



**Caractérisation de la qualité de l'air intérieur
de bâtiments biosourcés
Gîte vosgien (88)**



CONDITIONS DE DIFFUSION

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

- Les données produites par ATMO Grand Est sont accessibles à tous sous licence libre «**ODbL v1.0**».
- 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 : *DUHAU Céline, chargée d'études usage et santé au Cerema*
SCHNEIDER Christelle, ingénieure d'études ATMO Grand Est

Relecture/Approbation : *JENNESON Bérénice, ingénieure d'études ATMO Grand Est, référente bâtiments*
DAVIAU-PELLEGRIN Noëlie, responsable d'activités en usage et santé au Cerema
DEPROST Raphaèle, responsable Unité Projets ATMO Grand Est

Référence du rapport (ATMO Grand Est) : PROJ-EN-344 indice 2

Référence du projet (ATMO Grand Est) : MSP-100143

Date de publication : 16-06-2020

SOMMAIRE

1.	DESCRIPTIF DU BATIMENT	7
1.1.	Situation géographique	7
1.2.	Caractéristiques du bâtiment	7
1.3.	Nettoyage des locaux	8
2.	CAMPAGNES DE MESURES	9
2.1.	Paramètres suivis.....	9
2.2.	Techniques de mesure.....	10
2.2.1.	Température, humidité relative et ventilation	10
2.2.2.	Le dioxyde de carbone.....	11
2.2.4.	Les tubes passifs	11
2.2.5.	Le pDR-1500	11
2.2.6.	Les badges Kodalpha	12
2.2.7.	Les moisissures	12
2.3.	STRATÉGIE D'ÉCHANTILLONNAGE	12
2.3.1.	Stratégie d'échantillonnage spatiale.....	12
2.3.2.	Stratégie d'échantillonnage temporelle	12
3.	STRATEGIE DE COMPARAISON.....	13
3.1.	Valeurs de reference.....	13
3.1.1.	Les paramètres de confort.....	13
3.1.2.	Le dioxyde de carbone.....	13
3.1.3.	Les débits réglementaires.....	13
3.1.4.	Le benzène et le formaldéhyde	13
3.1.4.	Les autres composés organiques volatils	14
3.1.5.	Les PM _{2,5} et le NO ₂	15
3.1.6.	Le radon.....	15
3.1.7.	Les moisissures	16
3.1.8.	Les débits réglementaires.....	16
3.2.	Données comparatives (polluants).....	17
4.	RESULTATS.....	18
4.1.	Les paramètres de confort et le renouvellement d'air	18
4.1.1.	Les paramètres de confort.....	18
4.1.2.	Le renouvellement d'air.....	19
4.2.	LES POLLUANTS ISSUS DES MATERIAUX ET DES ACTIVITES	22
4.2.1.	Le formaldéhyde.....	22

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	25
4.4. Le radon et les moisissures.....	26
CONCLUSION	27

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. 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). Trois bâtiments ont ainsi fait l'objet d'une étude de caractérisation de l'air intérieur dont un gîte dans les Vosges.

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

- Du 12 au 19 février 2019 pour la phase hivernale,
- Du 24 juin au 1er juillet 2019 pour la phase estivale.

Deux chambres ont été instrumentées.

Les résultats obtenus ont mis en évidence les éléments suivants :

- Des paramètres de confort conformes aux recommandations en hiver mais pas en été avec des températures et des taux d'humidité élevés ;
- Un système de ventilation bien équilibré et en bon état de fonctionnement ;
- Des teneurs en dioxyde de carbone qui évoluent en fonction de l'occupation, avec des pointes au petit matin, en lien avec ce qui est observé dans ce type de pièce (accumulation du CO₂ tout au long de la nuit).
- Des concentrations faibles et inférieures aux valeurs de référence pour la majorité des polluants gazeux mesurés ;
- Des concentrations en PM_{2,5} très faibles ;
- Une valeur pour le radon très légèrement supérieure au seuil d'intérêt en lien avec le terrain géologique de la zone d'étude ;
- Un niveau de contamination pour les moisissures (non visibles) inférieur à ce qui est généralement mesuré dans les environnements intérieurs.

DESRIPTIF 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 leur qualité environnementale⁴ et de respecter l'engagement de diviser par 4 les GES. Des matériaux tels que le chanvre, la paille, le duvet de canard ou la laine de mouton apparaissent donc 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 terpènes.

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. Par ailleurs, 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 constructions⁵. 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 du chanvre dans l'environnement intérieur au travers d'un panel d'études

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 les bâtiments incluant du chanvre, en les comparant 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 : deux gîtes, l'un dans le Bas-Rhin à Fegersheim, l'autre dans les Vosges à Plombières-les-Bains et une maison alsacienne d'habitation dans le Bas-Rhin à Schnersheim.

Le présent rapport concerne l'évaluation effectuée au sein du gîte de Plombières-les-Bains (88). Un descriptif du bâtiment concerné est tout d'abord exposé, suivi d'un état des lieux détaillé de la mise en œuvre du protocole de mesures. Les différents outils réglementaires à disposition sont ensuite présentés, puis utilisés pour l'interprétation des résultats obtenus.

1. DESCRIPTIF DU BATIMENT

1.1. SITUATION GÉOGRAPHIQUE

Le gîte de Plombières-les-Bains est implanté en zone rurale, loin de routes à fort trafic et de toute industrie.



Figure 1 : localisation du gîte

1.2. CARACTÉRISTIQUES DU BÂTIMENT

Il s'agit d'un ancien corps de ferme du XIX^e siècle en pierre de grés organisé autour d'une cour carrée qui rassemblait plusieurs bâtiments aux fonctions diverses : maison de maîtres sur deux niveaux, maison de fermiers, étable, bergerie, porcherie ...

Une partie de la maison de maîtres, rénovée en 1990, est occupée par les propriétaires. L'autre partie, d'une surface de 200m² et qui sert désormais de gîte, a été réhabilitée et livrée en 2015. Une isolation chaux/chanvre a été posée ainsi qu'un enduit intérieur dans les mêmes matériaux.

La maison est chauffée par une chaudière à bois (granulés/plaquettes), placée dans une grange extérieure à la maison. La distribution du chauffage se fait par liaison enterrée jusqu'au local technique de la maison ; puis la chaleur est distribuée par des planchers chauffant dans le gîte et par des radiateurs dans la partie habitation des propriétaires. La chaudière assure également la production d'eau chaude sanitaire.

Dans le gîte au rez-de-chaussée, on trouve l'entrée avec un escalier en pierre qui dessert l'étage, un salon/salle à manger avec cuisine ouverte, une chambre accessible aux handicapés avec sanitaires, des sanitaires indépendants et un local technique.

A l'étage, on retrouve quatre chambres, toutes équipées de sanitaires et un espace détente.

Une VMC simple flux hygroréglable B a été installée dans le gîte. Toutes les fenêtres des chambres sont équipées d'entrées d'air. Les bouches d'extraction dans les wc fonctionnent avec détecteurs de présence.

Les fenêtres sont en PVC et datent de 1992. Les portes intérieures sont en bois isolées par du polyuréthane.

Tableau 1 : matériaux de composition des parois

Pièces	Sols	Murs	Plafonds
Chambres	Parquet vernis	Enduit chaux/chanvre	Placoplatre peint
Salles de bains attenante	Carrelage	Placoplatre peint	Placoplatre peint
Espace détente	Linoléum semi rigide	Enduit chaux/chanvre	Placoplatre peint
Salon/salle à manger	Dalles de grès	Enduit chaux/chanvre et moellons	Placoplatre peint

1.3. NETTOYAGE DES LOCAUX

Le nettoyage des locaux est effectué de la façon suivante :

Tableau 2 : techniques et produits de nettoyage utilisés

Chambres	Technique utilisée et fréquence	Produits utilisés
Sol	Aspirateur après chaque location – lavage à la microfibre humide 4 à 5 fois par an	Savon noir
Mobilier	Microfibre après chaque location	-
Vitres	De temps en temps	Eau
Murs	-	-

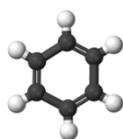
SDB/WC	Technique utilisée et fréquence	Produits utilisés
Sol	Aspirateur et lavage à l'eau bouillante + parfois savon noir après chaque location	Savon noir
WC	Après chaque location	Univert – Gel wc écologique
Vitres	De temps en temps	Eau
Murs	-	-

Les dalles de grès du rez-de-chaussée sont lavées avec de la lessive Saint Marc.



2. CAMPAGNES 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 cancérigènes 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 (CO₂). 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 CO₂ 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+ 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 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 (Observatoire de la qualité de l'air intérieur - 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) Styène 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 pressions dans les bouches d'extraction ont été relevées. Ces mesures de pressions ont alors été comparées aux plages de pressions indiquées par le fabricant des bouches.

Les débits ont été contrôlés par un appareil permettant de mesurer les pressions à l'aide d'un tube plastique mais également les débits avec un anémomètre à hélice et un cône de mesure (TESTO).

Les mesures sur site sont 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.

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.

2.2.4. Les tubes passifs

Le suivi des concentrations dans l'air des COV (formaldéhyde, benzène etc...) et du dioxyde d'azote a été effectué au moyen de tubes à diffusion passive.



Les tubes passifs de type « Radiello » permettant la mesure des COV sont constitués de 2 tubes cylindriques concentriques : 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 NO₂, les tubes de type « Gradko » comprennent un seul élément cylindrique bouché à son extrémité.

La quantité de molécules d'un composé 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 7 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/m³) sont déterminées par analyse différée des échantillons en laboratoire :

- Le Laboratoire Interrégional de Chimie 'SYNAIRGIE' situé à Schiltigheim accrédité par le COFRAC (n° 1-2092) par chromatographie liquide haute performance (HPLC) et d'une détection par absorption pour les aldéhydes ;
- Le laboratoire TERA environnement pour les COV ;
- Le laboratoire de chimie Atmo Grand Est à Metz pour l'analyse du NO₂ par dosage colorimétrique selon la norme NF X 43-009.

2.2.5. 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.

2.2.6. 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.

2.2.7. Les moisissures

Une détermination de la quantité des espèces fongiques présentes sur les surfaces murales a été entreprise 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 (Conseillers en Environnement Intérieur).

2.3 STRATÉGIE D'ÉCHANTILLONNAGE

2.3.1 Stratégie d'échantillonnage spatial

Compte tenu de la configuration des lieux, deux chambres ont été instrumentées pour cette étude.

2.3.2 Stratégie d'échantillonnage temporel

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 a été nécessaire du fait des fluctuations notables de concentrations de certains polluants au cours d'une année : période de chauffe des bâtiments et période hors chauffe.

Les mesures d'une durée de 7 jours ont été réalisées :

- ✓ Du 12 au 19 février 2019 pour la phase hivernale,
- ✓ Du 24 juin au 1er juillet 2019 pour la phase estivale.

Seuls les prélèvements de moisissures et bactéries sont réalisés directement. La mesure de radon est effectuée 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 quelques COV et le NO₂ 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



Le confort hygrothermique (température et humidité relative), est subjectif et dépendant d'autres paramètres (vitesse de l'air, habillement...), mais 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 1000 parties par million (ppm) de CO₂ avec une tolérance jusqu'à 1300 ppm pour les locaux non résidentiels en conditions habituelles d'occupation. On considère que le confinement est élevé à partir de 1700 ppm.

3.1.3. Les débits réglementaires

L'arrêté du 24/03/1982 modifié le 28/10/1983 instaure le principe d'aération générale et permanente dans les logements.

3.1.4. Le benzène et le formaldéhyde

Parmi l'ensemble des substances évoquées ci-avant, le benzène, le formaldéhyde ainsi que le confinement (au travers du CO₂) sont réglementés dans le cadre de la surveillance réglementaire de certains ERP par le décret n° 2012-14 du 5 janvier 2012 et le décret n° 2011-1727 du 2 décembre 2011⁷. 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.

- 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.

⁷ Décret n° 2011-1727 relatif aux valeurs-guides pour l'air intérieur pour le formaldéhyde et le benzène.

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 1 ^{er} janvier 2023	30 µg/m³ Depuis le 1 ^{er} janvier 2015	100 µg/m³
Benzène	2 µg/m³ Depuis le 1 ^{er} janvier 2016		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 sont 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 al⁸. Le Haut Conseil de Santé Publique (HCSP) a également proposé des valeurs guides indicatives pour le trichloroéthylène⁹ et le tétrachloroéthylène¹⁰. 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'acétaldéhyde¹¹ et l'éthylbenzène¹².

Tableau 5 : valeurs de référence relatives aux autres composés organiques volatils

Polluants	Valeurs indicatives
acétaldéhyde	ANSES : 160 µg/m ³ (2014)
éthylbenzène	ANSES : 1500 µg/m ³ (2016)
toluène	INDEX : 300 µg/m ³ (2005)
(m+p)-xylènes et o-xylène	INDEX : 200 µg/m ³ (2005)
styrène	INDEX : 250 µg/m ³ (2005)
tétrachloroéthylène	HCSP : 250 µg/m ³ (2010) Action rapide : 1250 µg/m ³
trichloroéthylène	HCSP : 2 µg/m ³ (2012)

Pour les autres molécules, des valeurs telles que les CLI (Concentration Limites d'Intérêt) peuvent être utilisées pour comparaison à titre informatif.

⁸ Koistinen K, Kotzias D, Kephelopoulos 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.

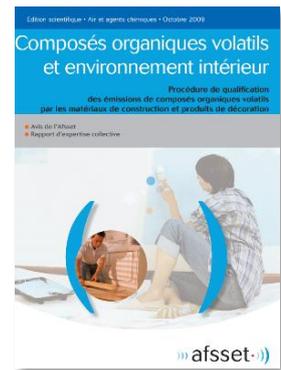
¹⁰ HCSP (2010) – Avis relatif à la fixation de valeurs repères d'aide à la gestion pour le tétrachloroéthylène dans l'air des espaces clos, 16 juin 2010,

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

¹² Proposition de valeurs guides de qualité de l'air intérieur L'éthylbenzène, Avis de l'ANSES, Rapport d'expertise collective, octobre 2016., Edition scientifique

Les CLI ont été établies par l'ANSES (anciennement AFFSET) dans le cadre de l'étiquetage des produits de construction et de décoration.

Une CLI est considérée comme une concentration limite et a ainsi pour objectif de prévenir la survenue d'effets sanitaires lors d'une exposition à long terme à des émissions de matériaux de construction et de décoration. Une CLI est construite pour chaque composé individuel suivant les valeurs de référence disponibles : valeurs guides de qualité d'air intérieur (VGAI), valeurs toxicologiques de référence (VTR), valeurs limites d'exposition professionnelle (VLEP), dans l'ordre de prise en compte selon leur disponibilité.



La référence au CLI sera faite au cas par cas selon les molécules ressorties.

3.1.5. Les PM_{2,5} et le NO₂

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 au-dessus desquelles des actions sont à entreprendre pour améliorer la qualité de l'air intérieur.

Pour les PM_{2,5}:

Afin de prévenir les effets liés à une exposition chronique, le HCSP¹³ 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 2019 est ainsi fixée à 16 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 NO₂:

L'ANSES a également établi une valeur guide long terme pour le NO₂¹⁴ 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.

Le décret n°2018-434 du 04 juin 2018 portant diverses dispositions en matière nucléaire achève la transposition la directive européenne 2013/59/Euratom1 du Conseil du 5 décembre 2013.

Ce décret apporte plusieurs avancées dans le domaine de la radioprotection et de la sécurité permettant

¹³ Valeurs repères d'aide à la gestion dans des espaces clos : les particules, HSCP, juillet 2013

¹⁴ Anses (2013) Propositions de Valeurs Guides de qualité d'Air intérieur, Dioxyde d'azote (NO₂). Février 2013. Avis et rapport, 143 p.

une meilleure prise en compte de la protection de la population vis-à-vis des rayonnements ionisants et notamment du radon. Le décret : abaisse le seuil de gestion de 300 Bq/m³ au lieu de 400 Bq/m³, élargit la surveillance des établissements recevant du public aux crèches et écoles maternelles et créé une information des acquéreurs ou des locataires dans des zones à potentiel radon significatif.

Le décret a été suivi par des arrêtés relatifs à la cartographie des zones radon et relatifs aux mesures de gestion à prendre en cas de dépassement du seuil de 300 Bq/m³ notamment.

3.1.7. Les moisissures

Les prélèvements ayant été réalisés par écouvillonnages (sur des parties sans moisissures visibles) et non dans l'air, il n'y a pas de valeur de référence pour comparer les niveaux. Toutefois le laboratoire d'analyse a indiqué que le niveau moyen de moisissures observées dans de nombreux environnements intérieurs étaient de 50 UFC par 25 cm² (les prélèvements réalisés pour l'étude sont de 100 cm²).

3.1.8. Les débits réglementaires

L'arrêté du 24/03/1982 modifié le 28/10/1983 instaure le principe d'aération générale et permanente dans les logements ainsi que des débits minimaux d'extraction à respecter.

Les débits de référence dans une habitation sont imposés en fonction du nombre de pièces.

Nombre de pièces principales du logement	Débits d'air extraits (exprimés en m ³ /h)				
	cuisine	Salle de bains ou douche	Autre salle d'eau	Cabinets d'aisances	
				unique	multiples
1	75	15	15	15	15
2	90	15	15	15	15
3	105	30	15	15	15
4	120	30	15	15	15
5 et plus	135	30	15	30	15

Lorsque les débits se modulent en fonction de l'humidité ambiante, les débits minimaux sont réduits :

Tableau 6 : Débits d'extraction minimaux en VMC hygroréglable

	Nombre de pièces principales						
	1	2	3	4	5	6	7
Débit total minimal en m ³ /h	10	10	15	20	25	30	35

3.2. DONNEES COMPARATIVES (POLLUANTS)

Campagne nationale logement (OQAI-CNL)

L'Observatoire de la qualité de l'air intérieur (OQAI) a réalisé en 2004-2005 une vaste campagne afin d'obtenir une image représentative de la qualité de l'air à l'intérieur des logements français (567 logements enquêtés¹⁵).

Les résultats obtenus sont renseignés dans le tableau 7.

Campagne nationale, parc de logements performants en énergie, neufs ou réhabilités (OQAI-BPE)

L'adaptation au changement climatique et la sobriété énergétique représentent des défis majeurs pour le secteur de la construction. Les mutations dans la conception et les modes constructifs des bâtiments sont aujourd'hui profondes, et portent notamment sur l'architecture, l'isolation thermique, l'étanchéité à l'air de l'enveloppe ainsi que sur les équipements et les systèmes. L'ensemble de ces avancées doit se faire en cohérence avec la qualité de l'air intérieur et le confort des occupants. C'est pourquoi l'OQAI a été missionné par les pouvoirs publics pour mettre en place un programme dédié à l'étude de la qualité de l'air et du confort dans les bâtiments répondant aux réglementations les plus récentes en matière de performance thermique : le programme OQAI-BPE¹⁶.



L'OQAI a ainsi mis en place en 2012 un dispositif – unique en France – de collecte d'informations sur la qualité de l'air intérieur et le confort dans des bâtiments performants en énergie, neufs ou nouvellement réhabilités. Ce dispositif a pour but de décrire les situations rencontrées en termes de fonctionnement et d'usage des bâtiments, de niveaux de qualité d'air et de confort, mais aussi d'identifier les pistes d'amélioration pour la conception, la mise en œuvre et la gestion de ces bâtiments.

Si différentes typologies de bâtiments ont été enquêtées (logements, bureaux, écoles...), à ce jour, les résultats sont disponibles pour 43 immeubles collectifs (logements).

Tableau 7 : concentrations mesurées lors des campagnes OQAI

En µg/m ³	Médiane OQAI-CNL	Médiane OQAI-BPE (logements)
formaldéhyde	19,6	17,2
acétaldéhyde	11,6	11,5
hexaldéhyde	13,6	21,3
benzène	2,1	1,5
toluène	12,2	4,8
éthylbenzène	2,3	1,2
m- + p-xylène	5,6	2,7
o-xylène	2,3	1,2
n-hexane		<LD
styrène	1	1,1
tétrachloroéthylène	1,4	<LD
limonène		24,2
1-méthoxy-2-propanol	1,9	0,9
PM2,5	19,1	13,2
NO ₂ *		16,2
CO ₂	756 ppm (chambre)	681 ppm (chambre) et 622 ppm (séjour)

¹⁵ Campagne nationale Logements : État de la qualité de l'air dans les logements français Rapport final (mise à jour mai 2007) http://www.airinterieur.org/userdata/documents/Document_133.pdf

¹⁶ <https://presse.ademe.fr/2017/03/etude-qualite-de-lair-et-confort-dans-les-batiments-performants-en-energie.html>

*Les **concentrations en NO₂ n'ont pas été mesurées** dans le cadre de la campagne nationale « Logements ». En revanche, elles avaient été mesurées lors de la campagne pilote réalisée en 2001 dans 90 logements (chambre et cuisine par tube passif) et 9 écoles¹⁷.

Dans les logements, la **médiane** mesurée dans la **cuisine s'élevait à 34 µg/m³ contre 26 µg/m³ dans la chambre** (ce qui est supérieur à la valeur guide de 20 µg/m³). Le percentile 90 atteignait 56 µg/m³ dans la cuisine. Les niveaux mesurés à l'intérieur étaient du même ordre de grandeur que ceux mesurés à l'extérieur du logement (moyenne de 31 µg/m³) avec un ratio cuisine/extérieur médian de 1,1 (à noter l'influence du mode de cuisson avec des niveaux de NO₂ 1,5 fois plus importants avec le recours au gaz naturel, le propane ou le butane par rapport à une cuisson exclusivement à l'énergie électrique).

4. RESULTATS

4.1. LES PARAMETRES DE CONFORT ET LE RENOUELEMENT 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.

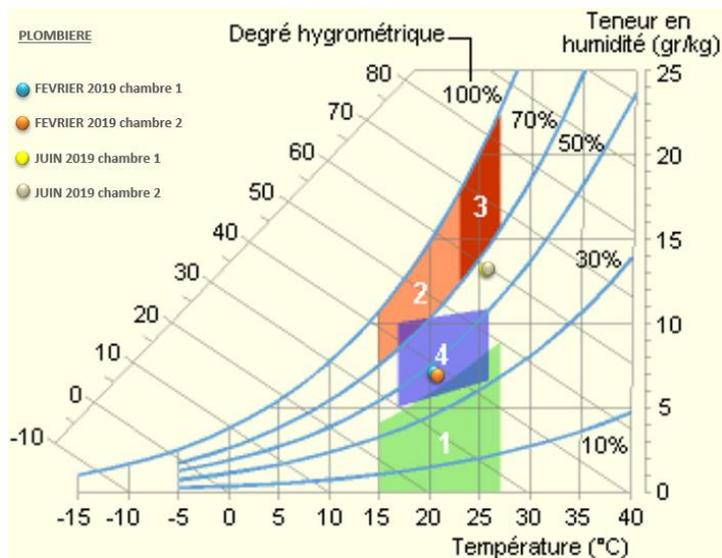
Tableau 8 : résultats obtenus pour les paramètres de confort.

Pièce	Température en °C			Humidité relative en % HR		
	Moyenne	Maximum	Minimum	Moyenne	Maximum	Minimum
Campagne hivernale						
Chambre 1	20,3	23,1	17,4	45,6	60,5	30,6
Chambre 2	20,8	21,7	19,5	44,1	56,9	29,6
Extérieur	5,3	18,1	-4,4	64,8	89,1	31,2
Campagne estivale						
Chambre 1	25,7	27,9	22,8	64,8	74,7	48,3
Chambre 2	25,7	27,7	22,2	64,7	83,4	48,4
Extérieur	28,5	47,7	14,5	58,0	91,9	20,9

En hiver, les températures moyennes sont situées aux alentours de 20,5°C et l'humidité relative aux environs de 45% avec des amplitudes plus marquées dans la chambre 2.

En été, les températures et humidités relatives moyennes sont quasiment équivalentes à 25,7°C et 64,8% avec des variations à peu près similaires.

¹⁷ Qualité d'air intérieur, qualité de vie - 10 ans de recherche pour mieux respirer OQAI.



1 : Zone à éviter vis-à-vis des problèmes de sécheresse.
 2 et 3 : Zones à éviter vis-à-vis des développements de bactéries et de microchampignons.
 3 : Zone à éviter vis-à-vis des développements d'acariens.
 4 : Polygone de confort hygrothermique

Figure 2 : représentation des moyennes de température et humidité relative dans le diagramme de Fauconnier

En hiver, phase de chauffe, les deux pièces se situent dans la zone de bon confort hygrothermique et de préservation du bâtiment.

En phase estivale, les températures moyennes et les humidités relatives sont élevées, les pièces se situent en dehors de la zone de bon confort (se rapprochant de la zone de d'humidité). A noter qu'un taux d'humidité trop important peut favoriser le développement des bactéries et de microchampignons.

4.1.2 Le renouvellement d'air

Le dioxyde de carbone

Tableau 9 : résultats obtenus pour le dioxyde de carbone.

Pièce	Concentration en CO ₂ en ppm	
	Moyenne	Maximum
Campagne hivernale		
Chambre 1	608	1326
Chambre 2	516	1204
Campagne estivale		
Chambre 1	580	1614
Chambre 2	458	1030

Lors de la campagne nationale logement la moyenne s'élevait à 756 ppm dans les chambres. Les résultats obtenus sont faibles et inférieurs aux médianes des campagnes nationales (OQAI). Les teneurs dans les pièces évoluent au gré de l'occupation/aération. Les chambres accumulent tout au long de la nuit du CO₂ jusqu'au petit matin où l'aération permet de revenir à des niveaux faibles. La valeur maximale observée à l'été dans la chambre 1 indique un début de confinement qui reste ponctuel.

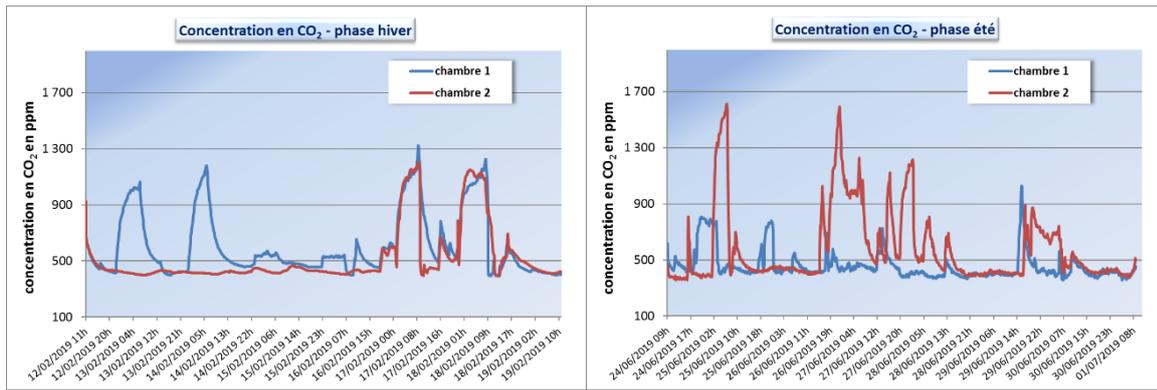


Figure 3 : évolution des niveaux de dioxyde de carbone

Le dispositif de ventilation

Le bâtiment est équipé d'un système de ventilation simple flux hygroréglable B c'est-à-dire que les entrées d'air et les extractions se régulent en fonction de l'humidité extérieure et intérieure à la pièce.

Toutes les fenêtres sont équipées d'entrées d'air.

Les wc sont équipés de détecteurs de présence, l'extraction est donc censée se mettre en route lorsqu'une personne entre dans la pièce. Lors de la campagne hivernale, certaines bouches d'extraction des toilettes ne se mettaient pas en route, sans doute pour cause de piles défectueuses. Le propriétaire a été sensibilisé à la nécessité de vérifier périodiquement le bon fonctionnement de ces détecteurs.

Tableau 10 : Mesures de pressions/débits relevés sur place lors de la campagne hivernale

pièce	Référence bouche	Pression mesurée en Pa	Plage de pression annoncée par le fabricant	Débit à l'instant T en m ³ /h	Remarque
Chambre 1	EC HY 6/45	-	-	-	Porte coulissante avec joints entre la chambre et la salle de bains (peu d'espace)
Sdb chambre 1	BEHS 10/40	90	80 à 160 Pa	20	
WC chambre 1	BEHW 5/30	83	80 à 160 Pa	13	
Chambre 2	EC HY 6/45	-	-	-	Porte coulissante avec joints entre la chambre et la salle de bains (peu d'espace)
Sdb/wc chambre 2	BEHW 5/30	87	80 à 160 Pa	18	
Chambre 3	EC HY 6/45	-	-	-	Porte coulissante avec joints
Sdb chambre 3	BEHS 10/40		80 à 160Pa	19	
Wc	BEHW 5/30		80 à 160 Pa	14	
Chambre 4	EC HY 6/45	-	-	-	

Sdb chambre 4	BEHS 10/40		80 à 160 Pa	21	Porte coulissante avec joints
Wc chambre 4	BEHW 5/30		80 à 160 Pa	26	
Espace détente (étage)	BEHC 10/45/135			32	
Cuisine/séjour	BEHC 10/45/135			Vit 1 : 52 Vit 2 : 104	2 vitesses
Wc RDC	BEHW 5/30			Wc 1 : 16 Wc 2 : 34	
Local technique					Bouche inaccessible

En bleu, les pièces instrumentées pour les paramètres chimiques.

On peut remarquer que dans les pièces instrumentées les pressions mesurées se trouvent dans les plages annoncées par le fabricant des bouches d'extraction.

Par ailleurs, des mesures de débits ont été prises pour les comparer aux débits théoriques des bouches. Par exemple pour les salles de bains, les débits mesurés devraient se trouver entre 10 et 40 m³/h et entre 5 et 30 m³/h pour les wc. Cette mesure ne peut servir que d'indication du bon fonctionnement de la bouche d'extraction à un moment donné puisque celle-ci est hygroréglable.

Ces mesures de pressions et de débits permettent de conclure que le système de ventilation en place est en bon état de fonctionnement. Néanmoins, 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.

Tableau 11 : Mesures de pressions/débits relevés sur place lors de la campagne estivale

pièce	Référence bouche	Pression mesurée en Pa	Plage de pression annoncée par le fabricant	Débit à l'instant T en m ³ /h	Remarque
Chambre 1	EC HY 6/45	-	-	-	Bouches propres
Sdb chambre 1	BEHS 10/40	65	80 à 160 Pa	34	
WC chambre 1	BEHW 5/30	67	80 à 160 Pa	11	
Chambre 2	EC HY 6/45	-	-	-	Bouche propre
Sdb/wc chambre 2	BEHS 10/40	38	80 à 160 Pa	30	
Chambre 3	EC HY 6/45	-	-	-	Pile détecteur OK
Sdb chambre 3	BEHS 10/40	48	80 à 160Pa	27	
Wc	BEHW 5/30	45	80 à 160 Pa	11	
Chambre 4	EC HY 6/45	-	-	-	
Sdb chambre 4	BEHS 10/40	37	80 à 160 Pa	27	
Wc chambre 4	BEHW 5/30	64	80 à 160 Pa	25	

Espace détente (étage)	BEHC 10/45/135	75		36	(Pas d'entrée d'air dans la pièce)
Cuisine/séjour	BEHC 10/45/135	118 85		Vit 1 : 64 Vit 2 : 118	2 vitesses
Wc RDC	BEHW 5/30	77 75		Wc 1 : 36 Wc 2 : 8	
Local technique					Bouche inaccessible

En bleu, les pièces instrumentées pour les paramètres chimiques.

On remarque que les pressions mesurées se trouvent hors des plages annoncées par le fabricant des bouches d'extraction dans les pièces instrumentées. Ceci peut s'expliquer par la différence de pression atmosphérique dans la pièce et dans la bouche.

Néanmoins, des mesures de débits ont été prises pour les comparer aux débits théoriques des bouches. Les débits mesurés se trouvaient bien entre 10 et 40 m³/h pour les salles de bains et entre 5 et 30 m³/h pour les wc, comme la réglementation l'exige. Cette mesure ne peut servir que d'indication du bon fonctionnement de la bouche d'extraction à un moment donné puisque celle-ci est hygroréglable.

Il reste que 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 quelle que soit la saison.

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 et la figure ci-après :

Tableau 12 : Concentrations obtenues pour le formaldéhyde

µg/m ³	hiver	été	Moyenne
Chambre 1	19,5	15,0	17,2
Chambre 2	28,1	17,5	22,8
Valeur guide 2015	30 µg/m ³		
Valeur guide 2023	10 µg/m ³		

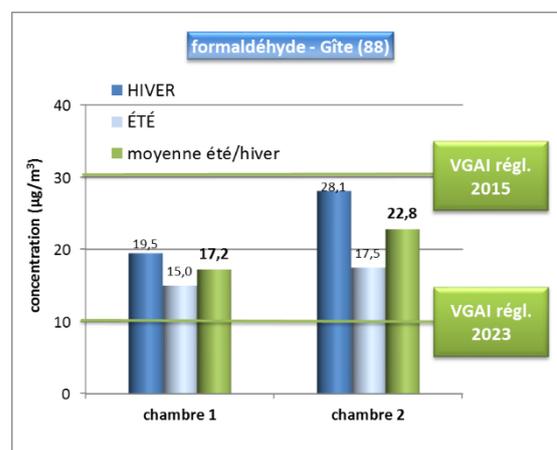


Figure 4 : concentrations (µg/m³) en formaldéhyde

En moyenne annuelle, les deux pièces respectent la valeur guide en vigueur (30 µg/m³ jusqu'en 2023).

Ces valeurs se situent dans la gamme de mesures de celles rencontrées dans la plupart des logements français (médianes des campagnes nationales OQAI : 19,6 µg/m³ OQAI-CNL et 18,1 µg/m³ OQAI-BPE).

4.2.2 Le benzène

Les concentrations obtenues pour le benzène sont précisées dans le tableau et la figure ci-après :

Tableau 13 : Concentrations obtenues pour le benzène

$\mu\text{g}/\text{m}^3$	hiver	été	Moyenne
Chambre 1	1,1	0,8	0,9
Chambre 2	1,5	1,2	1,4
Valeur guide 2016	2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$		

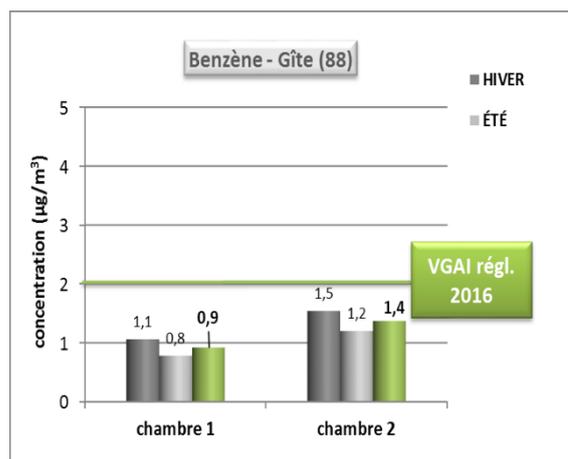


Figure 5 : concentrations ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) en benzène

Les teneurs mesurées dans le logement sont assez similaires d'une phase à l'autre et se situent en dessous des 2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, seuil de référence en vigueur. En moyenne annuelle, cette valeur est donc respectée dans les deux pièces instrumentées.

Ces valeurs sont inférieures aux médianes des campagnes nationales menées par l'OQAI (2,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ OQAI-CNL et 1,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ OQAI-BPE).

4.2.3 Les autres composés

Pour rappel, une liste prédéfinie de COV a été établie en lien avec les protocoles de mesures qui ont été élaborés par l'OQAI-CSTB lors de la campagne nationale dans les bâtiments performants en énergie (OQAI-BPE). A cette liste cf. tableau page 9), s'ajoutent les composés présents en quantités majoritaires sur les échantillons.

Le tableau ci-après présente les concentrations obtenues dans les pièces.

Tableau 14 : concentrations obtenues pour les autres composés (LD = Limite de Détection)

	Concentration en $\mu\text{g}/\text{m}^3$	hiver		été		médianes		Valeurs de réf.
		Ch.1	Ch.2	Ch.1	Ch.2	OQAI-CNL	OQAI-BPE	
Composés listés (pré-définis)	Acétaldéhyde	7,9	8,2	15,2	14,0	11,6	11,5	160
	Hexaldéhyde	10,3	12,7	12,4	14,7	13,6	21,3	CLI = 650
	Benzène	1,1	1,5	0,8	1,2	2,1	1,5	2
	Toluène	0,5	1,0	1,1	1,2	12,2	4,8	300
	Ethylbenzène	0,2	0,2	0,3	0,4	2,3	1,2	1500
	m+p Xylène	0,5	0,7	1,1	1,2	5,6	2,7	200
	o-xylène	0,2	0,3	0,3	0,3	2,3	1,2	200
	Styrène	0,5	0,6	0,4	0,3	1	1,1	250
	1-méthoxy-2-propanol	0,0	0,0	0,6	1,1	1,9	0,9	CLI = 2000
	Limonène	0,6	2,5	10,9	6,8		24,2	CLI = 450
	n-décane	0,1	0,3	0,4	0,1	5,3	2,3	
Autres composés	Tétrachloroéthylène	0,3	0,4	0,4	0,6	1,4	<LD	250
	Acide acétique	4,3	6,0	12,1	17,3			CLI = 250
	Ethylacétate	4,1	2,9					CLI = 14000

majori- taires	Hexaméthylcyclotrisiloxane	0,5	1,2	4,1	2,9			
	Acetic acid butyl ester (acétate de butyle)	0,4	0,7					CLI = 4800
	Furfural	0,3	0,7					CLI = 8
	Tricyclène	1,0	1,3					
	Octaméthylcyclotétrasiloxane	0,2	0,9	9,6	2,4			CLI = 1200
	Camphène	3,1	5,6	23,7	15,1			
	Benzaldéhyde	0,9	1,3	4,3	6,7			CLI = 90
	Pinène	0,7	2,8	28,4	20,4		22,6	CLI = 450
	Pcymène	2,8	5,5	34,5	13,8			CLI = 1000
	P-cymenène	0,9	3,3	21,0	2,9			
	Trichloroéthylène	0,5	0,4				<LD	2

Les concentrations des composés prédéfinis sont plus basses que celles habituellement mesurées dans les espaces intérieurs.

S'agissant des autres composés présents en quantités majoritaires, la concentration la plus élevée concerne le p-cymène retrouvé en été à 34,5 µg/m³ dans la chambre 1. C'est d'ailleurs en été que les teneurs des COV sont les plus élevées. Par ailleurs, d'autres composés de la famille des monoterpènes/terpènes ressortent comme le limonène, le pinène, le camphène et p-cymène en lien avec l'utilisation de produits d'entretien odorants.

Les teneurs observées restent en majorité très modérées et éloignées des valeurs de référence.

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

4.3.1 Les PM_{2,5}

En hiver, les chambres 1 et 2 présentent respectivement des moyennes de 3,3 µg/m³ et 3,0 µg/m³ avec des valeurs maximales de 10,2 µg/m³ et 5,6 µg/m³ (les teneurs ont été suivies sur 5 jours, les deux derniers jours l'appareil a été débranché par les occupants pour cause de gênes sonores).

En été, les appareils ont été déplacés et installés dans des lieux de vie (coin lecture et salle billard). Les teneurs sont plus élevées avec 8,1 µg/m³ et 7,4 µg/m³ en moyennes avec des pics à aux alentours de 30 µg/m³.

A titre indicatif (technique de mesure non gravimétrique¹⁸), les concentrations moyennes sont situées en dessous de la valeur repère de 16 µg/m³. Les graphiques ci-dessous présentent l'évolution des PM_{2,5} au cours des 2 semaines de mesures :

¹⁸ La méthode de référence pour mesurer la concentration massique des PM dans l'air est la gravimétrie, c'est-à-dire la pesée. Si le principe de la gravimétrie est simple, sa mise en œuvre est difficile à envisager pour des mesures dans un logement (utilisation d'une pompe pour aspirer l'air au travers d'un filtre).

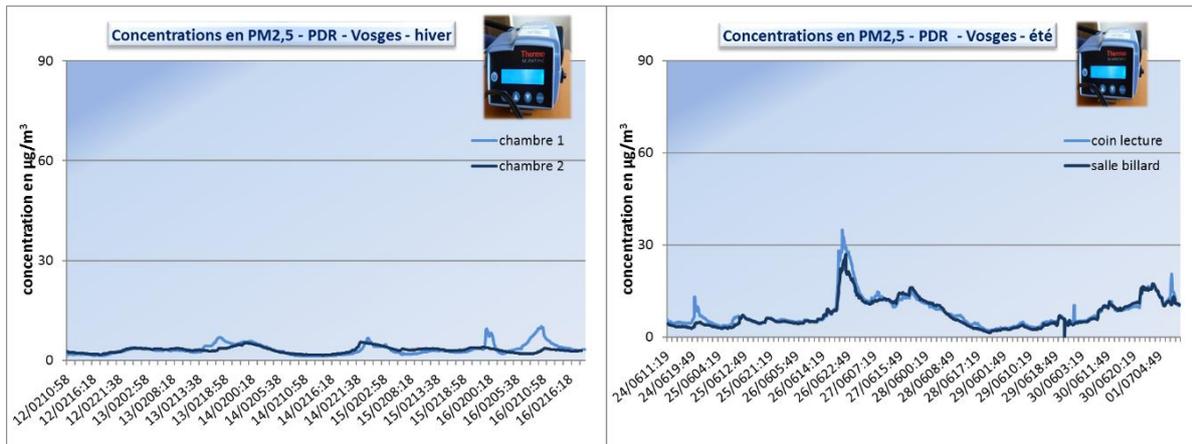


Figure 6 : évolutions des concentrations ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) en $\text{PM}_{2,5}$

Les pics de concentrations sont ponctuels et peuvent s'expliquer par davantage d'occupation dans les pièces, ce qui peut engendrer une remise en suspension de la poussière sur le sols.

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 15 : concentrations obtenues pour le dioxyde d'azote

$\mu\text{g}/\text{m}^3$	hiver	été	Moyenne
Chambre 1	7,6	3,7	5,6
Chambre 2	19,0	3,5	11,2
Extérieur	9,1	3,7	6,4
Valeur guide indicative	20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$		

Les concentrations varient d'une phase à l'autre surtout dans la pièce 2, avec des teneurs plus élevées en hiver. En moyenne annuelle, les teneurs dans les pièces se positionnent en deçà de la valeur guide indicative de 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

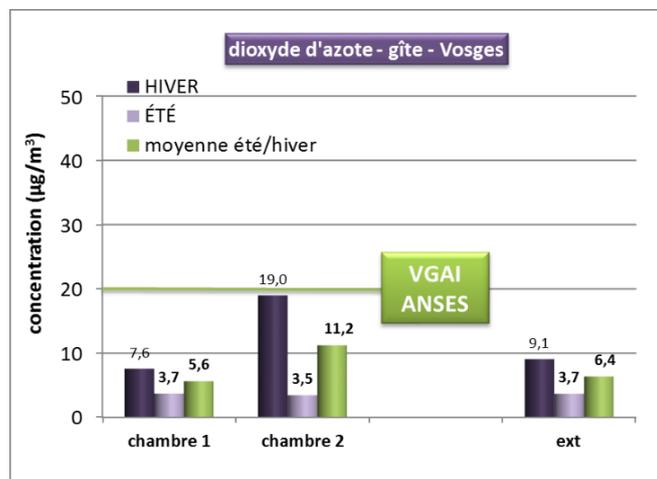


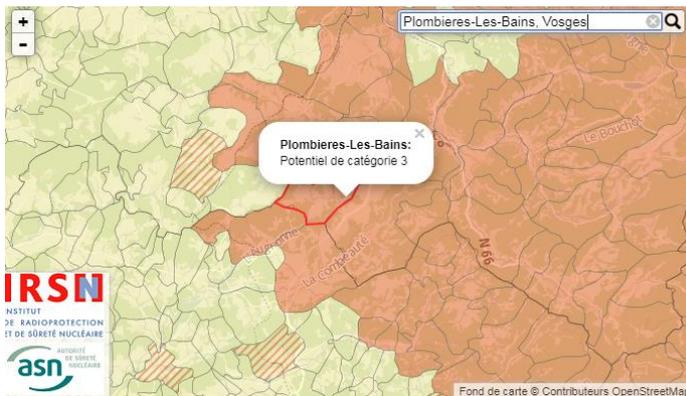
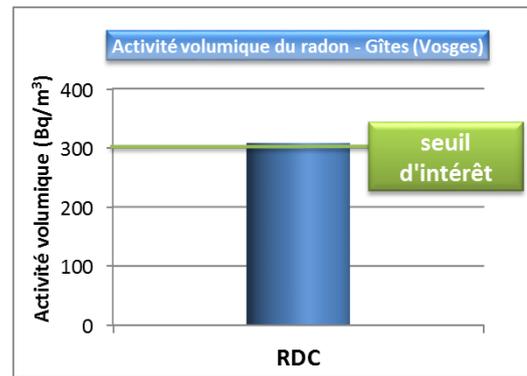
Figure 7 : concentrations ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) en dioxyde d'azote

4.4. LE RADON ET LES MOISSURES

Le radon

La mesure du radon a été réalisée dans la chambre 5 du RDC, chambre très peu occupée au cours de la mesure. Une concentration moyenne pour le radon de 308 Bq/m³ est observée. Cette valeur est légèrement supérieure au seuil d'intérêt de 300 Bq/m³.

Figure 8 : concentrations (Bq/m³) en radon



A noter que la zone de Plombières-les-Bains est classée en **potentiel radon de catégorie 3/3** (les communes à potentiel radon de catégorie 3 sont celles qui, sur au moins une partie de leur superficie, présentent des formations géologiques dont les teneurs en uranium sont estimées plus élevées comparativement aux autres formations).

Afin d'évaluer à titre indicatif (mesure non réalisée dans un cadre réglementaire), les teneurs en radon dans une pièce régulièrement occupée (exposition réelle des personnes), il a été proposé aux particuliers gestionnaires du gîte d'installer un dosimètre au début de l'année 2020 dans le salon (partie maison). Les résultats seront communiqués ultérieurement aux particuliers ainsi qu'à la DREAL.

Les moisissures

Pour quantifier les moisissures, on utilise la mesure des « unités formant colonie » (UFC). Une UFC correspond à une colonie fongique. Le niveau de contamination en UFC/cm² a été déterminé en phase hivernale dans les pièces sur un mur, sur une fenêtre et sur une bouche de ventilation d'une salle d'eau (prélèvements par écouvillonnage).

La valeur minimale dans le bâtiment est de 12 UFC/100cm² sur le mur de la chambre 2 et la valeur maximale de 46 UFC/100cm² sur la bouche de ventilation de la douche de la chambre 2. Bien qu'il n'y ait pas de valeur de référence pour comparer ces niveaux, à titre indicatif, le laboratoire d'analyse a indiqué qu'il est courant d'observer dans les environnements intérieurs des valeurs de 50 UFC/25cm².

Les résultats observés sont donc inférieurs à ce qui est habituellement observé, d'autant plus qu'ils sont donnés pour 100 cm². A noter que les prélèvements ont été réalisés en hiver avec des taux d'humidité conformes aux recommandations (les deux pièces se situent dans la zone de bon confort hygrothermique et de préservation du bâtiment).

En été, l'humidité est élevée dans le bâtiment, ce qui pourrait entraîner davantage de développement fongique.

CONCLUSION

La caractérisation de la qualité de l'air dans un gîte situé dans les Vosges a permis de mettre en évidence les éléments suivants :

- Des paramètres de confort conformes aux recommandations en hiver mais pas en été avec des températures et des taux d'humidité élevés (les pièces approchent la zone à éviter vis-à-vis des développements de bactéries et de micro-champignons).
- Le système de ventilation en place est bien équilibré et en bon état de fonctionnement. Il faut néanmoins penser à vérifier régulièrement l'état d'usure des piles des détecteurs et à nettoyer les bouches d'entrée et d'extraction d'air.
- Des teneurs en dioxyde de carbone (indicateur du renouvellement de l'air) régulièrement sous les 1000 ppm, mais avec quelques pics ponctuels supérieurs à ce seuil, ce qui est couramment observé dans ce type de pièce. Il est important de continuer à aérer les pièces le matin.
- Des concentrations faibles et inférieures aux valeurs de référence pour la majorité des polluants chimiques mesurés. Les composés qui ressortent en quantités majoritaires sont ceux contenus dans les produits d'entretien afin de les parfumer.
- Des concentrations en PM_{2,5} très faibles.
- Une valeur de 308 Bq/m³ pour le radon ce qui est légèrement supérieur au seuil d'intérêt fixé à 300 Bq/m³ en lien avec le terrain géologique de la zone d'étude (potentiel radon de 3/3). Il est proposé aux propriétaires l'envoi d'un badge de mesure du radon afin de quantifier les niveaux dans une pièce de vie régulièrement occupée. Un suivi des résultats par ATMO Grand Est sera alors établi.
- Un niveau de contamination pour les moisissures (non visibles) inférieur à ce qui est généralement mesuré dans les environnements intérieurs.

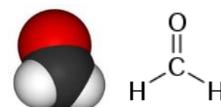
ANNEXE 1

SOURCES D'ÉMISSIONS DE QUELQUES POLLUANTS A L'ÉTUDE

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...

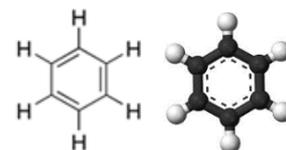
Les autres COV (liste non exhaustive)

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.

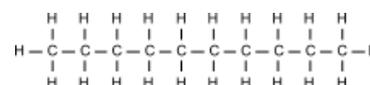


Autres hydrocarbures aromatiques :

- **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.

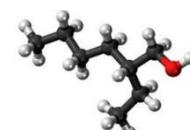
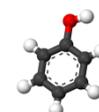
- **n-heptane et isomères** : solvant pour colles, encres, caoutchoucs et matières plastiques. Solvant d'extraction.
- **n-décane** : white spirit, colles pour sol, cires, vernis à bois, sol, moquettes, tapis, huile pour parquet, solvant.
- **n-undécane** : white-spirit, colles pour sol, cires, vernis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