Cerema Est

Capitalisation des campagnes de caractérisation de la qualité de l'air intérieur de bâtiments biosourcés

Historique des versions du document

Version	Date	Commentaire
v.1	11/10/2019	Rédaction Céline Duhau
v.2	16/12/2019	Relecture Noëlie Daviau-Pellegrin
v.3	16/06/2020	Rédaction Christelle Schneider

Affaire suivie par

Céline DUHAU - Laboratoire Régional de Strasbourg – Bâtiment Construction Immobilier
Tél. : 03 88 77 46 03 / Fax : 03 88 77 46 20
Courriel : celine.duhau@cerema.fr
Site de Strasbourg : Cerema Est - 11 rue Jean Mentelin - BP 9 - 67035 STRASBOURG cedex 02

Références

Maître d'ouvrage : Dreal Grand Est /STELC/PCBD
Convention de partenariat Dreal/Cerema/Atmo

Rapport	Nom	Date	Visa
Établi par	Céline Duhau, chargée d'études qualité d'usage et qualité sanitaire des bâtiments au Cerema Est	11/10/2019	
Avec la participation de	Christelle Schneider, ingénieure études ATMO Grand Est	06/01/2020 16/06/2020	
Contrôlé par	Noëlie Daviau-Pellegrin, responsable d'activités qualité d'usage et qualité sanitaire des bâtiments au Cerema Est Bérénice Jenneson	07/01/2020 07/01/2020 16/06/2020	
Validé par	Julien Borderon, chef du groupe Bâtiment Construction Immobilier et Raphaèle Deprost ATMO Grand Est	20/01/2020 07/01/2020 16/06/2020	

Introduction :

L'utilisation de **matériaux biosourcés** dans la construction et la rénovation des bâtiments se développe afin d'améliorer leur qualité environnementale[1] et de diviser par 4 les émissions de gaz à effet de serre. L'impact de ces matériaux sur la santé n'est cependant pas toujours bien connu, alors qu'ils peuvent émettre des composants organiques volatils (COV) ou autres polluants.
D'après l'article 1 de l'arrêté du 19 décembre 2012 relatif au contenu et aux conditions d'attribution du label « bâtiment biosourcé », une matière biosourcée est une matière issue de la biomasse végétale ou animale pouvant être utilisée comme matière première dans des produits de construction et de décoration, de mobilier fixe et comme matériau de construction dans le bâtiment.
Cette étude s'inscrit dans l'action « Agir pour une meilleure qualité de l'air intérieur auprès des publics sensibles » du projet de Plan Régional Santé Environnement 3 de la Région Grand Est. Afin d'évaluer l'influence de la conception et de l'occupation du bâtiment sur la qualité d'air, ATMO Grand Est et le Cerema Est ont mis en œuvre deux campagnes de mesures dans six bâtiments biosourcés entre 2017 et 2019 :
- deux maisons d'habitation (que l'on nommera 1 et 2) en Meurthe-et-Moselle et dans le Bas-Rhin,
- deux gîtes d'hébergement (que l'on nommera 1 et 2) dans le Bas-Rhin et dans les Vosges ;
- une école élémentaire dans le Haut-Rhin ;
- un centre périscolaire dans les Vosges.

Ce document représente la capitalisation des résultats relevés lors de ces campagnes.

[1]Source : Certivéa

Sommaire

1 Descriptif des bâtiments 4
1.1 Situation géographique 4
1.2 Caractéristiques des bâtiments 4
1.3 Composition des parois 5
1.4 Entretien des locaux 8
2 Campagnes de mesures 9
2.1 Paramètres suivis 9
2.2 Stratégie d'échantillonnage 10
3 Résultats des campagnes 11
3.1 Le renouvellement d'air 11
3.2 Les polluants physico-chimiques 12
4 Conclusion globale pour les 6 bâtiments 14

1 Descriptif des bâtiments

1.1 Situation géographique

Les bâtiments étudiés se situent tous en zone rurale.
Une des deux maisons, un des deux gîte et l'école se trouvent à proximité de voies de circulation très peu passantes.
Le centre périscolaire, la deuxième maison et le dexuième gîte se situent au bord de routes avec un trafic important.

1.2 Caractéristiques des bâtiments

Les maisons d'habitation et gîtes :

	Maison 1	Maison 2	Gîte 1	Gîte 2	Ecole	Périscolaire
Matériaux de construction	Moellons	Cave et RDC : moellons Reste : pans de bois + briques ou torchis	Pans de bois + torchis	Pierre de grès	Ossature bois	Ossature bois
Isolation	Plancher cave et toiture : ouate de cellulose Murs extérieurs : laine de chanvre	Murs intérieurs : chanvre	Murs intérieurs : chaux / chanvre	Chaux / chanvre	Toiture : ouate de cellulose et laine de bois Murs : paille	Paille et laine de bois
Système de ventilation	VMC SF hygro	RDC : VMC DF – étage : extraction pièces humides (pas d'entrée d'air)	Pas de système	SF hygro B (hygrorégl able)	VMC DF	VMC DF
Mode de chauffage	Chaudière fioul cave poêle à bois séjour	Chaudière à pellets à la cave – poêle à bois séjour	Chaudière gaz bâtiment voisin	Chaudière bois bâtiment annexe	Chaufferie commu-nale biomasse, sous station bât. annexe	Poêle à bûchette de bois
Distribution chauffage	Radiateurs à l'étage	Plinthes et radiateurs	Plinthes et radiateurs	Plancher chauffant	Radiateurs	

1.3 Composition des parois

La composition des parois est la suivante :

Les maisons d'habitation et gîtes

Maison 1

	RDC pièce de vie	RDC WC/SDB	RDC circulation	1er chambre enfants	1er WC/SDB	1er circulation	1er chambre parents
Sol	Parquet vitrifié	Carrelage	Carrelage	Parquet huilé AURO	Parquet vitrifié	Parquet	Parquet ciré
murs	Laine de chanvre + lin puis plaques de plâtre puis peinture AURO	Carrelage peint	Idem séjour + soubassement en peinture autre que AURO (grande distribution)	Idem séjour	Tadelakt + carrelage	Peinture Auro	Idem séjour
plafond	Plaque de plâtre + peinture AURO	Peinture conventionnelle	Idem séjour	Idem séjour	Peinture conventionnelle	Peinture	Idem séjour

En rouge, les pièces instrumentées par ATMO Grand Est.
(Peinture « naturelle » AURO. Etiquetage sanitaire A).

Maison 2

	Cuisine/séjour RDC instrumentée	Stub	SDB RDC	1er chambre propriétaires – instrumentée	1er SDB	WC RDC	1er WC
Sol	Parquet huilé Biofa	Parquet huilé Biofa	Carrelage	Parquet huilé Biofa	Bois	Parquet vernis	Bois
Murs	Béton de chanvre + enduit sable/chaux avec pigments naturels – soubassement bois huilé Biofa	Boiseries peintes	Carrelage	Béton de chanvre enduit terre	Béton de chanvre enduit chaux	1 mur tadelakt – 1 mur enduit terre	Enduit terre
Plafond	Bois huilé Biofa	Boiseries peintes à 50%	Boiseries peintes	Bois non traité	Bois huilé Biofa	Bois huilé Biofa	Bois huilé Biofa

Gîte 1

	RDC Chambre n°1 instrumentée	1er - chambre n° 3 instrumentée	1er SDB
Sol	Plancher huilé Biofa	Sisal	Carrelage
Murs	Chaux/chanvre + enduit terre	2 murs chaux / chanvre – 1 mur torchis – 1 mur chaux / poudre de marbre	Carrelage + peinture
Plafond	Bois non traité	Poutres traitées Biofa	Bois traité Biofa

Gîte 2

	1er Chambre n°1 et 2 instrumentées	SDB attenantes	1er espace détente	RDC cuisine /salle à manger
Sol	Parquet vernis	Carrelage	Linoleum semi-rigide	Dalles de grès
Murs	Enduit chaux/chanvre	Placoplatre peint	Enduit chaux/chanvre	Enduit chaux/chanvre et moellons grès
Plafond	Placoplatre peint	Placoplatre peint	Placoplatre peint	Placoplatre peint

Les ERP

L'école élémentaire

	Salle de classe	2 autres salles de classe	Salle d'activités	Bureau	Hall d'entrée	Sanitaires
Sol	Linoléum	Linoléum	Linoléum	Linoléum	Carrelage	Carrelage
Murs	Sous fenêtres : panneaux particules laqués (placards) autres murs : plâtre peint	Idem sauf fenêtre côté extérieur : chaux	3 côtés : chaux hydraulique (avec un côté enduit et miscanthus mêlés en partie basse) – 1 côté plâtre peint	Enduit chaux	Côté salle d'activités : parement bois, tableaux blancs, plâtre peint Côté classes : parement bois et plâtre peint	Carrelage et peinture. Mur en contact avec l'extérieur : enduit terre
Plafond	Plafond acoustique + peinture	Idem	Plafond acoustique + peinture + parement bois	Panneaux de plâtre peints	Parement bois	Faux plafond en dalles

En rouge, les pièces instrumentées par ATMO Grand Est.

Le centre périscolaire

	sol	murs	plafond
Salle de restauration (RDJ)	Sol plastique. Isolation : ouate de cellulose	Parement hêtre brut	Parement hêtre avec protection anti-feu
Salle périscolaire (RDC)	Parquet hêtre massif	Parement hêtre brut	Sapin étuvé non traité
Office (RDJ)	Sol plastique	Carrelage + panneaux OSB	Sapin étuvé non traité
Sanitaires	Sol plastique	Carrelage	Sapin étuvé non traité
Bureau RDC	Parquet	Peinture et parement OSB non revêtu	Parement hêtre
Mezzanine	Parquet hêtre massif	Parement hêtre + panneaux OSB	Parement hêtre avec protection anti-feu
Escalier	Hêtre	Peinture	Peinture
Hall d'entrée	Sol plastique	Parement hêtre	Sapin étuvé non traité
Vestiaires	Sol plastique	Peinture	Sapin étuvé non traité
Local bois	Sol plastique	peinture	Sapin étuvé non traité

En rouge, les pièces instrumentées par ATMO Grand Est.

Bilan

En ce qui concerne la **maison** individuelle 2, les composants biosourcés, coffrés dans les parois ne se trouvent pas en contact direct avec l'air intérieur hormis les parquets. En revanche, dans la **maison** 1, tous les revêtements intérieurs des pièces étudiées sont des matériaux biosourcés non recouverts (voire huilés pour les parquets).

Les revêtements intérieurs biosourcés (murs, sols, plafonds) du **gîte 1** ne sont pas recouverts et sont donc en contact direct avec l'air intérieur. Le **gîte 2** ne présente que les murs intérieurs en composants biosourcés sans recouvrement.

Quant à l'**école**, ce sont des enduits en chaux qui se retrouvent ponctuellement en revêtement intérieur des murs.
En revanche pour le **centre périscolaire**, seuls des revêtements plastiques au sol isolent les matériaux biosourcés qui se retrouvent sur la majorité des parois en contact direct avec l'air intérieur.

En résumé, les 6 bâtiments présentent des matériaux biosourcés en contact avec l'air intérieur, dont 3 seulement partiellement (MI2, G2, école).

1.4 Entretien des locaux

Les maisons d'habitation et gîtes

	Chambres	Pièces de vie	Cuisine	Salles de bains et WC
Maison 1	Aspirateur 1x/semaine	Aspirateur 1x/semaine + lavage savon noir dilué	Aspirateur 1x/semaine + lavage savon noir évier au citron	Sanitaires : 1x/semaine savon de Marseille et HE* citron
Maison 2	Aspirateur	Aspirateur 1x/semaine et lavage tous les 15j avec Biofa Naplana**	Aspirateur 1x/semaine et lavage tous les 15j avec Biofa Naplana	WC : tous les 15 jours avec eau + vinaigre + citron mariné dans vinaigre
Gîte 1	Aspirateur après chaque occupation			Aspirateur après chaque occupation + lavage savon noir dilué. WC : eau de Javel
Gîte 2	Aspirateur après chaque occupation. Lavage savon noir dilué 5 fois/an			Aspirateur après chaque occupation + lavage savon noir dilué. WC : gel écologique Uni Vert***

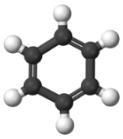
*HE : huile essentielle
**composition Biofa naplana : eau, cire de carnauba, ester d'acide gras d'alcool, huile de lavandin, huile de bergamote
***gel WC Uni Vert : écolabel européen

Les ERP

	Salles de classe	Sanitaires	Salle de restauration
Ecole élémentaire	Balayage tous les soirs, lavage 1x/mois avec produit conventionnel	Produit conventionnel	-
Centre périscolaire	Aspirateur et nettoyage tous les jours avec produit conventionnel	Nettoyage tous les jours avec produits conventionnels	Nettoyage tous les jours avec produits conventionnels

2 Campagnes de mesures

2.1 Paramètres suivis

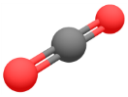


De nombreuses études sur la qualité de l'air intérieur ont déjà été menées, et ceci dans différents lieux de vie : habitats, écoles, bureaux, etc. Elles ont toutes mis en évidence une spécificité de la pollution de l'air intérieur. Il s'avère qu'en phase gazeuse les composés chimiques présents sont principalement 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 retrouvé majoritairement et de manière quasi-systématique), 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 Centre International de Recherche sur le Cancer (groupe 1). Les études épidémiologiques ont permis à l'ANSES[2] 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 1).

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 NO_x ($NO+ NO_2$) proviennent essentiellement de la combustion de combustibles fossiles (essence, gazole, fioul, 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 NO_2 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 NO_x. 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 ainsi que les différentes sources d'émissions.

[2]Agence Nationale de Sécurité Sanitaire

Le radon a également été suivi à titre indicatif (pas d'obligation pour les logements). Le radon est un gaz radioactif qui se trouve naturellement dans les roches des massifs anciens (Bretagne, Vosges, Centre de la France, Corse, Rhône-Alpes).

Il est reconnu cancérogène certain (groupe 1) par le CIRC pour le poumon depuis 1987. 6 à 15% des nouveaux cas de cancer du poumon seraient attribuables à une exposition au radon, l'interaction entre le radon et le tabac multipliant par trois le risque de cancer du poumon. Produit dans l'écorce terrestre, il est un descendant de l'uranium. Surtout, il a tendance à s'accumuler dans des lieux fermés qui, sous l'effet de la chaleur, voient leur pression baisser et fonctionnent alors comme de véritables accumulateurs.

L'IRSN (Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire) a établi une carte du potentiel radon (catégorie allant de 1 à 3) à l'échelle des communes française.[3]

L'obligation de surveillance concerne certains ERP et locaux professionnel situés en zone 3 radon avec un seuil d'intérêt fixé à à 300 Bq/m^3 (Bequerels par mètre cube). Au-delà, des actions et autres suivis sont à mettre en œuvre.

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

En plus de ces composés, lors de la 2ème phase de campagnes de mesures (en 2019), les COV majoritaires en quantités ont été quantifiés.

2.2 Stratégie d'échantillonnage

Bâtiment	Pièce instrumentée 1	Pièce instrumentée 2
Maison 1	Salle de vie (salon/cuisine) au RDC	chambre des enfants
Maison 2	Séjour/cuisine	chambre des propriétaires
Gîte 1	Chambre au RDC	chambre à l'étage
Gîte 2	Chambre à l'étage	chambre à l'étage
Ecole	Une salle de classe au RDC	salle d'activités au RDC
Centre périscolaire	Salle de restauration	salle de périscolaire

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.

[3] https://www.irsn.fr/FR/connaissances/Environnement/expertises-radioactivite-naturelle/radon/Pages/5-cartographie-potentiel-radon-commune.aspx#.XmpPEXJKhaQ

3 Résultats des campagnes

3.1 Le renouvellement d'air

Les résultats obtenus ont mis en évidence les éléments suivants :

- maison 1 :
La VMC a été mise en œuvre par le propriétaire de la maison. Le **renouvellement d'air paraît insuffisant** : entrées d'air manquantes, portes peu ou pas détalonnées et débits d'extraction trop faibles par rapport aux exigences de la réglementation. Par ailleurs, la famille a l'habitude de laisser les portes intérieures ouvertes, ce qui facilite la circulation de l'air mais les habitudes d'aération – surtout hivernales – semblent insuffisantes.
Les taux d'humidité sont parfois élevés en période estivale. Ces valeurs ainsi que le fait que les pressions mesurées ne se trouvent pas dans les plages annoncées par le fabricant pour le système de ventilation peuvent expliquer les forts niveaux de contamination fongiques observés dans l'habitation.

- maison 2 :
La VMC double-flux du rez-de-chaussée fonctionne avec des débits conformes à ceux prévus. Néanmoins, le débit d'extraction en cuisine n'a pas pu être vérifié et la situation de la bouche, coincée entre le mur et un meuble, ne permet pas un flux optimal pour le renouvellement de l'air. Le passage en vitesse supérieure permet effectivement d'augmenter les débits. Les grands volumes des pièces sont propices à un confinement faible.
Par contre, à l'étage où des bouches d'extraction sont installées dans les WC et salles de bains, aucune entrée d'air n'existe sur les fenêtres des chambres. Il est donc fort probable que des flux d'air circulent entre le rez-de-chaussée et le 1er niveau.
Des teneurs en dioxyde de carbone (indicateur du renouvellement de l'air) régulièrement sous les 1000 ppm sont enregistrées, mais avec quelques pics ponctuels supérieurs à ce seuil, en hiver, dans la chambre, ce qui est couramment observé dans ce type de pièce.

- gîte 1 :
La maison n'est pas équipée d'un système de ventilation en état de fonctionnement.
Aucune entrée d'air n'existe sur les fenêtres des pièces de vie.
A ce jour, seules les toilettes du rez-de-chaussée sont équipées d'une bouche d'extraction d'air. Il n'a pas été possible de vérifier son fonctionnement optimal compte tenu de l'impossibilité de procéder à la mesure.
Le renouvellement de l'air repose donc uniquement sur l'aération volontaire des occupants. Cela est visualisable par les teneurs en dioxyde de carbone, qui dans la chambre occupée, augmentent tout au long de la nuit et chutent dès l'aération au matin.

- gîte 2 :
En été, les pressions mesurées dans les bouches d'extraction sont conformes à celles annoncées par le fabricant. En hiver, les pressions mesurées se situent en dehors des plages indiquées mais les débits mesurés à un instant T étaient conformes. On peut donc estimer que le système fonctionne correctement et la présence d'entrées d'air sur les fenêtres concourt également à un bon renouvellement de l'air.
Par contre, l'absence de détalonnage des portes entre les chambres et les salles de bains et wc est un frein à la circulation de l'air et donc à son renouvellement.
Les teneurs en dioxyde de carbone sont régulièrement sous les 1000 ppm, mais avec quelques pics ponctuels supérieurs à ce seuil, constatés au petit matin, ce qui est couramment observé dans les chambres. Avec de l'aération, les niveaux baissent rapidement.

- école élémentaire :
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. 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 n'est pas optimal**. Il semble d'autant plus important d'atteindre les débits théoriques prévus et même de les dépasser puisqu'ils étaient prévus pour un maximum de 28 élèves et un enseignant alors que les effectifs de la classe, au moment des mesures, atteignaient 30 enfants.
Nous pouvons également noter un emplacement des bouches d'entrée et de reprise d'air qui n'est pas optimal, les deux se trouvant en hauteur dans les salles de classe alors qu'une reprise d'air plus proche du sol permettrait un meilleur brassage de l'air intérieur.

- centre périscolaire :
En moyenne sur l'ensemble de la période, les valeurs moyennes de CO_2 sont inférieures à la valeur de 1000 ppm ce qui s'explique par le fait que les pièces ne sont occupées que ponctuellement dans la journée. Par contre, les concentrations maximales observées en présence des enfants dans la **salle de restauration** sont quant à elles largement **supérieures au seuil de 1700 ppm** pour lequel le confinement est avéré. L'indice de confinement, calculé dans cette salle, serait de **4 sur 5 (confinement très élevé) en période hivernale** et de 3 sur 5 en période estivale. Les niveaux en CO_2 sont un peu plus faibles en été qu'en hiver ce qui **s'explique** par une ouverture plus fréquente des fenêtres.

Alors que le bâtiment est équipé d'un système de ventilation très perfectionné mais sans doute mal mis en œuvre, le personnel d'encadrement des enfants coupe la ventilation aux moments où elle est la plus nécessaire : lors de la présence des enfants. En effet, le système en marche est très bruyant au niveau des bouches de ventilation.
Du fait de l'arrêt du système de ventilation, les concentrations en CO_2 augmentent donc très rapidement dans la salle de restauration à la pause de midi. **Le renouvellement d'air dans le bâtiment est donc largement insuffisant en présence des enfants.**

3.2 Les polluants physico-chimiques

Les résultats obtenus ont mis en évidence les éléments suivants :

- maison 1 :
Les **niveaux sont faibles pour la majorité** d'entre eux hormis le limonène. L'observance de ce composé est due à l'utilisation d'huiles essentielles. Des aldéhydes ont été mis en évidence en raison de la présence de bois traité dans l'habitation.
Des concentrations légèrement supérieures à la valeur repère ont été relevées pour les PM2,5 corrélées avec les activités de cuisson et de ménage.
Dans ce contexte, il est conseillé aux occupants d'améliorer le renouvellement d'air dans les pièces en agissant sur le système de ventilation qui peut fournir des débits plus importants et en augmentant la fréquence d'aération notamment en période hivernale. L'utilisation d'huiles essentielles pourrait également être diminuée.

- maison 2 :
Les concentrations mesurées sont relativement faibles et inférieures aux valeurs de référence pour la majorité des polluants chimiques mesurés et paramètres physiques (COV, NO_2, radon, particules…). Quelques composés issus des produits utilisés pour l'entretien (l'acide acétique par exemple généré par l'utilisation de vinaigre) et des aldéhydes en lien avec la nature bois de la maison, sont retrouvés mais à des niveaux très modérés. Les bonnes pratiques telles que l'aération sont à poursuivre.

- gîte 1 :
L'ensemble des polluants respecte les seuils de référence. Les teneurs sont globalement faibles au regard des statistiques sur les campagnes de mesures d'envergure nationale. Quelques composés ressortent davantage mais toujours dans des proportions très modérées, traduisant de l'utilisation de produits pour l'entretien et la présence de bois. Les bonnes pratiques telles que l'aération sont à poursuivre.

- gîte 2 :
Des concentrations faibles et inférieures aux valeurs de référence pour la majorité des polluants mesurés. Les composés qui ressortent en quantités majoritaires (famille des terpènes notamment – quantités très modérées) sont ceux contenus dans les produits d'entretien afin de les parfumer. Les concentrations en PM2,5 sont très faibles. Le radon, en lien avec la localisation du site (potentiel radon de 3/3 d'après l'IRSN[4]), dépasse légèrement le seuil de 300 Bq/m^3. **Un suivi particulier par ATMO Grand Est est établi avec les propriétaires.**

- école élémentaire :
Les **niveaux de polluants sont faibles** que ce soit pour les polluants réglementés (benzène, formaldéhyde) ou non réglementés. Les concentrations en radon et en PM2,5 sont également faibles.
Un fort niveau de **contamination par les moisissures dans les sanitaires** a été observé. Il pourrait être lié à une mauvaise circulation d'air entre le hall et cette pièce (absence de détalonnage de la porte) malgré des débits de ventilation conformes aux débits théoriques et/ou à une mauvaise mise en œuvre au niveau du mur extérieur exposé au nord (composition de la paroi de l'intérieur vers l'extérieur : enduit terre sur ossature bois avec remplissage paille puis enduit extérieur à la chaux, sable et poudre de marbre). Ces défauts de mise en œuvre peuvent être :

1/ un défaut d'étanchéité de la toiture terrasse ;

2/ un défaut de liaison entre la toiture et le mur ;

3/ une fuite dans une canalisation.

Au vu des éléments, il est conseillé au gestionnaire du bâtiment d'augmenter les débits de ventilation afin de respecter les débits théoriques et l'aération des salles de classes afin d'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 d'améliorer spécifiquement l'aération de cet espace.

- centre périscolaire :
Les concentrations sont faibles et inférieures aux valeurs de référence pour la majorité des polluants chimiques mesurés, hormis des valeurs plus élevées pour les terpènes (limonène et alpha-pinène) et les aldéhydes (hexaldéhyde et acétaldéhyde). Pour le **limonène**, la source la plus probable est l'utilisation des **produits de nettoyage du sol**. Pour les trois autres composés, les concentrations mesurées sont liées à la présence d'une **ossature** et de **revêtements** bois dans le bâtiment.
Au vu de ces résultats, et notamment de l'impact de l'utilisation de matériaux bois sur les concentrations de certains composés, il est recommandé au gestionnaire du bâtiment d'améliorer le renouvellement d'air dans le bâtiment. Pour ce faire, il est conseillé de revoir intégralement le fonctionnement du système de ventilation par une entreprise compétente et de prévoir une maintenance régulière. Cette mesure doit s'accompagner d'une aération régulière des espaces, notamment après l'utilisation de produits d'entretien, avant et après l'accueil des enfants.

[4]IRSN : Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire

4 Conclusion globale pour les 6 bâtiments

Sur le renouvellement de l'air à l'intérieur des bâtiments :

Malgré des systèmes de ventilation parfois sophistiqués (VMC double flux, coexistence de plusieurs systèmes au sein d'un même bâtiment), le renouvellement de l'air est souvent insuffisant.
Les problèmes proviennent de la mise en œuvre ou de défauts de réglage.

Sur la présence de polluants :

Les concentrations en formaldéhyde et en benzène se situent en dessous de leurs valeurs réglementaires (composés cancérigènes disposant de valeurs de référence dans le cadre de la surveillance réglementaire de certains ERP cf. page 10).
Une attention particulière portée aux matériaux de construction, de décoration et au mobilier pourrait expliquer ces niveaux relativement faibles.

Parmi les polluants mesurés lors de cette campagne et pour lesquels il existe des valeurs de référence, des aldéhydes (hexaldéhyde et acétaldéhyde) ainsi que l'alpha-pinène apparaissent le plus souvent à des teneurs toutefois situées largement en dessous de leurs seuils de référence. Il s'agit des marqueurs de l'utilisation massive de bois dans ces bâtiments. L'hexaldéhyde et l'alpha-pinène ne sont à ce jour, pas classés cancérigènes mais s'agissant des effets sanitaires, ils peuvent entraîner des irritations des voies respiratoires, peau, yeux, muqueuses, à des niveaux de l'ordre du mg/m^3 (milligramme par mètre cube) en milieu professionnel par exemple. L'acétaldéhyde est classé comme possiblement cancérogène chez l'Homme (Classe 2B) par le Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC) depuis 1999.

Par ailleurs, l'influence de l'utilisation de produits d'entretien se manifeste par la présence de limonène et autres terpènes, qui ressortent en quantités plus importantes (composés non classés cancérigènes à ce jour, mais aux effets pouvant être allergisants en cas de très hautes concentrations). A ce titre, il est nécessaire de souligner que l'utilisation de produits dits « naturels » comme les huiles essentielles doit être faite avec précaution.

Les teneurs en radon (mesures hors cadre réglementaire) sont situées en dessous du seuil de 300 Bq/m^3 sauf pour le gîte 2 (léger dépassement) en lien avec le potentiel radon de la commune (catégorie 3). Un suivi particulier est mis en place avec les propriétaires et dans une pièce plus représentative de l'exposition réelle des occupants.

Le fonctionnement optimal de la VMC complété par une aération régulière des locaux par les occupants, notamment lors de l'entretien ménager et des activités des enfants (utilisation de colle, feutres pour tableau blanc, …) permettra d'atteindre une meilleure qualité d'air dans ces bâtiments biosourcés.

Par ailleurs, lors de la phase 1 (maison n°1, école et périscolaire) où les moisissures ont été recherchées dans l'air, l'école a présenté un signal biologique fort mais uniquement dans les sanitaires (moisissures visibles).
Lors de la phase 2 (maison n°2, gîtes), les écouvillonnages pour prélèvements de moisissures sur supports (cadres de fenêtres, bouches de ventilation etc… - sans moisissures visibles), ont révélé un niveau de contamination inférieur à ce qui est généralement mesuré dans les environnements intérieurs.