

# PERFORMANCE 2 : DURABILITE DES SYSTEMES DE VENTILATION HYGROREGLABLE

---

Synthèse du projet

---

**RAPPORT FINAL**

Juin  
2024

# REMERCIEMENTS

*L'ensemble des membres du Consortium du projet Performance 2 ayant pris part aux travaux réalisés et aux résultats produits sont listés ci-dessous :*

Cerema : Adeline Mélois, Gaëlle Guyot, Manon Santerne, Maryse Renaud, Ambre Marchand-Moury, Catherine Nauleau, Sylvain Rebières, Romuald Jobert, Sophie Zany, Murielle Clairis, Lucie Deroo, Cécile Caudron, Nathalie Moral, Stéphanie Bordel, Nathan Vala, Sandrine Charrier, Emmanuel Roux, Valérie Leprince

Aereco : Marc Legree, Juan Rios, Stéphane Berthin, Elsa Jardinier, François Parsy

Anjos : Jérémy Depoorter, Nicolas Dufour, David Salvetat

LOCIE : Evelyne Gonze, Michel Ondarts, Jonathan Outin, Benjamin Golly

## CITATION DE CE RAPPORT

MÉLOIS Adeline. 2024. PERFORMANCE 2 : DURABILITE DES SYSTEMES DE VENTILATION HYGROREGLABLE – Synthèse du projet. 15 pages.

Cet ouvrage est disponible en ligne <https://bibliothèque.ademe.fr/>

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite selon le Code de la propriété intellectuelle (art. L 122-4) et constitue une contrefaçon réprimée par le Code pénal. Seules sont autorisées (art. 122-5) les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé de copiste et non destinées à une utilisation collective, ainsi que les analyses et courtes citations justifiées par le caractère critique, pédagogique ou d'information de l'oeuvre à laquelle elles sont incorporées, sous réserve, toutefois, du respect des dispositions des articles L 122-10 à L 122-12 du même Code, relatives à la reproduction par reprographie.

### **Ce document est diffusé par l'ADEME**

#### **ADEME**

20, avenue du Grésillé

BP 90 406 | 49004 Angers Cedex 01

Numéro de contrat : 2004C0014

Étude réalisée par (Cerema : Adeline Mélois, Gaëlle Guyot, Manon Santerne, Maryse Renaud, Ambre Marchand-Moury, Catherine Nauleau, Sylvain Rebières, Romuald Jobert, Sophie Zany, Murielle Clairis, Lucie Deroo, Cécile Caudron, Nathalie Moral, Stéphanie Bordel, Nathan Vala, Sandrine Charrier, Emmanuel Roux, Valérie Leprince ; Aereco : Marc Legree, Juan Rios, Stéphane Berthin, Elsa Jardinier, François Parsy ; Anjos : Jérémy Depoorter, Nicolas Dufour, David Salvetat ; LOCIE : Evelyne Gonze, Michel Ondarts, Jonathan Outin, Benjamin Golly) pour ce projet financé par l'ADEME

Projet de recherche coordonné par : Adeline Mélois - Cerema

Appel à projet de recherche : Vers des Bâtiments responsables – Edition 2020

Coordination technique - ADEME : DEROUBAIX Pierre et MARX Etienne

Direction/Service : DVTD/SB

# SOMMAIRE

<b>1. PRESENTATION DU PROJET PERFORMANCE 2.....</b>	<b>6</b>
1.1. Contexte, enjeu de société .....	6
1.2. Objectifs et problématique scientifique.....	6
1.3. Méthodologie .....	6
<b>2. ORGANISATION DES CAMPAGNES SUR SITE .....</b>	<b>7</b>
2.1. Installation initiale des systèmes de ventilation étudiés .....	7
2.2. Intervention sur installation existante et installation complémentaire .....	7
2.3. Diagnostic préalable des installations de ventilation .....	7
2.4. Préparation des campagnes hivernales de Qualité d'Air Intérieur (QAI).....	8
<b>3. CAMPAGNES EN LABORATOIRE .....</b>	<b>9</b>
3.1. Intercomparaison des appareils de mesure en laboratoire.....	9
3.2. Caractérisation des composants de ventilation en laboratoire.....	10
<b>4. CARACTERISATION DE LA DURABILITE DE LA VENTILATION HYGROREGLABLE .....</b>	<b>11</b>
4.1. Evolution des performances énergétiques .....	11
4.2. Fonctionnement hygroréglable des systèmes sur site .....	11
<b>5. CARACTERISATION MULTI-CRITERE DES PERFORMANCES DES SYSTEMES DE VENTILATION HYGROREGLABLES .....</b>	<b>13</b>
<b>6. ANALYSE DES COMPORTEMENTS DES OCCUPANTS .....</b>	<b>14</b>
6.1. Description de la qualité de l'air intérieur .....	14
6.2. Connaissance de la ventilation .....	14
<b>7. ENSEIGNEMENTS DU PROJET PERFORMANCE 2.....</b>	<b>15</b>

## RÉSUMÉ

Le projet Performance 2 vise à évaluer la durabilité des systèmes de ventilation hygroréglable et à approfondir les connaissances scientifiques sur leur performance globale, tant en termes d'efficacité énergétique que de Qualité d'Air Intérieur (QAI). Ce projet s'inscrit dans le cadre de l'appel à projet de recherche « Vers des Bâtiments responsables » de l'édition 2020. Il est coordonné par le Cerema et financé par l'ADEME. Les principaux partenaires impliqués sont le Cerema, Aereco, Anjos et le LOCIE.

Le projet s'est articulé autour de :

- Campagnes de mesure en laboratoire, pour caractériser les performances des terminaux de ventilation et les performances des appareils de mesure ;
- Campagnes de mesures in-situ dans deux immeubles, à travers un monitoring en continu pendant deux ans du fonctionnement des terminaux de ventilation ainsi que des mesures de température, humidité relative, dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), Composés Organiques Volatils (COV) et particules fines (PM). Ce monitoring a été complété par deux campagnes hivernales QAI qui intègrent les mêmes mesures ainsi que des mesures de formaldéhyde et des collectes d'information auprès des occupants.

De nombreuses analyses de l'ensemble de ces données recueillies pendant ces campagnes ont permis tout d'abord de montrer qu'**après 15 ans d'utilisation dans des logements sociaux, les systèmes de ventilation hygroréglable étudiés continuent de répondre correctement aux conditions d'humidité relative et fournissent des débits qui varient en fonction de l'occupation et assurent des bonnes conditions d'humidité et de CO<sub>2</sub>**, malgré quelques terminaux de ventilation dont le fonctionnement est plus limité qu'à la réception. Les analyses dédiées à la QAI, avec notamment l'étude des concentrations en COV, PM et formaldéhyde, montrent que les situations avec des niveaux élevés pour ces polluants correspondent à des logements avec des sources intérieures importantes - fumeurs ou à l'usage important de produits émissifs (notamment désodorisant, encens et parfums d'ambiance) – et non à la performance de la ventilation.

Les analyses en laboratoire permettent de quantifier l'impact de la maintenance, notamment sur le bon fonctionnement des terminaux.

Ces résultats ont permis d'élaborer des recommandations à destination des décideurs pour **faire évoluer le corpus réglementaire et normatif**, mais aussi des industriels pour **faire évoluer leurs produits**, des maîtres d'ouvrage pour les **sensibiliser au choix des systèmes et à l'importance de la maintenance**, et pour les financeurs de travaux de recherche afin de **prioriser les futures études**.

## ABSTRACT

The Performance 2 project aims to evaluate the durability of humidity-controlled ventilation systems and to deepen scientific knowledge about their overall performance. It addresses both energy efficiency and indoor air quality (IAQ). This project is part of the 2020 edition of the "Towards Responsible Buildings" research call funded by ADEME. It is coordinated by Cerema. The main partners involved are Cerema, Aereco, Anjos, and LOCIE.

The project was based on:

- Laboratory measurement campaigns to characterize the performance of ventilation terminals and the performance of measurement devices;
- In-situ measurement campaigns in two buildings, involving continuous monitoring over two years of the operation of air terminal devices as well as measurements of temperature, relative humidity, carbon dioxide (CO<sub>2</sub>), Volatile Organic compounds (VOCs), and Particulate Matter (PM). This monitoring was supplemented by two winter campaigns that included the same measurements as well as measurements of formaldehyde and information collected from the occupants.

Numerous analyses of all the data collected during these campaigns show that **after 15 years of use in social housing, the studied humidity-controlled ventilation systems continue to respond correctly to relative humidity conditions. They provide airflow rates that vary according to occupancy, ensuring good humidity and CO<sub>2</sub> conditions,** despite some air terminal devices functioning less efficiently than at the time of reception. IAQ-specific analyses, particularly the study of VOC, PM, and formaldehyde concentrations, indicate that the situations with high levels of these pollutants correspond to important pollutants emissions - smoking households or significant use of emissive products (notably air fresheners, incense, and ambient perfumes) – and not lack in ventilation system performance.

The laboratory analyses lead to the quantification of the impact of maintenance on the proper functioning of the air terminal devices.

These results have led to the development of recommendations aimed at stakeholders to **evolve the regulatory and normative framework**, but also at manufacturers to **improve their products**, project owners to **raise awareness about the choice of systems and the importance of maintenance**, and research funders to **prioritize future studies**.

# 1. Présentation du projet Performance 2

---

Le projet Performance 2 vise à caractériser la durabilité des systèmes de ventilation intelligente de type hygroréglable, et leur robustesse vis-à-vis notamment de l'usage des occupants. Ces évaluations se basent sur des mesures in-situ réalisées sur 2 bâtiments de logement social donc la construction avait été suivie par le projet ADEME Performance (2007-2010), à Paris et à Villeurbanne. Ces mesures sont réalisées, d'une part, à l'aide de capteurs embarqués directement au niveau des terminaux de ventilation (mesures de débit, de pression, de température, d'humidité relative, de dioxyde de carbone - CO<sub>2</sub>, de composés organiques volatils - COV et de particules fines) et sont complétées par des mesures dans les logements de COV, de formaldéhyde et de particules fines (chambre, cuisine, salon, salle de bains).

## 1.1. Contexte, enjeu de société

Si les systèmes de ventilation intelligents sont utilisés depuis plus de vingt ans dans certains pays d'Europe, on note dans la littérature scientifique de ces quelques dernières années un engouement plus marqué pour les étudier. Il reste néanmoins difficile d'analyser la performance globale de la ventilation intelligente pour au moins quatre raisons :

- La grande diversité des systèmes ;
- Le manque d'informations dans les études scientifiques sur le climat, les scénarios d'occupation, le niveau de performance énergétique, le niveau de débits de ventilation, les caractéristiques d'émission et d'absorption des matériaux ;
- La grande variété d'indicateurs de performance de la QAI utilisés pour caractériser la performance de ces systèmes;
- Les disparités importantes dans les cas dits de "références", auxquels sont comparés ces systèmes intelligents, qui diffèrent selon les réglementations et les normes utilisées dans chaque pays.

Il devient indispensable de produire des études prenant en compte l'ensemble de ces considérations afin de caractériser la performance de la ventilation intelligente.

## 1.2. Objectifs et problématique scientifique

Lors de leur construction en 2007-2009, les deux immeubles du projet « Performance » situés à Paris et Villeurbanne ont été instrumentés grâce à des capteurs installés dans 31 appartements pour mesurer en continu le CO<sub>2</sub>, l'humidité relative, la température et le fonctionnement des bouches (ouverture et pression donc débit) et entrées d'air (ouverture).

L'instrumentation embarquée des deux opérations, très rare (voire unique) en France et dans le monde, et toujours en état de fonctionnement aujourd'hui, offre une opportunité exceptionnelle d'évaluer la durabilité des performances des systèmes de ventilation, tout en produisant de nouvelles connaissances sur l'intelligence de ces systèmes. **Le nouveau projet Performance 2 vise donc :**

- Au développement de connaissances scientifiques sur la performance globale des systèmes de ventilation hygroréglable, en intégrant performance énergétique et qualité de l'environnement intérieur (paramètres de confort et qualité d'air intérieur);
- A l'évaluation de la durabilité de la ventilation hygroréglable une fois installée in situ.

## 1.3. Méthodologie

Ce projet comprend 4 tâches techniques différentes :

- Tâche 1 - Organisation et réalisation des campagnes sur site : mesures dans les logements de la performance de la ventilation, des paramètres de confort et de la qualité de l'air intérieur, entretiens avec les occupants ;
- Tâche 2 – Organisation et réalisation des campagnes en laboratoire : évaluation des performances des terminaux de ventilation avant et après nettoyage, étalonnage des capteurs et étude de la fiabilité des capteurs de qualité de l'air intérieur ;
- Tâche 3 - Analyse des résultats : évaluation de la performance des systèmes de ventilation en ce qui concerne la qualité de l'air intérieur, la consommation d'énergie et leur robustesse par rapport à leur utilisation par les locataires ;
- Tâche 4 - Développement de recommandations techniques, pour une inclusion possible de ces recommandations dans les réglementations et les normes sur la ventilation et la QAI.

## 2. Organisation des campagnes sur site

### 2.1. Installation initiale des systèmes de ventilation étudiés

Les études ont été réalisées dans les deux immeubles du projet Performance, équipés de systèmes de ventilation hygroréglable B (entrées d'air (EA) et bouches d'extraction (BE) hygroréglables):

- Un immeuble de Paris Habitat à Paris, dont 19 logements avaient été instrumentés par Aereco à sa construction en 2007,
- Un immeuble de Lyon Métropole Habitat à Villeurbanne, dont 12 logements avaient été instrumentés par Anjos à sa construction en 2007.

L'instrumentation initiale comprenait le suivi des paramètres suivants :

- La température, l'humidité relative et le CO<sub>2</sub> à l'aide de capteurs installés sur des cartes électroniques murales dans le salon et les chambres (proches des EA) et dans les cuisines, salles de bain et salles d'eau (proches des BE) ;
- Le fonctionnement des composants de ventilation dans les logements à l'aide de capteurs à effet hall intégrés dans les EA et les BE, de capteurs de pression dans les BE et des capteurs de présence dans les BE WC ;
- Les paramètres météorologiques (température, pression atmosphérique, vitesse et direction du vent) et le CO<sub>2</sub> à l'aide d'une station de mesure extérieure située en toiture terrasse,
- La consommation électrique des ventilateurs dans les parties communes.

### 2.2. Intervention sur installation existante et installation complémentaire

Dans tous les logements volontaires pour le projet Performance 2, l'ensemble des capteurs de monitoring présents ont été récupérés pour être étalonnés ou changés (si performance trop faible). Concernant l'immeuble parisien, de nouvelles cartes électroniques ont été installées avec de nouveaux capteurs CO<sub>2</sub>, des capteurs de COV et des capteurs de particules fines. Les capteurs de CO<sub>2</sub>, de température et d'hygrométrie des stations météo ont également été changés et les anémomètres à hélice ont été ré-étalonnés. Sur l'immeuble de Villeurbanne, les capteurs existants ont été conservés, après étalonnage.

Durant les campagnes de mesures hivernales, des capteurs de mesure en continu (capteurs NEMo) pour les particules, COVI, formaldéhyde ont été installés dans le salon et une chambre de chaque logement, ainsi qu'à l'extérieur pour évaluer le transfert de polluants (PM) de l'extérieur vers l'intérieur.

### 2.3. Diagnostic préalable des installations de ventilation

Une inspection des installations de ventilation a été réalisée pour chaque logement, en partie en suivant le protocole Promevent. Cette inspection comprend des contrôles visuels des différents composants des systèmes de ventilation, ainsi que des mesures de pression pour chaque bouche d'extraction.

A Paris, l'étude de l'encrassement montre qu'aucune des 15 bouches cuisines ne présente un entretien jugé comme bon. Les bouches des salles de bain (14 au total) et salles de douche (8 au total) présentent un bon niveau d'entretien à hauteur de 21 % et 25 % des totaux respectifs. Les bouches WC sont les moins encrassées avec un bon entretien qui atteint 80% des 15 échantillons. Seulement un tiers des 54 entrées d'air ont été jugées comme ayant un bon niveau d'entretien. Il n'y a pas de différence notable entre l'encrassement des entrées d'air des chambres et des séjours (Figure 1). Concernant les passages de transit, pour plus de 80% des pièces, les détalonnages sont conformes aux recommandations. En revanche, aucune des cuisines ne respectent le détalonnage réglementaire.

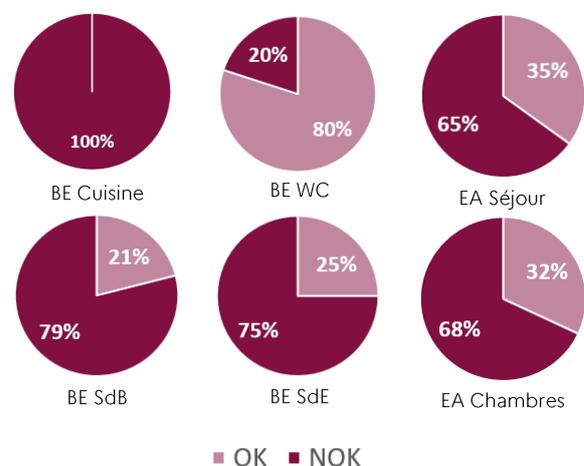


Figure 1: Niveau d'encrassement des bouches d'extraction et des entrées d'air - Diagnostic initial Performance 2

A Villeurbanne, le diagnostic initial a montré que les bouches d'extraction se trouvant dans les cuisines et salles de bain sont souvent encrassées et peuvent être non conformes pour la majorité. Ceci peut être causé par des remplacements de bouches non conformes. Dans les WC, l'encrassement est moins perçu et les bouches sont pour la majorité en état de fonctionnement. Les mesures de détalonnage dans ces pièces ainsi que les pièces de vie indiquent que la moitié n'est pas conforme aux réglementations. Il faut ajouter à cela que toutes les portes menant à la cuisine sont non conformes aux règles de l'art.

## 2.4. Préparation des campagnes hivernales de Qualité d'Air Intérieur (QAI)

La préparation des campagnes de mesure hivernales QAI a compris l'élaboration des outils méthodologiques permettant notamment la collecte d'informations quant aux sources potentielles de pollution à l'intérieur des logements ainsi qu'aux connaissances et ressentis des occupants vis-à-vis de la ventilation et de la QAI. Une **mallette de 6 outils méthodologiques** a été développée et comprend :

- **Un guide méthodologique** : à destination des équipes projet, il détaille les éléments à préparer en amont des interventions, rappelle les informations sur la façon d'interagir avec les occupants (présentation du projet, du carnet de bord, entretien de fin de campagne), les éléments à emporter pour chacune des interventions, détaille les informations relatives à l'installation/utilisation des capteurs QAI et extérieur ;
- **Un diagnostic immeuble et logement** : outils permettant d'identifier les sources potentielles de pollutions liées aux parties communes du bâtiment (stockage de produits chimiques/d'entretien, nettoyage des parties communes, localisation des locaux techniques) et celles liées aux logements instrumentés (emplacement, nombre d'occupants, événements, chauffage et appareils à combustions, caractéristiques des pièces instrumentées) ;
- **Un carnet de bord** : outil dédié au recueil des données lors des campagnes de mesures QAI, à remplir exclusivement par les occupants quotidiennement durant les semaines de mesure QAI. Il comporte 5 thématiques : la préparation des repas, les tâches ménagères, l'usage de la salle de bain, l'aération du logement et les activités de bricolage, de loisirs, de bien-être. **Le carnet de bord a nécessité une mobilisation de compétences en psychologie sociale et une réflexion sur le visuel pour être efficace et acceptable** ;
- **Un guide pour l'entretien semi-directif de l'occupant** : outil permettant aux occupants de s'exprimer librement tout en évitant d'orienter leur réponse, sous forme de guide d'interview (30 min à 1h). Il aborde : la qualité de l'air, les généralités sur le logement, l'utilisation de produits chimiques, l'état des revêtements et meubles, les activités de cuisine, le nettoyage/séchage des vêtements, l'aération et la ventilation, le confort général ;
- **Une fiche de suivi des capteurs** : outil dédié aux équipes projet pour la pose et la dépose des capteurs QAI et extérieur (suivi de l'emplacement et configuration des capteurs et des mesures, commentaires éventuels).
- **Une fiche de retour aux occupants** : outil pédagogique et adaptée aux modes de vie des occupants présentant les résultats de la campagne de mesure. Elle comprend une rubrique ventilation (état des lieux des équipements de ventilation, recommandations pour l'entretien) et une rubrique QAI (résultats des mesures de température, humidité relative, CO<sub>2</sub>, formaldéhyde, PM10 et PM2,5, recommandations pour améliorer la QAI)

Les outils méthodologiques ont par ailleurs été modifiés pour la seconde campagne de mesure suite aux retours d'expérience, à la fois des occupants et des équipes du projet.

## 2.5. Participation des volontaires

Afin de lancer l'acquisition des données pour Performance 2, des conventions ont été signées avec Paris Habitat et Lyon Métropole Habitat. Après une campagne de communication réalisée sur chacun des sites, présentant les différents intervenants et la nature des interventions tout au long du projet, les locataires volontaires de 15 logements à Paris et 7 logements à Villeurbanne ont été recrutés. Cependant, le contexte sanitaire du début du projet, la durée du projet et le nombre des interventions ont eu pour conséquences le retrait de nombreux volontaires à différentes étapes du projet (Tableau 1).

	Paris		Villeurbanne	
	Dates	Participants	Dates	Participants
Recrutement	07/19	15	10/21	7
Monitoring capteurs embarqués	11/21	13	02/22	7
	04/24		05/24	
Campagne QAI 1	11/21	7	02/22	6
	01/22		04/22	
Campagne QAI 2	11/22	4	02/23	4
			03/23	

Tableau 1 : Bilan des participations aux campagnes Performance 2

## 3. Campagnes en laboratoire

### 3.1. Intercomparaison des appareils de mesure en laboratoire

Des intercomparaisons sur les appareils de mesure de la QAI ont été réalisées par le LOCIE afin de vérifier le fonctionnement et la fiabilité des capteurs embarqués intégrés dans les cartes d'acquisition (CO<sub>2</sub>, HR, température, COV et PM) et des balises NEMOs utilisées pour les campagnes QAI (CO<sub>2</sub>, température, humidité relative, COV légers, PM et Formaldéhyde). La méthodologie choisie dans cette étude est basée, dans un premier temps, sur la comparaison de la valeur mesurée par chaque capteur et leur dynamique de réponse par rapport aux valeurs mesurées par un appareil de référence. Ces essais comprennent deux types de sollicitation : l'une du type « échelon », l'autre de type « impulsion ». Dans un second temps, des mesures in situ en conditions réelles ont permis d'évaluer la cohérence des capteurs, d'une part, au sein d'un groupe de capteurs identiques et, d'autre part, entre les types de capteurs.

#### Protocole expérimental

Les capteurs sont placés dans une enceinte (Figure 2) dont les paramètres physiques et la composition chimique de l'atmosphère intérieure sont contrôlés (humidité, concentration en COV, particules). Les valeurs obtenues par les capteurs sont alors comparées entre elles et comparées à des mesures de références ainsi qu'à des analyses en ligne pour les COV (mesure PID). Les essais sur les particules mettent en œuvre un aérosol salin (KCl) et un aérosol de poudre minérale (zéolithe). La mesure de référence est effectuée par un compteur optique à faisceau laser Grimm. Les essais sur les COV ont été réalisés avec du toluène et de l'isopropanol. La mesure de référence des COV est un capteur à photoionisation (PID) modèle ppbRAE 3000. Pour les essais en formaldéhyde, la mesure de référence est faite par prélèvement sur cartouche de DNPH suivant le protocole NIOSH 2016.

En complément, l'ensemble des capteurs a été installé dans une salle de travaux dirigés de l'université Savoie Mont Blanc afin de comparer leurs réponses respectives dans un environnement réel.

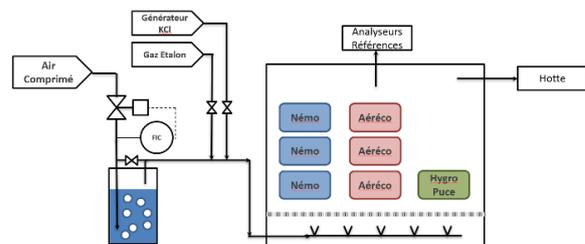


Figure 2 : Schéma de principe de l'enceinte à paramètres contrôlés

#### Résultats principaux : comparaison de la dynamique et des valeurs mesurées

- **Les COV**

Les réponses temporelles des capteurs Aereco sont fortement corrélées et cohérentes avec les mesures de référence. La dispersion des concentrations varie entre 10 % à 20%. Concernant les NEMOs, les évolutions temporelles ne sont décrites de manière satisfaisante que sur une partie des essais (enceinte et campagne in situ). En termes de valeur de concentration, une dispersion significative (de l'ordre de plusieurs dizaines de ppbv aux concentrations étudiées) notamment durant la campagne in situ, a été observée.

- **Les particules**

Des écarts importants entre la valeur de référence et les valeurs mesurées par les NEMOs ont été observés lors des essais en enceintes (environ  $\pm 100\%$  de la valeur de référence). Cet écart est plus faible pour les cartes Aereco. En revanche, la dynamique des deux types de capteurs, notamment en environnement réel dans salle occupée, est correcte.

- **Le formaldéhyde**

Les réponses temporelles des NEMOs sont cohérentes avec les transformations mises en œuvre. Les ordres de grandeur des

concentrations sont corrects, la dispersion est cependant non négligeable. Elle est comprise entre 10 et 30  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  pour des concentrations cibles comprises entre environ 10 et 60  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ .

**Attention :** La nature du capteur influence significativement la réponse pour un « même » paramètre : pour les PM, mesure en nombre pour les capteurs Aereco et non pas mesure en masse (réseau Atmo) ; mesure de COV légers pour les NEMOs, COV totaux pour Aereco ; différences de pas de temps de mesures qui peuvent aboutir à des évolutions temporelles différentes.

En complément, tous les capteurs intégrés ont été étalonnés avant d'être installés ou ré-installés dans les logements volontaires.

## 3.2. Caractérisation des composants de ventilation en laboratoire

### Protocole expérimental

Les entrées d'air et bouches d'extraction d'origine des logements volontaires ont été récupérées et caractérisées en laboratoire après 13 à 15 ans d'utilisation. La caractérisation se focalise sur les performances des composants hygro-réglables et a été réalisée sur deux bancs d'essais hygro-aérodynamiques afin de caractériser le rapport débit/humidité relative. Les essais réalisés consistent à faire varier l'hygrométrie à la montée et à la descente, et à mesurer le débit d'air des entrées d'air et des bouches d'extraction. Les incertitudes des bancs d'essais sont de  $\pm 0,6$  °C,  $\pm 3$  %HR et  $\pm 0,3$  Pa (Anjos - Figure 3) et  $\pm 0,3$  °C,  $\pm 1,5$  %HR et  $\pm 0,2$  Pa (Aereco - Figure 4). Une pression de fonctionnement de 100 Pa a été appliquée aux BE de Paris, de 80 Pa aux BE à

Villeurbanne, et de 10 Pa pour toutes les EA. La température a été maintenue constante tout au long du test (20°C pour Aereco, 21°C pour Anjos).



Figure 3 : Entrée d'air installée sur le banc Anjos



Figure 4 : Bouche d'extraction installée sur le banc Aereco

Tous les composants ont été caractérisés à **3 états de maintenance** différents : **en état** (tel qu'il a été collecté dans les logements), **nettoyé** (pour les EA, caractérisé uniquement pour Paris) et **après maintenance** (remplacement du volet uniquement, l'élément hygroscopique n'a pas été modifié). Les courbes hygro-aérodynamiques des 4 états (à l'installation en 2007 - *disponible uniquement pour Paris*, en état, nettoyé et après maintenance) de chaque composant ont été comparées à l'enveloppe des tolérances.

### Résultats principaux

Après le nettoyage et maintenance, les performances des composants sont en grande partie conformes aux performances initiales et théoriques, les valeurs mesurées se situant pour la plupart à l'intérieur de l'enveloppe de tolérance (Figure 5). Cela prouve que le capteur d'humidité, après 13 à 15 ans de fonctionnement et sans aucun entretien ou étalonnage, présente toujours de bonnes performances.

- BE à Paris : 100% atteignent leur débit maximum et 77% ont tous leurs points dans l'enveloppe de tolérance initiale, les 23% autres n'ayant que quelques points en dehors de l'enveloppe de tolérance.
- EA à Paris : 100% sont revenues dans la plage de tolérance et les performances hygro-aérodynamiques sont très proches de celles obtenues lorsque les produits étaient neufs en 2007.
- Villeurbanne : la fonction hygro-réglable « en état » existe toujours, même si l'amplitude entre les débits minimum et maximum est réduite. Après nettoyage et maintenance, l'amplitude a été à nouveau améliorée et la dispersion des courbes a été réduite.

L'impact du manque d'entretien sur les débits d'air a été caractérisé pour les EA et BE de Paris : une bonne relation a été trouvée entre le niveau d'entretien visuel et la limitation du débit d'air maximal pour les BE SdB et SdE avec une limitation moyenne du débit de  $-10,6$  m<sup>3</sup>/h pour les BE encrassées,  $-6,6$  m<sup>3</sup>/h pour les BE acceptable et  $-2,2$  m<sup>3</sup>/h pour les BE en bon état. Malgré le niveau élevé d'encrassement de certaines BE, les produits réagissent encore à l'humidité. Le nettoyage des BE permet d'éliminer la limitation de débit liée à l'encrassement (passage de la courbe bleue à la courbe verte). **Cela confirme que cette technologie sensible à l'humidité est bien adaptée à une utilisation à long terme (au moins 13 ans).**

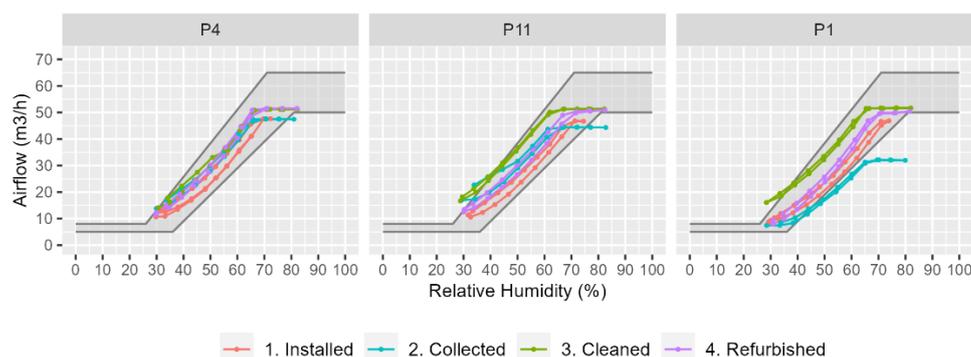


Figure 5 : Courbes hygroscopiques des BE de salle de bain de Paris à différents états d'encrassement (P4 : encrassée, P11 : acceptable, P1 : bon état)

## 4. Caractérisation de la durabilité de la ventilation hygroréglable

### 4.1. Evolution des performances énergétiques

Les débits déperditifs sont évalués à partir des mesures réalisées sur une saison de chauffe pour 13 logements à Paris et 5 logements à Villeurbanne (Figure 6), puis comparés à ceux de Performance 1, ainsi qu'aux équivalents théoriques autoréglable et hygroréglable. A Paris, 10 logements présentent des débits déperditifs inférieurs à ceux d'un système équivalent autoréglable et à ceux mesurés dans Performance 1 et pour 1 logement (P15), il est plus élevé après 15 ans mais reste inférieur au système équivalent autoréglable. En revanche, 2 logements (P5 et P9) présentent des débits déperditifs très supérieurs à ceux de Performance 1, et dépassent ceux d'un système autoréglable équivalent. Une analyse approfondie de ces deux cas est nécessaire pour comprendre l'origine de ces valeurs élevées. A Villeurbanne, les débits déperditifs sont tous inférieurs à ceux de Performance 1 ainsi qu'aux autoréglables équivalents, probablement en raison d'une occupation moins importante des logements pendant Performance2. Cette diminution et homogénéisation de l'occupation, également constatée sur Paris, se traduit notamment par une homogénéisation des débits moyens sur Performance 2 par rapport à Performance 1.

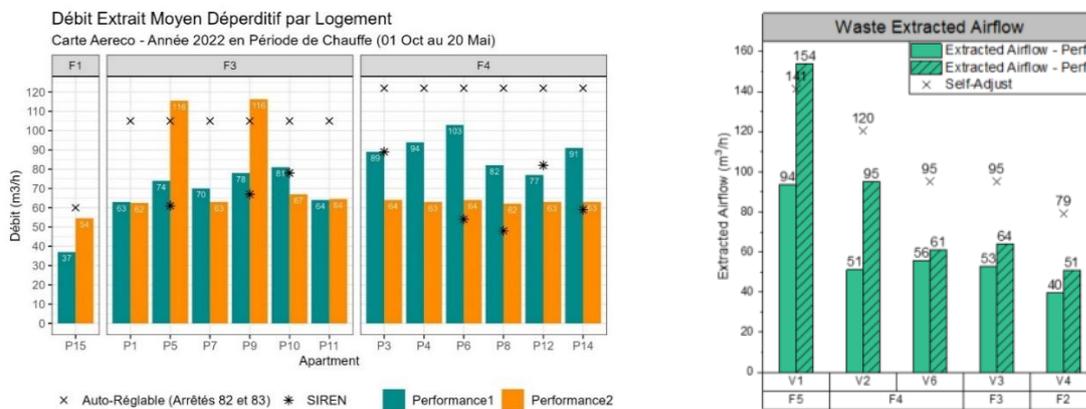


Figure 6 : Comparaison de débits déperditifs évalués dans Performance 2 aux débits initiaux et théoriques (Paris à gauche, Villeurbanne à droite)

L'évolution des consommations des ventilateurs n'a pas pu être réalisée à Villeurbanne (changement de saison avec perte de l'instrumentation). A Paris, la consommation du ventilateur est stable depuis 15 ans.

### 4.2. Fonctionnement hygroréglable des systèmes sur site

Par définition, le débit d'extraction total du logement varie de façon à s'adapter aux besoins liés à la présence des occupants et à leurs activités émettant de l'humidité. La Figure 7 représente ces débits totaux mesurés pendant une année. Après 15 ans, les systèmes de ventilation étudiés sur les deux sites continuent de s'adapter dynamiquement aux besoins changeants des occupants grâce à la régulation hygroscopique intégrée dans les terminaux de ventilation.

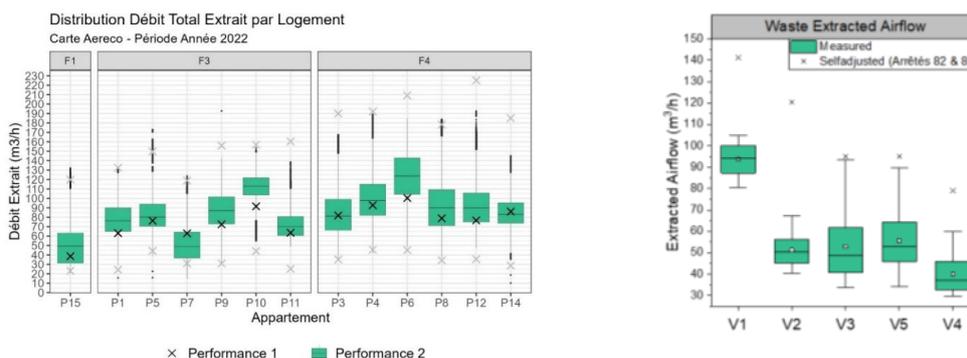


Figure 7 : Distribution des débits extraits totaux des logements (Paris à gauche, Villeurbanne à droite)

Pour analyser en détail le fonctionnement de chaque composant hygro-réglable sur site, une étude similaire à celle réalisée en laboratoire a été conduite à partir des mesures d'ouverture, d'humidité et de pression réalisées en continu. Les points de mesure ont été comparés aux gabarits théoriques de chaque BE et chaque EA (recalés aux températures mesurées), pour chaque mois de l'année d'étude (Figure 8).

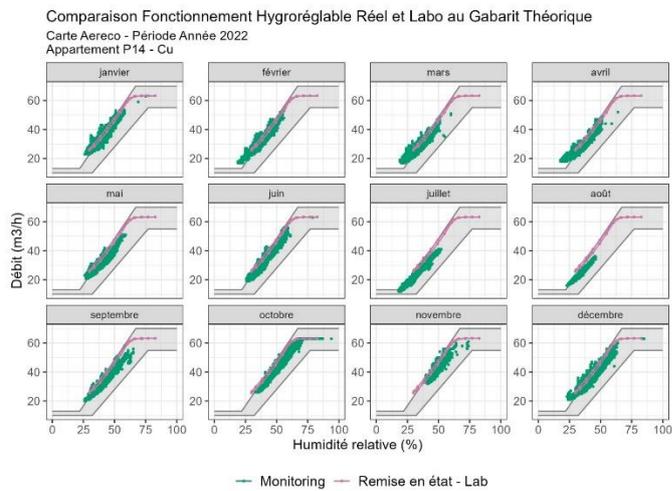


Figure 8 : Exemple de réponse hygroscopique d'une bouche d'extraction cuisine en conditions réelles pendant 1 an – Paris

Chaque point vert représente un couple de mesures d'humidité relative (en abscisse) et de débit (en ordonnée) réalisé dans la pièce du logement, pour chaque minute sur un an. L'enveloppe de tolérances en gris du produit neuf a été superposé aux points et à la courbe d'étalonnage faite en laboratoire (en violet). On observe une bonne distribution des points sur l'ensemble de la courbe d'étalonnage ce qui indique une correcte adaptation des débits aux variations d'humidité dans la pièce. Une très grande partie des points est dans l'enveloppe de tolérances du produit neuf même après 13 ans de fonctionnement. Les résultats sont semblables dans les autres pièces des autres logements.

### 4.3. Risque de condensation et CO<sub>2</sub> en base 2000 dans les logements

- Risque de condensation
- CO<sub>2</sub> en base 2000

Deux types d'indicateurs relatifs à l'humidité à l'échelle du logement ont été définis dans Performance 1 : une évaluation du risque de condensation dans chacune des pièces des logements, et l'impact de l'activation du grand débit cuisine sur l'humidité relative. Dans Performance 2, seul le risque de condensation est étudié (le grand débit cuisine étant utilisé pour un seul logement). Les occurrences de condensation calculée pour une humidité relative supérieure à 85% pendant plus d'une heure sont toutes en dessous des seuils définis par le GT ESSOC, et très souvent nulles. L'étude du nombre d'heures sur la période de chauffe de dépassement du seuil 75% d'humidité relative montre que sur Villeurbanne, les limites définies par le GS 14.5 sont toujours respectées. Sur Paris, seules une chambre et un WC dépassent ces seuils: lors de l'installation des unités de ventilation pour Performance 2, des moisissures ont été observées dans l'ensemble des pièces. Les informations fournies par le locataire indiquent un début d'apparition des moisissures entre février et octobre 2021, en lien avec un dégât des eaux à l'étage supérieur du bâtiment, mais sans aggravation depuis. Les pressions insuffisantes à toutes les bouches entraînant un renouvellement d'air insuffisant, l'humidité contenue dans les murs suite au dégât des eaux n'est donc probablement pas évacuée de façon optimale. Il est possible que des problèmes de ponts thermiques contribuent à prolonger le problème.

Le GS 14.5 indiquait une valeur limite de 400 000 ppm.h cumulés en base 2000 sur l'ensemble de la saison de chauffe. Les capteurs intégrés saturant autour de 2000 ppm, des calculs ont été réalisés pour évaluer cet indicateur en extrapolant les valeurs au-delà de 2000 ppm mesurés pendant les campagnes QAI, lorsque les données sont disponibles (Figure 9 pour Villeurbanne).

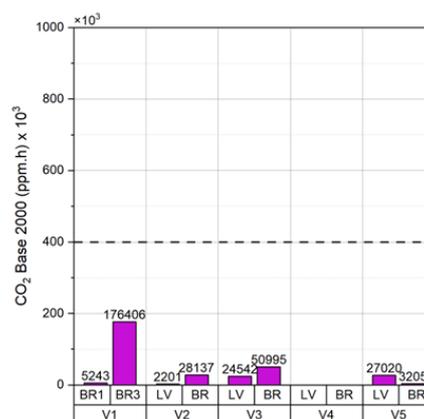


Figure 9 : CO<sub>2</sub> cumulé en base 2000 avec extrapolation des données campagnes QAI – Villeurbanne

Seuls deux logements sur Paris dépassent la limite du GS 14.5 dans les chambres. Pour l'un, l'extrapolation semble être responsable de ce dépassement. Pour le deuxième, les analyses approfondies ont mis en avant une sur-occupation dans la chambre instrumentée.

## 5. Caractérisation de la QAI dans les logements étudiés

Des nouvelles analyses ont été réalisées au regard des connaissances et recommandations actuelles, en intégrant des mesures d'autres polluants : les COV, les particules fines et le formaldéhyde. Il n'existe aucune exigence réglementaire à respecter pour les systèmes de ventilation dans les logements concernant ces polluants. Il s'agit ici uniquement de connaissances nouvelles entre le renouvellement d'air engendrés par ces systèmes et les mesures réalisées sur ces deux bâtiments, pendant la période du projet Performance 2. Ce chapitre présente un extrait des résultats de ces analyses.

- **CO<sub>2</sub> : risque de confinement dans les chambres la nuit**

La période la plus critique sur le plan du CO<sub>2</sub> se situe la nuit en période de chauffe : occupation avec un renouvellement d'air assuré uniquement par la ventilation (exemple Figure 10).

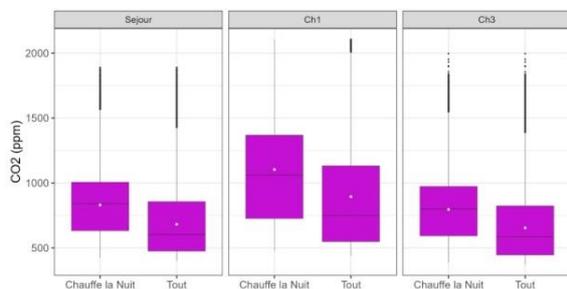


Figure 10 : Concentration en CO<sub>2</sub> en fonction de la période considérée – Exemple à Paris

Seuls 3 logements (Paris) dépassent le seuil de 1900 ppm (GT ESSOC) en-dessous duquel 67% des valeurs doivent se situer, dont un pourrait dépasser la valeur de 2700 ppm à 95% du temps (appartement en sur-occupation, incertitude en raison de la saturation du capteur intégré).

- **Formaldéhyde**

Pour deux logements, des concentrations élevées ont été mesurées pendant la campagne QAI 1 (pas pour la campagne QAI 2). Pour l'un, les occupants ont changé leurs habitudes grâce à une formation sur la QAI. Pour l'autre, une explication peut être la réfection du sol et des peintures murales juste avant la campagne QAI 1 (Figure 11).

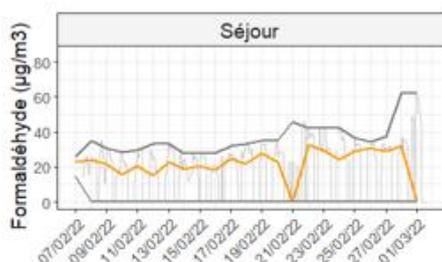


Figure 11 : Evolution temporelle du formaldéhyde dans un séjour à Paris (médiane en jaune, min et max en gris)

- **Particules fines**

Les mesures (Figure 12) permettent de constater :

- Des niveaux aux alentours de la valeur guide de long terme préconisée par l'OMS en moyenne annuelle de 5 µg/m<sup>3</sup> ;
- Des taux de particules intérieurs globalement inférieurs aux taux extérieurs dans les logements SAUF pour les logements fumeurs ;
- Des concentrations de PM dans les logements fumeurs dépassant de manière récurrente la valeur guide court terme, et ce, quelle que soit l'efficacité du système de ventilation ;
- Dans une moindre mesure, l'augmentation significativement des taux de PM en intérieur lors de l'utilisation de bougies parfumées ou d'encens.

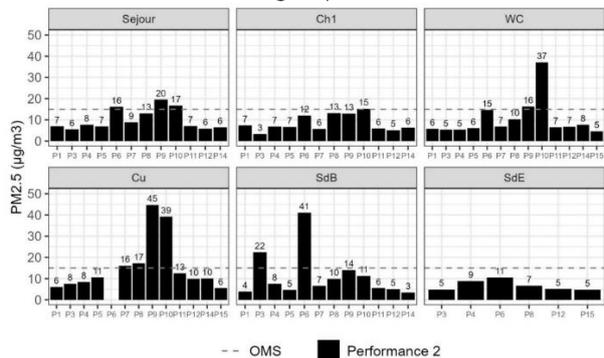


Figure 12 : Moyenne glissante sur 1 heure de la concentration en PM<sub>2,5</sub> – Exemple à Paris 2022

- **COV**

Le temps de dépassement de 300 µg/m<sup>3</sup> par pièce et par appartement a été évalué pour chacune des campagnes QAI. Un premier élément marquant dans l'analyse de résultats est que les pièces qui ressortent avec les plus fortes valeurs ne sont pas nécessairement les mêmes pour les COV légers et le formaldéhyde. Concernant les COV légers, les appartements qui s'illustrent par leurs valeurs élevées lors de la campagne présentent le point commun de l'utilisation de sprays désodorisants et autres produits de senteurs.

Les mesures réalisées par les capteurs intégrés indiquent clairement que les pièces aux valeurs les plus élevées sont les sanitaires, salles de bain et salles d'eau, en raison de l'usage de produits de senteur, notamment sous forme de spray.

## 6. Analyse des comportements des occupants

- Les sujets de l'étude

Il s'agit exclusivement de volontaires, qui ont accepté d'intégrer le projet après que celui-ci leur a été présenté. 11 personnes sur 13 sont des femmes. Les deux hommes qui font exception à la règle et qui ont répondu aux questions n'ont pas de conjointe. Les équipes projet qui ont mené les entretiens sont également des femmes (différentes équipes sur les deux immeubles).

- Contexte

L'immeuble de Paris se situe au voisinage immédiat d'un bâtiment ayant subi des travaux durant une longue période, entraînant des nuisances dont une problématique d'empoussièrément. Les entretiens se sont déroulés en décembre 2021, en plein confinement lié à la Covid 19, et plus spécifiquement durant une période de très forte médiatisation des protocoles d'aération voire de traitement de l'air des écoles. Les entretiens menés sur Villeurbanne ont été réalisés en mars 2022, alors que la tension autour de la pandémie et la surmédiatisation se relâchaient sensiblement.

- Le matériel

Le recueil d'information auprès des occupants poursuivait différents objectifs, qui se sont traduits par autant de matériel de travail. Les habitudes de vie générales des occupants, pour les aspects qui influent sur la QAI, ont été recueillies dans un entretien semi-directif. L'entretien reposait sur une grille dont l'ordre et la formulation des questions a fait l'objet d'un travail en amont avec une psychologue sociale afin de limiter les biais dans les réponses. Le questionnaire est constitué de questions ouvertes, qui visent à identifier les connaissances et représentations des répondants au sujet de la qualité de l'air intérieur, et de questions fermées ou à choix multiples, qui cherchent à compléter les informations sur les déterminants de la QAI en lien avec les activités et habitudes des occupants. Enfin, les actions ponctuelles influençant la QAI sur le court terme durant les campagnes de mesures devaient être consignées par les occupants, au fur et à mesure, dans un carnet de bord.

### 6.1. Description de la qualité de l'air intérieur

Les polluants de l'air mentionnés sont généralement issus de sources extérieures. Ceux de l'air intérieur, en particulier générés par les occupants, ne sont pas mentionnés (tabac, produits d'entretien, bougies, encens, sprays désodorisants, etc.). Le tabac n'est absolument jamais cité par les fumeurs, qui ont le plus axé leurs propos sur des polluants avec parfois des listes assez étayées des molécules ou de sources, quasi-exclusivement d'origine extérieure. Pour tous les occupants qui considèrent avoir une mauvaise QAI, les apports de l'extérieur en sont responsables : poussières, tabagisme sur le trottoir sous les fenêtres, pollution de l'air en ville. Pour les occupants pensant avoir une bonne QAI, les explications sont également très liées à l'air extérieur puisqu'elles résident dans le bon renouvellement d'air (aération en général, et parfois la ventilation). La question des émissions dans son propre logement liées à ses activités ou au bâtiment et à ses équipements restent largement sous-représentée.



### 6.2. Connaissance de la ventilation

Le lien entre système de ventilation et renouvellement d'air ressort comme bien compris. Il est à rappeler que cette proportion importante de personnes connaissant l'utilité d'un système de ventilation est rencontrée dans le cadre d'un projet au sein duquel elles avaient déjà bénéficié de l'intervention de professionnels sur les terminaux présents dans leur logement. Elles ont d'autre part reçu de la documentation technique sur le sujet en début de projet. Pour l'ensemble de ces raisons, au-delà des considérations sur la taille de l'échantillon, ces résultats ne peuvent donc pas être considérés comme représentatifs de la population générale. Au-delà du rôle de la ventilation, les connaissances sur ses composantes et son mode de fonctionnement semblent beaucoup moins partagées.

Il ressort de façon générale que le fait d'aérer ou d'avoir un système de ventilation concourt à la QAI. Ceux qui étaient inquiets sur la QAE ne questionnent pas pour autant le fait de faire entrer des polluants lorsque la ventilation est abordée.

## 7. Enseignements du projet Performance 2

---

La durabilité des performances des bâtiments reste une question cruciale à traiter. Avec la ventilation à débits modulés, ou ventilation intelligente, comme la ventilation hygroréglable, des débits d'air plus faibles sont autorisés à certains moments lorsque les besoins sont faibles (humidité faible, absence d'occupation, faibles émissions, etc.), mais il est nécessaire de s'assurer que les systèmes de ventilation ne restent pas bloqués à ces débits faibles. La durée de vie d'un système de ventilation est de l'ordre de 25 ans, il est donc important que les composants et l'ensemble des capteurs pilotant les débits de ventilation offrent des performances durables sur 25 ans. Aux vues des résultats mis en évidence sur l'impact de la maintenance, et son manque de réalisation et de qualité, il est également important lors de la conception et l'installation, d'envisager que ces systèmes auront un coût non seulement à l'installation, mais aussi de maintenance sur une durée de l'ordre de 25 ans.

- **Préconisations pour les réglementations**

- Autorisation/valorisation des systèmes de ventilation avec débit modulable à conditions qu'ils soient assortis de données sur la durabilité des capteurs/activateurs ou avec une valeur limite de précision des capteurs, assortie d'une dérive maximale dans le temps ;
- Intégration dans les protocoles d'inspection d'une vérification de la réactivité de l'ensemble des composants avec capteurs, de la conformité des capteurs et d'une périodicité sur la durée de vie du bâtiment ;
- Utilisation de capteurs avec une précision suffisante et sans dérive dans le temps dans le développement de produits ;
- Réalisation d'études sur la durabilité des composants dont les capteurs/activateurs ;
- Développement de moyens de détection des fautes pour alerter l'occupant et/ou le gestionnaire du bâtiment et déclencher un nettoyage ou une maintenance ;
- Identification d'une alternative à l'utilisation des piles qui sont rarement changées ;
- Poursuite de la maintenance régulière à minima une fois par an des systèmes de ventilation, en s'assurant en amont de la qualité et du détail des cahiers des charges des appels d'offres et du contenu attendu

pour les rapports de maintenance, et de la qualité et exhaustivité de sa réalisation sur l'ensemble des composants de la ventilation, dont les bouches et entrées d'air, et du contenu des rapports de maintenance ;

- Investissement dans des actions régulières de communication avec les occupants pour le nettoyage qui est à leur charge/responsabilité et qui améliorent leur confort et leur santé, et pour éviter qu'ils détériorent le matériel et avec lui leurs conditions de vie.

- **Préconisations pour la révision des normes européennes**

- Intégration d'une annexe informative permettant d'évaluer les coûts des différents systèmes qui intégreraient une analyse du coût initial et une analyse à 25 ans en prenant en compte, la consommation d'énergie, la QAI, la maintenance et la durabilité et robustesse du système ;
- Intégration des recommandations pour évaluer les performances du système après un certain nombre d'année dans les normes d'inspection ;
- Intégration des procédures d'évaluation adaptés aux systèmes « intelligents » qui modulent les débits en permanence.

Aussi bien notre état de l'art que les résultats de ce projet illustrent un besoin de financement de travaux de recherche d'envergure au niveau français et européen sur :

- La durabilité intrinsèque des systèmes de ventilation de tout type ;
- La performance in situ à long terme de la ventilation, avec le suivi de parcs de bâtiments divers ;
- Le développement de capteurs fiables, robustes et durables ;
- Le développement de connaissances nouvelles sur l'impact de la maintenance et de son calendrier, avec des tests à 1, 3, 6, 12 mois et chiffrage économique des impacts et coûts évités ;
- La résilience de ces systèmes aux climats futurs, avec des travaux de simulation et des expérimentations en laboratoires avec enceintes climatiques ;
- Les impacts multi-critères des stratégies de ventilation, incluant QAI, énergie, sobriété, santé, adaptation aux dérèglements climatiques et environnementaux (pandémies, feux), performances cognitives, impacts économiques. Pour cela des approches multidisciplinaires sont nécessaires et requièrent des financements plus importants ;
- La sensibilisation des différents acteurs autour de l'importance de la ventilation, de son choix à son utilisation jusqu'à l'utilisateur final, en passant par la maintenance ;
- Sur le développement de systèmes de détection de fautes et d'incitation à l'utilisateur, incluant des techniques issues de la psychologie sociale.

## SIGLES ET ACRONYMES

---

---

ADEME	Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie
LOCIE	LabOratoire proCédés énergle bâtimEnt
QAI	Qualité de l'Air Intérieur
CO <sub>2</sub>	Dioxyde de Carbone
HR	Humidité Relative
COV	Composés Organiques Volatils
PM	Particules fines
EA	Entrée d'air
BE	Bouche d'extraction

## L'ADEME EN BREF

À l'ADEME - l'Agence de la transition écologique -, nous sommes résolument engagés dans la lutte contre le réchauffement climatique et la dégradation des ressources.

Sur tous les fronts, nous mobilisons les citoyens, les acteurs économiques et les territoires, leur donnons les moyens de progresser vers une société économe en ressources, plus sobre en carbone, plus juste et harmonieuse.

Dans tous les domaines - énergie, économie circulaire, alimentation, mobilité, qualité de l'air, adaptation au changement climatique, sols... - nous conseillons, facilitons et aidons au financement de nombreux projets, de la recherche jusqu'au partage des solutions.

À tous les niveaux, nous mettons nos capacités d'expertise et de prospective au service des politiques publiques.

L'ADEME est un établissement public sous la tutelle du ministère de la Transition écologique et du ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation.

### LES COLLECTIONS DE L'ADEME



#### FAITS ET CHIFFRES

L'ADEME référent : Elle fournit des analyses objectives à partir d'indicateurs chiffrés régulièrement mis à jour.



#### CLÉS POUR AGIR

L'ADEME facilitateur : Elle élabore des guides pratiques pour aider les acteurs à mettre en œuvre leurs projets de façon méthodique et/ou en conformité avec la réglementation.



#### ILS L'ONT FAIT

L'ADEME catalyseur : Les acteurs témoignent de leurs expériences et partagent leur savoir-faire.



#### EXPERTISES

L'ADEME expert : Elle rend compte des résultats de recherches, études et réalisations collectives menées sous son regard.



#### HORIZONS

L'ADEME tournée vers l'avenir : Elle propose une vision prospective et réaliste des enjeux de la transition énergétique et écologique, pour un futur désirable à construire ensemble.

## PERFORMANCE 2 : DURABILITE DES SYSTEMES DE VENTILATION HYGROREGLABLE

Le projet Performance 2 a été réalisé par le Cerema, Aereco, Anjos et le LOCIE, et financé par l'ADEME. Il s'articule autour de :

- Campagnes de mesure en laboratoire, pour caractériser les performances des terminaux de ventilation et les performances des appareils de mesure ;
- Campagnes de mesures in-situ dans deux immeubles, avec un monitoring en continu du fonctionnement des terminaux de ventilation ainsi que des mesures de température, humidité relative, CO<sub>2</sub>, COV et PM, complétées par deux campagnes hivernales qui mesurent aussi le formaldéhyde et collectent des informations auprès des occupants.

Après 15 ans d'utilisation dans des logements sociaux, les systèmes de ventilation hygro-réglables étudiés continuent de répondre correctement aux conditions d'humidité relative et fournissent des débits qui varient en fonction de l'occupation et assure des bonnes conditions d'humidité et de CO<sub>2</sub>. Les analyses dédiées à la QAI, avec notamment l'étude des concentrations montrent que les situations avec des niveaux élevés pour les COV, PM et formaldéhyde correspondent à des logements fumeurs ou à l'usage important de produits émissifs (notamment désodorisant, encens et parfums d'ambiance).

*Ces résultats ont permis d'élaborer des recommandations à destination des décideurs pour faire évoluer le corpus réglementaire et normatif, mais aussi des industriels pour faire évoluer leurs produits, des maîtres d'ouvrage pour les sensibiliser au choix des systèmes et à l'importance de la maintenance, et pour les financeurs de travaux de recherche afin de prioriser les futures études.*

