



**Caractérisation de la qualité de l'air intérieur
de bâtiments biosourcés
Maison alsacienne en pan de bois**



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*
DAVIAU-PELLEGRIN Noëlie, responsable d'activités en usage et santé au Cerema
DEPROST Raphaèle, responsable unité Projets à ATMO Grand Est

Référence du rapport (ATMO Grand Est) : PROJ-EN-345 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	9
2.	CAMPAGNES DE MESURES	10
2.1.	Paramètres suivis.....	10
2.2.	Techniques de mesure.....	11
2.2.1.	Température, humidité relative et ventilation	11
2.2.2.	Le dioxyde de carbone.....	11
2.2.4.	Les tubes passifs	11
2.2.5.	Le pDR-1500	12
2.2.6.	Les badges Kodalpha	12
2.2.7.	Les moisissures	12
2.3.	STRATÉGIE D'ÉCHANTILLONNAGE	13
2.3.1.	Stratégie d'échantillonnage spatiale.....	13
2.3.2.	Stratégie d'échantillonnage temporelle	13
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.....	14
3.1.4.	Le benzène et le formaldéhyde	14
3.1.4.	Les autres composés organiques volatils	14
3.1.5.	Les PM2,5 et le NO ₂	15
3.1.6.	Le radon.....	16
3.1.7.	Les moisissures	16
3.1.8.	Les débits réglementaires.....	17
3.2.	Données comparatives pour les polluants	17
4.	RESULTATS.....	19
4.1.	Les paramètres de confort et le renouvellement d'air	19
4.1.1.	Les paramètres de confort.....	19
4.1.2.	Le renouvellement d'air.....	20
4.2.	LES POLLUANTS ISSUS DES MATERIAUX ET DES ACTIVITES	24
4.2.1.	Le formaldéhyde.....	24

4.2.2 Le benzène.....	25
4.2.3 Les autres composés	26
4.3. LES POLLUANTS INDICATEURS DES SYSTEMES DE CHAUFFAGE ET DE LA COMBUSTION	27
4.3.1 Les PM2,5	27
4.3.2 Le dioxyde d'azote	28
4.4. Lz radon et les moisissures	28
CONCLUSION	29

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 une maison alsacienne en pan de bois.

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

- Du 21 au 28 janvier 2019 pour la phase hivernale,
- Du 5 au 12 juillet 2019 pour la phase estivale.

Le salon/salle à manger et une chambre ont été instrumentés.

Les résultats obtenus ont mis en évidence les éléments suivants :

- Des paramètres de confort (température et humidité relative) satisfaisants en été (pièces situées dans la plage de bon confort hygrothermique et de préservation du bâtiment), mais qui en hiver sont beaucoup plus bas, plaçant les pièces à proximité ou dans la zone de sécheresse ;
- Les teneurs en CO₂ évoluent au gré de l'occupation, et sont globalement basses. Les quelques pics matinaux (teneurs proches de 1000 ppm) dans la chambre en hiver, sont généralement observés dans ce type de pièce.
- Des teneurs en COV (composés organiques volatils) basses et respectant en moyennes annuelles les valeurs guides en vigueur s'agissant du formaldéhyde et du benzène. Quelques composés ressortent davantage traduisant l'utilisation de produits d'entretien (exemple de l'acide acétique) et la présence de bois dans la pièce (composés de la famille des aldéhydes).
- Des teneurs en dioxyde d'azote en dessous de la valeur guide de 20 µg/m³ à l'intérieur (à noter qu'une des données était manquante en hiver pour le salon/cuisine au rez-de-chaussée).
- Les particules évoluent à des teneurs très faibles tout au long de semaine, ponctuées de pics liés à l'activité des occupants (cuisson).
- Des niveaux de radon en dessous du seuil d'intérêt fixé à 300 Bq/m³.
- Sans moisissure visible, les prélèvements par écouvillonnage, ne montrent pas de signe de contamination fongique.
- Un fonctionnement globalement satisfaisant des deux types de VMC installées mais l'absence d'entrée d'air sur les fenêtres des chambres à l'étage.

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 la qualité environnementale des bâtiments⁴ 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 composés 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 à l'intérieur des bâtiments est donc une problématique de **santé publique** majeure.

Le projet 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 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 (notamment la 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 de la maison de Schnersheim. Un descriptif du bâtiment concerné est tout d'abord exposé dans le rapport, suivi d'un état des lieux détaillé de la mise en œuvre du protocole. Les différents outils réglementaires à disposition sont ensuite présentés, puis utilisés pour l'interprétation des résultats obtenus.

1. DESCRIPTIF DU BATIMENT

1.1. SITUATION GÉOGRAPHIQUE

La maison en pan de bois est implantée au bord de la route de Strasbourg (D41), à fort trafic pendulaire. Une station-service est située à 4km à l'est.



Figure 1 : localisation du site

1.2. CARACTÉRISTIQUES DU BÂTIMENT

Il s'agit d'une maison traditionnelle alsacienne à colombages en bois. La cave et deux murs du rez-de-chaussée sont en moellons de grès, le reste de la maison est constitué de pans de bois remplis par de la brique ou du torchis. Elle est composée d'un sous-sol semi enterré, d'un rez-de-chaussée, d'un 1^{er} niveau et de combles.

Au rez-de-chaussée se trouvent un hall d'entrée ouvert sur l'espace de restauration et la cuisine avec un poêle à bois, la « stub » (pièce de réception) et un wc. On peut également noter la présence d'un studio avec un séjour/chambre, une salle de bains/wc et une cuisine. L'accès se fait par le hall d'entrée principal.

Cette maison a été construite au XVIIIème siècle, rénovée une première fois en 1970 puis entièrement réhabilitée de façon patrimoniale et énergétique entre 2010 et 2015. A cette occasion, les murs ont été isolés par l'intérieur avec du béton de chanvre (12 à 18 cm) enduits de chaux au rez-de-chaussée et de terre à l'étage.

La maison est chauffée par une chaudière pellets, située dans la chaufferie dans la cave. Le chauffage est distribué par des plinthes chauffantes à eau basse température dans la stub, et par des radiateurs dans la cuisine, la stub et les chambres. Les salles de bains, au nombre de trois, sont équipées de radiateurs sèche-serviette. Un poêle à bois en faïence utilisé fréquemment est également en place dans le séjour/cuisine.

Au rez-de-chaussée, une VMC double flux est installée. A l'étage, des extractions dans les deux salles de bains et les wc ont été mises en place mais aucune entrée d'air n'existe sur les fenêtres des chambres.

Les fenêtres et les portes intérieures sont en bois.

Figure 2 : plan du bâtiment

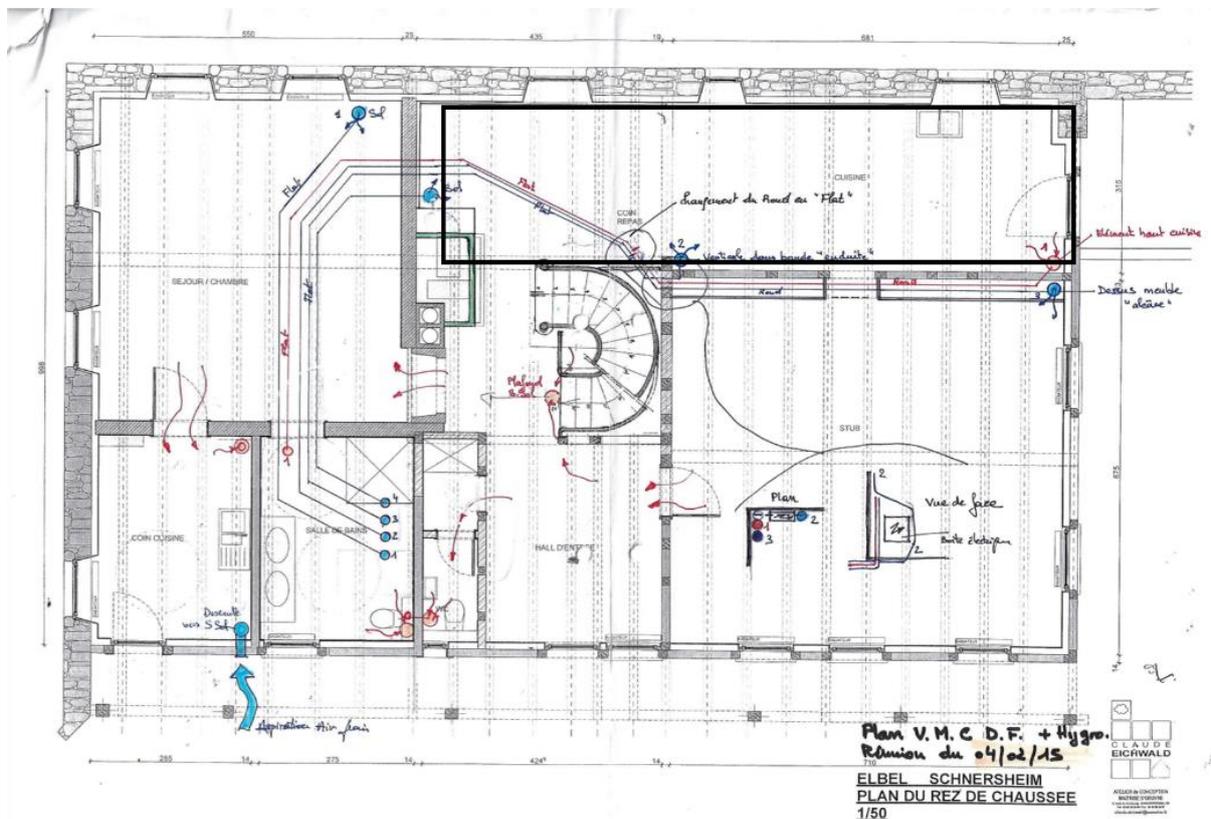


Tableau 1 : matériaux de composition des parois - Huile BIOFA : COV valeurs limites cat.A/f 700g/l – contient max 1g/l COV (informations site internet du fabricant)

	Soles	Murs	Plafond
Cuisine/séjour – RDC (instrumentée)	Parquet huilé à l'huile Biofa	Béton de chanvre + enduit sable/chaux avec pigments naturels – soubassement bois huilé Biofa	Bois huilé Biofa
Chambre des propriétaires – Etage (instrumentée)	Parquet huilé à l'huile Biofa	Béton de chanvre + enduit terre	Bois non traité (sablé)
Stub	Parquet huilé à l'huile Biofa	Boiseries peintes	Boiseries peintes à 50%
Salle de bains RDC	Carrelage	Carrelage	Boiseries peintes
Salles de bains étage	Bois	Enduit chaux	Bois huilé Biofa
Wc RDC	Parquet vernis	Mur extérieur : tadelakt – mur intérieur : enduit terre	Bois huilé
Wc étage	Bois	Enduit terre	Bois huilé Biofa

1.3. NETTOYAGE DES LOCAUX

Le nettoyage des locaux est effectué de la façon suivante :

Tableau 2 : techniques et produits de nettoyage utilisés

Séjour/cuisine	Technique utilisée et fréquence	Produits utilisés
Sol	Aspirateur 1 à 2 fois/semaine Lavage 1 fois tous les 15 jours	BIOFA Naplana + eau
Mobilier	Chiffon tous les 15 jours	-
Vitres	2 fois/an	Vinaigre + eau
Murs	-	-

Chambres	Technique utilisée et fréquence	Produits utilisés
Sol	Aspirateur 1 fois tous les 15 jours Lavage tous les 2 mois	BIOFA Naplana + eau
Mobilier	Chiffon	-
Vitres	2 fois/an	Vinaigre + eau
Murs	-	-

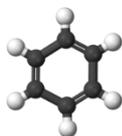
SDB/WC	Technique utilisée et fréquence	Produits utilisés
Sol	Aspirateur 1 fois/semaine Lavage 1 fois/3	BIOFA Naplana + eau
WC	1 fois/15jours	Eau + vinaigre + citron mariné dans vinaigre
Vitres	2 fois/an	Vinaigre + eau
Murs	-	-

A noter l'utilisation ponctuelle dans les wc du rez-de-chaussée et de l'étage d'un spray FLORAME PURIFIANT AGRUMES 28 huiles essentielles.

Le produit STANHOME MOP&DUSTER a été utilisé le mardi 22 janvier pour les poussières.

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 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 cancérigènes avérés par le Centre International de Recherche sur le Cancer (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 1).



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, 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 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, éthylbenzène, xylènes (m/p – o), styrène, tétrachloroéthylène, 1 méthoxy-2-propanol, n-décane, formaldéhyde, acétaldéhyde, hexaldéhyde	Particules en suspension (PM2,5) NO ₂ Moisissures Radon	Température Humidité relative CO ₂ Débit d'extraction d'air

2.2. TECHNIQUES DE MESURE

2.2.1. Température, humidité relative et ventilation

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



En complément des mesures, les pressions dans les bouches d'extraction hygroréglables (au 1^{er} étage) ont été relevées. Ces mesures de pressions ont alors été comparées aux plages de pressions indiquées par le fabricant.

Les débits ont été contrôlés au rez-de-chaussée (VMC double flux) 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 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 (formaldéhyde, benzène...) 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 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 en verre et envoyée à un laboratoire d'analyse. Les concentrations moyennes dans l'air 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 autres 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 puis incubation pendant 14 jours. La recherche de moisissures a été effectuée par la faculté de médecine de Nancy (Conseillers en Environnement Intérieur).

2.3 STRATÉGIE D'ÉCHANTILLONNAGE

2.3.1 Stratégie d'échantillonnage spatiale

Compte tenu de la configuration des lieux, le salon/salle à manger et une chambre ont été instrumentés pour cette étude.

2.3.2 Stratégie d'échantillonnage temporelle

Afin d'être au maximum représentatif des conditions moyennes sur l'année et de permettre ainsi une comparaison aux valeurs de référence long terme, un minimum de 2 périodes de mesure 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 21 au 28 janvier 2019 pour la phase hivernale,
- ✓ Du 5 au 12 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 pour 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.

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 seront utilisées. Les composés organiques volatils pour lesquels aucune valeur n'est recensée ne figurent pas dans le tableau ci-après et l'interprétation est réalisée de façon quantitative.

Des valeurs guides indicatives ont été proposées pour le toluène, le styrène et les xylènes dans une étude de Koistinen et 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

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

⁸ Koistinen K, Kotzias D, Kephelopoulou 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,

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.

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 PM2,5 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.

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

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 2018 est ainsi fixée à 17 µg/m³.
- ✓ Une valeur d'action rapide de 50 µg/m³ dont le dépassement doit déclencher dans les trois mois la mise en œuvre d'actions correctives.

Pour le 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 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).

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.

3.1.8. Les débits réglementaires

L'arrêté du 24/03/1982 modifié le 28/10/1983 instaure 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

Les dispositifs individuels de réglage (par exemple VMC double vitesse) permettent de réduire les débits, en respectant des valeurs minimales pour l'air extrait en cuisine et le débit extrait total :

Tableau 6 : Débits d'extraction minimaux en VMC autoréglable

Nombre de pièces principales							
	1	2	3	4	5	6	7
Débit total minimal en m ³ /h	35	60	75	90	105	120	135
Débit minimal en cuisine en m ³ /h	20	30	45	45	45	45	45

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

Tableau 7 : 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 POUR LES POLLUANTS

Campagne nationale logement (OQAI-CNL)

L'Observatoire de la qualité de l'air intérieur (OQAI) a réalisé en 2004-2005 une vaste campagne de mesures 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.

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

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 (tels que logements, bureaux ou écoles), à ce jour, les résultats sont disponibles pour 43 immeubles collectifs (logements).

Tableau 8 : 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)

*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**. 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).

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

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

4. RESULTATS

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

4.1.1 Les paramètres de confort

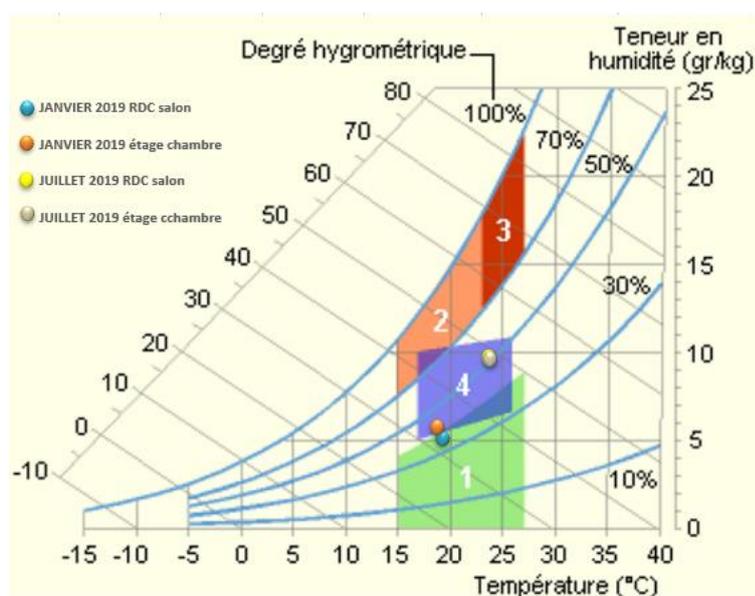
Le tableau ci-dessous présente les moyennes de température et d'humidité enregistrées dans chacune des pièces ainsi qu'à l'extérieur.

Tableau 9 : résultats obtenus pour les paramètres de confort

Pièce	Température en °C			Humidité relative en % HR		
	Moyenne	Maximum	Minimum	Moyenne	Maximum	Minimum
Campagne hivernale						
Salon/Cuisine	18,9	20,3	15,3	35,6	42,3	30,7
Chambre	18,3	20,1	17,0	41,9	46,6	28,4
Extérieur	0,3	10,6	-5,7	81,8	90,6	36,5
Campagne estivale						
Salon/Cuisine	22,9	25,5	20,7	50,6	75,6	31,6
Chambre	23,1	25,6	19,5	49,7	72,4	35,2
Extérieur	20,9	37,4	11,1	52,2	89,7	15,2

En hiver, les températures moyennes sont situées aux alentours de 18,5°C et les variations sont plus marquées dans le salon/cuisine (minimum à 15,3°C et maximum à 20,3°C). L'humidité relative est plus basse dans le salon/cuisine (35,6%) que dans la chambre (41,9%), avec pour ce paramètre, plus d'amplitude dans cette pièce par rapport au salon (minimum à 28,4% et maximum à 46,6%).

En été, les températures et humidités relatives moyennes sont quasiment équivalentes à environ 23°C et 50% avec des variations à peu près similaires.



- 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 micro-champignons.
- 3 : Zone à éviter vis-à-vis des développements d'acariens.
- 4 : Polygone de confort hygrothermique

Figure 3 : représentation des moyennes de température et humidité relative dans le diagramme de Fauconnier

En phase hivernale, la chambre est située en partie basse de la zone de bon confort (se rapprochant de la zone de sécheresse). Le salon se positionne dans la zone de sécheresse.

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

4.1.2 Le renouvellement d'air

Le dioxyde de carbone

Tableau 10 : résultats obtenus pour le dioxyde de carbone

Pièce	Concentration en CO ₂ en ppm	
	Moyenne	Maximum
Campagne hivernale		
Salon/cuisine	470	702
Chambre	590	1090
Campagne estivale		
Salon/cuisine	390	527
Chambre	413	678

Les résultats obtenus sont faibles et inférieurs aux médianes des campagnes nationales (OQAI). L'occupation a été moindre en été. La chambre accumule tout au long de la nuit du CO₂ (avec des pics aux alentours de 1000 ppm au maximum), mais l'aération matinale permet de revenir à des niveaux très faibles quasiment équivalents aux niveaux de fond extérieurs (observation pour l'hiver).

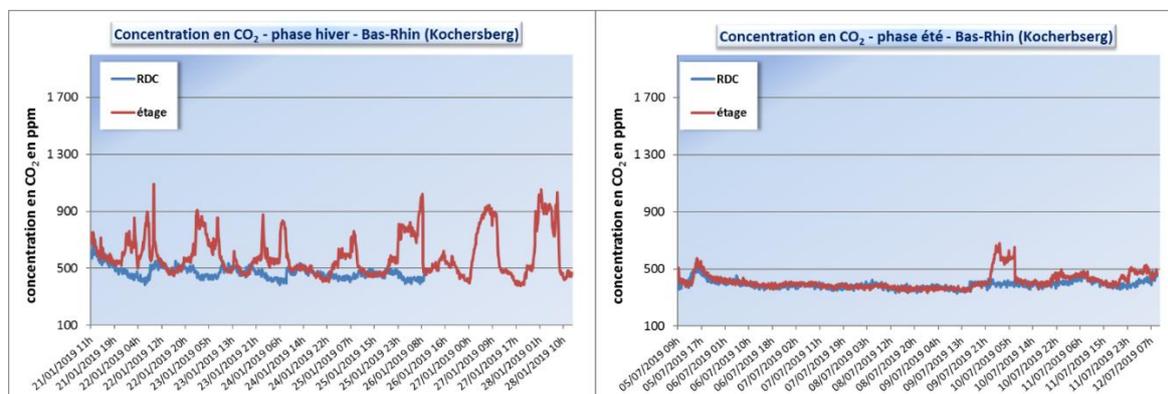


Figure 4 : évolution des niveaux de dioxyde de carbone

Le dispositif de ventilation

Au rez-de-chaussée, une VMC double flux (DF) à double vitesse est installée. La prise d'air se fait sur la façade côté cour. Il a été rappelé aux propriétaires l'importance du nettoyage de cette prise d'air qui était légèrement empoussiérée lors de notre venue.

D'après l'architecte maître d'œuvre, les conduits sont semi-rigides et un entretien au robot est prévu tous les 4 ans. Les filtres de la VMC DF sont changés tous les 6 mois et nettoyés tous les 3 mois.

Des bouches d'insufflation sont installées dans la « stub », le coin repas de la cuisine, à côté du poêle à bois et dans la chambre du studio. Les bouches d'extraction se trouvent dans la cuisine principale, les wc et, dans le studio, dans la cuisine et la salle de bains/wc.

VMC double flux au rez-de-chaussée

Figure 5 : Plan VMC du rez-de-chaussée

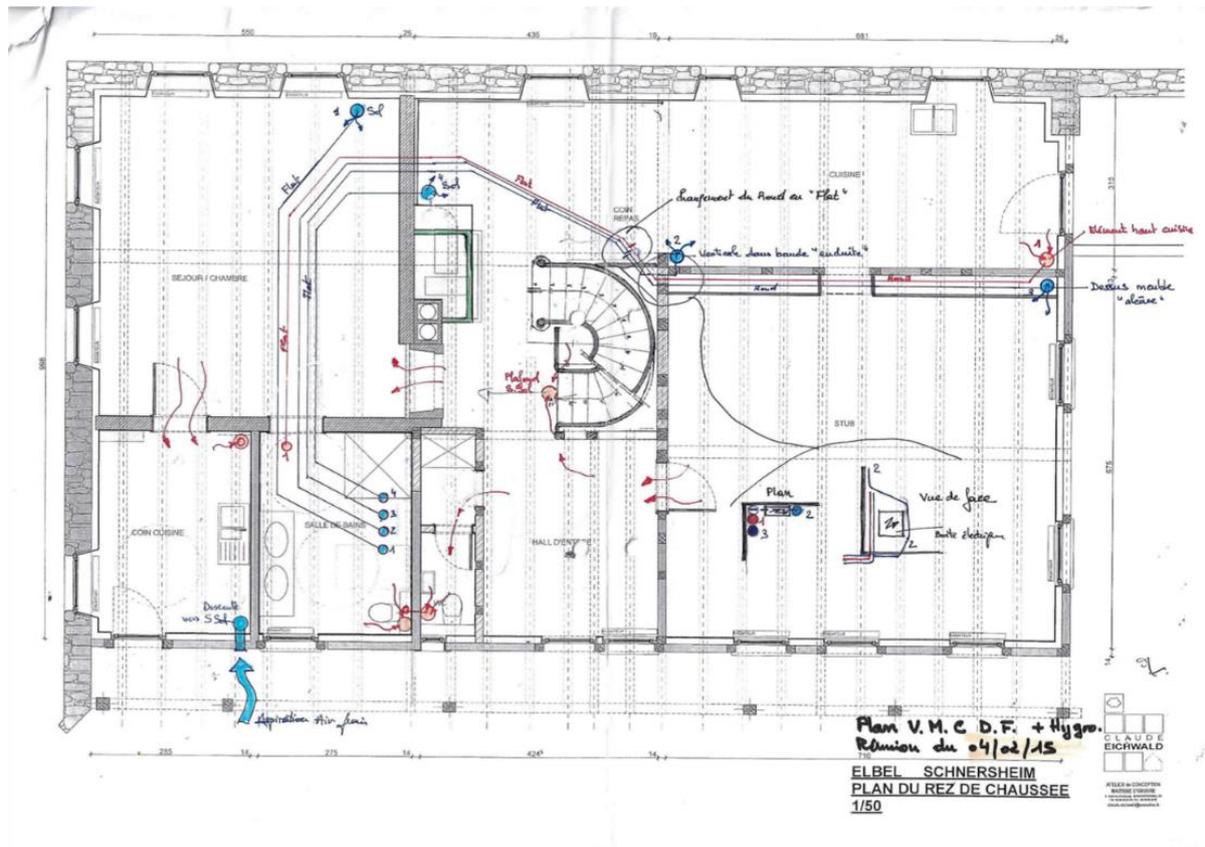


Tableau 11 : Tableau des mesures de débits relevés sur place lors de la campagne hivernale

pièce	Débit d'insufflation m ³ /h	Débit théorique (sur plan)	Débit d'extraction m ³ /h	Débit théorique (sur plan)	Remarque
Cuisine/séjour	27	30	Prise de mesure impossible	35	La bouche d'extraction de la cuisine est coincée derrière un meuble 
Stub	23	35	-	-	Porte non détalonnée entre entrée et stub Porte détalonnée entre cuisine et stub
wc	-	-	26	30	Porte non détalonnée
Entrée/cuisine	33	30	-	-	A côté du Kaecheloffe (poêle à bois)
Chambre studio	36	35	-	-	Porte détalonnée
Cuisine studio	-	-	32	30	Porte détalonnée
SDB studio	-	-	23	30	Porte non détalonnée

En bleu, les pièces instrumentées

Compte tenu des incertitudes de mesures, on observe que le système 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.

VMC simple flux hygroréglable au 1er étage

A l'étage, aucune entrée d'air n'a été installée sur les fenêtres des chambres. Des bouches d'extractions sont placées dans les deux salles de bains et dans un wc. Les wc de la suite parentale (occupée par les propriétaires et instrumentée) ne sont pas équipés d'une bouche de ventilation mais d'une petite fenêtre intérieure qui communique avec la salle de bains.



Figure 6 : fenêtre entre salle de bains et wc

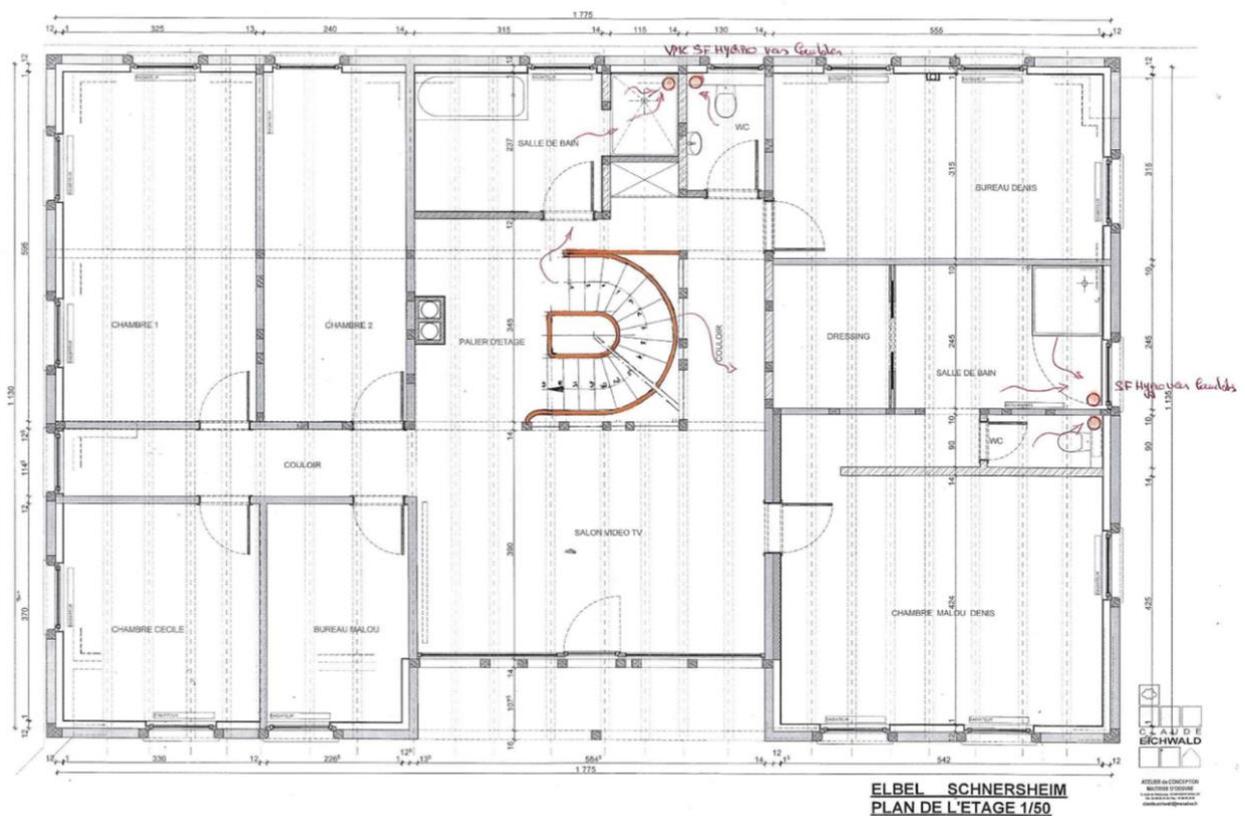


Figure 7 : Plan VMC étage

Tableau 12 : Tableau des mesures de pressions relevées sur place lors de la campagne hivernale

pièce	Référence bouche	Pression mesurée en Pa	Plage de pression annoncée par le fabricant	Remarque
Chambre propriétaires	Pas d'entrée d'air	-	-	
Salle d'eau parentale	ALDES (pas d'autre indication visible)	120	En général entre 80 et 160Pa	Porte détalonnée
WC parental	-	-	-	Pas de bouche mais une fenêtre communicante entre la SDB et les wc
Autre SDB	ALDES (pas d'autre indication visible)	102	En général entre 80 et 160Pa	Porte détalonnée
Autre wc	ALDES (pas d'autre indication visible)	120	En général entre 80 et 160Pa	Bouche équipée de détecteur de présence – porte non détalonnée

En bleu, les pièces instrumentées pour les paramètres chimiques

Les pressions mesurées se trouvent dans les plages indiquées par le fabricant mais l'absence d'entrée d'air sur les fenêtres des chambres, et particulièrement sur celles des propriétaires, n'est pas propice à un bon renouvellement de l'air.

Tableau 13 : Tableau des mesures de débits relevés sur place lors de la campagne estivale

pièce	Débit d'insufflation m ³ /h	Débit théorique (sur plan)	Débit d'extraction m ³ /h	Débit théorique (sur plan)	Débit en vitesse forcée ²	Remarque
Cuisine/séjour	26	30	Prise de mesure impossible	35	50	La bouche d'extraction de la cuisine est coincée derrière un meuble
stub	22	35	-	-	41	
wc	-	-	21	30	59	
Entrée/cuisine	33	30	-	-	60	
Chambre studio	33	35	-	-	65	Porte détalonnée
Cuisine studio	-	-	35	30	65	Porte détalonnée
SDB studio	-	-	21	30	43	Porte non détalonnée

En bleu, les pièces instrumentées pour les paramètres chimiques

Compte tenu des incertitudes de mesures, on observe que le système 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 de doubler les débits.

Tableau 14 : Tableau des mesures de pressions relevées sur place lors de la campagne estivale

pièce	Référence bouche	Pression mesurée en Pa	Plage de pression annoncée par le fabricant	Remarque
Chambre propriétaires	Pas d'entrée d'air	-	-	
Salle d'eau parentale	ALDES (pas d'autre indication visible)	94	En général entre 80 et 160Pa	Porte détalonnée
WC parental	-	-	-	Pas de bouche mais une fenêtre communicante entre la SDB et les WC
Autre SDB	ALDES (pas d'autre indication visible)	82	En général entre 80 et 160Pa	Porte détalonnée
Autre wc	ALDES (pas d'autre indication visible)	99	En général entre 80 et 160Pa	Bouche équipée de détecteur de présence – porte non détalonnée

[En bleu, les pièces instrumentées pour les paramètres chimiques](#)

Les pressions mesurées se trouvent dans les plages indiquées par le fabricant mais l'absence d'entrée d'air sur les fenêtres des chambres, et plus particulièrement sur celles des propriétaires, n'est pas propice à un bon renouvellement de l'air.

4.2. LES POLLUANTS ISSUS DES MATERIAUX ET DES ACTIVITES

4.2.1 Le formaldéhyde

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

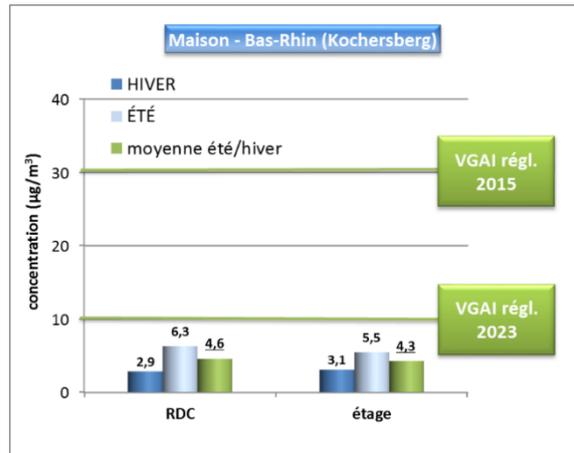
Tableau 15 : concentrations obtenues pour le formaldéhyde

$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Campagne hivernale	Campagne estivale	Moyenne
Salon/Cuisine	2,9	6,3	4,6
Chambre	3,1	5,5	4,3
Valeur guide 2015	30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$		
Valeur guide 2023	10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$		

Figure 8 : concentrations ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) en formaldéhyde

Les concentrations moyennes obtenues sont très faibles. Les deux pièces respectent la valeur guide en vigueur (30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ jusqu'en 2023) et sont mêmes en dessous de la valeur guide qui sera effective à compter de 2023 (fixée à 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Ces valeurs sont également très nettement inférieures aux médianes des campagnes nationales OQAI (19,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ OQAI-CNL et 18,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ OQAI-BPE).



4.2.2 Le benzène

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

Tableau 16 : concentrations obtenues pour le benzène dans les pièces instrumentées ainsi qu'à l'extérieur

	Campagne hivernale	Campagne estivale	Moyenne
Salon/Cuisine	3,1	0,9	2,0
Chambre	2,9	0,9	1,9
Extérieur	1,9	0,9	1,4
Valeur guide 2016	2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$		

Les valeurs mesurées dans le logement divergent d'une phase à l'autre. Elles dépassent les 2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, seuil de référence en vigueur, à titre indicatif en hiver. En été, une nette baisse est observée. De ce fait, en moyenne annuelle, les deux pièces se situent en dessous ou très proches de cette valeur guide. En hiver, la teneur mesurée à l'extérieur est plus faible qu'à l'intérieur. Le point de mesure a été placé au niveau de la prise d'air de la VMC double flux donc dans la cour (côté opposé à la route). L'aération ponctuelle côté route (à fort trafic), peut avoir entraîné une hausse des teneurs.

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

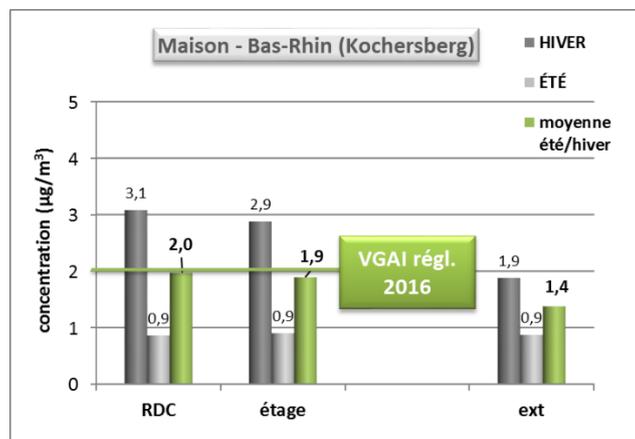


Figure 9 : concentrations ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) en benzène

4.2.3 Les autres composés

Pour rappel, une liste prédéfinie de COV a été établie dans les protocoles de mesures 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 pour la présente étude quelques composés présents en quantités majoritaires sur les échantillons.

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

Tableau 17 : concentrations obtenues pour les autres composés (LD = Limite de Détection)

	Concentration en $\mu\text{g}/\text{m}^3$	hiver		été		médianes		Valeurs de réf.
		RDC	étage	RDC	étage	OQAI-CNL	OQAI-BPE	
Composés listés (pré-définis)	Acétaldéhyde	16,0	22,2	15,9	22,5	11,6	11,5	160
	Hexaldéhyde	7,2	11,4	12,0	17,3	13,6	21,3	CLI = 650
	Benzène	3,1	2,9	0,9	0,9	2,1	1,5	2
	Toluène	2,1	2,2	1,3	1,3	12,2	4,8	300
	Ethylbenzène	0,4	0,4	0,3	0,3	2,3	1,2	1500
	m+p Xylène	1,0	1,1	0,7	0,7	5,6	2,7	200
	o-xylène	0,4	0,4	0,3	0,3	2,3	1,2	200
	Styrène	0,5	0,6	1,0	1,3	1	1,1	250
	1-méthoxy-2-propanol	0,0	0,0	0,0	0,0	1,9	0,9	CLI = 2000
	Limonène	2,9	2,9	3,0	2,5		24,2	CLI = 450
	n-décane	0,2	0,0	0,2	0,2	5,3	2,3	
	Tétrachloroéthylène	0,1	0,1	0,1	0,1	1,4	<LD	250
Autres composés majoritaires	Acide acétique	24,5	22,3	15,7	17,7			CLI = 250
	Ethylacétate	8,6	13,1					CLI = 14000
	Hexaméthylcyclotrisiloxane	1,4	4,9	2,4	3,8			
	Acetic acid butyl ester (acétate de butyle)	2,5	3,9	0,8	4,9			CLI = 4800
	Furfural	1,1	3,0	4,9	6,9			CLI = 8
	Tricyclène	0,4	0,8					
	Octaméthylcyclotétrasiloxane	1,0	1,7	2,0	3,1			CLI = 1200
	Camphène	1,4	3,0					
	Benzaldéhyde	1,3	3,3	1,2	1,9			CLI = 90
	Pinène	0,4	0,7	1,1	1,0		22,6	CLI = 450
	Pcymène	9,8	8,3	7,0	8,1			CLI = 1000
	P-cymenène	7,2	2,8					
	Trichloroéthylène	0,1	0,1				<LD	2
	2,2,3,5-tétraméthyl-heptane			1,2	1,3			
	Heptane			2,8	4,4			
	2-méthylcyclopropyl-benzène			2,2	2,8			
	Tétradécane			0,4	0,6			
Hexadécane			0,4	0,7				
1,3,5-triméthylbenzène			0,1	0,1	4,1	1,1	CLI = 1000	

Les concentrations des composés listés sont plus faibles que celles habituellement mesurées dans les espaces intérieurs (sauf pour l'acétaldéhyde). Cette présence d'aldéhydes, en quantités toutefois très modérées, peut être liée aux revêtements en bois.

S'agissant des autres composés présents en quantités majoritaires, la concentration la plus élevée concerne l'acide acétique retrouvé sur les deux phases dans les deux pièces. Entre $15,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (salon/salle à manger – été) et $24,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (salon/salle à manger – hiver) ont été relevés. L'utilisation de vinaigre pour l'entretien est génératrice d'acide acétique. Par ailleurs, des composés de la famille des terpènes ressortent comme le p-cymène présents sur les deux phases en lien avec l'utilisation d'huiles essentielles.

De façon générale, les teneurs observées restent 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, le salon présente une moyenne $12,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ avec une valeur maximale de $85 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Pour la chambre la moyenne est plus faible ($10,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$) avec une valeur maximale de $34 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

En été, le salon présente une moyenne $2,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ avec une valeur maximale de $13,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Pour la chambre la moyenne est de $1,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ avec une valeur maximale de $10,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

A titre indicatif (technique de mesure non gravimétrique¹⁸), les concentrations moyennes sont situées en dessous de la valeur repère de $16 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Les graphiques ci-dessous présentent l'évolution des PM_{2,5} au cours des 2 semaines de mesures :

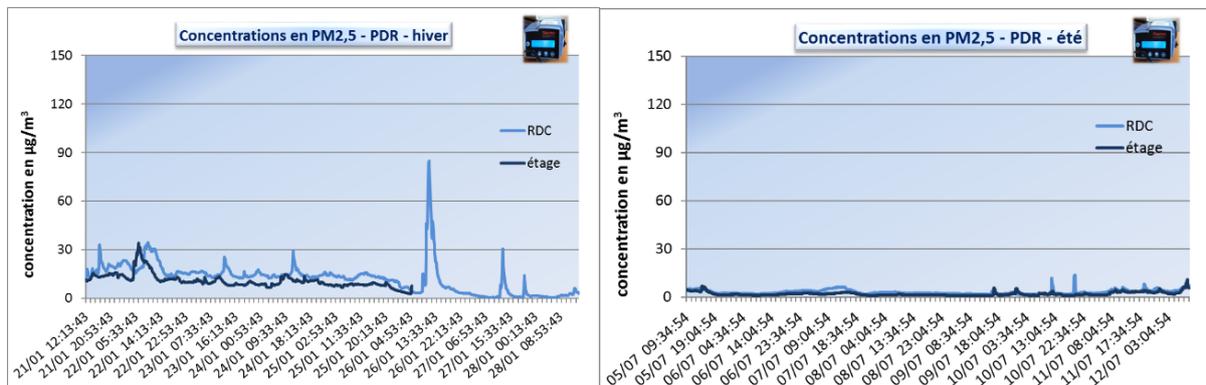


Figure 10 : évolutions des concentrations ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) en PM_{2,5}

Le pic de concentration observé le 26 janvier en hiver est ponctuel et peut s'expliquer par des activités de cuisson.

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).

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 18 : concentrations obtenues pour le dioxyde d'azote

	Campagne hivernale	Campagne estivale	Moyenne
Salon/cuisine	-	10,1	-
Chambre	4,8	6,9	5,8
Extérieur	24,4	13,2	18,8
Valeur guide indicative	20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$		

Avec 5,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne, les teneurs dans la chambre se positionnent en deçà de la valeur guide indicative de 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. La moyenne pour le salon n'est pas calculable.

Les teneurs intérieures sont inférieures aux teneurs extérieures. L'air extérieur est impacté par le trafic routier avec 24,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ relevés (dans la cour, du côté opposé à la route) en hiver.

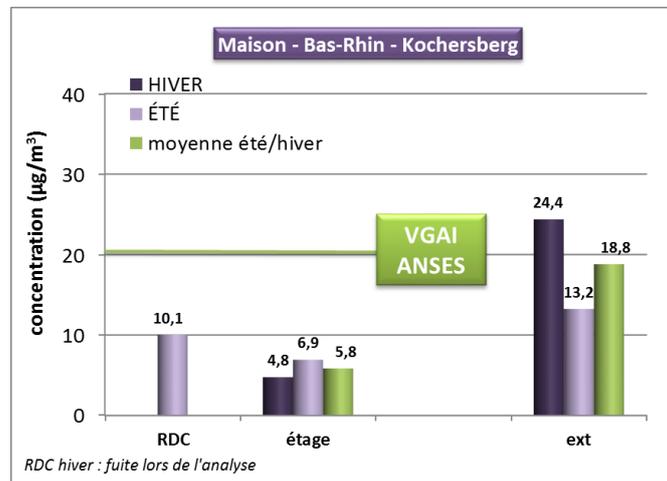


Figure 11 : concentrations ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) en dioxyde d'azote

4.4. LE RADON ET LES MOISSISSURES

Le radon

L'habitation présente une concentration moyenne pour le radon de 53 Bq/m³. Cette valeur est inférieure à la valeur limite de référence de 300 Bq/m³.

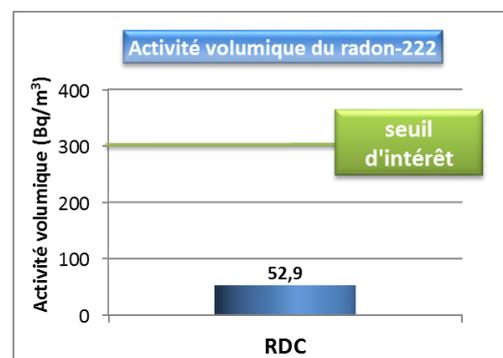
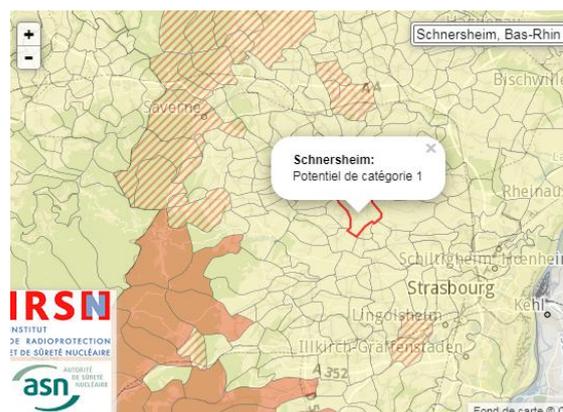


Figure 12 : concentrations (Bq/m³) en radon

A noter que la zone de Schnersheim est classée en potentiel radon de catégorie 1/3 (les communes à potentiel radon de catégorie 1 sont celles localisées sur les formations géologiques présentant les teneurs en uranium les plus faibles).



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 maximale dans le bâtiment est de 12 UFC/100cm² sur la fenêtre de la chambre. 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 en sont éloignés.

CONCLUSION

La caractérisation de la qualité de l'air dans une habitation située dans le Kochersberg (Bas-Rhin) et rénovée avec utilisation de matériaux biosourcés, a permis de mettre en évidence les éléments suivants :

- Des paramètres de confort conformes aux recommandations en été, mais des températures et des taux d'humidité relativement bas en hiver (les pièces se situent vers la zone à éviter vis-à-vis des problèmes de sécheresse).
- 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, en hiver, dans la chambre, ce qui est couramment observé dans ce type de pièce. Il est important de maintenir la pratique d'aération des pièces le matin.
- Des concentrations relativement faibles et inférieures aux valeurs de référence pour la majorité des polluants chimiques mesurés. Les composés qui ressortent en quantités majoritaires sont ceux issus des produits utilisés pour l'entretien, et la présence d'aldéhydes (acétaldéhyde et hexaldéhyde) peut être liée aux revêtements en bois dans la maison (avec pour l'acétaldéhyde des teneurs un peu plus élevées que celles mesurées dans la plupart des logements français).
- Des concentrations en PM_{2,5} très faibles avec des pics ponctuels en hiver (en lien avec des activités de cuisson).

- Une valeur de 53 Bq/m³ pour le radon ce qui est largement inférieur au seuil d'intérêt fixé à 300 Bq/m³ en lien avec le terrain géologique de la zone d'étude (potentiel radon de 1/3).
- Un niveau de contamination pour les moisissures (non visibles) inférieurs à ce qui est généralement mesuré dans les environnements intérieurs.
- Les mesures de débits au rez-de-chaussée ont permis de constater le bon fonctionnement de la ventilation double-flux. A l'étage, les bouches d'extraction hygroréglables fonctionnent correctement mais les entrées d'air manquent sur les fenêtres des chambres, ce qui explique très certainement les pics ponctuels de dioxyde de carbone relevés en hiver.

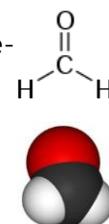
ANNEXE 1

SOURCES D'ÉMISSIONS DE QUELQUES POLLUANTS DE 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 ;
- **Hexaldéhyde (hexanal)** : 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...
- **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.

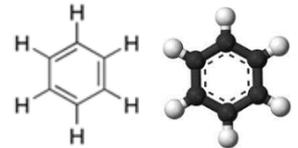
Les autres COV (liste non exhaustive)

Les BTEX

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

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

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



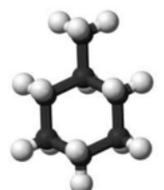
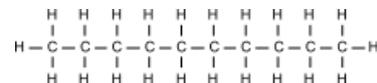
Autres hydrocarbures aromatiques :

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

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

Sources d'émissions

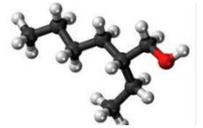
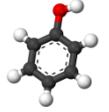
- **n-heptane et isomères** : solvant pour colles, encres, caoutchoucs et matières plastiques. Solvant d'extraction.
- **n-décane** : white spirit, colles pour sol, cires, vernis à bois, sol, moquettes, tapis, huile pour parquet, solvant.
- **n-undécane** : white-spirit, colles pour sol, cires, vernis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