-plafond révèlent la présence importante de mycélium. Ce constat indique que les moisissures présentes ont une croissance active. Par ailleurs, les moisissures isolées sur le mur de la salle 6 sont des moisissures typiques des environnements intérieurs présentant des problèmes d'humidité. Enfin, parmi les moisissures présentes, la plupart ont une potentialité allergisante. Et l'*Aspergillus versicolor* peut également produire des spores toxiques (irritations des muqueuses du nez et de la gorge). Un faux-plafond isolé n'est pas une barrière efficace contre la dispersion de spores toxiques.

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 devrait être 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 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 doivent être soigneusement nettoyées (selon le protocole de décontamination en Annexe 1). Lorsque cela n'est pas possible, les matériaux moisies doivent être retirés et éliminés, en particulier s'il s'agit de matériaux poreux.* »

Etant donné les constatations faites par Air Normand et les informations fournies par les services de la Ville de Rouen concernant les travaux réalisés dans les salles 4 et 6, il apparaît que :

- la contamination fongique avait été efficacement nettoyée après la campagne de mesures d'avril 2014,
- des moisissures sont réapparues uniquement dans la salle n°6 probablement à cause de l'absence de peinture fongicide au-delà du faux-plafond, associée à un mauvais renouvellement de l'air et un phénomène de parois froides.

Même si les indices de confinement n'atteignent pas la valeur au-delà de laquelle des actions de recherche des causes sont à entreprendre rapidement dans le cadre de la réglementation sur la surveillance de la qualité de l'air dans certains établissements recevant du public comme les écoles, les concentrations en CO₂ sont néanmoins supérieures à la valeur de référence du RSD pendant 51 à 88% du temps d'occupation. L'amélioration de l'aération du bâtiment permettrait de réduire le confinement.

En ce sens, les travaux de renouvellement des grilles de ventilation statique de l'ensemble du groupe scolaire réalisés par les services de la ville de Rouen durant l'été 2014 facilite la circulation de l'air dans le bâtiment. Cependant, les grilles d'entrée d'air au-dessus de fenêtres sont empoussiérées ce qui limite en partie le renouvellement de l'air dans les pièces. De plus, le système de ventilation naturelle semble insuffisant pour renouveler efficacement l'air dans les salles de classe.

Depuis la campagne de mesures d'avril 2014, le personnel des écoles a entrepris un désencombrement des salles de classe pour faciliter la circulation de l'air dans le bâtiment. Cependant, d'après nos

constatations, le désencombrement ne permet d'accéder à la totalité des fenêtres (locaux annexes aux salles de classe).

Depuis la campagne de mesures de décembre 2015, les services de la Ville de Rouen ont désinfecté les traces de moisissures dans la salle de classe n°6 et la peinture fongicide a été appliquée au-delà du faux-plafond, comme dans les autres salles de classe. De plus, un système de ventilation naturelle a été mis en œuvre dans la salle 6 pour ventiler le faux-plafond et éviter la réapparition des moisissures.

Par la suite, il paraît utile de vérifier régulièrement que des moisissures ne réapparaissent dans les plénums des salles 4 et 6.

8. Pages complémentaires

8.1. Annexes

Annexe 1 : Lignes directrices applicables à l'élimination d'une contamination fongique en environnement intérieur et protocole de décontamination des moisissures (LHVP)

MAIRIE DE PARIS



Direction de l'Action Sociale, de l'Enfance et de la Santé

Sous-Direction de la Santé / Bureau de la Santé Environnementale et de l'Hygiène

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 (Placoplatre), 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 2 : Données des paramètres de confort (température, humidité relative et concentrations en CO₂)

Les statistiques descriptives concernant la température pour la campagne aux Pépinières Saint Julien sont rassemblées dans le tableau suivant :

Température (en °C)	Moyenne	Maximum	Minimum	Moyenne en période d'occupation
Classe 1	21.4	23.5	20.3	22.2
Classe 3	20.9	23.7	19.3	22.6
Classe 4	23.2	25.9	21.4	24.2
Classe 6	21.4	23.2	20.0	22.1
Extérieur	10.8	19.0	4.7	/

Les statistiques descriptives concernant l'humidité relative pour la campagne aux Pépinières Saint Julien sont rassemblées dans le tableau suivant :

Humidité relative (en %)	Moyenne	Maximum	Minimum	Moyenne en période d'occupation
Classe 1	38.6	52.2	28.7	39.7
Classe 3	42.8	53.7	30.6	43.4
Classe 4	40.6	54.7	23.5	44.8
Classe 6	40.9	55.2	26.3	43.1
Extérieur	56.3	89.0	28.0	/

Les statistiques descriptives concernant la concentration en CO₂ pour la campagne aux Pépinières Saint Julien sont rassemblées dans le tableau suivant :

Concentration en CO ₂ (en ppm)	Moyenne	Maximum	Minimum	Moyenne en période d'occupation
Classe 1	726.9	2468	434	1205.8
Classe 3	759.1	3294	310	1484.0
Classe 4	1229.2	4231	417	2325.2
Classe 6	1032.6	3962	456	1812.4

Annexe 3 : Calcul des indices de confinement

Le détail des calculs des indices de confinement des différentes salles de classe des Pépinières Saint Julien sont présentés dans le tableau suivant :

Pépinières Saint Julien	f ₁	f ₂	Indice ICONE
Classe 1	30/76	14/76	2
Classe 3	28/60	21/60	3
Classe 4	18/96	64/96	4
Classe 6	30/104	51/104	4

8.2. Bibliographie

- [1] DEOUX Suzanne. Bâtir pour la santé des enfants. Andorra : Medieco Editions, 2010, 689 p. ISBN 978-99220-1-770
- [2] Décret n° 2015-1000 du 17 août 2015 relatif aux modalités de surveillance de la qualité de l'air intérieur dans certains établissements recevant du public [en ligne]. Journal officiel, n° 0190 du 19 août 2015, p. 14456. Disponible sur : <http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000031052712&categorieLien=id> (consulté le 29.01.2016).
- [3] 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 : http://www.sante.gouv.fr/IMG/pdf/Contaminations_fongiques_en_milieux_interieurs.pdf (consulté le 29.01.2016)
- [4] BRIAND E. Guide de gestion de la qualité de l'air intérieur dans les établissements recevant du public. Paris, France : Direction générale de la santé, août 2010, 78 p. Disponible sur : <http://www.sante.gouv.fr/IMG/pdf/guid0910.pdf> (consulté le 29.01.2016).
- [5] 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/La-surveillance-de-la-qualite-de-l.html> (consulté le 29.01.2016).
- [6] 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 : <http://www.atmo-france.org/fr/index.php?/demarrer-telechargement/217-dans-les-lieux-clos-ouverts-au-public/954-campagne-pilote-de-surveillance-de-la-qualite-de-l-air-dans-les-ecoles-et-creeches-en-france.html> (consulté le 29.01.2016).
- [7] Décret n° 2015-1926 du 30 décembre 2015 modifiant le décret n°2015-14 du 5 janvier 2012 relatif à l'évaluation des moyens d'aération et à la mesure des polluants effectués au titre de la surveillance de la qualité de l'air intérieur de certains établissements recevant du public [en ligne]. Journal officiel, n° 0001 du 1^{er} janvier 2016, texte n°8. Disponible sur : <http://www.legifrance.gouv.fr/eli/decret/2015/12/30/DEVP1415078D/jo> (consulté le 29.01.2016).
- [8] Circulaire du 20 janvier 1983 relative à la révision du règlement sanitaire départemental type. Journal officiel du 25 février 1983.
- [9] Campagne pilote de surveillance de la qualité de l'air intérieur, Phase 2, 2010-2011, données communiquées par le CSTB.
- [10] 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 : http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Protocole_surveillance_confinement_Mai12_finale.pdf (consulté le 29.01.2016).
- [11] RAMALHO O., MANDIN C., RIBERON J., et al. Air stuffiness and air exchange rate in French schools and day-care centers [en ligne]. International journal of ventilation, septembre 2013, vol. 12, n°2, 175-180 pp. ISSN 1473-3315. Disponible sur : <http://www.aivc.org/resource/air-stuffiness-and-air-exchange-rate-french-schools-and-day-care-centres> (consulté le 29.01.2016).