Caractérisation de la qualité de l'air intérieur de bâtiments biosourcés

École dans le Haut-Rhin

CONDITIONS DE DIFFUSION

Diffusion libre pour une réutilisation ultérieure des données dans les conditions ci-dessous :

- Licence ouverte de réutilisation d'informations publiques

- Sur demande, ATMO Grand Est met à disposition les caractéristiques des techniques de mesures et des méthodes d'exploitation des données mises en œuvre ainsi que les normes d'environnement en vigueur.
- ATMO Grand Est peut rediffuser ce document à d'autres destinataires.
- Rapport non rediffusé en cas de modification ultérieure des données

PERSONNES EN CHARGE DU DOSSIER

Rédaction :	*JENNESON Bérénice, ingénieur d'études ATMO Grand Est* *DUHAU Céline, chargée d'études usage et santé au Cerema*
Relecture/Appobation :	*DAVIAU-PELLEGRIN Noëlie, responsable d'activités en usage et santé au Cerema* *SCHNEIDER Christelle, chargée d'études à ATMO Grand Est*

Référence du modèle de rapport : COM-FE-001_1

Référence du rapport : PROJ-EN-136

Référence du projet : 100115

Date de publication : 27/07/2018

SOMMAIRE

1. DESCRIPTIF Du bâtiment 7
1.1. SITUATION GÉOGRAPHIQUE 7
1.2. CARACTÉRISTIQUES DU BÂTIMENT 8
1.3. nettoyage des locaux (HORS GRAND NETTOYAGE ANNUEL ET AUX VACANCES SCOLAIRES) 9
1.4. ACTIVITÉS ET PRATIQUES D'AÉRATION DANS LES PIÈCES 9
2. CAMPAGNE(S) DE MESURES 10
2.1. paramètres suivis 10
2.2. TECHNIQUES DE MESURE 11
2.2.1. Température, humidité relative et ventilation 11
2.2.2 Le dioxyde de carbone 12
2.2.3. Température, humidité relative et ventilation 12
2.2.4. Le pDR-1500 13
2.2.5. Les badges Kodalpha 13
2.2.6. Les moisissures 13
2.3 STRATÉGIE D'ÉCHANTILLONNAGE 13
2.3.1 Stratégie d'échantillonnage spatiale 13
2.3.2 Stratégie d'échantillonnage temporelle 13
3. stratégie de comparaison 14
3.1. VALEURS DE REFERENCE 14
3.1.1. Les paramètres de confort 14
3.1.2. Le dioxyde de carbone 14
3.1.3. Le benzène et le formaldéhyde 15
3.1.4. Les autres composés organiques volatils 15
3.1.5. Les PM2,5 et le NO2 16
3.1.6. Le radon 16
3.1.7. Les moisissures 17
3.1.8. Les débits réglementaires 17
3.2. Données comparatives 17
4. RESULTATS 19
4.1. LES PARAMETRES DE CONFORT ET LE RENOUVELLEMENT D'AIR 19
4.1.1 Les paramètres de confort 19
4.1.2 Le renouvellement d'air 19
4.2. LES POLLUANTS ISSUS DES MATERIAUX ET DES ACTIVITES 23
4.2.1 Le formaldéhyde 23
4.2.2 Le benzène 23
4.2.3 Les autres composés 23
4.3. LES POLLUANTS INDICATEURS DES SYSTEMES DE CHAUFFAGE ET DE LA COMBUSTION 24

4.3.1 Les PM2,5 24
4.3.2 Le dioxyde d'azote 24
4.4. LE radon et les moisissures 25
CONCLUSION 26
ANNEXES :
NATURE DU CONFINEMENT ET INFORMATIONS ASSOCIEES 34
D'APRES L'INDICE ICONE 34
QUESTIONNAIRES D'ACTIVITES ..... **Erreur ! Signet non défini.**
ESPECES DE MOISISSURES IDENTIFIEES 35

RESUME

L'utilisation de **matériaux biosourcés** dans la construction et la rénovation des bâtiments est de plus en plus fréquente afin d'améliorer leur qualité environnementale. Dans ce cadre, la DREAL Grand Est a sollicité ATMO Grand Est et le CEREMA afin d'évaluer l'influence de ce type de matériaux sur la qualité de l'air intérieur. Trois bâtiments ont ainsi fait l'objet d'une étude de caractérisation de l'air intérieur dont une école dans le Haut-Rhin.

Deux campagnes de mesure à deux saisons distinctes ont ainsi été mises en œuvre :

- ✓ Du 18 au 22 septembre 2017 pour la phase estivale
- ✓ Du 15 au 19 janvier 2018 pour la phase hivernale.

Deux pièces, une salle de classe et une salle d'activités ont été instrumentées.

Les résultats obtenus ont mis en évidence les éléments suivants :

- un niveau de confinement satisfaisant dans les salles de classe mais des valeurs de CO_2 qui dépassent parfois 1000 ppm. Cela s'explique par des débits de ventilation parfois inférieurs à ce qui est prévu notamment lors de la phase estivale.

- des niveaux de polluants faibles que ce soit pour les polluants réglementés (benzène, formaldéhyde) ou non réglementés.

- des concentrations faibles pour le radon et les PM2,5

- un niveau de contamination fort dans les sanitaires pour les moisissures qui pourrait être lié à une mauvaise circulation d'air entre le hall et cette pièce ou à une mauvaise mise en œuvre au niveau du mur extérieur exposé au nord.

Dans ce contexte, il est conseillé d'augmenter les débits de ventilation afin de respecter les débits théoriques et l'aération des salles de classes pour améliorer encore la qualité d'air intérieur de ce bâtiment.

Par ailleurs, il est recommandé d'identifier l'origine de la présence de moisissures dans les sanitaires et si nécessaire améliorer spécifiquement l'aération de cet espace.

DESCRIPTIF DE L'ETUDE

Le secteur du bâtiment en France consomme actuellement plus de 40% de l'énergie finale (c'est le secteur économique le plus consommateur d'énergie)[1] et émet près d'1/4 des gaz à effet de serre (GES)[2]. Dans ce contexte, les réglementations thermiques et la future réglementation E+ C- [3] fixent des objectifs de réduction de la consommation énergétique et de l'impact carbone du bâtiment de plus en plus ambitieux. Or, si la phase d'exploitation du bâtiment représente une part considérable de son impact écologique, la phase de construction a également un rôle majeur dans le cycle de vie du bâtiment. En effet, l'énergie grise et les émissions de la construction représentent environ 20% des émissions nationales.

Ainsi l'utilisation de **matériaux biosourcés** dans la construction et la rénovation des bâtiments se développe afin d'améliorer la qualité environnementale des bâtiments[4] et de respecter l'engagement de diviser par 4 les GES. Nous voyons donc apparaître des matériaux tels que le chanvre, la paille, le duvet de canard ou la laine de mouton dans la composition de l'enveloppe des bâtiments, en plus du bois couramment utilisé.

L'impact des matériaux biosourcés sur la santé n'est cependant pas toujours bien connu, alors qu'ils peuvent émettre des composants organiques volatils (COV). Le bois par exemple, en particulier les résineux, est une source de terpène.

En outre, l'amélioration de **l'étanchéité de l'enveloppe** du bâtiment à des fins énergétiques limite le renouvellement de l'air intérieur. Les bâtiments concernés doivent donc bénéficier de **systèmes de ventilation** suffisants pour évacuer les polluants, couplés à des **pratiques d'aération régulière** des occupants.

Cependant, des soucis de conception ou de mise en œuvre ainsi qu'un usage déviant des occupants peuvent détériorer l'efficacité de la ventilation. Parallèlement, les **choix de matériaux** de construction et d'aménagement intérieur peu émissifs en polluants ne sont pas systématiquement pris en compte dans ces constructions[5]. Or nous passons **80 % de notre temps à l'intérieur**[6], la qualité de l'air est donc une problématique de **santé publique** majeure.

L'étude a pour objectif d'évaluer la qualité de l'air dans les bâtiments incluant des matériaux de construction biosourcés, au travers d'un panel d'études. Ces bâtiments doivent en outre accueillir de jeunes enfants ou des personnes sensibles.

Cette étude fait partie d'une action du Plan Régional Santé Environnement 3 de la Région Grand Est (Agir pour une meilleure qualité de l'air intérieur auprès des publics sensibles). Elle ne vise pas une évaluation exhaustive des matériaux biosourcés existants dans la construction, ni des différents types de bâtiments possibles.

Elle permet néanmoins de donner des premières informations sur la QAI dans ces bâtiments, en les comparants notamment à des précédentes campagnes d'évaluation menées. (Campagne OQAI – BPE, Campagne OQAI – Logements,...)

Pour cela, la DREAL Grand-Est, ATMO Grand-Est et le Cerema Est ont décidé d'unir leurs compétences.

[1]Source : Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (www.ademe.fr)

[2]Source : ATMO Grand-Est et CITEPA France

[3]E+ C- : label E+C- : Energie Positive & Réduction Carbone

[4]Source : Certivéa

[5]Source : ATMO Alsace

[6]Source : Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (www.ademe.fr)

Afin d'évaluer l'influence du bâtiment à travers sa conception (matériaux, isolation, système de ventilation, ameublement…) mais également son occupation (activités, mode de vie), le suivi des opérations a consisté en la mise en œuvre des campagnes de mesures complétées par des questionnaires pour une meilleure analyse des résultats concernant la QAI dans les bâtiments biosourcés étudiés.

Trois bâtiments ont fait l'objet de cette étude : une maison d'habitation en Meurthe-et-Moselle, une école élémentaire dans le Haut-Rhin et un centre périscolaire dans les Vosges.

Le présent rapport concerne l'évaluation effectuée au sein d'une école élémentaire dans le Haut-Rhin. Un descriptif du bâtiment concerné sera tout d'abord exposé dans le rapport, suivi d'un état des lieux détaillé de la mise en œuvre du protocole. Les différents outils réglementaires à disposition seront ensuite présentés, puis utilisés pour l'interprétation des résultats obtenus.

1. DESCRIPTIF DU BATIMENT

1.1. SITUATION GÉOGRAPHIQUE

L'école élémentaire est implantée au sein d'un secteur rural avec très peu de passages de véhicules à moteur. Une station-service se trouve à environ 300 mètres.

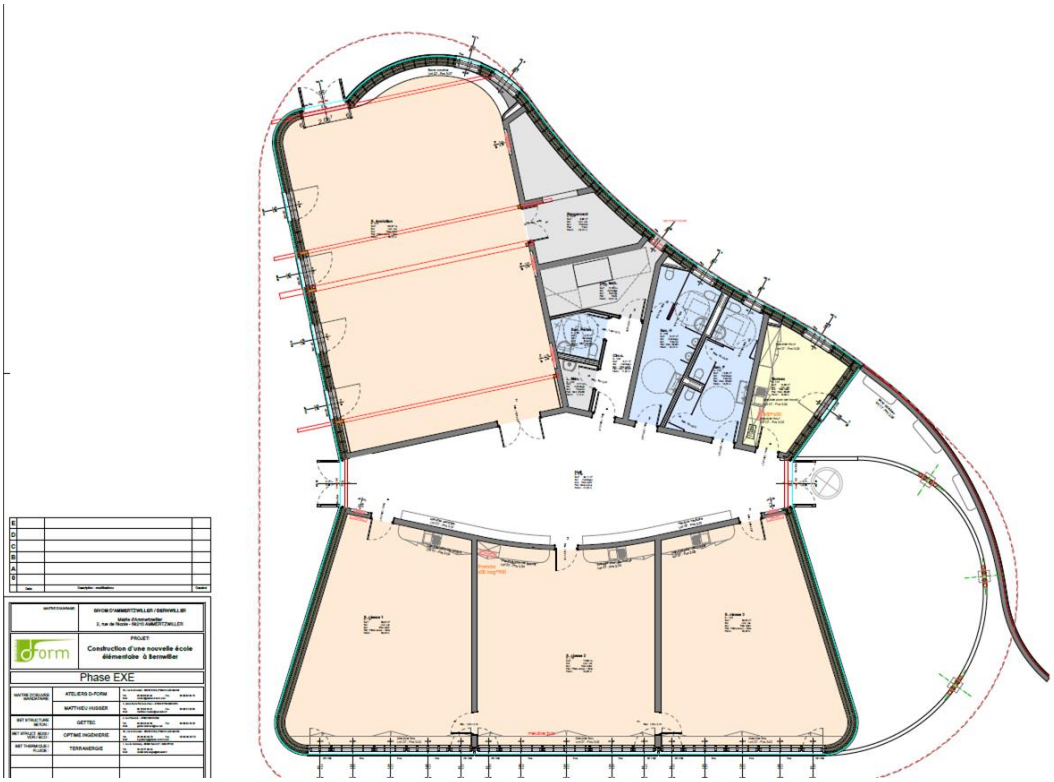


Figure 1 : Plan de masse de l'école

1.2. CARACTÉRISTIQUES DU BÂTIMENT

L'école élémentaire est constituée d'un bâtiment à un seul niveau dont la construction s'est achevée en 2016. Il comporte trois salles de classe, une salle d'activités avec des locaux annexes et un bureau comme pièces principales.

Le bâtiment est à ossature bois avec une isolation en ouate de cellulose et laine de bois pour la toiture, et en paille pour les murs.

Il est équipé d'une ventilation mécanique double flux avec un système de récupération de chaleur de l'air extrait. La prise d'air se trouve en toiture sur la rue et le rejet en façade.

Les fenêtres en bois et aluminium sont de type triple vitrage.

Le bâtiment est chauffé par une sous station située dans un bâtiment annexe et reliée à une chaufferie communale biomasse au bois. Le chauffage est distribué dans des radiateurs équipés de thermostats disposés dans chaque pièce du bâtiment.

Le tableau ci-après précise la composition des parois du bâtiment :

Tableau 1 : matériaux de composition des parois

	Sols (int vers ext)	Murs (int vers ext)	Plafond (int vers ext)
Sous couche	béton armé polystyrène extrudé lit de sable	ossature bois avec remplissage paille enduit ext ou bardage écaille de cuivre	ossature bois + ouate de cellulose laine de bois étanchéité/végétalisation
Salle de classe instrumentée	linoléum	Sous fenêtres : panneaux particules laqués (placards) autres murs : plâtre peint	Plafond acoustique + peinture
Salle de classe	idem	Idem sauf fenêtre côté extérieur : chaux	idem
Salle de classe	idem	Idem sauf fenêtre côté extérieur : chaux	idem
Salle d'activités instrumentée	idem	3 côtés : chaux hydraulique (avec un côté enduit et miscanthus mêlés en partie basse) – 1 côté plâtre peint	Plafond acoustique + peinture + parement bois
Bureau	idem	Enduit chaux	Panneaux de plâtre peints
Hall d'entrée	carrelage	Côté salle d'activités : parement bois, tableaux blancs, plâtre peint côté classes : parement bois et plâtre peint	Parement bois
sanitaires	carrelage	Carrelage et peinture. Mur extérieur en chaux	Faux plafond en dalles

1.3. NETTOYAGE DES LOCAUX (HORS GRAND NETTOYAGE ANNUEL ET AUX VACANCES SCOLAIRES)

Le nettoyage des locaux est effectué de la façon suivante :

Tableau 2 : techniques et produits de nettoyage utilisés

Nettoyage	Mobilier	Sols	Vitrages intérieurs	Autre (à préciser)
Technique	Chiffon microfibre	Balayage tous les soirs – lavage 1x/mois	Spray + raclette	Spray pour tableau blanc
Fréquence	Vacances scolaires	-	1x tous les 2 mois	-
Aération	-	non	-	-
Produits utilisés et forme (spray, gel)	-	Soprolux marine	Soprolux bril vitres	Sanitaires : soprolux (Eclair)
Stockage des produits d'entretien	Local ventilé	Local ventilé	Local ventilé	Local ventilé

Les produits présents dans le local « ménage » (pas d'information sur leur utilisation ou non) sont les suivants :

- ✓ « Détartrant désinfectant surodorant OMEA Sanitaires »
- ✓ « Dégraissant surfaces hyperactif EYREIN FORZA »
- ✓ « Désinfectant surfaces modernes (mobilier, vitres) EYREIN PHEBUS »
- ✓ « AVANTEAM sanitaires »
- ✓ Désodorisant mèche WC Nicols
- ✓ « Aéro-flash ambiance EYREIN »
- ✓ Vinaigre blanc

1.4. ACTIVITÉS ET PRATIQUES D'AÉRATION DANS LES PIÈCES

Les produits d'activités des enfants (peintures, colle, etc.) sont stockés dans les salles de classe.

Le séchage et le rangement des activités manuelles (peintures, bricolage, etc.) ont lieu soit dans les salles de classe soit sur les tableaux blancs du hall d'entrée.

Une imprimante se trouve dans le hall d'entrée.

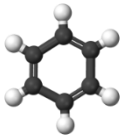
Lors de l'installation du matériel dans les pièces, un questionnaire a été distribué afin de recenser les principales activités ayant eu lieu pendant la campagne de mesure et pouvant avoir une incidence sur la qualité de l'air intérieur. Les questionnaires sont disponibles en **annexe 1**.

La salle d'activité fait uniquement l'objet d'un balayage en fin d'après-midi alors que dans les salles de classe les tables et le sol sont nettoyés une fois par semaine. Les fenêtres n'ont pas été ouvertes dans les pièces lors de la période hivernale alors qu'une ouverture en oscillo-battant a été réalisée plusieurs jours de la semaine en période estivale.

A noter que la salle d'activité n'est occupée que de façon ponctuelle. La salle de classe accueille trente élèves.

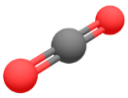
2. CAMPAGNE(S) DE MESURES

2.1. PARAMETRES SUIVIS



De nombreuses études sur la qualité de l'air intérieur ont déjà été menées, et ceci dans différents lieux de vie : habitats, écoles, bureaux, etc. Elles ont toutes mis en évidence une spécificité de la pollution de l'air intérieur. Il s'avère qu'en phase gazeuse les composés chimiques présents sont principalement des Composés Organiques Volatils (COV) regroupant une multitude de substances de familles chimiques distinctes. Sont ainsi décelés dans les ambiances intérieures de manière plus significative que d'autres familles chimiques, certains aldéhydes (dont le formaldéhyde majoritairement et de manière quasi-systématique retrouvé), certains hydrocarbures aromatiques dont le benzène, le toluène, l'éthylbenzène et les xylènes communément appelés BTEX, mais également des COV appartenant aux terpènes, cétones, alcools, éthers de glycol, esters…

Parmi les COV, deux composés suscitent un intérêt particulier au regard de leurs effets sur la santé : le formaldéhyde et le benzène. Ils sont classés cancérogènes avérés par le CIRC (groupe 1). Les études épidémiologiques ont permis à l'ANSES d'établir des seuils sanitaires à ne pas dépasser sur le long terme pour prévenir des effets néfastes sur la santé. Ces seuils ont été repris par décret dans le cadre de la surveillance réglementaire de certains ERP (décret 2015-1000 ayant modifié le décret 2011-1728).



Ces substances chimiques peuvent être émises par de nombreuses sources telles que les matériaux de construction et de décoration, mobiliers, produits d'entretien, peintures, vernis, colles, revêtements de sols, appareils à combustion (voir **annexe 2**).

Un indicateur du renouvellement de l'air intérieur est la mesure du dioxyde de carbone (CO_2). Émis par la respiration des personnes présentes, son accumulation au sein de locaux traduit en effet le manque de renouvellement de l'air (confinement). Bien que le CO_2 ne présente pas d'effet notable sur la santé aux niveaux rencontrés, un confinement élevé peut engendrer une accumulation de substances polluantes que les auteurs d'une étude associent à une prévalence de symptômes respiratoires tels que des inflammations, des infections respiratoires ou encore de l'asthme, et dans une salle de classe à une gêne sur la concentration des enfants/élèves.

Les teneurs en polluants dans l'air intérieur vont dépendre de plusieurs facteurs complémentaires aux émissions des matériaux de construction et celles liées aux systèmes de chauffage : sources d'émissions extérieures, activités humaines (utilisations de produits et d'appareils domestiques, tabagisme …), réactions chimiques, température et humidité relative des locaux, ventilation (mécanique et/ou naturelle) .

Les rejets de NOx (NO+ NO2) proviennent essentiellement de la combustion de combustibles fossiles (essence, gazole, fiouls, charbon et de la biomasse, …). Ils se forment par combinaison de l'azote (principalement atmosphérique) et de l'oxygène de l'air à hautes températures. Tous les secteurs utilisateurs de combustibles sont concernés, en particulier le transport routier. Au cours d'une combustion, l'azote de l'air s'oxyde en grande partie en NO puis progressivement en NO2 à l'air libre. Quelques procédés industriels (production d'acide nitrique, production d'engrais azotés, …) et activités non liées à la consommation d'énergie (agriculture) émettent des NOx. Dans l'environnement intérieur, les oxydes d'azote sont essentiellement émis par les appareils fonctionnant au gaz comme les cuisinières à gaz, chaudières, chauffe-eau mais également par le tabagisme.

Les polluants indicateurs retenus dans le cadre de cette action sont issus d'un recoupement entre les travaux de hiérarchisation des paramètres d'intérêts sanitaires (hiérarchisations OQAI 2002 et 2010) et les indicateurs des matériaux de construction et des systèmes de chauffage, ventilation et les différentes sources d'émissions.

Tableau 3 : Liste des polluants mesurés dans le cadre de l'étude

Polluants venant des matériaux de construction	Autres polluants indicateurs des systèmes de chauffage et de ventilation	Paramètres de confort
Limonène a-pinène Benzène Toluène Ethylbenzène Xylènes (m/p – o) Styrène Tétrachloroéthylène 1 méthoxy-2-propanol n-décane Formaldéhyde Acétaldéhyde Hexaldéhyde	Particules en suspension (PM2,5) NO_2 Moisissures Radon	Température Humidité relative CO_2 Débit d'extraction d'air

2.2. TECHNIQUES DE MESURE

2.2.1. Température, humidité relative et ventilation

La température et l'humidité relative ont été suivies en continu par des sondes Ebro EBI 20-T-Ex déployées dans les sites intérieurs et extérieurs.

En complément des mesures, les débits des bouches de ventilation (insufflation et extraction) ont été relevés.

Les débits ont été contrôlés par un appareil disposant d'un anémomètre à hélice et un cône de mesure (TESTO).

Lorsque la bouche de ventilation présentait une dimension supérieure à celle du cône de mesure, la méthode dite « de maillage de points » était employée à l'aide de l'anémomètre à hélice. La moyenne arithmétique des différents points de mesure permet de définir la vitesse moyenne de l'air à travers la section, puis le débit d'air. Ce système de mesure occasionne plus d'incertitude de mesure mais permet toutefois de mettre en évidence des dysfonctionnements majeurs lorsqu'ils existent.

Les mesures sur site sont donc à tempérer par les incertitudes de mesures décrites dans la norme AFNOR NF EN 16211.

- Pour les mesures avec le cône et l'anémomètre à hélice, le pourcentage d'incertitude est de 15% pour les vitesses comprises entre 3 et 20 m/s,
- Pour les mesures de maillage de points à l'aide de l'anémomètre à hélice, le pourcentage d'incertitude est de 12 à 15%.

2.2.2 Le dioxyde de carbone

Les teneurs en dioxyde de carbone ont été mesurées avec un analyseur Q-Trak (sonde infrarouge non-dispersive 980), toutes les 10 minutes.

2.2.3. Les tubes passifs

Le suivi des concentrations dans l'air a été effectué au moyen de tubes à diffusion passive pour les polluants gazeux suivants :

- ✓ Le benzène ;
- ✓ Le formaldéhyde ;
- ✓ Le dioxyde d'azote NO_2.

Les tubes passifs de type « Radiello » permettant la mesure du benzène sont constitués de 2 tubes cylindriques concentriques (figure 2) : un tube externe, le corps diffusif, fait office de filtre en arrêtant les poussières et un tube interne, la cartouche, contient le réactif spécifique au composé à absorber.

Pour le NO_2, les tubes de type « Gradko » comprennent un seul élément cylindrique bouché à son extrémité (figure 2).

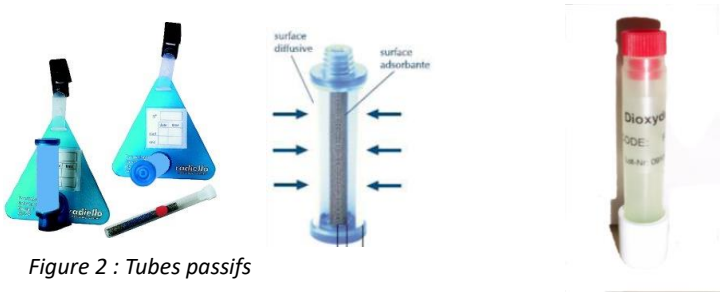


Figure 2 : Tubes passifs

La quantité de molécules piégées dans la cartouche est proportionnelle à sa concentration dans l'environnement.

Dans la pièce à investiguer, le tube passif est suspendu à l'horizontal et ceci pour une durée de 4,5 jours. Pendant le prélèvement, les polluants gazeux traversent le corps diffusif jusqu'à la zone de piégeage formée par la cartouche absorbante.

Après exposition, la cartouche est placée dans un tube verre et envoyée à un laboratoire d'analyse. Les concentrations dans l'air moyennes des polluants sur l'ensemble de la période d'exposition (en µg/m^3) seront déterminées par analyse différée des échantillons en laboratoire :

- Le Laboratoire Interrégional de Chimie 'SYNAIRGIE' situé à Schiltigheim par chromatographie liquide haute performance (HPLC) et d'une détection par absorption pour le formaldéhyde

- Le laboratoire de chimie Atmo Grand Est à Metz pour l'analyse du NO_2 par dosage colorimétrique selon la norme NF X 43-009.

- L'Istitui Clinici Scientific Maugeri situé à Peralolo di Vignonza en Italie pour l'analyse des COV (NF EN ISO 16017-2).

2.2.4. Le pDR-1500

L'analyseur de poussières Thermo pDR-1500 est un néphélomètre qui permet une mesure en temps réel de la concentration massique des poussières en continu.

2.2.5. Les badges Kodalpha

La mesure de l'activité volumique du radon a été réalisée par un dosimètre radon KODALPHA qui est un détecteur de particules alpha. Il permet de réaliser des mesures "intégrées" de la radioactivité naturelle due au gaz radon. Les mesures ont été effectuées sur une durée de deux mois.

2.2.6. Les moisissures

Pour le prélèvement des moisissures, un impacteur a été utilisé. Il permet de prélever les micro-organismes aéroportés par impaction (aspiration de 100 litres d'air par minute et projection sur deux milieux de culture après passage sur une grille). Un dénombrement est réalisé après 3 jours d'incubation et une identification des moisissures après 14 jours d'incubation.

Par ailleurs, une détermination des espèces fongiques présentes sur les surfaces murales a été entrepris avec utilisation d'un écouvillon stérile frotté sur les murs et les systèmes de ventilation (incubation pendant 14 jours). La recherche de moisissures est effectuée par la faculté de médecine de Nancy (CMEI).

2.3 STRATÉGIE D'ÉCHANTILLONNAGE

2.3.1 Stratégie d'échantillonnage spatiale

Compte tenu de la configuration des lieux, une salle de classe et la salle d'activités (appelée salle d'évolution) ont été instrumentées pour cette étude.

2.3.2 Stratégie d'échantillonnage temporelle

Afin d'être au maximum représentatif des conditions moyennes sur l'année (permettant ainsi une comparaison par rapport à des valeurs de référence long terme), un minimum de 2 périodes d'une semaine dans l'année à 2 saisons distinctes (période de chauffe des bâtiments et période hors chauffe) a été nécessaire du fait des fluctuations notables de concentrations de certains polluants au cours d'une année.

En ce qui concerne l'école dans laquelle il n'y a généralement pas d'activité le week-end, les mesures ont été réalisées en période d'activité c'est-à-dire du lundi matin au vendredi après-midi soit 4,5 jours au lieu d'une semaine complète. Elles ont été réalisées :

- ✓ Du 18 au 22 septembre 2017 pour la phase estivale
- ✓ Du 15 au 19 janvier 2018 pour la phase hivernale.

Seuls les prélèvements de moisissures et bactéries doivent être réalisés sur un pas de temps court (5 à 10 minutes). A l'inverse les mesures de radon sont effectuées sur une durée plus longue d'environ 2 mois.

Le radon ainsi que les particules fines ont été mesurés essentiellement en phase hivernale. Les mesures ponctuelles de ventilation ont été réalisées en période hivernale et estivale.

Des mesures en extérieur ont également été réalisées pour les COV et le NO_2 afin de prendre en compte l'apport éventuel de l'air extérieur.

3. STRATEGIE DE COMPARAISON

3.1. VALEURS DE REFERENCE

3.1.1. Les paramètres de confort

Au niveau du confort hygrothermique (température et humidité relative), bien qu'il soit subjectif et dépendant d'autres paramètres (vitesse de l'air, habillement…), il est possible de définir des plages jugées acceptables. Par exemple, le diagramme de Fauconnier suggère pour un confort optimal les plages de températures et d'humidité relative associées. Une humidité trop faible (< 30%) peut donner une sensation de sécheresse gênante sur le plan respiratoire, cutanée et oculaire. Une humidité relative trop importante (>70%) peut favoriser le développement de moisissures.

Par ailleurs, l'Ademe préconise un taux optimal d'humidité relative dans l'air entre 40 et 60 %, pour une température s'élevant entre 18° et 22°C.

3.1.2. Le dioxyde de carbone

Le règlement sanitaire départemental indique de ne pas dépasser dans un espace clos 1 000 parties par million (ppm) de CO_2 avec une tolérance jusqu'à 1 300 ppm. On considère que le confinement est élevé à partir de 1700 ppm.

Un indice de confinement, appelé ICONE (Indice de CONfinement d'air dans les Écoles), a été développé en 2008 par le Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB). Celui-ci est calculé à partir de la fréquence et de l'intensité des niveaux de CO_2 autour des valeurs seuils de 1000 et 1700 ppm (en période d'occupation normale de la salle par les enfants). Le niveau de confinement de la pièce est alors exprimé par une note sur une échelle de 0 à 5 (cf. **annexe 3**). La note 0 correspond au confinement nul (niveau de CO_2 toujours inférieur à 1000 ppm), c'est la situation la plus favorable. La note 5 correspond au confinement extrême, c'est la situation la plus défavorable (niveau de CO_2 toujours supérieur à 1700 ppm pendant l'occupation). Le dioxyde de carbone fait partie des substances à suivre lors de la phase hivernale des campagnes de surveillance dans les ERP. Les modalités de calcul précédemment énoncées figurent dans le décret 2012-14 modifié par le décret 2015-1926 du 30 décembre 2015.

3.1.3. Le benzène et le formaldéhyde

Parmi l'ensemble des polluants évoqués ci-avant, le benzène, le formaldéhyde ainsi que le confinement sont réglementés par le décret n° 2012-14 du 5 janvier 2012 et le décret n° 2011-1727 du 2 décembre 2011[7] . Les autres polluants mesurés dans le cadre de cette étude ne disposent pas de valeurs réglementaires.
Pour le benzène et le formaldéhyde, la réglementation fixe les valeurs limites à ne pas dépasser dans un espace clos ainsi que les différentes valeurs guides d'exposition à long terme qui rentrent progressivement en vigueur.

La **valeur guide** pour l'air intérieur désigne un niveau de concentration de polluants de l'air intérieur, déterminé pour un espace donné à atteindre à long terme pour protéger la santé des personnes.
La **valeur limite** désigne la valeur au-delà de laquelle des investigations complémentaires doivent être menées afin d'identifier et de neutraliser les sources dans le but de ramener les teneurs intérieures en dessous de la valeur repère.

Tableau 4 : Valeurs réglementaires relatives au benzène et au formaldéhyde.

	Synthèse des différentes valeurs réglementaires		
	Valeur guide pour une exposition long terme		**Valeur limite**
Formaldéhyde	**10 µg/m³** à compter du 1er janvier 2023	**30 µg/m³** depuis le 1er janvier 2015	**100 µg/m³**
Benzène	**2 µg/m³** depuis le1er janvier 2016	**5 µg/m³** depuis le 1er janvier 2013	**10 µg/m³**

3.1.4. Les autres composés organiques volatils

Pour les polluants ne disposant pas de valeurs réglementaires, des valeurs dites de référence seront utilisées. Les composés organiques volatils pour lesquels aucune valeur n'est recensée ne figurent pas dans le tableau ci-après et l'interprétation est réalisée de façon quantitative.

Des valeurs guides indicatives ont été proposées pour le toluène, le styrène et les xylènes dans une étude de Koistinen et al[8]. Le Haut Conseil de Santé Publique (HCSP) a également proposé des valeurs guides indicatives pour le trichloroéthylène[9] et le tétrachloroéthylène[10]. L'Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de l'alimentation, de l'Environnement et du travail (ANSES) a également établi une valeur guide long terme pour l'acétaldéhyde[11].

Tableau 5 : Valeurs réglementaires relatives aux autres composés organiques volatils

[7] Décret n° 2011-1727 relatif aux valeurs-guides pour l'air intérieur pour le formaldéhyde et le benzène.
[8] Koistinen K, Kotzias D, Kephalopoulos S et al. (2008). The INDEX project : executive summary of a European Union project on indoor air pollutants. Allergy, 63:810-819.
[9] HCSP (2012) – Avis relatif à la fixation de valeurs repères d'aide à la gestion pour le trichloroéthylène dans l'air des espaces clos, 6 juillet 2012, 3.
[10] HCSP (2010) – Avis relatif à la fixation de valeurs repères d'aide à la gestion pour le tétrachloroéthylène dans l'air des espaces clos, 16 juin 2010,
[11] Proposition de valeurs guides de qualité de l'air intérieur L'acétaldéhyde, Avis de l'ANSES, Rapport d'expertise collective, avril 2014, Edition scientifique

Polluants	Valeurs indicatives
acétaldéhyde	ANSES : 160 µg/m³ (2014)
toluène	INDEX : 300 µg/m³ (2005)
(m+p)-xylènes et o-xylène	INDEX : 200 µg/m³ (2005)
styrène	INDEX : 250 µg/m³ (2005)
tétrachloroéthylène	HCSP : 250 µg/m³ (2010) Action rapide : 1250 µg/m³
trichloroéthylène	HCSP : 2 µg/m³ (2012)

3.1.5. Les PM2,5 et le NO_2

En France, les valeurs guides (VGAI) sont établies par l'ANSES. À défaut, les VGAI établies par l'OMS en 2010 ou reconnues à l'échelle européenne peuvent être utilisées.

Il existe également des valeurs repères d'aide à la gestion dans l'air des espaces clos : le HCSP propose à partir des VGAI de l'ANSES, des valeurs dites de « gestion » avec un calendrier d'application associé. En outre, le HCSP propose des outils d'aide à la gestion en formulant des valeurs aux dessus desquelles des actions sont à entreprendre pour améliorer la qualité de l'air intérieur.

Pour les PM2,5 :

Afin de prévenir les effets liés à une exposition chronique, le HCSP[12] recommande dans l'air intérieur :

- Un objectif cible de 10 µg/m³ à échéance de 2025, avec des valeurs dégressives, directement applicables. La valeur repère pour 2018 est ainsi fixée à 17 µg/m³.
- Une valeur d'action rapide de 50 µg/m³ dont le dépassement doit déclencher dans les trois mois la mise en œuvre d'actions correctives.

Pour le NO_2 :

L'ANSES a également établi une valeur guide long terme pour le NO_2[13] établie à 20 µg/m³.

3.1.6. Le radon

Le radon est un gaz radioactif d'origine naturelle, issu de la désintégration de l'uranium et du radium présents naturellement dans le sol et les roches. En France, il n'existe actuellement pas de limite réglementaire applicable aux bâtiments de bureaux. Cependant, sur la base des recommandations de l'organisation mondiale de la santé (OMS), la Commission européenne a retenu la valeur de 300 Bq/m³ en moyenne annuelle comme valeur de référence en dessous de laquelle il convient de se situer.

Lorsque les résultats de mesure dépassent 300 Bq/m³, il est ainsi nécessaire de réduire les concentrations en radon.

[12] Valeurs repères d'aide à la gestion dans des espaces clos : les particules, HSCP, juillet 2013

[13] Anses (2013) Propositions de Valeurs Guides de qualité d'Air intérieur, Dioxyde d'azote (NO_2). Février 2013. Avis et rapport, 143 p.

3.1.7. Les moisissures

Pour les moisissures, le nombre « d'Unités Formant Colonies » (UFC) par m^3 d'air peut être relié à un niveau de concentration (Reboux et al.: Indoor mold concentration in Eastern France. Indoor Air 2009) :

Tableau 6 : Valeurs d'interprétation pour les moisissures.

Unités Formant Colonies (UFC/m3)	Niveau de concentration
< 170 UFC/m^3	**Faible**
170 à 560 UFC/m^3	**Moyen**
560 à 1000 UFC/m^3	**Fort**
> 1000 UFC/m^3	**Très fort**

3.1.8. Les débits réglementaires

Les débits de référence sont imposés en fonction du nombre de personnes présentes dans les pièces.

Le Règlement Sanitaire Départemental Type impose un débit minimal d'air neuf de 15 m^3/h pour un enfant, tandis que le Code du Travail requiert un débit minimal de 25 m^3/h pour les enseignants et les autres salariés.
Dans la salle d'activités en revanche, le débit minimal par enfant est de 25 m^3/h en raison de la possibilité d'activités sportives.

Ainsi, dans une salle de classe avec un enseignant et 30 élèves, le débit minimal requis est de 475 m^3/h.
Les débits théoriques des salles de classe de cette école étant de 450 m^3/h, ils respectent la réglementation pour des effectifs de 28 élèves ou moins.

3.2. DONNEES COMPARATIVES

Une campagne pilote nationale de surveillance de la qualité de l'air dans les écoles et les crèches françaises a été lancée en 2009 par le Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie (MEDDE) sur une période de 2 ans. Au total, 320 établissements répartis sur l'ensemble du territoire ont été concernés, durant une semaine d'enseignement, à raison de deux saisons (été et hiver).

Lors de cette campagne, deux polluants prioritaires ont été mesurés le formaldéhyde et le benzène. En complément, des mesures sur le confinement, déterminé notamment à partir du taux de concentration en CO_2, ont été réalisées. Des audits techniques des bâtiments ont complété ce suivi des indicateurs de qualité de l'air intérieur.

Pour le formaldéhyde et le benzène, seules les moyennes annuelles tous établissements confondus sont disponibles sur l'ensemble de l'échantillon. **Pour l'indice de confinement, une distinction par type d'établissement a été effectuée**.

Données nationales FORMALDEHYDE (FA) :

	Répartition des **MOYENNES** annuelles		Répartition des **MOYENNES** annuelles	
FA (µg/m^3)	à l'échelle de l'**ETABLISSEMENT**		à l'échelle de chaque **PIECE**	
0 à ≤ 10	18,4%	**89,4%**	19,6%	**87,8%**
10 à ≤ 30	71,0%		68,2%	
30 à ≤ 50	9,0%	**10,6%**	10,3%	**12,2%**
50 à ≤ 100	1,6%		1,9%	
> 100	0,0%	**0,0%**	0,0%	**0,0%**

Données nationales BENZENE (BE) :

	Répartition des **MOYENNES** annuelles		Répartition des **MOYENNES** annuelles	
BE (µg/m^3)	à l'échelle de l'**ETABLISSEMENT**		à l'échelle de chaque **PIECE**	
0 à ≤ 2	42,6%	**42,6%**	35,7%	**35,7%**
2 à ≤ 5	56,1%	**57,4%**	63,3%	**64,2%**
5 à ≤ 10	1,3%		0,9%	
> 10	0,0%	**0,0%**	0,1%	**0,1%**

Figure 3 : Répartition des concentrations en formaldéhyde et en benzène par classes de concentrations en moyennes annuelles tous établissements confondus lors de la campagne nationale

	CONFINEMENT AU NIVEAU DES PIECES							
	GLOBAL		CRECHES		MATERNELLES		ELEMENTAIRES	
Icone	Effectif	%	Effectif	%	Effectif	%	Effectif	%
0	124	13.8%	46	24.6%	37	16.8%	41	8.4%
1	141	15.7%	57	30.5%	51	23.2%	33	6.7%
2	195	21.8%	42	22.5%	67	30.5%	86	17.6%
3	237	26.5%	32	17.1%	43	19.5%	162	33.1%
4	179	20.0%	5	2.7%	20	9.1%	154	31.5%
5	8	0.9%	1	0.5%	0	0.0%	7	1.4%
INV*	12	1.3%	4	2.1%	2	0.9%	6	1.2%
TOTAL	896	100%	187	100%	220	100%	489	100%

INV : données invalides ou indisponibles ne permettant pas le calcul du confinement.

Figure 4 : Répartition de l'indice de confinement à l'échelle des pièces – campagne nationale

4. RESULTATS

4.1. LES PARAMETRES DE CONFORT ET LE RENOUVELLEMENT D'AIR

4.1.1 Les paramètres de confort

Le tableau ci-dessous présente les moyennes de température et d'humidité enregistrées dans chacune des pièces ainsi qu'à l'extérieur. A noter que la température et humidité à l'extérieur ne sont pas disponibles pour la campagne estivale.

Tableau 7 : Résultats obtenus pour les paramètres de confort dans les salles de classe.

Pièce	Température en °C			Humidité relative en % HR		
	Min	Max	Moyenne	Min	Max	Moyenne
Campagne estivale						
Salle de classe	22,0	25,0	**23,1**	31,0	50,0	**39,3**
Salle d'activités	21,0	30,0	**22,2**	24,0	48,0	**40,3**
Campagne hivernale						
Salle de classe	13,2	24,6	**21,4**	29,6	59,9	**41,2**
Salle d'activités	19,7	24,6	**21,2**	30,1	45,4	**37,5**
Extérieur	1,1	10,6	**5,8**	56,4	94,7	**83,6**

Les températures moyennes mesurées se situent principalement dans les plages de préconisations pour la majorité des pièces. A noter cependant une température moyenne qui s'élève à 23,1 °C lors de la période estivale dans la salle de classe. On peut souligner que les trois salles de classe ont une exposition sud, avec la présence d'une casquette horizontale en bois susceptible de protéger au moins partiellement du rayonnement solaire direct en été. Lors des deux phases de mesure, les températures maximales dans les deux pièces sont parfois élevées, ce qui peut ponctuellement provoquer une sensation d'inconfort thermique.

Les taux d'humidité mesurés sont satisfaisants mais présentent parfois des valeurs assez faibles. C'est notamment le cas dans la salle d'activité en période estivale. Cela peut s'expliquer par la présence d'une VMC double flux qui peut provoquer un asséchement de l'air.

4.1.2 Le renouvellement d'air

Le dioxyde de carbone

L'indice de confinement a été calculé dans les deux pièces pour les deux phases de mesure. À noter que pour la salle d'activités, le résultat est présenté à titre indicatif au vu du faible taux d'occupation de la pièce. Le tableau ci-dessous présente les indices de confinement obtenus ainsi que les niveaux de CO_2 moyens en période d'occupation des salles.

Tableau 8 : Résultats obtenus pour le dioxyde de carbone.

Pièce	Indice de confinement		Concentration en CO_2 en ppm	
	Valeur	Nature	Maximum	Moyenne
Campagne estivale				
Salle de classe	2	Moyen	1513	**1105**
Salle d'activités	0	Nul	894	**576**
Campagne hivernale				
Salle de classe	2	Moyen	1536	**1120**
Salle d'activités	**0**	**Nul**	1111	**704**

L'indice de confinement est nul dans la salle d'activités en raison du faible taux d'occupation et du volume important de la pièce. En ce qui concerne la salle de classe, l'indice de confinement est de 2 sur 5 pour les deux phases de mesures ce qui correspond à un confinement qualifié de « moyen ». Le renouvellement d'air est donc satisfaisant mais les moyennes mesurées dépassent 1000 ppm, seuil pour lequel un début de confinement est observé. Le graphique ci-dessous présente l'évolution des teneurs en dioxyde de carbone dans la salle de classe pour la phase estivale.

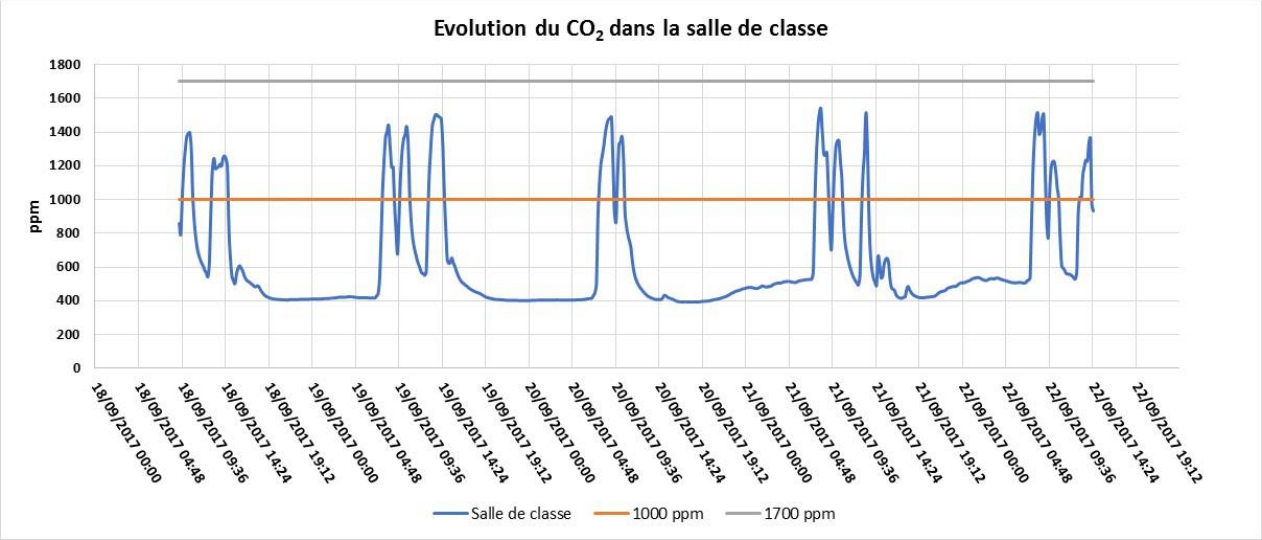


Figure 5 : Evolution du CO_2 dans la salle de classe

Une augmentation rapide des concentrations est observée dès l'entrée des élèves dans la salle de classe avec une décroissance rapide pendant les récréations et la pause de midi. Le seuil maximal de 1700 ppm n'est toutefois pas dépassé.

Le dispositif de ventilation

Les débits relevés lors des deux campagnes (estivale et hivernale) sont comparés avec les débits théoriques notés dans le plan de récolement.

Tableau 9 : Mesures de ventilation en période estivale (lundi 18/09/17)

Pièces	Dimensions bouches	Débits relevés (m^3/h)	Débits théoriques (m^3/h)	Observations (méthode de mesure + autre)
Classe instrumentée				Maillage
soufflage	400 x 150 sur plan **sur place :** 300X150	246	450	porte couloir légèrement détalonnée
reprise	400 x 150 sur plan **sur place :**300 X150	230	450	
Classe est				Maillage
soufflage	400 x 150 sur plan **sur place :**300 X150	188	450	
reprise	400 x 150 sur plan **sur place :**300 X150	227	450	Porte non détalonnée
Classe ouest				Maillage
soufflage	400 x 150 sur plan **sur place :**300 X150	227	450	
reprise	400 x 150 sur plan **sur place :**300 X150	238	450	Impossibilité de vérifier le détalonnage de la porte
Salle d'activités instrumentée				Maillage
soufflage	600 x 200 sur plan **sur place :400**X150	604	700	
reprise	600 x 200 sur plan **sur place :**400 X150	454	675	
Bureau (soufflage)		64	30	Cône – porte légèrement détalonnée – vitesse : 2.4m/s
Wc (extraction)				Cône
garçons		117 et 18	30 x 2	Porte côté couloir détalonnée Vitesse : 4.5 et 0.7m/s
filles		43	60	Porte couloir légèrement détalonnée- vitesse : 1.65m/s
Hall d'entrée (soufflage)	400 x 150 sur plan **sur place :**200 X100	120	140	maillage
Local rangement ménage		19	15	Cône – porte sur couloir non détalonnée – vitesse : 0.73m/s Vitesse : 0.96m/s
Wc personnel		25	20	
Affaires sport		10	25	Cône – vitesse : 0.38m/s

Tableau 10 : Mesures de ventilation en période hivernale (lundi 15/01/18)

Pièces	Débits relevés (m^3/h)	Débits théoriques (m^3/h)	Observations (méthode de mesure + autre)
Classe instrumentée			maillage
soufflage	648	450	
reprise	677	450	Bouche sale
Classe est			maillage
soufflage	502	450	
reprise	615	450	Bouche sale
Classe ouest			maillage
soufflage	515	450	
reprise	521	450	Bouche sale
Salle d'activités instrumentée			maillage
soufflage	445	700	
reprise	602	675	Bouche sale
Bureau (soufflage)	49	30	Cône – vitesse : 1.9m/s
Wc (extraction)			Cône
garçons	36 et 47	30 x 2	vitesse :1.4 et 1.8m/s
filles	47	60	Vitesse : 1.8m/s
Hall d'entrée (soufflage)	198	140	maillage
Local rangement ménage	22	15	Cône – vitesse : 0.83m/s
Wc personnel	57	20	Cône – vitesse : 2.2m/s
Affaires sport	54	25	Cône – vitesse : 2.1m/s

Les débits mesurés sont en globalité largement plus élevés en hiver qu'en été. Ce fait est positif pour la qualité d'air intérieur en hiver puisque les occupants ont tendance à moins aérer en période hivernale qu'en période estivale.

En été, les débits mesurés sont bien inférieurs aux débits prévus. On peut donc s'interroger sur la qualité du renouvellement de l'air, surtout en cas d'aération insuffisante par les occupants.

Ce résultat permet notamment d'expliquer l'indice de confinement de la salle de classe, qualifié de moyen avec des taux de CO_2 mesurés dépassant les 1300 ppm : le taux de renouvellement d'air de la salle est insuffisant pour assurer un renouvellement optimal de l'air. Cela pourrait être corrigé en modifiant les réglages du système de ventilation afin que ce dernier respecte les débits théoriques et en doublant cette mesure d'une aération des salles de classes notamment lors des récréations.

4.2. LES POLLUANTS ISSUS DES MATERIAUX ET DES ACTIVITES

4.2.1 Le formaldéhyde

Les concentrations obtenues pour le formaldéhyde sont précisées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 11 : Concentrations obtenues pour le formaldéhyde

	Campagne estivale	Campagne hivernale	Moyenne
Salle de classe	12,1 µg/m^3	19,7 µg/m^3	15,9 µg/m^3
Salle d'activité	7,8 µg/m^3	10,8 µg/m^3	9,3 µg/m^3
Valeur guide 2015	30 µg/m^3		
Valeur guide 2023	10 µg/m^3		

Les concentrations obtenues sont modérées et inférieures à la valeur guide de 30 µg/m^3 actuellement en vigueur. La salle d'activités présente des niveaux plus faibles que dans la salle de classe ce qui peut s'expliquer par l'absence d'activités manuelles dans cette pièce, la plus faible quantité de mobilier scolaire et la surface moindre de panneaux de particules laqués, susceptibles d'être une source de formaldéhyde.

À noter à titre de comparaison que lors de la campagne nationale écoles et crèches 71 % des établissements ont présenté tout comme cette école une concentration moyenne comprise entre 10 et 30 µg/m^3 pour le formaldéhyde.

NB : En 2023, la valeur limite du formaldéhyde passera à 10 µg/m^3.

4.2.2 Le benzène

Les concentrations obtenues pour le benzène sont précisées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 12 : Concentrations obtenues pour le benzène dans les pièces instrumentées ainsi qu'à l'extérieur

	Campagne estivale	Campagne hivernale	Moyenne
Salle de classe	1 µg/m^3	1,6 µg/m^3	1,3 µg/m^3
Salle d'activité	0,6 µg/m^3	1,3 µg/m^3	1,0 µg/m^3
	0,8 µg/m^3	1,0 µg/m^3	0,9 µg/m^3
Valeur guide 2016	2 µg/m^3		

Les valeurs mesurées dans l'école sont faibles et inférieures à la valeur guide de 2 µg/m^3. La campagne hivernale présente des valeurs légèrement plus élevées que la campagne estivale conformément au comportement saisonnier habituel de ce polluant. Lors de la campagne nationale écoles et crèches, 46,2 % des établissements ont présenté une concentration moyenne inférieure à 2 µg/m^3.

4.2.3 Les autres composés

Le tableau ci-après présente les concentrations obtenues dans les pièces pour les autres composés mesurés.

Tableau 13 : Concentrations obtenues pour les autres composés

Concentration en µg/m³	Salle de classe		Salle d'activités	
	été	hiver	été	hiver
1-méthoxy-2-propanol	0,3	0,9	<LQ	0,2
tétrachloroéthylène	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
éthylbenzène	1,5	4,9	1,3	2,6
toluène	1,0	1,1	0,9	0,8
m- + p-xylène	5,7	18,4	4,6	9,2
styrène	0,1	0,4	0,1	0,3
limonène	0,9	1,6	0,3	1,6
alpha-pinène	6,2	3,4	1,6	4,8
n-décane	0,1	1,8	0,1	1,2
acétaldéhyde	3,8	9,4	4,0	6,4
hexaldéhyde	9,7	15	5,8	6,2

< LQ : concentration inférieure à la limite de quantification

Pour l'ensemble des composés mesurés, les concentrations mesurées sont faibles et conformes à ce qui est habituellement mesuré dans les espaces intérieurs. La concentration la plus élevée concerne le m+p-xylène dans la salle de classe pour la campagne hivernale et s'élève à 18,4 µg/m³. Les sources de ce polluant en air intérieur sont les peintures, les vernis, les colles et les insecticides. La présence de xylène qui reste modérée parait liée à la réalisation d'activités manuelles dans cette pièce.

4.3. LES POLLUANTS INDICATEURS DES SYSTEMES DE CHAUFFAGE ET DE LA COMBUSTION

4.3.1 Les PM2,5

La concentration en PM2,5 a été mesurée uniquement lors de la phase hivernale. La salle de classe présente une moyenne sur la période de 4,7 µg/m³ pour les PM2,5 avec un maximum de 20 µg/m³. Les valeurs mesurées sont donc en deçà de la valeur repère de 17 µg/m³.

Pour la salle d'activités, les valeurs obtenues sont faibles et majoritairement inférieures à la limite de quantification de l'appareil ce qui n'a pas permis de déterminer la moyenne sur la période.

4.3.2 Le dioxyde d'azote

Les concentrations en dioxyde d'azote obtenues dans les deux pièces instrumentées se trouvent dans le tableau ci-dessous :

Tableau 14 : Concentrations obtenues pour le dioxyde d'azote

	Campagne estivale	Campagne hivernale	Moyenne
Salle de classe	24,3 µg/m³	6,6 µg/m³	15,5 µg/m³
Salle d'activité	33,9 µg/m³	6,9 µg/m³	20,4 µg/m³
Extérieur	27 µg/m³	10,1 µg/m³	18,5 µg/m³
Valeur guide indicative	20 µg/m³		

La campagne estivale présente des concentrations nettement plus élevées que lors de la campagne hivernale en lien avec l'apport de ce polluant par le biais de l'air extérieur. La campagne estivale s'est caractérisée par des conditions relativement stables pouvant favoriser l'accumulation de ce polluant dans l'air ambiant. A l'inverse, de nombreuses précipitations ont été enregistrée lors de la campagne hivernale ce qui a permis une dilution des polluants. La valeur guide indicative de 20 µg/m^3 est cependant respectée au regard des concentrations moyennes dans les deux pièces.

4.4. LE RADON ET LES MOISISSURES

Le radon

L'école présente une concentration moyenne pour le radon de 25 Bq/ m^3. Cette valeur est largement inférieure à la valeur limite de référence de 300 Bq/m^3.

Les moisissures

Le niveau de contamination en UFC/m^3 a été déterminé dans la salle d'activités, la salle de classe, les sanitaires et à l'extérieur.

Tableau 15 : Niveaux de contamination obtenus

	Salle d'activité	Salle de classe	Sanitaire	Extérieur
Nombre d'UFC/m^3	350	300	820	450
Niveau de contamination	Moyen	Moyen	Fort	Moyen

La faculté de médecine de Nancy qui a réalisé les prélèvements indique les éléments suivants : « Les prélèvements d'air ne montrent pas de pollution fongique des lieux par rapport à l'air extérieur. Les moisissures identifiées appartiennent à la flore aéroportée classique. Néanmoins, une contamination forte est observée dans les sanitaires qui ne possèdent pas de fenêtre (une fenêtre non ouvrant sur l'extérieur) ». Elle précise que « Les espèces retrouvées sur les surfaces dans le bâtiment ne sont pas indicatrices d'humidité et sont régulièrement rencontrées dans l'environnement intérieur. ». Les espèces identifiées sont présentées en **annexe 4**.

Les extractions d'air sont situées dans les boxes individuels, séparés par des cloisons légères des lavabos et urinoirs. Les débits mesurés respectent globalement les débits théoriques et ne justifient pas une telle concentration de moisissures.

Nous pouvons sans certitudes émettre des hypothèses sur la source de ces moisissures :

- La présence de joints entre les carreaux qui pourraient héberger des colonies ;
- Le mur extérieur en enduit terre et isolant paille, exposé nord donc plus humide (et peut-être également en raison d'une mauvaise mise en œuvre), peut être une source de moisissures ;
- Une mauvaise circulation d'air avec des portes insuffisamment détalonnées entre le hall et les sanitaires peut favoriser l'infiltration d'air à travers les parois extérieures possiblement contaminées.

CONCLUSION

La caractérisation de la qualité de l'air dans les deux salles de l'école a permis de mettre en évidence les éléments suivants :

- Des paramètres de confort conformes aux recommandations avec toutefois des températures parfois ponctuellement élevées dans les salles.
- Un indice de confinement moyen dans la salle de classe traduisant un début de confinement observé dès l'entrée des enfants dans la salle de classe. Cela s'explique notamment par des débits de ventilation théoriques non respectés.
- Des concentrations faibles et inférieures aux valeurs de référence pour la majorité des polluants chimiques mesurés. Seul le dioxyde d'azote présente des concentrations un peu plus élevées lors de la campagne estivale en lien avec l'apport de l'air extérieur.
- Des concentrations en PM2,5 et en radon également faibles et inférieures aux valeurs de référence.
- Un niveau de contamination fort pour les moisissures dans les sanitaires.

Au vu de ces résultats, la qualité de l'air intérieur est globalement satisfaisante dans l'école. Les parois du bâtiment à base de matériaux biosourcés permettent à priori une bonne régulation de l'humidité à l'intérieur du bâtiment (à l'exception des sanitaires).

Une augmentation des débits de ventilation afin de respecter les débits théoriques et une bonne aération des salles de classes permettraient d'améliorer encore la qualité d'air intérieur de ce bâtiment. Par ailleurs, il est également recommandé d'aérer plus spécifiquement les sanitaires et d'identifier l'origine de la présence de moisissures dans cette pièce (mauvaise circulation de l'air ou problème de mise en œuvre au niveau de la façade nord).

ANNEXE 1

QUESTIONNAIRES D'ACTIVITES

Campagne estivale

AtMO GRAND EST

Questionnaire à remplir sur les activités dans la pièce pendant la campagne de mesure

Commune / bâtiment concerné(e) : .....
Nom de la pièce : Salle de classe
Nom de la personne qui a rempli le questionnaire : HARTMANN

Merci de bien vouloir compléter ce questionnaire recto/verso qui nous permet d'interpréter les données obtenues lors de la campagne de mesure avec les activités réalisées dans la pièce durant la semaine.

1. L'entretien de la pièce a-t-il été réalisé ? (nettoyage des sols, vitres, tables) : Non ☐ Oui ☒

Si **Oui** merci de préciser les plages horaires et le type de ménage effectué par jour dans le tableau ci-dessous :

	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi
Horaires des activités de ménage	16h30-18h	16h30-18h	16h30-18h	16h30-18h	16h30-18h
Type d'activité (ex : sol, murs, tables, vitres etc)	Sol produit vitre sur tableau	Sol	Sol	produit sur les tables Sol produit désinfectant	Sol

2. Des activités de collage, de peinture ou utilisant des marqueurs ont-elles eu lieu ? Non ☐ Oui ☒

Si **Oui** merci de préciser le type d'activités, le matériel utilisé ainsi que le jour et l'horaire :
Utilisation de colle

3- Durant la semaine, avez-vous ouvert des fenêtres/porte-fenêtre : Non ☐ Oui ☒

Si **Oui** merci de préciser les plages horaires et le type d'ouverture effectuée par jour dans le tableau ci-dessous :

	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi
Horaires des ouvertures	15h30 16h[illegible]	15h - 16 h		10h30 11h3[illegible]	10h30-11h30 14h30-15h30
Type d'ouverture (en grand, oscillo-battant...)	grand	grand		grand	grand

La porte est-elle ouverte en présence des enfants : **Non ☐ Oui ☒**

4. Le chauffage a-t-il fonctionné pendant la semaine : Non ☐ Oui ☐

5. D'autres sources de combustion ont-elles été utilisées (bougies, encens...) : Non ☐ Oui ☐

Si **Oui** : merci de préciser : .....

6- Un événement inhabituel a-t-il eu lieu durant le prélèvement (dans les locaux ou à l'extérieur à proximité (feu, travaux extérieurs , etc...)? Non ☒ Oui ☐

Si **Oui** : de quel ordre et à quel moment de la semaine :
.....

7- La pièce a-t-elle fait l'objet d'une rénovation moins de 6 mois avant les mesures : ☒ Non ☐ Oui

Si **Oui** : de quel ordre (ex. : sol, mobilier, peinture...) ?: .....

AtMO GRAND EST

Questionnaire à remplir sur les activités dans la pièce pendant la campagne de mesure

Commune / bâtiment concerné(e) : .....
Nom de la pièce : salle d'activité
Nom de la personne qui a rempli le questionnaire : COSTE

Merci de bien vouloir compléter ce questionnaire recto/verso qui nous permet d'interpréter les données obtenues lors de la campagne de mesure avec les activités réalisées dans la pièce durant la semaine.

1. L'entretien de la pièce a-t-il été réalisé ? (nettoyage des sols, vitres, tables) : Non ☐ Oui ☒

Si **Oui** merci de préciser les plages horaires et le type de ménage effectué par jour dans le tableau ci-dessous :

	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi
Horaires des activités de ménage	16h - 20h	16h - 20h	16h - 20h	16h - 20h	16h - 20h
Type d'activité (ex : sol, murs, tables, vitres etc)	sol	sol			sol

pas de produit utilisé, uniquement balayage

2. Des activités de collage, de peinture ou utilisant des marqueurs ont-elles eu lieu ? Non ☒ Oui ☐

Si **Oui** merci de préciser le type d'activités, le matériel utilisé ainsi que le jour et l'horaire :
.....
.....
.....

3- Durant la semaine, avez-vous ouvert des fenêtres/porte-fenêtre : Non ☒ Oui ☐

Si **Oui** merci de préciser les plages horaires et le type d'ouverture effectuée par jour dans le tableau ci-dessous :

	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi
Horaires des ouvertures					
Type d'ouverture (en grand, oscillo-battant...)					

La porte est-elle ouverte en présence des enfants : **Non** ☒ **Oui** ☐

4. Le chauffage a-t-il fonctionné pendant la semaine : Non ☒ **Oui** ☐

5. D'autres sources de combustion ont-elles été utilisées (bougies, encens...) : Non ☒ **Oui** ☐

Si **Oui** : merci de préciser : .....

6- Un événement inhabituel a-t-il eu lieu durant le prélèvement (dans les locaux ou à l'extérieur à proximité (feu, travaux extérieurs , etc...)? Non ☒ Oui ☐

Si **Oui** : de quel ordre et à quel moment de la semaine :
.....

7- La pièce a-t-elle fait l'objet d'une rénovation moins de 6 mois avant les mesures : ☒ **Non** ☐ **Oui**

Si **Oui** : de quel ordre (ex. : sol, mobilier, peinture...) ?: .....

Campagne hivernale

Questionnaire à remplir sur les activités dans la pièce pendant la campagne de mesure

Commune / bâtiment concerné(e) : Ecole Bruyères ("Pièce 2")
Nom de la pièce : salle de classe
Nom de la personne qui a rempli le questionnaire : .....

Merci de bien vouloir compléter ce questionnaire recto/verso qui nous permet d'interpréter les données obtenues lors de la campagne de mesure avec les activités réalisées dans la pièce durant la semaine.

1. L'entretien de la pièce a-t-il été réalisé ? (nettoyage des sols, vitres, tables) : Non ☒ Oui ☐

Si **Oui** merci de préciser les plages horaires et le type de ménage effectué par jour dans le tableau ci-dessous :

	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi
Horaires des activités de ménage	Balayer	Balayer	Balayer épousseter	Balayer nettoyer	
Type d'activité (ex : sol, murs, tables, vitres etc)	16h/16h30	16h/16h30	14h15-15h00	16h30-17h00	

2. Des activités de collage, de peinture ou utilisant des marqueurs ont-elles eu lieu ? Non ☐ Oui ☒

Si **Oui** merci de préciser le type d'activités, le matériel utilisé ainsi que le jour et l'horaire :
.....
.....
.....

3- Durant la semaine, avez-vous ouvert des fenêtres/porte-fenêtre : Non ☒ Oui ☐

Si **Oui** merci de préciser les plages horaires et le type d'ouverture effectuée par jour dans le tableau ci-dessous :

	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi
Horaires des ouvertures					
Type d'ouverture (en grand, oscillo-battant...)					

La porte est-elle ouverte en présence des enfants : **Non ☐** Oui ☒

4. Le chauffage a-t-il fonctionné pendant la semaine : Non ☐ Oui ☐

5. D'autres sources de combustion ont-elles été utilisées (bougies, encens...) : Non ☒ **Oui ☐**

Si **Oui** : merci de préciser : .....

6- Un événement inhabituel a-t-il eu lieu durant le prélèvement (dans les locaux ou à l'extérieur à proximité (feu, travaux extérieurs , etc...)? Non ☒ Oui ☐

Si **Oui** : de quel ordre et à quel moment de la semaine :
.....

7- La pièce a-t-elle fait l'objet d'une rénovation moins de 6 mois avant les mesures : ☒ Non ☐ **Oui**

Si **Oui** : de quel ordre (**ex.** : sol, mobilier, peinture...) ?: .....

Questionnaire à remplir sur les activités dans la pièce pendant la campagne de mesure

Commune / bâtiment concerné(e) : Ecole
Nom de la pièce : salle d'activité
Nom de la personne qui a rempli le questionnaire : .....

Merci de bien vouloir compléter ce questionnaire recto/verso qui nous permet d'interpréter les données obtenues lors de la campagne de mesure avec les activités réalisées dans la pièce durant la semaine.

1. L'entretien de la pièce a-t-il été réalisé ? (nettoyage des sols, vitres, tables) : Non ☒ Oui ☐

Si **Oui** merci de préciser les plages horaires et le type de ménage effectué par jour dans le tableau ci-dessous :

	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi
Horaires des activités de ménage	Soir 17h	17h	17h	17h	17h
Type d'activité (ex : sol, murs, tables, vitres etc)	balayage uniquement	balayage uniquement	balayage uniquement	balayage uniquement	

2. Des activités de collage, de peinture ou utilisant des marqueurs ont-elles eu lieu ? Non ☒ Oui ☐

Si **Oui** merci de préciser le type d'activités, le matériel utilisé ainsi que le jour et l'horaire :
.....
.....
.....

3- Durant la semaine, avez-vous ouvert des fenêtres/porte-fenêtre : Non ☐ Oui ☐

Si **Oui** merci de préciser les plages horaires et le type d'ouverture effectuée par jour dans le tableau ci-dessous :

	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi
Horaires des ouvertures					
Type d'ouverture (en grand, oscillo-battant...)					

La porte est-elle ouverte en présence des enfants : **Non ☒ Oui ☐**

4. Le chauffage a-t-il fonctionné pendant la semaine : Non ☐ Oui ☒

5. D'autres sources de combustion ont-elles été utilisées (bougies, encens...) : Non ☒ Oui ☐

Si **Oui** : merci de préciser : .....

6- Un événement inhabituel a-t-il eu lieu durant le prélèvement (dans les locaux ou à l'extérieur à proximité (feu, travaux extérieurs , etc...)? Non ☒ Oui ☐

Si **Oui** : de quel ordre et à quel moment de la semaine :
.....

7- La pièce a-t-elle fait l'objet d'une rénovation moins de 6 mois avant les mesures : ☒ Non ☐ Oui

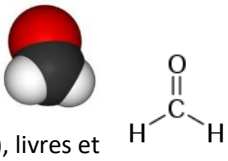
Si **Oui** : de quel ordre (ex. : sol, mobilier, peinture...) ?: .....

ANNEXE 2

SOURCES D'EMISSIONS DE QUELQUES POLLUANTS A L'ETUDE

Les aldéhydes

Les aldéhydes sont des composés organiques comportant une double liaison entre un atome de carbone et un atome d'oxygène, l'atome de carbone étant lié exclusivement à des atomes d'hydrogène ou de carbone.



- **formaldéhyde** : produits de construction et de décoration contenant des colles ou des liants urée-formol (panneaux de particules, panneaux de fibres, panneaux de bois brut et aggloméré, parquets, laines minérales, moquettes, mobiliers, stratifiés…), peintures et colles en phase aqueuse, vernis, sources de combustion (fumée de tabac, encens, bougies, cheminées…), livres et magazines neufs, photocopieurs, imprimantes laser, produits d'entretien, désinfectants, vernis, colles, revêtements de sol ;
  Le formaldéhyde est également omniprésent dans l'industrie de la finition textile (utilisation de résines, traitements pour en augmenter la résistance, brillance, empêcher le rétrécissement, faciliter le lavage…).

  Le formaldéhyde peut également être formé par réaction chimique de l'ozone avec certains matériaux de construction et revêtements.

- **acétaldéhyde** : photochimie, fumées de tabac, encens, bougies, photocopieurs, panneaux de bois brut, panneaux de particules ;
- **benzaldéhyde** : peintures à phase solvant, photocopieurs, parquet traité ;
- **isovaléraldéhyde** : parquet traité, panneaux de particules ;
- **propionaldéhyde** : fumée de cigarettes, plantes, désodorisants, désinfectant (lingettes, produits liquides, gel…), peinture à phase solvant, conservateur dans des produits de type peinture, bois…
- **butyraldéhyde** : photocopieurs ; imprimantes, laser, solvants.
- **valéraldéhyde** : émissions des livres et magazines neufs, peintures à phase solvant, panneaux de particules.
- **Hexaldéhyde :** panneaux de particules, émissions des livres et magazines neufs, produit de traitement du bois, panneaux de bois brut, des revêtements muraux comme la peinture à base de solvant, utilisation de produits ménagers, de parfums ou désodorisants d'intérieur…

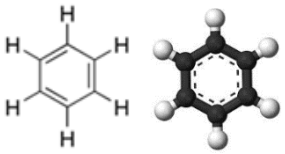
Les autres COV (liste non exhaustive)

Les BTEX

Le **benzène, le toluène, l'éthylbenzène et les xylènes** regroupés sous le terme **BTEX** sont des hydrocarbures aromatiques gazeux composés d'un noyau aromatique et de ramifications, se formant naturellement lorsque des matières organiques (composées de carbone et d'hydrogène) sont exposées à des phénomènes de combustion ou de pyrolyse.

Aussi, leurs principales sources d'émissions sont la combustion de dérivés du pétrole (fioul, charbon, essence etc), l'évaporation de carburant (réservoirs automobiles, phases de stockage– transport–distribution), la fumée de cigarettes, la combustion de biomasse (bois pour le chauffage notamment). Mais chacun de ces composés peut être émis également par :

- **xylènes** : peintures, vernis, colles, insecticides.
- **éthylbenzène** : peintures, vernis, colles de moquettes, pesticides.
- **benzène** : synthèse chimique d'hydrocarbures aromatiques substitués (éthylbenzène, phénol, cyclohexane…), produits de bricolage, d'ameublement, de construction et de décoration, fumée de cigarette, encens, bougies parfumées, désodorisant.



- **toluène** : produits d'entretien, solvant organiques, peintures, vernis, colles, encres, colle de moquettes, désodorisants, tapis.

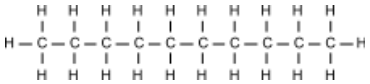
Autres hydrocarbures aromatiques :

- **Styrène** : matières plastiques, matériaux isolants.
- **1,2,4-triméthylbenzène et isomères** : intermédiaire de synthèse. Constituant de solvants pétroliers (white-spirit ordinaire, solvant naphta, solvants aromatiques, etc. …) utilisés pour la formulation de diluants, peintures, vernis, encres, pesticides. Constituants de carburants et de goudrons.

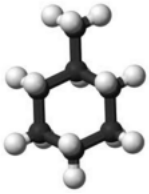
Alcanes : Les alcanes sont des hydrocarbures constitués uniquement d'atomes de carbone (C) et d'hydrogène (H), liés entre eux par des liaisons simples.

Sources d'émissions

- **n-heptane et isomères** : solvant pour colles, encres, caoutchoucs et matières plastiques. Solvant d'extraction.
- **n-décane** : white spirit, colles pour sol, cires, vernis à bois, sol, moquettes, tapis, huile pour parquet, solvant.



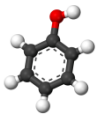
- **n-undécane** : white-spirit, colles pour sol, cires, vernis à bois, nettoyants pour sol, moquettes, tapis, huile pour parquet, solvant.
- **méthylcylcohexane** : un solvant des éthers de cellulose (les éthers de cellulose étant utilisés pour contrôler la viscosité d'un milieu, en tant qu'épaississants ou bien gélifiants par exemple dans l'industrie alimentaire, dans l'industrie pharmaceutique, dans le peintures, les colles ou encore les cosmétiques).



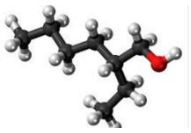
Alcools

Un alcool est un composé organique dont l'un des carbones est lié à un groupement hydroxyle (-OH).

- **butanol** : solvant dans les industries des laques, peintures, vernis, encres et résines, solvant de nettoyage, produits dégraissants.



- **Phénol** : utilisé dans l'industrie des matières plastiques, pour la fabrication de plastifiants, d'adhésifs, de durcisseurs, de dissolvants, d'isolants.
- **2-éthylhexanol** : l'utilisation la plus répandue est la fabrication du diester bis(2-éthylhexyl) phtalate (DEHP), un plastifiant.



Acétates (esters)

- **n-butyl acétate** : solvant utilisé comme diluant pour peintures, encres d'imprimerie, colles, laques et vernis. Agent d'extraction dans l'industrie pharmaceutique. Solvant utilisé pour la fabrication de cuirs artificiels, plastiques, fils photographiques. Arômes et parfums pour l'industrie alimentaire. Cosmétiques (dissolvant pour vernis à ongles..).

Ethers de glycols

- **2-phénoxyéthanol** : solvant pour peintures, vernis, laques, encres d'imprimerie, colorants. Biocide pour produits ménagers et industriels.
- **2-butoxyéthanol** : Solvant dans l'industrie des peintures, vernis, encres d'imprimerie et dans l'industrie cosmétique. Constituant de produits divers : dégraissant. Produits d'entretien ménager et industriels. Produits utilisés dans l'industrie mécanique et métallurgique (lubrifiants, dégraissants…). Produits phytosanitaires : fongicides, herbicides. Produits de traitement des bois.

Terpènes

- **alpha-pinène, limonène et autres terpènes** : désodorisant, parfum d'intérieur, produits d'entretien, bois.

ANNEXE 3

NATURE DU CONFINEMENT ET INFORMATIONS ASSOCIEES

D'APRES L'INDICE ICONE

ICONE	nature du confinement	INFORMATIONS
0	Confinement nul	néant
1	Confinement faible	
2	Confinement moyen	
3	Confinement élevé	
4	Confinement très élevé	**Message de sensibilisation destiné au maitre d'ouvrage** : Veiller à ce que l'utilisation des pièces soit conforme au taux d'occupation prévu. Lorsque ces 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. En l'absence de dispositif spécifique de ventilation, il est souhaitable d'améliorer les conditions d'aération de ces salles en procédant à des ouvertures plus fréquentes des fenêtres durant les périodes d'occupation.
5	Confinement extrême	**Message de sensibilisation destiné au maitre d'ouvrage :** Veiller à ce que l'utilisation des pièces soit conforme au taux d'occupation prévu. Lorsque ces salles sont équipées d'un dispositif spécifique de ventilation, il est recommandé de faire intervenir un spécialiste pour procéder à une inspection de l'installation. En l'absence de dispositif spécifique de ventilation, il est recommandé d'améliorer les conditions d'aération de ces salles en procédant à des ouvertures plus fréquentes des fenêtres durant les périodes d'occupation. **Actions à mener par le maître d'ouvrage ou l'exploitant de l'établissement : Nécessité de mener toute expertise nécessaire pour identifier les causes du confinement extrême dans l'établissement.** **Actions à mener par l'organisme en charge de la réalisation des mesures sur site : Information au préfet du lieu d'implantation de l'établissement dans un délai de quinze jours après réception de l'ensemble des résultats d'analyse.**

présentation de l'indice de confinement - 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 – Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB - 2012).

ANNEXE 4

ESPECES DE MOISISSURES IDENTIFIEES

Faculté de Médecine - DHREAS
Monique GUILLASO
Bât E - 3ème étage
9, avenue de la Forêt de Haye BP 20199
54505 Vandœuvre-Lès-Nancy Cedex
03 72 74 61 95 monique.guillaso@univ-lorraine.fr

Prélèvements	Salle d'activité	Salle de classe	Sanitaires	Extérieur
Air	• *Aspergillus versicolor* • *Cladosporium* sp. • *Penicillium* sp.	• *Aspergillus versicolor* • *Aspergillus* sp. • *Cladosporium* sp. • *Eurotium herbarorium* • *Penicillium* sp. • *Rhizopus* sp. • Basidiomycète	• *Aspergillus versicolor* • *Aspergillus* sp. • *Cladosporium* sp. • *Eurotium herbarorium* • Paecilomyces sp. • *Penicillium* sp. • Basidiomycète	• *Alternaria* sp. • *Aspergillus versicolor* • *Aspergillus fumigatus* • *Cladosporium* sp. • *Penicillium* sp. • Basidiomycète
Surfaces	Mur extérieur salle d'activité • Bactérie (1 colonie) Fissure salle d'activité • Basidiomycète Cadre de fenêtre salle d'activité • *Cladosporium* sp. • *Mucor* sp. • Basidiomycète • Levures Grille de soufflage salle d'activité • *Cladosporium* sp. • Basidiomycète Grille d'extraction salle d'activité • *Cladosporium* sp. • Levure	Mur extérieur salle de classe • Basidiomycète Cadre de fenêtre salle de classe • *Cladosporium* sp. • Basidiomycète Grille de soufflage salle de classe • Basidiomycète Grille d'extraction salle de classe • *Alternaria* sp. • *Cladosporium* sp. • *Epicoccum* sp. • Basidiomycète	Mur extérieur sanitaire • *Cladosporium* sp. Cadre de fenêtre sanitaire • *Cladosporium* sp. Grille d'extraction sanitaire • *Aspergillus niger* • *Cladosporium* sp. • *Rhodoturola* sp. • Basidiomycète	Grille de soufflage couloir Absence de croissance Blanc impacteur Absence de croissance Blanc analyse Absence de croissance

Moisissures allergènes reconnues : Les espèces *d'Aspergillus, Alternaria, Penicillium, Cladosporium, Rhodoturola*
Moisissures dont le pouvoir allergène est moindre ou variable selon les espèces : *Rhizopus*, Basidiomycète, *Fusarium*
Moisissures reconnues pour avoir un pouvoir infectieux : *Aspergillus fumigatus, Aspergillus niger, Aspergillus flavus, Rhizopus, Fusarium Rhodoturola*
Aucune utilisation commerciale de ces résultats ou utilisation comme base d'expertise devant les tribunaux n'est autorisée.