

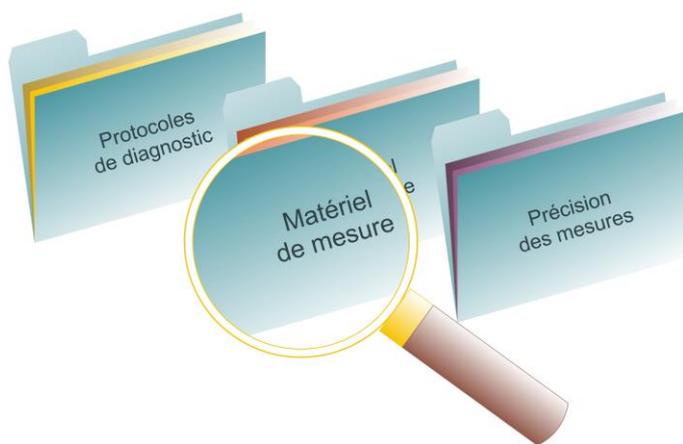


Projet PROMEVENT 2014-2017

Amélioration des Protocoles
de mesure des systèmes
de ventilation résidentiels

Rapport bibliographique État des lieux des protocoles et du matériel utilisés pour caractériser les débits de ventilation

Version publique



Septembre 2017



ADEME - Appel à projets Recherche (APR)

« Vers des bâtiments responsables à horizon 2020 » - Edition 2014

Ce document est extrait des travaux réalisés dans le cadre du projet PROMEVENT coordonné par le CEREMA. Les personnes ayant contribué à ce projet sont présentées ci-dessous :

Partenaires du projet :



Cerema - Direction Territoriale Centre-Est (Pilote du projet)
Adeline (Bailly) Mélois, Cédric Lentillon, Sylvain Berthault, Florian Sementa, Camille Patard, Pierre Planet, Sylvie Giraud, Pascal Pelte, Romuald Jobert



CETIAT
Isabelle Caré, Laure Mouradian



ALLIE'AIR
Anne-Marie Bernard, Gabrielle Perez, Julien Boxberger, Samuel Evangelista



CETii
Gilles Frances



PBC
Pierre Barles



Effinergie
Sébastien Delmas, Angélique Sage

Avec la collaboration de :



ICEE
François-Rémi Carrié



PLEIAQ
Valérie Leprince

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

Appel à Projets Recherche

"Vers des bâtiments responsables à horizon 2020"

Édition 2014

PROMEVENT

Amélioration des Protocoles de Mesures des systèmes de Ventilation résidentiels

État des lieux des protocoles et du matériel utilisés pour caractériser les débits de ventilation

Rapport bibliographique

Septembre 2015

Date	Version	Auteurs	Commentaires
01/2015	V1.0	Laure Mouradian (CETIAT) François Isabelle Caré (CETIAT) Rémi Carrié (ICEE) Adeline Mélois (CEREMA) Valérie Leprince (PLEIAQ) Gabrielle Perez (ALLIE'AIR)	Rapport interne du projet Projet Promevent – Diffusion restreinte
09/2017	V. publique	Isabelle Téjou-LeToulouse (CEREMA) Adeline Mélois (CEREMA)	Anonymisation et finalisation de la version publique

Récapitulatif de l'étude

Projet :	Projet PROMEVENT
Responsable :	CEREMA
Rédacteurs :	Laure MOURADIAN (CETIAT) Isabelle Caré (CETIAT) François Rémi Carrié (ICEE) Adeline Bailly (CEREMA) Valérie Leprince (PLEIAQ) Gabrielle Perez (ALLIE'AIR) Isabelle Téjou-LeToulouse (CEREMA)
Mots clés :	Ventilation, débit, étanchéité à l'air, réseau aéraulique, mesure, diagnostic visuel, protocole, appareil de mesure, incertitude, étalonnage
Objectif :	<ul style="list-style-type: none">• Identifier les méthodes de diagnostic en France et à l'international et les risques d'incertitude ;• Identifier les différentes technologies et les différents matériels utilisés dans la mesure de débit et la mesure d'étanchéité des réseaux ;• Recenser les études réalisées et en cours s'intéressant à la fiabilité des protocoles de diagnostic des systèmes de ventilation et notamment de la mesure des débits de ventilation.

Résumé

L'état des lieux des protocoles et du matériel utilisés pour caractériser les débits de ventilation a été réalisé afin d'identifier :

- les méthodes de diagnostic et les matériels utilisés pour caractériser les performances des systèmes de ventilation ;
- les travaux existants sur leur fiabilité

La première partie de cette étude bibliographique avait pour objectif de recenser et analyser les chapitres concernant le contrôle de fonctionnement aux bouches (mesure des débits de ventilation, mesure de pression) et la mesure de l'étanchéité des réseaux ainsi que le diagnostic visuel dans les documents de référence utilisés pour caractériser les performances des systèmes de ventilation, en France et à l'international.

L'analyse porte également sur les documents de référence permettant de caractériser l'efficacité des systèmes de ventilation naturelle et des systèmes hybrides.

Ces documents de référence sont des référentiels de labels, des protocoles de campagnes de mesure, des guides de bonnes pratiques parmi lesquels on peut citer, de manière non exhaustive, Effinergie, HQE, CRC, ceux liés aux campagnes OQAI, la méthode DIAGVENT, les normes EN12599, PrEN16211, le référentiel d'inspection suédois (Boverket), ...

L'objectif de la deuxième partie de cet état de l'art était d'identifier les différentes technologies et les différents matériels utilisés dans la mesure de débit et la mesure d'étanchéité des réseaux. Il s'agit de deux catégories d'instruments distincts. Pour la mesure de débit aux terminaux, les modèles d'instruments sont nombreux. Ils peuvent être constitués d'un anémomètre thermique ou à hélice qui s'adapte sur un cône permettant de collecter le flux d'air au niveau du terminal ou être considérés comme un débitmètre à part entière tout en présentant la même fonctionnalité de collecte du flux d'air que le modèle précédent. Ils présentent tous une exactitude du même ordre de grandeur et diffèrent par l'adaptabilité ou pas à des géométries de terminal particulières. Les instruments permettant la mesure de l'étanchéité des réseaux sont constitués d'un ventilateur permettant de mettre en pression ou dépression le réseau et d'une mesure de débit, généralement par mesure de pression différentielle aux bornes d'un organe déprimogène. Les éléments permettant d'assurer la traçabilité au Système International d'Unités ne sont généralement pas fournis avec l'instrument lors de son achat.

Enfin, la troisième partie a été réalisée afin de recenser les études réalisées et en cours s'intéressant à la fiabilité des protocoles de diagnostics des systèmes de ventilation et notamment de la mesure des débits de ventilation.

Ce travail s'appuie notamment sur les travaux conduits dans les pays suivants : Belgique, France, Royaume-Uni, Suède, USA. Il recense les avantages/inconvénients des différents protocoles utilisés et analysés, les incertitudes attendues (si cette information est disponible), ainsi que leur applicabilité pour la vérification des performances des systèmes résidentiels. Les conférences et ateliers de l'AIVC attendus sur le sujet constitueront certainement une source d'information importante (<http://www.aivc.org/event/march-18-19-2014-aivc-workshop-quality-methods-measuring-ventilation-and-air-infiltration>).

Sommaire

Table des illustrations	1
Liste des tableaux	2
Avertissement	3
Introduction	4
1 Analyse des différents protocoles de diagnostic des performances des systèmes de ventilation	5
1.1 Bilan de la recherche de protocoles de diagnostics	5
1.1.1 Critères d'analyse	5
1.1.2 Descriptif global des méthodes référencées	5
1.1.3 Les systèmes de ventilation naturelle ou hybride	7
1.2 L'échantillonnage	7
1.2.1 Analyse globale des protocoles	7
1.2.2 L'échantillonnage selon la norme NF EN 12599	9
1.2.3 L'échantillonnage selon la norme NF EN 14134	10
1.2.4 L'échantillonnage des réseaux selon le FD E51-767:2014	11
1.2.5 Conclusions	11
1.3 Le diagnostic visuel	12
1.3.1 Description des contrôles visuels préconisés	12
1.3.2 Analyse et recommandations	14
1.4 Les mesures de débit ou de pression aux bouches	15
1.4.1 Description des protocoles de mesures de débit d'air	15
1.4.2 Encadrement des mesures : moyen de mesure, tolérances, incertitudes	16
1.4.3 Conclusions	19
1.5 Les mesures d'étanchéité des réseaux	20
1.5.1 Description des protocoles de mesures de débit d'air	20
1.5.2 Encadrement des mesures : moyen de mesure, tolérances, incertitudes	21
1.5.3 Conclusion	22
1.6 Conclusion de l'analyse des différents protocoles	22
2 Recensement et caractérisation des matériels de mesure utilisés	23
2.1 Bilan du recensement des instruments de mesure	23
2.1.1 Méthodologie	23
2.1.2 Synthèse de l'instrumentation recensée	23
2.2 Analyse des caractéristiques des instruments	24

2.2.1	Mesure de débit aux terminaux	24
2.2.2	Mesure de l'étanchéité des réseaux	25
2.3	Conclusion pour les appareils de mesure utilisés	25
3	Bibliographie sur la qualité des mesures de débit et d'étanchéité des réseaux	26
3.1	Mesure directe de débit aux bouches	26
3.1.1	Principe général	26
3.1.2	Débitmètre compensateur	26
3.1.3	Cônes et balomètres	27
3.1.4	Méthodes "alternatives"	27
3.2	Mesure de débit à l'aide d'un appareil déprimogène	28
3.3	Mesure de débit par exploration du champ de vitesses	28
3.4	Mesure de débit en conduit	28
3.5	Mesure de l'étanchéité à l'air des réseaux	29
3.5.1	Les mesures réalisées par le CEREMA sur la réplique en laboratoire d'un réseau de ventilation collectif	29
3.5.2	Les problèmes brièvement mentionnés concernant la fiabilité des mesures dans le rapport SAVE-DUCT	30
3.5.3	Correction des débits de fuite aux conditions normales de température et de pression	30
3.5.4	Choix de la section testée	30
3.6	Recommandations d'ordre technique pour généraliser les mesures de débit aux bouches et les mesures de perméabilité des réseaux	31
3.6.1	Mesure de débit aux bouches	31
3.6.2	Mesure de perméabilité des réseaux	32
3.7	Autres recommandations	33
3.7.1	La formation des mesureurs	33
3.7.2	La reconnaissance de compétence des mesureurs	33
3.7.3	L'équilibre entre l'auto-contrôle et le contrôle indépendant	33
3.7.4	Le suivi des performances du parc à grande échelle	34
3.7.5	L'autorisation des mesureurs	34
3.8	Conclusions et perspectives	34
4	Références bibliographiques	35

Table des illustrations

Figure 1 : Définition du nombre d'emplacements similaires - Extrait de la norme NF EN 12599.9	
Figure 2 : Règles d'échantillonnage extraites de la norme NF EN 12599 (2013)	10
Figure 3 : Incertitudes type de la méthode pour les mesures de débit à la bouche, Extrait du projet de norme PrEN 16211	18
Figure 4 : Incertitudes de mesures admissibles extraites de la norme NF EN 12599.....	19

Liste des tableaux

Tableau 1 : Liste des protocoles analysés en 2015.....	6
Tableau 2 : Les méthodes d'échantillonnage selon les protocoles	8
Tableau 3 : Description des inspections visuelles.....	12
Tableau 4 : Description des mesures aux bouches.....	15
Tableau 5 : Description des moyens de mesure de débit ou de pression	16
Tableau 6 : incertitudes et étalonnage des appareils de mesure de débit et pression	17
Tableau 7 : Description des mesures d'étanchéité des réseaux.....	20
Tableau 8 : Incertitudes et étalonnage des appareils de mesure de débit et pression.....	21
Tableau 9 : Liste des instruments identifiés pour la mesure de débit aux terminaux.....	23
Tableau 10 : Liste des instruments identifiés pour la mesure de l'étanchéité des réseaux	24

Avertissement

Copyright ©CEREMA

La reproduction et la diffusion de ce document dans son intégralité sous forme électronique ou papier sont libres. La reproduction et la diffusion de parties de ce document sont également libres sous réserve que la source soit clairement mentionnée sur les extraits.

Remerciements

Ce document constitue la valorisation d'un projet de recherche soutenu par l'ADEME et le MEDDE (DGALN/DHUP/QC). Ce projet fut coordonné par le Cerema dans le cadre de l'APR « Vers des bâtiments responsables à horizon 2020 ». Ce projet a été particulièrement soutenu par Pierre Deroubaix, chef de projet (ADEME), ainsi que Anne-Marie Soulier (MEDDE, DGALN DHUP).

L'auteur principal de ce document est le CETIAT avec les contributions de ALLIE'AIR, CEREMA, CETII, ICEE, PBC, PLEIAQ.

Introduction

Le projet PROMEVENT (2014-2017), co-financé par l'ADEME et le Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie, et piloté par le CEREMA, a pour objectif *l'amélioration des protocoles de mesure des systèmes de ventilation résidentiels* en proposant la rédaction d'un protocole de diagnostic des installations de ventilation mécanique (via notamment la mesure aux bouches et la mesure de l'étanchéité des réseaux aérauliques) qui assure une précision suffisante et une faisabilité technique et financière adaptée. Au-delà des aspects purement techniques de ces mesures et vérifications, la généralisation des mesures à réception implique que les protocoles soient indiscutables, d'autant que les conséquences d'une non-conformité en terme financier peuvent être très importantes.

Basé sur l'analyse des protocoles et des appareils de mesure existants, et la mise en pratique sur des installations réelles (3 bâtiments de logements collectifs et 14 maisons individuelles), le projet PROMEVENT a pour livrables principaux le protocole Promevent, ainsi que son guide d'accompagnement.

Le chapitre 1 de ce rapport référence les différentes méthodes de diagnostic qui existent en France et Europe et de les décrire de façon synthétique. Les points abordés concernent le contexte réglementaire ou volontaire du diagnostic ou de la mesure, les paramètres vérifiés, les protagonistes concernés, les risques d'incertitudes. Cette analyse a permis de choisir les méthodes à tester dans la première campagne de mesure in-situ du projet.

Le chapitre 2 recense les différentes technologies d'instruments de mesure disponibles sur le marché français pour la mesure du débit d'air aux terminaux et d'étanchéité des réseaux. À partir des documentations des constructeurs, les domaines d'utilisation et les performances des différents instruments et leurs éventuelles conditions d'étalonnage sont présentés et commentés.

Le chapitre 3, préalable au développement et à l'évaluation de nouveaux protocoles, recense et analyse les travaux existants en France et à l'étranger, avec une attention particulière sur la quantification des incertitudes et l'applicabilité des protocoles pour des systèmes résidentiels.

1 Analyse des différents protocoles de diagnostic des performances des systèmes de ventilation

1.1 Bilan de la recherche de protocoles de diagnostics

1.1.1 Critères d'analyse

Le domaine d'application du projet PROMEVENT 2014-2017 concerne les systèmes de ventilation mécanique des bâtiments résidentiels. L'état de l'art des protocoles existants a cependant été étendu à tous les types de systèmes de ventilation des bâtiments, mécanique, naturelle ou hybride. Les renseignements utiles dans le cadre de PROMEVENT concernent :

- le cadre général d'utilisation de la méthode (Type de ventilation, Domaine d'application, Pays concernés, Utilisation dans un cadre réglementaire, volontaire ou libre, Qui peut effectuer le diagnostic ?, à quel moment ?, Type de contrôles) ;
- le descriptif des contrôles à effectuer (échantillonnage, description des contrôles, matériel de mesure préconisé) ;
- le descriptif de l'analyse à la conformité des installations, si elle existe.

Dans le cadre du projet PROMEVENT, les principaux axes d'analyse des protocoles existants concernent :

- l'inspection visuelle des systèmes de ventilation ;
- les mesures de débits d'air ou de pression de fonctionnement aux niveaux des bouches ;
- les mesures d'étanchéité des réseaux de ventilation.

1.1.2 Descriptif global des méthodes référencées

16 protocoles de diagnostics des installations de ventilation, normes françaises ou européennes ont été identifiés dans le cadre de la sous-tâche 1.1 du projet PROMEVENT et sont présentés dans le Tableau 1.

Les protocoles identifiés décrivent pour la plus grande majorité un diagnostic visuel des installations. Les mesures de débits d'air ou pression de fonctionnement ou d'étanchéité des réseaux ne font pas tous l'objet de référentiels précis tant au niveau de l'échantillonnage que du matériel de mesure à utiliser.

Le DTU 68.3 est un document de référence pour les règles de conception et d'installation des systèmes de ventilation mécanique en France. Ce document normatif consacre son chapitre 7 aux essais et vérifications en fin d'installation : contrôle de bon achèvement, contrôles fonctionnels, et mesures fonctionnelles. Ces contrôles sont toutefois très peu détaillés et nous avons choisi dans le cadre de ce projet de nous intéresser aux protocoles et textes normatifs proposant un cadre plus précis pour le diagnostic des installations de ventilation.

Tableau 1 : Liste des protocoles analysés en 2015

	Nom du protocole	Type de ventilation	Domaine d'application	Type de contrôle	Pays
1	CRC : Protocole du Contrôle du respect des Règles de Construction / Guide de contrôle de la ventilation - Méthodologie - avril 2014 (version provisoire)	Tout type de ventilation	Bâtiments résidentiels et tertiaires	Diagnostic visuel, Mesures aux bouches	France
2	OQAI (2013) : Protocole d'examen visuel des composants de ventilation et de mesure de débit d'air et de pression aux bouches de soufflage et d'extraction, février 2014	Ventilation mécanique simple flux (SF) auto, hygro et double flux (DF)	- Bâtiments à usage d'habitation et de bureaux - Etablissements d'accueil de la petite enfance et d'enseignement	Diagnostic visuel Mesures aux bouches	France
3	Effinergie : Protocole de contrôle des systèmes de ventilation des bâtiments demandant le label effinergie+	Pas de précision mais dans le contenu, systèmes mécaniques SF (auto et hygro) et DF ciblés	Tout type de bâtiment	Contrôle visuel Mesure étanchéité des réseaux Mesure des débits (<i>recommandé</i>)	France
4	Domestic Ventilation Compliance Guide , HM Gouvernement, 2010 Edition	Pour les 4 systèmes présents en UK : Ventilation naturelle, ventilation intermittente et répartie, ventilation mécanique SF extraction, ventilation DF.	Résidentiel	Diagnostic visuel, Vérifications fonctionnelles Mesures de débits (<i>sauf ventilation naturelle</i>)	UK
5	STS-P 75-1 : Systèmes pour la ventilation hygiénique dans les applications résidentielles	Pour les 4 systèmes en Belgique (A, B, C, D) : ventilation naturelle, simple flux par extraction, simple flux par insufflation et double flux	Résidentiel	Diagnostic visuel, Mesure étanchéité réseau, Mesures de débit aux bouches, ...	Belgique
6	DIAGVENT - Niveau 2 : Diagnostic des Installations de Ventilation dans les bâtiments résidentiels et tertiaires - Guide pratique ADEME-CETIAT-PBC	Ventilation mécanique SF, DF	Résidentiel et tertiaire	Contrôles visuels, Mesures aux caissons (et en conduits), Mesures aux bouches	France
7	BOVERKET - Méthode suédoise (OVK) "Checking the performance of ventilation systems"	Tous les systèmes de ventilation, y compris la ventilation naturelle	Résidentiel et tertiaire. (hors bâtiments agricoles, industriels,...)	Contrôle documentation Contrôles visuels Mesures aux bouches et aux caissons	Suède
8	NF EN 12599 (2013) : Procédures d'essai et méthodes de mesure pour la réception des installations de ventilation et de climatisation installées	Simple flux et double flux hors système autoréglable et hygrorégable (non traité)	Tout type de bâtiment	Inspection visuelle, mesure du débit d'air, mesure de l'étanchéité du réseau, mesurage de la puissance électrique du ventilateur, ...	Europe
9	PrEN16211 (2014) : Mesurages de débit d'air dans les systèmes de ventilation — Méthodes	Simple flux et double flux hors système autoréglable et hygrorégable (non traité)	Tout type de bâtiment	Mesures en conduit et au niveau des terminaux	Europe
10	NF EN 14134 (2004) : Essais de performances et contrôles d'installation des systèmes de ventilation résidentiels	Ventilation mécanique et naturelle	Résidentiel	Inspection visuelle - Mesure de débit et sens du débit - Etanchéité des réseaux, ...	Europe
11	NF EN 15240 (2007) : Lignes directrices pour l'inspection des systèmes de conditionnement d'air	Systèmes de conditionnement d'air dans les bâtiments aux fins de rafraîchissement ou de chauffage des locaux	Tout type de bâtiment	Diagnostic visuel - Mesures complémentaires	Europe
12	NF EN 15239 (2007) : Lignes directrices pour l'inspection des systèmes de ventilation	Ventilation mécanique et naturelle	Tout type de bâtiment	Diagnostic visuel - Mesures complémentaires	Europe
13	FD E51-767 (2014) : Ventilation des bâtiments - Mesures d'étanchéité à l'air des réseaux	Tout type de ventilation	Tout type de bâtiment	Etanchéité réseaux	France
14	NP 1037-1 et NP 1037-2 "Ventilation et évacuation des produits de combustion des endroits avec appareils à gaz - Partie 1: Bâtiments d'habitation. Ventilation naturel - Partie 2: Ventilation mécanique"	Ventilation mécanique, et ventilation naturelle	Bâtiments d'habitation	Étanchéité réseaux Mesure débits aux bouches	Portugal
15	Protocole VIA QUALITE	Ventilation mécanique simple et double flux	Maisons individuelles BBC	Contrôle visuel Mesure étanchéité des réseaux Mesures des débits	France
16	Guide de la ventilation naturelle et hybride VNHY (AVEM'S)	Ventilation naturelle et hybride	Habitat collectif et individuel	Contrôle visuel et Mesure de débits (<i>en régime forcé</i>)	France

1.1.3 Les systèmes de ventilation naturelle ou hybride

La majorité des protocoles répertoriés traite des systèmes de ventilation mécanique et des systèmes de ventilation naturelle et hybride.

L'analyse des protocoles qui identifient particulièrement les systèmes de ventilation naturelle ou hybride montre que :

- pour le fonctionnement en ventilation naturelle, l'inspection visuelle uniquement s'applique ;
- pour le fonctionnement en mode hybride, les protocoles sont similaires à ceux d'une ventilation mécanique ; dans ce cas une attention particulière sera nécessaire pour le choix du matériel de mesure qui ne doit pas perturber le fonctionnement en basse pression de l'assistance mécanique.

Les matériels de mesures de pression devront avoir des plages de mesure étalonnées (correspondant à des incertitudes de mesures les plus faibles possibles) différentes pour des systèmes de ventilation mécanique "classiques" ou pour les systèmes de ventilation naturelle ou hybride.

Pour ces raisons, la suite du projet PROMEVENT, qui a consisté à tester puis à améliorer des protocoles de mesure sur des bâtiments d'habitation pourvus de systèmes de ventilation mécanique ne peut pas être extrapolée de façon systématique aux systèmes de ventilation naturelle ou hybride.

Pour ces systèmes de ventilation naturelle ou hybride, les diagnostics pourront s'appuyer sur le guide Ventilation Naturelle et Hybride, issu d'un projet multipartenaires et piloté par l'association Avem's, ainsi que sur les normes européennes NF EN 14134 et NF EN 15239.

1.2 L'échantillonnage

1.2.1 Analyse globale des protocoles

L'échantillonnage des bâtiments ou des composants à tester est un enjeu important pour la représentativité du niveau de qualité attendu. Son impact économique n'est pas à sous-estimer pour la mise en œuvre du protocole et son appropriation par les différents acteurs de la construction. Les règles d'échantillonnage ne sont décrites que dans les protocoles dédiés à des campagnes de mesures de grande étendue ou à des bâtiments résidentiels collectifs ou tertiaires susceptibles de comporter des éléments similaires en grand nombre.

Tableau 2 : Les méthodes d'échantillonnage selon les protocoles

	Nom du protocole	Échantillonnage préconisé
1	CRC	<p>Choix du bâtiment : - 1 ou 2 bâtiments pour l'opération : 1 bâtiment contrôlé (<i>le plus représentatif si même usage principal, bâtiment correspondant à l'usage principal de l'opération si usages principaux différents</i>) - 3 à 5 bâtiments pour l'opération : 2 bâtiments contrôlés (<i>choix obligatoire du bâtiment le plus représentatif, choix libre pour les autres</i>) - 6 bâtiments et plus : 3 bâtiments contrôlés (<i>choix obligatoire du bâtiment le plus représentatif, choix libre pour les autres</i>)</p> <p>Choix logements en immeuble collectif : - Moins de 15 logements : au moins 3 logements contrôlés - Plus de 15 logements : au moins 4 logements contrôlés <i>En priorité, 1 logement dans le niveau le plus bas (généralement le plus éloigné du groupe de ventilation), 1 logement au dernier niveau (au plus près du groupe), un logement intermédiaire</i> + typologies variées et représentatives de l'immeuble + de préférence, sur les mêmes colonnes de ventilation</p>
2	OQAI	<p>Résidentiel : (uniquement pour le collectif, sinon 1 maison = 1 logement) - protocole de base : 2 logements = 1 au RDC et 1 au dernier étage (si 1 seul possible, prendre le RDC) - protocole complémentaire : autres logements en plus aux niveaux intermédiaires, choix aléatoire avec variation exposition rue/cour et nord/sud <i>Dans les 2 cas, l'inspection et les mesures se font sur chaque logement entier</i></p>
3	Effinergie	<p>Maisons individuelles groupées : règles du GA 50-784 (3 maisons choisies en fonction des linéaires de liaisons déperditives) ou les maisons ayant le plus de bouches (extraction et soufflage) Logements collectifs : règle du GA 50-784 (3 logements si total ≤ 30 ; 6 logements si total >30 ; choix en fonction des linéaires de liaisons déperditives) Échantillonnage des réseaux possible pour les logements collectifs et le tertiaire selon de FD E51-767</p>
4	Compliance Guide UK	Pas d'échantillonnage préconisé
5	STS-P 75-1 Belgique	Pas d'échantillonnage préconisé
6	DIAGVENT - Niveau 2	Si le champ d'investigation n'est pas précisé par le donneur d'ordre, alors un échantillonnage est préconisé mais il est laissé à l'appréciation (expérience) du diagnostiqueur qui doit justifier de son choix (ex. un étage sur quatre d'un immeuble, une branche sur deux d'un réseau, cinq chambres sur vingt d'un hôtel, deux pavillons sur cinq d'un lotissement, etc.) en fonction de la nature du bâtiment et du (ou des) système(s) de ventilation en place.
7	BOVERKET Suède (OVK)	Pas de précision... (à l'appréciation de l'inspecteur)
8	NF EN 12599	Calcul de l'échantillonnage selon 4 niveaux possibles, décrits dans l'annexe C (normative) et référencé en § 0 de ce rapport
9	PrEN16211	sans objet
10	NF EN 14134	Pour un système avec 1 seul logement, contrôle et mesures fonctionnelles effectuées sur l'ensemble du logement. Pour plusieurs logements construits de façon identique, faire un échantillonnage selon NF EN 12599 et, pour les mesures fonctionnelles ajouter les cas les plus défavorables en débit et en acoustique ; voir le §.1.2.3 de ce rapport.
11	NF EN 15240	Sans objet
12	NF EN 15239	Cf Annexe C de la norme (informative) : toutes les pièces de 1 appartement sur 10 en logement ; 10% des pièces ventilées de chaque caisson en tertiaire
13	FD E51-767 :2014	En habitat individuel, l'intégralité du réseau est testé. En habitat collectif et en tertiaire, échantillonnage selon critères issus de la NF EN 12237 complétés et référencés en § 0 de ce rapport.
14	NP 1037-2 (P)	Non renseigné
15	VIA QUALITE	Pas d'échantillonnage, contrôle systématique de toutes les bouches de chaque logement choisi.
16	Guide VNHY	Non renseigné

1.2.2 L'échantillonnage selon la norme NF EN 12599

La norme NF EN 12599 s'intitule "Procédures d'essai et méthodes de mesure pour la réception des installations de conditionnement d'air et de ventilation". Elle constitue de ce fait une référence normative intéressante. Le consensus requis dans ces groupes de travail européens aboutit à rédiger de nombreuses recommandations qui sont à adapter ensuite à un niveau national.

L'échantillonnage est basé sur la définition au préalable de "paramètres et emplacements similaires". Les emplacements similaires sont des parties des bâtiments (zones) ou des composants du système (ventilateurs, bouches d'air, conduits, etc.) dont les fonctions sont du même type et impliquant des actions du système du même ordre de grandeur. Les paramètres sont des composants du système ou des grandeurs physiques à mesurer (pression, débit). La détermination du nombre initial d'éléments similaires est présentée dans la Figure 1. Ces éléments ne sont pas strictement identiques. Ainsi dans un même bâtiment de logements, n peut être la somme des bouches d'extraction de type hygroréglables bi-débit en cuisine.

C.3 Détermination du nombre total n d'emplacements similaires

Pour que des systèmes, des éléments d'un bâtiment ou des composants soient considérés comme similaire, il n'est pas nécessaire qu'ils soient identiques ni que leurs paramètres aient des valeurs identiques (nominales ou effectives), par exemple tous les diffuseurs d'air du même type utilisés dans des pièces de taille comparable et de même utilité sont réputés être des emplacements similaires pour le mesurage des débits d'air.

Si la conception du système maintient un paramètre à la même valeur en un certain nombre d'emplacements similaires, un seul emplacement peut être pris en considération. Si, par exemple, la température de l'air fourni est contrôlée seulement par zone, elle peut être mesurée à un seul emplacement dans chaque zone. Les emplacements sont donc jugés similaires ou non, séparément pour chaque paramètre donné et en fonction de la conception et des commandes du système.

Dans la mesure où un système a été installé au même moment par des personnes travaillant d'une manière similaire, le nombre total d'emplacements similaires identifiés dans le bâtiment doit être pris comme nombre n même si des sous-systèmes similaires peuvent être identifiés dans le système.

Par exemple, si un bâtiment de 10 étages possède un système de conditionnement d'air séparé pour chaque étage, chacun d'eux ayant 20 diffuseurs, le calcul doit reposer sur $n= 200$ diffuseurs.

Figure 1 : Définition du nombre d'emplacements similaires - Extrait de la norme NF EN 12599

Le nombre d'éléments à tester, appelé p est calculé par une formule de type $p = \alpha \cdot n^\beta$ dans laquelle α et β dépendent du niveau d'inspection souhaité, qui doit être contractualisé au préalable dans le contrat d'installation (Figure 2). Le niveau A correspond au minimum calculé, et le niveau D correspond à la mesure de la totalité des éléments. Le nombre d'élément à tester est identique pour les contrôles et les mesures fonctionnelles.

Note : L'échantillonnage dans cette norme est calculé de façon détaillée car son domaine d'application inclut des installations en bâtiments tertiaires. De même les paramètres mesurés sont plus nombreux car ils concernent également le confort thermique et acoustique et le nombre d'emplacements n , peut alors être très conséquent.

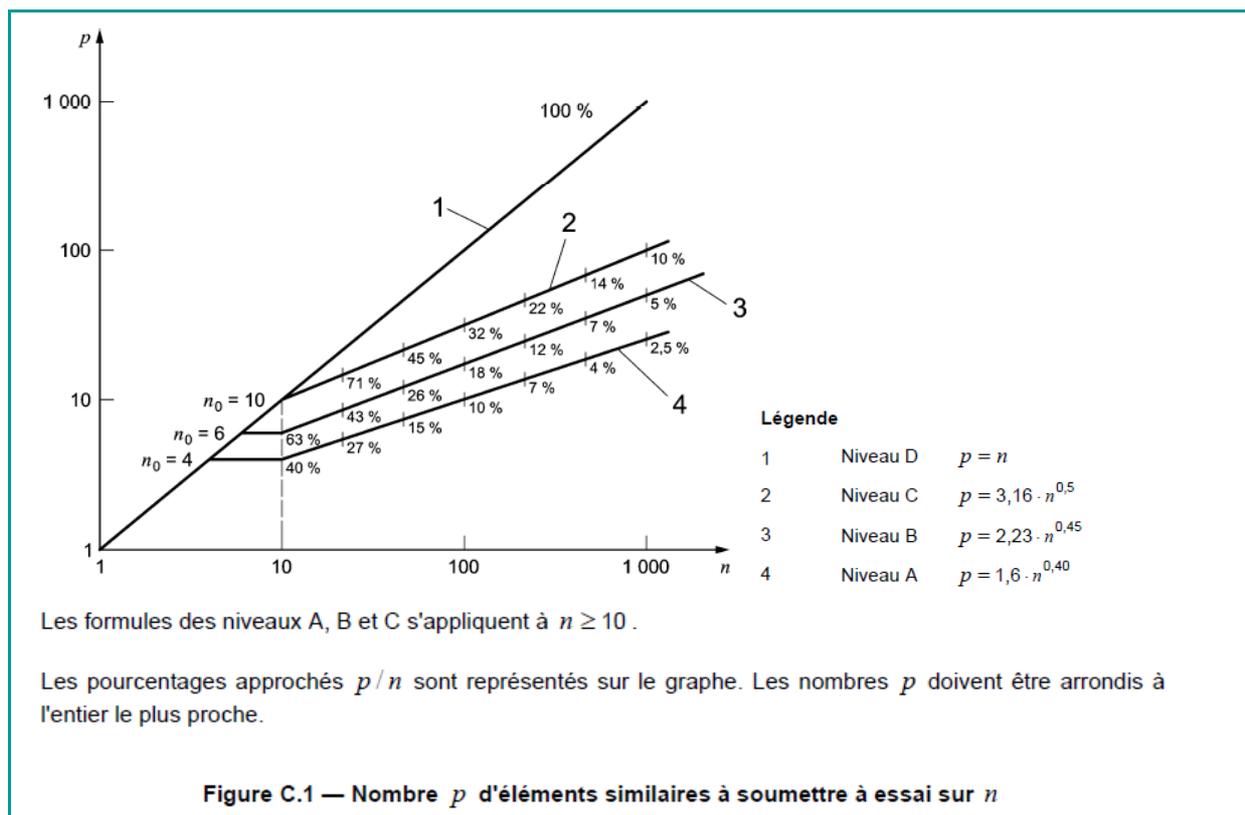


Figure 2 : Règles d'échantillonnage extraites de la norme NF EN 12599 (2013)

1.2.3 L'échantillonnage selon la norme NF EN 14134

La norme NF EN 14134 s'intitule "Essai de performances et contrôles d'installations des systèmes de ventilation résidentielle". Cette norme reprend donc en partie des principes décrits dans la norme NF EN 12599, qu'elle adapte au fonctionnement spécifique des systèmes de ventilation en application purement résidentielle, domaine d'application du projet PROMEVENT.

Ainsi la norme NF EN 141234 précise que pour un système desservant un seul logement, les contrôles fonctionnels et les mesures fonctionnelles doivent être réalisés sur le système dans son intégralité.

Pour les systèmes desservant plusieurs logements :

- Les contrôles fonctionnels peuvent être effectués sur l'échantillon statistique décrit dans l'annexe C (informative) de la norme NF EN 14134 (qui reprend aux erreurs de typographie près l'annexe C de la norme NF EN 12599, Figure 2) ; ces contrôles fonctionnels ont pour objectif de vérifier que les éléments du système ont été correctement installés et assemblés.
- Les mesures fonctionnelles, qui ont pour objectif de garantir que le système respecte les spécifications de conception (débit et sens de l'air, commande et temps de fonctionnement), doivent être effectuées sur :
 - o L'échantillon statistique, comme pour les contrôles
 - o Le cas le plus défavorable en débit d'air = l'extrémité du réseau de conduit
 - o Le cas le plus défavorable en acoustique = le logement le plus proche du ventilateur et de son refoulement

Note : La norme EN 14134 est en cours de révision. Le premier document révisé a été soumis à enquête publique en août 2017. Les travaux de révision sont donc toujours en cours lors de la publication de ce présent rapport.

1.2.4 L'échantillonnage des réseaux selon le FD E51-767:2014

Le FD E51-767:2014 est un fascicule documentaire français, intitulé "Ventilation des bâtiments - Mesures d'étanchéité à l'air des réseaux ". Ce document vient compléter les normes de mesure de l'étanchéité à l'air des réseaux aérauliques définis dans les normes européennes NF EN 12237, NF EN 1507, NF EN 13403 et NF EN 12599. Il s'applique aux réseaux aérauliques des systèmes de ventilation ou de conditionnement d'air des bâtiments neufs ou existants quel que soit le type de conduits du réseau (forme, nature et matière). Ce fascicule documentaire permet de traiter des réseaux de natures différentes et de tenir compte de l'application et des pressions usuelles sur site.

Pour les maisons individuelles, l'étanchéité à l'air des réseaux est mesurée sur 100 % de la surface développée totale des réseaux considérés. Dans le cas où la totalité d'un réseau n'est pas accessible, l'essai de ce réseau est considéré comme conforme si la surface soumise à essai de ce réseau est au moins égale à 10 m².

Pour les bâtiments résidentiels collectifs :

- la section continue à soumettre à essai contient à minima une colonne ou shunt (pour représenter une variété de dimensions de conduits et d'accessoires) jusqu'au ventilateur, indépendamment du rapport L/A_j ;
- le rapport normal entre la longueur totale de jonction (L) et la surface du réseau de conduit (A_j) est pour les conduits rigides compris entre 1 et 1,5 ; avec A_j au moins égal à 10 % de l'aire de la surface du réseau global, et si possible, au moins 10 m² ;
- il est possible de mesurer tout le réseau raccordé au ventilateur par tronçon, chaque tronçon faisant au moins 10 m² ;
- dans le cas où le réseau de rejet ou d'aspiration compris entre le ventilateur et l'extérieur nécessite d'être étanche à l'air pour éviter d'éventuelles recirculations vers les zones d'occupation ou déperditions thermiques, ce réseau est soumis à essai indépendamment ;
- Dans un même bâtiment, il peut exister un grand nombre de réseaux et de machines totalement indépendants. 10 % de la somme totale des surfaces des réseaux du bâtiment est alors mesurée, chaque tronçon mesuré faisant au moins 10 m².

Notes :

- 1- *Le FD E51-767 a fait l'objet d'une révision depuis la réalisation de cette étude. La version analysée dans ce rapport est la version de 2014. Les règles d'échantillonnage ont été modifiées dans la version actuelle (2017).*
- 2- *Le rapport L/A_j doit être mentionné dans le rapport d'essai,*
- 3- *Ces règles d'échantillonnage pour un grand nombre de caissons indépendants sont en cours de révision.*

1.2.5 Conclusions

De grandes tendances ressortent de l'analyse des documents référencés pour le projet.

En Maison individuelle, il est préconisé d'effectuer des vérifications ou des mesures sur la totalité du système de ventilation (réseau, bouches, caisson, entrées d'air).

En logement collectif :

- pour les réseaux, la mesure sur une colonne complète est recommandée, sinon échantillonnage possible tel que repris dans le FD E 51-767:2014 ;
- pour les débits d'air, mesures ou vérification de deux appartements complets a minima au premier et au dernier étage, avec éventuellement un niveau intermédiaire en fonction du nombre total de logements ou de bouches.

Dans le cas de contrôles sur un grand nombre de logements la règle d'échantillonnage de la NF EN 12599 peut être appliquée pour vérifier la représentativité de l'échantillon, couplée aux règles données dans le cadre du protocole CRC ou du programme Effinergie +.

1.3 Le diagnostic visuel

1.3.1 Description des contrôles visuels préconisés

Douze protocoles identifiés décrivent un diagnostic visuel des systèmes de ventilation, dont les principes sont repris dans le Tableau 3.

Tableau 3 : Description des inspections visuelles

	Nom du protocole	Description du contrôle / inspection visuelle
1	CRC	<p>Entrées d'air : présence/absence, mise en œuvre, réglage (EA multi-débits), type et dimension mortaise, positionnement socle, sens du flux, état</p> <p>Bouches d'extraction : présence/absence, type et mise en œuvre, positionnement v/v obstacle, piles pour bouches tempo WC, commandes des bouches bi-débits (repérage, atteinte, fonctionnement), état</p> <p>Bouches de soufflage : présence/absence, type et mise en œuvre, réglage, positionnement, état</p> <p>Balayage : détalonnage, tampons caoutchouc, grille de transfert, position des bouches (entrée v/v extraction)</p> <p>Hotte : raccordement</p> <p>Réseau : Accès, pose, longueur superflue (MI), isolation (DF, et Hygro MI)</p> <p>Extracteur : marque, type, pose, raccordement réseau</p> <p>Rejet air vicié : type, état</p> <p>Alarme : existence, localisation, repérage</p>
2	OQAI	<p>Entrées d'air : présence v/v nature pièce, état, montage, présence mortaise, fonctionnement (à la main) <i>option : modèle de l'EA et dimensions de la mortaise (déclipser le capot)</i></p> <p>Bouches d'extraction : présence et modèle (si lisible sur la bouche) v/v nature pièce, état <i>option : marque et modèle lisible en déclinçant la bouche</i></p> <p>Bouches de soufflage : présence et modèle v/v nature pièce, état</p> <p>Balayage : grilles, passage dormant, détalonnage</p>
3	Effinergie	Entrées d'air, Bouches d'extraction et de soufflage, Ventilateur, Conduits, Détalonnage des portes. L'examen visuel est à mener en se basant sur le tableau 4 du protocole Effinergie
4	Compliance Guide UK	<p>Pour tous les systèmes :</p> <p>Inspection visuelle de la conformité de l'installation (check-list) (incluant la vérification des conduits)</p> <p>Pour les systèmes mécaniques :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Inspection fonctionnelle (mise en route des ventilateurs, vérification du sens du flux,...) - Vérification des détecteurs (le cas échéant) de leurs réglages et de leurs fonctionnements
5	STS-P 75-1 Belgique	Inspection visuelle de la conformité de l'installation (incluant une check-list)
6	DIAGVENT - Niveau 2	<p>Examen préalable de la Documentation disponible : Plans et descriptifs, Documents relatifs à la maintenance, Rapports d'interventions passées, etc.</p> <p>Contrôles Visuels :</p> <p><i>A/ Armoire électrique connectée au système de ventilation :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Tension d'alimentation : concordance entre la tension prévue et la tension installée ; - Raccordement à la terre ; Alimentation indépendante du tableau général (cf. réglementation incendie) ; - Dispositif d'arrêt et de protection. <p><i>B/ Inspection visuelle des réseaux de conduits :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Qualité des jonctions, étanchéité et nature des raccords (résistance aux intempéries si situées en extérieur) ; - Nature et tenue de l'isolant éventuel autour des conduits ; - Accessibilité des différentes parties ; - Positionnement des conduits et des supports de suspension ; - Absence de réductions brusques de section. <p><i>C/ Inspection visuelle du (des) caisson(s) :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Etat de la courroie (tension), des filtres, des batteries d'échangeurs (si il y a lieu), des manchettes souples ; - Alignement des poulies ; - Conditions de pose et de raccordement aéraulique : support, accessibilité des portes, manchette souple entre le caisson et le réseau de conduits ; - Etat des organes de contrôle : pressostats, tubes de pressions ; - Etanchéité de l'enveloppe et des raccords. <p><i>D/ Mise en route du (des) caisson(s) :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Vérification du sens de rotation ; - Détection de bruits ou de vibrations parasites éventuels ; <p><i>E/ Inspection visuelle dans les locaux :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Présence et localisation des terminaux de ventilation : bouches d'extraction et/ou d'insufflation, entrées d'air, grilles de transfert (pour le tertiaire) ; - Détalonnage des portes ;

	Nom du protocole	Description du contrôle / inspection visuelle
		<ul style="list-style-type: none"> - Démontage de quelques bouches pour valider la présence de manchettes de raccordement et voir l'état des conduits ; - Démontage de quelques entrées d'air pour vérifier les dimensions des mortaises ; - Recherche de courants d'air ou d'entrées d'air parasites ; - Recherche de bruits éventuels élevés liés à la ventilation. <p><i>ET visualisation d'écoulements d'air (caisson, conduits, locaux...) :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Localiser des fuites de réseaux "visibles" (ex. manchettes, jonctions...) ; - Vérifier certaines entrées ou sorties d'air ; Observer les mouvements d'air entre locaux (notamment locaux à pollutions différentes).
7	BOVERKET Suède (OVK)	<p>Une fiche d'inspection doit être remplie par l'inspecteur. Cette fiche reprend les différentes rubriques et l'inspecteur attribue des notes aux défauts rencontrés. Note 1 : défaut à corriger avant la prochaine inspection ; - Note 2 : défaut à corriger au plus vite.</p> <p>L'inspection comporte des contrôles visuels :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Documentation : c'est un point très important (documents de conception, plans, consignes d'entretien...) - Caissons de ventilation : fonctionnement, - Réseaux de ventilation : supports, propreté, etc. - Accessibilité pour la maintenance : c'est aussi un point important <p><i>Remarques :</i> Dans l'ensemble, la méthode DIAGVENT est inspirée de la méthode BOVERKET, y compris la fiche d'inspection. Les documents OVK (BOVERKET) ne détaillent pas vraiment l'inspection, ils donnent les grandes lignes, et la fiche d'inspection ne paraît pas accessible, hormis par l'intermédiaire des inspecteurs qualifiés.</p>
8	NF EN 12599	<p>Contrôle Fonctionnel (extraits de l'Annexe B de la norme)</p> <p><i>B.2.1 Dispositifs, ventilateurs centraux</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - sens de rotation des ventilateurs ; - régulation de la vitesse ou du débit d'air des ventilateurs ; - commutateur de remise à zéro ; - mise en marche et arrêt du système de régulation et du système de commande des clapets ; - fonctionnement du système antigel ; - sens du mouvement des clapets à organes mobiles multiples ; - sens de fonctionnement et de réglage des dispositifs de commande ; - dispositifs de sécurité des moteurs d'entraînement <p><i>B.2.2 Echangeur de chaleur</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - sens de rotation des pompes de circulation au niveau des échangeurs thermiques ; - fonction de commande au niveau des échangeurs thermiques rotatifs ; - alimentation en fluide de chauffage et de refroidissement ; - sens de fonctionnement et de réglage des dispositifs de commande. <p><i>B.2.3 Filtre à air</i> La différence de pression doit être indiquée et surveillée.</p> <p><i>B.2.5 Clapets à organes mobiles multiples</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - sens de fonctionnement et amplitude de mouvement des servomoteurs ; - étanchéité. <p><i>B.2.6 Clapets coupe-feu</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - état de la maintenance - essai du dispositif et du signal de déclenchement ; - essai du sens de fonctionnement, et des limites de mouvement du clapet et de l'indicateur. <p><i>B.2.8 Réseau de conduits</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - S'assurer qu'il n'y a pas de vibration et de particules libres. <p><i>B.2.9 Schéma d'écoulement d'air dans la pièce en fonction des bouches d'air et de la géométrie des obstacles</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - essai de fonctionnement par contrôle localisé ; - essai de fumée en vue d'une évaluation initiale du débit d'air dans la pièce et également d'une indication de la circulation d'air en des points particuliers de la pièce. <p><i>B.2.10 Appareils de commande et armoires de distribution</i></p> <p>Contrôle localisé des fonctions de commande automatiques et de verrouillage pour divers états de fonctionnement, par différents réglages de la valeur de consigne, en particulier :</p> <ul style="list-style-type: none"> - valeur de consigne de la température intérieure ; de l'humidité intérieure ; fonctions antigel ; - interrupteur de démarrage ; - régulation du débit d'air ; - systèmes de récupération de chaleur ; - interface avec les systèmes de protection contre l'incendie ; - clapets coupe-feu (déclenchement et signal).
9	<i>PrEN16211</i>	<i>Non concerné</i>
10	NF EN 14134	<p>Pour le contrôle fonctionnel, vérification des :</p> <ul style="list-style-type: none"> - dispositif centraux, ventilateur (sens de rotation, vitesse ou autres réglages, ...) - Filtre à air (indication de la pression) - Clapet coupe feu - Bouches d'air (essai à la fumée pour le sens du débit d'air, hauteur au-dessus du plancher et surface des entrées)

	Nom du protocole	Description du contrôle / inspection visuelle
		d'air, existence d'une courbe caractéristique débit/pression...) - Dispositif de régulation (contrôle du débit, ...) - Extracteur (performance tirées des courbes, ...)
11	NF EN 15240	Les annexes donnent des tableaux d'inspections visuelles, recommandation pour l'extension de l'inspection, ...
12	NF EN 15239	Contrôle visuel : - Réseau de conduits : - état des raccordements pour étanchéité à l'air (qualité des rubans adhésifs, mastics, joints, ...), - isolation des conduits : type, qualité de la surface, installation correcte sur les connexions, ... - propreté et facilité d'accès pour le nettoyage - erreurs de conception : points induisant de fortes pertes de charges (vérification des schémas d'implantations prévus et réels). - Caisson de ventilation - concordance conception / installation - existence d'un manuel pour l'entretien - accessibilité pour réglage, entretien, maintenance - raccordement flexible (réduction de la propagation des vibrations) - état de la courroie du ventilateur - raccordements électriques - état des sections de filtre, échangeur, préchauffage et prérefroidissement, ... - entrées d'air et évacuation : nombre, positionnement (court-circuits) et raccordement au réseau, concordance avec la conception, nettoyabilité, section libre des entrées d'air - commande et réglage : vérification des heures de programmations
13	FD E51-767:2014	Recherche de fuites au fumigène sur les réseaux de ventilation
14	NP 1037-2 (P)	Non détaillé
15	VIA QUALITE	Voir tableau en Annexe F de ce rapport
16	Guide VNHY	<u>1- Conformité de la pose</u> a) Par rapport au dossier de conception (préconisations) : • nombre et emplacement des entrées d'air par pièce ou somme des modules équivalente + caractéristiques acoustiques ; • nombre et emplacement des bouches d'extraction avec caractéristiques adéquates en aéraulique et acoustique ; • système d'assistance : type + caractéristiques... b) Vérification de la bonne pose : • positionnement des entrées d'air par rapport aux mortaises ; • raccordement des bouches d'extraction et de tout le réseau aéraulique ; • détalonnages et/ou passages de transit correctement effectués ; • système d'assistance bien fixé au bâti ; • accessibilité du réseau pour le ramonage, mise en place des trappes... <u>2- Fonctionnement du système</u> a) Ventilation hybride • raccordement des sondes de régulation aux boîtiers de commande ; • vérification du fonctionnement des alarmes, tests de fonctionnement et tests de panne ; • raccordement au réseau électrique ; • détection des éventuels problèmes de vibrations ; • fonctionnement du réseau : mesure des débits ou test fumigène (en l'état+ en régime forcé si possible)... b) Programmation / régulation En fonction des périodes d'utilisation du bâtiment (habitat, bureaux, enseignement...), vérification de la programmation éventuelle (les plages de fonctionnement correspondent aux plages d'utilisation), et le calage de l'horloge. <u>3 Informations disponibles</u> Vérification de la transmission /mise à disposition des informations sur l'utilisation du système et sa maintenance : fiches de maintenance ; coordonnées de l'organisme de maintenance ;...

1.3.2 Analyse et recommandations

Les contrôles fonctionnels ont pour objectif de vérifier que les éléments du système ont été correctement installés et assemblés. Ils peuvent précéder des mesures fonctionnelles ou être associés à des inspections visuelles plus poussées.

Les douze documents qui décrivent des diagnostics visuels le font de façon assez détaillée, voire proposent une fiche de diagnostic associée.

1.4 Les mesures de débit ou de pression aux bouches

1.4.1 Description des protocoles de mesures de débit d'air

15 des protocoles identifiés précisent que des mesures doivent être réalisées, de façon obligatoire ou optionnelle au niveau des bouches (Tableau 4). Ces mesures peuvent être des mesures de débit directement ou des mesures de pression derrière les bouches. L'objectif de cette mesure fonctionnelle est soit de vérifier directement le débit soufflé ou extrait, soit de vérifier que la bouche est soumise à une pression conforme à sa plage de fonctionnement (qu'il conviendra donc de récupérer en amont des essais).

Tableau 4 : Description des mesures aux bouches

	Nom du protocole	Description des mesures à effectuer
1	CRC	Bouches d'extraction : Autoréglables : mesure de débit Hygroréglables : mesure de pression Bouches de soufflage : mesure de débit (DF)
2	OQAI	Bouches d'extraction : débit ou pression (hygro) si possible, sinon technique feuille de papier Bouches de soufflage (DF) : débit si possible, sinon technique feuille de papier <i>option : - mesure pression SF autoréglable (extraction) et DF (extraction et soufflage) pour tester qualité du conduit</i> <i>- mesure débit SF hygro (extraction) et DF (extraction et soufflage) + taux d'humidité a moment des mesures</i> Les mesures sont faites portes extérieures et intérieures et fenêtres fermées. Mesures réalisés pour les vitesses de fonctionnement en l'état (+ en option pour le résidentiel, aux différentes vitesses de fonctionnement)
3	Effinergie	Débit aux bouches (<i>facultatif</i>) : Les mesures sont faites conformément aux recommandations du "Guide des bonnes pratiques des mesures de débit d'air sur site pour les installations de ventilation" du CETIAT + précisions bouches auto : cône positionné de façon étanche autour de la bouche et doit recouvrir toute la bouche, conditions stables (30s, variations >10%), correction des données avec T°, HR et P + précisions bouches hygro : tube cristal inséré de 4/5 cm, non pincé, pression de référence à hauteur de bouche non perturbée, zéro avant chaque démarrage, conditions stables (30s, variations >10%)
4	Compliance Guide UK	Mesure de débit (sauf pour la ventilation naturelle)
5	STS-P 75-1 (B)	Mesure de débit
6	DIAGVENT - Niveau 2	Mesures au niveau du/des caissons de ventilation : - Vitesse de rotation et sens de rotation des ventilateurs ; - Puissance électrique absorbée par les moto-ventilateurs (en même temps que la tension, l'intensité et le cos ϕ) ; - Pressions amont/aval des caissons et éventuellement des filtres si présents ; - Mesure des débits d'air extraits ou insufflés et éventuellement des débits d'air rejetés ; - Débits d'air extraits ou insufflés partiels si différents réseaux sont reliés au même caisson. Mesures au niveau des locaux desservis : - Débits d'air aux bouches d'extraction/insufflation ; - Eventuellement la dépression dans les locaux ou les écarts de pression entre locaux (exemple entre une salle de classe et le couloir) ; - Ces mesures sont au minimum à réaliser dans le local/appartement le plus éloigné du caisson et dans celui le plus proche.
7	BOVERKET Suède (OVK)	Mesures de débit et pression aux bouches
8	NF EN 12599	Mesures de débits en conduit et au niveau des terminaux. Les moyens de mesures au niveau des bouches sont décrits en Annexe D, mais pas les conditions de mesure.
9	PrEN16211	Mesures de débits aux unités terminales
10	NF EN 14134	Débits d'air en alimentation et extraction mécaniques / conditions d'essai : Le système de ventilation mécanique doit être activé. Le paramétrage des commandes doit être enregistré. Le système doit demeurer inchangé pendant les mesures. Toutes les conditions doivent être dans la gamme des spécifications de dimensionnement et les conditions météorologiques extrêmes doivent être évitées. Toutes les portes et fenêtres intérieures et extérieures doivent être fermées excepté celles devant être testées lorsque prévues pour la ventilation. Toutes les autres dispositions de ventilation telles que des unités de transfert d'air montées en extérieur et en intérieur doivent être dans la position prévue, qui doit être enregistrée. Débits d'air soufflés et extraits naturellement Les essais fonctionnels décrits dans cet article sont nécessaires lorsque les courbes débit-pression ou les sections libres (si nécessaire) selon les EN 13141-1 et EN 13141-2 ne sont pas disponibles. Les essais doivent être réalisés comme suit : — contrôler les conditions d'essai conformément au 7.3.2.2 ; — monter tous les appareils de mesure, si les mesures en laboratoire ne sont pas disponibles ou pas applicables ; — déterminer sur site la courbe pression/débit ou aire libre conformément aux EN 13141-1 et EN 13141-2.

	Nom du protocole	Description des mesures à effectuer
		— déterminer le débit d'air à partir de la courbe pression/débit à la différence de pression spécifiée. <i>NOTE La différence de pression spécifiée est généralement définie dans les normes ou réglementations nationales.</i>
11	NF EN 15240	Débit, puissance électrique consommée, pression
12	NF EN 15239	Débit, puissance électrique consommée, pression; La méthode de mesurage renvoie à l'EN 12599
13	FD E51-767:2014	-
14	NP 1037-2 (P)	Mesure de débits d'air aux bouches (exigence)
15	VIA QUALITE	Mesures des débits aux bouches en cas de VMC autoréglable ou mesures de pressions aux bouches en cas de VMC hygro-réglable
16	Guide VNHY	Mesures des débits en l'état et en régime forcé si possible

1.4.2 Encadrement des mesures : moyen de mesure, tolérances, incertitudes

1.4.2.1 Les appareils de mesure préconisés

Les protocoles indiquent en général une liste indicative de moyens de mesure existants sans donner de préconisations spécifiques (Tableau 5).

Tableau 5 : Description des moyens de mesure de débit ou de pression

	Nom du protocole	Moyen de mesure préconisé ou recommandé
1	CRC	Micro-manomètre (plage de fonctionnement minimale : -200 / +200 Pa) Thermo-anémomètre à fil chaud + cône de mesure Anémomètre à hélice
2	OQAI	Débit : débitmètre à compensation de pression ou à faible perte de charge (cône de débit) Pression : micromanomètre électronique différentiel 0-200 Pa,
3	Effinergie	Pas de préconisation ni recommandation, mais liste de matériel de mesure pour les débits : cône à fil chaud, cône avec sonde à hélice ou moulinet, cône avec grille fil chaud, débitmètre avec hotte interchangeable ou balomètre, manomètre. Pour chaque matériel de mesure de débit, les conditions d'essai optimales sont décrites
4	Compliance Guide UK	débitmètre, le matériel le plus couramment utilisé est le débitmètre à hélice
5	STS-P 75-1 Belgique	<i>Pas de préconisation</i>
6	DIAGVENT - Niveau 2	Outillage type donné à titre indicatif : - Cône de mesure de débit avec anémomètre associé à fil chaud ou à moulinet - Ballomètre ou hotte modulable (pour les bouches de grandes tailles, notamment en tertiaire) - Appareil de mesure de puissance électrique (Powermeter) - Manomètre de précision
7	BOVERKET Suède (OVK)	<i>Pas de précision...</i>
8	NF EN 12599	Pas de moyen de mesure recommandé. Laisser libre : fil chaud, tube de Pitot + capteur de pression, méthode du sac, anémomètre + cône...
9	PrEN16211	Description de méthodes de mesures avec les préconisations d'usage, les corrections des valeurs à appliquer et les incertitudes associées : - Mesure de la pression de référence, - Méthode au sac - Mesures au balomètre
10	NF EN 14134	Anémomètre, tube de Prandtl ou sonde de vitesse, méthode du sac (pour le soufflage), dispositif d'écoulement d'air compensation de pression avec une hotte, méthode au gaz traceur par injection constante.
11	NF EN 15240	<i>Sans objet</i>
12	NF EN 15239	<i>Sans objet</i>
13	FD E51-767:2014	<i>Non concerné</i>
14	NP 1037-2 (P)	<i>Non renseigné</i>
15	VIA QUALITE	basé sur protocole effinergie+
16	Guide VNHY	<i>non renseigné</i>

1.4.2.2 Les incertitudes de mesure et les étalonnages d'appareil

Certains protocoles donnent des indications sur les incertitudes des appareils de mesure à utiliser, sur les incertitudes globales de mesure admissibles ou sur les fréquences d'étalonnage des appareils (Tableau 6).

La norme NF EN 12599 consacre un chapitre complet au calcul des différentes incertitudes qui doivent être mentionnées dans le rapport d'essai :

- incertitude des appareils de mesure : incertitude des instruments, incertitude de lecture ;
- incertitude des résultats de mesure qui prend en compte les influences au niveau du point de mesure, les incertitudes de lecture, des valeurs moyennes, de l'affichage de l'équipement de mesure, des caractéristiques de substances, de la conversion ;
- calcul de l'erreur de l'équipement de mesure.

La norme Pr EN16211, en enquête lors de l'établissement de ce rapport de sous-tâche, est plutôt dédiée aux mesures sur site. Les chapitres 5 et 6 de cette norme décrivent toutes les sources d'erreur possibles lors de la mesure sur site (erreurs systématiques et incertitudes) et détaillent le calcul de l'incertitude de mesure finale, ainsi que les incertitudes types instrumentale, de la méthode et de mesure et l'incertitude de mesure élargie.

Tableau 6 : incertitudes et étalonnage des appareils de mesure de débit et pression

	Nom du protocole	Exactitude attendue des appareils de mesure	Procédure d'étalonnage
1	CRC	Incertitudes données : Pour les manomètres électriques : - $\pm 0,5\%$ de la mesure lue ± 2 Pa (MP 100) - $\pm 0,2\%$ de la mesure lue $\pm 0,8$ Pa pour le MP 200 en-dessous de 100 PA - $\pm 0,2\%$ de la mesure lue $\pm 1,5$ Pa pour le MP 200 entre 100 et 500PA Pour les thermo-anémomètres à fil chaud : de 0,05 m/s à 0,2 m/s	Étalonnage régulier (défini par le système qualité de l'établissement, en général 1 ou 2 ans) Doit être réalisé sur l'ensemble de la chaîne de mesure (ex : thermoanémomètre fil chaud + cône de mesure)
2	OQAI	Débit : incertitude minimale de l'appareil identifié à 3 ou 4 m ³ /h Pression : résolution de 0,1 Pa, précision d'étalonnage +/- 1%	/
3	Effinergie	Manomètres - L'EMT est de 1 Pa +/- 1%; - La plage de fonctionnement de l'appareil est a minima de -300 à +300 Pa; Cône et hotte de mesure de débit Le matériel utilisé doit recouvrir la totalité de la bouche. Pour la mesure sur diffuseur, le mesureur justifie que son matériel est adapté. Dans tous les cas, la correction du débit en fonction des conditions de température, d'hygrométrie et de pression doit être faite conformément aux spécificités du matériel. Quel que soit le matériel, l'Erreur Maximale Tolérée (EMT) est de 10%.	Manomètres - L'étalonnage est réalisé annuellement, conformément au GTA LAB 11 §6.3.3. Cône et hotte de mesure de débit L'étalonnage est réalisé sur au moins 5 points de la plage de mesure. Etalonnage en débit tous les ans pour le cône associé au fil chaud, associé à l'hélice, associé à une grille fil chaud. Le certificat d'étalonnage doit mentionner le type de cône avec lequel le fil chaud a été étalonné, qui doit être cohérent avec le cône en possession de l'opérateur. Pour le débitmètre avec hotte interchangeable ou balomètre : chaque hotte associée à l'appareil de mesure doit être étalonnée tous les ans.
4	Compliance Guide UK	+5%	Etalonnage UKAS obligatoire tous les ans pour permettre d'atteindre une précision de +/-5%
5	STS-P 75-1 Belgique	La méthode de mesure utilisée doit avoir une incertitude de mesure de maximum 15% de la valeur du débit mesuré.	rien n'est préconisé ici
6	DIAGVENT - Niveau 2	Pas d'indication donnée dans le guide. (sauf par exemple la précision attendue pour une mesure de débit en conduit, d'environ +ou- 10 % ; la méthode se veut pragmatique, réaliste...) Se référer aux appareils de mesures utilisés, aux normes éventuelles en vigueur (NF EN). Toutefois, la précision attendue devrait faire partie du cahier des charges du diagnostic demandé, en fonction des objectifs : il peut y avoir besoin d'une plus ou moins grande précision, alors le diagnostiqueur devra adapter aussi bien le choix de ses	Le guide ne donne pas d'exigence. Le diagnostiqueur devra pouvoir justifier des documents relatifs à l'étalonnage régulier des appareils de mesures utilisés.

	Nom du protocole	Exactitude attendue des appareils de mesure	Procédure d'étalonnage
		appareils de mesures que la méthodologie de mesures (ex. multiplication du nombre de points de mesures en conduit pour la mesure de la vitesse).	
7	BOVERKET Suède (OVK)	<i>Pas de précision...</i>	<i>Pas de précision...</i>
8	NF EN 12599	Pas d'exactitude précisée pour les mesures de débit et de vitesse en conduit, mais la norme décrit très précisément comment calculer les incertitudes. Le tableau E.1 donne les incertitudes de mesures attendues pour différents appareils de mesures de pression (Annexe E de ce rapport)	Non précisé
9	PrEN16211	La norme indique les incertitudes dues à la méthode pour chaque méthode de mesure développée dans la norme; les incertitudes globales doivent ensuite être calculées; (Figure 4)	Le certificat d'étalonnage est indispensable pour calculer les corrections et les incertitudes de mesure; pas de préconisation sur des fréquences d'étalonnage
10	NF EN 14134	Pour les mesures de débit : l'incertitude totale doit être inférieure à +/- 10 % du débit à mesurer pour les mesures de débits soufflés ou extraits naturellement, l'incertitude totale doit être inférieure à +/- 20 % du débit mesuré.	Non renseigné
11	NF EN 15240	<i>Sans objet</i>	<i>oui - recommandé</i>
12	NF EN 15239	<i>Sans objet</i>	<i>oui - recommandé</i>
13	FD E51-767:2014	<i>Non concerné</i>	
14	NP 1037-2 (P)	<i>Non renseigné</i>	
15	VIA QUALITE	basé sur protocole effinergie+	basé sur protocole effinergie+
16	<i>Guide VNHY</i>	<i>non renseigné</i>	<i>non renseigné</i>

Tableau 12 — Méthodes de mesure des débits de soufflage à la bouche d'air de soufflage

Méthode	Désignation	Voir paragraphe	Incertitude-type de la méthode, u_2
Mesure de la pression de référence :	ST 1	9.2	5 % (Avec des exigences de section droite obtenues par une méthode d'étalonnage)
Dans l'entrée vers la boîte de jonction	ST 11		
A l'intérieur de la boîte de jonction avec une prise de pression	ST 12		
avec deux prises de pression	ST 121 ST 122		
Mesure au sac	ST 2	9.3	3 %
Mesure au balomètre :	ST 3	9.4	5 %
Méthode directe	ST 31		
Méthode indirecte pression différentielle nulle augmentation de pression	ST 32		
	ST 33		≥ 5 %

Figure 3 : Incertitudes type de la méthode pour les mesures de débit à la bouche, Extrait du projet de norme PrEN 16211

1.4.2.3 Tolérance pour l'analyse de la conformité

L'incertitude de mesure doit être de façon générale mise en regard avec la tolérance admissible entre la valeur mesurée et la valeur attendue.

Les mesures effectuées dans le cadre du protocole CRC sont analysées selon le guide Ortec pour la conformité des installations. Ce guide indique les tolérances admissibles suivantes :

- conformité des débits : Selon le guide Ortec, la mesure lue peut être inférieure à -20% de la mesure exigée (Cf guide ortec « une tolérance de $+3\text{ m}^3/\text{h}$ est accordé pour un débit demandé de $15\text{ m}^3/\text{h}$ et de $+5\text{ m}^3/\text{h}$ pour un débit demande de plus de $15\text{ m}^3/\text{h}$ ») ;
- conformité des pressions : On peut admettre une tolérance de 5 à 10 Pa sur les valeurs lues.

Le protocole Effnergie indique les tolérances suivantes pour la conformité des installations :

- pour les mesures de débit, une tolérance de $3\text{ m}^3/\text{h}$ pour un débit inférieur à $15\text{ m}^3/\text{h}$ et une tolérance de $5\text{ m}^3/\text{h}$ au-delà ;
- pour les mesures de pression, tolérance de 5 Pa.

Par ailleurs la norme NF EN 12599 indique des incertitudes admissibles de mesure (Figure 4).

Paramètre	Incertitude *)
Débit d'air, chaque pièce individuelle	± 15 %
Débit d'air, chaque système	± 10 %
Température de l'air d'alimentation	± 2 °C
Humidité relative [RH]	± 15 % RH
Vitesse de l'air dans la zone occupée	± 0,05 m/s
Température de l'air dans la zone occupée	± 1,5 °C
Niveau de pression acoustique pondéré A dans la pièce	± 3 dBA
*) La présente Norme européenne ne définit pas les tolérances pour les valeurs de conception elles-mêmes. Le résultat est accepté lorsque la valeur de conception est dans la plage d'incertitude de la mesure.	

Figure 4 : Incertitudes de mesures admissibles extraites de la norme NF EN 12599

1.4.3 Conclusions

Pour la mesure de débits aux bouches, le protocole de la campagne PROMEVENT pourra s'appuyer sur le projet de norme PrEN 16211, la norme EN 14134 ainsi que sur les fiches Diagvent2 et le protocole Via Qualité.

Un projet de norme est en cours de rédaction à l'UNM 713 pour encadrer la mesure de pression de référence au niveau des bouches avec élément régulateur. Ce projet de texte sera transmis aux partenaires de PROMEVENT afin de pouvoir vérifier son applicabilité sur le terrain.

Note : Ce projet de norme a été publié depuis la rédaction de ce rapport sous la référence NF E51-777.

Les mesures sur site, lorsqu'elles sont utilisées pour une analyse de la conformité par rapport à des exigences réglementaires ou des valeurs de conception, doivent être accompagnées de leur incertitude de mesure. La suite du projet permettra de définir les règles quant à la définition des incertitudes admissibles sur les appareils de mesure, ou sur les méthodes de calcul des incertitudes globales, ainsi que pour les procédures d'étalonnage associées.

Il conviendra également de ne pas oublier les éventuelles corrections d'ambiances qui peuvent avoir un impact non négligeable, non seulement sur les matériels de mesure mais également sur les conditions de fonctionnement du système de ventilation.

1.5 Les mesures d'étanchéité des réseaux

1.5.1 Description des protocoles de mesures de débit d'air

10 documents font référence à des mesures d'étanchéité de réseaux (Tableau 7). Les conditions de mesures renvoient en générale aux normes d'inspections qui renvoient elles-mêmes aux normes de mesures spécifiques au conduits métalliques (EN 12237 et EN 1507). En France les mesures sont principalement réalisées selon le FD E 51-767:2014.

Tableau 7 : Description des mesures d'étanchéité des réseaux

	Nom du protocole	Description des mesures d'étanchéité des réseaux
1	CRC	Pas de mesure d'étanchéité des réseaux préconisée
2	OQAI	Pas de mesure d'étanchéité des réseaux préconisée
3	Effinergie	Le label effinergie+ exige une classe d'étanchéité au minimum A, selon le FD E51-767
4	Compliance Guide UK	Pas de mesure d'étanchéité des réseaux préconisée
5	STS-P 75-1 (B)	Mesure d'étanchéité du réseau selon EN 14134
6	DIAGVENT - Niveau 3	La mesure d'étanchéité du réseau est préconisée dans DIAGVENT Niveau 3 (Mesures spécifiques sur les installations de ventilation), lorsque certains défauts ont été constatés sur l'installation : Insuffisance de débit global, Insuffisance de débit local, Nuisance sonore, Consommation électrique exagérée. La mesure de l'étanchéité du réseau doit se faire conformément à l'EN 12237 et à l'EN 1507. Quelques recommandations supplémentaires, issues de l'expérience de terrain, sont données.
7	BOVERKET Suède (OVK)	La mesure d'étanchéité des réseaux ne fait pas partie de l'inspection : cette mesure peut être déclenchée en cas de fuite importante détectée lors de l'inspection : examen visuel ou comparaison entre débit global et débits locaux
8	NF EN 12599	Les classes d'étanchéité conformément à l'EN 1507 et à l'EN 12237 doivent être vérifiées. Possibilité de mesure sur une partie seulement des réseaux complexes et importants. Les mesures des fuites doivent être réalisées lorsque le conduit est installé et accessible. Après la mise en fonctionnement, un second essai d'étanchéité peut s'avérer nécessaire, seulement si une irrégularité se produit lors du démarrage. (En cas de fonctionnement incorrect par exemple des clapets coupe-feu, la pression peut dépasser la pression autorisée et endommager le réseau de conduits.) Dès l'installation d'une section de système de conduits aérauliques suffisamment grande, toutes les ouvertures doivent être scellées. Un ventilateur, relié au système de conduits scellé par l'intermédiaire d'un équipement de mesure, est utilisé pour créer une différence de pression d'essai supérieure ou inférieure à la pression atmosphérique. Il convient de régler la pression d'essai sur l'une des valeurs suivantes qu'il convient de choisir aussi près que possible de la pression moyenne de fonctionnement du système, de préférence : 200 Pa, 400 Pa ou 1 000 Pa au-dessus ou en dessous de la pression atmosphérique. Note : Pour la vérification de l'étanchéité en classes A ou B, il est possible que les valeurs de pression mentionnées ci-dessus ne puissent pas être atteintes dans des réseaux de conduits de plus grande taille.
9	PrEN16211	Non concerné
10	NF EN 14134	La mesure d'étanchéité des réseaux est une mesure spéciale, qui vient en complément des mesures fonctionnelles. Mesure selon EN 12237. Toutes les unités terminales et autres ouvertures intentionnelles dans la section installée du système de conduit doivent être temporairement scellées. (L'utilisation d'adhésif peut suffire, mais la fermeture d'un registre ne donne pas une étanchéité adéquate). Le débit d'air de fuite est mesuré à au moins 3 points de différence de pression d'environ 20 Pa, 60 Pa et 200 Pa. La courbe de la pression par rapport au débit d'air de fuite est déterminée en traçant une ligne droite passant par les deux points sur un graphe bi-logarithmique ; La classe de fuite est déterminée selon les normes sur les conduits (c'est-à-dire prEN 1507, ...) NOTES En raison des conditions d'accès au réseau et des niveaux de fuites, il peut s'avérer nécessaire de diviser les grands systèmes ou les systèmes complexes en plusieurs parties.
11	NF EN 15240	Non renseigné
12	NF EN 15239	Mesure de l'étanchéité des réseaux uniquement en niveau A pour extension de l'inspection en niveau élevé (Annexe H informative) ; pas de référentiel cité
13	FD E51-767:2014	Le présent document s'applique aux mesures sur site de tous types de conduits des réseaux aérauliques des systèmes de ventilation ou de conditionnement d'air des bâtiments neufs ou existants. Il complète les normes NF EN 12237, NF EN 1507, NF EN 13403 et NF EN 12599 ne permettant de traiter des réseaux de natures différentes et en tenant compte de l'application notamment vis-à-vis des pressions de mesure sur site.
14	NP 1037-2 (P)	Exigence sur l'étanchéité à l'air des réseaux mais valeur non connue à ce jour et pas de référentiel spécifique
15	VIA QUALITE	Mesure de l'étanchéité des réseaux selon le protocole Effinergie +
16	Guide VNHY	Pas de préconisation sur la mesure e l'étanchéité des réseaux

1.5.2 Encadrement des mesures : moyen de mesure, tolérances, incertitudes

1.5.2.1 Les appareils de mesure préconisés

La mesure de l'étanchéité à l'air des réseaux de ventilation comprend un appareil de mesure de débits et un appareil de mesure de pression. Les deux moyens de mesure peuvent être découplés ou présentés dans un boîtier compact. Les différents documents référencés dans ce rapport ne donnent pas plus d'indication sur les moyens de mesure à utiliser.

Les capteurs de pressions devront pouvoir couvrir les plages de pression de fonctionnement du réseau à tester, ce qui peut être prévu en amont de la mesure. En revanche, la plage de fonctionnement du capteur de débit sera à ajuster en fonction de l'étanchéité plus ou moins grande du réseau.

En complément des mesures de débit et de pression dans les conduits, le FD E51-767:2014 alerte sur le besoin de mesure précise des conditions ambiantes afin d'effectuer les corrections d'altitude et de température :

- sonde de température : exactitude égale à $\pm 1^\circ\text{C}$ dans la plage $- 15^\circ\text{C}$ à $+ 35^\circ\text{C}$;
- baromètre : exactitude égale à 200 Pa dans la plage 90 000 Pa à 110 000 Pa.

1.5.2.2 Les incertitudes de mesure et les étalonnages d'appareil

Par rapport à des mesures de débit d'air, les mesures d'étanchéité des réseaux sont converties en classe d'étanchéité. La méthode de mesure est donc plus fréquemment associée à son incertitude admissible (Tableau 8).

Tableau 8 : Incertitudes et étalonnage des appareils de mesure de débit et pression

	Nom du protocole	Exactitude attendue des appareils de mesure	Procédure d'étalonnage
1	CRC	Non concerné	Non concerné
2	OQAI	Non concerné	Non concerné
3	Effinergie	Selon le FD E51-767	Selon le FD E51-767
4	Compliance Guide UK	Non concerné	Non concerné
5	STS-P 75-1 (B)	NR	
6	DIAGVENT - Niveau 2	Non concerné	Non concerné
7	BOVERKET Suède (OVK)	Non renseigné	Non renseigné
8	NF EN 12599	La norme renvoie sur les mesures de pression et de débit	Non renseigné
9	PrEN16211	Non concerné	Non concerné
10	NF EN 14134	L'incertitude de mesure de la pression statique doit être inférieure à ± 1 Pa. La précision de la mesure du débit de fuite d'air doit être supérieure à ± 5 % du débit d'air de fuite mesuré.	Non renseigné
11	NF EN 15240	Non concerné	Non concerné
12	NF EN 15239	Non renseigné	Non renseigné
13	FD E51-767:2014	Les appareils de mesure sélectionnés doivent présenter les caractéristiques suivantes : – pression dans le réseau : exactitude $\leq \text{MAX} (\pm 3 \text{ Pa} ; \pm 2,5 \% p_{\text{essai}})$; – débit de fuite : exactitude $\leq \text{MAX} (1.10^{-3} \text{ m}^3.\text{s}^{-1} ; \pm 7 \% qv_{\text{mesuré}})$.	— tous les ans pour le manomètre et le débitmètre ; — tous les trois ans pour la sonde de température et le baromètre.
14	NP 1037-2 (P)	Non renseigné	Non renseigné
15	VIA QUALITE	Basé sur Effinergie +	Basé sur Effinergie +
16	Guide VNHY	Non concerné	Non concerné

1.5.3 Conclusion

Les protocoles de mesures d'étanchéité des réseaux sont finalement assez peu nombreux. Pourtant l'étanchéité des réseaux aérauliques a un impact direct sur la performance énergétique des bâtiments.

Le recours plus systématique à des mesures d'étanchéité des réseaux aérauliques en fin d'installation ou lors de diagnostics ventilation est un facteur d'amélioration de la qualité de ces installations. Le document français FD E51-767 a été créé lors de la publication de la réglementation thermique 2012 pour pouvoir encadrer ces mesures d'étanchéité en faisant la synthèse des normes de mesure européennes sur les différentes catégories de réseaux et en proposant une méthodologie de mesure sur site. La prise en compte des retours d'expérience de l'application du protocole Effinergie, a fait l'objet d'un groupe de travail français pour améliorer le FD E51-767. Une norme européenne dite "norme chapeau" sera proposée dans le futur pour pouvoir encadrer ces mesures au niveau européen.

Dans le cadre du projet PROMEVENT, nous proposons d'utiliser comme document de référence le FD E51-767, complété par le protocole Effinergie.

1.6 Conclusion de l'analyse des différents protocoles

La première partie de ce document recense et analyse les chapitres concernant le contrôle de fonctionnement aux bouches (mesure des débits de ventilation, mesure de pression) et la mesure de l'étanchéité des réseaux ainsi que le diagnostic visuel dans les documents de référence utilisés pour caractériser les performances des systèmes de ventilation, en France et à l'international.

Plusieurs protocoles ont été identifiés, en France et en Europe et de nombreuses similitudes peuvent être notées entre ces documents, qui s'appuient majoritairement sur des normes européennes.

Cette analyse a permis d'identifier des protocoles qui ont servi de support lors de l'élaboration du protocole PROMEVENT qui a été testé dans les campagnes sur site et diffusé au niveau national :

- pour la mesure des débits d'air aux bouches : PrEN 16211 et EN14134, Diagvent et ViaQualité ;
- pour la mesure des pressions aux bouches : projet de norme française au sein de l'UNM 713 (NF E51-777);
- pour la mesure de l'étanchéité des réseaux : FD E51-767:2014 et le protocole Effinergie+.

Cet état de l'art n'est peut-être pas exhaustif au niveau européen. La synthèse de nos analyses nous amène cependant à confirmer l'utilité de l'élaboration d'un protocole détaillé, tant au niveau de la réalisation des mesures en elles-mêmes que du choix des éléments mesurés ou de l'incertitude associée, afin de pouvoir établir un diagnostic fiable et représentatif des installations de ventilation mécanique en bâtiment résidentiel.

2 Recensement et caractérisation des matériels de mesure utilisés

2.1 Bilan du recensement des instruments de mesure

2.1.1 Méthodologie

Afin de pouvoir mener une analyse détaillée des instruments de mesure recensés, les partenaires de la sous-tâche ont renseignés différents critères. Les renseignements utiles dans le cadre de PROMEVENT concernent :

- les modèles des instruments utilisés (constructeur, type, modèle) ;
- leur domaine d'application ;
- la nature de la documentation fournie avec l'instrument de mesure.

2.1.2 Synthèse de l'instrumentation recensée

Les différents instruments de mesure identifiés sont présentés dans le Tableau 9 pour les mesures de débit aux terminaux et le Tableau 10 pour les mesures d'étanchéité des réseaux.

Tableau 9 : Liste des instruments identifiés pour la mesure de débit aux terminaux

Instrument de mesure		Grandeur mesurée	Étendue de mesure
Constructeur	Modèle		
KIMO	VT100, LV100 ou VT200 associé à un anémomètre thermique et un cône K35, K75, K120 ou K150	Vitesse d'air convertie en débit en fonction de la section de passage du cône utilisé	K35: 10 – 450 m ³ .h ⁻¹ K75: 30 - 750 m ³ .h ⁻¹ K120: 50 – 1200 m ³ .h ⁻¹ K150: 10 - 400 m ³ .h ⁻¹
	VT100, LV100 ou VT200 associé à un anémomètre à hélice diamètre 100 mm et un cône K25 ou K85	Vitesse d'air convertie en débit en fonction de la section de passage du cône utilisé	K25: 10 - 400 m ³ .h ⁻¹ K85: 10 – 400 m ³ .h ⁻¹
SWEMA	SWEMAFLOW125D	Débit d'air	7 – 450 m ³ .h ⁻¹
TEC	Exhaust FanFlowMeter	Débit d'air	14 – 200 m ³ .h ⁻¹
TESTO	Testo 425 associé à un cône TestoVent 410 ou 415	Vitesse d'air convertie en débit en fonction de la section de passage du cône utilisé	20 – 400 m ³ .h ⁻¹
WOHLER	Anémomètre à hélice FA410 ou FA430 associé à un cône FA4xx	Vitesse d'air convertie en débit en fonction de la section de passage du cône utilisé	0,5 – 30 m.s ⁻¹
ACIN	Flowfinder mk-2	Débit d'air	10 – 850 m ³ .h ⁻¹

Tableau 10 : Liste des instruments identifiés pour la mesure de l'étanchéité des réseaux

Instrument de mesure		Grandeur mesurée	Étendue de mesure
Constructeur	Modèle		
LINDAB	LT600	Débit d'air	0 – 198 m ³ .h ⁻¹
WOHLER	DP600	Débit d'air	0 – 198 m ³ .h ⁻¹
BLOWERDOOR	BlowerDoor LMT	Débit d'air	0,09 – 80* m ³ .h ⁻¹
INFILTEC	DL1	Débit d'air	0,57 – 527 m ³ .h ⁻¹
TSI Instrument	PAN300	Débit d'air	3,6 – 720 m ³ .h ⁻¹
SWEMA	Swema Duct Leakage Tester	Débit d'air	36 – 461* m ³ .h ⁻¹
LIKTEC	RLiK	Débit d'air	0,54 – 2160* m ³ .h ⁻¹
RETROTEC	EU351	Débit d'air*	0,468 – 2430* m ³ .h ⁻¹

Nota: Pour les débits maximum marqué d'un *, le débit maximum dépend de la pression réseau considéré. La valeur indiquée est la valeur maximale du débit maximum indiquée par le constructeur, toutes configurations confondues.

2.2 Analyse des caractéristiques des instruments

2.2.1 Mesure de débit aux terminaux

Les mesures de débit aux terminaux sont réalisées avec des appareils spécifiquement dédiés (SWEMA, TEC, ACIN) ou des anémomètres associés à un cône de mesure. Ce dernier permet de convertir une mesure de vitesse (en un point avec un anémomètre thermique ou sur une surface avec un anémomètre à hélice) en une mesure de débit. Cette méthode apporte plus de souplesse puisqu'elle permet d'adapter la forme et la taille du cône à celle du terminal. Cependant, ces associations anémomètre/cône ne sont souvent pas reconnues comme un instrument de mesure en tant que tel puisque le cône de mesure est considéré comme un accessoire de l'anémomètre. L'étalonnage réalisé est d'ailleurs souvent un étalonnage de l'anémomètre en vitesse et non un étalonnage de l'association anémomètre/cône en débit, ce qui ne permet pas de garantir la traçabilité en débit. Le cas extrême de ce constat est rencontré pour l'instrument WOHLER qui, dans sa documentation, présente une étendue de mesure uniquement en unité de vitesse et pas en unité de débit.

Dans le cas du débitmètre SWEMA, l'interchangeabilité des hottes permet également d'adapter la forme et la taille du débitmètre à celle du terminal.

Lorsque l'on réalise une mesure au niveau d'un terminal en utilisant un instrument du type de ceux présentés ici, la perte de charge générée peut modifier l'équilibrage du réseau et donc le débit au terminal lui-même. Certains des débitmètres permettent de compenser cette perte de charge afin de déterminer le débit sans la perturbation supplémentaire dû à l'instrument. Avec le débitmètre SWEMA, une double mesure permet de déduire l'influence de la perte de charge du débitmètre sur le débit passant par le terminal. Le débitmètre ACIN utilise un ventilateur auxiliaire pour compenser la perte de charge due au débitmètre. De tous les appareils considérés, ce sont les deux seuls qui effectuent une correction pour compenser la perte de charge du débitmètre sur la mesure de débit au terminal.

L'exactitude annoncée par les constructeurs est du même ordre de grandeur pour les deux types d'instruments, annoncée autour de 3% de la valeur du débit. Seuls TESTO et TEC annoncent une valeur de 10% de la valeur du débit, sans doute plus proche de la réalité dans les conditions réelles de mesure.

La documentation fournie par les constructeurs se limite souvent à une notice d'utilisation. Quand un certificat d'étalonnage est proposé, il l'est généralement en option. Il s'agit alors d'un certificat constructeur qui ne permet pas de garantir la traçabilité au Système International d'Unités. L'étalonnage effectué dans le cadre de ce certificat n'est, en effet, pas réalisé sous accréditation. Pour les associations anémomètre/cône de mesure, ce certificat est principalement un certificat pour l'anémomètre et concerne donc uniquement la mesure de vitesse.

2.2.2 Mesure de l'étanchéité des réseaux

L'étanchéité des réseaux est déterminée à partir d'appareils spécifiques constitués d'un ventilateur qui permet de mettre en pression ou dépression le réseau et d'un organe qui permet de mesurer le débit. Celui-ci est généralement constitué d'une mesure de pression différentielle au niveau d'une restriction (anneau, diaphragme) situé à proximité du ventilateur ou dans un conduit. Le débit maximum dépend de la pression/dépression que l'on cherche à atteindre dans le réseau de ventilation. Plus cette pression/dépression est élevée/basse, moins le débit maximum est élevé. Ces appareils sont relativement équivalents. Certains d'entre eux proposent des fonctionnalités de programmation se référant à des normes internationales de mesure de l'étanchéité des réseaux. L'étendue de mesure est également variable, BLOWERDOOR présentant un appareil dont le débit maximum est de $80 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, par exemple, alors que celui de RETROTEC permet de mesurer des débits jusqu'à $2400 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$.

L'exactitude annoncée est généralement comprise entre 3% et 7% de la valeur du débit ou conforme aux normes auxquelles ils se réfèrent, sans plus de précision.

Les éléments permettant de garantir la traçabilité au Système International d'Unités sont manquants puisqu'au mieux, seule une documentation constructeur est fournie.

2.3 Conclusion pour les appareils de mesure utilisés

Ce chapitre identifie les différentes technologies et les différents matériels utilisés dans la mesure de débit et la mesure d'étanchéité des réseaux. Il s'agit de deux catégories d'instruments distincts.

Pour la mesure de débit aux terminaux, les modèles d'instruments sont nombreux. Ils peuvent être constitués d'un anémomètre thermique ou à hélice qui s'adapte sur un cône permettant de collecter le flux d'air au niveau du terminal ou être considérés comme un débitmètre à part entière tout en présentant la même fonctionnalité de collecte du flux d'air que le modèle précédent. Ils présentent tous une exactitude du même ordre de grandeur et diffèrent par l'adaptabilité ou pas à des géométries de terminal particulières.

Les instruments permettant la mesure de l'étanchéité des réseaux sont constitués d'un ventilateur permettant de mettre en pression ou dépression le réseau et d'une mesure de débit, généralement par mesure de pression différentielle aux bornes d'un organe déprimogène.

Les éléments permettant d'assurer la traçabilité au Système International d'Unités ne sont généralement pas fournis avec l'instrument lors de son achat.

3 Bibliographie sur la qualité des mesures de débit et d'étanchéité des réseaux

3.1 Mesure directe de débit aux bouches

3.1.1 Principe général

Le principe général de la mesure (directe) de débit aux bouches est de coiffer la bouche avec un appareil de mesure par lequel la totalité du débit passe. L'appareil de mesure comprend donc généralement un collecteur (cône rigide ou toile sur armature dans le cas d'un balomètre) qu'on positionne sur la bouche testée.

L'inconvénient principal de cette mesure est que le débitmètre modifie la résistance du réseau et donc le débit qui passe par la bouche lors de la mesure sera différent du débit passant par la bouche en fonctionnement normal. Par ailleurs, plusieurs auteurs ont observé des erreurs importantes si l'écoulement reste fortement asymétrique lors de son passage dans la section de mesure.

3.1.2 Débitmètre compensateur

Pour limiter le problème lié à la résistance de l'appareil de mesure, certains utilisent des débitmètres dits "compensateurs". De tels appareils comprennent un ventilateur intégré qui compense la perte de charge provoquée par l'appareil lui-même. Selon Caillou (2014), cette méthode associée à une stabilisation du flux d'air permet de contenir l'erreur de mesure à environ 10% maximum.

Le Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL) (Walker et al., 2001; Wray et al., 2002) a conduit de nombreux tests en laboratoire et sur site sur des débitmètres, dont plusieurs balomètres compensateurs de différentes typologies et un prototype (qui réalise l'équilibrage des pressions entre l'intérieur de la hotte et la pièce à partir d'une moyenne de pression au niveau de la hotte). Par ailleurs, les auteurs donnent des indications utiles sur les niveaux de justesse requis selon les applications :

- $\pm 50\%$ pour identifier des grosses fuites et des déconnexions dans le réseau ;
- $\pm 25\%$ pour vérifier l'équilibre des pressions de pièce à pièce ;
- $\pm 5\%$ pour vérifier le respect des exigences de confort¹ ;
- $\pm 10\%$ pour déterminer l'équilibrage global du système ;
- $\pm 10\%$ pour estimer les performances en refroidissement du système ;
- $\pm 3\%$ pour déterminer l'étanchéité du réseau.

Ces deux études montrent que, contrairement aux cônes et balomètres classiques, les résultats des balomètres compensateurs (hors prototype) sont très peu affectés par les changements de configuration du réseau de laboratoire (changement de style du registre, du placement du cône, des débits, du type de terminal, de la position des clapets du registre). En revanche, le prototype de balomètre compensateur présente certes une sensibilité inférieure à celle des balomètres classiques, mais elle est plus importante que celle du cône à hélice.

Selon ces deux études (Walker et al., 2001; Wray et al., 2002), le balomètre à compensation pourrait être utilisé pour l'ensemble des applications suscitées contrairement aux autres techniques évaluées qui seraient limitées à la détection de problèmes majeurs d'étanchéité du réseau et de déconnexion de conduits, ou à la vérification de l'équilibre des pressions entre pièces.

¹ Notons toutefois que le niveau exigeant pour le confort ($\pm 5\%$) est lié au fait que les systèmes évalués aux Etats-Unis et au Canada intègrent souvent chauffage et/ou refroidissement (le jet sera d'autant plus gênant que la différence de température avec les conditions "idéales" sera importante).

3.1.3 Cônes et balomètres

La mesure directe de débit par cône ou balomètre (non compensée) est probablement la plus répandue. Il existe de nombreux matériels sur le marché intégrant des capteurs de nature différente (petit moulinet, grand moulinet, anémomètre(s) thermique(s), tube(s) de Pitot).

En prolongement des études du LBNL citées précédemment (Walker et al., 2001; Wray et al., 2002), Walker et al (2003) ont évalué en laboratoire et in situ les performances de plusieurs appareils disponibles sur le marché. En laboratoire, ils ont pu tester l'influence du type de grille du terminal, du placement du cône, des débits et de la position des clapets du registre en prenant en référence un balomètre compensé. Ils confirment que les appareils disponibles sur le marché seraient souvent inadaptés aux objectifs de la mesure.

Ces conclusions convergent avec les recommandations du guide sur la mesure de débit publié par le BSRIA (Hawkins, 2013) qui recommande l'utilisation de systèmes avec compensation dans tous les cas et déconseille fortement l'utilisation de débitmètres non-compensés en cas de système d'extracteurs locaux² si l'on ne connaît pas les facteurs correctifs à appliquer correspondant à l'extracteur *et* à l'appareil de mesure. Selon ce même ouvrage :

- pour les mesures avec des systèmes sans compensation, il ne faut utiliser que des hélices ayant un diamètre supérieur à 100 mm ;
- les hélices ne sont, en général, calibrées que dans un seul sens, il est nécessaire de changer le sens en fonction de la mesure (extraction ou insufflation) ;
- il est recommandé de ne pas utiliser de hottes/cônes circulaires qui peuvent provoquer un effet venturi et fausser la lecture du flux ;
- la hotte/cône doit toujours être au moins 50 mm plus grande que la bouche et la bouche placée au centre du flux ;
- la calibration annuelle en débit de toute la chaîne de mesure par un organisme UKAS est obligatoire ;
- il est nécessaire d'appliquer le coefficient de correction donné dans le certificat d'étalonnage.

Le CETIAT (2013) donne une synthèse des performances prévisibles, précautions, et limites de ces appareils. Il indique une incertitude attendue au mieux (i.e., si toutes les conditions favorables sont réunies) inférieure à 10%, mais pouvant grimper à plus de 50% si certaines conditions favorables ne sont pas réunies.

3.1.4 Méthodes "alternatives"

Dans l'étude de Walker et al (2003) citée précédemment, les auteurs s'intéressent également à 2 méthodes "alternatives": le remplissage d'un ballon et l'utilisation d'une hotte "panier". Ces techniques ont été développées dans une recherche de compromis acceptable entre coût de la mesure et son utilisation pour un (auto-)contrôle pragmatique des installations. Selon les auteurs, ces techniques pourraient être aussi justes que les cônes ou balomètres (non compensés) considérablement plus coûteux. Néanmoins, ils précisent que leurs conclusions reposent sur un nombre limité de mesures et méritent donc d'être confirmées.

² De type axial et très sensibles aux pertes de charge dans l'étude en question.
PROMEVENT

3.2 Mesure de débit à l'aide d'un appareil déprimogène

Si l'on dispose du coefficient caractéristique de la bouche liant débit et pression, on peut théoriquement déduire de la mesure de la dépression au niveau de la bouche la valeur du débit. Dans le cas de bouches auto-réglables, cette méthode est très utilisée pour contrôler que les bouches sont dans leur plage de fonctionnement "normal", ce qui en théorie assure que leur débit correspond au débit attendu. Cependant, des travaux sont en cours pour juger de la pertinence de cette méthode et donner des éléments pour fiabiliser le contrôle (en particulier, l'influence vis-à-vis du positionnement du tube que l'on introduit dans la bouche).

Certains diffuseurs intègrent une prise de pression pour faciliter et fiabiliser cette mesure. On regrettera que ces dispositifs ne soient pas intégrés aux bouches du secteur résidentiel en France.

3.3 Mesure de débit par exploration du champ de vitesses

La méthode consiste à prendre plusieurs mesures de vitesse au voisinage d'une bouche pour en déduire le débit aspiré par une bouche. Lefèvre (1990) propose de déterminer les valeurs d'un coefficient correctif K entre la section de passage (S_t), la vitesse moyenne (V_{moy}) et le débit Q tel que $K = Q / (S_t * V_{moy})$. Il a réalisé 3 campagnes de mesure en laboratoire pour évaluer l'influence sur le coefficient K : a) de la distance du capteur à l'ouverture et du quadrillage; b) du type d'ouverture, de la dimension, du type d'anémomètre, de la présence de paroi, de la vitesse; c) du taux de passage libre de l'ouverture.

Il souligne :

- la nécessité de prendre au minimum 6 points de mesure ;
- l'influence faible des parois environnantes ;
- la nécessité de fixer la distance du capteur à l'ouverture (forte dépendance du coefficient K vis-à-vis de cette distance) ;
- le risque accru d'une mesure erronée avec des anémomètres thermiques en raison de l'effet de masque possible d'éléments de la grille.

Il trouve un coefficient K compris entre 0,6 et 0,76 pour un taux de passage ($t =$ ratio de la surface effective de l'ouverture sur sa surface totale) de 30% à 60%, quels que soient les autres paramètres et propose un tableau pour l'estimer pour certains couples (bouches; capteurs).

Globalement, il ressort que cette méthode semble difficilement applicable pour de la réception de systèmes de ventilation résidentiel à grande échelle vu le temps nécessaire à la mesure et la variabilité des résultats en fonction des couples (bouches; capteurs). Cette variabilité pourrait être réduite en adaptant le coefficient correcteur en fonction des couples (bouches; capteurs) utilisés en pratique, mais cela nécessiterait un grand nombre de tests.

3.4 Mesure de débit en conduit

Il existe plusieurs études traitant de la mesure de débit en conduit, certaines ayant quantifié les incertitudes associées. Cette technique repose sur la mesure de la vitesse d'air dans le conduit. En conséquence, elle nécessite (généralement) plusieurs points de mesure dans une section de conduit et une méthode/formule pour en déduire le débit d'air véhiculé.

Selon ces études :

- l'impact de l'asymétrie de l'écoulement peut être très significatif mais un choix judicieux de l'emplacement des points de mesure permet de limiter l'incertitude associée à cette symétrie uniquement à 5% (Frank et al., 1996) ;

- l'incertitude peut être quantifiée en fonction du nombre de points de mesure et de la distance du point de mesure par rapport aux perturbations de l'écoulement (singularités) (Bonthoux et Fontaine, 2012; Caré, 2014) .

Bien qu'elle puisse donner des résultats satisfaisants, la mesure de débit en conduit est contraignante car elle nécessite des longueurs de conduit et une accessibilité suffisantes. Il est difficile d'imaginer son application en résidentiel, sauf si le réseau est provisoirement prolongé à une bouche pour intégrer une telle mesure (Caillou, 2014). Elle n'est donc généralement pas utilisée dans le secteur résidentiel.

3.5 Mesure de l'étanchéité à l'air des réseaux

Plusieurs normes et documents apparentés traitent de la mesure de l'étanchéité à l'air des conduits. Bien que le principe soit similaire à celui décrit dans les normes ISO 9972-EN 13829 pour la mesure de l'étanchéité à l'air de l'enveloppe de bâtiments, le protocole diffère considérablement en particulier concernant le nombre de points de mesure ou la prise en compte de l'exposant de l'écoulement. Alors que la fiabilité de la mesure de l'étanchéité de l'enveloppe a fait l'objet de plusieurs études expérimentales (Delmotte, 2011) et numériques (Bailly, 2012), nous n'avons pas trouvé de travaux similaires concernant l'étanchéité des réseaux.

Les seuls travaux dont nous avons connaissance sont :

- les mesures réalisées par le CEREMA sur la réplique en laboratoire d'un réseau de ventilation collectif ;
- les problèmes brièvement mentionnés concernant la fiabilité des mesures dans le rapport SAVE-DUCT ;
- les mesures de terrain en cours de réalisation (2014) par le Lawrence Berkeley National Laboratory pour évaluer la répétabilité de protocoles.

Cette dernière étude n'étant pas publiée, seules les deux premières études sont synthétisées ci-dessous.

3.5.1 Les mesures réalisées par le CEREMA sur la réplique en laboratoire d'un réseau de ventilation collectif

Le CEREMA (Berthault et al., 2014) a mis en place une réplique de réseau collectif (en acier galvanisé) en laboratoire. Le réseau construit correspond à celui qui desservirait un petit bâtiment collectif (un T1, un T4, deux T3 répartis sur deux colonnes) sur deux niveaux. Le réseau est quasiment à l'échelle 1.

Berthault et al. (2014) ont réalisé deux séries d'expériences sur ce réseau avec deux objectifs distincts :

- 1) Série 1 : Evaluation de l'impact des pertes de charge sur le résultat de la mesure. Deux registres sont positionnés dans le réseau (1 en haut de chaque colonne) pour créer une perte de charge. Ces registres passent progressivement de ouverts à fermés (7 positions au total). Un test de perméabilité est effectué pour chaque position et à trois pressions (90, 120 et 160 Pa). Deux niveaux d'étanchéité ont été testés : classe C et 1,5*Classe A.
- 2) Série 2 : Evaluation de l'impact de la position de l'appareil de mesure en fonction de la localisation des fuites. Le niveau d'étanchéité initial du réseau est classe C. Des trous sont percés (puis rebouchés) à divers endroits du réseau (pied de colonnes, proche du ventilateur ou réparties) pour

atteindre la classe 1,5*A. Pour chaque répartition de fuite, 3 positions de l'appareil de mesure sont testées.

Les auteurs trouvent que pour le réseau et les configurations testés, la répartition des fuites par rapport à la position de l'appareil de mesure n'a aucun impact sur l'étanchéité mesurée. L'impact des pertes de charge est minimale : en classe C, le résultat de la mesure ne varie pas quelle que soit la position du registre. En classe 1,5*A, le résultat ne varie pas entre la position 0 et la position 4 du registre (le registre comprend 7 positions possibles), le résultat diminue de 10 à 15% entre le niveau 4 et la position fermée du registre.

Sur le réseau testé, il semble donc pertinent de procéder comme le protocole de mesure actuel, i.e. :

- ne pas imposer de position pour l'appareil de mesure ;
- laisser les registres en position normal de fonctionnement.

Néanmoins, il faut rester prudent quant à la généralisation de ces résultats obtenus sur un réseau expérimental qui ne peut représenter l'ensemble des configurations possibles.

3.5.2 Les problèmes brièvement mentionnés concernant la fiabilité des mesures dans le rapport SAVE-DUCT

L'objectif de cette étude était de comparer les débits donnés par un orifice calibré de laboratoire (pris pour référence) avec les débits donnés par l'appareil testé pour différentes pressions de réseau. Le matériel testé mesurait le débit en fonction de la pression mesurée au ventilateur, de façon similaire à la plupart des portes soufflantes utilisées pour mesurer l'étanchéité de l'enveloppe du bâti.

Il ressort que sur le matériel testé, la pression dans le réseau a un impact significatif sur le résultat. Par exemple, l'erreur est de l'ordre de 12% pour une pression au ventilateur de 25 Pa et une dépression dans le réseau de 200 Pa, alors qu'elle n'est que de 6% lorsque la dépression dans le réseau est de 100 Pa.

Bien entendu, cette observation est liée au matériel testé et ne peut être généralisée. Néanmoins, pour évaluer l'exactitude d'un appareil de mesure de l'étanchéité des réseaux, elle souligne l'importance de tester l'appareil sur la plage de pression de réseau utilisée en conditions réelles.

3.5.3 Correction des débits de fuite aux conditions normales de température et de pression

Les corrections applicables aux débits de fuite mesurés pour prendre en compte les différences entre les conditions de test et les conditions normales de température et de pression devraient être revues dans l'ensemble de ces normes pour être cohérentes avec celle proposée dans la norme ASTM E779 (2010). En effet, les autres corrections proposées dans les normes sont incomplètes et peuvent générer des erreurs importantes, de l'ordre de 5-10% dans un panel limité de conditions de test possibles (Carrié, 2014).

3.5.4 Choix de la section testée

Le choix de la section testée introduit une erreur fondamentale dans la mesure. Ceci est dû non seulement à l'évaluation de la surface développée de conduit, mais aussi au fait que l'on ne teste qu'une partie du réseau, qui n'a pas de raison a priori d'avoir la même étanchéité qu'une autre partie de ce même réseau.

On pourra admettre que le premier point est d'un impact limité grâce à la norme EN 14234. En revanche, il est clair qu'on ne peut espérer une mesure reproductible que si l'on teste exactement la même partie de réseau.

3.6 Recommandations d'ordre technique pour généraliser les mesures de débit aux bouches et les mesures de perméabilité des réseaux

Les différentes études analysées relèvent des difficultés pour :

- réaliser des mesures de débit ou de perméabilité à l'air à grande échelle avec une fiabilité raisonnable ;
- cadrer les pratiques pour limiter des erreurs ;
- évaluer l'incertitude des mesures.

Nous en avons extrait quelques recommandations d'ordre technique pour généraliser de telles mesures.

3.6.1 Mesure de débit aux bouches

3.6.1.1 Recommandation n°1 : Cadrer l'utilisation du matériel en fonction des bouches

Le guide du CETIAT (2013) donne une synthèse très utile des points forts et points de vigilance associés pour la plupart des appareils. Il donne également des éléments pour limiter la plage des erreurs possibles, mais ces informations mériteraient d'être précisées et reformulées pour cadrer les interventions de mesureurs (par exemple, avec des mesures complémentaires pour juger de l'asymétrie du jet, etc.).

3.6.1.2 Recommandation n° 2 : Développer des méthodes de vérification spécifiques pour des mesures sur site / Pré-évaluation de l'incertitude induite par des couples "type de bouche-type d'appareil de mesure"

Telle qu'elle est faite aujourd'hui, l'incertitude annoncée par les fabricants d'appareils de mesure a est difficilement extrapolable pour des mesures sur site. Elle repose sur des mesures réalisées en laboratoire et en conditions idéales, en d'autres termes, elle ne reflète pas du tout les problèmes d'asymétrie ou de proximité de perturbations rencontrées sur le terrain.

Idéalement, ces conditions pourraient être partiellement reproduites en laboratoire pour associer l'incertitude annoncée du matériel à différents types de bouches.

Dans le contexte de la mesure de débit aux bouches, il est sans doute plus réaliste d'évaluer l'incertitude pour des couples "type de bouche-type d'appareil de mesure" en vue de la combiner avec l'incertitude annoncée par le fabricant. Ces incertitudes pour des couples "type de bouche-type d'appareil de mesure" pourraient être pré-déterminées en laboratoire dans les phases ultérieures de PROMEVENT.

3.6.1.3 Recommandation n°3 : Conduire des études de répétabilité et reproductibilité de mesures sur site

A notre connaissance, il n'existe pas d'études de répétabilité ou de reproductibilité de mesures de débit sur site. Par exemple, en termes de justesse, le débitmètre compensateur avec rectification du flux paraît préférable par rapport aux autres méthodes. Selon Caillou (2014), il permettrait d'atteindre une incertitude inférieure à 10%, mais cette incertitude ne comprend pas l'incertitude liée à la reproductibilité ou répétabilité de cette mesure.

Les campagnes de mesures sur site prévues dans le cadre de PROMEVENT apporteront donc un éclairage très intéressant. Néanmoins, il conviendra dans un premier temps de bien cadrer les conditions de mesure puisqu'elles peuvent multiplier l'erreur par un facteur 2 à 5 selon le CETIAT.

3.6.1.4 Recommandation n° 4 : Développer des bouches avec prise de pression intégrée pour le résidentiel

La mesure des débits aux bouches ou la vérification de critères de bon fonctionnement seraient grandement facilitées par un dispositif d'accueil d'un capteur, à l'image des prises de pressions intégrées dans certains diffuseurs tertiaires. Moyennant une pré-calibration des bouches ou de critères pré-établis, ceci permettrait une vérification rapide et fiable par simple lecture avec un capteur (de pression par exemple) par l'installateur lui-même ou par un tiers. Pour ce type d'application, les capteurs de pression sont relativement robustes et peu coûteux par rapport à des débitmètres de type cône ou balomètre. Bien entendu, on pourrait envisager un dispositif d'accueil pour la lecture avec d'autres types de capteurs qu'un capteur de pression (par exemple, un canal pour insertion d'un fil chaud), mais ce type de dispositif paraît a priori plus difficile à concevoir.

Cette recommandation s'adresse aux fabricants et sort du cadre des travaux réalisables dans PROMEVENT.

3.6.2 Mesure de perméabilité des réseaux

Notre bibliographie révèle que bien que la mesure de perméabilité des réseaux soit connue depuis fort longtemps, l'incertitude de ces mesures est mal connue. Nous formulons également 4 recommandations ci-dessous.

3.6.2.1 Recommandation n°1 : Cadrer le choix de la section testée et la préciser dans le rapport d'essai

Ce cadrage et la traçabilité de la section testée sont absolument nécessaires à la fois pour éviter les dérives (e.g., choix évidemment favorables) et rendre pertinente une éventuelle contre-mesure. Il semble que les exigences du fascicule de documentation FD 51-767 réponde à ce besoin.

3.6.2.2 Recommandation n°2 : Développer des méthodes de vérification spécifiques pour des mesures sur site / Pré-évaluation de l'incertitude induite par des couples "type de condition-appareil de mesure"

Bien que les conditions de test sur site puissent influencer sur le résultat (Carrié et al., 1998), ce problème n'est pas pris en compte pour évaluer l'incertitude du matériel qui sera annoncée par le fabricant. Ces conditions pourraient être partiellement reproduites en laboratoire pour donner une incertitude du matériel pour un tableau de conditions données. Néanmoins, comme pour la mesure de débit aux bouches (cf. § 3.6.1.2), l'évaluation en laboratoire de l'incertitude induite par des couples "type de condition-type d'appareil de mesure" apparaît pragmatique et pourrait être explorée dans les phases ultérieures de PROMEVENT.

Notons par ailleurs que les analyses du CEREMA (Berthault et al., 2014) concernant l'influence des registres d'éléments sont rassurantes concernant l'influence que pourrait avoir d'une manière plus générale toute obstruction partielle du réseau (filtres, échangeurs, caissons, etc.). Ce point pourrait néanmoins être vérifié en laboratoire en même temps que le développement de méthodes de vérification.

3.6.2.3 Recommandation n°3 : Conduire des études de répétabilité et reproductibilité de mesures sur site

Nous n'avons pas connaissance d'études de répétabilité ou de reproductibilité des mesures d'étanchéité de réseaux sur site. De telles études nécessiteraient en préambule de cadrer le choix de la section testée (cf. recommandation 1) pour isoler les autres sources d'erreur pouvant affecter la reproductibilité de la mesure.

Les campagnes de mesure prévues dans PROMEVENT devraient contribuer à cerner l'impact de ces erreurs. La démarche sera sans doute similaire à celle que nous avons également recommandée pour les mesures de débit aux bouches.

3.6.2.4 Recommandation n°4 : Intégrer les corrections des débits de fuite aux conditions normales de température et de pression

Ces corrections, a priori faciles à intégrer dans les logiciels d'analyse de données, mériteraient d'être prises en compte systématiquement, même si elles sont probablement d'un second ordre par rapport aux autres sources d'erreur visées dans ces recommandations.

3.7 Autres recommandations

Les aspects non-techniques sont peu abordés dans la bibliographie. Néanmoins, deux questions non-techniques en découlent naturellement :

- la formation des mesureurs ;
- la reconnaissance de compétence des mesureurs.

Par ailleurs, l'expérience des membres du consortium PROMEVENT nous invite à souligner 2 questions supplémentaires :

- l'équilibre entre l'auto-contrôle et le contrôle indépendant ;
- le suivi des performances du parc à grande échelle.

3.7.1 La formation des mesureurs

Si les mesures évoquées peuvent paraître faciles, elles nécessitent toutes un peu de connaissance sur la ventilation, les écoulements d'air, ainsi que les sources et l'analyse des incertitudes de mesure. L'expérience montre que les mesureurs peuvent facilement commettre des erreurs involontaires, par méconnaissance des protocoles et des limites des matériels. La formation des mesureurs est donc essentielle pour un minimum de fiabilité des mesures, surtout si elles sont imposées à grande échelle et liées à des problèmes de responsabilité si les performances du système ne sont pas atteintes.

3.7.2 La reconnaissance de compétence des mesureurs

La formation des mesureurs devrait être validée par des examens théoriques et pratiques. Cet aspect est d'autant plus important si aucun pré-requis n'est demandé pour suivre la formation ou pour réaliser des mesures (en dehors de la formation pour les mesureurs).

3.7.3 L'équilibre entre l'auto-contrôle et le contrôle indépendant

L'auto-contrôle (i.e., mesure de débit ou d'étanchéité par l'installateur lui-même) a pour avantage de limiter le coût de la mesure et contribue à ancrer dans les esprits une culture de vérification de ses propres prestations, culture cruellement absente dans de nombreux métiers du bâtiment. Même si l'auto-contrôle est prôné avec succès en Suède, on imagine en revanche facilement les dérives possibles dans le contexte français.

Le contrôle indépendant quant à lui présente, en théorie, une garantie supplémentaire sur les performances atteintes. En théorie, car l'indépendance est peut-être réelle d'un point de vue des structures juridiques, mais pas du point de vue d'intérêts de personnes et/ou du point de vue financier (par exemple dans le cas d'un même dirigeant de deux entreprises distinctes).

Peut-être qu'un équilibre entre une obligation d'auto-contrôle et des mesures indépendantes doit être trouvé ? Cette question mérite a minima d'être débattue avec les parties prenantes.

3.7.4 Le suivi des performances du parc à grande échelle

Si la mesure des débits aux bouches ou la mesure de l'étanchéité des réseaux venait à être généralisée, il nous paraît important de profiter de ces mesures pour suivre les performances du parc, par exemple en développant et analysant une base de données. Au-delà d'un état des lieux pour les autorités publiques, ceci permettra par exemple de voir les effets de labels, expérimentations, ou réglementations.

3.7.5 L'autorisation des mesureurs

On notera que les 4 questions soulevées ci-dessus pourraient être traitées ou débattues dans le développement d'un dispositif d'autorisation de mesureurs similaires à celui adopté en France pour la mesure de l'étanchéité à l'air du bâti.

3.8 Conclusions et perspectives

Notre recherche bibliographique fait ressortir plusieurs études traitant d'aspects particuliers concernant les incertitudes de mesure de débit aux bouches ou de mesure d'étanchéité de réseaux. Elle révèle également de nombreux aspects peu voire pas traités et pour lesquels nous avons dressé des recommandations d'ordre technique pour des travaux complémentaires. Nous proposons également quelques pistes de réflexions non-techniques, aspect peu abordé dans la bibliographie.

Les phases ultérieures du projet PROMEVENT ont approfondi les recommandations d'ordre technique liées aux protocoles de mesure et apporter des réponses grâce à des travaux en laboratoire et sur site.

4 Références bibliographiques

- [1] Bailly, A., Leprince, V. Guyot, G. Carrié, F.R., El Mankibi, M. 2012. Numerical evaluation of airtightness measurement protocols. Proceedings of the 2012 AIVC conference, Copenhagen, Denmark, 10-11 October 2012, pp. 252-255.
- [2] Berthault, S., Leprince, V. 2014. Ductwork airtightness: reliability of measurements and impact on ventilation airflow rate and fan energy consumption. To be presented at the AIVC 2014 conference and published in the proceedings.
- [3] Bonthoux, F., Fontaine, J.R. 2012. Mesure des débits d'air en conduit – Incertitude liée au nombre et à la position des points de mesure. Hygiène et Sécurité au travail – 2e trimestre 2012 – 227, 53-57.
- [4] Bonthoux. Etudes sur les mesures avec des cônes.
- [5] Caillou, S. 2014. Mesurer les débits de ventilation mécanique. Les dossiers du CSTC. 2013/3/12. Parution Juin 2014. 10 pp.
- [6] Caré, I. 2013. Measurement of flow rate at air terminal device, Congrès international de Métrologie, Paris, October 2013
- [7] Caré, I., Bonthoux, F., Fontaine, J.R. 2013. Measurement of air flow in duct by velocity measurements, Congrès international de Métrologie, Paris, October 2013
- [8] Caré, I., Chaffois, P., Henry, P. 2013. Guide des bonnes pratiques des mesures de débit d'air sur site pour les installations de ventilation. Cetiati, France.
- [9] Carrié, F.R. 2014. Temperature and pressure corrections for power-law coefficients of airflow through ventilation system components and leaks. To be presented at the AIVC 2014 conference and published in the proceedings.
- [10] Carrié, F.R., Andersson, J., and Wouters, P. 1999. Improving Ductwork - A Time for Tighter Air Distribution Systems, Report, EU Project SAVE-DUCT, Brussels 1999. ISBN 1902177104. (chapter 6.2.5)
- [11] Delmotte, Ch. 2011. Interlaboratory tests for the determination of repeatability and reproducibility of building airtightness measurements. Proceedings of the 2011 AIVC conference, Brussels, Belgium, 12-13 October 2011, pp. 183-187
- [12] EN 14234. 2004. Ventilation des bâtiments - Réseau de conduits - Mesurage de l'aire superficielle des conduits.
- [13] FD E51-767. 2014. Ventilation des bâtiments - Mesures d'étanchéité à l'air des réseaux.
- [14] Frank, S., Heilmann, C., Siekmann, H.E. 1996. Point velocity methods for flow rate measurements in asymmetric pipe flow. Flow Meas. Instrum. Vol.7(4-4), pp.201-209.
- [15] Gilbert, A., Knights, Ch. 2013. Quality of ventilation systems in residential buildings : status and perspectives in the UK. AIVC International Workshop, Brussels, Belgium, 18-19 March 2013.
- [16] Hawkins, G. 2013. Domestic ventilation systems – A guide to measure airflow rates. A BSRIA Guide, BG 46/2013.
- [17] Lefèvre, A. 1990. Calcul des débits d'air extrait par dispositif d'aspiration à partir de l'exploration du champ des vitesses dans son ouverture. Cahier de notes documentaires n°138. pp. 53-64. INRS CDU 628 83.
- [18] Ropper, M. 2013. Flow measurement for domestic ventilation fans.. BSRIA Ltd. Final report, 57015/2.
- [19] Skwarczynski, M. A., 2014. Comparative analysis of methods for measuring the air velocity and flow in mechanical ventilation systems. AIVC International Workshop, Brussels, Belgium, 18-19 March 2014, pp. 75-84.

- [20] Walker, I.S., Wray, C.P., Dickerhoff, D.J., Sherman, M.H. 2001. Evaluation of flow hood measurements for residential register flows. Lawrence Berkeley National Laboratory, LBNL-47382. Disponible sur <http://eetd.lbl.gov/node/51544>
- [21] Walker, I.S., Wray, C.P., Guillot, C., and Masson. S. 2003. Evaluation of Commercially Available Techniques and Development of Simplified Methods for Measuring Grille Airflows in HVAC Systems, Lawrence Berkeley National Laboratory, LBNL-51551. Disponible sur <http://eetd.lbl.gov/node/50484>
- [22] Wray, C.P., Walker, I.S., Sherman, M.H. 2002. Accuracy of flow hoods in residential applications. Lawrence Berkeley National Laboratory, LBNL-49697. Disponible sur <http://eetd.lbl.gov/node/51304>

Résumé

L'étude bibliographique réalisée dans le cadre du projet PROMEVENT consiste en une analyse des documents de référence existants, des appareils de mesures disponibles et des connaissances scientifiques en Europe sur le thème du diagnostic de performance des systèmes de ventilation.

16 protocoles ont été identifiés, en France et en Europe et de nombreuses similitudes peuvent être notées entre ces documents, qui s'appuient majoritairement sur des normes européennes. Le contrôle de fonctionnement aux bouches, la mesure de l'étanchéité des réseaux et le diagnostic visuel, ainsi que les règles d'échantillonnage et les incertitudes de mesure préconisées ont été analysés.

Cet état de l'art a permis d'identifier des protocoles qui pourront servir de support lors des tâches suivantes du projet à l'élaboration d'un protocole spécifique PROMEVENT, dont l'utilité a été confirmée, et qui sera testé dans les campagnes sur site puis à terme diffusé au niveau national :

- Mesure des débits d'air aux bouches : PrEN 16211 et EN14134, Diagvent et VIA-Qualité
- Mesure des pressions aux bouches : projet de norme française au sein de l'UNM 713
- Mesure de l'étanchéité des réseaux : FD E51-767 et le protocole Effnergie+

Les différentes technologies et les différents matériels utilisés dans la mesure de débit et la mesure d'étanchéité des réseaux ont été recensés et analysés. Il s'agit de deux catégories d'instruments distincts. Pour la mesure de débit aux terminaux, les modèles d'instruments sont nombreux. Ils peuvent être constitués d'un anémomètre thermique ou à hélice qui s'adapte sur un cône permettant de collecter le flux d'air au niveau du terminal ou être considérés comme un débitmètre à part entière tout en présentant la même fonctionnalité de collecte du flux d'air que le modèle précédent. Ils présentent tous une exactitude du même ordre de grandeur et diffèrent par l'adaptabilité ou pas à des géométries de terminal particulières. Les instruments permettant la mesure de l'étanchéité des réseaux sont constitués d'un ventilateur permettant de mettre en pression ou dépression le réseau et d'une mesure de débit, généralement par mesure de pression différentielle aux bornes d'un organe déprimogène. Les éléments permettant d'assurer la traçabilité au Système International d'Unités ne sont généralement pas fournis avec l'instrument lors de son achat.

Les travaux existants en France et à l'étranger ont été analysés avec une attention particulière sur la quantification des incertitudes et l'applicabilité des protocoles pour des systèmes résidentiels. Il fait ressortir de nombreux aspects peu voire pas traités et pour lesquels nous avons dressé des recommandations pour des travaux complémentaires d'ordre technique ou organisationnel en vue d'une généralisation de telles mesures.

Sur le plan technique, les recommandations sont :

- cadrer l'utilisation du matériel de mesure en fonction des bouches ;
- cadrer le choix de la section testée pour la mesure de perméabilité ;
- développer des méthodes de vérification du matériel spécifiques pour des mesures sur site ;
- conduire des études de répétabilité et de reproductibilité sur site ;
- intégrer les corrections de débits de fuite aux conditions normales de température et de pression pour la mesure d'étanchéité ;
- développer des bouches avec prise de pression intégrée pour le résidentiel.

Les phases ultérieures du projet PROMEVENT ont approfondi les recommandations d'ordre technique liées aux protocoles de mesure et apporter des réponses grâce à des travaux en laboratoire et sur site.

