

 Performance 2

Rapport intermédiaire Tâche 2

Phase Laboratoire Aereco
Caractérisation/métriologie

Le 16/07/2024

Auteur(s) : Aereco

Ce document est extrait des travaux réalisés dans le cadre du projet Performance 2
Les organismes présentés ci-dessous contribuent à ce projet :

Partenaires financiers du projet



Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie

Contacts : Etienne Marx, suivi technique du projet

Frédérique BIENVENU chargée des suivis administratifs et financiers

Ministère de la Transition Ecologique

Contact : Léa GAROT, Cheffe de projet Acoustique et Qualité de l'Air Intérieur, DHUP/QC1

Partenaires techniques du projet



Cerema

Contact : Adeline Melois, adeline.melois@cerema.fr



Société ANJOS Ventilation

Contact : Nicolas Dufour, ndufour@anjos-ventilation.com



Société AERECO

Contact : Marc Legrée, marc.legree@aereco.com



Université Savoie Mont Blanc - Laboratoire Optimisation de la Conception et Ingénierie de l'Environnement (USMB - LOCIE)

Contact : Evelyne Gonze, Evelyne.gonze@univ-smb.fr



Rapport établi par :

Date	Version	Commentaires
01/07/2022	v1	Rédaction par Marc LEGREE et Juan RIOS (Aereco)
05/07/2022	v2	Relecture par Adeline MELOIS (Cerema)
16/07/2022	vf	Finalisation

Notice analytique :

Références	Informations
Commanditaire :	ADEME 500 Route des Lucioles 06560 Valbonne
Objet de l'étude :	Retour d'expérience sur des systèmes de ventilation intelligents hygroréglables installés dans des bâtiments occupés depuis dix ans
Résumé de la commande :	Prestations réalisées dans le cadre de l'appel à projet "Vers des bâtiments responsables à l'horizon 2020" - Edition 2020. Réponse technique et financière présentée à l'ADEME
Référence du dossier :	Convention de financement ADEME / Partenaires du projet n°2004C0014 notifiée le 08/07/2020
Communicabilité :	<input type="checkbox"/> Libre (avec acceptation du commanditaire dans le contrat) <input checked="" type="checkbox"/> Contrôlée (communiquée avec l'autorisation du commanditaire) <input type="checkbox"/> Confidentielle
Pilote du projet :	Cerema : Adeline Mélois Adeline.melois@cerema.fr
Constitution de l'équipe :	Cerema, Anjos, Aereco, USMB-LOCIE
Mots clés :	Ventilation, Performance, Evaluation, Logement

Liste des destinataires :

Contact	Adresse	Nbre et Type
Etienne Marx Frédérique Bienvenu	ADEME, 500 Route des Lucioles, 06560 Valbonne	1 (PDF)

Résumé :

L'objectif du projet Performance 2 est d'étudier le comportement et les performances des produits de ventilation simple flux basés sur la technologie hygroréglable, après 13 ans de vie dans des conditions réelles d'utilisation. Ce rapport s'attache à décrire les différentes étapes de la phase laboratoire ainsi qu'à donner les informations qui en résultent.

La première partie de ce document porte sur la caractérisation et la comparaison des bouches d'extraction et des entrées d'air dans leur 4 états (en 2007, en 2020 : « en l'état », « après nettoyage » et « après maintenance ») afin de répondre aux questions suivantes :

- Dans quel état (visuel) sont les bouches et les entrées d'air après 13 ans de fonctionnement in-situ ?
- Quelles sont les performances des unités de ventilation après 13 ans de fonctionnement dans des conditions réelles d'utilisation ?
- Les courbes hygro-aérauliques sont-elles toujours dans les enveloppes de tolérances originelles 13 ans après ?
- Quel est l'impact d'un nettoyage du produit sur sa performance aéraulique ?

La seconde partie de la phase laboratoire comporte un double objectif.

Le premier est de caractériser les capteurs de qualité d'air intérieur (température/humidité et CO₂) ayant fonctionné pendant 13 ans sur site (Performance 1), afin de répondre aux questions suivantes :

- Les mesures des capteurs de température, humidité et CO₂ sont-elles toujours dans les tolérances annoncées par le fabricant ?
- La technologie Single Channel utilisée pour la mesure de CO₂ est-elle toujours adaptée à des occupations de type logement ?

Le second objectif est d'assurer la qualité des mesures faites sur Performance 2 en étalonnant/vérifiant chacun des capteurs de qualité d'air intérieur. Cette partie du rapport s'attache donc à présenter le protocole, le matériel et les résultats de ces mesures. Les courbes d'étalonnage qui en résultent seront ensuite appliquées aux mesures acquises lors des 2 prochaines années.

Abréviations utilisées dans ce rapport :

- UV : Unité de ventilation (entrée d'air ou bouche d'extraction)
- EA : Entrée d'air
- T/HR ou THR : Température/Humidité
- SdB ou SDB : Salle de bain
- SdE/SDE et SdD/SDB: Par abus de l'usage, nous appelons ici salle d'eau (SDE ou SdE), les salles de bain équipées d'une douche à la place de la baignoire. En effet certains graphiques utilisent l'une ou l'autre des appellations, alors que l'Arrêté de mars 1982 donne la définition suivante : « une salle d'eau est une pièce autre que la cuisine ou le WC, équipée d'une arrivée d'eau, mais sans baignoire ni douche (cellier, buanderie, etc.). Une salle de bain est une salle d'eau comportant une baignoire ou une douche. Une salle de bain peut éventuellement également comporter un WC non séparé. »
Nous souhaitons conserver la distinction entre les salles de bain équipées de baignoire et les salles de bain équipées de douche en utilisant respectivement les termes « salle de bain » (SdB ou SDB) et « salle de douche » (SdD ou SDD).

Collégien, le 16 juillet 2024

SOMMAIRE

TABLE DES ILLUSTRATIONS	2
Liste des figures	2
Liste des tableaux	4
1 INTRODUCTION	5
2 CARACTERISATION DES UNITES DE VENTILATION	8
2.1 Les bouches d'extraction	8
2.2 Les entrées d'air	27
3 RE-INSTRUMENTATION DES UNITES DE VENTILATION	34
3.1 Introduction	34
3.1 Capteurs à effet-Hall	34
3.1 Mesure de débit	35
4 METROLOGIE DES CAPTEURS DE QUALITE D'AIR INTERIEUR	36
4.1 Caractérisation des capteurs après 13 ans de fonctionnement	36
4.2 Etalonnage/vérification des capteurs QAI pour Performance 2	45
ANNEXES	50
Annexe A : Courbes débit/humidité des SdB et SdD	50
Annexe B : Courbes débit/humidité des bouches Cuisine	52
Annexe C : Courbes débit/humidité des entrées d'air	53
Annexe D : Certificat d'étalonnage des bouteilles de CO ₂	55
Annexe E : Certificat d'étalonnage de l'hygromètre à miroir	61

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Liste des figures

Figure 1 : Exemple de bouche SDB testée, Appartement P11. Recto (a), verso (b) et grille (c)	8
Figure 2 : Bouche SDB de l'Appartement P1 montée sur le banc de mesure.....	9
Figure 3 : Exemple d'enregistrement d'une bouche de salle de bain.....	10
Figure 4 : Courbe de fonctionnement issue de l'essai illustré en Figure 1	11
Figure 5 : Bilan statistique de l'état des bouches SDB/SDE	13
Figure 6 : Exemples de courbes hygroscopiques de bouches SdB, appartements P7 (gauche) et P1 (droite)	14
Figure 7 : Limitation des débits max (SdB et SdE).....	17
Figure 8 : Temps d'évacuation d'un pic d'humidité en fonction de l'état de la bouche (simulation)	18
Figure 9 : Courbes Débit/Humidité en fonction de l'état de la bouche.....	19
Figure 10 : Bouche cuisine montée sur le banc de mesure	21
Figure 11: Exemple d'enregistrement pour la bouche cuisine de l'Appartement P10.....	22
Figure 12 : Bilan statistique de l'état des bouches Cuisines	24
Figure 13 : Exemples de courbes hygroscopiques de bouches cuisines, appartements P1 et P3	25
Figure 14 : Courbes Débit/Humidité en fonction de l'état des bouches (Cuisines).....	26
Figure 15 : Exemple d'une entrée d'air instrumentée (assemblée à gauche et démontée à droite).....	28
Figure 16 : exemple d'entrée d'air montée sur le banc de mesure.....	28
Figure 17 : Exemple d'enregistrement pour l'entrée d'air d'une chambre	29
Figure 18 : Courbe débit / humidité d'un séjour.....	30
Figure 19 : Exemples de courbes Débit/Humidité pour une chambre (à gauche) et un séjour (à droite).....	32
Figure 20 : Entrée d'air instrumentée	35
Figure 21 : Salle régulée en température et humidité.....	37
Figure 22 : Exemples de consignes pour la régulation de la salle en température et humidité	37
Figure 23 : Support de carte Performance 1.....	38
Figure 24 : Hygromètre à miroir et répartition des cartes.....	38
Figure 25 : Réponses d'un lot de 25 capteurs et de la référence à des paliers de température/humidité.....	39
Figure 26 : Ecart entre chacun des capteurs et la référence (en haut en température et en bas en humidité).....	40
Figure 27 : Comparaison statistique de la réponse des capteurs avant et après auto-calibrage en laboratoire	44
Figure 28 : Exemple de réponses d'un lot de capteurs soumis à 3 concentrations de CO ₂	46
Figure 29 : Ecart entre chaque capteur CO ₂ et la valeur vraie	47

Liste des tableaux

Tableau 1 : Références des UV en fonction de la taille de l'appartement	5
Tableau 2 : caractéristiques des bouches utilisées sur Performance 1 et 2	6
Tableau 3 : Synthèse du type de mesures réalisées pour chaque appartement.....	7
Tableau 4 : Synthèse du type de mesures en fonction des pièces des logements pour Performance 1.....	7
Tableau 5 : Statistique sur l'état de bouches SDB/SDE.....	12
Tableau 6 : Corrélation entre l'état des bouches et la limitation des débits.....	17
Tableau 7 : Exemple de bouche Cuisine (recto, verso et grille)	21
Tableau 8 : Statistiques sur l'état de bouches Cuisine.....	24
Tableau 9 : Statistique sur l'état des entrées d'air	31
Tableau 10 : Spécifications constructeur pour les essais considérés	43
Tableau 11 : Proportion des capteurs en accord avec les spécifications annoncées par le fabricant.....	43

1 INTRODUCTION

Performance 2 s'inscrit dans la continuité du projet Performance 1 avec pour objectif cette fois-ci d'étudier le comportement et les performances de systèmes de ventilation après 13 ans de fonctionnement sur 2 bâtiments (Paris et Lyon). Aereco est en charge du site à Paris et le monitoring concerne 13 appartements du 4ème au 8ème (dernier) étage.

La ventilation simple flux hygroréglable est composée d'une part de bouches/entrées d'air Aereco qui sont localisées dans chacun des appartements et d'autre part d'un ventilateur situé en terrasse. L'association de cartes électroniques, intégrant des capteurs de qualité d'air intérieur, aux bouches/entrées d'air instrumentées permet de suivre à tout instant la qualité d'air intérieur et l'état de la ventilation.

Afin de réétalonner les unités de ventilation et les capteurs liés au monitoring, les équipements ont été démontés pendant l'été 2020 en vue d'une réinstallation pour le début de l'hiver 2021. C'est cette phase de laboratoire qui est décrite dans le présent document.

Le tableau ci-dessous référence les modèles des unités de ventilation installées en 2007, en fonction des tailles d'appartement.

	Apt.	Code produit	Désignation	Note
Cuisine :	F1	BXL906	BHM 0550 I1* AvT2	
	F3/F4	BXL907	BHM 1055 I3- AvT2	
	F5	BXL908	BHM 1055 I4- AvT2	
SdB/SdE :	tous	BXS909	BXS 0550 R1	Bahia bain - BHB
				BXS bain: BXS909AL 05-50m ³ réglage 1
WC :	tous	BXS912AL		BXS WC: BXS912AL 6-30m ³
EA :	tous	EHA549 AvT2	EHA 432 R AvT2	

Tableau 1 : Références des UV en fonction de la taille de l'appartement

Le Tableau 2 est extrait de l'AT2 1401-627 V0 Hygro Bahia 2002 et présente les caractéristiques des bouches utilisées dans les logements.

BAHIA bain ou BHB Q : débit en m ³ /h sous 100 Pa Hr : Humidité relative en %	Q mini :	5	0	+ 3	
	Q maxi :	50	0	+ 15	
	Hr mini :	31%	-5%	+ 5%	
	Hr maxi :	76%	-5%	+ 5%	
BAHIA WC ou BWC Q : débit en m ³ /h sous 100 Pa	Q mini :	6	0	+ 3	
	Q maxi :	30	0	+ 10	tempo 20'
BAHIA C1-2 ou BHC 1-2 Q : débit en m ³ /h sous 100 Pa Hr : Humidité relative en %	Q mini :	5	0	+ 3	
	Q maxi :	50	0	+ 15	
	Hr mini :	45%	-5%	+ 5%	
	Hr maxi :	90%	-5%	+ 5%	
	Q cuisine :	90	0	+ 30	tempo 25'
BAHIA C3-4 ou BHC 3-4 Q : débit en m ³ /h sous 100 Pa Hr : Humidité relative en %	Q mini :	10	0	+ 3	
	Q maxi :	55	0	+ 15	
	Hr mini :	27%	-5%	+ 5%	
	Hr maxi :	72%	-5%	+ 5%	
	Q cuisine :	120	0	+ 30	tempo 25'
BAHIA C5+ ou BHC 5+ Q : débit en m ³ /h sous 100 Pa Hr : Humidité relative en %	Q mini :	10	0	+ 3	
	Q maxi :	55	0	+ 15	
	Hr mini :	20%	-5%	+ 5%	
	Hr maxi :	65%	-5%	+ 5%	
	Q cuisine :	135	0	+ 20	tempo 25'

Tableau 2 : caractéristiques des bouches utilisées sur Performance 1 et 2

Les 2 tableaux ci-dessous présentent la liste des appartements concernés ainsi que le type de mesures en fonction des pièces, pour Performance 1 et Performance 2 respectivement.

Le monitoring de Performance 1 a concerné 15 appartements alors que celui de Performance 2 s'est déroulé dans seulement 13 des 15 appartements de Performance 2.

2 CARACTERISATION DES UNITES DE VENTILATION

2.1 Les bouches d'extraction

2.1.1 Salle de bain et salle de douche

2.1.1.1 Matériel

Les 22 produits sont testés dans leur état de récupération. Un exemple est donné ci-dessous dans la Figure 1. Il est à noter que les produits sont équipés des capteurs utilisés sur site pour le monitoring. Leurs données sont exploitées lors d'autres essais dans le cadre de leur étalonnage. La caractérisation des bouches est réalisée quant à elle uniquement à partir des instruments de mesures du laboratoire.

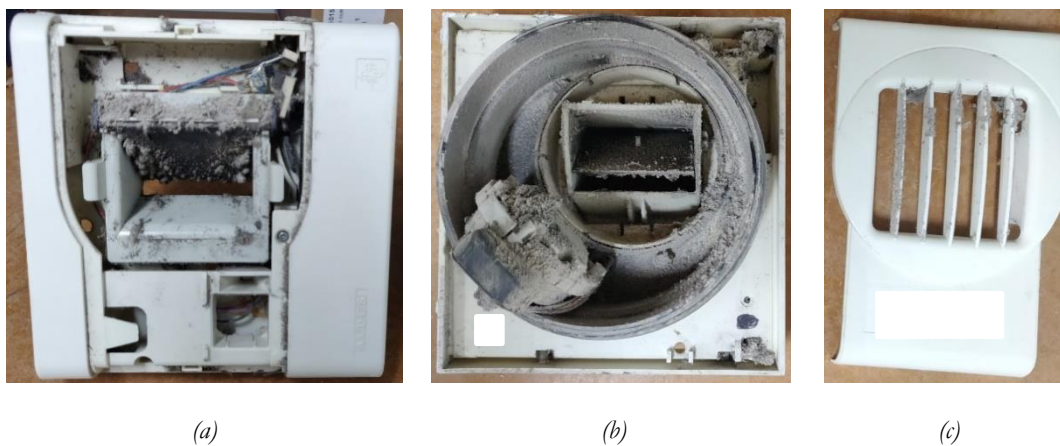


Figure 1 : Exemple de bouche SDB testée, Appartement P11. Recto (a), verso (b) et grille (c)

Les tests ont lieu dans des salles climatisées où l'humidité relative et la température sont contrôlées. Un exemple de montage est illustré en Figure 2. On y voit la bouche montée sur le caisson contrôlé en pression, ainsi que la sonde d'humidité/température à laquelle est attachée la carte capteur et le conduit de sortie d'air dans lequel est mesuré le débit.

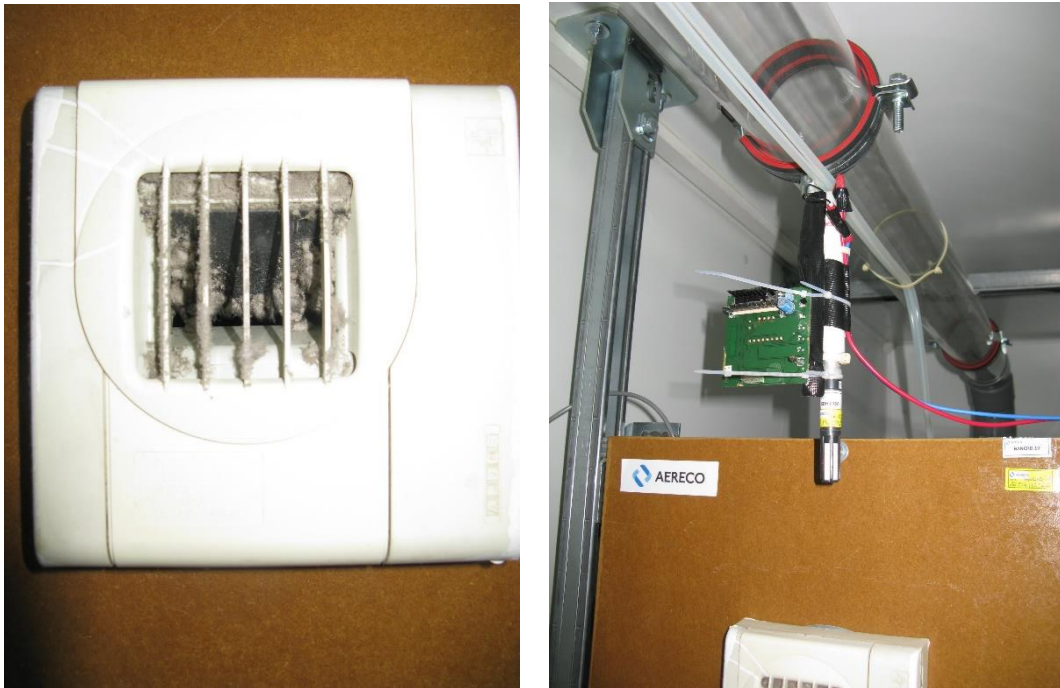


Figure 2 : Bouche SDB de l'Appartement P1 montée sur le banc de mesure

2.1.1.2 Protocole

Les tests sont réalisés dans des salles contrôlées en température et en humidité suivant la norme NF EN 13141-10 : la différence de pression de fonctionnement (100 Pa) est appliquée aux bornes du produit et le débit le traversant est mesuré tandis que des paliers d'humidité relative sont générés dans la salle autour de la plage de fonctionnement du produit. La température est maintenue constante à 21 °C. Le graphique de la Figure 3 est un exemple qui illustre ce type d'essai.

Bouche SdB, appartement 12

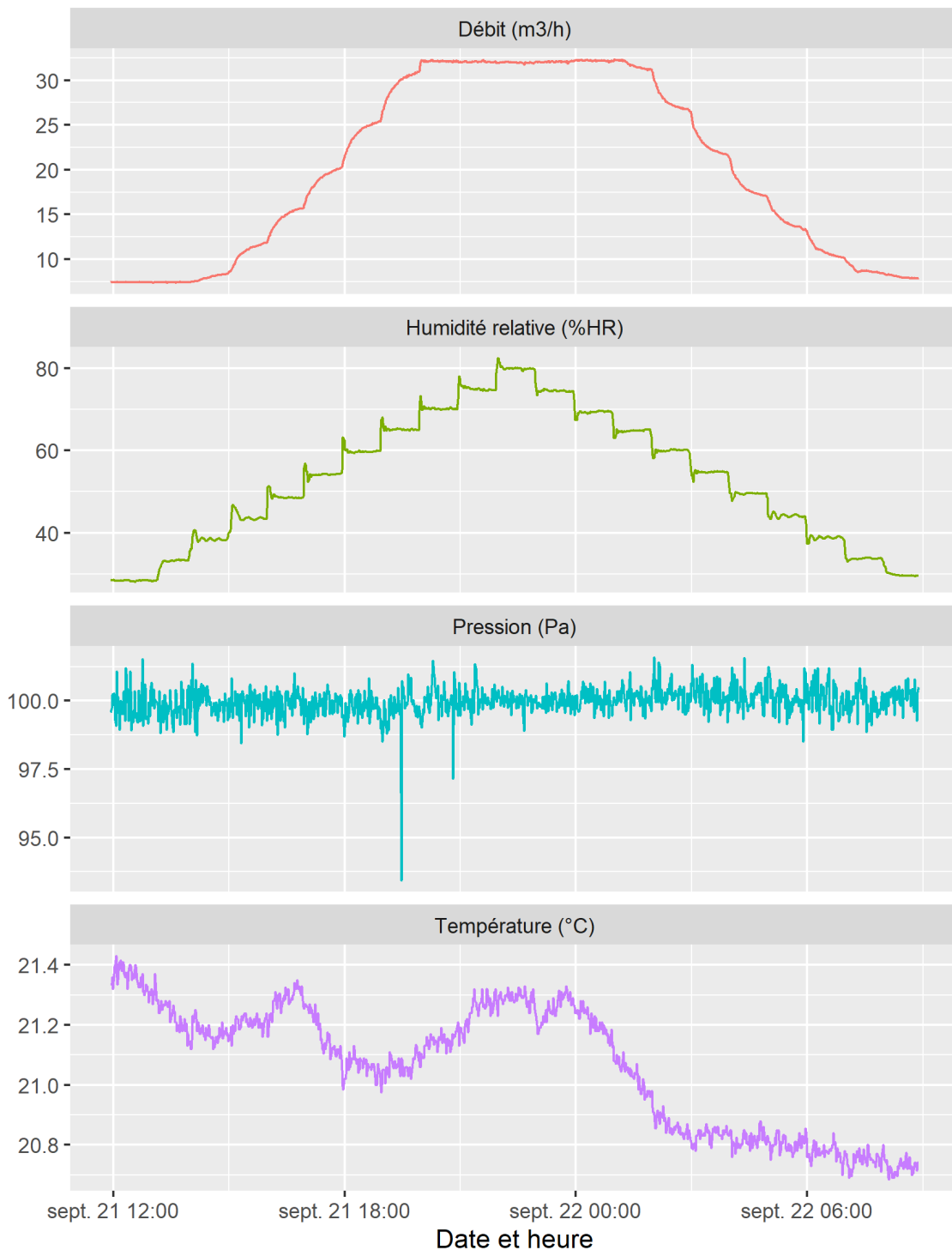


Figure 3 : Exemple d'enregistrement d'une bouche de salle de bain

La courbe de fonctionnement hygroscopique du produit est alors tracée en utilisant les points stables d'humidité et de débits. On obtient par exemple la courbe pour 2020 (en bleu) et la courbe mesurée en 2007 (en rouge) sur la Figure 4 ci-dessous. L'enveloppe indique les tolérances initiales.

Courbes Hygro 2007 et 2020 - P1
SdB - Id: 129

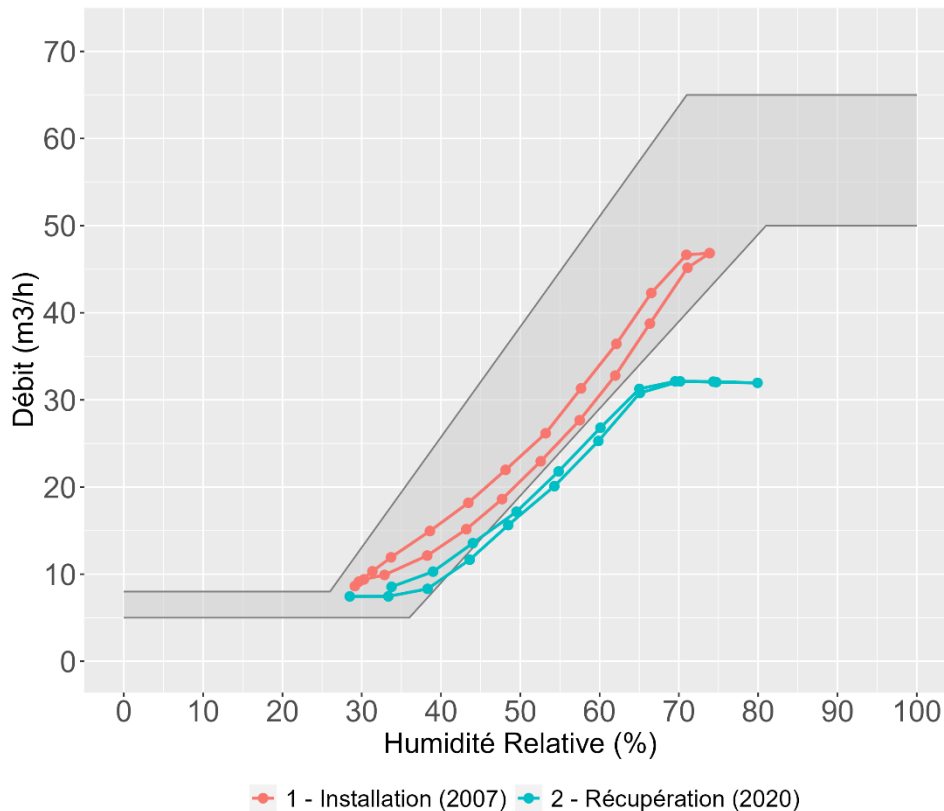


Figure 4 : Courbe de fonctionnement issue de l'essai illustré en Figure 1

2.1.1.3 Résultats pour les bouches 2007 et 2020 (sales)

Etat visuel des bouches

Cette partie de l'étude porte sur le diagnostic de l'état des bouches qui ont été récupérées chez l'occupant. Toutes les bouches sont photographiées (dos, face et grille) et l'ensemble de ces photographies est donné en Annexe A. On peut qualifier l'encrassement des bouches SdB/SdD d'amas de poussières moins denses et plus fibreuses que celles des bouches cuisines, s'installant davantage dans l'espace qu'en surface, pouvant aller jusqu'au recouvrement des interstices des grilles en avant des bouches.

Nous choisissons un classement en quatre catégories pour diviser les niveaux d'entretien. Elles ont les dénominations suivantes : bon (Maintenance suffisante), moyen (Maintenance insuffisante), mauvais (Pas de maintenance) et dégradée. Le Tableau 5 ci-dessous renseigne sur :

- La note attribuée en fonction de l'état de la bouche par des exemples photos
- La répartition selon les catégories




Etat	Exemple	Nombre de bouches et Appartements concernés
Dégradée	/	Total : 0 Appartements : /
Bon		Total : 5 Appartements : SdB : P2, P4 et P5 SdE : P2 et P4
Moyen		Total : 10 Appartements : SdB : P3, P6, P7, P8, P10 et P11 SdE : P6, P8, P12 et P15
Mauvais		Total : 7 Appartements : SdB : P1, P9, P12, P13 et P14 SdE : P3 et P13

Tableau 5 : Statistique sur l'état de bouches SDB/SDE

La répartition selon les 4 catégories est résumée dans le graphique en Figure 5.

ETAT D'ENTRETIEN DES BOUCHES SDB ET SDE LORS DU PRÉLÈVEMENT

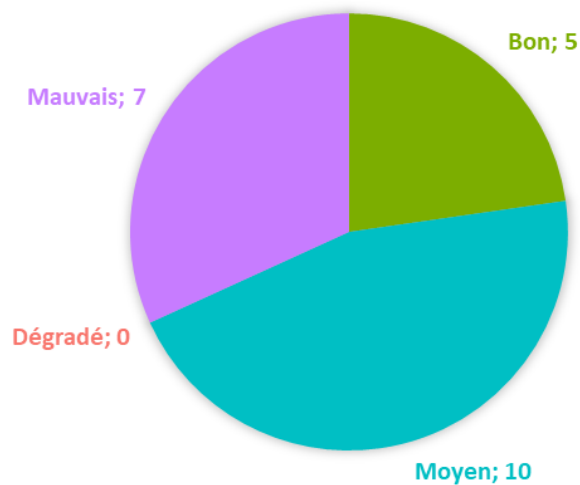


Figure 5 : Bilan statistique de l'état des bouches SDB/SDE

Remarque : On note la présence de nids de cafards dans les bouches SdB et SdE de l'Appartement P13. Cela ne semble pas impacter les caractéristiques aérauliques et hygroscoPIques de ces bouches (voir paragraphe suivant).

Performance aéraulique

Les résultats se présentent sous la forme de courbes hygroscoPIques et sont toutes présentées dans l'Annexe A.

Deux exemples illustratifs sont donnés en Figure 6 :

- La première est la courbe de la bouche SdB de l'Appartement P7. La courbe hygroscoPIque tracée en 2020 (après 13 ans de fonctionnement) se superpose bien à la courbe tracée en 2007 (rouge), elle entre toujours (sauf un point, de très peu) dans les tolérances de fabrication initiales de la bouche. C'est le cas de la majorité des bouches SdB/SdE
- La seconde est la courbe de la bouche SdB de l'Appartement P1. On constate que la courbe hygroscoPIque tracée en 2020 est décalée par rapport à celle de 2007, et ce au point de sortir des tolérances de fabrication initiales de la bouche. Nous quantifions ces deux phénomènes (décalage par rapport à 2007, et par rapport aux tolérances) aux paragraphes suivants. On constate également une limitation du débit maximal de la bouche aux alentours de 32 m³/h. Nous attribuons cette limitation à l'encrassement de la bouche et quantifions ce phénomène dans la partie suivante.
- Il est à noter que si l'encrassement peut limiter le passage d'air en obstruant l'ouverture, il peut également limiter la course du volet hygro. De ce fait, il peut ainsi limiter le débit minimum mais que nous n'observons pas ici. Ce phénomène

est plus difficilement observable du fait que les salles climatisées descendent difficilement en-deçà de 30 %HR. On s’attend à ce que le nettoyage des bouches élimine au moins partiellement les effets liés à l’encrassement.

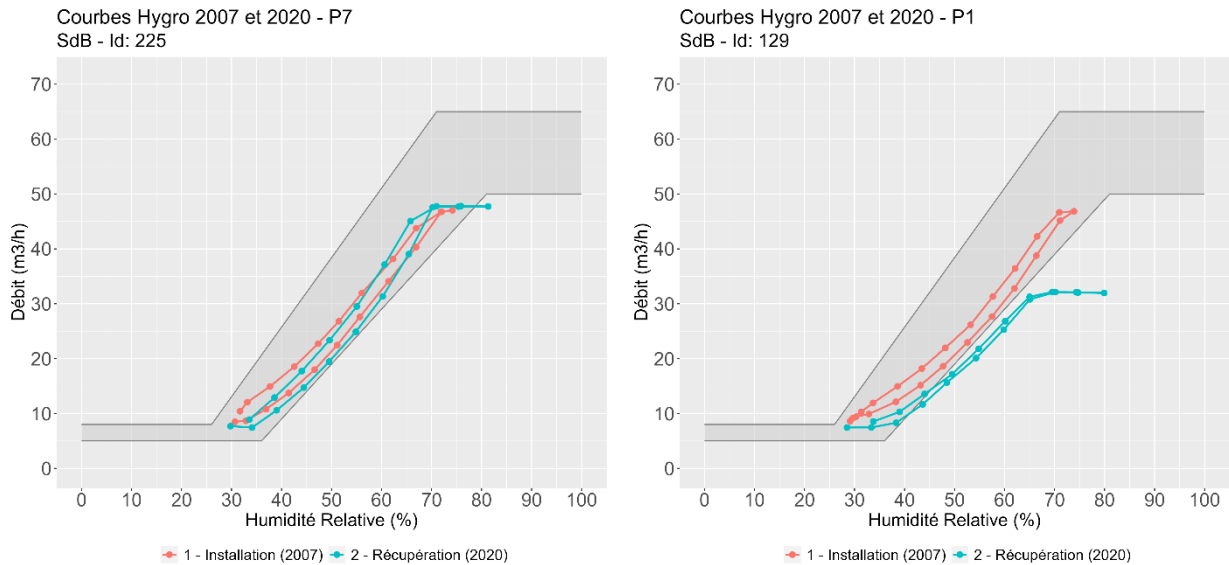


Figure 6 : Exemples de courbes hygroscopiques de bouches SdB, appartements P7 (gauche) et P1 (droite)

Décalages par rapport aux courbes mesurées en 2007

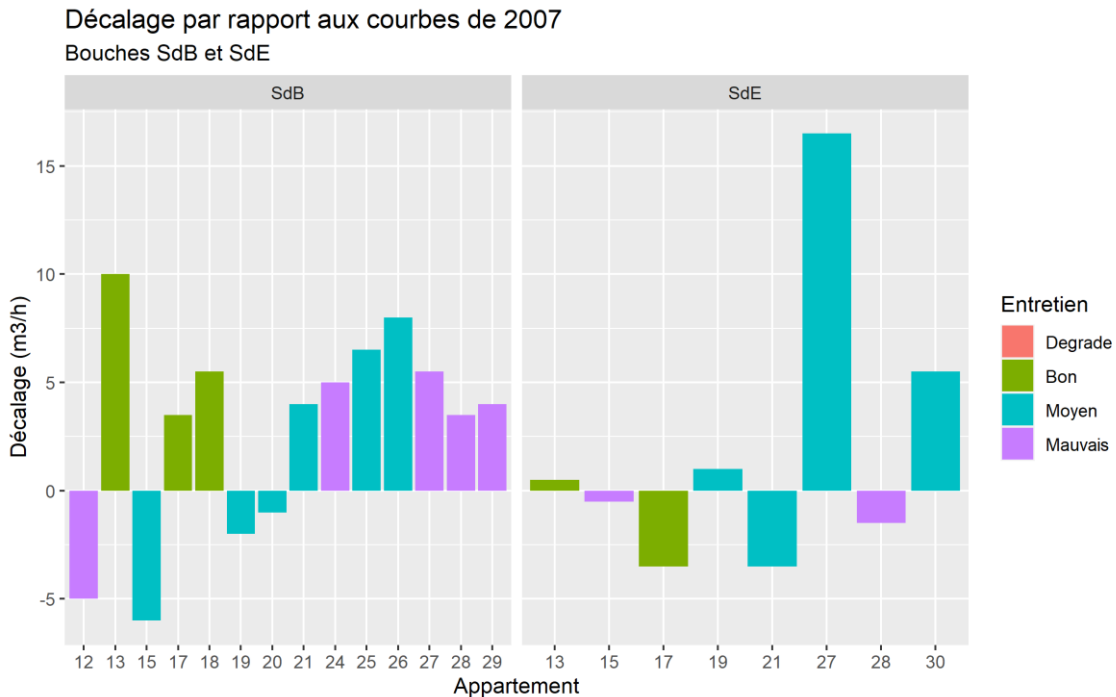
Pour chaque courbe, on cherche à évaluer le décalage par rapport à la courbe tracée en laboratoire en 2007. Pour cela, on détermine les débits à 40% et 60% d’humidité pour les courbes de 2007 et 2020. Ces valeurs d’hygrométries ont été choisies car elles permettent le calcul sur l’ensemble des courbes sans être limité par l’atteinte des débits min ou max. Le décalage ΔQ_{2007} est estimé par différence moyenne entre ces débits :

$$\Delta Q_{2007} = \frac{1}{2} \left((Q_{40\%}^{2020} - Q_{40\%}^{2007}) + (Q_{60\%}^{2020} - Q_{60\%}^{2007}) \right) \text{ équation 1}$$

Les exemples de la Figure 6 ci-dessus donnent -1,0 m³/h et -5,0 m³/h pour les appartements P7 et P1 respectivement.

L’ensemble des données chiffrées est présenté en Annexe C, on en donne ici une représentation graphique.

On ne constate pas de lien évident entre l’état de maintenance et l’estimation du décalage.



Décalage par rapport aux enveloppes de tolérances

Un autre angle sous lequel il est intéressant d'analyser ce phénomène est l'estimation du décalage moyen par rapport aux enveloppes de tolérances. Pour cela, on procède de la même manière que précédemment, par différence moyenne entre la courbe et l'enveloppe :

- Si la courbe est au-dessus de l'enveloppe, on compare la courbe au maximum de tolérance,
- Si elle est en-dessous, on la compare au minimum,
- Sinon, on indique 0

Equation 2 :

$$\Delta Q_{tol} = \begin{cases} \frac{1}{2} \left((Q_{40\%}^{2020} - Q_{40\%}^{tol_{max}}) + (Q_{60\%}^{2020} - Q_{60\%}^{tol_{max}}) \right) & \text{si au dessus de l'enveloppe} \\ \frac{1}{2} \left((Q_{40\%}^{2020} - Q_{40\%}^{tol_{min}}) + (Q_{60\%}^{2020} - Q_{60\%}^{tol_{min}}) \right) & \text{si en dessous de l'enveloppe} \end{cases}$$

Les exemples de la Figure 6 ci-dessus donnent respectivement 0 m³/h et -0.5 m³/h par ce calcul.

Seules deux bouches sont en décalage par rapport à leurs enveloppes sur les 22 produits testés :

- La bouche SdB de l'appartement P1, qui est selon ce calcul au-dessus de l'enveloppe de -0.5 m³/h,
- La bouche SdE de l'appartement P12, qui est en-dessous de son enveloppe de +2.0 m³/h.

Notons cependant que ce calcul donne un aperçu du décalage moyen de la courbe mais n'indique pas si les courbes sont entièrement dans leurs enveloppes.

Limitations des débits maximums

Pour chaque courbe, on cherche également à évaluer la limitation du débit maximum L_{Qmax} . Elle est calculée comme la différence entre les débits maximums de 2020 et 2007, en tenant compte du décalage de la courbe. L'équation est donc la suivante :

$$L_{Qmax} = Q_{max}^{2020} - (Q_{max}^{2007} + \Delta Q_{2007}) \quad \text{Équation 3}$$

Les exemples de la Figure 6 donnent +2 m³/h et -10 m³/h pour les appartements P7 et P1 respectivement. L'ensemble des données chiffrées est présenté en Annexe C.

La Figure 7 et Tableau 6 proposent une synthèse de ces résultats en fonction du classement de l'entretien ainsi que les moyennes et écart-types de chaque classe.

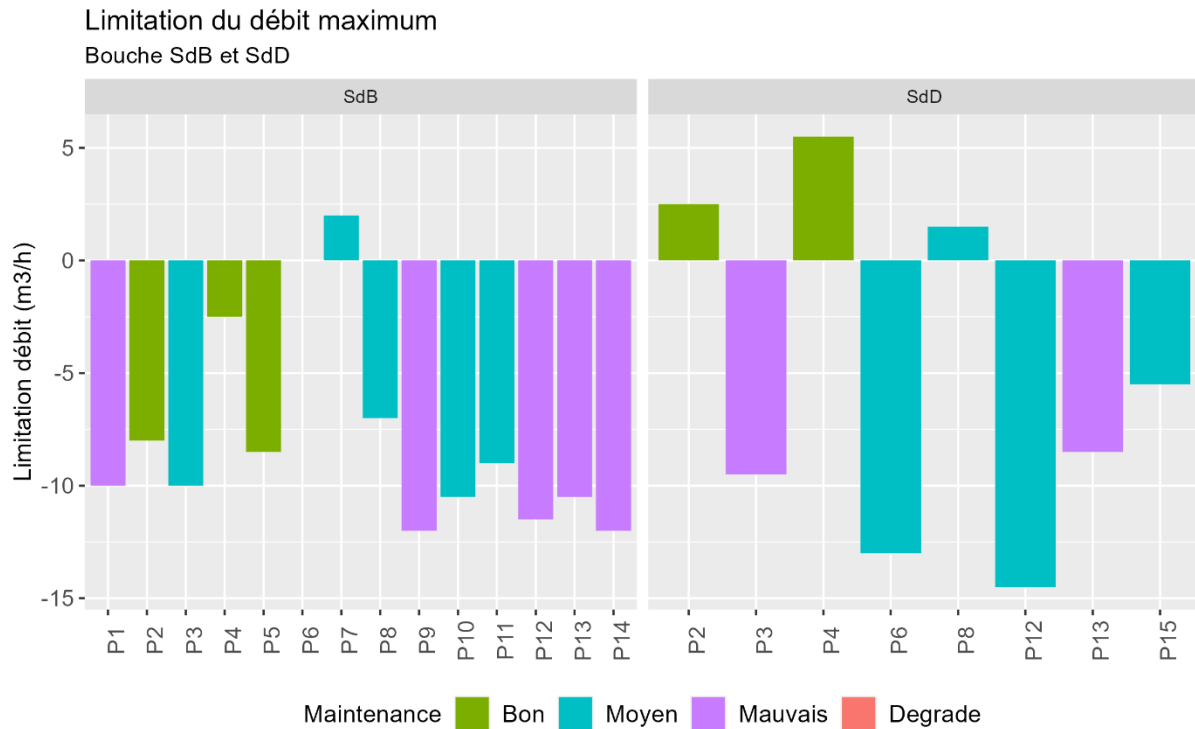


Figure 7 : Limitation des débits max (SdB et SdE)

Le Tableau 6 donne les moyennes pour chaque classe ci-dessous. On note que les bouches dont les états d'entretien ont été classés comme « mauvais » présentent toujours une limitation importante du débit maximal. Pour les états de maintenance notés « moyen », la limitation est plus variable. Elle est inférieure pour les bouches dont l'entretien est noté « bon ». Ces résultats seront à mettre en regard de ceux obtenus après le nettoyage des produits.

Classification de l'entretien	Moyenne de la limitation des débits	Ecart-type de la limitation des débits
Bon	-2.2 m ³ /h	6.2 m ³ /h
Moyen	-6.6m ³ /h	6.0 m ³ /h
Mauvais	-10.6 m ³ /h	1.3 m ³ /h

Tableau 6 : Corrélation entre l'état des bouches et la limitation des débits

La diminution du débit max est compensée par une ouverture plus longue de la bouche (voir Figure 8 ci-dessous) : une approche par simulation montre que l'humidité générée par une douche d'une durée de 10 min est évacuée au bout de 63 min (retour à 55 %HR) avec une bouche standard et 83 min avec les caractéristiques de la bouche la plus encrassée de Performance.

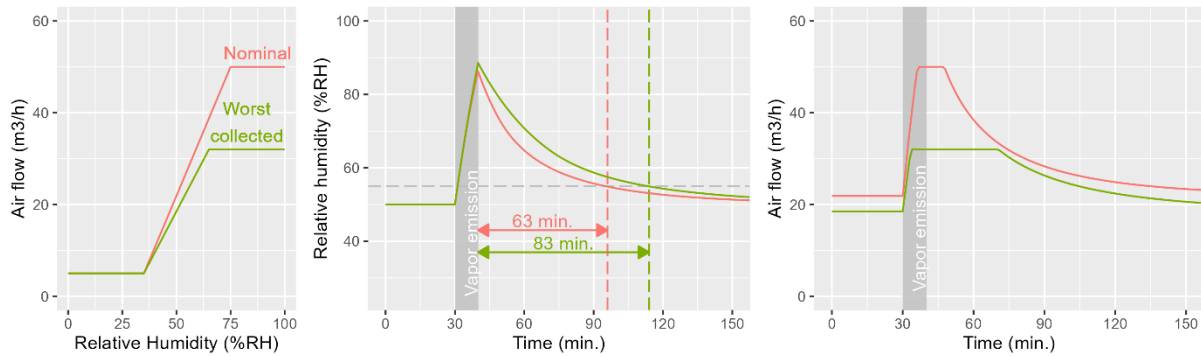


Figure 8 : Temps d'évacuation d'un pic d'humidité en fonction de l'état de la bouche (simulation)

2.1.1.4 Résultats Bouches 2007 et 2020 (sales, nettoyées, remises en état)

De la même façon que dans le paragraphe précédent, les bouches ont été caractérisées sur le banc aéraulique mais cette fois-ci :

- après nettoyage : le produit a été nettoyé sans toucher au crayon hygroréglable
- après remise en état : changement des volets

La Figure 9 montre des courbes représentatives des 3 états suivants :

- Maintenance suffisante : premier graphique
- Maintenance insuffisante : deuxième graphique
- Aucune maintenance : troisième graphique

Où :

- La courbe en rouge représente la caractérisation Débit/Humidité avant installation en 2007
- La courbe en bleu représente la caractérisation Débit/Humidité en l'état en 2020
- La courbe en vert représente la caractérisation Débit/Humidité après nettoyage
- La courbe en violet représente la caractérisation Débit/Humidité après remise en état.

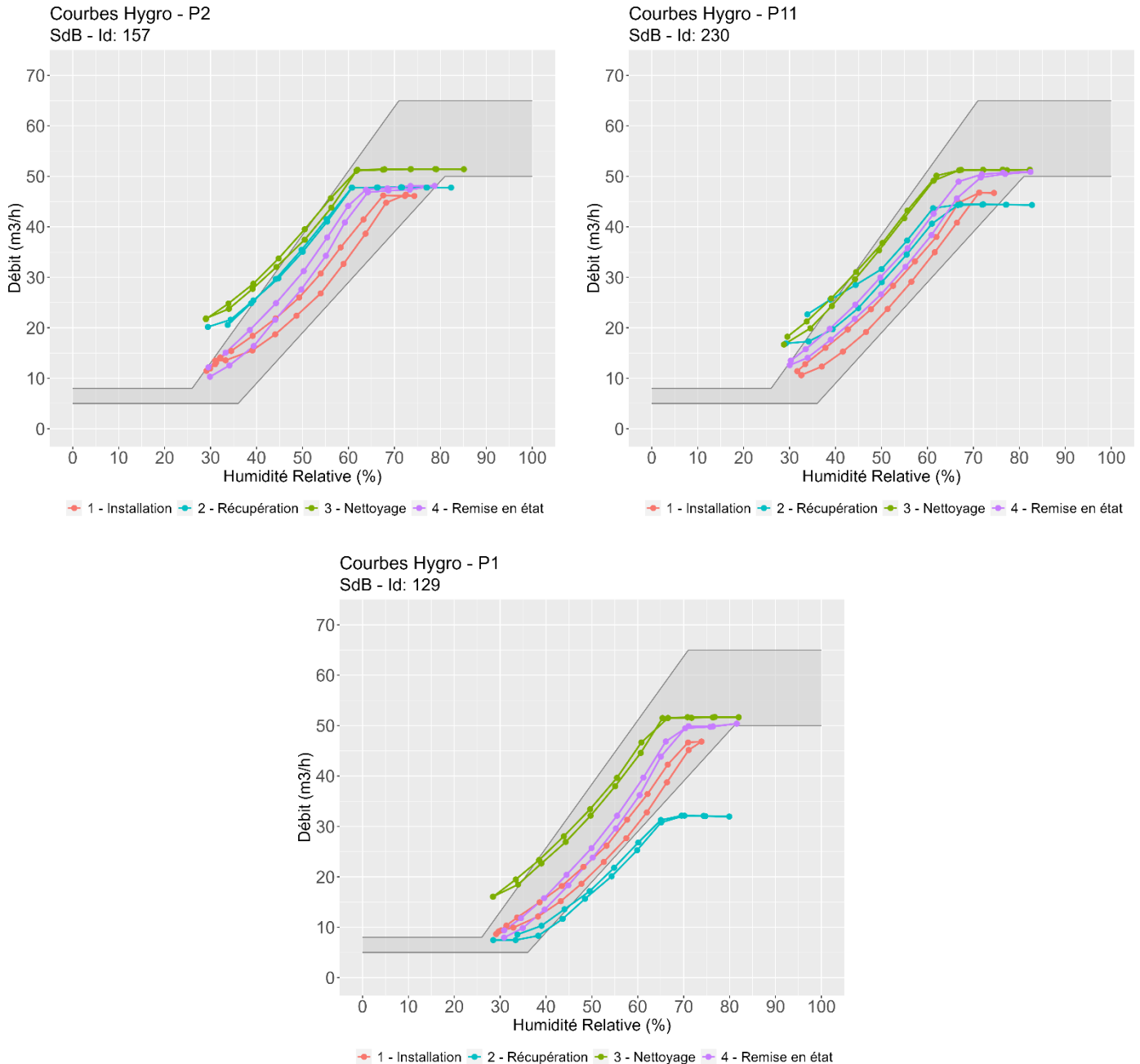


Figure 9 : Courbes Débit/Humidité en fonction de l'état de la bouche

L'ensemble des courbes Débit/Humidité est disponible dans l'Annexe A.

Après le nettoyage des bouches et indépendamment de leur état de propreté en l'état, les bouches présentent des courbes (vertes) dont tous les points ou la majorité des points sont dans l'enveloppe de tolérance (sauf P3, P6 et P12). De plus, l'intégralité des bouches atteignent leur débit maximum.

Les courbes violettes de la Figure 9 sont représentatives des autres bouches et montrent qu'après le changement des volets et indépendamment du niveau de maintenance de la bouche (suffisante (premier graphique), insuffisante (deuxième graphique) et absente (troisième graphique)), les caractéristiques du produit :

- se situent à nouveau dans l'enveloppe de tolérances
- sont très proches de celles de 2007

La dérive du système hygroréglable (capteur/actuateur) est donc suffisamment faible pour que les caractéristiques de la bouche restent dans les tolérances initiales, ce qui confirme la correcte utilisation de cette technologie pour un usage sur le long terme d'au moins 13 ans, en salle de bain.

2.1.2 Cuisines

2.1.2.1 Matériel

Il est à noter que les produits sont équipés des capteurs utilisés sur site pour le monitoring. Leurs données sont exploitées lors d'autres essais dans le cadre de leur étalonnage. La caractérisation des bouches est réalisée uniquement à partir des instruments de mesures du banc d'essai. Les tests ont lieu dans des salles climatisées où l'humidité relative et la température sont contrôlées. Un exemple de montage est donné en Figure 10. On y voit la bouche montée sur le caisson contrôlé en pression, ainsi que la sonde d'humidité-température à laquelle est attachée la carte capteur et le conduit de sortie d'air dans lequel est mesuré le débit.



Figure 10 : Bouche cuisine montée sur le banc de mesure

Les quinze produits sont testés dans leur état de récupération. Un exemple est donné dans le Tableau 7 ci-dessous.

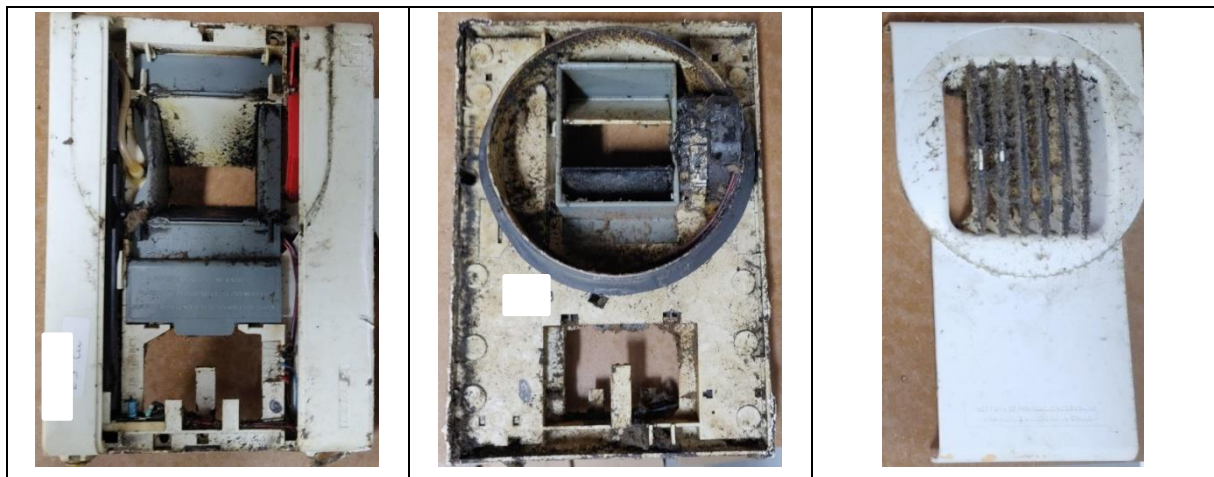


Tableau 7 : Exemple de bouche Cuisine (recto, verso et grille)

2.1.2.2 Protocole

Les tests sont réalisés dans des salles contrôlées en température et en humidité suivant la norme NF EN 13141-10 : la différence de pression de fonctionnement (100 Pa) est

appliquée aux bornes du produit et le débit le traversant est mesuré tandis que des paliers d'humidité relative sont générés dans la salle autour de la plage de fonctionnement du produit. La température est maintenue constante à 21 °C.

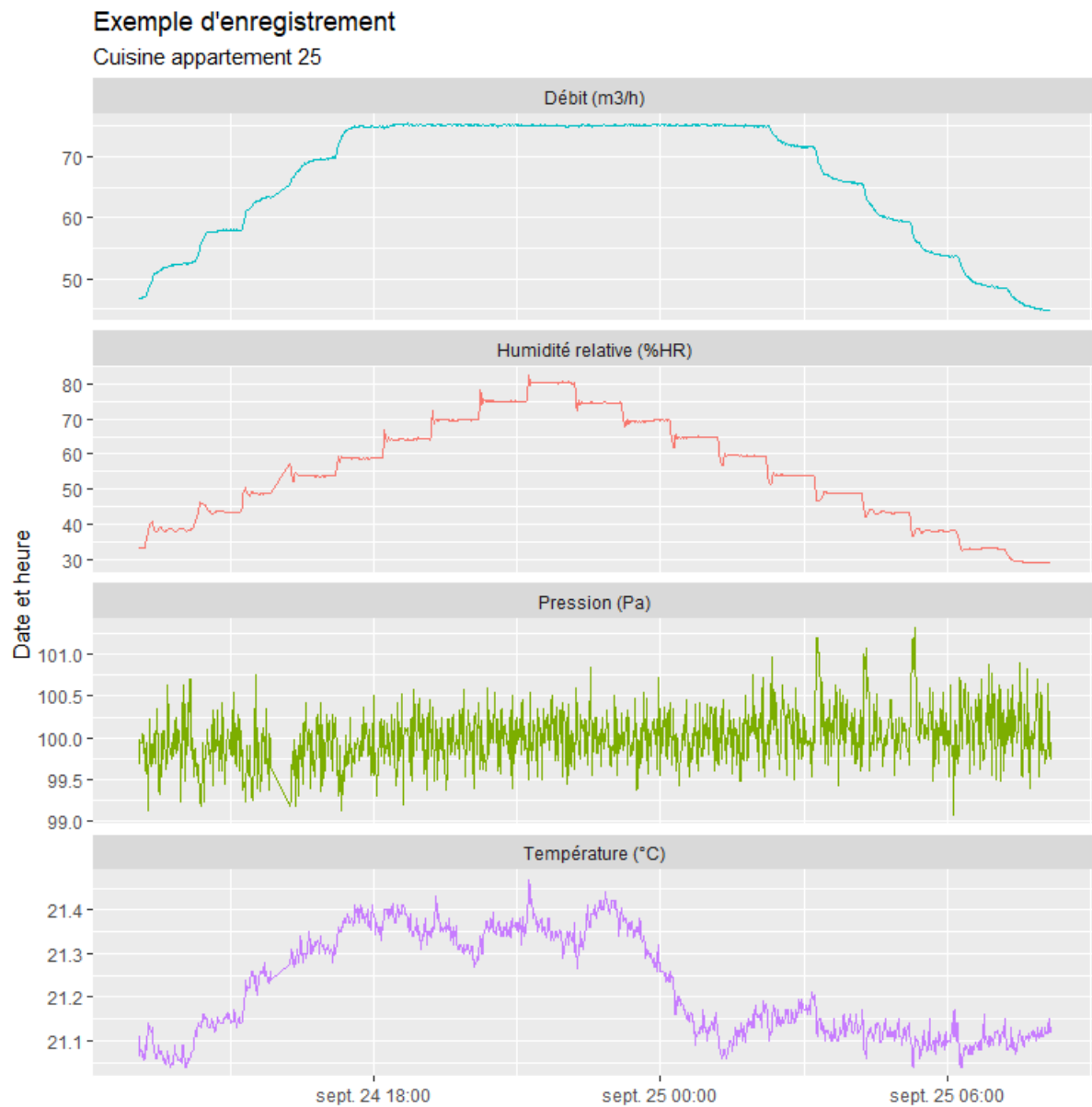


Figure 11: Exemple d'enregistrement pour la bouche cuisine de l'Appartement P10



La courbe de fonctionnement hygroscopique du produit est alors tracée en utilisant les points stables d'humidité et de débits

2.1.2.3 Résultats Bouches 2007 et 2020 (sales)

Etat visuel des bouches

Sur les produits concernés, il est possible de séparer la grille de la bouche à proprement parler. L'encrassement peut-être qualifier d'agglomérat assez dense de poussières plutôt fines, de couleur gris à noir, en dépôts de surfaces, avec une consistance parfois grasse selon les cas. Nous classifions donc les niveaux d'entretien des produits sans distinguer la grille et la bouche.

Le niveau d'entretien et de maintenance des bouches prélevées est très variable, et l'une des bouches a été dégradée par un mauvais usage des occupants. Elles ont les dénominations suivantes : bon (Maintenance suffisante), moyen (Maintenance insuffisante), mauvais (Pas de maintenance) et dégradée. Des exemples photos sont donnés dans le Tableau 8, ainsi que la répartition des catégories.

Etat	Exemple	Nombre de bouches et Appartements concernés
Dégradée		Total : 2 Appartements : P6, P15
Bon	/	Total : 0 Appartements : /
Moyen		Total : 9 Appartements : P1, P2, P4, P5, P8, P9, P12, P13 et P14

Mauvais		Total : 4 Appartements : P3, P7, P10 et P11
----------------	---	---

Tableau 8 : Statistiques sur l'état de bouches Cuisine

Remarques sur des cas particuliers :

- La bouche de l'appartement P6 a été mal remontée, probablement à la suite d'une maintenance de l'occupant. Le volet de débit additionnel a été substitué au volet hygro, qui lui a disparu.
- Le volet de la bouche de l'Appartement P15 était cassé. Il a été remplacé afin de pouvoir réaliser les tests sur le crayon hygro qui lui semblait fonctionnel. L'état de la bouche est qualifié de dégradé.
- La bouche de l'Appartement P13 a brûlé lors d'un incendie de cuisine en 2018. Elle a été remplacée lors d'une intervention en octobre 2019. La carte capteur n'a pas été affectée par l'incendie. Son niveau de maintenance après un an est classifié de moyen.

La répartition selon les 4 catégories est résumée en Figure 12 ci-dessous.

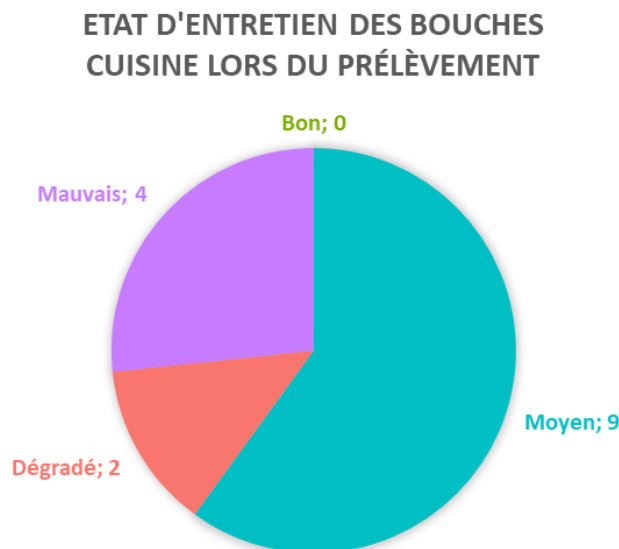


Figure 12 : Bilan statistique de l'état des bouches Cuisines

Performance Aéraulique

Comparaison des courbes 2007 et 2020 (sale)

Les résultats se présentent sous la forme de courbes hygroscopiques. Elles sont toutes présentées dans l'Annexe B.

Deux exemples illustratifs sont donnés en Figure 13.

- Le premier est issu de l'Appartement P1. On observe une augmentation constante du débit de l'ordre de 20 m³/h par rapport à la courbe de 2007. Cet effet est observé sur toutes les bouches cuisine prélevées et disparaît après l'opération de maintenance (sans jamais toucher au tissu hygroréglable).
- Le second est issu de l'Appartement P3. On observe à nouveau l'augmentation de débit (cette fois-ci de l'ordre de 15 m³/h), mais également une limitation du débit hygro maximal. Cet effet est plus connu et déjà documenté dans un article de conférence AIVC¹. Il est généralement lié au manque d'entretien des bouches : l'accumulation de poussière limite la course du volet hygro et empêche l'ouverture complète de celui-ci.

Il est à noter que l'encrassement peut également engendrer une limitation du débit minimum. Les salles climatisées ne pouvant pas descendre en deçà de 30% d'humidité, on ne peut cependant pas observer cet effet sur ces courbes.

On s'attend à ce que le nettoyage des bouches élimine au moins partiellement les effets liés à l'encrassement.

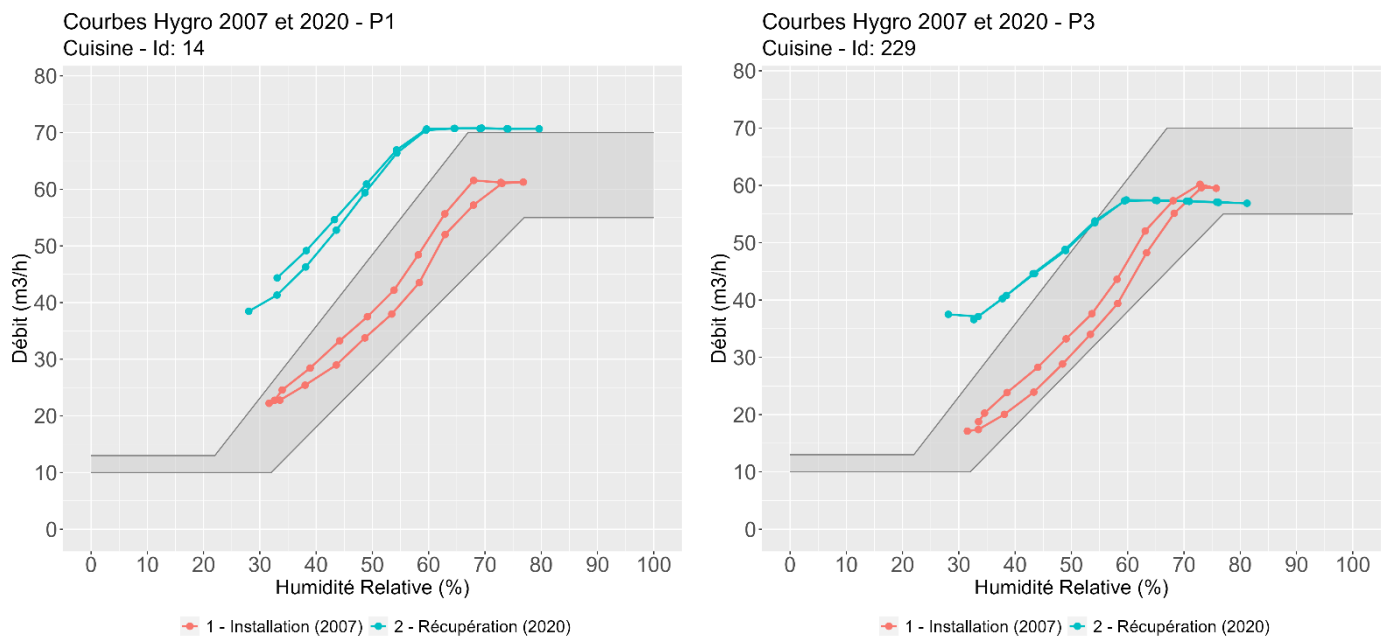


Figure 13 : Exemples de courbes hygroscopiques de bouches cuisines, appartements P1 et P3

¹ AIVC 2018 sur la maintenance et le vieillissement des systèmes de ventilation hygroréglables de Berthin et al. : <https://www.aivc.org/resource/feedback-installation-maintenance-and-aging-mechanical-humidity-controlled-ventilation>

2.1.2.4 Résultats Bouches 2007 et 2020 (sales, nettoyées et remises en état)

De la même façon que dans le paragraphe précédent, les bouches ont été caractérisées sur le banc aéralique mais cette fois-ci :

- après nettoyage : le produit a été nettoyé sans toucher au crayon hygroréglable
- après remise en état : changement de la case en entier sans toucher au crayon hygroréglable

L'ensemble des courbes Débit/Humidité (2007, sales, nettoyées, remises en état) est disponible en Annexe B.

Les 2 graphiques de la Figure 14, montrent des courbes représentatives des 2 cas suivants :

- Maintenance insuffisante : à gauche
- Aucune maintenance : à droite

Où :

- La courbe en rouge représente la caractérisation Débit/Humidité avant installation en 2007
- La courbe en bleu représente la caractérisation Débit/Humidité en l'état en 2020
- La courbe en vert représente la caractérisation Débit/Humidité après nettoyage
- La courbe en violet représente la caractérisation Débit/Humidité après remise en état

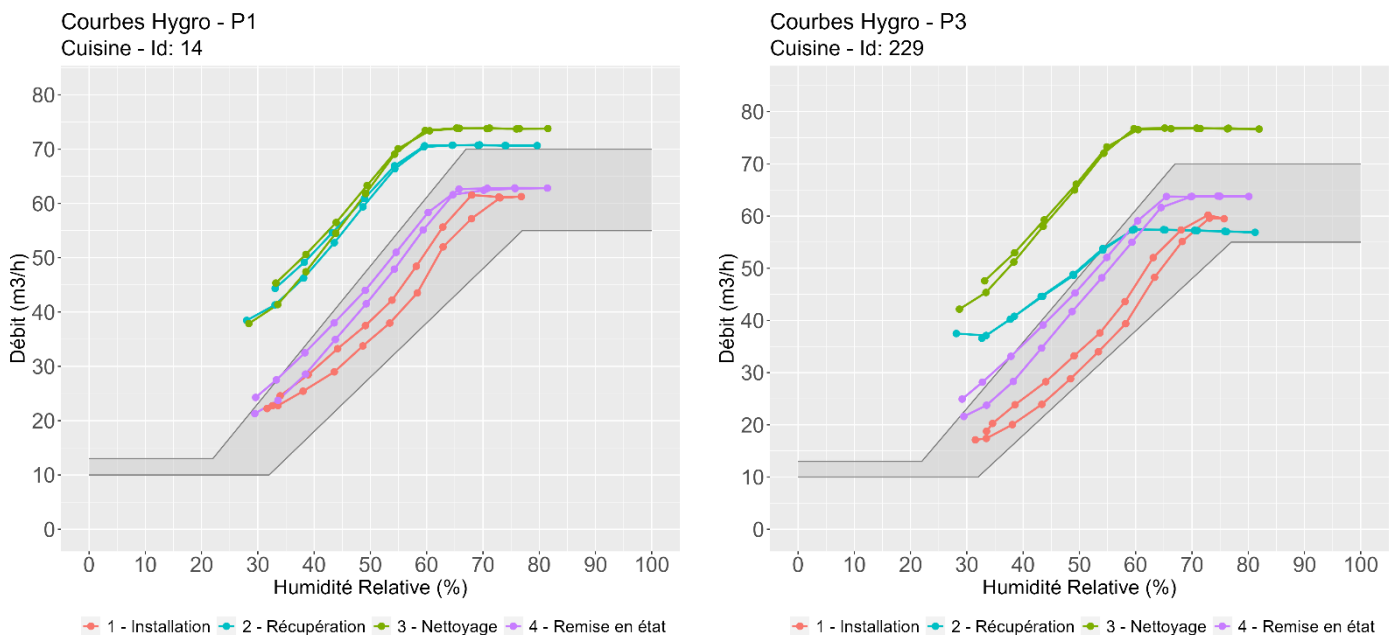


Figure 14 : Courbes Débit/Humidité en fonction de l'état des bouches (Cuisines)

Après la phase de nettoyage, les courbes de débits sont décalées vers le haut (sur-débit) , parfois de façon non négligeable, mettant ainsi en évidence une limitation du débit liée à l'encrassement.

Les courbes violettes de la Figure 14 montrent qu'après la phase de maintenance (case, incluant les 2 volets, changée mais crayon hygro non touché depuis 13 ans) et indépendamment du niveau de maintenance de la bouche (insuffisante (à gauche) et absente (à droite)) les caractéristiques du produit :

- se situent à nouveau dans l'enveloppe de tolérances
- sont très proches de celles de 2007.

La dérive du système hygroréglable (capteur/actuateur) est donc suffisamment faible pour que les caractéristiques de la bouche restent dans les tolérances initiales, ce qui confirme la correcte utilisation de cette technologie pour un usage sur le long terme, au moins pour 13 ans, en cuisine. De plus, malgré le degré d'encrassement important de certaines bouches, tous les produits ont conservé la fonction hygroréglable avant nettoyage.

2.2 Les entrées d'air

2.2.1 Caractérisation des produits

2.2.1.1 Matériel

Les produits sont testés dans leur état de récupération. Un exemple est donné en Figure 15. Il est à noter que les produits testés sont équipés des capteurs utilisés sur site pour le monitoring mais que la caractérisation aéraulique de l'entrée d'air se fait uniquement à partir des capteurs des bancs d'essai.



Figure 15 : Exemple d'une entrée d'air instrumentée (assemblée à gauche et démontée à droite)

Les tests ont lieu dans des salles climatisées où l'humidité relative et la température sont contrôlées. Un exemple de montage est donné à la Figure 16. On y voit l'entrée d'air montée sur le caisson contrôlé en pression.



Figure 16 : exemple d'entrée d'air montée sur le banc de mesure

2.2.1.2 Protocole

Les tests sont réalisés dans des salles contrôlées en température et en humidité suivant la norme NF EN 13141-9 : la différence de pression de fonctionnement (10 Pa) est appliquée aux bornes du produit et le débit le traversant est mesuré tandis que des paliers d'humidité relative sont générés dans la salle autour de la plage de fonctionnement du produit. La température est maintenue constante à 21 °C. La Figure 17 illustre ces mesures réalisées sur une entrée d'air.

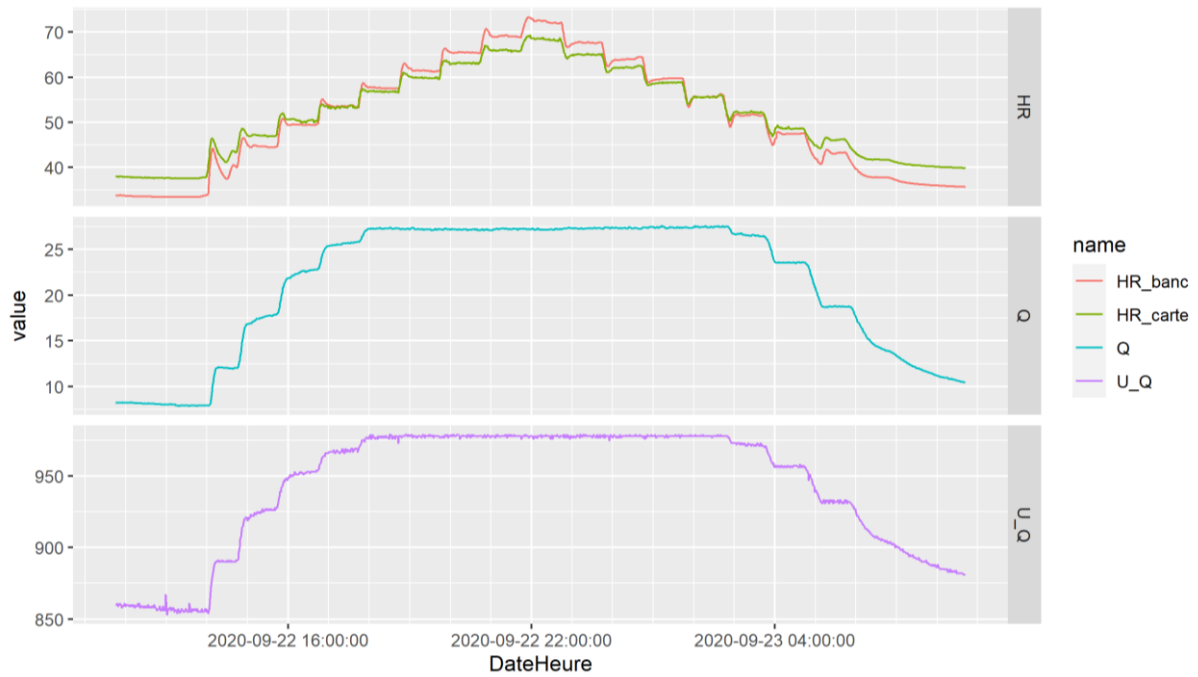


Figure 17 : Exemple d'enregistrement pour l'entrée d'air d'une chambre

La courbe de fonctionnement hygroscopique du produit est alors tracée (Figure 18) en utilisant les points stables d'humidité et de débits. On obtient alors la courbe de 2007 (en rouge) superposée à celle de 2020 (à récupération) ainsi que l'enveloppe de tolérances.

Courbes Hygro 2007 et 2020 - P14
Sejour - Id: 165

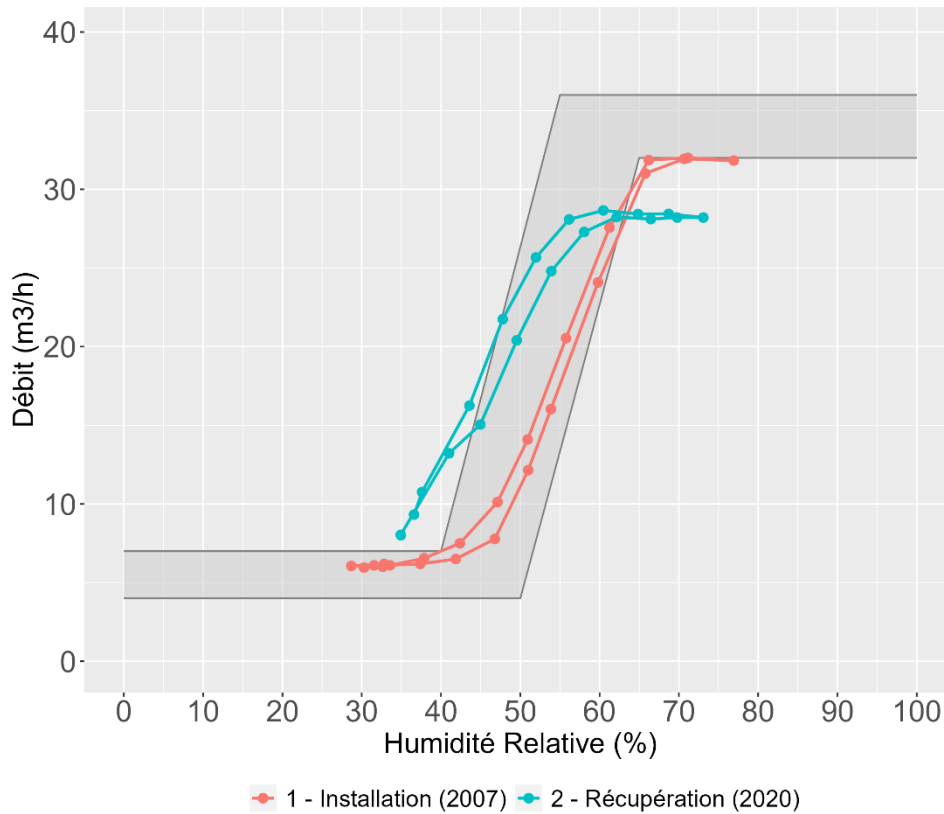


Figure 18 : Courbe débit / humidité d'un séjour

2.2.1.3 Résultats

Etat visuel des entrées d'air

Comme pour les bouches d'extraction, nous choisissons un classement en quatre catégories pour qualifier les niveaux d'entretien. Elles ont les dénominations suivantes : bon (Maintenance suffisante), moyen (Maintenance insuffisante), mauvais (Pas de maintenance) et dégradée. Des exemples visuels sont donnés dans le Tableau 9 ainsi que le nombre d'appartements concernés par catégorie.

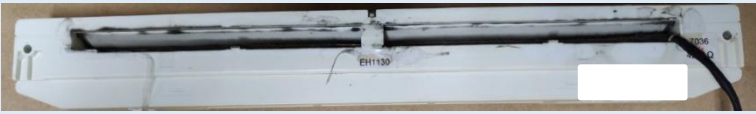
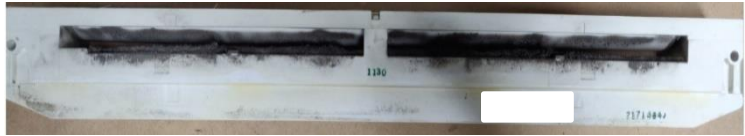



Maintenance	Exemple	Nombre appartements	
Bon		18 (33 %)	
Moyen		22 (41 %)	
Mauvais		14 (26 %)	
Dégradée	 	4	6
	Obturée	Scotchée	

Tableau 9 : Statistique sur l'état des entrées d'air

L'encrassement à l'arrière des EA est principalement de nature poussiéreuse et les niveaux de maintenance se répartissent de façon relativement équivalente sur les 3 groupes. On notera qu'un tiers seulement des EA présente une maintenance suffisante (« Bon »).

Etat fonctionnel des entrées d'air

Une inspection de chacune des entrées d'air permet de dresser un premier bilan quant à l'état fonctionnel des produits : 5 EA (soit 9%) ont été endommagées par l'occupant ou la société de maintenance (volets bloqués dans des positions ouvertes ou fermées) :

- 3 EA ont subi une dégradation volontaire du mécanisme ou une tentative de désassemblage
- 2 EA ont subi un dérèglement du tissu hygroscopique malgré le fait que la vis de réglage soit cachée
- Les 48 autres entrées d'air (soit 91%) ont présenté un aspect fonctionnel

Caractérisation et performance

Afin d'étudier le potentiel lien entre la performance des entrées d'air et leur état, chacun des produits a été caractérisé 3 fois en laboratoire :

- En l'état (« sale »)
- Après nettoyage
- Après maintenance

La caractérisation en laboratoire consiste à obtenir une courbe Débit/Humidité du produit afin de la comparer aux 2 autres états et à celle d'origine (2007).

- **Caractérisation des entrées d'air en l'état**

L'ensemble des courbes Débit/Humidité est disponible dans l'Annexe C. La Figure 19 présente 2 exemples de courbes : une entrée d'air de chambre et de séjour.

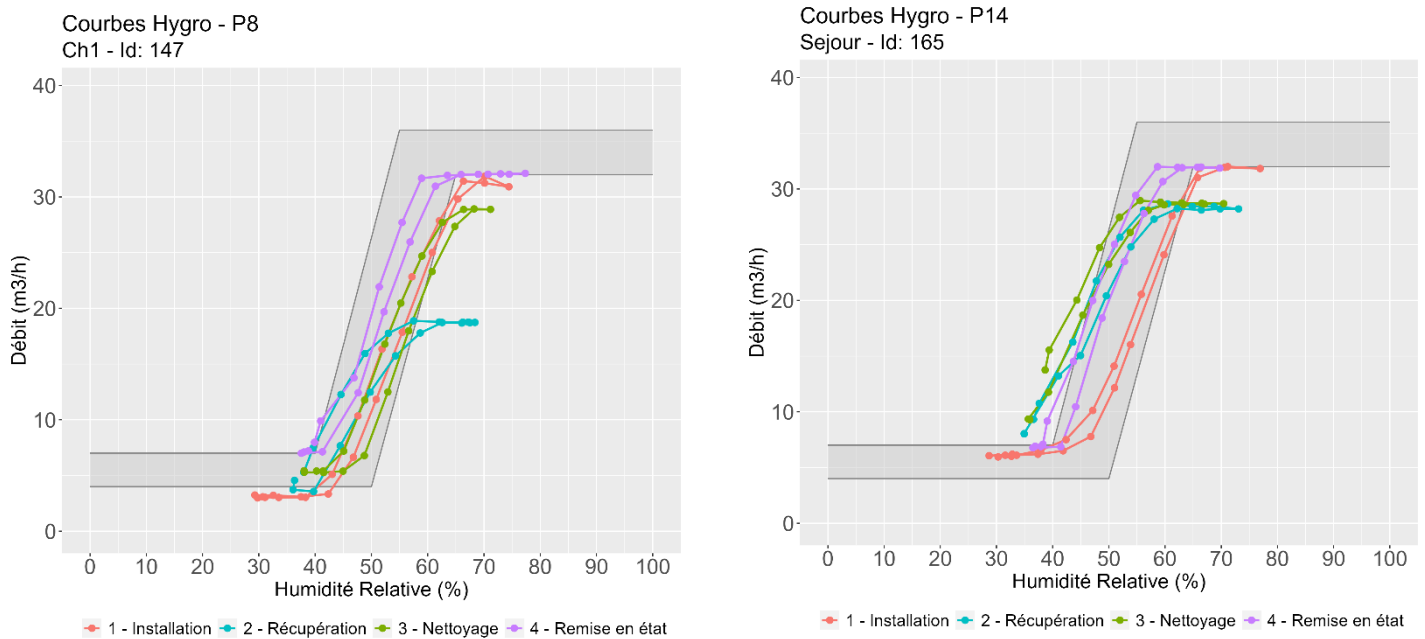


Figure 19 : Exemples de courbes Débit/Humidité pour une chambre (à gauche) et un séjour (à droite)

Les courbes en bleu (« sales ») montrent que les 48 EA fonctionnelles en l'état continuent de réagir à l'humidité même après 13 ans de fonctionnement en condition réelle d'utilisation. En effet, le volet de l'entrée d'air bouge correctement avec le taux d'humidité relative, permettant ainsi d'adapter les débits au besoin. On observe cependant une limitation du débit maximum :

- 14 EA (soit 29%) ont présenté une réduction du débit maximum inférieure à 10%
- 32 EA (soit 67%) ont présenté une réduction du débit maximum inférieure à 20%
- 44 EA (soit 92%) ont présenté une réduction du débit maximum inférieure à 30%
- 1 EA (soit 2%) a présenté une réduction de son débit maximum de 40%

- **Caractérisation des entrées d'air après nettoyage**

Afin d'installer des produits propres et fonctionnels chez l'occupant pour le projet Performance2, les entrées d'air ont été nettoyées puis remises en état. Cette dernière étape a consisté à changer les volets et les mousses acoustiques.

Les courbes Humidité/Débit de chaque entrée d'air sont présentées en Annexe C. Les 4 états (2007 / 2020 : en l'état (« sale ») / nettoyée / remise en état) figurent sur le même graphique afin de faciliter leur inter-comparaison. La correspondance des couleurs est la suivante :

- En rouge : la courbe de l'entrée d'air en 2007
- En bleu : la courbe de l'entrée d'air en l'état (« sale ») en 2020
- En vert : la courbe de l'entrée d'air une fois nettoyée en 2020
- En violet : la courbe de l'entrée d'air remise en état en 2020

Sur la Figure 19, le graphique de gauche montre la caractéristique de l'entrée d'air ayant le débit maximum le plus faible de tous les états « sales ».

Sur le graphique de droite on remarque que l'étape de nettoyage n'a pas d'influence sur le débit maximum (courbes verte et bleue) qui reste en dessous de 29 m³/h à 10 Pa. Une inspection visuelle de cette entrée d'air a montré que la mousse acoustique était légèrement déplacée et entravait partiellement le flux d'air. De plus, un léger voilage du volet a été constaté. Ces observations concernent 9 des 29 entrées d'air instrumentées. L'objectif de l'étude étant de caractériser le tissu hygroscopique, il a été décidé de changer les mousses et les volets de toutes les entrées d'air dans le cadre de la « remise en état » des produits pour Performance 2.

- **Caractérisation des entrées d'air après remise en état**

Les courbes violettes des graphiques de la Figure 19 représentent la caractéristique Débit/Humidité des entrées d'air après la phase de maintenance (« remise en état » en changeant les mousses et les volets, sans toucher au crayon hygroglabe). Elles sont représentatives de toutes les autres entrées et reviennent toutes dans leur enveloppe de tolérances. Elles sont en plus très proches de celles de 2007.

L'hypothèse la plus probable est donc que le tissu hygroscopique n'a pas ou très peu bougé au cours du temps. Jouant à la fois le rôle de capteur et d'actuateur, le tissu est donc adapté à une utilisation sur le long terme (au moins 13 ans) et dans des conditions réelles d'utilisation en séjour et chambre.

Concernant la problématique des mousses acoustiques, la matière utilisée dans les produits de 2007 a été remplacée par une composition en mélanine. Dans une optique d'optimisation acoustique, les mousses des nouveaux produits sont contraintes dans leur position initiale, ce qui devrait empêcher ce phénomène de limitation du débit maximum.

3 RE-INSTRUMENTATION DES UNITES DE VENTILATION

3.1 Introduction

La section de passage d'air des bouches d'extraction et des entrées d'air est connue à tout instant grâce à l'utilisation d'un capteur à effet-Hall. Couplé à l'utilisation d'un capteur de pression dans le cas des bouches d'extraction, il est possible de déterminer le débit extrait dans chaque pièce humide du logement.

3.1 Capteurs à effet-Hall

Les bouches d'extraction des salles de bain/douche et des cuisines possèdent toutes un volet dont la position est contrôlée par le système hygroréglable, afin d'adapter les débits au taux d'humidité. Un couple capteur à effet hall / aimant a été intégré au produit et permet de suivre la position du volet à tout moment

Le signal analogique issu du capteur à effet-Hall varie en fonction de sa proximité avec l'aimant. Sa mesure, par la carte d'acquisition, est enregistrée au même moment que les autres grandeurs physiques (température, humidité, ...).

Le protocole d'étalonnage consiste à placer les produits dans une salle dont la température est constante pendant que l'humidité varie sous forme de paliers au cours du temps. Cette variation d'humidité engendre un déplacement du volet (technologie hygroréglable), permettant de lier le débit d'air extrait par la bouche à 100 Pa à la valeur du signal du capteur à effet hall.

De ces essais sont extraits les corrélations entre le débit des bouches à 100 Pa et les mesures du capteur à effet hall.

Dans le cas des WC, le volet ne peut prendre que 2 positions :

- Position nominale : débit minimum
- Position max : débit plus important suite à une détection de présence par le capteur pyroélectrique

L'état binaire du signal est enregistré au même moment que les autres grandeurs physiques.

De la même manière, les entrées d'air instrumentées sont équipées d'un capteur à effet hall et d'un aimant pour suivre la position du volet à tout moment. La Figure 20 montre le capteur associé à un aimant solidaire du volet. Ainsi, le signal analogique du capteur varie en fonction de la distance qui le sépare de l'aimant solidaire du volet et permet donc un étalonnage de chaque entrée d'air avant la phase de réinstallation.



Figure 20 : Entrée d'air instrumentée

La position du volet est quant à elle définie par le tissu hygroscopique dont la longueur varie en fonction du taux d'humidité. Ainsi, il est possible de caractériser le lien entre la valeur du débit traversant l'entrée d'air (à 10 Pa) et la valeur du signal du capteur à effet hall, en faisant varier le taux d'humidité dans la salle. C'est ce qui est réalisé lors de la phase d'étalonnage de ces produits avant leur réinstallation.

3.1 Mesure de débit

Le paragraphe précédent a montré comment mesurer le débit des bouches d'extraction à 100 Pa à partir de la mesure du capteur à effet-Hall. Cette relation n'est valable qu'à 100 Pa. En condition réelle sur site, les bouches d'extraction fonctionnent à des valeurs différentes de 100 Pa, il s'agit donc de déterminer une méthode permettant de connaître la valeur du débit sur toute la plage de fonctionnement de la bouche.

Pour cela, l'idée est de caractériser le couple Pression (mesurée par le capteur embarqué) et Débit (mesuré par le banc aéraulique) à 80 et 150 Pa. En traçant l'écart relatif de débit avec celui à 100 Pa, à ces 3 pressions (80, 100 et 150 Pa), on obtient une loi d'étalonnage qui permet de corriger le débit à partir de la mesure de pression.

4 METROLOGIE DES CAPTEURS DE QUALITE D'AIR INTERIEUR

Cette partie consiste à caractériser les capteurs :

- De T/HR et CO₂ qui ont fonctionné sur site pendant 13 ans. L'objectif est de vérifier que la justesse de mesure est en accord avec les spécifications annoncées par le fabricant.
- De T/HR, CO₂, COV et Particules qui équipent les nouvelles cartes électroniques pour Performance 2.

4.1 Caractérisation des capteurs après 13 ans de fonctionnement

Dans le cadre du projet Performance 1, 69 cartes électroniques équipées chacune d'elle d'un capteur CO₂ et d'un capteur de température/humidité ont été installées dans les différentes pièces (séjour, chambres, salle de bain, salle d'eau et WC) d'un bâtiment occupé par des locataires. Cet équipement a été désinstallé dans 15 logements entre juin et juillet 2020, après 13 ans de fonctionnement in-situ.

4.1.1 Capteurs température/humidité

Les capteurs T/HR retenus pour équiper les cartes électroniques de Performance 1 (2007) ont été choisis sur un double critère :

- Précision de mesure et dérive à court/moyen terme en accord avec les exigences d'un monitoring
- Relativement bas coût étant donné le nombre et le budget à respecter. Indirectement, ils sont donc représentatifs des modèles utilisés dans le domaine HVAC

Le capteur est numérique et fourni à la fois la mesure de température et d'humidité.

4.1.1.1 Matériel et protocole

Salle régulée en température et humidité

Les tests se déroulent dans une salle d'essais dont l'atmosphère est régulée en température et humidité (Figure 21). Des paliers de 3h permettent d'obtenir des conditions stables (des exemples de consignes sont présentés en Figure 22).



Figure 21 : Salle régulée en température et humidité

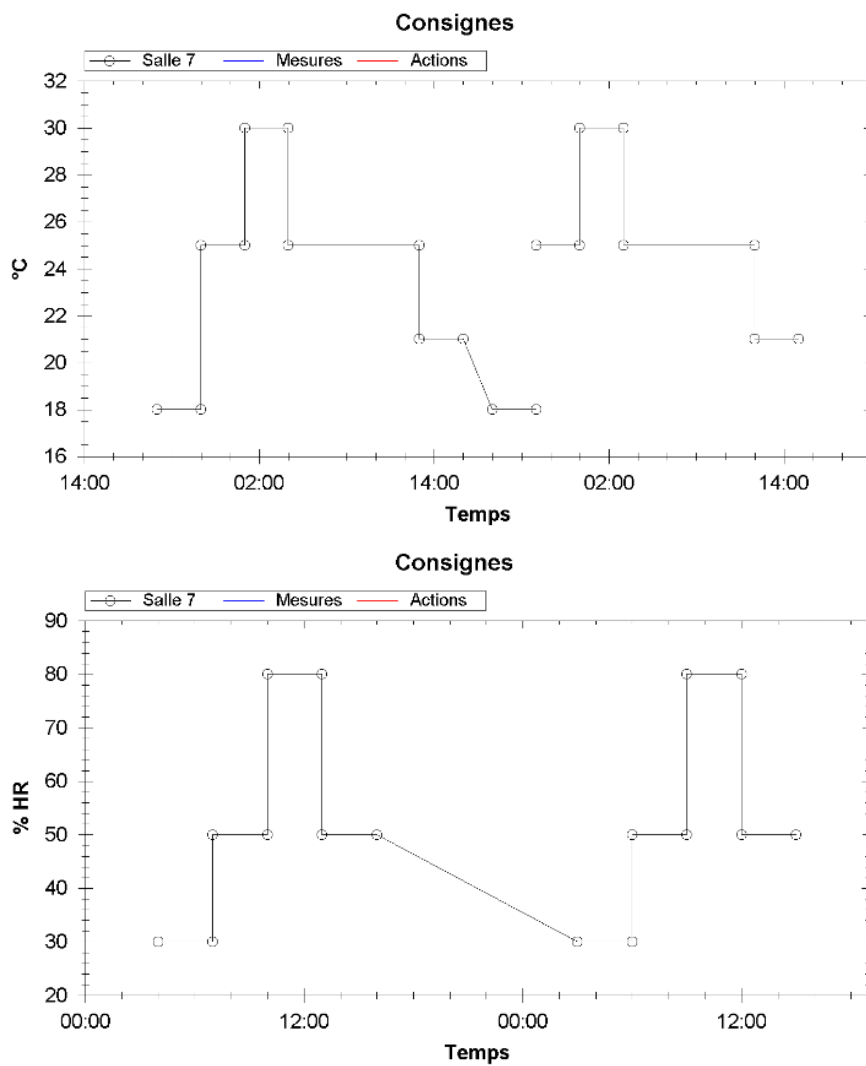


Figure 22 : Exemples de consignes pour la régulation de la salle en température et humidité

Support de carte

Afin de positionner les cartes verticalement, comme dans les appartements, mais sans boîtier, des supports ont été dessinés et fabriqués en impression 3D (Figure 23).

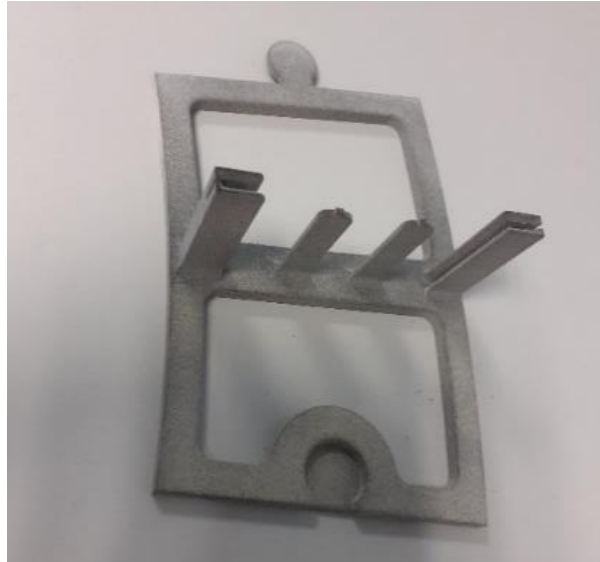


Figure 23 : Support de carte Performance 1

Connectés mécaniquement entre eux pour former un cercle, ces supports sont à égale distance de la référence de température et humidité (voir Figure 24).

Référence de température et humidité

La référence de température et d'humidité utilisée au cours de cet essai est un hygromètre à miroir de référence Optisonde/1111H/T100/cable3m (n°de série : N° 0090713). Certificat d'étalonnage valide 2 ans à partir du : 25/05/2020 présenté en Annexe E.

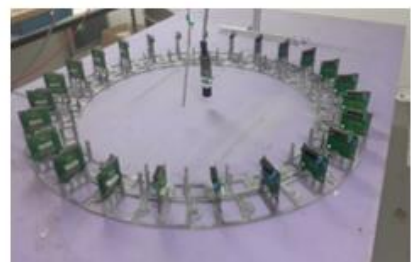


Figure 24 : Hygromètre à miroir et répartition des cartes

Protocole

Le but de l'essai est de déterminer la justesse de mesure du capteur de température/humidité de chaque carte. Pour cela, les paramètres de l'essai sont les suivants :

- Paliers de température de 3h : 18, 25 et 30°C, à 50 %HR
- Paliers d'humidité de 3h : 25, 50 et 85 %HR, à 25°C
- Les résultats des mesures sont issus d'une moyenne sur 30 min à la fin du palier (représentées par les traits verticaux rouges sur le graphique de la Figure 25 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

Nous appelons ici justesse, l'écart entre le résultat moyen et la valeur vraie.

Le résultat moyen est la valeur moyenne arithmétique de chaque capteur prise sur 30 min à la fin de chaque palier de température et humidité.

La valeur vraie est la valeur moyenne arithmétique de l'hygromètre à miroir (température et humidité) prise sur la même période que celle des capteurs.

4.1.1.2 Résultats

Le montage permet de caractériser 25 capteurs par cycle d'étalonnage. Le graphique de la Figure 25 est un exemple de réponses temporelles d'un des lots de 25 capteurs et de la référence (en rouge) :

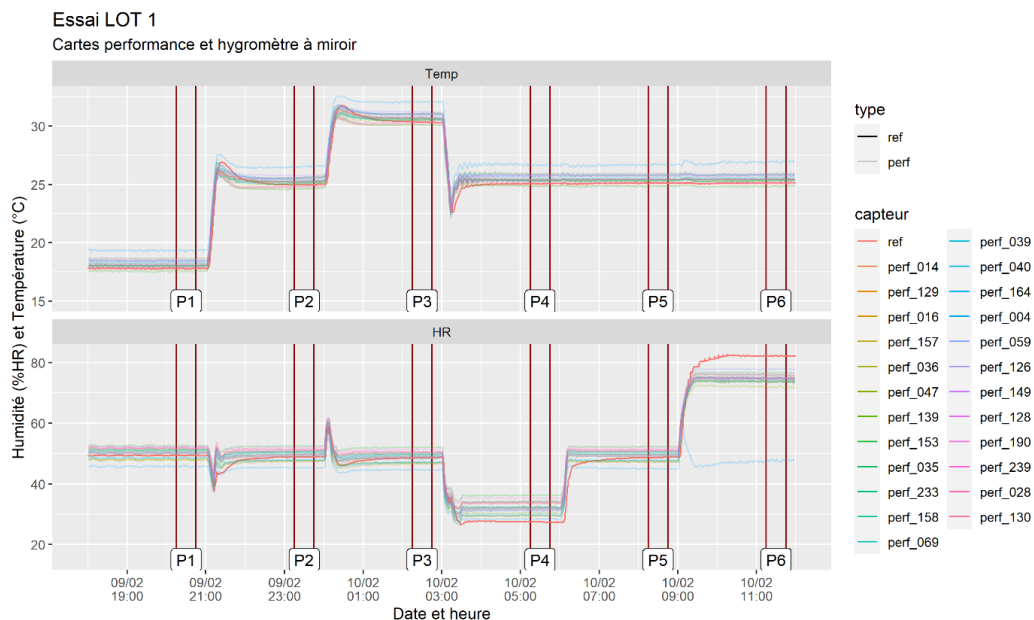


Figure 25 : Réponses d'un lot de 25 capteurs et de la référence à des paliers de température/humidité

Pour chaque palier, l'écart entre la référence et le capteur est présenté sur les 2 graphiques (température et humidité) de la Figure 26, après 13 ans de fonctionnement in-situ. Les bornes de tolérances annoncées par le fabricant sont :

- En pointillés épais noirs : tolérances à t=0 (information du fabricant)
- En pointillés fins noirs : tolérances à l'origine à t=0 + Dérive sur 13 ans (information du fabricant)

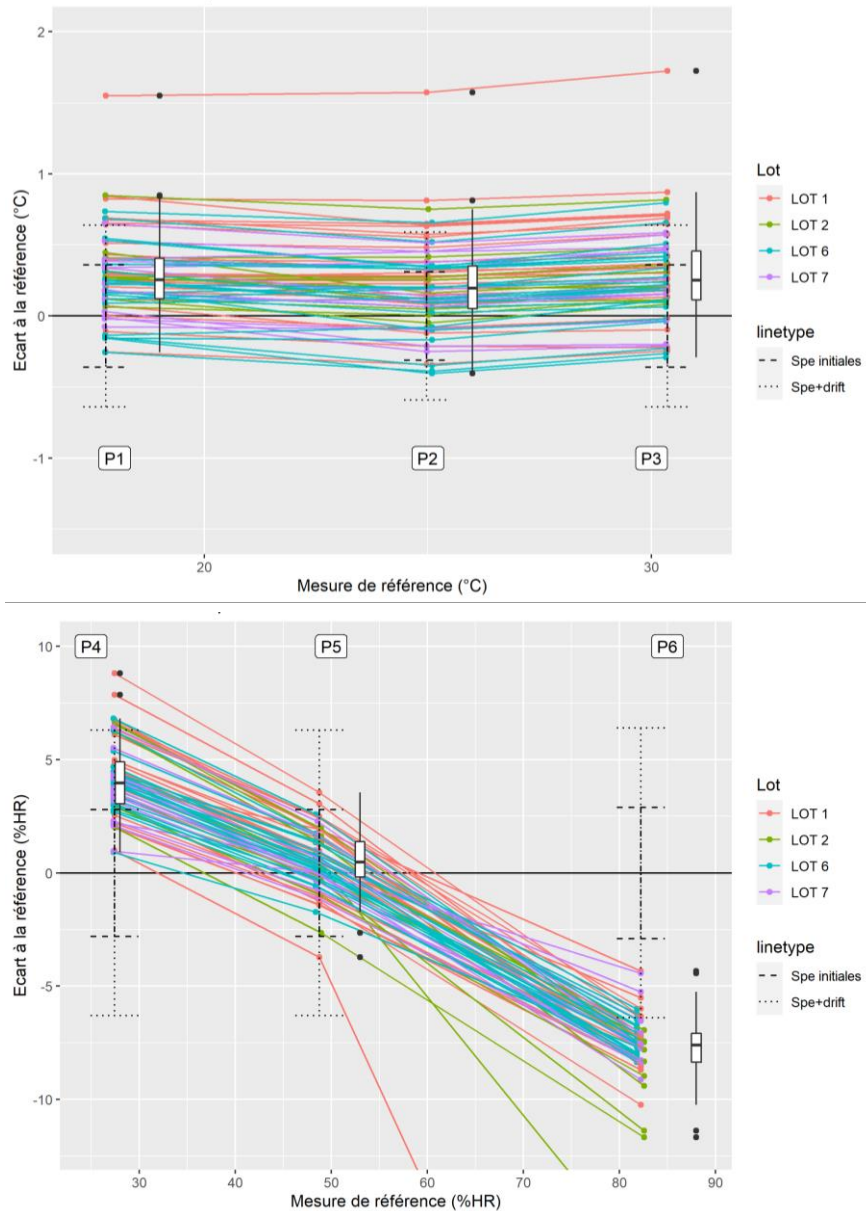


Figure 26 : Ecarts entre chacun des capteurs et la référence (en haut en température et en bas en humidité)

Remarque : on négligera ici l'incertitude de mesure liée à la référence qui est de $\pm 0.06^{\circ}\text{C}$ pour la température et $\pm 1\%\text{HR}$ pour l'humidité).

En ce qui concerne la température, tous les capteurs sauf 1 affichent une précision meilleure que 1°C , sur toute la plage testée (18 à 30°C). De plus :

- 58% des capteurs sont dans les spécifications initiales (t=0) :
 - 65% à 18°C
 - 58% à 25°C
 - 64% à 30°C
- 96% des capteurs sont dans les spécifications initiales (t=0) + dérive annoncée sur 13 ans, sur toute la plage de test

Pour ce qui est de l'humidité la meilleure précision de mesure est obtenue à 50 %HR :

- Proportions des capteurs en accord avec les spécifications initiales (t=0) :
 - 3% à 25%HR
 - 78% à 50%HR
 - 0% à 85%HR
- 81% des capteurs sont dans les spécifications initiales (t=0) + dérive annoncée sur 13 ans, sur toute la plage de test :
 - 97% à 25%HR
 - 99% à 50%HR
 - 81% à 85%HR

Selon le fabricant, la sous-évaluation de la mesure pour les hautes humidités, est typique d'une pollution de l'élément sensible (polymère) par les solvants IPA qu'on peut trouver dans l'environnement intérieur. Le capteur peut être dépollué en suivant un protocole de cycles en température et humidité (ce qui n'a pas été fait dans le cadre de cette étude).

4.1.1.3 Conclusion

Après 13 ans de vieillissement en condition réelle d'utilisation, 96% des mesures de température et 81% des mesures d'humidité sont dans les spécifications annoncées par le fabricant si l'on tient compte à la fois de la précision initiale et de la dérive annuelle mentionnées dans la documentation technique. Ces capteurs bas coûts et de plages de mesures étendues sont donc adaptés à des monitorings à court ou moyen terme (0.04°C et 0.5%HR de dérive annuelle). Cependant, la dérive annuelle n'est pas négligeable (0.5%HR/an soit 6.5%HR sur 13 ans), en particulier aux fortes humidités qui sont par exemple typiques des salles de bain, douches et cuisines. Une attention toute particulière doit donc être portée au choix du capteur pour les applications tels que les monitorings et les produits de ventilation devant fonctionner sur le long terme. Ces bons résultats sont également liés aux choix d'un modèle de capteur ne faisant pas partie des entrées de gammes.

D'autre part, la mesure d'humidité relative étant basée sur la température, il est donc important que le capteur soit mis dans des conditions qui sont les plus proches de celle de la pièce (à distance d'un chauffage, d'une fenêtre, d'un élément chauffant sur la carte électronique, ...) afin de donner une mesure (de température et d'humidité) représentative du local.

Certaines normes IAQ et d'évaluations des pertes énergétiques (ATEC) intègrent seulement l'incertitude de mesure initiale. Tenir compte de l'environnement de la mesure (capteur dans un boîtier qui chauffe, mauvais design électronique, mauvais positionnement du produit dans la pièce, ...) et de la dérive annoncée par le fabricant sont autant de pistes de réflexion qui pourraient permettre d'améliorer la qualité des produits sur le marché.

4.1.1 Capteurs CO₂

Le modèle de capteurs CO₂ qui a été retenu pour équiper les cartes électroniques de Performance 1 (2007) est représentatif de ceux utilisés dans le domaine HVAC, en termes de niveau de prix et de performance. De plus, le choix s'est porté sur un acteur important et reconnu du marché pour s'assurer de la bonne qualité des mesures.

4.1.1.1 Fonctionnement du capteur CO₂

Le capteur CO₂ utilise une technologie NDIR basée sur un canal de mesure unique et qui fonctionne à la longueur d'onde du CO₂. Un algorithme d'auto-calibration basé sur la recherche du point minimum de CO₂ sur une durée d'1 à 2 semaines, permet au capteur de déterminer l'écart entre sa valeur la plus basse et une valeur saine de CO₂ (typiquement un air extérieur de 400 à 450 ppm). Cet écart est appliqué automatiquement aux mesures sous la forme d'un offset et permet ainsi de limiter une partie de la dérive.

Cet algorithme d'auto-calibration est compatible avec un environnement où le taux de CO₂ réel dans le local revient au moins une fois par cycle (1 à 2 semaines) à une valeur comprise entre 400 et 450 ppm. Si ce n'est pas le cas, la mesure aura tendance à sous évaluer la concentration en CO₂. Cette situation peut arriver dans le cas d'une occupation en continue de la pièce : télétravail, un couple travaillant en heures décalées (chambre), en période de pandémie, ...

4.1.1.2 Matériel et protocole de test

Les capteurs ont été placés dans une enceinte et testés à 3 différents niveaux de CO₂ (400, 1000 et 1700 ppm). Chacun des paliers d'une heure a été généré à partir d'un mélange Cofrac (N₂ + CO₂) d'une précision de ± 0,15 %. Tout au long de l'essai, l'enceinte était située dans un environnement contrôlé en température (21°C). Les certificats d'étalonnage de chacune des bouteilles est fourni en Annexe D.

L'algorithme d'auto-calibration (décrit plus haut) du capteur commence seulement après 24h d'alimentation en continu. Dans la mesure où nous souhaitons tester la dernière configuration trouvée dans les logements, la stratégie d'alimentation suivante a été respectée :

- Alimentation des capteurs pour test de communication puis mise hors tension
- Alimentation des capteurs la veille de la mesure vers 17h pour atteindre une température d'essai stable dans l'enceinte.
- On/Off avant de commencer les mesures, comme préconisé par le fabricant dans un email.
- Test des capteurs (6h)

Une fois ces mesures effectuées, les capteurs sont éteints au cas où un autre test soit nécessaire.

4.1.1.1 Résultats

Le Tableau 10 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** présente les tolérances annoncées par le fabricant en fonction des conditions de l'essai :

- Les spécifications initiales ($\pm 40 \text{ ppm} \pm 3\%$ de la valeur lue).
- La dérive à long terme ($\pm 2\%$ de la pleine échelle, soit 40 ppm).
- Les variations dues à l'environnement (T, Pbaro). On a considéré ici les variations maximales sur les deux essais soit 10 ppm pour la température et $5, 10, 20 \text{ ppm}$ pour la pression barométrique à $400, 1000, 1700 \text{ ppm}$.

Consigne (ppm)	Specs initiales (ppm)	Specs + Dérive (ppm)	Specs + Dérive + Envt (ppm)
400,43	± 52	± 92	± 107
996,9	± 70	± 110	± 130
1698,2	± 91	± 131	± 161

Tableau 10 : Spécifications constructeur pour les essais considérés

Le **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** présente la proportion des capteurs qui respectent les tolérances du fabricant en fonction de la prise en compte de la dérive et des conditions environnementales.

1. As collected			
Setpoint (ppm)	Initial Accuracy	Accuracy + Drift	Accuracy + Drift + <u>Envt</u>
400,43	31 %	69 %	76 %
996,9	24 %	52 %	60 %
1698,2	29 %	38 %	43 %

Tableau 11 : Proportion des capteurs en accord avec les spécifications annoncées par le fabricant

Moins d'un tiers des capteurs respectent les spécifications initiales de justesse sur toute la plage. Si l'on ajoute la dérive à long terme, deux tiers des capteurs se trouve dans les spécifications à 400 ppm , mais seulement la moitié à 1000 ppm et un tiers à 1700 ppm . Enfin, la prise en compte des variations dues à la température et à la pression

barométrique améliore encore le résultat mais moins de la moitié des capteurs se trouve dans les spécifications sur toute la plage de test.

Ces tests ont été réalisés avec des capteurs dont les paramètres de l’algorithme d’auto-calibration étaient liés à l’occupation de l’appartement dans lequel ils avaient été prélevés.

Afin d’évaluer l’impact d’une auto-calibration dans des conditions conformes à celles préconisées par le fabricant (retour régulier à une concentration proche de celle de l’air extérieur), les capteurs ont été alimentés pendant les 2 semaines de vacances de Noël 2020. Au cours de cette période, la société Aereco était fermée et le taux de CO₂ dans les locaux était donc proche de 400-450 ppm (absence de salarié). Après ces deux semaines, la justesse de mesures a de nouveau été caractérisée avec le banc CO₂ et comparée au premier essai.

La Figure 27 ci-dessous permet de comparer les 2 tests (avant et après auto-calibration pendant 2 semaines).

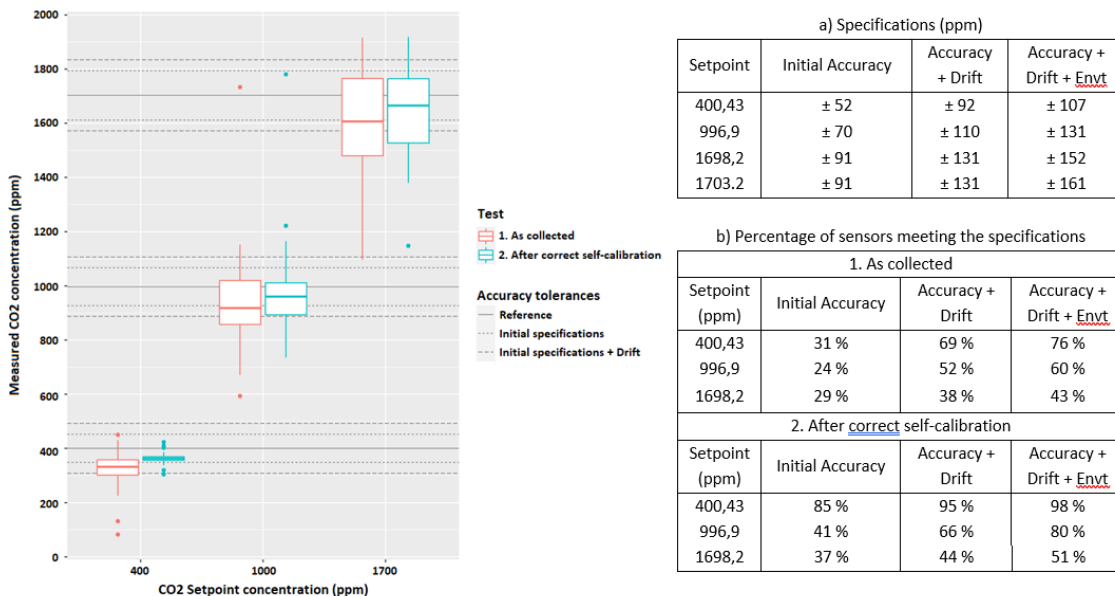


Figure 27 : Comparaison statistique de la réponse des capteurs avant et après auto-calibrage en laboratoire

On observe qu’après la période d’auto-calibration en laboratoire, la justesse de mesure des capteurs est nettement améliorée à 400 ppm :

- On passe de 31 à 85% de capteurs dans les tolérances initiales
- On passe de 69 à 95 % de capteurs dans les tolérances si on tient compte de la dérive annoncée dans la fiche technique du fabricant

Dans une moindre mesure, les résultats sont également meilleurs à 1000 et 1700 ppm :

- On passe de 24 à 41% de capteurs dans les tolérances initiales à 1000 ppm
- On passe de 52 à 66 % de capteurs dans les tolérances si on tient compte de la dérive annoncée dans la fiche technique du fabricant à 1000 ppm

Lorsque les mesures sont compensées des effets environnementaux (pression barométrique et température), 80 % des capteurs sont dans les spécifications à 400 et 1000 ppm et 51 % sur toute la plage 400 à 1700 ppm.

On retiendra donc que :

- Comme spécifié dans le protocole d'auto-calibration, ce genre de capteurs nécessite un environnement dans lequel le taux de CO₂ redescend à des valeurs proches de celles de l'air extérieur (400-450 ppm). Le profil d'occupation d'un logement peut être très variable et spécifique ce qui ne semble pas toujours être en adéquation avec l'algorithme d'auto-calibration. La suroccupation d'un logement peut être liée à des contextes tels que le télétravail, un couple travaillant en heures décalées et occupant donc la chambre une grande partie du temps, un confinement, ...
- L'algorithme de recalibrage de ce genre de capteurs utilise la valeur classique de l'air extérieur au moment de sa fabrication (typiquement 375-400 ppm dans les années 2000, 450 ppm en 2020, ...). La justesse de mesure est donc affectée par cette évolution régulière du taux de CO₂ extérieur qui peut impacter la mesure de façon non négligeable, surtout si les produits sont destinés à fonctionner pendant au moins 10 ans sans maintenance.
- La période d'auto-calibration des capteurs en laboratoire a surtout permis d'améliorer la justesse de mesures à 400 ppm : 98%, 80% et 51% des capteurs sont dans les tolérances totales (avec compensation de l'environnement) pour les concentrations de 400, 1000 et 1700 ppm respectivement. Il en résulte qu'un auto-étalonnage en 1 point (à 400 ppm) semble insuffisant pour assurer une mesure correcte aux concentrations plus hautes.
- La prise en compte de l'effet environnemental (Pression barométrique et Température) permet d'améliorer de façon non négligeable la justesse de mesure. En effet, la proportion de capteurs qui sont dans les spécifications techniques passe de 66 à 80% à 1000 ppm et 44 à 51% à 1700 ppm. L'intégration d'un capteur de température et d'un capteur barométrique permettrait d'améliorer la qualité de mesures au cours du temps et lors de l'auto-calibration. Certains fabricants commencent déjà à le faire.

4.2 Etalonnage/vérification des capteurs QAI pour Performance 2

4.2.1 Nouvelle carte électronique

Dans le cadre du monitoring de Performance 2, un redesign de la carte électronique a permis d'intégrer de nouveaux capteurs :

- Un capteur CO₂ NDIR à double faisceaux optiques qui n'utilise pas le principe d'auto-calibration par rapport à un seuil minimum sur 1 à 2 semaines
- Un compteur de particules
- Deux capteurs COV
- Un capteur de température/humidité plus récent que celui utilisé sur Performance 1

Chacun de ces capteurs a été étalonné (capteur CO₂) ou vérifié (capteurs Température/Humidité, COV et compteurs de particules).

4.2.1 Capteur CO₂

4.2.1.1 Information sur le capteur

Le capteur CO₂ intégré à la carte mère fonctionne sur la plage 0 à 2000 ppm avec une justesse de mesures annoncée de $\pm 50 \pm 2\%$ mesure tout en intégrant une compensation de la pression barométrique. Il utilise la technologie NDIR à double faisceaux optiques.

4.2.1.2 Protocole d'étalonnage

Il est le même que celui décrit plus pour la caractérisation des capteurs CO₂ de Performance 1.

4.2.1.1 Résultats

La Figure 28 est un exemple représentatif des essais réalisés pour étalonner chacun des capteurs CO₂.

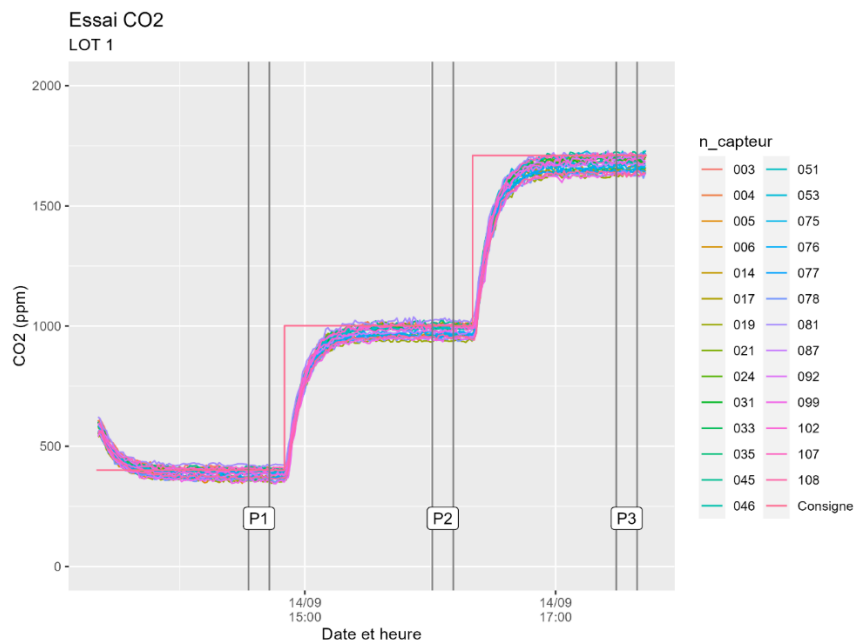


Figure 28 : Exemple de réponses d'un lot de capteurs soumis à 3 concentrations de CO₂

Les écarts entre tous les capteurs, aux différentes concentrations de CO₂, sont résumés dans la Figure 29 ci-dessous.

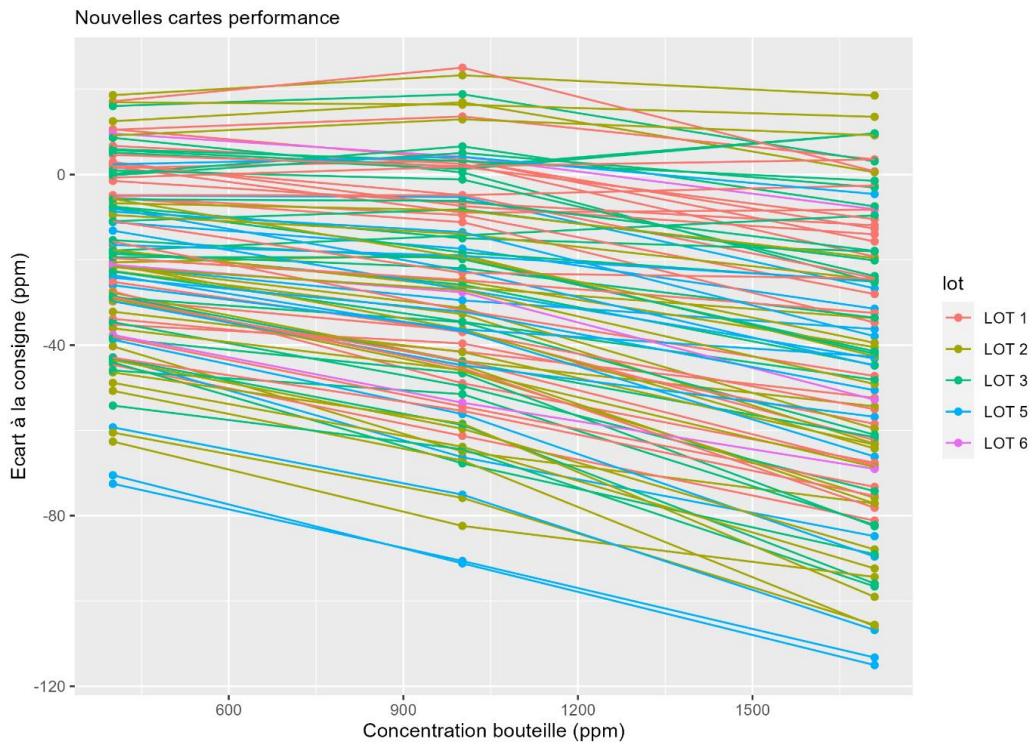


Figure 29 : Ecart entre chaque capteur CO₂ et la valeur vraie

Une valeur moyenne est extraite à la fin de chaque palier (P1, P2 et P3) et est utilisée pour réaliser un étalonnage en 3 points. Les lois d'étalonnage de chaque capteur sont appliquées en post traitement sur les fichiers d'acquisition pour corriger les valeurs brutes.

4.2.2 Capteurs de température et d'humidité

4.2.2.1 Informations sur le capteur

Le capteur retenu pour mesurer la température et l'humidité dans chaque pièce instrumentée présente une justesse de mesure typique de :

- $\pm 1.5\%HR$ ($\pm 2\%HR$ au-delà de $80\%HR$) pour la mesure d'humidité relative
- $\pm 0.2^{\circ}C$ pour la mesure de température

La dérive annuelle typique annoncée est de :

- $<0.25\%HR/an$ pour la mesure d'humidité

La dérive annuelle typique annoncée est de :

- $<0.03^{\circ}C/an$ pour la mesure de température

4.2.2.2 Protocole

Les capteurs ne peuvent pas être étalonnés pendant la phase laboratoire car l'impact de la chauffe de certains composants électroniques n'a pu être entièrement évitée : l'interaction thermique entre les cartes (mère et fille), le boîtier et le mur (sur site) ne peut être simulée ou modélisée. Seul un étalonnage sur site en un point permet de recalibrer la mesure.

L'objectif des essais était donc simplement de vérifier la réponse de chacun des capteurs à des températures et humidités classiques de celles de l'air intérieur afin d'exclure les capteurs trop décalés.

Le protocole a été le même que celui déjà détaillé lors des tests des cartes Performance 1.

Le certificat d'étalonnage du matériel de référence est donné en Annexe E.

4.2.2.3 Résultats

Les capteurs répondent de la même façon entre eux et par rapport à la référence, en température et en humidité. Les capteurs dysfonctionnels ou trop décalés ont été écartés. Les autres ont été conservés pour installation sur site.

4.2.3 Capteurs COV

4.2.3.1 Informations sur les capteurs COV

Chaque carte électronique est équipée de 2 capteurs de COV de modèle différent s'exprimant avec leur propre indice de qualité d'air.

4.2.3.2 Protocole

En l'absence de moyen de test (référence ou source maîtrisée) pour caractériser les capteurs COV, le choix a donc été fait de simplement vérifier la dispersion des capteurs lorsqu'ils sont soumis à une même source de pollution. L'objectif est d'écarter les capteurs qui répondraient différemment des autres. Pour cela, l'ensemble des cartes équipées des capteurs a été placé dans une pièce fermée dans laquelle deux lingettes désinfectantes ont été posées au sol. La première pour une durée de plusieurs heures et la seconde pour quelques minutes. Les cartes équipées des capteurs ont été positionnées verticalement comme pour leur installation finale sur site, à une hauteur de 2.2m et sur des barres profilées.

A l'exception d'un seul capteur, tous ont répondu à la présence des deux lingettes. De plus, les signaux de mesure présentent :

- Une dispersion plutôt faible
- Une même dynamique de montée et descente

Malgré les incertitudes liées aux conditions de tests (absence de mesures de référence, de contrôle de la source de pollution/homogénéité dans la pièce), cet essai a permis de valider le bon fonctionnement de tous les capteurs, d'avoir des informations exploitables dans toutes les pièces des appartements et d'écarter celui qui était défectueux.

4.2.4 Compteurs de particules

4.2.4.1 Information sur le capteur

La nouvelle carte électronique intègre également un compteur de particules permettant de mesurer la concentration en PM_{2,5} (diamètre des particules : 0.3 à 2.5 µm). La justesse annoncée est de $\pm 10\mu\text{m}/\text{m}^3$ pour les concentrations de 0 à 100 $\pm 10\mu\text{m}/\text{m}^3$.

4.2.4.2 Protocole

Comme pour les capteurs COV, Aereco ne dispose pas de moyen de test des compteurs de particules. Le choix a donc été fait de simplement vérifier la dispersion des capteurs lorsqu'ils sont soumis à une même source de pollution. L'objectif étant d'écarter les capteurs qui répondraient différemment des autres. Pour cela, l'ensemble des cartes équipés des capteurs a été placé dans une pièce fermée dans laquelle une fumée de cigarette a été diffusée par l'intermédiaire d'un ventilateur. Les cartes équipées des capteurs ont été positionnés verticalement comme pour leur installation finale sur site, à 2.2m de hauteur et sur des barres profilées.

4.2.4.1 Résultats

Tous les capteurs ont répondu à la fumée de cigarettes. De plus, les signaux de mesure présentent :

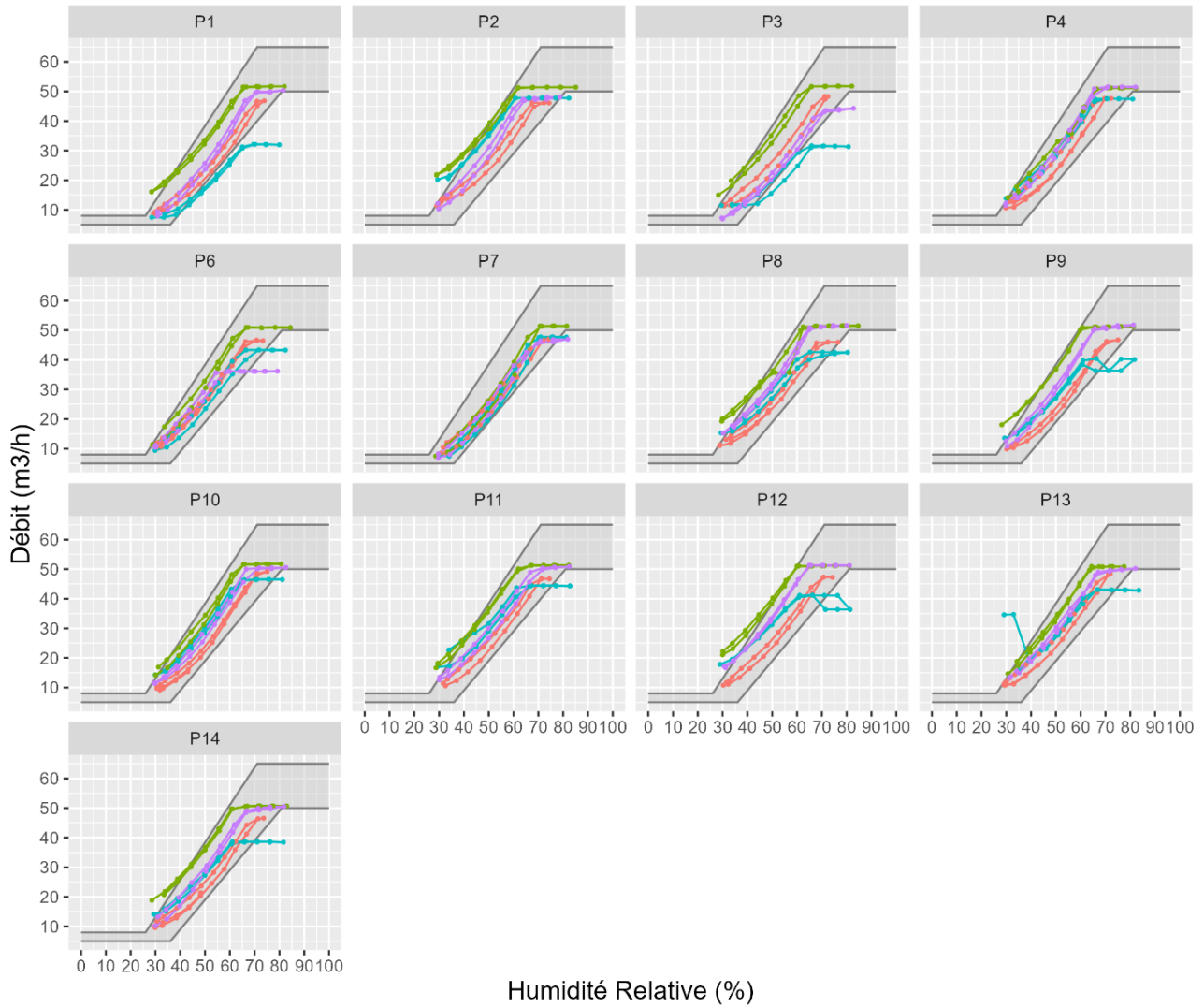
- Une dispersion relativement faible (non négligeable mais qui pourrait être liée à une non-homogénéité des particules dans la pièce)
- Une dynamique comparable avant, pendant et après l'évènement (fumée de cigarette)

Malgré les incertitudes liées aux conditions de tests (absence de mesures de référence, de contrôle de la source de pollution/homogénéité dans la pièce), cet essai permet de valider le bon fonctionnement de tous les capteurs PM_{2,5} installé et d'avoir des informations exploitables dans toutes les pièces des appartements.

ANNEXES

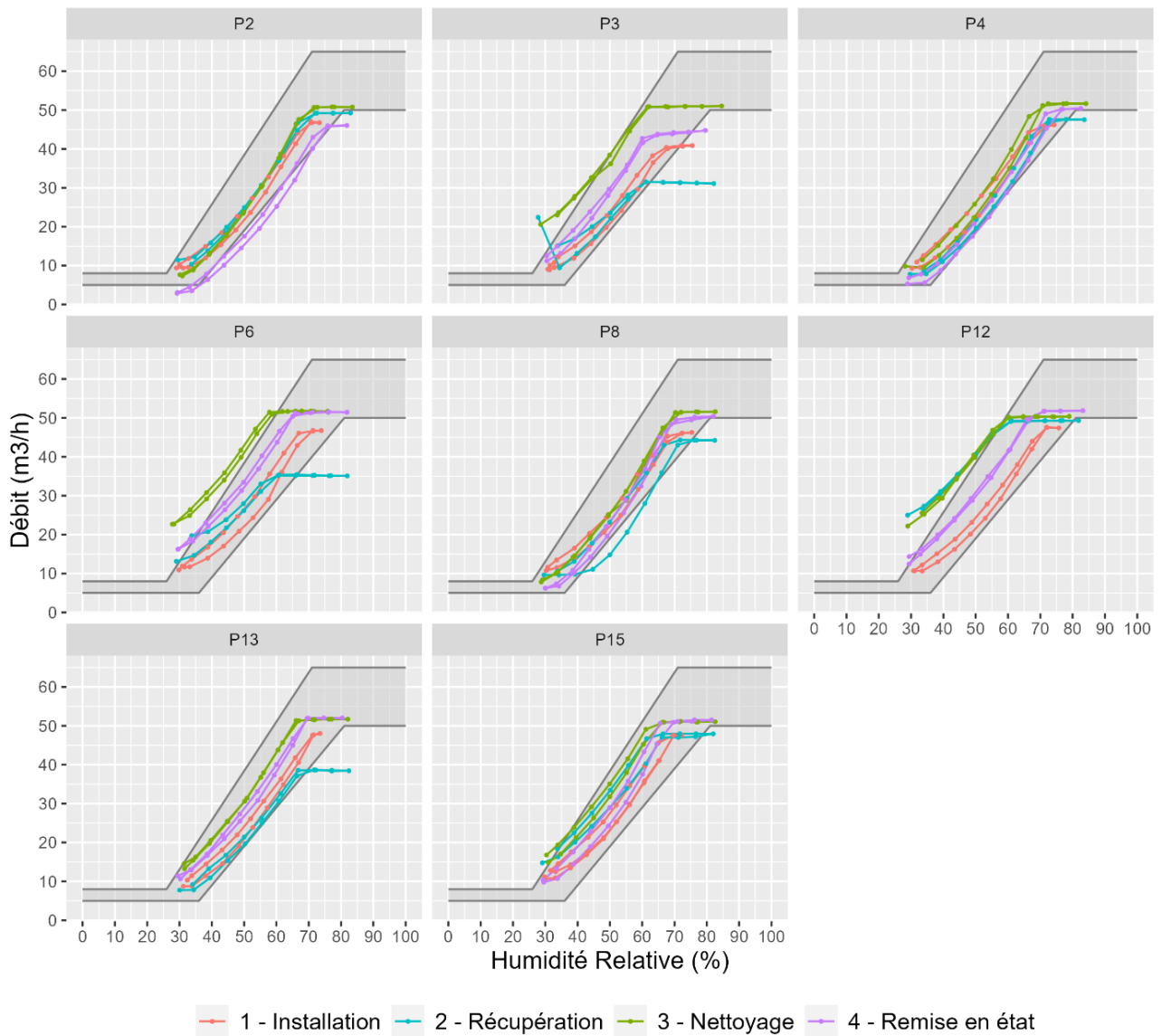
Annexe A : Courbes débit/humidité des SdB et SdD

Courbes Hygro - Salle de Bain



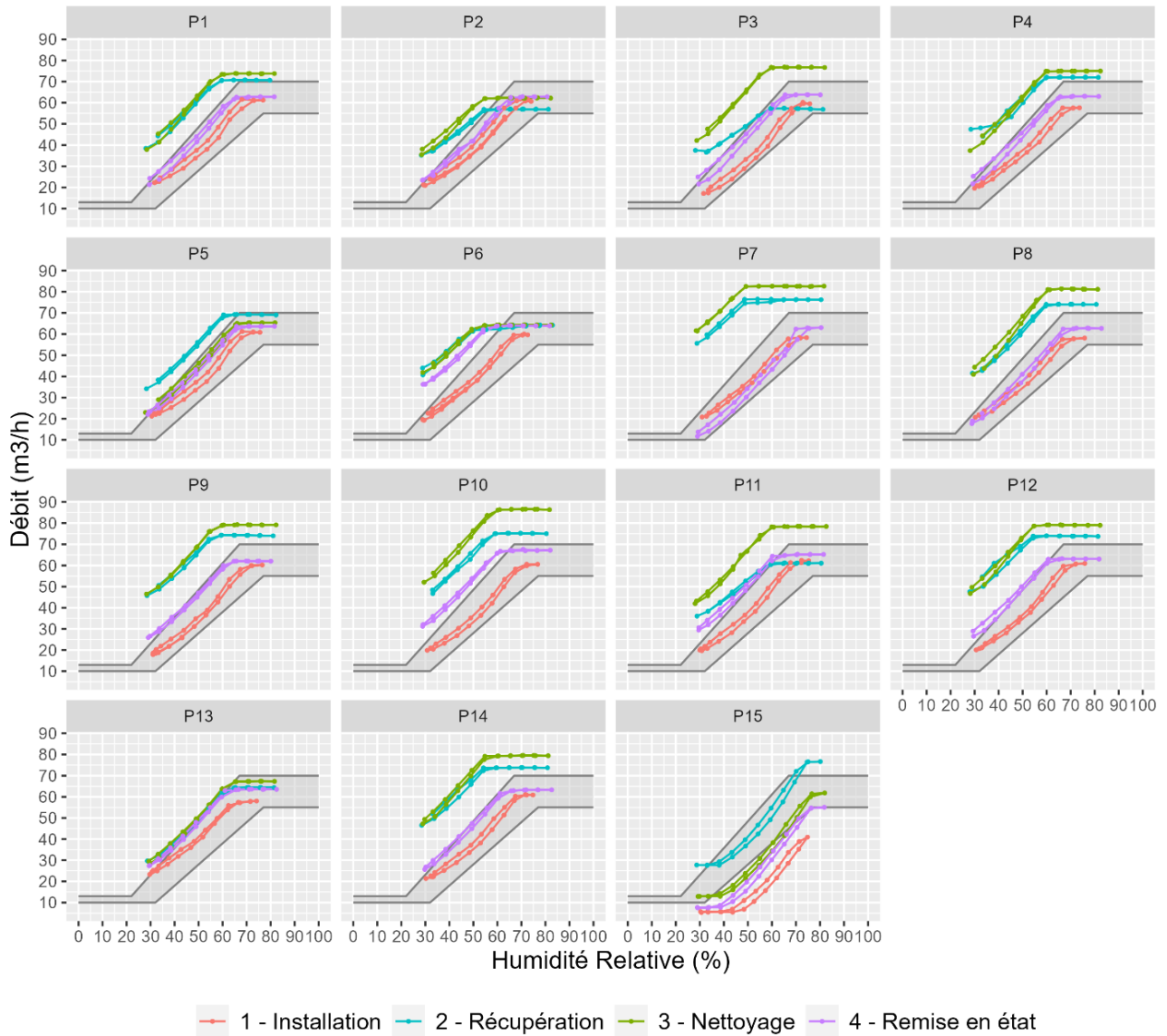
— 1 - Installation
 — 2 - Récupération
 — 3 - Nettoyage
 — 4 - Remise en état

Courbes Hygro - Salle de Douche



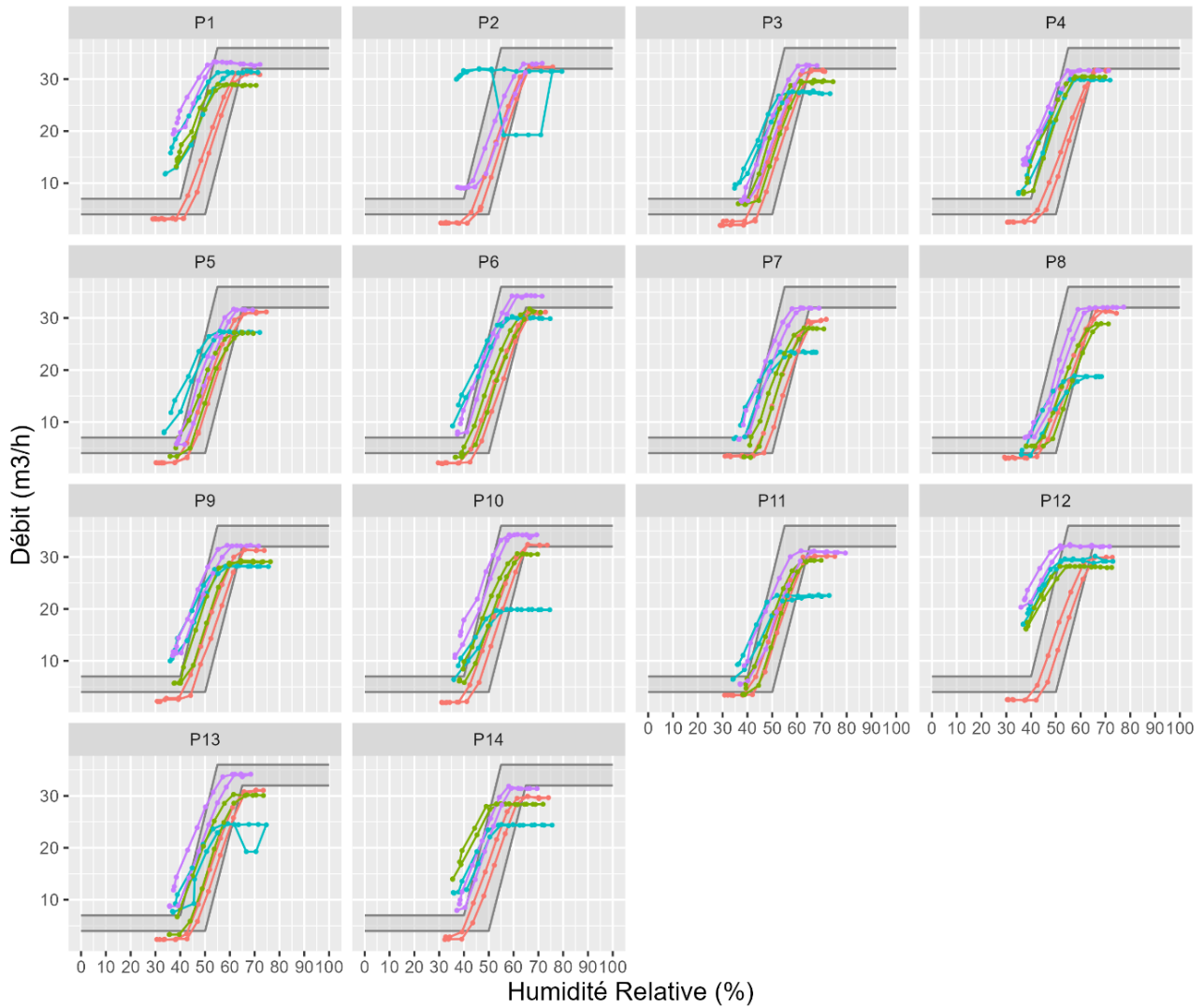
Annexe B : Courbes débit/humidité des bouches Cuisine

Courbes Hygro - Cuisine



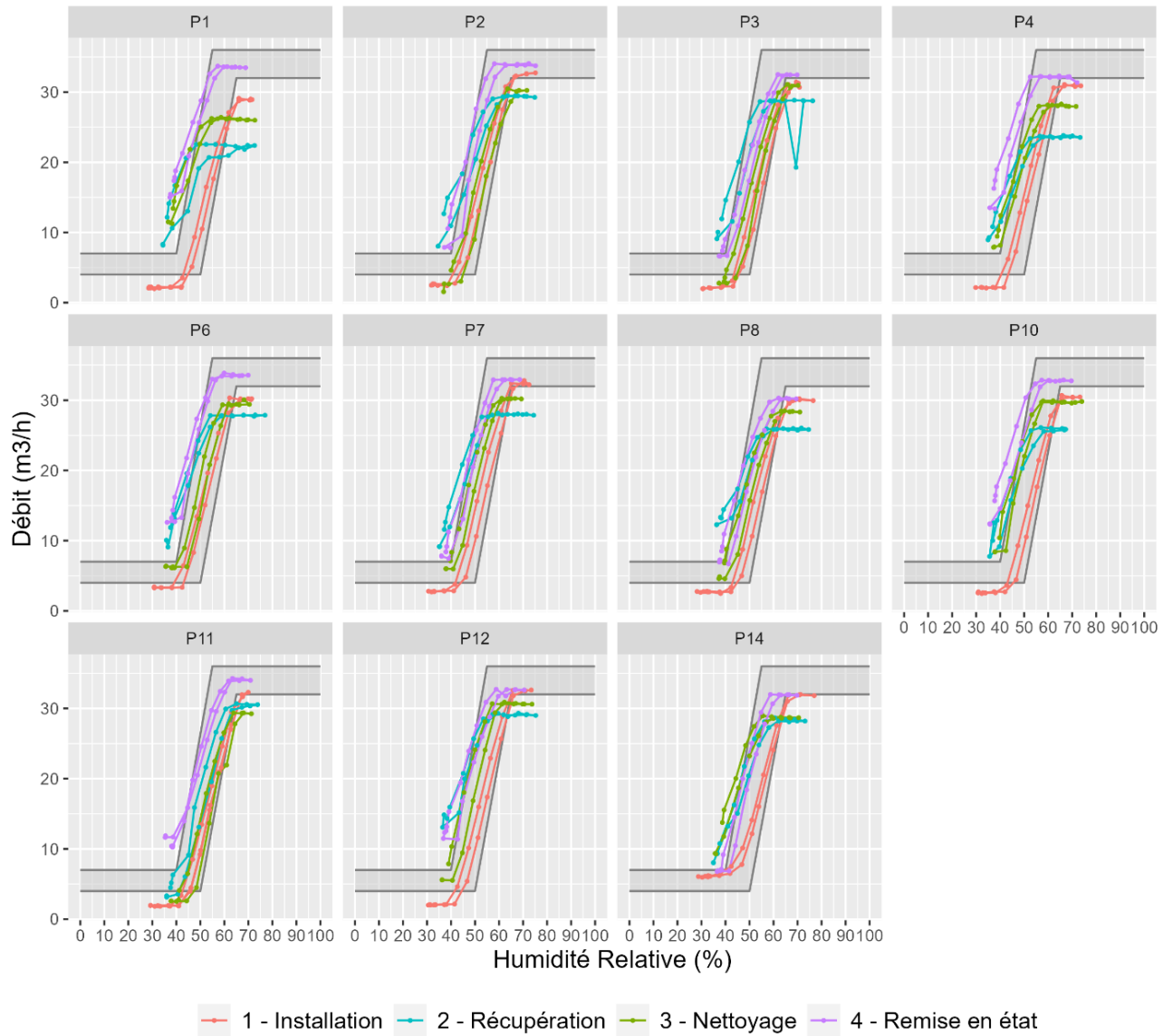
Annexe C : Courbes débit/humidité des entrées d'air

Courbes Hygro - Chambre



1 - Installation 2 - Récupération 3 - Nettoyage 4 - Remise en état

Courbes Hygro - Séjour



Annexe D : Certificat d'étalonnage des bouteilles de CO₂

ACCREDITATION N° 2.1949

Portée d'accréditation disponible sur www.cofrac.frAIR LIQUIDE FRANCE INDUSTRIE
LABORATOIRE D'ETALONNAGE ACCRÉDITÉ- Rue Gay Lussac
292 Mitry-Mory Cedex
Téléphone : 01 64 67 67 67
Télécopie : 01 64 67 67 00
28891 ET0204*Dec 2020*
Perf 2
*400,73 ppm***CERTIFICAT D'ETALONNAGE**

N° 1772/20P

DELIVRE A: AERECO
62 rue Lamirault
F-77615 MARNE LA VALLEE**MATERIAU DE REFERENCE ETALONNE**Désignation: Matériau de Référence étalonné par Pesée (MREP)
Bouteille contenant un mélange de dioxyde de carbone dans l'azote

Préparateur: AIR LIQUIDE ALPHAGAZ

Type de bouteille: B50 N° de bouteille: H2COYXR
N° d'identification: 9618439

Ce certificat comprend 3 pages

Date d'émission: 27.11.2020

Le Responsable du Laboratoire d'Etalonnage Accrédité

LA REPRODUCTION DE CE CERTIFICAT N'EST AUTORISEE QUE
SOUS LA FORME DE FAC-SIMILE PHOTOGRAPHIQUE INTEGRALAIR LIQUIDE FRANCE INDUSTRIE, SOCIÉTÉ ANONYME AU CAPITAL DE 72.267.600 €
SIÈGE SOCIAL : 6, RUE COGNACQ-JAY, 75007 PARIS - RCS PARIS 314 119 504
cofrac
ETALONNAGE

IV. RESULTAT DE L'ETALONNAGE

 MATERIAU DE REFERENCE ETALONNE
 PAR PESEE

9618439

Type de bouteille : B50

N° : H2C0YXR

COMPOSITION MOLAIRE	RESULTAT DE L'ETALONNAGE (mol. mol ⁻¹)	INCERTITUDE ABSOLUE (mol. mol ⁻¹)	INCERTITUDE RELATIVE SUR LA GRANDEUR MESUREE
CO2 / CO2 + N2	400,73.10 ⁻⁶	0,61.10 ⁻⁶	1,5.10 ⁻³
GAZ DE COMPLEMENT:	AZOTE		

Etalonnage réalisé le : 18.11.2020

Par : JIMENEZ

- > "Les incertitudes élargies mentionnées sont celles correspondant à deux fois l'incertitude type composée."
- > "Les incertitudes types ont été calculées en tenant compte des différentes composantes d'incertitudes, étalons de référence, moyens d'étalonnage, pureté des matières premières, conditions d'environnement, contribution du mélange étalonné, répétabilité..."
- > "La délivrance d'un certificat d'étalonnage portant le logotype "COFRAC ETALONNAGE" garantit le rattachement des résultats d'étalonnage au Système International d'unités (SI)."
- > "Le COFRAC est l'un des signataires de l'accord multilatéral EA (European Co-operation for Accreditation) de reconnaissance de l'équivalence des documents d'étalonnage."

Fin de document

Air Liquide

ACCREDITATION N° 2.1949

Portée d'accréditation disponible sur www.cofrac.frAIR LIQUIDE FRANCE INDUSTRIE
LABORATOIRE D'ETALONNAGE ACCRÉDITÉ- Rue Gay Lussac
292 Mitry-Mory Cedex
Téléphone : 01 64 67 67 67 28891 ET0204
Télex : 0164676700*Dec 2020*
Perf 2
*1001,4 ppm***CERTIFICAT D'ETALONNAGE**

N° 1714/20P

DELIVRE A: AERECO
62 rue Lamirault
F-77615 MARNE LA VALLEE**MATERIAU DE REFERENCE ETALONNE**Désignation: Matériau de Référence étalonné par Pesée (MREP)
Bouteille contenant un mélange de dioxyde de carbone dans l'azote

Préparateur: AIR LIQUIDE ALPHAGAZ

Type de bouteille: B50 N° de bouteille: H52MR61
N° d'identification: 9618440

Ce certificat comprend 3 pages

Date d'émission: 19.11.2020

Le Responsable du Laboratoire d'Etalonnage Accrédité

D. VANNES

LA REPRODUCTION DE CE CERTIFICAT N'EST AUTORISÉE QUE
SOUS LA FORME DE FAC-SIMILE PHOTOGRAPHIQUE INTEGRALAIR LIQUIDE FRANCE INDUSTRIE, SOCIÉTÉ ANONYME AU CAPITAL DE 72.267.600 €
SIEGE SOCIAL: 6, RUE COGNACQ-JAY, 75007 PARIS - RCS PARIS 314 119 504

IV. RESULTAT DE L'ETALONNAGE

MATERIAU DE REFERENCE ETALONNE
PAR PESEE

9618440

Type de bouteille : B50

N° : H52MR61

COMPOSITION MOLAIRE	RESULTAT DE L'ETALONNAGE (mol. mol ⁻¹)	INCERTITUDE ABSOLUE (mol. mol ⁻¹)	INCERTITUDE RELATIVE SUR LA GRANDEUR MESUREE
CO2 / CO2+N2	1001,4.10 ⁻⁶	1,5.10 ⁻⁶	1,5.10 ⁻³
GAZ DE COMPLEMENT:	AZOTE		

Etalonnage réalisé le : 17.11.2020

Par : JIMENEZ

- > "Les incertitudes élargies mentionnées sont celles correspondant à deux fois l'incertitude type composée."
- > "Les incertitudes types ont été calculées en tenant compte des différentes composantes d'incertitudes, étalons de référence, moyens d'étalonnage, pureté des matières premières, conditions d'environnement, contribution du mélange étalonné, répétabilité..."
- > "La délivrance d'un certificat d'étalonnage portant le logotype "COFRAC ETALONNAGE" garantit le raccordement des résultats d'étalonnage au Système International d'unités (SI)."
- > "Le COFRAC est l'un des signataires de l'accord multilatéral EA (European Co-operation for Accreditation) de reconnaissance de l'équivalence des documents d'étalonnage."

Fin de document

AIR LIQUIDE FRANCE INDUSTRIE
LABORATOIRE D'ETALONNAGE ACCRÉDITÉ1 - Rue Gay Lussac
7292 Mitry-Mory Cedex
Téléphone : 01 64 67 67 67 29046 ET0361
Télécopie : 01 64 67 67 00*Pesée 2
1709,7 ppm***CERTIFICAT D'ETALONNAGE**

N° 0277/21P

DELIVRE A: AERECO
62 rue Lamirault
F-77615 MARNE LA VALLEE

MATERIAU DE REFERENCE ETALONNE

Désignation: Matériau de Référence étalonné par Pesée (MREP)
Bouteille contenant un mélange de dioxyde de carbone dans l'azote

Préparateur: AIR LIQUIDE ALPHAGAZ

Type de bouteille: B50 N° de bouteille: H4HUK7M
N° d'identification: 9624688

Ce certificat comprend 3 pages

Date d'émission: 16.02.2021

Le Responsable du Laboratoire d'Etalonnage Accrédité

LA REPRODUCTION DE CE CERTIFICAT N'EST AUTORISEE QUE
SOUS LA FORME DE FAC-SIMILE PHOTOGRAPHIQUE INTEGRAL**J.ROBARDET**AIR LIQUIDE FRANCE INDUSTRIE, SOCIÉTÉ ANONYME AU CAPITAL DE 72.267.600 €
SIÈGE SOCIAL : 6, RUE COGNACQ-JAY, 75007 PARIS - RCS PARIS 314 119 504

IV. RESULTAT DE L'ETALONNAGE

 MATERIAU DE REFERENCE ETALONNE
 PAR PESEE

9624688

Type de bouteille : B50

N° : H4HUK7M

COMPOSITION MOLAIRE	RESULTAT DE L'ETALONNAGE (mol. mol ⁻¹)	INCERTITUDE ABSOLUE (mol. mol ⁻¹)	INCERTITUDE RELATIVE SUR LA GRANDEUR MESUREE
CO2 / CO2+N2	1709,7.10 ⁻⁶	2,6.10 ⁻⁶	1,5.10 ⁻³
GAZ DE COMPLEMENT:	AZOTE		

Etalonnage réalisé le : 09.02.2021

Par : FOURNIER

- > "Les incertitudes élargies mentionnées sont celles correspondant à deux fois l'incertitude type composée."
- > "Les incertitudes types ont été calculées en tenant compte des différentes composantes d'incertitudes, étalons de référence, moyens d'étalonnage, pureté des matières premières, conditions d'environnement, contribution du mélange étalonné, répétabilité..."
- > "La délivrance d'un certificat d'étalonnage portant le logotype "COFRAC ETALONNAGE" garantit le raccordement des résultats d'étalonnage au Système International d'unités (SI)."
- > "Le COFRAC est l'un des signataires de l'accord multilatéral EA (European Co-operation for Accreditation) de reconnaissance de l'équivalence des documents d'étalonnage."

Fin de document

Annexe E : Certificat d'étalonnage de l'hygromètre à miroir

 CONSTRUCTEUR WWW.C2AI.COM Depuis 1990	Siège et agence LYON	Parc des Pivoles - 9 rue de Catalogne - 69153 DECINES Cedex Tel 04 72 15 88 70 - Fax 04 78 26 41 35 - contact@c2ai.com		
	Agence ÎLE DE FRANCE 86-114 av. Louis Roche Swen Bâtiment C - Hall 202 92230 GENNEVILLIERS Tel 01 47 91 71 79 - Fax 01 47 99 56 03 pans@c2ai.com	Agence EST ZAC du Pont d'Aspach 7 rue DMC 68520 BURNHHAUPT-LE-HAUT Tel 03 89 31 10 24 - Fax 03 89 52 84 89 mulhouse@c2ai.com	Agence SUD OUEST ZI Bernard Moulinet Rue La Jourdaine 24700 MONTPON Tel 05 53 82 38 28 - Fax 05 53 80 21 27 sudouest@c2ai.com	Services EXPORT Parc des Pivoles 9 rue de Catalogne 69153 DECINES Cdx Tel 04 72 15 83 87 export@c2ai.com

2 départements à votre service : Instrumentation, mesure, contrôle / Régulation des fluides, vannes

CERTIFICAT D'ETALONNAGE
CALIBRATION CERTIFICATE

N° CE-MTR-LC-H-2005201M
HYGROMETRIE / HYGROMETRY

DELIVRE A :
ISSUED FOR

AERECO
62 rue de Lamirault Collégien
77615 Marne La Vallée

INSTRUMENT ETALONNE / CALIBRATED INSTRUMENT

Désignation : **Chaîne de mesure composé de :**
Designation - OPTISONDE/1111H / T100 / cable3m.

Réf. : OPTISONDE 1111H/T100

Type : OPTISONDE 1111H/T100
Type

N° de série : N° 0090713
Serial number

Numéro d'inventaire : 3404
Inventory number


Constructeur : C2AI/GE
Manufacturer

Ce certificat comprend : 2 Pages.
This certificate includes Pages.

Date d'émission : 25/05/2020
Date of issue

LE RESPONSABLE DU CONTROLE
THE HEAD OF CONTROL
A.HAÏCHA

LE DIRECTEUR GENERAL
THE GENERAL MANAGER
G.MARCHAND



Ce document est en tout point conforme à la norme NFX 07-012
La reproduction de ce certificat n'est autorisée que sous la forme de fac-similé photographique intégral.
This certificate may not be reproduced other than in full by photographic process

Page 1 sur 2

CERTIFICAT D'ETALONNAGE
CALIBRATION CERTIFICATE

N° CE-MTR-LC-H-2005201M
HYGROMETRIE / HYGROMETRY

1. Caractéristiques de l'appareil à étalonner / Characteristics of the device to be calibrated

Echelle / Range : 0 à 100 % Uw

Résolution / Resolution : 0,01 %

2. Méthode d'étalonnage / Method of calibration :

Les points d'étalonnage sont réalisés par comparaison avec les étalons de travail suivant :
The points of calibration are realized compared with the standards of following work :

Un hygromètre à condensation, OPTIDEWST1
SN/130366 + OPTIDEWST1 SN/130334,
échelle : 0 à 100 Uw(%)

A condensation hygrometer, OPTIDEWST1
SN/130366 + OPTIDEWST1 SN/130334, range : 0 to
100 Uw(%)

N° d'étalon :
N° of standard

ER-LB-H-002

Raccordement DAKKS N°F46466

3. Conditions d'environnement / Conditions of environment :

Température ambiante / Ambient temperature : 22,46 °C^{+/-2°C}
Pression Atmosphérique / Atmospheric pressure : 1024 hPa^{+/-1hPa}
Humidité relative / Relative humidite : 46.7 Uw(%)^{+/-5Uw(%)}

4. Résultats des mesures / Results of the measures :

N° de l'essai <i>N° of the test</i>	Valeur étalon <i>Value standard</i> (% Uw) Vréf	Valeur lue <i>Read value</i> (% Uw) Vi	Ecart absolu <i>Absolute distance</i> Vréf - Vi	Incertitude d'étalonnage <i>Uncertainty of calibration</i> +/- (% Uw)	N° de l'étalon <i>N° of the standard</i>
LCH-1912121M					
1	20,11	20,34	0,23	1,0	ER-LB-H-002
2	29,98	30,51	0,53	1,0	ER-LB-H-002
3	49,93	50,38	0,45	1,0	ER-LB-H-002
4	65,02	65,42	0,40	1,0	ER-LB-H-002
5	80,11	80,74	0,63	1,0	ER-LB-H-002

Vréf : valeur lue sur l'appareil étalon / Vi : valeur lue sur l'appareil du client.

L'unité de l'incertitude de la mesure est exprimée dans la même unité que Vréf. Les incertitudes mentionnées prennent en comptes les incertitudes de l'étalonnage (étalon de référence, moyen, condition d'environnement, ...)

Étalonnage effectué le : 25/05/2020 par Emmanuel HERTZOG
Calibrated made on the by

Ce document est en tout point conforme à la norme NFX 07-012
La reproduction de ce certificat n'est autorisée que sous la forme de fac-similé photographique intégral.
This certificate may not be reproduced other than in full by photographic process

Page 2 sur 2



Siège et agence LYON

Parc des Pivoles - 9 rue de Catalogne - 69153 DECINES Cedex
Tel 04 72 15 88 70 - Fax 04 78 26 41 35 - contact@c2ai.comAgence ÎLE DE FRANCE
86-114 av. Louis Roche Swen
Bâtiment C - Hall 202
92230 GENNEVILLIERS
Tel 01 47 91 71 79 - Fax 01 47 96 58 03
paris@c2ai.comAgence EST
ZAC du Pont d'Aspach
7 rue DMC
69520 BURNIHAUPT-LE-HAUT
Tel 03 86 31 10 24 - Fax 03 89 52 64 89
mulhouse@c2ai.comAgence SUD OUEST
ZI Bernard Moulinet
Rue La Jourdaine
24700 MONTPON
Tel 05 53 62 38 28 - Fax 05 53 80 21 27
sudouest@c2ai.comService EXPORT
Parc des Pivoles
9 rue de Catalogne
69153 DECINES Cdx
Tel 04 72 15 63 67
export@c2ai.com

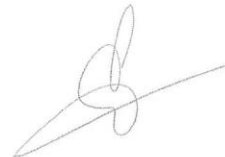
2 départements à votre service : Instrumentation, mesure, contrôle / Régulation des fluides, vannes

CERTIFICAT D'ETALONNAGE
CALIBRATION CERTIFICATE**N° CE-MTR-LC-T-2005221M**
TEMPERATURE / TEMPERATUREDELIVRE A :
ISSUED FOR**AERECO**
62 rue de LAMIRAULT COLLEGIEN
77615 MARNE LA VALLEE

INSTRUMENT ETALONNE / CALIBRATED INSTRUMENT

Désignation : **Chaîne de température composés :**
Designation - OPTISONDE TABLE/ 1111H / T100

Réf. : OPTISONDE / 1111H / T100

Type : **OPTISONDE / 1111H / T100**
TypeNuméro de série : **N° 0090713**
Serial numberNuméro d'inventaire : **N° 3404**
Inventory numberConstructeur : **C2AI/GE**
ManufacturerCe certificat comprend : **2 Pages.**
This certificate includes Pages.Date d'émission: **25/05/2020**
Date of issueLE RESPONSABLE DU CONTROLE
THE HEAD OF CONTROL
A.HAÏCHALE DIRECTEUR GENERAL
THE GENERAL MANAGER
G.MARCHAND

Ce document est en tout point conforme à la norme NFX 07-012
La reproduction de ce certificat n'est autorisée que sous la forme de fac-similé photographique intégral.
This certificate may not be reproduced other than in full by photographic process

Page 1 sur 2


Siège et agence LYON

 Parc des Pivoles - 9 rue de Catalogne - 69153 DECINES Cedex
 Tel 04 72 15 88 70 - Fax 04 78 26 41 35 - contact@c2ai.com

 Agence ILE DE FRANCE
 85-114 av. Louis Roche Swen
 Bâtiment C - Hall 202
 92230 GENNEVILLIERS
 Tel 01 47 91 71 79 - Fax 01 47 96 58 03
 paris@c2ai.com

 Agence EST
 ZAC du Pont d'Aspach
 7 rue DMC
 69520 BURNHHAUPT-LE-HAUT
 Tel 03 86 31 10 24 - Fax 03 86 52 94 89
 mulhouse@c2ai.com

 Agence SUD OUEST
 ZI Bernard Moulinet
 Rue La Jourdaine
 24700 MONTPON
 Tel 05 53 62 38 28 - Fax 05 53 80 21 27
 sudouest@c2ai.com

 Service EXPORT
 Parc des Pivoles
 9 rue de Catalogne
 69153 DECINES Cdx
 Tel 04 72 15 83 67
 export@c2ai.com

2 départements à votre service : Instrumentation, mesure, contrôle / Régulation des fluides, vannes

CERTIFICAT D'ETALONNAGE
 CALIBRATION CERTIFICATE

N° CE-MTR-LC-T-2005221M
 TEMPERATURE / TEMPERATURE

 DELIVRE A :
 ISSUED FOR

AERECO
 62 rue de LAMIRAULT COLLEGIEN
 77615 MARNE LA VALLEE

INSTRUMENT ETALONNE / CALIBRATED INSTRUMENT
Désignation : Chaîne de température composés :
 Designation - OPTISONDE TABLE/ 1111H / T100

Réf. : OPTISONDE / 1111H / T100

Type : OPTISONDE / 1111H / T100
 Type

Numéro de série : N° 0090713
 Serial number

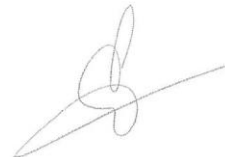
Numéro d'inventaire : N° 3404
 Inventory number

Constructeur : C2AI/GE
 Manufacturer

Ce certificat comprend : 2 Pages.
 This certificate includes Pages.

Date d'émission: 25/05/2020
 Date of issue

LE RESPONSABLE DU CONTROLE
 THE HEAD OF CONTROL
A.HAÏCHA
LE DIRECTEUR GENERAL
 THE GENERAL MANAGER
G.MARCHAND



Ce document est en tout point conforme à la norme NFX 07-012
 La reproduction de ce certificat n'est autorisée que sous la forme de fac-similé photographique intégral.
 This certificate may not be reproduced other than in full by photographic process

Page 1 sur 2

Résumé

L'objectif premier de la phase laboratoire a été de caractériser l'état visuel et les performances des produits qui ont été récupérés en 2020, après 13 ans de fonctionnement sur site. Malgré l'encrassement des bouches d'extraction et le vieillissement de certains sous-ensembles, le tissu hygroréglable, qui est l'élément central de ce type de ventilation, présente des performances quasi identiques à celles de 2007. Cette observation est valable pour les bouches d'extraction et les entrées d'air de toutes les pièces. Cette phase était également l'occasion de caractériser les capteurs CO₂ et THR après 13 ans de vieillissement en condition réelle d'utilisation. Le principe d'auto-calibration des capteurs CO₂ ne semble pas adapté à tous les types d'occupation de logements. Les capteurs THR restent dans leurs spécifications seulement si la dérive annoncée par le fabricant est prise en compte.

Le second objectif de la phase laboratoire est de remettre en état (maintenance et étalonnage) les unités de ventilation et les capteurs en vue de la phase de réinstallation des équipements pour le monitoring de Performance 2. Quinze appartements ont été préparés.